آرین هوکسترا

ردپای آب در جامعه‌ی مصرف‌کننده‌ی مدرن

مترجم: فاطمه کاراندیش

earthscan
from Routledge

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران

بسم الله الرحمن الرحيم

ردپای آب
در جامعه‌ی مصرف‌کننده‌ی مدرن

نویسنده:
آرین هوکسترا

مترجم:
دکتر فاطمه کاراندیش

سرشناسه: آرین هوکسترا Hoekstra .Y Arjen

عنوان و نام پدیدآور: ردپای آب در جامعه‌ی مصرف‌کننده‌ی مدرن / آرین‌هوکسترا / دکتر فاطمه کاراندیش

مشخصات نشر: تهران: سبزان ، ۱۴۰۲.

مشخصات ظاهری: ۴۲۴ ص.مصور، نمودار، نقشه.

شابک: ۹۷۸ – ۶۰۰ – ۱۱۷– ۷۳۶ –۱

وضعیت فهرست‌نویسی: فیپا

یادداشت: عنوان اصلی: The Water Footprint of Modern Consumer Society, Second edition

موضوع: آب، منابع -- قوانین و مقررات-- مصرف کننده

شناسه افزوده: consumer -- wal dna noitatsigel -- htuoS Africa

شناسه افزوده: آرین هوکسترا Hoekstra .Y Arjen

شناسه افزوده: فاطمه کاراندیش، ۱۳۵۹–، مترجم

شناسه افزوده: اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران

رده‌بندی کنگره: مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

رده‌بندی دیویی: KTL۲۹۵۶

شماره کتاب‌شناسی ملی: ۸۷۷۲۳۶۷

مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب

اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی ایران

انتشارات سبزان

انتشارات سبزان

نوشتار حاضر ترجمه‌ای است از:

The Water Footprint of Modern Consumer Society, Second Edition

عنوان: ردپای آب در جامعه‌ی مصرف‌کننده‌ی مدرن

نویسنده: آرین هوکسترا

مترجم: دکتر فاطمه کاراندیش

ناشر: سبزان

نوبت چاپ: اول، زمستان ۱۴۰۲

شمارگان: ۳۰۰

قیمت: ۶,۰۰۰,۰۰۰ ریال

نشانی: تهران– خیابان طالقانی– نبش خیابان شهید موسوی (فرصت)– پلاک ۱۷۵ ساختمان جدید– طبقه سوم

شماره تماس و تارنما: ۸۵۷۳۲۸۳۹ – ۰۲۱ – www.awnrc.com

شابک: ۹۷۸ – ۶۰۰ – ۱۱۷– ۷۳۶ –۱

تقدیم به فرشتگانی که از ابتدای خلقت تا کنون، هیچ واژه‌ای نتوانست مهر آنها را معنا کند.

به کسانی که قلب و جان خود را ره‌توشه‌ی سفرم ساختند و به قدر لحظه‌ای رهایم نکردند.

به آنها که هر آنچه امروز دارم، ماحصل عشق و گذشت و صبوری آنهاست.

به نازنین مادرم

و مهربان پدرم

پیشگفتار

کشورمان ایران در منطقه‌ای با اقلیم خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. فرآیندهای توسعه‌ی اقتصادی و جمعیت کشور در دهه‌های گذشته بدون توجه به ظرفیت منابع آب تجدیدپذیر و رعایت شاخص‌های آمایش آبی سرزمین استقرار یافته است. این امر در کنار اثرات قابل ملاحظه‌ی تغییر اقلیم منجر به شدت‌گرفتن تنش‌های آبی و تبعات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی آن در اکثر نقاط کشور گردیده است که پایداری سرزمین را تهدید می‌کند.

ردپای آب، ایده‌ایست که میزان منابع و ظرفیت محیط زیست را در کل زنجیره تأمین مورد توجه قرار می‌دهد. بر مبنای این مفهوم و آگاهی از رد پای آب مورد نیاز برای تأمین کالاهای مصرفی روزانه، می‌توان نسبت به تخصیص و مصرف پایدار آب اقدام کرد. تأثیر انسان بر سیستم‌های آبی کاملاً متأثر از الگوی مصرف وی بوده و رد پای آب با تکیه بر کل زنجیره تولید و تأمین، درک مسائلی همچون کمبود آب یا آلودگی آب را ساده‌تر می‌سازد.

کتاب "ردپای آب در جامعه مصرف‌کننده مدرن" که توسط ارائه دهنده دیدگاه ردپای آبی، پروفسور هوکسترا، منتشر شده است، مجموعه بی‌نظیریست که به ارائه جامع و قابل فهم این دیدگاه و تجربیات ارزشمند این دانشمند برجسته‌ی جهان در زمینه‌ی گفتگوهای آبی از هر دو دیدگاه تولید و مصرف می‌پردازد. این کتاب به همت مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب منتشر شده است.

مطالعه این کتاب را به آحاد جامعه، بهره‌برداران منابع آب و به خصوص سیاست‌گذاران، مدیران، اساتید، متخصصان، دانشجویان و علاقمندان به توسعه پایدار سرزمین توصیه می‌نمایم.

حسین سلاح‌ورزی
رئیس اتاق بازرگانی، صنایع،
معادن و کشاورزی ایران

مقدمه

بحران آب یکی از مهم‌ترین مخاطرات اساسی بشر بوده و در دهه‌های اخیر به دلایلی چون افزایش تقاضا، برداشت بیش از حد ظرفیت اکولوژیکی و کم‌توجهی به حقابه‌های زیست‌محیطی در کنار اثرات پدیده‌ی تغییر اقلیم، بر شدت آن افزوده شده است. استمرار وضع موجود می‌تواند عواقب جدی و اثرات ناگوار و جبران‌ناپذیر زیست‌محیطی و پایداری برای جوامع جهانی به همراه داشته باشد. عبارات تهدیدآمیزی چون کاهش دبی جریان رودخانه‌ها، افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی، آلودگی ذخایر آبی به آلاینده‌های خطرناک، بروز تعارضات اجتماعی در حوضه‌های درون سرزمین مرزی و تخریب اکوسیستم‌ها بواسطه‌ی تعدی به حریم محیط‌زیست به وفور در متون علمی و سیاست‌ها به چشم می‌خورد و تقریباً تأثیر مردم و ردپای پررنگ آنها در پیدایش این حد از ناپایداری در چرخه‌ی طبیعی آب مهم و قابل توجه بوده است.

نتایج پژوهش‌های اخیر گواه آن هستند که تمام نواحی کشور حتی مناطق پرباران، حداقل یک ماه از سال، از کمبود آبی شدید رنج می‌برند. اگرچه این واقعیت‌ها، لزوم تلاش در راستای نیل به پایداری بهره‌برداری از منابع آبی را به اثبات می‌رسانند، لکن تاکنون تمرکز اصلی در تدوین سیاست‌های سازگاری با بحران آب، بیشتر بر راهکارهای تولید – محور بوده و نقش و سهم مصرف‌کننده در رفع این تنش‌ها نادیده گرفته شده است. با تغییر دیدگاه در تدوین سیاست‌های آبی از تولیدکننده به مصرف‌کننده، اهمیت آب به عنوان یک کالای جهانی برجسته‌تر شده و به تبع آن، لزوم مشارکت فعال مصرف‌کنندگان در اقصی نقاط جهان برای کاهش ردپای آب خارجی خود و جبران مافات حاصل از مصارف بیرویه‌شان در خارج از مرزهای جغرافیایی‌شان پررنگ‌تر می‌شود. تنها از دیدگاه مصرف‌کننده است که می‌توان مدعیِ حقابه‌های بین‌المللی و مالیات‌های زیست‌محیطی شده و مسئولان حقیقی تغییر در هر حوضه را تعیین نمود. با این وجود، بررسی مستندات و روند فعلی کشورها در تدوین سیاست‌های آبیشان، ناآگاهی آنها به این وجهه‌ی مهم مصرف آب را نشان می‌دهد.

پروفسور آرین هوکسترا، اولین دانشمند در حوزه‌ی سیاست‌های آبی بود که دیدگاه بررسی آب به عنوان یک کالای جهانی، و نه منطقه‌ای، و لزومِ شکل‌گیری تعاملات بین‌المللی برای حل چالش‌های مرتبط با آن بواسطه‌ی مشارکت تمامی کشورها را مطرح نمود. کتاب حاضر، مجموعه‌ای بینظیر از تجربیات ارزشمند این دانشمند برجسته‌ی جهان در زمینه‌ی گفتگوهای آبی از هر دو دیدگاه تولید و مصرف است. در این کتاب، علاوه بر ارائه‌ی تعاریف کلیدی مفاهیمی همچون ردپاهای زیست‌محیطی و تحلیل روند

شکل‌گیری و تحول آنها در گذر زمان، و همچنین ارائه ردپای چند محصول و فرآورده‌های آنها همراه با دلایل کافی برای محدودنمودن مصارف آبی به حدود پایدار در جهان، مجموعه‌ای از اقدامات مؤثر ارائه شده است که بکارگیری آنها می‌تواند چرخه‌ی فعلی اقتصاد جهان را به سمت توسعه‌ی پایدار رهنمون سازد. اقداماتی همچون تعیین سطوح برداشت پایدار برای منابع آب سطحی و زیرزمینی، تدوین بنچ‌مارک‌های ردپای آب برای تولید و مصرف‌کنندگان، شفافیت اطلاعاتی و برچسب‌گذاری کالاها، ترویج و توسعه‌ی مصرف عادلانه آب، تدوین و اخذ مالیات‌های زیست‌محیطی از مصرف‌کنندگان جهانی، لزوم و چگونگی گفتگوهای بین‌المللی آب و تعیین سهم اقشار و گروه‌های مختلف در تغییر روند فعلی، بخشی از مطالبی است که نویسنده به طور عمیق بدان پرداخته است. قهرمانان تغییر از دیدگاه آرین هوکسترا، آحاد جامعه و تمامی مصرف‌کنندگان، از خرد تا کلان و از مردم عامی تا سیاست‌مداران و تصمیم‌گیرندگان کلیدی در حوضه آب هستند و تمامی مطالب در این کتاب همراه با مثال‌های شفاف و ملموس ارائه شده که درک آن را برای همگان مقدور ساخته است.

همه ما، در قبال باری که بواسطه حضورمان بر دوش طبیعت بارگذاری شده است، مسئول هستیم و هر یک باید به سهم خود، رسالت خود را در قبال حفظ منابع ارزشمند طبیعی انجام دهیم. خواندن این کتاب توسط تمامی اقشار جامعه برای آگاهی از مسئولیت خود در قبال این موهبت الهی و برداشتن گامی در تعدیل وخامت فعلی توصیه می‌شود.

عباس کشاورز
معاونت پژوهشی مرکز ملی مطالعات راهبردی
کشاورزی و آب اتاق ایران

پیش‌گفتار نسخه‌ی اول

قبض آب ماهانه شما چه‌قدر است؟ افراد کمی می‌توانند به این سوال پاسخ دهند و اگر ایده‌ای هم داشته باشند، بیش‌تر مربوط به مبلغی است که به دلار، یورو، پوند، ین و غیره برای آن می‌پردازند، اما ایشان اطلاعی از حجم آب مصرفی‌شان به لیتر ندارند. قبض آب برای بسیاری از خانواده‌ها در کشورهای توسعه‌یافته آن قدری نیست که در خاطرشان بماند. بنابراین، اغلبِ مردم به سادگی شیر آب را باز می‌کنند و اطلاع اندکی در خصوص مصارف آبی روزانه‌شان برای مواردی همچون آشامیدن، پخت‌وپز، نظافت، شست‌وشو و آبیاری گیاهان دارند. معمولاً دانش مردم در زمینه‌ی میزان آبی که به صورت غیرمستقیم مصرف می‌کنند؛ یعنی آب پنهانی که برای تولید کالاهای مصرفی‌شان و یا تأمین خدمات مورد نیازشان استفاده می‌شود، از این هم کم‌تر است. در بسیاری از خانواده‌ها، آب مصرفی غیرمستقیم، ۵۰ تا ۱۰۰ برابر بیش‌تر از آبـی است که روزانـه در فعالیت‌های خانگی به صورت مستقیم مصرف می‌شود.

در فرآیند تولید مایحتاج خانواده‌ها، به‌ویژه برای تولید چیزهایی مثل غذا، کاغذ و پنبه، آب زیادی مصرف می‌شود. این آب، از دید مصرف‌کنندگان پنهان است، زیرا زنجیره‌ی تأمین برای بسیاری از این کالاها، ریشه در اقصی‌نقاط جهان دارد. امروزه، ۵۶ درصد از ۷/۷ میلیارد نفر جمعیت جهان، در مناطق شهری زندگی می‌کنند؛ نرخ شهرنشینی در مناطق توسعه‌یافته‌تر حتی به ۷۹ درصد نیز می‌رسد (UN, 2017). این در حالی است که محل اصلی مصرف آبی که در کشاورزی، و یا تا حد کمتر در فعالیت‌های صنعت و معدن مصرف می‌شود، جایی خارج از محل زندگی این افراد بوده و از چشم آن‌ها پنهان است. در زندگی روزمره، نمی‌توان آب مصرفی یا آلوده شده در فرآیند تولید مایحتاجمان را دید. یک دسته‌گلی که در اروپا خریداری می‌شود، ممکن است از کنیا، اتیوپی، کلمبیا، اکوآدور یا اسرائیل وارد شده باشد؛ جایی که آب زیای برای پرورش این گل‌ها مصرف می‌شود. ممکن است شلوار جینی که در آمریکا خریداری می‌شود، در چین تولید شده باشد؛ کشوری که رنگرزی منسوجات باعثِ آلودگی نهرهایش شده است. احتمالاً پنبه‌ی مورد نیاز برای تولید این شلوار از هند و پاکستان به چین وارد می‌شود؛ کشورهایی که برای آبیاری مزارع پنبه، برداشت‌های بی‌رویه و فراتر از حد مجاز از منابع آب آبی انجام می‌دهند. در بسیاری از مواقع، هزینه‌های مربوط به مصرف و آلودگی آب، به سختی و یا اصلاً در قیمت کالاهای تولیدی لحاظ نمی‌شود. در نتیجه، مردم در سرتاسر جهان، بدون این که کوچک‌ترین اطلاعی از ردپای آب کلی خود داشته باشند، در حال مصرف منابع آبی جهان هستند.

این کتاب بر اساس این مبنای فکری نوشته شده است که لازمه‌ی دستیابی به تخصیص و مصرف پایدار آب در جهان، گسترش دانش عمومی از ردپای آب موردنیاز برای تأمین کالاهای مصرفی روزانه می‌باشد. هدف این کتاب آن است که با مروری بر ردپای آب طیف گسترده‌ای از کالاها، از نان گرفته تا گوشت تا سوخت و گل، در افزایش چنین دانشی سهیم باشد. برای اغلب مردم، حتی متخصصانی که در بخش آب کار می‌کنند، ردپای آب مفهومی جدید است. عده‌ای مفهوم ردپای کربنِ کالاها و خدمات را شنیده و برخی ممکن است با مفهوم ردپای اکولوژیک نیز آشنا باشند. ردپای آب نیز مشابه مفهومِ دیگر ردپاهاست (Hoekstra, 2009; Galli *et al*., 2011). ایده‌ی اصلی آن است که ما به میزان مصرف منابع و ظرفیت جذب محیطزیست[1] در کل زنجیره‌ی تأمین توجه نمودیم. ردپای اکولوژیکی، میزان فضای مولد مورد نیاز را بر حسب هکتار تعیین می‌کند. ردپای کربن، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را به صورت معادلِ گاز دی‌اکسیدکربن اندازه‌گیری می‌کند. ردپای آب نیز میزان مصرف و آلودگی منابع آب شیرین را بر حسب مترمکعب اندازه‌گیری می‌کند. ردپای آب یک کالا، کل حجم آب شیرین استفاده شده (اعم از مصرفی یا آلوده شده) برای تولید آن کالا در کل زنجیره‌ی تأمینش می‌باشد. ردپای آب یک فرد یا یک جامعه، کل حجم آب شیرینی است که برای تولید کالاهای متنوع مصرفی و ارایه‌ی خدمات مختلف به آن فرد یا جامعه استفاده می‌شود.

من مفهوم ردپای آب را در سال ۲۰۰۲ معرفی نموده و از آن پس، تا سال ۲۰۰۵ در بخشِ آموزشِ موسسه‌ی UNESCO-IHE و سپس در دانشگاه توئنته در هلند روی آن کار کردم. در حال حاضر، این مفهوم و متدولوژی‌اش به خوبی در متون علمی جا افتاده است. تمایل به استفاده از مفهوم ردپای آب از سال ۲۰۰۷ به بعد در میان محققان، شرکت‌ها و موسسات دولتی و غیردولتی در حال افزایش است. به سبب گزارش‌هایی که در دروزنامه‌هایی مانند نیویورک‌تایمز، وال‌استریت ژورنال، گاردین و تایمز و در مجلات محبوبی مانند نشنال ژئوگرافیک چاپ شد، مفهوم ردپای آب راه خود را در میان مخاطبان بیش‌تری در سراسر جهان باز نمود. سالانه، بین ۰/۵ تا ۱ میلیون نفر از وبسایت شبکه‌ی ردپای آب[2] دیدن می‌کنند. علاقه‌ی روزافزون به کابرد مفهوم ردپای آب، ریشه در این واقعیت دارد که تاثیر انسان بر سیستم‌های آبی کاملاً متأثر از الگوی مصرف وی بوده و ردپای آب، با تکیه بر کل زنجیره‌ی تولید و تأمین، درک مسایلی همچون کمبود یا آلودگی آب را ساده‌تر می‌سازد. امروزه ثابت شده که رابطه‌ی نزدیکی بین شدت برداشت و آلودگی آب با ساختار اقتصاد جهانی وجود دارد. کشورهای بسیاری هستند که بخش زیادی از ردپای آب آن‌ها در خارج از کشورشان واقع شده و کالاهای آب‌بر را از جاهای دیگر وارد می‌کنند. این مسأله، باعث فشار بر منابع آبی در کشورهای صادرکننده می‌گردد؛

1 Assimilation capacity of the environment
2 Water Footprint Network (WFN)

همان کشورهایی که معمولاً فاقد مکانیسم‌هایی برای حکمرانی عاقلانه و حفاظت از منابع آبی هستند. نه تنها دولت‌ها به نقش خود در مدیریتِ بهترِ منابع آبی پی برده‌اند، بلکه کسب‌وکارها و سازمان‌های خدمات عمومی نیز به نقش خود در تعامل با تمامی ذی‌نفعانِ دخیل در مصرف و مدیریت آب واقف شده‌اند. سوالی که امروزه توسط عده‌ی زیادی از متخصصان پرسیده می‌شود این است: نحوه‌ی اجرای صحیحِ ارزیابی ردپای آب در کشور یا سازمانم چگونه است؟ چه‌طور مکان‌هایی که ردپای آب در آن‌ها، بیش‌ترین تبعات منفی دارند را بیابم؟ چگونه ردپای آب را در چنین مکان‌هایی کاهش دهم؟ این کتاب، جایگزینِ کتاب جهانی‌سازی آب[1] است که با همکاری آشوک چاپاگین در سال ۲۰۰۸ توسط انتشارات بلک‌ول[2] چاپ کردم. درآن کتاب این بحث را مطرح- نمودیم که آب، منبعی جهانی بوده و حکمرانی عاقلانه‌ی آب، ابعادی فراتر از سطح یک حوضه‌ی آبریز دارد. پس از آن، هم نظرات مثبت و هم انتقادهای بسیاری دریافت کردیم. برخی از همکاران ما در رشته‌ی آب، کاملاً با ایده‌ی جهانی بودن آب مخالف بوده و مدیریت منابع آب را مسأله‌ای محلی و یا حداکثر ملی می‌دانند. این گروه، تعاملات بین‌المللی برای حکمرانی آب را تنها برای حوضه‌های مرزی لازم دانسته‌اند. گروهی دیگر، از این حیث مخالفِ عبارت "آب منبعی جهانی است" می‌باشند که در آن، به این واقعیت که موجودیت و نیاز آبی از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند، توجهی نشده است. آن‌ها این مسأله را در نظر نگرفتند که ما گفتیم کمبود آب، داری بُعدی جهانی و فراتر از بُعد محلی‌اش می‌باشد؛ به عبارتی ما بعد محلی را هم در نظر گرفته‌ایم.

به هرحال، هیچ دلیلی برای رد این ایده که مسأله‌ی محافظت از منابع آب دارای ابعاد جهانی نیز می‌باشد، وجود ندارد؛ به همین دلیل، کتاب حاضر بر این اصل استوار شد. به این نسخه‌ی جدید، برخی مطالعات موردی که پس از تدوین کتاب جهانی‌شدن آب صورت گرفت، اضافه شدند. ردپای آب برخی کالاها به تفصیل مورد بحث قرار گرفت. از آنجایی‌که بخش زیادی از منابع آب جهان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، در این کتاب توجه بیش‌تری به کالاهایی با پایه‌ی کشاورزی شده است. نمونه‌ای از این کالاها شامل نوشابه، نان، پاستا، گوشت، پنبه، سوخت‌های زیستی و گل‌های شاخه‌بریده می‌باشند. همچنین، ردپای آب کاغذ و انواع انرژی نیز تحلیل شده است. برای کاغذ، علاوه بر محاسبه‌ی ردپای آب در فرآیند فرآوری کاغذ، ردپای آب برای تولید چوب در مرحله‌ی جنگل‌داری نیز محاسبه شده است. اگرچه ارایه‌ی نمونه‌هایی از محاسبات تفصیلی ردپای آب برای برخی کالاهای صنعتی که در فرآیند تولید آن‌ها، از منابعِ طبیعیِ استخراج‌شده در معادن استفاده می‌شود نیز مطلوب بود، اما چنین مطالعاتی هنوز وجود ندارند. نبود چنین داده‌هایی تا حدی به این دلیل است که برای تولید کالاهای صنعتی، مواد

1 Globalization of Water
2 Blackwell

اولیه‌ی متنوعی نیاز است که هریک، زنجیره‌ی تأمین خود را داشته و در نتیجه، ارزیابی ردپای آب برای چنین کالاهایی بسیار دشوار و پیچیده است، اما چالشِ بزرگ‌تر آن است که اطلاعات خوبی در خصوص میزان مصرف و آلودگی آب در فعالیت‌های صنعت و معدن وجود ندارد. هرچند، مطمئنم این مشکل به مرور زمان حل خواهد شد، زیرا چاره‌ای جز این وجود نخواهد داشت.

کتاب حاضر را می‌توان به همراه کتاب دستورالعمل ارزیابی ردپای آب[1] خواند (Hoekstra *et al*., 2011). دومی، یک کتاب فنی و تکنیکی است که شامل استاندارد جهانی ردپای آب بوده و تعاریف و روش‌های دقیق محاسباتی در آن ارایه شده است. در آن کتاب، تمامی مراحلی که حین ارزیابی ردپای آب وجود دارند، بررسی شده‌اند. چهار مرحله‌ی اصلی در این ارزیابی عبارتند از: (الف) تدوین هدف‌ها و تعیین محدوده‌ی ارزیابی ردپای آب؛ (ب) حسابداری ردپای آب که مربوط به محاسبه‌ی مقادیر مولفه‌های ردپای آب است؛ (ج) ارزیابی پایداری ردپای آب که به سوال اصلیِ متخصصان، که پیش‌تر بدان اشاره شد، پاسخ می‌دهد؛ و (د) تدوین توابع پاسخ که به این سوالات که چه باید کنیم، پاسخ می‌دهد. در این کتاب، بدون آن‌که مستقیماً در هر فصل به این موضوع اشاره کنم، از همان تعاریف و روش‌های محاسباتیِ موجود در کتاب دستورالعمل ارزیابی ردپای آب استفاده کردم. برای بررسی جنبه‌های فنی ارزیابی ردپای آب، به خوانندگان توصیه می‌کنم کتاب دستورالعمل ارزیابی ردپای آب و روش‌شناسی مقالات پایه‌ای که در هر فصل بررسی می‌شوند را مطالعه نمایند.

1 The Water Footprint Assessment Manual

پیش‌گفتار نسخه‌ی دوم

از زمانی که نسخه‌ی اول این کتاب نوشته شد تا کنون، اهمیت این سوال که چگونه ردپای آب خود را به سطحی پایدار برسانیم، بیش‌تر شده است. کمبود آب شیرین، به طور فزاینده‌ای، مخاطره‌ای سیستماتیک جهانی شناخته شده است. مجمع جهانی اقتصاد در هشت گزارش اخیر خود از سال ۲۰۱۲ به بعد، که درباره‌ی ریسک‌های سالانه به چاپ رسانده، بحران آب را یکی از پنج خطر اصلی برای اقتصاد جهانی از نظر میزان اثرات بالقوه‌اش بر این بخش برشمرده است (WEF, 2019). تخمین‌های ما نشان می‌دهد که حدود دو–سوم از جمعیت جهان در مکان‌هایی زندگی می‌کنند که حداقل در یک ماه از سال، کمبود آب شدید وجود دارد (Mekonnen and Hoekstra, 2016). تقریباً نیمی از این افراد در چین و هند زندگی می‌کنند. حدود نیم میلیون از جمعیت جهان، در تمام ماه‌های سال با کمبود آب شدید مواجه هستند.

مصرف بی‌رویه‌ی آب در بخش‌های زیادی از جهان وجود دارد. رودخانه‌هایی مانند رودخانه‌ی زرد در چین و رودخانه‌ی کلرادو در آمریکا خیلی به ندرت، به اقیانوس می‌رسند. در طول مسیر، از آب این رودخانه‌ها برای تأمین نیازهای آبی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شرب برداشت می‌شود. دریای آرال در آسیای مرکزی و دریاچه‌ی ارومیه در ایران، به‌واسطه‌ی مصارف بی‌رویه‌ی آب در حوضه‌های آبریز خود تقریباً ناپدید شده‌اند. مخازن آب‌های زیرزمینی نیز با سرعت نگران‌کننده‌ای در تمام قاره‌ها در حال تخلیه هستند؛ برای مثال، ایالات متحده‌ی آمریکا در حال برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های دشت‌های مرتفع و دره‌ی مرکزی[1]، هند و پاکستان از آبخوان‌های گنگ بالا و ایندوس پایین[2] و چین از آبخوان‌های چین شمالی می‌باشند. معمولاً در این نواحی، نرخ برداشت بین ۱۰ تا ۵۰ برابر بیش‌تر از نرخ تغذیه‌ی آبخوان است (Dalin *et al*., 2017). در بسیاری از مناطق جهان، مانند یمن، سطح آب زیرزمینی با سرعت یک متر در سال در حال افت است. آلودگی آب نیز به مشکلی فراگیر تبدیل شده است. کودها و آفت‌کش‌ها از اراضی کشاورزی به رودخانه‌ها دفع شده و کیفیت استاندارد آن‌ها را تخریب می‌کنند، بدون آنکه اقدامی جدی توسط مسئولان برای رفع این چالش صورت بگیرد. بسیاری از نهرها در کشورهای بنگلادش و چین، به دلیل دفع فاضلاب از کارخانه‌های نساجی، به رنگ‌هایی چون قرمز، بنفش یا آبی درآمده‌اند که این رنگ‌ها، به آخرین مد غرب بستگی دارد.

---

1 High Plains and Central Valleys Aquifers
2 Upper Gangs and Lower Indus Aquifers

برخی از جمعیت (از جمله خودم) در نواحی پربارش زندگی می‌کنیم و این گونه به نظر می‌رسد که مشکل کمبود آب نداریم. این در حالی است که ما فراتر از تصورِ بسیاری از افراد، در بروز تنش آبی در جهان سهیم هستیم. حدود ۴۰ درصد از ردپای آب مصرف‌کنندگان اروپایی در خارج از قاره‌ی آن‌ها، و اغلب در مکان‌هایی با چالش‌های آبی شدید واقع شده است. بخش زیادی از غذا و دیگر کالاهای مصرفی ما از کشورهای کم‌آب وارد می‌شوند. به‌ویژه تولید غذا فرآیندی بسیار آب‌بر است. برای تولید یک استیکِ ۲۰۰ گرمی، به طور متوسط ۳۰۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود. بخش زیادی از علوفه‌ی دام و غذا برای مصارف مستقیم ما، وارداتی بوده و اغلب از مکان‌های کم‌آب تأمین می‌شوند؛ به عنوان مثال، محاسبات ما نشان می‌دهد که حدود ۵۰ درصد از ردپای آبِ مصرف‌کنندگان انگلستانی در حوضه‌های آبریزی در خارج از این کشور قرار دارد که درآن‌ها، مصارف آبی ناپایدار است (Hoekstra and Mekonnen, 2016).

اگرچه چالش‌های مربوط به برداشت بی‌رویه و آلودگی آب سال‌هاست که وجود دارد، اما هنوز اقدام مناسبی برای مهار آن پیدا نشده است. در این کتاب، مجموعه‌ای از اقدامات برای مصارف پایدار آبی پیشنهاد کردم. اول آن‌که، دولت‌ها موظفند برای تمامی حوضه‌های آبریز و آبخوان‌ها در جهان، سقف ردپای آب تعیین کنند. این سقف‌ها برای تعیین میزان مصرف مجاز در حوضه‌های آبریز و آبخوان‌ها ضروری می‌باشند. سقف ردپای آب در هر مکانی، به وضعیت آب در دسترس در آن مکان بستگی داشته و در طول سال، متغیر است؛ به نحوی که مصارف پایدار آبی در دوره‌های خشک، حداقل و در دوره‌های مرطوب، حداکثر است. علاوه بر آن، تمام آب موجود در یک حوضه‌ی آبریز یا آبخوان، قابل مصرف توسط بشر نیست. بخش زیادی از این منابع باید برای بقای اکوسیستم و حمایت از گروهی که معیشت آن‌ها به آب وابسته است، رها شود. همچنین، سقف‌های ردپای آب می‌تواند برای تعیین حداکثر آلودگی مجاز برای دفع به منابع آبی نیز استفاده شود، زیرا این حد آلودگی، به ظرفیت پذیرش منابع بستگی دارد. وقتی سقف‌های ردپای آب تعیین شد، باید مطمئن شویم که تعداد مجوزهای ردپای آب[1] که برای کاربران آب صادر می‌شود، فراتر از حد مجاز نرود. فقط از این راه می‌توان اطمینان داشت که مجموع آب مصرفی و مجموع آلودگیِ دفع شده به منابع آبی، از حدود پایدارش بیش‌تر نمی‌شود. باید بدانیم تا زمانی که آب مصرف‌شده پس از تصفیه به منبعی که از آن برداشت شده است، بازگردد، مصرف آب الزاماً یک چالش نخواهد بود. بنابراین، ردپای آب نیز تنها آب مصرفی –یعنی آبی که به منبعی که از آن برداشت شده است، باز نمی‌گردد– و حجم آب آلوده شده (یعنی آبی که قبل از دفع، تصفیه نمی‌شود) را اندازه‌گیری می‌کند.

1 Water footprint permits

دومین کاری که باید انجام شود، تدوین سطوح بنچ‌مارک ردپای آب برای تمامی مایحتاجی است که بسیار آب‌بر هستند؛ مثل غذا، نوشیدنی، لباس، گل‌های شاخه‌بریده و سوخت‌های زیستی. ما باید بهترین تکنولوژی‌ها و فعالیت‌هایی که باعث کاهش مصرف و آلودگی آب می‌شوند را ترویج کنیم. تلفات آب در کشاورزی و صنعت بسیار زیاد است. با تدوین سطوح بنچ‌مارک، می‌توان فهمید برای هر مرحله از تولید یک محصول و یا در کل زنجیره‌ی تولید آن، میزان منطقی آب مصرفی یا آلوده شده چه‌قدر است. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان داد که جایگزینی شیوه‌های قدیمی با شیوه‌های بهترِ موجود، می‌تواند میزان مصرف و آلودگی آب را در حد معنی‌داری کاهش دهد. اطلاع‌رسانی و دادن حق انتخاب به مصرف‌کنندگان بسیار عالی خواهد بود. امروزه، خرید کالاهای دوست‌دارِ آب[1] دشوار است، زیرا اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد. دولت‌ها باید شرکت‌ها را مجبور به درج اطلاعاتی نمایند که نشان دهد آیا در فرآیند تولید کالاهایشان، حداقل استانداردهایی رعایت شده است یا خیر و از این طریق، شفافیت اطلاعاتی در بین مردم را افزایش دهد. این مسأله نه تنها به نفع مصرف‌کنندگان نهایی است، بلکـه به نفع کسـب‌وکارهایـی که تمایـل به مصرف پایـدار منابع دارند نیز می‌باشد. بنچ‌مارک‌های ردپای آب، ابزار مفیدی برای برای صدور مجـوزهای ردپـای آب توسـط دولت نیـز خواهد بود، زیرا می‌توان بر اساس آن‌ها، ردپـاهای آب مجاز برای تولید نوع معینی کالا را به مقادیری منطقی محدود نمود.

سومین چیزی که باید انجام شود، ترویج و توسعه‌ی مصارف عادلانه‌ی آب در تمام جوامع است. ردپای آب افراد در آمریکا و اروپای جنوبی، بیش‌تر از ۲ برابر میانگین جهانی است. از آنجایی‌که سرانه‌ی آب موجود در جهان محدود است، باید آن به صورت عادلانه بین همه توزیع نموده و تعیین کنیم که مقدار منطقیِ ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم افراد چه‌قدر می‌تواند باشد. این کار نیازمند اقداماتی سیاسی در سطوح بالا بوده و بدون شک، اختلاف‌نظرهای گسترده‌ای حول آن شکل خواهد گرفت. می‌توان همان بحث‌ها و مناظراتی که برای چگونگی کاهش تغییراقلیم در جهان مطرح شد را در این مورد نیز انتظار داشت. با توجه به رشد جمعیت، اگر بخواهیم ردپای آب خود را پایدار نموده و از افزایش آتی آن جلوگیری کنیم، باید سرانه‌ی ردپای آب در دنیا، از ۱۳۸۵ مترمکعب در سال ۲۰۰۰ به ۷۶۰ مترمکعب در سال ۲۱۰۰ برسد. اگرچه با این سرانه مصرف قطعاً زنده خواهیم ماند، اما بسیاری از ما باید با تغییر اساسی الگوهای مصرف خود، مصارف مستقیم و غیرمستقیم آب خود را کاهش دهیم. اگر برای تمام مردم جهان، سهم یکسانی در ردپای آب در نظر بگیریم (سرانه‌ی ثابت)، آن‌گاه ساکنان چین و هند باید سرانه‌ی ردپای آب خود را ۳۰ درصد نسبت به سال ۲۰۰۰ کاهش دهند. با توجه به این واقعیت

---

۱ توضیح مترجم: منظور کالاهایی است که آب به صورت کارآمد و پایدار در فرآیند تولید آن‌ها مصرف می‌شود.

که در حال حاضر، مصرف آب در این جوامع رو به رشد است، چنین کاهشی در سرانه‌ی ردپای آب امری دشوار و چالش‌برانگیز خواهد بود. این مسأله برای آمریکا بسیار سخت‌تر است، زیرا ساکنانش باید سرانه ردپای آب خود را ۷۳ درصد کاهش دهند. اتخاذ تکنولوژی‌های برتر به تنهایی کافی نخواهد بود و مردم نیز مجبورند الگوی مصرف خود را تغییر دهند. کارهای ساده، مثل کاهش مدت زمان دوش گرفتن از ۱۰ دقیقه به ۵ دقیقه خوب است، اما کافی نیست، زیرا ردپای آب مصارف خانگی افراد، تنها ۱ تا ۴ درصد از کل ردپای آب آن‌ها را شامل می‌شود. باقی این مقدار مربوط به کالاهای مصرفی‌شان، به‌ویژه غذا می‌باشد. در بسیاری از کشورها، ۳۰ تا ۴۵ درصد از ردپای آب غیرمستقیم افراد مربوط به مصرف گوشت و فرآورده‌های لبنی است. مصرف کم‌تر گوشت و یا تغییر به سمت رژیم‌های گیاه‌خواری یا وگان، اقدام موثرتری برای صرفه‌جویی آب خواهد بود.

در نسخه‌ی دوم این کتاب، سه فصل جدید اضافه شده و سایر فصل‌ها نیز بر اساس منابعی که پس از نسخه‌ی اول به چاپ رسیدند، بروزرسانی شدند. در اولین فصلی که به نسخه دوم اضافه شد (فصل اول)، در ردپای آب ما به عنوان بخشی از یک دیدگاه وسیع‌تر شامل کل ردپای آب زیست‌محیطی بشر در نظر گرفته شده است. ردپای آب ما، تنها یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی مهم در جهان امروز است. زمین با تغییراقلیم، جنگل‌زدایی مداوم، خردشدن زیست‌گاه‌ها و افت تنوع زیستی مواجه هستیم و هنوز مقدار زیادی از زباله‌های ما (از مصالح ساختمانی، پلاستیک و فلزات سنگین گرفته تا کودها، آفت‌کش‌ها و داروها) به جای بازیافت، به طبیعت تخلیه می‌شوند. به‌رغم تمام مباحثه‌های عمومی، توجه روز افزون دولت‌ها، شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان فردی و برگزاری تعداد زیادی جلسات بین‌المللی و میزگردهای دوره‌ای، ما هنوز نتوانستیم ردپای کربن خود را کاهش دهیم. علاوه بر آن، اقتصاد ما هنوز یک اقتصاد خطی است که در آن، ردپای مواد مرتب در حال افزایش است؛ به همین دلیل، بخش زیادی از طبیعت به دلیل استخراج مواد از معادن تخریب می‌شوند؛ در حالی‌که زباله‌ها هم‌چنان در آن دپو می‌گردد. ما راه زیادی برای حرکت به سمت اقتصاد چرخشی در پیش داریم. اقتصادی که در آن، بازیافت و استفاده‌ی مجدد از مواد، امری عادی است. فصل دوم، از آن رو به نسخه‌ی جدید اضافه شده که تاریخچه‌ای از ردپای آب، که به لطف تحقیقات مداوم در حد قابل‌توجهی تکامل یافته است، ارایه شود. فصل ۱۱ از نسخه‌ی اول این کتاب، تکمیل شد و به صورت دو فصل مجزا (فصل‌های ۱۳ و ۱۴) به نسخه‌ی جدید اضافه شد. سایر فصل‌ها نیز بر اساس مطالب جدید بروزرسانی شدند. تغییرات ایجاد شده در این نسخه در مقایسه با نسخه‌ی اول، تفکر حاکم در کتاب را تغییر نداده است، بلکه به شواهدی که تاییدکننده‌ی این استدلال‌هاست، افزوده است.

خوشبختانه این کتاب، نقش مهمی در افزایش آگاهی و ایجاد انگیزه برای تحقیقات بعدی دارد. با این حال، مهم‌تر از همه، امیدوارم الهام‌بخش اقداماتی باشم که باعث کاهش ردپای آب ما در تمام حوضه‌های آبریز به سطوح پایدار، افزایش چشمگیر کارآیی مصرف آب و در نتیجه، تقسیم عادلانه‌تر منابع آبی محدودمان بین جمعیت جهان شود.

قدردانی

برای نگارش این کتاب از منابعی استفاده کردم که اغلب آن‌ها را با کمک همکارانم نوشتیم و نیز وامدار افراد بسیاری از تیم تحقیقاتی خود هستم که به طور غیرمستقیم، به نوشتن این کتاب کمک کردند. به‌ویژه، از مسفین مکونن، ارتوگ ارسین، مایت آلدایا، وینه خربنس–لینس، پیتر فن‌اول، یوپ شینس و رک هوخبوم سپاسگزارم. اجازه دهید توضیح دهم که چگونه فصل‌های مختلف این کتاب، بر اساس پژوهش‌های پیشین من و همکارانم شکل گرفت. برای نوشتنِ پیش‌گفتار نسخه‌ی دوم، من از بخشی از مطالب خودم در کرونیکل سازمان ملل استفاده کردم (Hoekstra, 2018c). فصل یک– که به بحث پیرامون ردپای آب در کنار سایر ردپاهای زیست‌محیطی می‌پردازد برگرفته از مقاله‌ی چاپ شده در مجله‌ی Science است که با تامی ویدمن از دانشگاه نیوسات والز در سیدنی نوشتیم (Hoekstra and Wiedmann, 2014). فصل دوم، پیرامون تاریخچه‌ی ردپای آب بوده و با استفاده از یک مقاله‌ی مروری چاپ‌شده در مجله‌ی Water Resources Management درباره‌ی ردپای آب نوشته شد (Hoekstra, 2017a). مطالب فصل سوم، در پاسخ به این سوال نوشته شده که چرا ما منابع آبی محدود خود را بی‌رویه برداشت می‌کنیم. مطالب این فصل تا حد زیادی نوین می‌باشد، اما در بخش‌هایی از آن، از مطالبِ مربوط به یکی از قسمت‌های مقاله‌ی پیشین خود استفاده کردم (Hoekstra, 2011b). فصل چهار، درباره‌ی ردپای آب نوشیدنی‌هاست و مطالب آن، تا حد زیادی برگرفته از مقاله‌ای است که در مجله‌ی Water Resources Management چاپ شده است (Ercin *et al*., 2011). برای نوشتن فصل پنج پیرامون ردپای آب نان و پاستا، من از مقاله‌ی منتشرشده در مجله‌ی Hydrology and Earth System Sciences درباره‌ی ردپای آب گندم (Mekonnen and Hoekstra, 2010) و مقاله‌ی منتشر شده در مجله Agricultural Systems درباره‌ی ردپای آب پاستا (Aldaya and Hoekstra, 2010) استفاده کردم. فصل شش مربوط به ردپای آب گوشت و فرآورده‌های دامی بوده و با استفاده از فصلی از کتاب منتشرشده توسط Earthscan با عنوان "بحران گوشت" (Hoekstra, 2010a, 2017b) و یک مقاله‌ی منتشرشده در مجله‌ی Animal Frontiers (Hoekstra, 2012a) نوشته شد. این فصل به شدت مبتنی بر آمار و ارقامی است که در مجله‌ی Ecosystems چاپ شده است (Mekonnen and Hoekstra, 2012a). برای نگارش فصل هفت درباره‌ی ردپای آب پنبه، من از مقاله‌ی چاپ‌شده در مجله‌ی Hydrology and Earth System Sciences (Mekonnen and Hoekstra, 2011a) و گزارشی که از سوی موسسه‌ی UNESCO-IHE چاپ شد (Aldaya *et al*., 2010b)، استفاده کردم. برای نوشتن فصل هشت درباره‌ی انرژی، از مجموعه‌ای از مقالات به شرح ذیل استفاده شد: برخی مقالات درباره‌ی آب

مورد نیاز برای تولید سوخت‌های زیستی نسل اول (Gerbens-Leenes *et al*., 2009a, 2009b; Mekonnen and Hoekstra, 2011a; Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2011) و سوخت‌های زیستی نسل‌های بعدی (Gerbens-Leenes *et al*., 2014; Mathioudakis *et al*., 2017)؛ یک مقاله روی آب مصرفی برای تولید هیزم (Schyns *et al*., 2017)؛ دو مقاله درباره‌ی آب مصرفی در برقابی (Mekonnen and Hoekstra, 2012b; Hogeboom *et al*., 2018b)؛ و دو مقاله درباره‌ی ردپای آب در ترکیب انرژیِ استفاده شده برای تولید الکتریسیته (Mekonnen *et al*., 2015a, 2016). فصل ۹ درباره‌ی ردپای آب گل‌های شاخه‌بریده، بر اساس مقاله‌ی چاپ‌شده در مجله‌ی Water Resources Management درباره‌ی صنعت گل در کنیا نوشته شد (Mekonnen *et al*., 2012). فصل ۱۰ درباره‌ی ردپای آب کاغذ بر اساس مقاله‌ی چاپ‌شده در مجله‌ی Water Resources Management (Van Oel and Hoekstra, 2012) و قسمت آخر این فصل بر اساس مطالب مقاله‌ی چاپ‌شده در مجله‌ی Advances in Water Resources (Schyns *et al*., 2017) نوشته شده است. بخش عمده‌ای از مطالب فصل ۱۱، که به ایده‌ی تعیین سقف برای ردپای آب با هدف محدود نمودن مصارف آبی به حد پایدار می‌پردازد، جدید است. با این حال، این فصل، مشتمل بر نتایج اصلیِ دو مقاله درباره‌ی کمبود آب آبی در جهان (Hoekstra *et al*., 2012; Mekonnen and Hoekstra, 2016)، یک مقاله درباره‌ی کمبود آب سبز در جهان (Schyns *et al*., 2019) و سه مقاله درباره‌ی آلودگی ناشی از نیتروژن و فسفر در سرتاسر جهان (Liu *et al*., 2012; Mekonnen and Hoekstra, 2015; 2018) نیز می‌باشد. اغلب مطالب مندرج در فصل ۱۲ درباره‌ی کارآیی مصرف آب و ایده‌ی تدوین بنچ‌مارک‌های ردپای آب برای کالاها و همچنین مطالب ارایه‌شده در فصل ۱۳ درباره‌ی برابری، توزیع عادلانه‌ی ردپای آب در جوامع و نیاز به تغییر الگوی مصرف، جدید می‌باشند. این مسأله برای فصل ۱۴، که درباره‌ی چگونگی تخصیص عاقلانه‌ی منابع آب شیرین محدود جهان می‌باشد، نیز مصداق دارد. بخش آخر از فصل ۱۴، درباره‌ی اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل بوده و برگرفته از هوکسترا و همکاران (Hoekstra *et al*., 2017) می‌باشد. فصل ۱۵ در خصوص ارتباط بین آب و تجارت بوده و با استفاده از مطالب یک فصل از کتاب Edward Elgar's Handbook on Trade and the Environment (Hoekstra, 2008)، یک گزارش کارِ تدوین شده برای سازمان تجارت جهانی (Hoekstra, 2010b) و یک مقاله از مجموعه مقالات ارایه شده در کارگاه تخصصی حسابداری کمبود و آلودگی آب در قوانین تجارت بین‌المللی که در نوامبر ۲۰۱۰ در آمستردام برگزار شد (Hoekstra, 2011b) نوشته شده است. مطالب ارایه شده در فصل ۱۶ پیرامون نیاز به شفاف‌سازی اطلاعاتی کالاها و فصل ۱۷ درباره‌ی مسئولانِ ایجاد تغییرها نیز غالباً جدید می‌باشد.

از تمام اعضای گروه تحقیقاتی خود در دانشگاه توئنته، که یک فضای مهیج کاری برایم مهیا کردند، سپاسگزارم. از دانشکده‌ی فنی مهندسی برای تأمین منابع کافی برای استخدام نیروهای کاری و تحقق آرزوهایم، سپاسگزارم. دانشگاه توئنته، نقش کلیدی در ایجاد شبکه‌ی ردپای آب[1] و تأمین منابع مالی و همچنین حفظ انگیزه‌ای قوی در اعضای این شبکه در ابتدای راه آن داشته است. همچنین، از دیگر شرکای موسس شبکه‌ی ردپای آب شامل WWF، سازمان حفاظت جهانی[2]، موسسه‌ی آموزش آب UNESCO-IHE، شورای جهانی کسب‌وکار برای توسعه‌ی پایدار[3]، شرکت مالی بین‌المللی[4]، NWP[5] و بنیاد آب–خنثی[6] تشکر می‌کنم. پایه‌گذاری شبکه‌ی ردپای آب، نقش مهم و مفیدی در ساده‌سازی و افزایش علاقه‌مندی‌های جهانی به کاربرد ارزیابی ردپای آب و تبدیل آن به ابزاری کارآمد برای حفاظت از منابع آب شیرین داشته است. من از تمامی شرکای سازمانی و تمامی اعضای حرفه‌ای این شبکه به خاطر کمک به توسعه‌ی زمینه‌ی کاری ارزیابی ردپای آب در طول یک دهه‌ی گذشته سپاسگزارم. از تمام کارکنان و همکاران شبکه‌ی ردپای آب که در طول این سال‌ها با آن‌ها کار کرده‌ام، تشکر می‌کنم. شما این شبکه را به محیطی پویا و سازنده برای یادگیری تبدیل کردید. علاوه بر آن، از Tim Hardwick در انتشارات Earthscan، که بخشی از گروه Taylor & Francis می‌باشد، برای تعهد بلندمدت‌شان و تشویق من به نگارش نسخه‌ی دوم این کتاب سپاسگزارم.

از پدر و مادرم ، Jaap و Wik برای عشق و حمایتشان و تشویق من به داشتن تفکری مستقل و انتقادی تشکر می‌کنم. به خاطر عشق، صبر و حمایت همسرم در تمام این سال‌ها و همه‌ی خلاقیت‌های او در خانه‌مان از او صمیمانه تشکر می‌کنم و به او عشق می‌ورزم. در نهایت، از فرزندانم، Joppe ، Lieke و Mette برای تمام سرگرمی‌هایی که با هم داریم و تمام رنگ‌هایی که به زندگی ما آوردند، تشکر می‌کنم.

آرین هوکسترا
انسخده؛ هلند

1 Water Footprint Network (WFN)
2 Global Conservation Organization
3 the World Business Council for Sustainable Development
4 International Finance Corporation
5 The Netherlands Water Partnership (NWP)
6 Water Neutral Foundation

فهرست مطالب

	عنوان	صفحه
۱	فصل اول: ردپای زیست‌محیطیِ گونه‌های بشری	۱
۲	فصل دوم: تاریخچه‌ی مختصری از ایده‌ی ردپای آب	۲۳
۳	فصل سوم: چرا ما از منابع آب شیرین محدود خود، بی‌رویه بهره‌برداری می‌کنیم؟	۴۵
۴	فصل چهارم: نوشیدن ۱۰ وان آب در یک روز	۶۳
۵	فصل پنجم: آب برای نان و پاستا	۸۳
۶	فصل ششم: گوشت و لبنیات، بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب	۱۱۱
۷	فصل هفتم: چگونه لباس‌های نخی ما، باعث ناپدید شدن دریاها می‌شوند؟	۱۲۷
۸	فصل هشتم: تغییر منابع انرژی: چگونه باعث کاهش توأمان ردپای آب و کربن شویم؟	۱۴۳
۹	فصل نهم: ردپای آب گل‌های شاخه‌بریده در خارج از کشور	۱۷۱
۱۰	فصل دهم: ردپای آب کاغذ در زنجیره‌ی تأمین	۱۸۹
۱۱	فصل یازدهم: پایداری: سطوح ردپای آب مجاز برای هر منبع آبی	۲۰۹
۱۲	فصل دوازدهم: کارآیی: تدوین بنچ‌مارک ردپای آب برای هر محصول	۲۳۳
۱۳	فصل سیزدهم: برابری: سهمِ عادلانه‌ی جوامع از ردپای آب	۲۵۳
۱۴	فصل چهاردهم: تخصیص منابع آب شیرین محدود جهان	۲۷۵
۱۵	فصل پانزدهم: اخذ حق تجارت	۲۹۱
۱۶	فصل شانزدهم: شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول	۳۱۵
۱۷	فصل هفدهم: چه کسانی قهرمانانِ تغییر هستند؟	۳۳۳
۱۸	منابع	۳۴۷
۱۹	واژه‌نامه	۳۸۱

عناوین شکل‌ها **صفحه**

شکل ۱–۱. ردپای زیست‌محیطیِ بشر ۳
شکل ۱–۲. رابطه‌ی بین ردپاهای مختلف موجود ۳
شکل ۱–۳. چگونگی محاسبه‌ی ردپا در طول یک زنجیره‌ی تأمین ۸
شکل ۲–۱. شمای محاسبه‌ی ردپای آب برای یک واحد خاص ۳۱
شکل ۴–۱. ردپای آب کلِ یک بطریِ پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری حاوی نوشابه‌ی منتخب متناسب با نوع و محل تأمین شکر ۷۴
شکل ۵–۱. مقاصد اصلی صادرات آب مجازی (VWE) مربوط به گندم از محدوده‌ی اوگالالا در ایالات متحده‌ی آمریکا ۹۲
شکل ۵–۲. صرفه‌جویی جهانی آب در نتیجه‌ی مبادله‌ی گندم دوروم از فرانسه به مراکش در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶ ۹۷
شکل ۵–۳. شدت وابستگی کشورها به منابع آب خارجی برای مصارف گندم در بازه‌ی زمانی: ۲۰۰۵–۱۹۹۶ ۱۰۱
شکل ۶–۱. ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم در هر مرحله از رنجیره‌ی تأمین یک محصول حیوانی ۱۱۵
شکل ۷–۱. ردپای جهانی آب آبی مربوط به پنبه‌ی مصرفی در انگلستان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶. ۱۳۰
شکل ۷–۲. ناپدید شدن دریای آرال با توجه به وسعت دریا ۱۳۲
شکل ۸–۱. روش‌های معمول استفاده شده برای تبدیل زیست‌توده به انرژی ۱۴۷
شکل ۸–۲. میانگین جهانی ردپای سوخت‌های زیستی بر لیتر بر لیتر برای ۱۶ گیاه مختلف ۱۵۰
شکل ۹–۱. شمایی از زنجیره‌ی تأمین گل ۱۸۷
شکل ۱۰–۱. بیلان آب در کارخانه‌های خمیر و کاغذ در ایالات متحده‌ی آمریکا ۱۹۱
شکل ۱۱–۱. الگوی تخصیص منابع آب سبز و آبیِ جهان ۲۱۲
شکل ۱۳–۱. سرانه‌ی ردپای آب افراد در برخی کشورهای منتخب ۲۵۶
شکل ۱۳–۲. همگرا شدن فرضیِ ردپای آب مربوط به مصارف ملی در دو اقتصادِ برتر جهان (چین و آمریکا) به سمت سهمی برابر با حداکثر ردپای آب پایدار در جهان ۲۵۸
شکل ۱۴–۱. استفاده از منابع آب و زمین برای تأمین غذا و انرژی ۲۸۰
شکل ۱۴–۲. استفاده از شاخص ردپای آب برای پایش میزان دستیابی به زیرهدف‌های ۳–۶ و ۴–۶ در هدف شماره‌ی ۶ از اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل ۲۹۰
شکل ۱۵–۱. جریان خالص آب مجازی بین چهار ناحیه‌ی اصلیِ هند بر حسب میلیارد مترمکعب در سال در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱–۱۹۹۷ ۳۰۲

عناوین جدول‌ها **صفحه**

جدول ۴–۱. مواد اولیه و دیگر ورودی‌های استفاده شده برای تهیه یک بطریِ پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری حاوی نوشابه ۶۹
جدول ۴–۲. فهرست کالاهای منتخب برای تعیین ردپای آب بالاسری در زنجیره‌ی تأمین ۷۱
جدول ۴–۳. ردپای آب کل برای تولید یک بطریِ پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری نوشابه با استفاده از شکر به‌دست آمده از چغندر تولیدی در هلند ۷۲
جدول ۴–۴. میانگین جهانی ردپای آب برخی نوشیدنی‌ها ۸۲
جدول ۵–۱. ردپای آب مربوط به تولید گندم در بزرگ‌ترین کشورهای اصلی تولیدکننده‌ی گندم ۸۷
جدول ۵–۲. ردپای آب در فرآیند تولید گندم در برخی از حوضه‌های آبریز منتخب ۸۸
جدول ۵–۳. مقادیر جهانی ردپای آب در فرآیند تولید گندم در اراضی دیم و آبی ۹۰
جدول ۵–۴. ردپای آب در فرآیند تولید گندم و صادرات آب مجازی از محدوده‌ی اوگالالا ۹۲
جدول ۵–۵. صادرات و واردات ناخالص آب مجازی مربوط به مبادلات بین‌المللی فرآورده‌های گندم ۹۶
جدول ۵–۶. ردپای آب مربوط به گندم مصرفی در کشورهای اصلیِ مصرف‌کننده‌ی گندم ۱۰۰
جدول ۵–۷. شدت اعمال کود نیتروژن و ردپای آب خاکستری مربوط به آن در فرآیند تولید گندم در ایتالیا ۱۰۳
جدول ۵–۸. ردپای آب برای تولید گندم و آرد گندم در ایتالیا ۱۰۳
جدول ۶–۱. میانگین جهانی ردپای آب برای تولید فرآورده‌های گیاهی و حیوانی ۱۱۹
جدول ۶–۲. ردپای آب در سه رژیم غذایی مختلف در کشورهای صنعتی ۱۲۳
جدول ۷–۱. ردپای آب در آسیای مرکزی در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹ ۱۳۲
جدول ۷–۲. تبخیر–تعرق (ET)، آب مصرفی گیاه (CWU)، عملکرد محصول (Y)، تولید (Prod) و ردپای آب (WF) مربوط به پنبه در پنج کشور از آسیای مرکزی ۱۳۶
جدول ۷–۳. میانگین جهانی ردپای آب برای تولید الیاف گیاهی مختلف ۱۳۹
جدول ۸–۱. میانگین جهانی ردپای آب در فرآیند تولید سوخت‌های زیستی با استفاده از ۱۰ گیاه مولد بیواتانول و ۷ گیاه مولد بیودیزل ۱۴۹
جدول ۸–۲. ردپای آب حمل‌ونقل مسافر در اروپا تحت استفاده از سوخت‌های زیستی نسل اول ۱۵۸
جدول ۸–۳. ردپای آب مصرفی به ازای هر واحد الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از منابع مختلف انرژی در مراحل مختلف تولید ۱۶۷
جدول ۹–۱. گیاهان آبی کشت‌شده در اطراف دریاچه‌ی نایواشا در سال ۲۰۰۶ ۱۷۴
جدول ۹–۲. ردپای آب گیاهان پرورش یافته در حوضه دریاچه نایواشا در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۵–۱۹۹۶ ۱۷۶
جدول ۹–۳. ردپای آب گل رز در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۵–۱۹۹۶ ۱۷۷
جدول ۹–۴. آب مجازی صادراتی در ازای صادرات گل‌های شاخه‌بریده از حوضه دریاچه‌ی نایواشا در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۵–۱۹۹۶ ۱۷۸

جدول ۹–۵. ردپای آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا ۱۷۹
جدول ۹–۶. میانگین بلندمدتِ بیلانِ آب سالانه در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا ۱۷۹
جدول ۱۰–۱. میانگینِ ضریب تبدیلِ چوب به کاغذ ۱۹۶
جدول ۱۰–۲. نرخ استفاده از کاغذ بازیافتی در خمیرِ به‌دست آمده از کاغذ بازیافتی در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیر کاغذ ۱۹۷
جدول ۱۰–۳. سهم کشورهای مختلف در مجموع خمیرکاغذ تولیدی در جهان، سهمِ خمیرِ شیمیایی در مجموع خمیرکاغذ تولیدی، و مجموع تبخیر–تعرق سالانه‌یِ جنگل در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیرکاغذ در جهان ۱۹۹
جدول ۱۰–۴. مقادیر تخمین زده شده برای عملکرد چوب در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیرچوب ۲۰۱
جدول ۱۰–۵. ردپای آب چوب برداشت‌شده در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیرچوب ۲۰۲
جدول ۱۰–۶. ردپای آب کاغذ چاپ و تحریر با لحاظ درصد کاغذ بازیافتی در تولید خمیرکاغذ در کشورهای مختلف ۲۰۳
جدول ۱۰–۷. مقادیر سالانه‌ی تولید، وارادات، صادرات و مصرفِ خمیر و کاغذ در هلند ۲۰۵
جدول ۱۰–۸. ردپای آب کاغذ و فرآورده‌های کاغذی در هلند ۲۰۶
جدول ۱۰–۹. میانگینِ جهانی ردپای آب برای فرآورده‌های چوبی منتخب ۲۰۸
جدول ۱۱–۱. افرادی که در ماه‌های معینی از سال، با کمبود آب اندک، متوسط، شدید و بسیار شدید مواجه هستند ۲۲۰
جدول ۱۱–۲. سه دیدگاه در خصوص مصرف پایدار آب ۲۳۰
جدول ۱۱–۳. مثالی از اینکه چگونه می‌توان با افزایش بهره‌وری آب در یک حوضه‌ی پرآب (حوضه‌ی ب)، مانع برداشت بی‌رویه در یک حوضه‌ی آبریز کم‌آب (حوضه‌ی الف) شد ۲۳۱
جدول ۱۲–۱. سه دیدگاه در خصوص کارآیی مصرف آب ۲۴۴
جدول ۱۳–۱. سه دیدگاه برای استفاده‌ی عادلانه‌ی آب ۲۵۹
جدول ۱۴–۱. دیدگاه‌های مربوط به تخصیص آب ۲۷۸
جدول ۱۵–۱. نمونه‌هایی از کشورهایی که با تبادلاتِ بین‌المللی در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، منابع آب داخلی خود را حفظ نمودند ۲۹۶

فصل اول

ردپای زیست‌محیطیِ گونه‌های بشری

از اواخر قرن هجدهم، بشر، به سبب ایجاد تغییراتِ اساسی در کاربری اراضی، افزایشِ استفاده از منابع طبیعی و تولید فزاینده‌ی پسماند، باعثِ تغییراتی بی‌سابقه و ناپایدار در زمین شد. یکی از روش‌های اندازه‌گیریِ میزان فشارِ اعمال‌شده از سوی بشر بر طبیعت، محاسبه‌یِ "ردپای زیست‌محیطیِ"[1] اوست. این اصطلاح، سرلوحه‌ی تمامیِ مفاهیمِ ردپاهای مختلفی است که در طول دو دهه‌ی گذشته توسعه داده شده است. به دلیل محدودیت منابعِ طبیعی و ظرفیت جذب[2] پسماند آن‌ها، ردپای زیست‌محیطیِ کنونیِ بشر، پایدار نیست. ما، بخش زیادی از زمین را برای اهداف خود استفاده کرده و تنها بخش اندکی از آن را به طبیعت اختصاص می‌دهیم؛ در بسیاری از مکان‌ها، آب زیادی مصرف نموده و مقدار ناکافی‌ای از آن را برای بقای اکوسیستم‌ها رها می‌کنیم؛ همچنین، مواد و عناصر زیادی از زمین استخراج نموده و پس از مصرف، پسماندهای وافر خود را به محیط‌زیست دفع می‌کنیم.

مصارف منابع طبیعی اغلب بیش‌تر از نیاز ما بوده و در مقابل، با وجود تکنولوژی‌ها و اقدامات مطلوبِ موجود، حجم دفع پسماندِ ما به طبیعت بیش از حد انتظار است. همچنین، سهمِ گروهی از مردم در مجموع منابع طبیعی مصرفی، بسیار بیش‌تر از گروهی دیگر است. بنابراین، نه‌تنها باید به پایداری مصرف منابع، بلکه به کارآمدی و عدالت در مصرف آن‌ها نیز توجه نماییم. بررسی ردپاهای زمین، آب، انرژی، ماده و دیگر موارد، می‌تواند در درک این مطالب به ما کمک نماید. در این فصل، مروری بر ردپاهای مختلف داشته و در خصوص حدود پایدار آن‌ها صحبت خواهم نمود. در نهایت، برای کاهش ردپای آب زیست‌محیطیِ بشر به سطوح پایدار، باید تغییرات متحول‌کننده‌ی عمده‌ای در ساختار اقتصادی جهان رخ دهد. شرکت‌ها می‌توانند با استفاده‌ی کارآمدتر از منابع، در این زمینه به ایفای نقش بپردازند؛ مصرف‌کنندگان می‌توانند با اصلاح الگوی مصرف خود، سهمشان را ادا نمایند؛ و دولت، در وضع مقررات بهتر برای ایجاد انگیزه برای حرکت در مسیر صحیح و تشویق به استفاده‌ای عادلانه‌تر از منابع طبیعی در میان جوامع نقش عمده ای دارد.

وجه‌اشتراکِ تمامیِ ردپاهای زیست‌محیطی آن است که همه‌ی آن‌ها، سهم بشر را در استفاده از منابع طبیعی که منبع یا مخزنی محسوب می شود، بررسی می‌کنند (Hoekstra, 2009; Galli *et al*., 2011; Giljum *et al*., 2011; Fang *et al*., 2014). هر یک از این ردپاها، روی یک جنبه‌ی زیست‌محیطیِ خاص تمرکز می‌کند؛ مثلاً روی محدودیت زمین، محدودیت آب شیرین یا محدودیت ظرفیت زمین برای پذیرش یک آلاینده‌ی خاص. یک شاخص معین ردپا، می‌تواند وضعیت تخصیص منابع یا تولید پسماند و یا هر دو را اندازه‌گیری نماید (شکل ۱-۱). ردپاها، نشان‌دهنده‌ی میزان فشار بشر بر محیط‌زیست بوده و به درکِ تغییرات زیست‌محیطیِ نشأت‌گرفته از این فشارها (مثلاً، تغییرات

1 Environmental footprint
2 Assimilation capacity

کاربری اراضی، تخریب اراضی، کاهش جریان رودخانه‌ها، آلودگی آب، تغییراقلیم) و اثرات پس از آن، (مانند کاهش تنوع‌زیستی و یا اثرات آن‌ها بر سلامت بشر و یا اقتصاد) کمک می‌کنند.

شکل ۱– ۱. ردپای زیست‌محیطیِ بشر؛ این ردپاها، میزان استفاده از منابع طبیعی و دفع را اندازه‌گیری می‌کنند. میزان استفاده از منابع طبیعی باید با ظرفیت بازتولید زمین و مقادیر دفع، باید با ظرفیت پذیرش پسماندِ زمین مقایسه شود.

خانواده‌ی ردپای آب

اجازه دهید برخی از اجزای "خانواده‌ی ردپا"[1] را معرفی کنم آن‌هایی که در اغلب متون علمی دیده می‌شوند. "ردپای اکولوژیک"، اولین شاخص ردپا در این خانواده بوده که از سوی وکرناگل و ریس[2] (۱۹۹۶) توسعه داده شد. این شاخص، میزان بهره‌برداری از زمین که یک منبع تلقی می شود و همچنین، سطح زمین مورد نیاز برای جذب پسماند را نشان می‌دهد. مولفه‌ی اول یا میزان بهره‌برداری از زمین، همان مساحتی است که تحت پوشش مزراع، مراتع، پرورش آبزیان، ساختمان‌ها و جنگل‌داری می‌باشد. در مولفه‌ی دوم، یعنی زمین مورد نیاز برای جذب پسماندها، مساحت اراضیِ جنگلی مورد نیاز برای جذب دی‌اکسیدکربنِ منتشرشده به دلیل احتراق سوخت‌های فسیلی تعیین می‌شود. ردپای اکولوژیک ابتدا، بر حسب هکتار تعیین می‌شود، سپس، مساحت‌های واقعی با استفاده از نسبتِ بهره‌وریِ اکولوژیکی واقعی این اراضی به میانگین جهانی بهره‌وری بیولوژیکی در واحد سطح وزن‌دهی می‌شوند. از آنجایی‌که در تعیین ردپای اکولوژیکی، تنها به میزان بهره‌برداری از اراضی‌ای با پتانسیل تولید بیولوژیکی بر حسب هکتار توجه می‌شود، گاهی آن را "ردپای زمین"[3] نیز می‌نامند. این اصطلاح، از زمان توسعه‌ی دیگر شاخص‌های ردپا، محبوبیت بیش‌تری پیدا کرده است.

ردپای آب[4]، دومین شاخصِ ردپا است که من آن را در سال در سال ۲۰۰۲ معرفی کردم این شاخص، میزان مصرف آب شیرین که یک منبع در نظر گرفته می شود و نیز، میزان آب شیرین موردنیاز برای جذب پسماند را اندازه‌گیری می‌کند (Hoekstra, 2003; Hoekstra *et al*., 2011). ردپای آب دارای سه مولفه می‌باشد: ردپای آب سبز[5]، آبی[6] و خاکستری[7]. ردپای آب سبز میزان مصرف منابع آب سبز (آب باران) را نشان می‌دهد، در حالی‌که ردپای آب آبی، میزان مصرفِ منابع آب آبی (آب‌های سطحی و زیرزمینی) را نشان می‌دهد. واژه‌ی "مصرف"[8] در تعریف این دو ردپا، میزان کاهش آب‌های سطحی و زیرزمینیِ موجود در یک حوضه‌ی آبریز را نشان می‌دهد. این کاهش وقتی اتفاق می‌افتد که آب تبخیر می‌شود، به حوضه‌ی دیگر یا دریا بازمی‌گردد و یا در بطن محصول، جای‌سازی می‌شود. ردپای آب خاکستری، میزان آب موردنیاز برای پذیرش آلودگی‌های دفع‌شده به منابع آب شیرین به‌واسطه‌ی فعالیت‌های بشری را نشان می‌دهد.

1 Footprint family
2 Wackernagel and Rees
3 Land footprint
4 Water footprint
5 Green water footprint
6 Blue water footprint
7 Grey water footprint
8 Consumption

ردپـای کربـن[1] که گاهـی ردپـای اقلیـم[2] نیـز نامیـده شده و سابقـه‌ی آن به سـال ۲۰۰۵ بازمی‌گردد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر را اندازه‌گیری می‌کند (Wiedmann and Minx, 2008). ردپای کربن بر حسب مقدار معادلِ گاز دی‌اکسیدکربن[3] بیان می‌شود؛ علاوه بر دی‌اکسیدکربن، سایر گازهای منتشرشده حین این فعالیت‌ها مانند متان و دی‌اکسیدنیتروژن نیز متناسب با سهم‌شان در پیدایش گرمایش جهانی، بر حسبِ معادلِ گاز دی‌اکسیدکربن بیان می‌شوند. یکی از جدیدترین ردپاها، ردپای ماده‌ی خام است که میزان بهره‌برداری از منابع را تعیین نموده و روی استخراج مواد خام در معادن تمرکز می‌کند (Lettenmaier *et al*., 2009). دو مورد دیگر از ردپاهای جدیدی که مورد توجه قرار گرفته‌اند، ردپاهای فسفر و نیتروژن هستند. اگرچه آن‌ها به مثابه‌ی خواهر و برادر به نظر می‌رسند، اما کاملاً با هم فرق دارند، زیرا یکی از آن‌ها میزان استفاده از منابع و دیگری، میزان انتشار را اندازه‌گیری می‌کند. ردپای فسفر، به استخراج فسفر که منبعی کمیاب به شمار می‌آید، اشاره می‌کند (Wang *et al*., 2011). ردپای نیتروژن، به صورت میزان دفع نیتروژن فعال[4] به محیط‌زیست تعریف می‌شود. نیتروژن فعال، یک آلاینده‌ی مهم است که دفع آن به طبیعت، منتج به بروز پدیده‌ی اوتروفیکاسیون در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دریاها شده و اغلب با خسارت‌های اکولوژیکیِ زیادی همراه است (Leach *et al*., 2012).

یکی دیگر از ردپاهایی که تاکنون پیشنهاد شده، ردپای شیمیایی[5] می‌باشد که میزان دفع مواد شیمیایی مختلف به محیط‌زیست، هوا، آب و خاک را اندازه‌گیری می‌کند (Sala and Goralczyk, 2013; Zijp *et al*., 2014; Bjørn *et al*., 2014). در این مورد، مواد شیمیایی مختلف، بر اساس پتانسیـلِ آسیب‌رسانی‌شان، وزن‌دهی می‌شـوند. روش وزن‌دهـی در اینجـا تاحدی شبیـه روشی است که برای وزن‌دهی آلاینده‌های ورودیِ مختلف به منابع آب در ردپای آب خاکستری به کار گرفته می‌شود.

وقتی به این فهرست از ردپاها توجه نماییم، معلوم می‌شود که محدودیت اساسی‌ای در کاربرد این ردپاها وجود ندارد؛ ما می‌توانیم یک ردپای زیست‌محیطی را از جنبه‌های مختلفی تعریف کنیم. با این حال، همان‌گونه که در بالا اشاره شد، وجه اشتراکی بین تمامی این ردپاها وجود دارد. همه‌ی آن‌ها، میزان استفاده از منابع طبیعی و یا میزان دفع در زنجیرهای تأمین[6] را نشان داده و در نهایت، می‌توان با کمک این ردپاها، مجموع منابع مصرفی و دفع صورت‌گرفته در فرآیندهای مربوط به زنجیره‌ی تولید

1 Carbon footprint
2 Climate footprint
3 CO2-equivalents
4 Reactive nitrogen
5 Chemical footprint
6 Supply chain

کالاهایی معین را به محصول یا مصرف‌کننده‌ی نهایی منسوب نمود. همچنین، می‌توان مجموع منابع مصرفی و دفع درزنجیره‌های تولیدِ کالاهای مصرفی توسط مصرف‌کنندگان را به صورت (پتانسیل) تبعات زیست‌محیطی حاصل از آن‌ها نیز بیان نمود. به این‌ترتیب، می‌توان بین ردپاهای اثر–محور[1] و ردپاهای فشار–محور[2] تمایز قایل شد. ردپاهای فشار-محور، میزان استفاده از منابع طبیعی و دفع مواد شیمیایی از سوی بشر به محیط‌زیست را اندازه‌گیری می‌کنند، اما ردپاهای اثر–محور، اثرات اکولوژیکیِ متعاقب در نتیجه‌یِ استفاده از منابع و دفع به آن‌ها را نشان می‌دهند (Fang and Heijungs, 2015).

ردپای مصرف در مقابل ردپای تولید

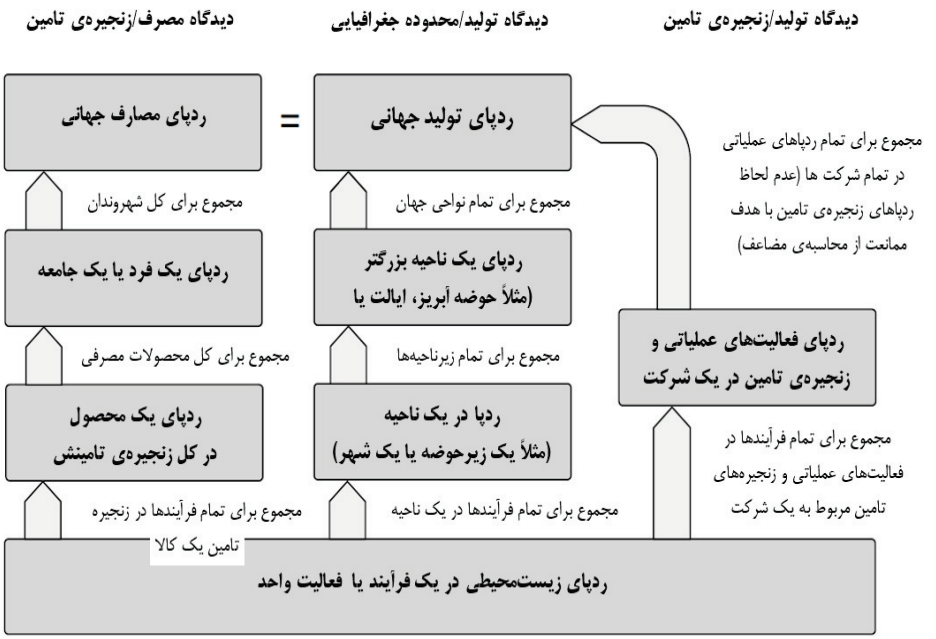
پایه‌ی اصلیِ محاسبه ردپاها، محاسبات مربوط به تخمین ردپای یک فرآیند در پروسه‌ی تولید و یا فعالیت بشری می‌باشد. همان‌گونه که در شکل ۱–۲ نشان داده شده است، وقتی ردپاهای تمامیِ فعالیت‌ها به تفکیک دانسته شود، می‌توانیم میزان ردپای هر محصول، مصرف‌کننده یا تولیدکننده، یا مجموع ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی خاص را تخمین بزنیم.

ردپای یک محصول، مجموع ردپاهای تمامیِ مراحلِ درگیر در زنجیره‌ی تولیدِ آن محصول می‌باشد. ردپای یک مصرف‌کننده، به ردپاهای تمام کالاها و خدمات مصرفی‌اش بستگی دارد. به همین ترتیب، ردپای مصرف‌کنندگانِ یک جامعه، مثلاً ساکنان یک کشور، برابر با مجموع ردپاهای تمامیِ اعضای آن جامعه می‌باشد. ردپای مصارف جهانی برابر با ردپای تولید در کل جهان می‌باشد. هر دوی آن‌ها، برابر با مجموع ردپاهای تمامی فعالیت‌های بشر در سرتاسر جهان می‌باشند.

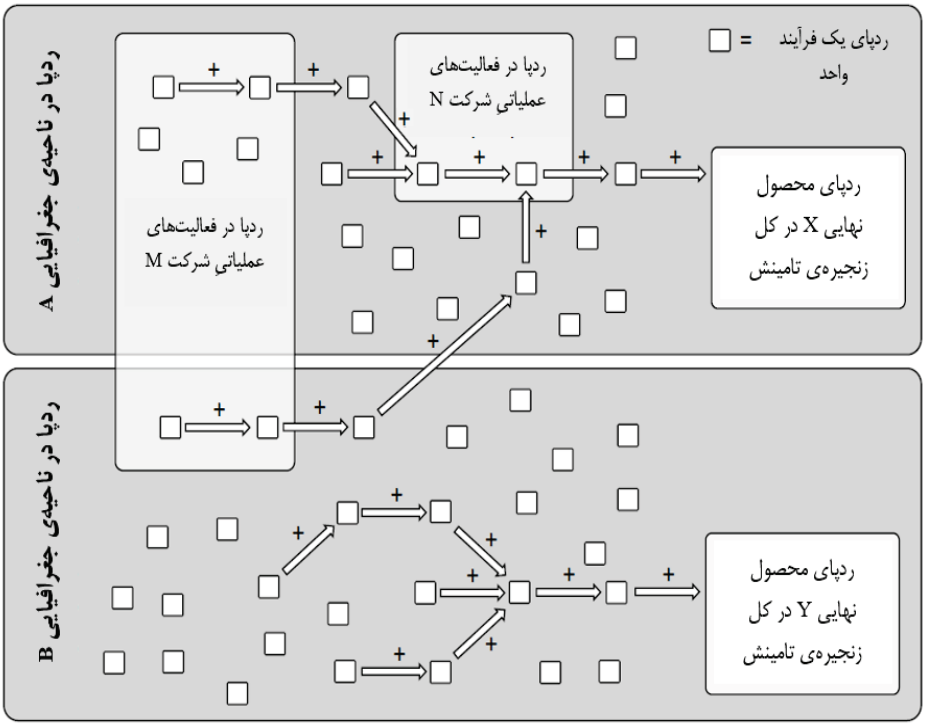
شکل ۱–۳، چگونگیِ انجام محاسبه‌ی ردپا در زنجیره‌ی تأمین را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ذکر شد، ردپای یک محصول نهایی، متأثر از ردپاهای مربوط به تمامی فرآیندهای درگیر در زنجیره‌ی تأمین آن محصول می‌باشد. این فرآیندها، می‌توانند در نواحیِ جغرافیاییِ مختلفی رخ دهند. ردپای یک شرکت، شامل مولفه‌های مستقیم (فعالیت‌های اجرایی) و غیرمستقیم (زنجیره‌ی تأمین) می‌باشد. ردپای فعالیت‌های اجراییِ یک شرکت، مجموع ردپاهای فعالیت‌های خاصی است که درون آن شرکت رخ می‌دهد. در واقعیت، چرخه‌ی اقتصاد، شامل یک زنجیره‌ی تأمین خطی و همگرای ساده، مانند آنچه در شکل ساده‌شده‌ای ۱–۲ ارایه شد، نیست. زنجیره‌های تأمین محصول‌های مختلف، اغلب درهم‌پیچیده و تاحدی چرخشی هستند. در مواردی که یک فرآیندِ تولید، منتج به تولید دو محصول و یا بیش‌تر

1 Impact-oriented footprint
2 Pressure-oriented footprint

می‌شود، باید به منظور جلوگیری از محاسبات مضاعف، ردپاهای آب را بین محصول‌های مختلف تقسیم نمود.



شکل ۱- ۲. رابطه‌ی بین ردپاهای مختلف موجود (Hoekstra, 2017a).



شکل ۱– ۳. چگونگی محاسبه‌ی ردپا در طول یک زنجیره‌ی تأمین (Hoekstra and Wiedmann, 2014).

معیارهای توسعه‌ی انسانی

ردپای زیست‌محیطیِ ما، نمی‌تواند به طور نامحدود، افزایش یابد، زیرا محیط زیستی که ما در آن زندگی می‌کنیم، دارای محدودیت‌هایی است که به دلیل آن‌ها، موظف به فراهم نمودن محیطی مناسب برای زندگیِ دیگر گونه‌ها نیز هستیم. پیشینه‌ی ایده‌ی "محدودیت‌های رشد[1]"، دست‌کم به اواخر قرن هجدهم برمی‌گردد، زمانی‌که مالتس[2] (۱۷۹۸)، مقاله‌ی معروف خود را درباره‌ی اصل جمعیت منتشر ساخت. یکی از جدیدترین گزارش‌های برجسته درباره‌ی محدودیت‌های رشد، گزارش منتشر شده توسط مدوس و همکاران (۱۹۷۲) مربوط به انجمن رم بود. با انتشار دو مقاله توسط راک‌استروم و همکاران

1 limits to growth
2 Malthus (1798)

(۲۰۰۹)[۱] درباره‌ی "مرزهای سیاره‌ای"[۲] و "سطح بهره‌برداری ایمن"[۳]، ایده‌ی کلی محدودیت‌ها تبدیل به انگیزه‌ای جدید شد.

میزان بهره‌برداری از منابع و ظرفیت موجود برای دفع آلودگی در همان سطح ایمن[۴] نیز باید به صورت عادلانه بین تمام مصرف‌کنندگان تقسیم شود (Häyhä *et al*., 2016). باید بتوان سهم هر فعالیت را در حد و مرزهای جهانی مختلف، تعیین کرد و دانست که هر فعالیتی، چه‌قدر از این حد را مصرف نموده و به خود اختصاص می‌دهد[۵] (Meyer and Newman, 2018). از آنجایی‌که همه‌ی مردم، نیازهای پایه داشته و بنابراین برای رفع آن‌ها، به مقدار حداقلی از منابع طبیعی نیاز خواهند داشت، ری‌وورس (۲۰۱۷) مفهومی را با عنوان "سطح امن و منصفانه"[۶] برای بشر مطرح نمود. برای سطح قابل مانور ما، نه تنها مقدار حداکثری به دلیلِ رعایت مرزهای سیاره‌ای وجود دارد، بلکه به دلیلِ نیازهای اساسیِ بشر، مقدار حداقلی نیز برای آن وجود خواهد داشت (O'Neill *et al*., 2018). استفاده‌ی کارآمد از این منابعِ محدود، به منزله‌ی آن است که ما منابع بیش‌تری برای تقسیم در میان مصرف‌کنندگان خواهیم داشت. واژه‌های محبوبی که در این زمینه به کار- گرفته می‌شوند، "کارآیی منابع"[۷] و "کارآیی اکولوژیکی"[۸] می‌باشند. این واژه‌ها اغلب به جای همدیگر به کار گرفته می‌شوند، اما معمولاً واژه‌ی کارآیی اکولوژیکی بیش‌تر استفاده می‌شود، زیرا به صورت همزمان هم به استفاده‌ی اندک از منابع (یعنی کارآیی منابع) و هم به تولید آلودگیِ کم‌تر به ازای هر واحد محصول اشاره می‌کند. اغلب می‌بینیم که تنها روی یک جنبه از کارآیی اکولوژیکی تمرکز شده و مسأله‌ی پایداری کلی که نه تنها به تولید کارآمد، بلکه به میزان تولید نیز بستگی دارد نادیده گرفته می‌شود. همچنین، تمرکز یک‌جانبه روی کارآیی، باعث بی‌توجهی به مسأله‌ی توزیع عادلانه نیز می‌شود. درست است که مفهومِ تولید کارآمد، به معنی دستیابی به مقدار بیش‌تری منابع برای تقسیم میان مصرف‌کنندگان است، اما، مسأله‌ی تولید کارآمد به خودی‌خود مبین این مفهوم نیست که در واقعیت، توزیع عادلانه وجود دارد. اغلب برعکس این مسأله را می‌بینیم، بدون بازتوزیع منابع، افزایش کارآیی آن‌ها می‌تواند باعثِ افزایش بی‌عدالتی شود.

---

1 Rockström *et al*. (2009a,b)
2 Planetary boundaries
3 Safe operating space

۴ توضیح مترجم: یعنی همان حدی که تا به آن حد، مجاز به استفاده از منابع طبیعی و دفع آلاینده‌ها به محیط داریم

۵ توضیح مترجم: مثلاً فرض کنید، بر اساس یک حد و مرز جهانی، ما قادر باشیم که حداکثر، از ۱۰۰ واحد زمین در جهان استفاده نماییم. بنابراین، اگر ردپای زمین یکی از محصول‌هایی که ما خریداری می‌کنیم، ۱ واحد باشد، می‌توان گفت که این محصول، ۱ درصد از این حد را استفاده نموده و به خود اختصاص داده است.

6 Safe and just space
7 Resource efficiency
8 eco-efficiency

مفاهیم پایداری زیست‌محیطی، کارآیی و عدالت، سه شاخص ضروری و مکمل برای توسعه‌ی بشری هستند. در ادامه و در بخش زیر، به بحث پیرامون ردپاهای زیست‌محیطی با لحاظ پایداری زیست‌محیطی، کارآیی اکولوژیکی و عدالت اجتماعی می‌پردازم. به‌علاوه، به دیدگاه امنیت منابع[1]، که آن نیز از معیارهای مهم توسعه است، نیز نگاهی خواهم داشت.

پایداری زیست‌محیطی

برای هریک از انواع ردپاهای زیست‌محیطی، یک حداکثر سطح پایدار[2] وجود دارد. مجموع ردپاها در مقیاس جهانی و همچنین در مقیاس‌های جغرافیاییِ کوچک‌تر، باید همواره کم‌تر از حداکثر سطح پایدار خود در آن محدوده باشند. پایداری، به مقدار و ویژگی‌های مکانی–زمانیِ ردپاهایِ بشری در مقایسه با ظرفیت پذیرش زمین[3] بستگی دارد. می‌توانیم بین آستانه‌های محلی[4] و مرزهای سیاره‌ای تمایز قایل شویم. آستانه‌های محلی، مرزهایی را نشان می‌دهند که به دلیل خودداری از ایجاد تغییرات نامطلوب و گاهی غیرقابل‌برگشت در محیط‌زیست، نباید از آن‌ها تجاوز نمود؛ مثلاً در مورد دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، باید به دلیلِ جلوگیری از تخریب اکوسیستم طبیعی، میزان آلاینده‌هایی که به واسطه‌ی فعالیت‌های ما به آب وارد می‌شود را محدود نماییم؛ به عنوان مثالی دیگر، برای جلوگیری از نابودی هر زیست‌بوم (یعنی یک جامعه‌ی زیستیِ مشخص با زیستگاه‌های خاصِ خود) باید دست‌کم بخش معینی از آن را دست‌نخورده باقی گذاشته و از بقای آن محافظت نماییم؛ این بدان معنی است که تنها بخش محدودی از زمینی که تحت اختیار آن گونه‌ی زیستی می‌باشد را می‌توان به مصارف بشری اختصاص داد. مرزهای سیاره‌ای، آستانه‌هایی در سطح کل جهان هستند، تجاوز از این مرزها و محدوده‌ها، می‌تواند باعث پیدایش تغییرات غیرقابل قبولی در فرآیندهای بیوفیزیکی در محیط‌زیستِ طبیعیِ جهان شود (Rockström *et al*., 2009a,b).

یک مرز سیاره‌ای، اغلب به نوعی یک حد تجمعی بوده و متأثر از حدود و آستانه‌های محلی بسیاری می‌باشد. من تعمداً، از اصطلاح "به نوعی تجمعی[5]" استفاده کردم، زیرا سیستم جهانی، سیستمی پیچیده و مشتمل بر فرآیندهای غیرخطیِ بسیاری است که باعث می‌شود نتوان آستانه‌ی جهانی را از حاصل‌جمعِ

1 resource security

۲ توضیح مترجم: یعنی حدی که اگر ردپای آب زیست‌محیطی موردنظر، تا به آن حد باشد، پایدار بوده و اگر از آن فراتر رود، دیگر پایدار نیست.

3 Earth's carrying capacity

4 Local thresholds

5 Sort of aggregate

ساده‌ی آستانه‌های محلی به دست آورد. علاوه بر آن، برخی پدیده‌ها، به‌ویژه تغییراقلیم، در اصل، جهانی هستند و بنابراین ما نمی‌توانیم یک مرز سیاره‌ای را مجموع آستانه‌های محلی درنظر بگیریم.
تدوین مقادیری دقیق برای آستانه‌های محلی یا جهانی، به دلیلِ عدم‌قطعیت‌های بسیار بزرگی که در رفتار و ماهیت سیستم‌های زیست‌محیطیِ محلی و منطقه‌ای و کل سیستم زمین وجود دارد، امری غیرممکن است، اما، می‌توان تخمین‌های کلی‌ای برای آن‌ها تعیین و در برخی موارد، می‌توان تاحدی عدم‌قطعیت‌های حاکم را نیز اندازه‌گیری کرد. زمانی که مقادیر تخمینی آستانه‌های محلی و جهانی را تعیین نماییم، خواهیم فهمید که ما، یعنی گونه‌های بشری، تا چه حد اجازه‌ی بهره‌برداری از منابع بدون ایجاد مزاحمت‌های خیلی زیاد برای زندگی دیگر موجودات خواهیم داشت. فایده‌ی ردپاهای زیست‌محیطی آن است که نشان می‌دهند تاکنون چه‌قدر از ظرفیت آستانه‌های محلی و جهانی توسط بشر استفاده شده است. همان‌گونه که در ادامه بررسی می‌شود، در موارد بسیاری ردپای ما گاهی به صورت محلی و در مکان‌هایی خاص و گاهی نیز به صورت جهانی، اغلب فراتر از سطح پایدارش می‌باشد.

بر اساسِ محاسباتی که شبکه‌ی جهانی ردپا در سال ۲۰۱۸ انجام داد، ردپای اکولوژیکی بشر، به ۲۰/۶ میلیارد هکتار در سال ۲۰۱۴ رسید که ۱/۷ برابر، بیش‌تر از حداکثر ردپای اکولوژیک پایدار (یعنی ۱۲ میلیارد هکتار) بود (Lin *et al*., 2018). این پیام که "بنابراین، بشر با این روش، در حال استفاده از بیش‌از یک سیاره است"، یکی از دلایلی بود که مفهوم ردپای اکولوژیک، به ابزاری محبوب و موثر برای نشان– دادن ناپایداری تبدیل شد. انتقادی که به این پژوهش وارد شد، بر پایه‌ی این بحث بود که بخش زیادی از ردپای اکولوژیک (۶۰ درصد در سال ۲۰۱۴)، شامل مقدار اراضیِ جنگلی موردنیاز برای جذب دی‌اکسیدکربن منتشر شده به سبب فعالیت‌های بشری است. اگر ما این بخش را از ردپای اکولوژیک کل جدا نماییم، خواهیم گفت که ما تنها از دو–سوم زمین استفاده می‌کنیم؛ اما حتی این مقدار هم با لحاظ این مسأله که موجودات زنده‌ی دیگری به جز بشر نیز در زمین وجود دارند، بسیار زیاد است. بر اساسِ قراردادِ تنوع زیستی، که یک معاهده‌ی مصوب و پذیرفته‌شده به وسیله‌ی تمامیِ کشورهای عضو سازمان ملل به جز ایالات متحده‌ی آمریکا می‌باشد، دست‌کم باید ۱۷ درصد از اراضی خاکی جهان را به طبیعت اختصاص داد (CBD, 2010). این مقدار، یک مقدار تخمینی محافظه‌کارآنه و بر اساس نظر کارشناسان مربوطه برای کسری از زمین موردنیاز برای حفظ تنوع زیستی می‌باشد. سوآنکارا و همکاران (۲۰۰۵)[1]، با بررسی بیش از ۲۰۰ مقدارِ گزارش‌شده برای این کسر در پژوهش‌های دانشمندان یا مستندات سیاسی دریافتند که مقادیرِ گزارش شده بر اساس شواهد، به طور متوسط، تقریباً

1 Svancara *et al*. (2005)

سه برابر بیش‌تر از مقادیری بوده که در مستندات سیاسی وجود داشته اشت. ناس و کوپرایدر (۱۹۹۴)[1] بیان داشتند که به طور کلی، باید ۲۵ تا ۷۵ درصد از زمین در یک منطقه را برای حفظ تنوع زیستی اختصاص داد. بر اساسِ نظرِ زیست‌شناس معروف، ادوارد ویلسون[2]، برای حفظ تنوع زیستی در جهان، باید نیمی از زمین را به عنوان اکوسیستم طبیعی رها نماییم (Wilson, 2016). بنابراین، می‌توان به جرات بیان داشت که اگر ردپای اکولوژیک ما، بسیار فراتر از حد پایدارش نرفته باشد، قطعاً به حد حداکثر خود رسیده است.

برای ردپای آب، نمی‌توان به سادگی، یک مرز و محدودیت جهانی، مشخص نمود. بحثِ برداشت بی‌رویه و آلودگی آب، مسأله‌ای است که ابتدا، به صورت محلی اتفاق می‌افتد و سپس در سطح حوضه‌ی آبریز یک رودخانه، نمایان می‌شود. به‌علاوه، در این مورد، زمان نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، زیرا برداشت‌های بی‌رویه و آلودگی آب، مسأله‌ای است که اغلب، در دوره‌های خشکِ از یک سال و در سال‌های نسبتاً خشک، اتفاق افتاده و شدت آن نسبت به دوره‌های دیگر بیش‌تر است. ما در پژوهشی، ردپای آب آبی بشر (مجموع مصارف منابع آب سطحی و زیرزمینی) را تخمین زدیم؛ نتایج نشان داد که در نیمی از ۴۰۵ مورد از بزرگ‌ترین حوضه‌های آبریز جهان، دست‌کم در یک ماه از سال، "کمبود آب شدید" وجود دارد (Hoekstra *et al*., 2012). محاسبات ما در پژوهشی جدیدتر با دقت مکانی بالاتر نیز نشان داد که دوسوم از جمعیت جهان (۴ میلیارد نفر) در سال ۲۰۰۰، دست‌کم در یک ماه از سال، با کمبود شدید آب مواجه بودند. تعداد افرادی که دست‌کم در چهار تا شش ماه از سال، با کمبود آب شدید مواجه شدند، ۱/۸ تا ۲/۹ میلیارد نفر بود. نیم میلیارد نفر نیز در تمام ماه‌های سال، با کمبود آب شدید مواجه بودند (Mekonnen and Hoekstra, 2016). از آن به بعد، تعداد این افراد افزایش پیدا کردند. "کمبود آب شدید"، به این معنی است که بشر، حدود ۴۰ درصد از مجوع رواناب طبیعی را مصرف نموده است، در حالی‌که اگر بخواهد اکوسیستم را تقریباً به شکل اصلی خود حفظ نماید، می‌تواند تقریباً ۲۰ درصد (از حجم این رواناب) را مصرف نماید (Richter *et al*., 2012). برداشتی فراتر از ۲۰ درصد از این جریان، احتمالاً باعثِ تغییرات متوسط تا شدید در ساختار طبیعی و عملکرد اکوسیستم‌ها خواهد شد. وقتی کمبود آبی شدید وجود داشته باشد؛ یعنی بیش‌تر از ۴۰ درصد از رواناب طبیعی، مصرف شده و اکوسیستم به طور جدی، تغییر یافته است. اگر بتوان اصطلاح کمبود آبی شدید را به معنی فراتر رفتن از مقدار حداکثر ردپای آب آبی پایدار بدانیم، درمی‌یابیم که چهار میلیارد از جمعیت جهان، در مکان‌هایی زندگی می‌کنند که در آن‌ها، دست‌کم در یک ماه از سال، ردپای آب آبی فراتر از حد پایدار خود است (Mekonnen and Hoekstra, 2016).

1 Noss and Cooperrider (1994)
2 Edward Wilson

همچنین، برای ردپای آب سبز (یعنی میزان مصرف آب باران) نیز شینس و همکاران (۲۰۱۹)[1] دریافتند که ۱۸ درصد از ردپای آب سبز بشر در مکان‌هایی مصرف می‌شود که باید برای دستیابی به اهداف تدوین شده توسط کنوانسیون تنوع زیستی سازمان ملل، به صورت طبیعی محافظت می‌شد. به همین دلیل، ردپای آب سبز در این مکان‌ها فراتر از حداکثر حد پایدار خود می‌باشد. حال اگر بخواهیم به جای پیروی از توافق‌های سیاسی، از نظرات متخصصان اکولوژیک پیروی نموده و مقادیر بلندپروازانه‌تری را برای حفظ اکوسیستم درنظر بگیریم، همان‌گونه که پیش‌تر بحث کردیم، خواهیم یافت که زمین کم‌تر و متعاقباً، آب سبز کم‌تری برای مصارف بشر وجود خواهد داشت و این بدان معناست که مقادیر ناپایدار ردپای آب سبز بشر، بیش‌تر از ۱۸ درصد می‌باشد.

پژوهش‌های جهانی در مورد ردپای آب خاکستری، یعنی آلوده نمودن آب توسط بشر، تنها برای آلودگی‌های ناشی از نیتروژن و فسفر صورت گرفته است. بر اساس نتایج پژوهشی که به تحلیل دفع نیتروژن و فسفر به منابع آب پرداخته است، در حدود دوسوم از حوضه‌های آبریز رودخانه‌های جهان، ردپای آب خاکستری، فراتر از حداکثر حد استاندارد خود (یعنی ظرفیت پذیرش آن) می‌باشد (Liu *et al.*, 2012). در پژوهشی دیگر، ما دریافتیم که حوضه‌های آبریزی که در آن‌ها، آب خاکستری ناشی از دفع نیتروژن، فراتر از ظرفیت پذیرش آن حوضه است، ۱۷ درصد از سطح زمین را پوشش می‌دهند؛ ۹ درصد از مجموع جریان رودخانه‌های جهان در این سطح جریان داشته و ۴۸ درصد از کل جمعیت جهان آنجا زندگی می‌کنند (Mekonnen and Hoekstra, 2015). همچنین، ما دریافتیم که سطح حوضه‌های آبریزی که در آن‌ها، آب خاکستری ناشی از دفع فسفر به منابع آب، فراتر از ظرفیت پذیرش آن حوضه است، حدود ۳۸ درصد از سطح زمین را شامل می‌شود؛ حدود ۳۷ درصد از مجموع جریان رودخانه‌های جهان در این سطح جریان داشته و ۹۰ درصد از جمعیت جهان در آن زندگی می‌کنند (Mekonnen and Hoekstra, 2018).

همان‌گونه که از مطالب بالا برداشت می‌شود، این‌که به سادگی بتوان عنوان کرد که ردپای آب بشر، به حداکثر حد استاندارد خود در سطح جهان رسیده و یا از آن تجاوز نموده است، امری دشوار است. بهتر است این‌گونه باید بیان کرد که "ردپای آب بشر، در بخش زیادی از تمامی نواحی جهان، از حد پایدارش فراتر رفته است" و به این گفتار خود، این مسأله که این ناپایداری در چه زمانی از سال رخ می‌دهد را نیز باید اضافه کرد. با این وجود، برخی نویسندگان، مقادیری را برای مرز سیاره‌ای برای مصرف آب شیرین پیشنهاد نموده‌اند. راکستروم و همکاران[2]، این مقدار را برابر با ۴۰۰۰ میلیارد مترمکعب

1 Schyns *et al*. (2019)
2 Rockström *et al*. (2009a)

در سال دانسته‌اند؛ در حالی‌که گرتن و همکاران[1]، این مقدار را کم‌تر، و برابر با ۲۸۰۰ میلیارد مترمکعب در سال بیان نموده و بازه‌ی عدم قطعیت آن را بین ۱۱۰۰ تا ۴۵۰۰ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زدند. دامنه‌ی مقادیر تخمین زده شده برای مجموع ردپای آب آبی در جهان، بین ۱۰۰۰ تا ۱۷۰۰ میلیارد مترمکعب در سال، متغیر است (Hoekstra and Mekonnen, 2012a; Hanasaki *et al*., 2010). بنابراین، بسته به این‌که کدام یک از اعداد در این دامنه (به عنوان ردپای آب آبی جهان) انتخاب و کدام یک از مرزهای سیاره‌ای برای مصرف آب آبی درنظر گرفته می‌شود، فاصله مصارف ما با مرز سیاره‌ای‌اش معلوم خواهد شد و خواهیم فهمید که آیا هنوز مصارف ما کم‌تر از مرز سیاره‌ای ست یا این‌که (بر اساسِ سخت‌گیرانه‌ترین پیش‌فرض‌ها)، ردپای آب آبی ما، ۱/۵ برابر بیش‌تر از مرز سیاره‌ایست. اما در هر شرایطی، این‌گونه مقایسه نمودن مقادیر ردپای آب آبی تنها با مرز سیاره‌ای‌اش نمی‌تواند شرایط ناپایداری واقعی که در مکان‌هایی خاص و ماه‌هایی معین از سال در حال وقوع است را آشکار نماید. شدت مشکل، تا حد زیادی با زمان و مکان تغییر می‌کند. با این وجود، این‌که بتوانیم تمام داده‌هایی که در سرتاسر جهان وجود دارد را به صورت یک‌جا در قالب یک تصویر جهانی خلاصه نماییم، از این حیث مفید خواهد بود که این تصویر، اساساً نماینده‌ی شدت و وسعت چالش‌های آبی‌ای است که رخ داده و باعث شده که مسأله‌ی کمبود آب، به یک نگرانی جهانی تبدیل شود.

درباره‌ی ردپای کربن، داشتن دیدگاهی جهانی حین بررسیِ آن، منطقی‌تر و حتی حیاتی‌تر است. مقدار ردپای کربن در سال ۲۰۱۰ (۵۵–۴۶ گیگاتن در سال معادلِ گاز دی‌اکسیدکربن) ۲ برابر بیش‌تر از حداکثر حد پایدار آن (۲۵– ۱۸ گیگاتن در سال معادلِ گاز دی‌اکسیدکربن) بود در حالی‌که انتظار می‌رفت این مقدار گاز، همگام با ۲ درجه افزایش دما تا سال ۲۰۵۰ منتشر شود (UNEP, 2012). اگر بخواهیم میزان افزایش دما در سال ۲۰۵۰، حداکثر ۲ درجه بیش‌تر از مقدار آن تا قبل از انقلاب صنعتی در جهان باشد، باید ردپای کربن بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۵۰، ۶۰ درصد کاهش یابد؛ یعنی تقریباً از ۵۰ به ۲۱ گیگاتن معادل گاز دی‌اکسیدکربن برسد) (UNEP, 2012). این حد آستانه‌ی ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش دما، توسط جوامع جهانی در معاهده‌ی پاریس در سال ۲۰۱۵ به صورت رسمی پذیرفته شد، همچنین به موجب این عهدنامه، بنا شد که تلاش‌هایی صورت بگیرد که بتوان میزان افزایش دما را به ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد محدود نمود، زیرا در این صورت، مخاطرات و اثرات منفیِ تغییر اقلیم در حد معنی‌داری کاهش خواهد یافت (UN, 2015b). در هر دوعرصه‌ی دانشگاهی و سیاسی، بحث پیرامون حداکثر حد قابل پذیرش برای گرمایش جهانی نشان می‌دهد که تعیین مقداری برای حد پایدار ردپای کربن تا حدی متأثر از ذهنیت و سلیقه‌ی افراد تعیین کننده‌ی آن‌ها می‌باشد.

1 Gerten *et al*. (2013)

مقادیر حداکثری که حدود پایدار در نظر گرفته می‌شوند؛ با عدم‌قطعیت‌هایی همراه هستند، بنابراین، این مسأله که چه فرضیاتی حین تدوین آن اتخاذ شده و فرد تعیین‌کننده، تا چه حد در این زمینه محتاط بوده است، اهمیت خواهد داشت. همچنین، نحوه‌ی تبدیل یک آستانه‌ی معین مثل ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد برای گرمایش جهانی، به آستانه‌ای برای ردپای کربن، آن‌هم با وجود تمام عدم‌قطعیت‌هایی که در سیستم اقلیمی جهان وجود دارد، به هیچ عنوان کار ساده‌ای نیست (Meinshausen *et al*., 2009). مسأله‌ی مهم دیگر، نحوه‌ی تعریف حداکثر ردپای کربن پایدار است: اغلب این مقدار، به صورت حداکثر حجم معادل گاز دی‌اکسید کربن بر حسب گیگاتن در سال بیان می‌شود، اما مجموع انتشارات در طول سال، ممکن است معیار بهتری برای گرمایش جهانی‌ای باشد که در نهایت رخ می‌دهد (Allen *et al*., 2009). ما باید به نوعی حداکثر میزان کربن باقی‌مانده‌ای که می‌توانیم بدون گذر از آستانه‌ی گرمایش جهانیِ ۲ درجه‌ی سانتیگرادی، منتشر نماییم را به صورت راهی برای کاهش سطوح انتشار سالانه بیان نماییم.

ردپای ماده، ۷۰ گیگاتن در سال (۱۰/۵ تن به ازای هر نفر در سال ۲۰۰۸) (Wiedmann *et al*., 2015) و حد آستانه‌ی پایدار آن، ۸ تن به ازای هر نفر در سال تخمین زده شده است (Dittrich *et al*., 2012; Bringezu, 2015). لکن هنوز پایه‌های علمیِ ارایه شده برای این مقدار پایدار، دارای ضعف است، به‌علاوه اگر به جای ارایه‌ی مقادیر سرانه، حد آستانه‌ی ردپای ماده، متناسب با آن حدی که زمین قابلیت تحملش را دارد، به صورت مقداری مطلق بیان شود، معنی‌دارتر و بهتر خواهد بود. هرچند، از آنجایی‌که داده‌های مربوط به بهترین فعالیت‌ها و اقدامات اغلب به صورت سرانه وجود دارند، بیان این مقادیر به صورت سرانه ساده‌تر خواهد بود. وقتی این حد آستانه بر حسب مقادیر سرانه بیان می‌شود، بیش‌تر کارآیی منبع را تداعی می‌سازد تا این‌که بخواهد بیانگر حد و مرز جهانی باشد. با وجود این‌که ارائه‌ی یک مقدار دقیق از حد و مرز جهانی ساده نیست، لکن باز هم، این واقعیت که ردپای ماده‌ی ما خیلی زیاد است، و حتی احتمالاً در حال حاضر، بیش‌از حد بالا بوده و هم‌چنان نیز در حال افزایش است، خود دلیلی کافی بر این مهم است که ما باید نگران ردپای ماده‌ی خود باشیم و بدون توجه به مقدار دقیق حد آستانه، برای کاهش آن تلاش نماییم.

در طول قرن گذشته، ردپای زیست‌محیطی بشر در سطح جهان، به دلیل افزایش جمعیت، افزایش ثروت، تغییر الگوهای مصرف (مثلاً، سهمِ بالاتر گوشت در رژیم غذایی)، و افزایش تحرک و جابه‌جایی، بی‌وقفه در حال افزایش بوده است. در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۴–۱۹۶۱، ردپای اکولوژیکی تقریباً سه برابر شده و از ۷/۰ به ۲۰/۶ هکتار در سطح جهان رسیده است (Lin *et al*., 2018). در طول دوره‌ی ۲۰۰۰–۱۹۰۰، ردپای آب آبی، ۵/۶ برابر (Shiklomanov and Rodda, 2004)، و مقدار کل نیتروژن

فعالی که توسط فعالیت‌های بشر در طول دو قرن گذشته تولید شده (یعنی ردپای نیتروژن)، ۹ برابر شده است (Čuček *et al*., 2011). میزان انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از سوخت‌های فسیلی در جهان (یعنی بخشی از ردپای کربنِ بشر)، افزایش بیش‌تری داشت: بین سال‌های ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۸، این مقدار، ۱۶ برابر شده است (Boden *et al*., 2010). در حال حاضر، کشورهای در حال توسعه، چه از نظر مجموع گازهای منتشر شده از زمین و چه از نظر مجموع انتشارات کربنی، از کشورهای توسعه‌یافته پیشی گرفته‌اند (Peters *et al*., 2012). با ادامه‌ی روند فعلیِ کسب و کار، انتظار می‌رود که تمامی ردپاها، به جای داشتن سیری نزولی به سمت حدود پایدار، روندی افزایشی را در دهه‌های پیش‌رو دنبال نمایند (UNEP, 2012; Moore *et al*., 2012; Ercin and Hoekstra, 2014).

کارآیی اکولوژیکی

تولیدکنندگان، بر سر میزان بهره‌برداری از منابع طبیعی و سهم‌شان در مجموع ظرفیتِ محدود زمین برای پذیرشِ پسماند، با یک‌دیگر رقابت می‌کنند؛ به عنوان مثال، شرکت‌ها، برای میزان زمین قابل بهره‌برداری، حقابه، سهمیه‌ی (مجاز برای) انتشار کربن و مجوزهای دفع فاضلاب با یک‌دیگر رقابت می‌کنند. برای آن‌که میزان منافع حاصل از هر واحد منبع طبیعی مصرفی و آلودگی دفع‌شده به محیط، به حداکثر مقدار خود برسد، باید مقادیر ردپاهای فعالیت‌ها و محصول‌ها به کم‌ترین مقدار خود تنزل داده شوند. کارآیی اکولوژیکی، به معنیِ مقدار اندک ردپا به ازای هر واحد محصول تولیدی است. بنابراین، ردپای زیست‌محیطی، تبدیل به یک شاخص عملکرد اصلی در زمینه‌ی مدیریت محیط‌زیست شده و راهی برای اثبات میزان مسئولیت‌پذیری اجتماعیِ شرکت‌ها می‌باشد (Herva *et al*., 2011; Čuček *et al*., 2012).

در عمل، شرکت‌ها غالباً به دنبال راه‌کارهایی برای کاهش ردپای مستقیم خود هستند و به ردپای غیرمستقیم خود، که اغلب بسیار هم بزرگ‌تر است، توجهی ندارند (Matthews *et al*., 2008)؛ به عنوان مثال، ردپای غیرمستقیم شرکت‌های تولید نوشیدنی، می‌تواند ۹۹ درصد از ردپای آب آن‌ها را شامل شود (Ercin *et al*., 2011). این مسأله، در استانداردهای ردپا به رسمیت شناخته شده و بدان پرداخته شده است؛ به عنوان نمونه، استانداردِ مربوط به زنجیره‌ی ارزشِ شرکت در پروتکل گازهای گلخانه‌ای (WRI and WBCSD, 2011)، دستورالعملی برای شرکت‌ها و دیگر سازمان‌ها برای نحوه‌ی گزارش‌دهیِ گازهای گلخانه‌ای منتشرشده در تمامی زنجیره‌های تأمین، فعالیت‌های عملیاتی و دفع در کسب‌وکارشان (یعنی کل زنجیره‌ی ارزش[1]) را گزارش نمایند. استاندارد جهانی ردپای آب که توسط

1 Value chain

شبکه‌ی ردپای آب تهیه شده است نیز چنین دستورالعملی را ارائه می‌کند (Hoekstra *et al*., 2011). با این حال، تدوین راه‌کارهایی برای کاهش ردپا در زنجیره‌ی تأمین، برای بسیاری از شرکت‌ها به صورت چالشی بزرگ، باقی مانده است. پژوهش‌های فعلی اغلب روی جمع‌آوری و گزارش نمودن داده‌ها، پوشش دادن تمامِ زنجیره‌ی تأمین در محاسبات و دقت و شفافیت نتایج تمرکز نموده‌اند (Herva *et al*., 2011; Huang *et al*., 2009). رسیدگی به این مسائل، امکان انجام مقایسه‌ای معنی‌دار میان شرکت‌ها و همچنین تدوین بنچ‌مارک‌ها بر اساس بهترین فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های موجود را میسر می‌سازد (Wiedmann *et al*., 2009). چالش دیگر، نهادینه نمودن هزینه‌ی مربوط به ردپای زیست‌محیطیِ محصول‌ها و قیمتِ آن‌هاست؛ مثلاً می‌توان این کار را از طریق اعمال مالیات‌هایی برای کربن و آب در طول زنجیره‌ی تأمین و یا یک مالیات زیست‌محیطی کلی برای محصول‌های نهایی (مثلاً مالیاتی برای گوشت) انجام داد. چالش باقی‌مانده‌ی بعدی، ایجاد درکی بهتر از روابط بین ردپاهای مختلف است؛ به عنوان مثال، کاهش ردپای کربن از طریق روی آوردن به استفاده از سوخت‌های زیستی، قطعاً باعث افزایش ردپای آب و زمین خواهد شد (Gerbens-Leenes *et al*., 2009b).

کاهش ردپای آب در حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ای که برداشت‌های بی‌رویه از آن صورت گرفته است، به سبب اقداماتی همچون انتقال آب بین‌حوضه‌ای (یعنی انتقال آب به این حوضه از حوضه‌ی پرآب مجاور)، تأمین آب شیرین از طریق فرآیند شوری‌زدایی و یا افزایش واردات مواد غذایی، بدون شک منتج به افزایش انرژی مصرفی و در نتیجه، افزایش ردپای کربن (دست‌کم، تا زمانی که بخش اعظمی از انرژی از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود) خواهد شد.

عدالت اجتماعی

ردپای زیست‌محیطی یک فرد یا یک جامعه را الگوی مصرف آن‌ها تعیین می‌کند. در شرایطی که اختلاف زیادی بین الگوهای مصرف و بارهای زیست‌محیطیِ مربوط به آن‌ها وجود داشته باشد، و در جهانی که منابع طبیعی و ظرفیت پذیرش پسماند محدود است، همواره این سوال پیش می‌آید که چه کسی بیش‌ترین سهم را در استفاده از این مواهب داشته و چه چیزی را واقعاً می‌توان توزیع عادلانه دانست؟ عدالت اجتماعی، به معنی توزیع عادلانه‌ی منابع طبیعیِ محدود بین کشورها و ساکنان آن‌هاست. میانگین جهانی ردپای اکولوژیکیِ شهروندان دنیا در سال ۲۰۱۴، برابر با ۲/۸ هکتار بود. این در حالی است که در همان سال، این مقدار برای ایالات متحده‌ی آمریکا، به طور متوسط، برابر با ۸/۴ هکتار بود (GFN, 2018). اگر تمامِ شهروندان دنیا، ردپای اکولوژیکی برابر با این مقدار (۸/۴ هکتار) می‌داشتند، ردپای اکولوژیک جهان، به جای آن‌که ۱/۷ برابر بیش‌تر از ظرفیت زیستیِ زمین باشد، ۵

برابر بیش‌تر از آن بود! در حال حاضر، میانگین ردپای آب مصرف‌کنندگان آمریکایی، دو برابر بیش‌تر از میانگین جهانی است (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). این به آن معناست که اگر همه بخواهند به سبک آمریکایی‌ها زندگی کنند، مصارف جهانی آب، دو برابر خواهد شد. میانگین ردپای کربنِ یک مصرف‌کننده‌ی آمریکایی، ۵/۸ برابر بیش‌تر از میانگین جهانی است (Hertwich and Peters, 2009). پیام واضح است: اگر ما می‌خواهیم پایدار شویم، نمی‌توانیم همان راهی را برویم که آمریکایی‌ها می‌روند. ردپاها، هم در کشورهای مختلف، و هم (در مکان‌های مختلف) درون یک کشور، با هم فرق دارند (Minx *et al*., 2013). مصرف عادلانه در یک جهان فانی و محدود، نیازمند "کاهش و همگرایی" است: ردپای زیست‌محیطیِ بشر، باید به مقادیر پایدار کاهش داده شود و مقادیر سرانه‌ی ردپاها، باید به مقادیری مشابه و عادلانه‌تر برسد (Jackson, 2009).

مقادیر سرانه‌ی ردپاها بر اساس دو عامل تعیین می‌شوند: عامل اول، الگوی مصرف و عامل دوم، شدت استفاده از منابع طبیعی یا میزان پسماند تولیدی در ازای هر واحد محصول مصرفی. مصرف‌کنندگان می‌توانند با خرید محصول‌هایی با کارآیی اکولوژیکی بالا (یعنی دارای ردپای اندک به ازای هر واحد محصول)، روی عامل دوم تاثیر بگذارند، اما نبود اطلاعات کافی درباره‌ی ویژگی‌های زیست‌محیطی محصول‌ها، اغلب مانع این تاثیر مثبت می‌شود. معمولاً، تنها به این منظور، اطلاعاتی که وجود دارند، اطلاعات مربوط به کارآیی الکتریکی (برای لوازم برقی) و گاهی کارآیی آب محصول (برای ماشین لباسشویی، ماشین ظرفشویی، فلاش‌تانک توآلت، سردوش حمام) می‌باشند. مقادیر انرژی و آب مصرفی که در این اطلاعات ذکر شده‌اند، تنها شامل انرژی و آبی می‌شوند که حین استفاده از این وسایل، مصرف می‌شوند؛ لکن، انرژی و آبی که حین تولید این وسایل صرف شده‌اند، را شامل نمی‌شوند. علاوه بر انتخاب محصول‌های دوست‌دار محیط‌زیست (یعنی دارای کارآیی اکولوژیکی بالا)، مصرف‌کنندگان می‌توانند ردپای خود را با تغییر الگوی مصرف خود، تغییر دهند. اقداماتی که (دست‌کم در کشورهای صنعتی) پتانسیل خوبی برای کاهش ردپای زیست‌محیطی دارند عبارت از جایگزینی محصول‌های حیوانی با محصول‌های گیاهی (Springmann *et al*., 2018)، کاهش پسماندهای غذایی یا دیگر پسماندها (Foley *et al*., 2011)، صرفه‌جویی انرژی مصرفی در منزل و حمل و نقل (Jones and Kammen, 2011)، خرید کالاهای دست‌دوم و بازیافت‌شده و خرید کالاها یا خدماتی با ردپای کم و به‌دست‌آمده از مواد دست دوم، به جای استفاده از کالاها و خدمات منتج شده از مواد دست اول می‌باشند (Jackson, 2009).

ایجاد تغییرات رفتاری موردنیاز، به دلیل محدودیت‌های اجتماعی و وجود چالش‌هایی که منتج به محدود نمودن دامنه‌ی انتخاب مشتریان از میان محصول‌های مختلف می‌شود[۱]، ساده نخواهد بود (Jackson and Papathanasopoulou, 2008). مشکل دیگر آن است که ارتقای کارآیی منابع، اغلب منتج به صرفه‌جویی مورد انتظار نخواهد شد، زیرا چنین بهبودی، شرایط را برای افزایش مجموع مصرف فرآهم می‌سازد که به اصطلاح به آن، "اثر ارتجاعی[۲]" می‌گویند (Chakravarty *et al*., 2013). تاکنون، تغییرات عمیق، موثر، قابل‌پذیرش توسط جامعه، و با ماندگاری بالا که برای نیل به پایداری لازم است، رخ نداده است.

امنیت منابع

برای دولت‌ها، امنیت منابع، به معنی کاهش وابستگی کشور به ردپاهایی است که نفود و یا کنترل روی آن‌ها، دشوار باشد. برای شرکت‌ها، این اصطلاح به معنیِ کاهش وابستگی شرکت به ردپاهای خطرساز[۳] در زنجیره‌ی تأمین است. در این راستا، مبادله‌های بین‌المللی، نقش مهمی را بازی می‌کنند، زیرا باعث می‌شود بارهای زیست‌محیطی ناشی از مصرف محصولات در کشور واردکننده به دوشِ کشور صادرکننده –که این محصولات را تولید می‌کند– بیفتد. این اثرِ برونی‌ساختنِ بین‌المللی[۴]، در پژوهش‌های مربوط به ردپای آب ملل به خوبی ثبت شده است. مثلاً در انگلستان، حدود ۴۰ درصد از ردپای کربن (Hertwich and Peters, 2009) و ۷۵ درصد از ردپای آبِ مربوط به مصارف ملی (Hoekstra and Mekonnen, 2012a) در خارج از آن کشور قرار دارد. در کل جهان، ۲۴ درصد از ردپای زمین (Weinzettel *et al*., 2013)، ۲۲ درصد از ردپای آب (Hoekstra and Mekonnen, 2012a)، ۲۶ درصد از ردپای کربن (Peters *et al*., 2011) و ۴۲ درصد از رپای ماده (Wiedmann *et al*., 2015) در بطن مبادله‌های بین‌المللی نهفته شده است. هدف سیاست‌ها، افزایش پایداری مصرف است و بنابراین، باید به تکنولوژی‌های تولیدی که در خارج از کشور به کار گرفته می‌شود، توجه نموده و آن‌ها را هدف قرار دهند. از آنجایی‌که خودکفایی کامل یک کشور، نه امکان‌پذیر است و نه مطلوب، تعامل‌های بین‌المللی برای کاهش ردپای تولید در جهان، تنها راهِ موجود برای مقابله با ناپایداری در سطح ملی

---

۱ منظور، لاک‌این‌ها می‌باشد. واژه‌ی "Lock-ins" به نوعی استعاره از زنجیری دارد که به ظاهر به پای مشتری بسته می‌شود و انتخاب‌های او را از میان محصول‌های مختلف، محدود ساخته و او را مجبور به انتخاب محصولی خاص می‌کند.

2 Rebound effect

3 risk-increasing footprints

4 international externalization

است. اگرچه ذخایر و میزان منابع طبیعی، موهبت‌هایی محلی محسوب می‌شوند[۱]، اما از دیدگاه اقتصادی می‌توان به آن‌ها به چشم کالایی جهانی نگریست. با مقایسه‌ی ردپای زیست‌محیطیِ مصارف ملی با مواهب طبیعیِ آن کشور، می‌توان به شدت وابستگی‌های ذاتی و احتمالاً بحرانیِ آن کشور به منابع طبیعی برای تأمین نیازهای ساکنانش پی برد (Wiedmann *et al*., 2015; Niccolucci *et al*., 2012). در کمال تعجب، کشورهایی مانند هند و چین، که ردپاهای اکولوژیک و آب آن‌ها فراتر از حدود پایدارشان است، هم‌چنان صادرکنندگان خالص آب و زمین مجازی هستند (Weinzettel *et al*., 2013; Hoekstra and Mekonnen, 2012a). در این چنین شرایطی، تولید پایدار در تضاد با تمایل به کسب درآمدِ بیش‌تر به‌واسطه‌ی صادرات است.

اگرچه ردپای زیست‌محیطیِ بشر، در نهایت متأثر از الگوی مصرف اوست، لکن دولت‌ها اغلب توجه خود را معطوف به کارآیی اکولوژیکی (یعنی ردپاهای کم به ازای هر واحد تولید) نموده و توجهی به حجم و الگوی مصرف ندارند. پروتوکل کیوتو[۲]، یک نمونه از سیاست‌هایی است که اگرچه واقعاً با نیتِ خیر تدوین شد، اما ماهیتی ناکارآمد دارد. در این پروتکل، سیاست‌هایی برای کشورهای صنعتی جهان با هدف کاهش میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در آن‌ها تدوین شد، اما اجرای این سیاست‌ها در عمل، باعث شد که به تدریج، بار تولید از کشورهای توسعه‌یافته بر دوش کشوهای در حال توسعه منتقل شود. این اثر اصطلاحاً با عنوان "کسر کربن" شناخته شده و به معنی منتقل نمودن انتشارِ (گازهای گلخانه‌ای در ازای تولید) به کشورهایی که خارج از کنترل این معاهده قرار داشتند، می‌باشد. هم‌چنین شاهدیم که چگونه کشورهای مختلف، ردپاهای زمین و آب خود را برونی می‌سازند. کشورها به شدت تلاش می‌کنند تا با تصاحب زمین و آب کشورهای دیگری مثل آفریقا، به امنیت غذایی برسند (Rulli *et al*., 2013). به طور مشابه، بسیاری از کشورها، تنها با افزایش واردات می‌توانند نیاز به سوخت‌های زیستی خود را تأمین نمایند (Lamers *et al*., 2011)؛ که این خود به معنی واقع شدن ردپای زمین و آب این سوخت‌ها در جایی دیگر است (Harvey and Pilgrim, 2011; Gerbens-Leenes *et al*., 2012).

هنوز برای اغلب دولت‌ها و شرکت‌ها، امنیت کوتاه‌مدت منابع، جذاب‌تر و مطلوب‌تر از پایداری بلندمدت آن‌ها می‌باشد. این مسأله را می‌توان از روی زمان‌بندی‌های مربوط به بازده‌های اقتصادی و دوره‌های سیاسی، دریافت. امنیت بلندمدتِ منابع، نیازمند آن است که واردات و چرخه‌های تأمین، واقعاً پایدار باشند. با این حال، توجه به تولید و مصرف پایدار، به صورت نقطه‌ی کوری در سیاست‌گذاری‌ها

---

۱ توضیح مترجم: منظور آن است برای تولید کالاها در یک مکان، می‌توان از منابع طبیعی همان محل استفاده نمود؛ مثلاً، منابع آبی هر کشوری مربوط به همان کشور بوده و برای تولید کالا در آن قابل استفاده است، نه در کشوری دیگر. برای همین، گفته می‌شود که منابع طبیعی را از این نظر باید کالایی محلی دانست.

2 Kyoto Protocol

باقی مانده است. محاسبه‌ی ردپای زیست‌محیطی، می‌تواند به رفع چنین نقصی کمک نموده و پایه‌های مناسبی برای سیاست‌گذاری‌های هوشمندانه‌تر فرآهم نماید.

جمع‌بندی

به منظور کاهش ردپای زیست‌محیطیِ بشر تا حد پایدار آن، باید روی سقف ردپا[1] در مقیاس‌های مختلف، اعم از مقیاس‌های جهانی، کشوری و یا حوضه‌ای، توافق حاصل شود. قرار دادن محدودیت‌هایی برای ردپاها، پیامدهایی را، هم برای تولید و هم برای مصرف، به همراه خواهد داشت (Peters and Hertwich, 2008).

مولفه‌های مختلف ردپای زیست‌محیطی بشر باید به کم‌تر از مرزهای سیاره‌ای آن‌ها تقلیل داده شوند. برای دستیابی به این هدف، تنها بهبود تکنولوژی‌ها (یعنی بهبود کارآیی اکولوژیکی) کافی نخواهد بود؛ الگوی مصرف نیز باید تغییر یابد (Jackson, 2009). این‌که چگونه چنین تغییر فرهنگی و تحولِ دگرگون کننده‌ای در اقتصاد جهانی رخ خواهد داد، سوالی است که تاکنون بدون پاسخ باقی مانده است. با این حال، پرواضح است که چنین تغییری، عمیقاً تمامی بخش‌های اقتصاد را متأثر خواهد ساخت. همواره عوامل متعددی وجود دارند که باعث پیدایش یک ردپا می‌شوند: سرمایه‌گذاران، تولیدکنندگان، دریافت‌کنندگان و تنظیم‌کنندگان. بنابراین، مسئولیتِ مربوط به کاهش ردپا به مقادیر پایدار آن نیز باید بین این عوامل تقسیم شود (Lenzen *et al*., 2007). روشِ کنونیِ مسئولیت‌پذیری که در بین جوامع و بخش‌های اقتصادی به رسمیت شناخته شده و در آن‌ها نهادینه شده است، متضمن پایداری زیست‌محیطی، کارآیی اکولوژیکی، توزیع عادلانه و امنیت بلندمدت منابع نیست. تعیین این مسأله که ما چگونه می‌توانیم مسئولیت‌پذیری در قبال کل زنجیره‌ی تأمین را نهادینه سازیم، یکی از چالش‌های پژوهشی اساسیِ بشر برای دستیابی به آینده‌ای پایدار می‌باشد.

1 Footprint cap

فصل دوم

تاریخچه‌ی مختصری از ایده‌ی ردپای آب

در طول دهه‌ی گذشته، تحقیق‌ها پیرامون ردپای آب، در حد قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. این پژوهش‌ها، از اوایل سال ۲۰۰۲، یعنی زمانی که من ایده‌ی ردپای آب را توسعه داده و آن را معرفی نمودم، آغاز شد؛ در انتهای سال ۲۰۰۲، ایده‌ی ردپای آب، و چگونگی انجام برخی تخمین‌های اولیه از ردپای آبِ جوامع را به مخاطبان بین‌المللی ابلاغ نمودم (Hoekstra, 2003). من ردپای آب را معیاری برای آب مصرفی‌ای –که در پسِ تمام کالاها و خدمات مصرفی به وسیله‌ی یک فرد و یا ساکنان یک کشور وجود دارد– معرفی نموده و ادعا داشتم که "مجموع ردپای آب یک کشور، نماینده‌ی مطلوبی از میزان نیاز آن کشور به منابع آب جهانی" خواهد بود و این‌که "در سطح مصرف‌کنندگان، نشان دادن ردپای آب هریک از افراد به صورت تابعی از رژیم غذایی و الگوی مصرف، بسیار مطلوب خواهد بود " (Hoekstra, 2003). خیلی زود، انتقادهایی از جانب محققانی برخواست که به اعتقاد آن‌ها، تحلیل ردپای آب مصرفی غیرمستقیم افراد بی‌معنی است، زیرا، (آن‌ها معتقد بودند) که در بحثِ مدیریت منابع آب، به مسأله‌ی تخصیص آب به مصرف‌کنندگان واقعی، و نه "مصرف‌کنندگان غیرمستقیم آب" مطرح است. به‌علاوه، درست نیست مصرف‌کنندگان را به‌خاطر آب غیرمستقیمی که مصرف می‌کنند، "سرزنش" کنیم و یا آن‌ها را مسئول اثرات منفیِ ناشی از مصرف غیرمستقیم از منابع آب خارج از کشورشان بدانیم. به نظر می‌رسید که این مفهوم، ایده‌ای خلاقانه و نوآورانه، در کنار مفهوم مبادله‌ی آب مجازیِ آلن[1] (۲۰۰۱) باشد که معتقد بود واردات آب مجازی به واسطه‌ی واردات غذا، فرآیندی است که می‌تواند مسأله‌ی کمبود آب در خاورمیانه را حل نماید.

ما در سال ۲۰۰۲، برای اولین بار حجم جریان‌های آب مجازی در جهان به واسطه‌ی تجارت بین‌المللی غذا را اندازه‌گیری نمودیم (Hoekstra and Hung, 2002). با اضافه نمودن "واردات خالص آب مجازی[2]" مربوط به یک کشور، به مجموع آب مصرفیِ درون آن کشور، که در آمار قدیمی مصارف آب کشورها گزارش شده بود، توانستیم آب مصرفی واقعی مردم در یک کشور را به تصویر بکشیم. اگرچه آلن به مسأله‌ی مبادله‌ی آب مجازی از دیدگاه کشورهای واردکننده نگاه کرد، پیشنهاد من این بود که که این مبادله از دیدگاه کشورهای صادرکننده نیز بررسی شود، زیرا کشوری که واردکننده‌ی غذاست، می‌تواند منابع آبی داخلی خود را ذخیره نماید (چون خودش محصولات وارداتی را تولید نمی‌کند و لذا آبی که برای تولید آن‌ها در کشورش نیاز بود، صرفه‌جویی می‌شود)، اما این مسأله باعث می‌شود که مجموع ردپای آب در کشورهای صادرکننده، بیش‌تر از آبی باشد که برای تأمین مصارف خودشان نیاز داشتند و به این ترتیب، بخشی از منابع آبی خود را برای تولید غذاهای صادراتی از دست می‌دهند.

1 Allan (2001)
2 net virtual water import

البته ممکن است صادرات آب مجازی در چنین کشورهایی، به دلیلِ دستیابی به پایداری در نواحیِ کم‌آب (کشورهای واردکننده) و توزیع عادلانه‌ی منابع آبی محدود جهان باشد.

سیاست‌های بین‌المللی، بازارها و قوانین، به صورت غیرمستقیم، هم نحوه‌ی تخصیص و مصرف منابع آب در نواحی مختلف و هم مصرف‌کننده‌ای که در نهایت، از چنین وضعی سود می‌برد را تحت تاثیر قرار می‌دهند. با علم به توزیع نابرابر میزان تقاضا و موجودیت آب در جهان و با توجه به اهمیت اساسیِ آب که یک منبع طبیعی به شمار می‌آید، تحلیلِ ابعاد و مقادیر بین‌المللی و جغرافیاییِ تخصیص منابع آب مفید خواهد بود. برخی از انتقادهای اولیه‌ای که روی مفاهیم ردپای آب و مبادله‌ی آب مجازی وجود داشت، هنوز در فواصل زمانی منظم، تکرار می‌شوند. با این وجود، امروزه مبحث ارزیابی ردپای آب و مبادله‌ی آب مجازی بالغ‌تر شده و منتج به تحقیق‌هایی عمیق و در مواردی، استفاده‌های کاربردی و عملی از آن شده است.

ردپای آب، با یک مفهوم ساده آغاز شد؛ اما منتهی به پیدایش مبحث ارزیابی ردپای آب (WFA[1]) شد که در آن، تمامی مسائل و پرسش‌های متنوع مربوط به ارتباط بین مصرف، کمبود و آلودگی آب با مصارف، تولید و تجارت توسط بشر، بررسی شده است (Hoekstra *et al*., 2011). پیشرفت‌های به‌دست آمده در این زمینه، شاملِ اندازه‌گیری ردپاهای آب با دقت‌های مکانی و زمانی بالا (Hoekstra and Mekonnen, 2012a)، مطالعه و بررسی تغییر مقادیر و الگوی سالانه‌یِ ردپای آب و مبادله‌ی آب مجازی (Zhuo *et al*., 2016a, 2016d)، توسعه‌ی بنچ‌مارک‌هایی برای ردپای آب گیاهان (Mekonnen and Hoekstra, 2014a; Zhuo *et al*., 2016c)، تحلیلِ ماهانه‌ی کمبود آب آبی با دقتِ مکانی بالا، بر اساسِ (مقایسه‌ی) الگوی تغییرات ردپاهای آب با موجودیت آن (Mekonnen and Hoekstra, 2016)، محاسبه‌ی سطح آلودگی آب در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها بر اساسِ (مقایسه‌ی) ردپاهای آب خاکستری با ظرفیت پذیرش (آلودگی) رودخانه‌ها (Liu *et al*., 2012)، شناسایی (قابلیت) استفاده از سنجش از دور (در این مبحث) (Romaguera *et al*., 2010)، و توسعه‌ی ردپای آب و سناریوهای مبادله‌ی آب مجازی در آینده (Ercin and Hoekstra, 2014; Zhuo *et al*., 2016b) می‌باشند. کاربردهای WFA بسیار متنوع است؛ از تحلیل‌های صورت گرفته برای یک محصول گرفته، تا تحلیل‌هایی که برای بخش‌های مختلف، رژیم غذایی، و مقیاس‌های مکانی حوضه‌ای، شهری، کشوری و جهانی صورت می‌گیرد.

1 Water Footprint Assessment

چهار تفکر اصلی

مبحث WFA، ریشه در چهار تفکر اصلی دارد. اولین تفکر آن است که آب شیرین، یک منبع جهانی است (Hoekstra and Chapagain, 2008). زیرا اولاً، مردمی که در یک مکان هستند، به سبب تجارت آب مجازی قادر به استفاده از منابع آب شیرینِ موجود در مکان‌های دیگر نیز می‌باشند. این اتفاق در حال حاضر در جهان در حال وقوع است. دوم آنکه چگونگیِ تخصیص‌های محلی آب و الگوهای ناپایدار مصارف آبی، به شدت متأثر از اقتصاد جهانی بوده و این اقتصاد به گونه‌ای است که فاقد انگیزه‌های لازم برای استفاده‌ی پایدار از آب است. کشورها می‌توانند ردپای آب مصارف ملی خود را بیرونی ساخته و آن را به بخش‌های دیگر جهان تحمیل نمایند؛ بدون این‌که هزینه‌های مربوط به چنین کاری را بپردازند.

تفکر دوم، آن است که نرخ تجدیدپذیری آب شیرین، محدود است و بنابراین، افزایش مصرف، تولید و الگوهای تجارت ما باید متناسب با این محدودیت‌ها باشد. تفکر سوم، آن است که برای درک میزان منابع طبیعی مصرفی و اثرات این مصارف، باید به کل زنجیره‌ی تأمین و چرخه‌های حیات محصول توجه نماییم. همگام با ارائه‌ی مفهوم ردپای آب، ایده‌ی توجه به زنجیره‌ی تأمین در زمینه‌ی مدیریت منابع آب، شکل گرفت؛ چنین تفکری، پیش از معرفی این مفهوم در بخش آب وجود نداشت. تفکر زنجیره‌ی تأمین، می‌تواند به رسیدگی به مسأله‌ی استفاده‌ی پایدار آب از سوی شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان نهایی کمک نماید. تفکر چهارم، آن است که در یک پژوهش جامع در زمینه‌ی کمبود و آلودگی آب شیرین، باید به هر دو موضوع مصرف آب سبز و آبی و همچنین موضوع آلودگی آب توجه نماییم. در مباحث قدیمی مدیریت منابع آب، تنها به تأمین آب آبی توجه شده و در آن، مسائل مربوط به آب سبز نادیده گرفته شده است همچنین آن مباحث، مسائل مربوط به کمبود و آلودگی آب را شامل نمی‌شد. تفکر قدیمی و سنتی رایج بین مهندسان مبنی بر تمرکز صرفاً بر برداشت منابع آب سطحی و زیرزمینی (آب آبی) کافی نیست. آب باران (آب سبز)، نقش مهمی در تولیدات کشاورزی بازی می‌کند. یک تصویر صحیح از میزان آب مصرفی در بخش کشاورزی، تنها زمانی می‌تواند به دست آید که هم مصرف آب آبی و هم مصرف آب سبز در نظر گرفته شود. به‌علاوه، مصرف آب، تنها شکلِ بهره‌مندی از منابع آب شیرین نیست؛ آلودگی آب نیز شکل دیگری است که باید لحاظ شود.

بنابراین، مبحث WFA، اساساً مبحثی بین‌رشته‌ای و یکپارچه است که مقاله‌های علمیِ آن، هم در مجله‌های مربوط به علوم زیست‌محیطی و هم در مجله‌های مربوط به علوم آب، چاپ شده است. تفکر غالب آن است که WFA، با گنجاندن تفکر زیست‌محیطی (تفکر ردپا و زنجیره‌ی تأمین) در علوم آب

و گنجاندن تفکر منابع آبی (تخصیص آب، بهره‌وری آب، کمبود آب) در علوم زیست‌محیطی، پُلی بین این دو رشته شده است.

تاریخچه‌ی (ردپای آب) سبز، آبی و خاکستری

ردپای آب، معیاری برای تعیین میزان مصرف و تخریب آب شیرین می‌باشد. ردپای آب مصرفی، شامل مولفه‌ی سبز، که میزان مصرف آب باران را نشان می‌دهد، و مولفه‌ی آبی، که میزان مصرف منابع آب سطحی یا زیرزمینی را نشان می‌دهد، می‌باشد. ردپای آب تخریب‌کننده، که اصطلاحاً ردپای آب خاکستری نامیده می‌شود، نشان دهنده‌ی حجم آب مورنیاز برای پذیرش آلاینده‌هایی است که به منابع آب شیرین دفع می‌شوند (Hoekstra *et al*., 2011). در پژوهش‌های اولیه‌ی ردپای آب، تمرکز بیش‌تر روی ردپای آب مصرفی بود. از همان ابتدا، این موضوع تفهیم شده بود که مصرف آب، شامل مصرف آب سبز و آب آبی می‌باشد، اما از آنجایی‌که در مدل‌های استفاده شده برای محاسبه‌های ردپای آب، امکان تفکیک این دو مولفه وجود نداشت، ردپای آب مصرفی اغلب به صورت حاصل جمع (مولفه‌های سبز و آبی) گزارش می‌شد (Hoekstra and Hung, 2002). لحاظ مولفه‌ی آب سبز مصرفی در شاخص ردپای آب، تصمیمی مهم و سنجیده‌شده بود که از کارِ فالکن‌مارک[1] (۲۰۰۰) الهام گرفته شده بود؛ کسی‌که واژه‌های آب سبز–آبی را با هدف توسعه بخشیدن دیدگاه مدیریت آب به حدی فراتر از تمرکز سنتی‌اش روی آب آبی معرفی نمود.

اولین پژوهشی که در آن، ردپای آب سبز و آبی گیاه به تفکیک تعیین شد، توسط چاپاگین[2] و همکاران صورت گرفت. در همین مقاله، ردپای آب خاکستری نیز معرفی شد. هرچند نام این واژه در مقاله مذکور، ردپای آب خاکستری نبود، بلکه با عنوان "حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی آب آلوده[3]" با هدف هضم و پذیرش بار آلاینده، معرفی شد. من ایده‌ی بیانِ میزان آلودگی آب بر حسب شدت رقیق‌سازی مورد نیاز را از مقاله‌ای که توسط پوستل[4] و همکاران (۱۹۹۶) چاپ شده بود، گرفتم. با این وجود، اصطلاح "رقیق‌سازی آب"، اصطلاح خوب و موفقی نبود زیرا، زمانی‌که کار ما، به طور گسترده‌تری مورد بحث و بررسی قرار گرفت، برخی بدونِ درکِ مفهوم واقعیِ آن، این‌گونه از آن برداشت نمودند که می‌توان معضلِ آلودگی آب را با رقیق‌سازی مرتفع نمود.

اما هدف و قصد ما واقعاً این نبود؛ هدف ما این بود که با بیان آلودگی به صورت حجم آب لازم برای پذیرش آلاینده‌های دفع شده به محیط، آلودگی آب را به عنوان بار تحمیل شده‌ای بر منابع آب

1 Falkenmark (2000)
2 Chapagain *et al.* (2006b)
3 Dilution water volume
4 Postel *et al*. (1996)

شیرین کمیاب توسط بشر در نظر بگیریم. با این تعریف، آلودگی آب با آب مصرفی، رقابت می‌کند. برای اولین بار، هوکسترا و چاپاگین (۲۰۰۸)[1]، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری را در قالب چارچوبی منسجم ارایه نمودند. هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱) برای محاسبه‌ی ظرفیتِ باقی‌مانده برای پذیرش آلاینده‌ها در منابع آبی، غلظت‌هایِ طبیعیِ مواد در این منابع را در نظر گرفتند. از آنجایی‌که حداکثر غلظت مجاز هر آلاینده در منابع آبی معلوم است، بنابراین لحاظ غلظت‌های اولیه باعث کاهش ظرفیت باقی‌مانده شده و به این ترتیب، مقادیر محاسبه شده برای ردپای آب خاکستری به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. با وجود آن‌که اولین پژوهش‌های ردپای آب خاکستری، تنها محدود به آلودگی‌های ناشی از دفع نیتروژن بود، امروزه، پژوهش‌های ردپای آب خاکستری، برای انواع پارامترهای کیفی آب، شامل عناصر مغذی، مواد جامد حل‌شدنی، فلزات، آفت‌کش‌ها و داروها صورت گرفته است. با این‌که در حال حاضر، در پژوهش‌های اندکی به محاسبه‌ی مولفه‌های مختلف ردپای آب ابی با توجه به نوع منبع آب مصرفی (آب‌های سطحی، منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر، منابع آب زیرزمینی فسیلی، یا صعود موئینگی) پرداخته شده است، لکن انتظار می‌رود در صورت وجود داده‌های مورد نیاز، این کار در آینده به شدت صورت بگیرد، زیرا پیامدهای ناشی از هر یک از این ردپاهای آب آبی مختلف می‌توانند با هم فرق داشته باشند.

اندازه‌گیری مصرف آب به‌جای برداشت آب

آمار سنتی موجود در خصوص میزان آب استفاده شده، تنها آب آبی ناخالص برداشتی را نشان می‌دهد که مبین حجم آب برداشت‌شده از منابع آب زیرزمینی و سطحی برای مصارف شرب، صنعت و کشاورزی می‌باشد. با این حال، برداشت ناخالص با برداشت خالص با هم فرق دارند. ممکن است فردی دچار این ابهام شود که در شرایطی که آب از منبع خاصی برداشت می‌شود و پس از استفاده، دوباره تصفیه شده و به همان منبع برمی‌گردد، مصرف آب چه مشکلی می‌تواند به‌وجود بیاورد؟ این شیوه‌ی استفاده از آب هیچ آسیبی به محیط‌زیست وارد ننموده و می‌تواند به صورت بی‌پایان، تکرار شود. بنابراین، در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰، توجه زیادی به به آب خالص مصرفی شد که اصطلاحاً مبین "آب استفاده شده‌ی مصرفی[2]" یا "مصرف آب[3]" می‌باشد. وقتی من ردپای آب را به عنوان معیاری برای مصرف آب خلق کردم، تصمیم گرفتم که ردپای آب آبی را به صورت برداشت خالص از منابع آب، و نه برداشت ناخالص از آن، معرفی نمایم. در حقیقت، این برداشت خالص از منابع آب آبی است که باید در تعیین میزان کمبود آب در یک حوضه‌ی آبریز در نظر گرفته شود، زیرا بخشی از آب‌های برداشتی که به سبب جریان

1 Hoekstra and Chapagain (2008)
2 consumptive water use
3 water consumption

برگشتی، دوباره به طبیعت بازمی‌گردند، باعث افزایش کمبود آب نمی‌شوند. بنابراین، از دیدگاه حوضه‌ی آبریز، اندازه‌گیری میزان آب آبی مصرفی، یعنی برداشت آب آبی خالص (یا برداشت موثر)، اهمیت بیش‌تری خواهد داشت.

از مفهوم تا حوزه‌ی تحلیل

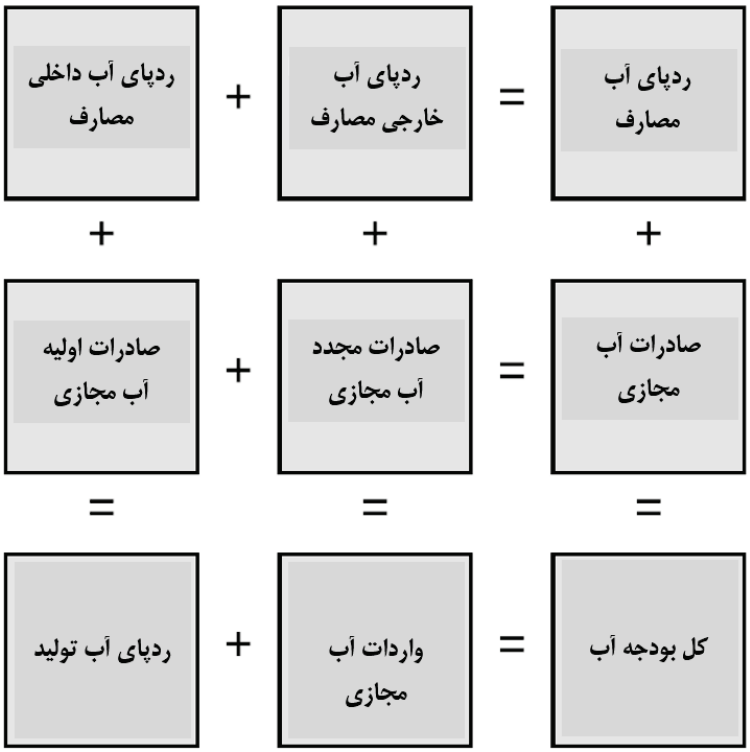
مرحله‌ی ابتدایی در توسعه‌ی مفهوم ردپای آب، تعیینِ مقادیر ردپای آب گیاهان، مبادله‌ی آب مجازیِ ناشی از مبادله‌ی گیاه و ردپای آب مربوط به مصارف ملی بود (Hoekstra and Hung, 2002). تخمینِ ردپای آب ملی بر اساس شمای محاسباتی ارایه شده در شکل ۲-۱ صورت گرفت. هوکسترا و چاپاگین[1] (۲۰۰۷، ۲۰۰۸)، با لحاظ تمام شکل‌های مصرف و تجارت، شامل محصول‌های دامی و صنعتی و همچنین مصارف شهری، محاسبات مربوط به ردپای آب ملی را بهبود بخشیدند. تا سال ۲۰۰۸، فقط روی ردپاهای آب ملیِ ناشی از مصرف و محاسبه‌ی آن‌ها تمرکز شد. پس از آن، این دامنه‌ی محاسباتی وسعت یافت و به موجب آن، به دیدگاه تولید نیز توجه زیادی شد. علت اصلی این مسأله، علاقه‌ی فزاینده‌ی شرکت‌هایی بود که شروع به تحلیل کاربرد مفهوم ردپای آب در سال ۲۰۰۷ نمودند. یکی دیگر از عوامل، تمایل به تعیین مجموع ردپای آب در فرآیند تولید در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین، برای مقایسه‌ی آن با آب آبی موجود محدودی که در آن ناحیه وجود داشت، بود. این پیشرفت‌ها، باعثِ توسعه‌ی چارچوب مفهومی‌ای بزرگ‌تر، که در فصل قبل نشان داده شد (شکل ۱-۲)، گردید. بر اساس این چارچوب، امکانِ محاسبه‌ی ردپاهای آب برای ابتدایی‌ترین سطح یعنی برای یک فرآیند یا فعالیت، و برای محاسبه‌ی ردپاهای آب محصول‌ها، ردپای آب مصارف یک فرد یا یک جامعه، ردپای آبِ مربوط به فرآیند تولید در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین و ردپاهای آب فعالیت‌های عملیاتیِ و زنجیره‌ی تأمین شرکت‌ها فراهم شد. با توسعه‌ی این زمینه، اصطلاحات مربوط به میزان آب مصرفی به ازای هر واحد تولید، از "تقاضای ویژه‌ی آب[2]" (Hoekstra and Hung, 2002) یا "محتوی آب مجازی[3]" (Hoekstra, 2003) به "ردپای آب یک محصول[4]" تغییر یافت، این کار به این دلیل صورت گرفت که هنگامی که ردپاهای آب محصول‌ها، برای تعیین ردپای آب مجموعه‌ای از آن‌ها با هم جمع می‌شوند و یا زمانی که در گام بعدی، ردپای آب در یک الگوی مصرف یا رژیم غذایی محاسبه می‌شود، یکنواختی در تعریف واژه‌ها وجود داشته باشد (Hoekstra *et al*., 2011).

1 Hoekstra and Chapagain (2007, 2008)
2 specific water demand
3 virtual water content
4 water footprint of a product

حوالی سال ۲۰۰۸، به طور گسترده، این نیاز احساس شد که باید به سمتی فراتر از یک مفهوم رفت و روی (ارائه‌ی) یک روش ارزیابی دقیق‌تر، کار نمود. چون این‌گونه تشخیص داده شد که اگرچه اندازه‌گیری ردپاهای آب، نتایج جالبی را به تصویر می‌کشد، اما در آن به پیامدهای سیاسی و این سوال که حال چه باید کرد، توجه نشده است.

روش WFA کامل، با مشورت با سهامداران در بخش‌های خصوصی و دولتی در طول سال‌های ۲۰۱۱–۲۰۰۸ توسعه داده شد و در نهایت، منتج به ارائه‌ی استاندارد جهانیِ WFA [۱] توسط شبکه‌ی ردپای آب شد (Hoekstra *et al*., 2011). این روش، شامل چهار مرحله به شرح ذیل است: تعیین دامنه و حوزه‌ی ارزیابی[۲]، محاسبه[۳]، تحلیل پایداری[۴]، و تدوین عکس‌العمل‌ها[۵]. در مرحله‌ی تحلیل پایداری، به این سوال که "حال چه کنیم"، رسیدگی می‌شود. این کار، با قرار دادن ردپاهای آب در بطن مسائل پایداری، کارآیی و عدالت، صورت می‌گیرد، زیرا این باور وجود دارد که اگر نتایج ردپای آب با سطوح مرجع مقایسه نشوند، به خودی خود اطلاعات زیادی به ما نمی‌دهند. در این مرحله، من مفاهیم جدیدی را توسعه دادم، از آن جمله می‌توان به ایده‌ی "حداکثر ردپای آب پایدار[۶]" که به صورت "سقف ردپای آب[۷]" برای هر پیکره‌ی آبی ارائه شد؛ ایده‌ی "بنچمارک‌های ردپای آب[۸]" برای فرآیندها و محصول‌ها برای استفاده به صورت سطوح مرجعی که نشان می‌دهد در صورت استفاده از تکنولوژی‌ها یا فعالیت‌هایی مطلوب می‌توان ردپای آب را بدان حد رساند؛ ایده‌ی "مجوز ردپای آب آبی و خاکستری[۹]" که متضادِ مجوز برداشت آب و تخلیه‌ی فاضلاب است؛ ایده‌ی "سهمیه‌های عادلانه‌ی ردپای آب[۱۰]" که ابزاری برای بحث پیرامون ردپاهای آب جوامع است و مفاهیم "خطر آب ناشی از زنجیره‌ی تأمین[۱۱]" برای شرکت‌ها و "خطر واردات آب[۱۲]" برای کشورها اشاره نمود.

1 Global WFA Standard
2 Setting scope of analysis
3 Accounting
4 Sustainability assessment
5 Response formulation
6 Maximum sustainable water footprint
7 Water footprint caps
8 Water footprint benchmarks
9 Blue and grey water footprint permits
10 Fair water footprint shares
11 Supply-chain water risk
12 Supply-chain water risk



شکل ۲-۱. شمای محاسبه‌ی ردپای آب برای یک واحد خاص کهرابطه‌ی بین ردپاهای آب در فرآیندهای تولید و مصرف و مبادله‌ی آب مجازیرا نشان می‌دهد. این الگو را می‌توان به عنوان مثال، برای یک واحد شهری، یک استان، یک دولت، یک کشور یا حوضه‌ی آبریز یک رودخانه به کار برد. برگرفته از هوکسترا و همکاران (۲۰۱۱)[1]

ارتباط با دیگر زمینه‌های تحقیقاتی

تکامل زمینه‌ی تحقیقاتی ردپای آب، باعثِ ارتباط فزاینده‌ی آن با دیگر زمینه‌های تحقیقاتی شد، در حالی‌که اولین پژوهش‌های WFA، کم‌تر در حوزه‌ی وسیع‌ترِ مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب (IWRM[2]) گنجانده شده بود، امروزه شاهد کاربرد فزاینده‌ی مفاهیم ردپای آب و مبادله‌ی آب مجازی در پژوهش‌های رایج مدیریت آب هستیم. به‌علاوه، شاهد هستیم که WFA، حتی در پژوهش‌های وسیع‌ترِ زیست‌محیطی و اقتصادی نیز ورود پیدا کرده است. ابتدا، انجمن پژوهشی‌ای که روی "مدل‌سازی

1 Hoekstra *et al*. (2011)
2 Integrated water resources management (IWRM)

ورودی–خروجیِ زیست‌محیطیِ توسعه‌یافته[1]" کار می‌کردند، با ردیابی کاملِ جریان آب مجازی در بخش‌های اقتصادی و نواحی، آغاز به گنجاندن ردپای آب در معیارهای خود نمودند (Ewing *et al*., 2012). انجمن ارزیابی چرخه‌ی حیات (LCA[2])، شروع به گنجاندن ردپای آب در LCA نمودند (Boulay *et al*., 2013) و محققانی که روی شاخص‌های زیست‌محیطیِ شرکت، مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت و نظارت بر آب در شرکت کار می‌کردند، نیز شروع به گنجاندن ردپای آب در دستورالعمل‌های خود نمودند (Herva *et al*., 2011; Sarni, 2011). به‌علاوه، محققان بسیاری، در حال کار روی گنجاندن ردپاهای مختلف در پژوهش‌های جامع ردپای زیست‌محیطی (Hoekstra, 2009; Galli *et al*., 2011) و ارتباط دادن مسأله‌ی ردپا به مرزهای سیاره‌ای هستند (Hoekstra and Wiedmann, 2014; Fang *et al*., 2015). با تغییر جهت دادن از اقتصاد فسیلی به اقتصاد بیولوژیک (زیستی)، پژوهش‌های ردپای کربن به تدریج جایی برای پژوهش‌های ردپای آب و زمین فرآهم خواهد ساخت، زیرا اساساً بیولوژیک، تنها بر پایه‌ی محدود بودن منابع زمین و آب، مفهوم خواهد داشت. در نهایت، ایده‌ی "ردپای آب صفر[3]"، که هدف نهاییِ فرآیندهای صنعتی محسوب می شود، مناسبِ پژوهش‌های مربوط به اقتصاد چرخشی[4] است.

شکل‌گیریِ پژوهش‌های ردپای آب در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف

مجموعه‌ای از پژوهش‌های جهانیِ WFA، در طول سال‌ها انجام شده است. در اولین پژوهش ردپای آب، مقادیر ردپاهای آب برای مصارف ملیِ بسیاری از کشورهای جهان تخمین زده شد (Hoekstra and Hung, 2002). در دومین ارزیابیِ جهانی، با لحاظ محصول‌های بیش‌تر، این محاسبه‌ها بهبود داده شد (Hoekstra and Chapagain, 2007, 2008). از آنجایی‌که هر دو پژوهش، در مقیاس کشوری صورت گرفته بودند، پژوهش جهانیِ سوم بر پایه‌ی دقتِ مکانی بالا انجام شد (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). تقریباً در همان زمان، پژوهش جهانی WFA دیگری، توسط فادر و همکاران[5] (۲۰۱۱) صورت گرفت. چن و چن[6] (۲۰۱۳) اولین کسانی بودند که یک پژوهش WFA در مقیاس جهانی را با استفاده از یک مدل ورودی–خروجیِ چندناحیه‌ای[7] انجام دادند که این روش، مغایر با روش استفاده از داده‌های ثابت مربوط به مبادلات کالاها برای محاسبه‌ی تجارت بین‌المللی آب

1 Environmentally extended input-output modelling
2 The life cycle assessment (LCA)
3 Zero water footprint
4 circular economy
5 Fader *et al.* (2011)
6 Chen and Chen (2013)
7 A multi-region input-output model

مجازی بود. ارسین و هوکسترا[1] (۲۰۱۴)، اولین کسانی بودند که سناریوهای ردپای آب و مبادله‌ی آب مجازیِ جهان در آینده را توسعه دادند.

پژوهش‌های انجام شده در مقیاس کشوری، از سال ۲۰۰۶ (Ma *et al*., 2006) پژوهش‌های حوضه‌ای از سال ۲۰۰۸ (Aldaya and Llamas, 2008)، پژوهش‌های شهری از سال ۲۰۰۹ و پژوهش‌های منطقه‌ای (برای مزارع و کارخانه‌های خاص) از حوالیِ سال ۲۰۱۰، آغاز شدند. در حالی‌که تمرکز اصلی در پژوهش‌های کشوری و شهری، معمولاً روی ردپای آب درونی و بیرونیِ مربوط به مصارف ساکنان است، تمایل اصلی در پژوهش‌های حوضه‌ای، تمرکز روی ردپای آب تولید (تنها) در داخل همان حوضه می‌باشد. بسیاری از پژوهش‌های منطقه‌ای نیز، به مسأله‌ی ردپای آب، تنها از دید تولید محلی نگاه نموده و توجهی به زنجیره‌ی تأمین نداشته‌اند. ورودیِ بسیاری از پژوهش‌های محلی، از نتایج پژوهش‌های جهانی تأمین می‌شود، زیرا در پژوهش‌های محلی، پژوهشگران تنها برای همان محدوده‌ی مطالعاتی می‌توانند به داده‌هایی با دقت مکانی بالاتر دسترسی داشته و از آن‌ها استفاده نمایند؛ اما برای داده‌های مربوط به ردپاهای آب محصول‌های وارداتی و پایداری آن ردپاها در سایر مکان‌ها، ناچار به استفاده از یافته‌های دیگر پژوهش‌ها هستند.

شکل‌گیری پژوهش‌های ردپای آب محصول، بخش و شرکت

ما در اولین پژوهش‌مان، ردپاهای آب ۳۸ گیاه را برای هر کشور محاسبه نمودیم (Hoekstra and Hung, 2002). سپس، باز هم در مقیاس کشوری، ردپاهای آب تمامیِ گیاهان اساسی (و انواع فرآورده‌های گیاهی)، ردپاهای آب هشت نوع حیوان (و فرآورده‌های حیوانی مانند گوشت، شیر، کره، پنیر و چرم) و ردپاهای آب مربوط به بخش‌های شهری و صنعتی را محاسبه نمودیم (Hoekstra and Chapagain, 2007, 2008). در ادامه، برخی بهبودهای تکنیکی را انجام داده و محاسبات خود را با دقت مکانی بالا تکرار کردیم. به این ترتیب، محاسبه‌ها را با لحاظ تغییرات مکانیِ اقلیم، خاک و دیگر شرایط تولید، انجام دادیم (Mekonnen and Hoekstra, 2011a, 2012a). پژوهش‌های خاص‌ترِ محصولی، از سال ۲۰۰۶ و با انجـام پژوهشـی روی پنبـه آغاز شد (Chapagain *et al*., 2006b). نتایج پژوهـش‌هـای ردپای آب، اکنون برای دامنه‌ی متنوعی از محصول‌ها، شامل غذا و نوشیدنی (Ercin *et al*., 2011, 2012)، محصولات فیبری مانند منسوجات (Chico et al., 2013) و کاغذ (Van Oel and Hoekstra, 2012)، گل‌های شاخه‌بریده (Mekonnen *et al*., 2012)، قوطی کنسرو، مواد معدنی، مصالح ساختمانی مانند فولاد، سیمان، شیشه و تولیدات صنایع ماشینی[2] مانند

1 Ercin and Hoekstra (2014)
2 Manufactured products

ماشین‌ها و کامپیوترها، به چاپ رسیده است. پژوهش‌های بخشی برای مواردی همچون نوشیدنی‌ها (Ercin *et al*., 2011)، مصالح ساختمانی (Gerbens-Leenes *et al*., 2018)، الکتریسیته (Mekonnen *et al*., 2015a)، حمل و نقل (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2011)، گردشگری (Cazcarro *et al*., 2014)، و رژیم غذایی (Jackson *et al*., 2015) منتشر شده است. پژوهش‌های خاص ردپای آب برای شرکت‌ها، همگام با پژوهشی که برای SABMiller و WWF-UK (۲۰۰۹) انجام شد، آغاز گردید. یکی از چالش‌های اساسی در اغلب این پژوهش‌های کاربردی، ردیابی زنجیره‌ی تأمین و دستیابی به تخمینی دقیق‌تر، به جای تخمین‌های اولیه و خام جهانی می‌باشد. این چالش، به‌ویژه برای محصول‌هایی مانند حیوانات و تولیدات صنایع ماشینی، که زنجیره‌ی تأمین طولاتی و پیچیده‌تری دارند، مشهودتر است؛ مثلاً برای محصول‌های حیوانی، (دانستن) رژیم غذایی حیوان و محل تأمین کنستانتره‌های خوراکی اهمیت بسیاری دارد، این در حالی است که در بسیاری از موارد، ردیابی ترکیبات دقیق و محل تأمین کنستانتره‌های خوراکی، بسیار دشوار است.

ردپای آب در گزینه‌های مختلف رژیم غذایی (پیوند آب-غذا)

تاثیر رژیم غذایی بر ردپای آب مصارف غذا، از سال ۲۰۱۰ بررسی شد. اولین تخمین من نشان داد که اگر مردم، گوشت را با محصول‌های گیاهی با ارزش غذایی یکسان جایگزین نمایند، مجموع ردپای آب تا ۳۶ درصد در کشورهای صنعتی و تا ۱۵ درصد در کشورهای در حال توسعه کاهش خواهد یافت (Hoekstra, 2010a). ما نشان دادیم که برای هر محصول دامی، محصولی گیاهی با ارزش غذایی یکسان وجود دارد که دارای ردپای آب بسیار کم‌تری است (Mekonnen and Hoekstra, 2012a). میانگین ردپای آب به ازای هر کالریِ (دریافتی) از گوشت گاو، ۲۰ برابر بیش‌تر از (کالری یکسانی است که) از غلات و ریشه‌های نشاسته‌دار به‌دست می‌آید. ردپای آب به ازای هر گرم پروتئینِ (دریافتی) از شیر، تخم‌مرغ و گوشت مرغ، ۱/۵ برابر بیش‌تر از مقدار آن حینِ تأمین پروتئین از حبوبات است. ردپای آب هر گرم پروتئین به‌دست آمده از گوشت گاو، ۶ برابر بیش‌تر از زمانی است که این پروتئین از حبوبات تأمین می‌شود. در پژوهشی دیگر، ما دریافتیم که میزان ردپای آب یک لیتر شیرِ گاو، ۳ برابر بیش‌تر از یک لیتر شیر سویا بوده و ردپای آب یک همبرگر تهیه شده از گوشت گاو، ۱/۵ برابر بیش‌تر از همان مقدار همبرگری است که با سویا تهیه شده است (Ercin *et al.*, 2012). در پژوهشی برای اروپا، ما نشان دادیم که تغییر رژیم غذایی به سمت رژیم‌های گیاهی، می‌تواند ردپای آب را تا ۳۸ درصد کاهش دهد (Vanham *et al.*, 2013a). جلاوا و همکاران[1] (۲۰۱۴) نشان دادند که تغییر رژیم‌های غذایی

1 Jalava *et al.* (2014)

فعلی جهان به رژیم‌های توصیه شده (بر اساسِ دستورالعمل‌های رژیم غذاییِ سازمان سلامت جهانی[1])، و همزمان، جایگزینیِ محصولات حیوانی با گیاهی با ارزش‌های غذایی یکسان، می‌تواند ردپای آب سبز ناشی از مصارف غذا در جهان را ۲۳ درصد، و ردپای آب آبیِ مربوط به آن را ۱۶ درصد کاهش دهد.
خلاقیت این پژوهش‌ها در برقراری ارتباط بین رژیم غذایی و ردپای آب، در پس این حقیقت نهفته است که در حال حاضر، تلاش‌های که برای کاهش بحران آب از طریق مدیریت تقاضای آب صورت می‌گیرد، به طور سنتی روی یافتن پاسخ این سوال تمرکز می‌کنند که چگونه می‌توان بهره‌وری آب در تولید محصول و پروش دام را افزایش داد؟ در حالی‌که در این تفکر، سوالی اساسی‌تر بی‌پاسخ مانده است: سیستم تولید، به طور کلی، تا چه حد کارآمد است؟ پژوهش‌های ردپای آب، امکانِ بررسی "بهره‌وری آب (مربوط به) تغذیه[2]" برای بخش کشاورزی جهانی را فراهم می‌کند؛ یعنی این‌که به ازای مصرف هر قطره آب، چند کیلوکابری یا چند گرم پروتئین تولید شده است؟ یکی دیگر از موارد، تمرکز روی تعیین ردپای آب ناشی از تلفات غذایی می‌باشد. تخمین زده شده است که ردپای آب آبیِ ناشی از مجموع تلفات غذایی، حدود ۲۵۰ میلیارد مترمکعب در سال است که این مقدار، ۳/۶ برابر بیش‌تر از ردپای آب در ایالات متحده‌ی آمریکا است (FAO, 2013).

ردپای آب در مخلوط انرژی (پیوند آب-انرژی)

پژوهش‌ها روی ردپای آب مربوط به انرژی، با پژوهش‌هایی روی انرژی‌های زیستی آغاز شده (Gerbens-Leenes *et al*., 2009a, 2009b; Dominguez-Faus *et al*., 2009) و با پژوهشی درباره‌ی ردپای آب برقابی ادامه یافت (Mekonnen and Hoekstra, 2012b). این مسأله قابل درک است؛ زیرا، این‌ها انرژی‌های زیستی و برقابی دو نمونه از انواع انرژی هستند که بیش‌ترین آب را به ازای تولید هر واحد انرژی مصرف می‌کنند. در حال حاضر، ما درکی منطقی از میزان ردپای آب تمام شکل‌های مختلف انرژی، اعم از منابع فسیلی و تجدیدپذیر، داریم (Mekonnen *et al*., 2015a). به ازای هر واحد انرژی تولیدی، میزان ردپای آب برای انرژی‌های زیستی و برقابی، ۲ تا ۳ برابر بیش‌تر از مقدار آن برای سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای می‌باشد. تنوع سوخت‌های زیستی بسیار زیاد است، زیرا شکلِ دقیقِ تولید آن اهمیت زیادی دارد (مثلاً، این‌که سوخت زیستی نوع نسل اول استیا نسل دوم؛ از چه نوع بیوماس گیاهی به عنوان ماده‌ی اولیه برای تهیه‌ی آن استفاده شده و تحت چه شرایطی تولید شده است). تنوع انرژی برقابی نیز زیاد بوده و به موقعیت و ویژگی‌های مخزن بستگی دارد. ردپای آب

1 World Health Organization
2 Nutritional water productivity

الکتریسیته‌ی تولیدی در نیروگاه‌های متمرکزکننده‌ی خورشیدی[1]، مشابه ردپای آب سوخت‌های فسیلی است، در حالی‌که، مقدار این ردپا برای نیروگاه‌های زمین‌گرمایی[2]، یک مرتبه کوچک‌تر و یا حتی کم‌تر می‌باشد. ردپای آبِ انرژی فتوولتائیک[3] و باد، یک تا ۲ مرتبه، کم‌تر از مقدار آن برای سوخت‌های فسیلی هستند.

پژوهش‌های ردپای آب، ابزار مفیدی برای نشان دادن تبعات آبیِ ناشی از تغییر (منبع تأمین) انرژی، از سوخت‌های فسیلی به تجدیدپذیر بوده است. تحت سبزترین سناریوهای موجود برای انرژی (یعنی سناریوهایی که سریع‌ترین و بیش‌ترین کاهش را در میزان ردپای کربن ایجاد می‌کنند)، میزان ردپای آب برای تولید انرژی در جهان در حد قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت. زیرا، در این سناریوهای سبز، بخش زیادی از انرژیِ در جهان، از سوخت‌های زیستی و انرژی برقابی تأمین خواهد شد. تنها راهی که می‌توان بر اساس آن، به طور همزمان، میزان ردپای آب و کربن را کاهش داد، آن است که تمام سرمایه‌گذاری‌ها، تنها روی تأمین انرژی از منابع بادی، خورشیدی و زمین‌گرمایی صورت بگیرد (Mekonnen *et al*., 2016). بدون شک، در پژوهش‌های آینده، تمرکز اصلی روی تاثیر تغییر منبع تأمین انرژی بر وابستگی‌های بین‌منطقه‌ای به انرژی و در نتیجه، تغییر روابط قدرت[4] خواهد بود، زیرا تأمین انرژی در آینده، به میزان زمین، باد، تابش خورشید و منابع آب در دسترس برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بستگی خواهد داشت. اگر تنها ۱۰ درصد از میزان سوخت‌های فسیلی‌ای که در جهان امروز در بخش حمل و نقل استفاده می‌شود با بیواتانولی که از گیاهان نسبتاً کارآمد به‌دست می‌آید، جایگزین شود، میزان مصرف جهانی آب، ۷ درصد افزایش خواهد یافت (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2011). کمبود انرژی در آینده، اساساً به معنی کمبود زمین و آب خواهد بود. بنابراین، تعیین ردپای زمین و آبِ برای تولیدِ انرژی، در راس پژوهش‌های آینده‌ی مربوط به انرژی قرار خواهد گرفت.

یکی دیگر از نگرانی‌ها آن است که نرخ بازگشت سرمایه‌ی انرژی (عامل EROI[5])، برای انرژی‌های تجدیدپذیر، بسیار کم‌تر از مقدار آن برای انرژی‌های فسیلی است، بنابراین، (در صورت تأمین انرژی از سوخت‌های زیستی به جای سوخت‌های فسیلی)، میزان انرژیِ مورد نیاز برای تولید هر واحد انرژی، در حد قابل‌توجهی افزایش خواهد یافت که خود به معنیِ افزایش تقاضا برای بهره‌برداری از زمین و آب خواهد بود (Mekonnen *et al*., 2015a). تحت فعالیت‌های کشاورزیِ انرژی‌برِ کنونی، خروجی‌های خالص انرژی، خیلی کم‌تر از انرژیِ ناخالص تولید شده بوده و گاهی حتی نزدیک به صفر است.

1 Concentrated solar power (CSP)
2 Geothermal
3 Photovoltaic (PV)
4 Power relations.
5 Energy Returned on Invested (EROI)

فتوولتائیک و نیروگاه‌های متمرکزکننده‌ی خورشیدی، در به‌دام انداختنِ تابش خورشیدیِ ورودی، بسیار کارآمدتر از فتوسنتز هستند. بنابراین میزان انرژیِ بیش‌تری را در واحد سطح تولید می‌کنند. تولید انرژی‌های زیستی، باید تنها محدود به تولید از بقایای گیاهی[1] شود. بنابراین، اقتصاد ما به طور فزاینده‌ای، به‌ویژه به نیروهای بادی و خورشیدی وابسته شده و انرژی الکتریکی موردنیاز در بخش حمل و نقل از این منابع تأمین خواهد شد.

همچنین باید انرژیِ گرمایی به‌دست آمده از سوخت‌های فسیلی را با پمپ‌های گرماییِ الکتریکی، که از گرمایِ مربوط به انرژیِ زمین گرمایی، هوای بیرون و یا جمع‌کننده‌های انرژی خورشیدی[2] استفاده می‌کنند، جایگزین نماییم. به‌علاوه، باید راهی برای ذخیره‌ی انرژی پیدا نموده و سلول‌های الکتریکی‌ای طراحی نماییم که بتوانند از پسِ تغییراتِ شدیدی که در هر دو بخش عرضه و تقاضای انرژی وجود دارد، برآیند.

بررسی توأمان ردپای آب و تجارت آب مجازی[3]

از سال ۲۰۰۹، در بسیاری از مقالات، ردپای آبِ مربوط به تولید و مصرف و مقادیر تجارت آب مجازی، با حدود پایدار، عادلانه و کارآمدشان مقایسه شدند. در پژوهشی برای کشور هلند، ردپای آب خارجی مصرف‌کنندگان هلندی را با لحاظ محدودیت‌های محلی‌ای که در نواحی تولیدکننده وجود داشت بررسی نموده و به این ترتیب، کانون‌های بحرانی[4] را شناسایی نمودیم (Van Oel *et al.*, 2009b). پس از آن، متدولوژیِ این پژوهش با انجام اصلاحاتی برای کشورهای فرانسه (Ercin *et al.*, 2013) و انگلستان (Hoekstra and Mekonnen, 2016) نیز به‌کار گرفته شد. در پژوهش صورت گرفته برای انگلستان، میزان کارآیی مصرف آب[5] در تمام نواحی‌ای که ردپای آب خارجیِ کشور انگلستان در آن واقع شده بود، نیز تعیین شد. لنزن و همکاران[6] (۲۰۱۳)، آن بخش از جریان بین‌المللی آب مجازی در جهان، که از نواحی کم‌آب نشأت می‌گیرد را تعیین نمودند.

با استفاده از مقادیر محاسبه شده برای ردپاهای آب با دقت مکانی و زمانی زیاد و همچنین، استفاده از داده‌های با کیفیت برای میزان منابع آب شیرین تجدیدشونده، ارزیابی کمبود آب در جهان با جزئیات بیش‌تری انجام شد. این تحلیل‌ها نشان می‌دهند که آیا ردپاهای آب، فراتر از حداکثر مقدار پایدار خود رفته‌اند و این‌که کدام یک از انواع مصارف آب (مثلاً کدام گیاهان)، سهم بیش‌تری در وقوع این ناپایداری

1 The rest streams of organic materials
2 Solar heat collectors
3 Putting water footprint and virtual water trade in context
4 Critical hotspots
5 Water-use efficiency
6 Lenzen *et al.* (2013)

دارد؟ این بررسی برای ۴۰۰ حوضه‌ی آبریز بزرگ جهان نشان داد که در نیمی از این حوضه‌ها، ردپاهای آب آبی، دست‌کم در یک ماه از سال، ۲ برابر بیش‌تر از حداکثر مقدار پایدارشان بوده (Hoekstra *et al*., 2012) و در حوالی سال ۲۰۰۰، حدود ۴ میلیارد از مردم جهان، دست‌کم در یک ماه از سال، کمبود آب شدید را تجربه نمودند (Mekonnen and Hoekstra, 2016). همان‌گونه که در مثالی توسط مارستون و همکاران[1] (۲۰۱۵) برای ایالات متحده‌ی آمریکا نشان داده شد، این امکان فرآهم شد که بتوان ردپاهای آب و مبادله‌ی آب مجازی را به برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان‌های خاص منسوب نمود. ردپاهای آب خاکستری را می‌توان از منظر ظرفیت پذیرش پسماند یک حوضه‌ی آبریز، بررسی نمود. از نظر آلودگی‌های نیتروژن و فسفر، ردپاهای آب خاکستری در بسیاری از حوضه‌های آبریز جهان، فراتر از حداکثر مقدار پایدارشان رفته‌اند (Liu *et al*., 2012; Mekonnen and Hoekstra, 2015, 2018).

با مقایسه‌ی ردپاهای آبِ مربوط به میزان و الگوی مصرف در جوامع مختلف با یک‌دیگر، امکان بحث پیرامون وضعیتِ عدالت در مصرف آب فرآهم شد (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). با علم به این‌که ردپاهای آب در نیمی از حوضه‌های آبریز بزرگ جهان، فراتر از حداکثر سطوح استاندارد هستند، می‌توان تقریباً این‌گونه فرض نمود که دست‌کم مجموع ردپای آب بشر که در حال حاضر، حدود ۱۳۸۵ مترمکعب در سال به ازای هر نفر است، نباید در آینده افزایش یابد. همگام با افزایش جمعیت در آینده، سرانه‌ی حداکثر مقدار پایدار ردپای آب نیز کاهش خواهد یافت.

بنابراین، برای تحقق یافتن فرضیه‌ای که در آن، عدالت به معنی سهم آبی برابر برای تمامی مردم جهان تعریف شده است، کشورهایی مانند ایالات متحده‌ی آمریکا، که در حال حاضر، دارای ردپای آبی بزرگ‌تر از میانگین جهانی هستند، باید ردپای آب خود را تا حد بسیار زیادی کاهش دهند و در این راستا با چالش عظیمی مواجه خواهند شد. به این منظور، برای درک بهترِ پیچیدگی‌هایی که به وجود خواهد آمد، باید پژوهش‌های دیگر صورت بگیرند که در آن‌ها به سوال‌هایی درباره‌ی این‌که سطوح پایداری دقیقاً چه سطوحی هستند، حقوق عادلانه‌ی بشر برای آب و غذا چه‌قدر است، ارتقای کارآیی مصرف آب منتج به چه کاهش‌هایی خواهد شد و تا چه حد باید الگوهای مصرف تغییر یابند، پاسخ داده شود. همچنین، یکی دیگر از سوال‌ها آن است که پتانسیل تجارت آب مجازی چه‌قدر است. سیکل و همکاران[2] (۲۰۱۱) و سووایز و همکاران[3] (۲۰۱۱) دریافتند که در حال حاضر، مبادله‌ی آب مجازی، به جای آن‌که متناسب با وضعیت پراکنش مکانیِ کمبود آب باشد و جهت غالب آن به سمت مناطق سکونت افرادِ

1 Marston *et al.* (2015)
2 Seekell *et al.* (2011)
3 Suweis *et al.* (2011)

تحت تنش‌های آبی باشد، اساساً متأثر از تولید ناخالص داخلی و وضعیت توسعه‌ی اجتماعی است. تحقیق‌ها نشان داده است که مبادله‌ی بین‌المللی آب مجازی، تاحدی باعثِ صرفه‌جویی خالصِ آب در جهان شده (Chapagain *et al*., 2006a) و می‌تواند تا حدی باعثِ توزیعِ عادلانه‌ی منابع آب در جهان شود (Seekell, 2011)؛ لکن، این مسأله باعثِ پیدایش پیامدهای زیست‌محیطیِ منفی و همچنین، خطرِ وابستگی آبی بلندمدت در کشورهای کم‌آب خواهد شد. چنین مسائلی باعث نیاز به تحقیق روی مسأله‌ی دیگری شد که در پژوهش سووایز و همکاران[1] (۲۰۱۳)، تحت عنوان "ثروتِ تحت کنترلِ آب در کشوها[2]" از آن یاد شده است.

پژوهش‌های ردپای آب، باعثِ بحث پیرامون کارآیی مصرف آب از سه دیدگاه مختلف شده است: از دیدگاه تولید (کارآیی مصرف آب محلی)، از دیدگاه جغرافیایی (کارآیی مصرف آب جهانی)، و از دیدگاه مصرف (کارآیی مصرف آبِ مصرف‌کننده). کارآیی مصرف آب محلی را می‌توان با مقایسه‌ی ردپای آب یک فرآیند یا محصول خاص با مقادیرِ بنچ‌مارکِ ردپای آب برای آن فرآیند یا محصول، که می‌تواند مثلاً با توجه به بهترین تکنولوژی‌ها و فعالیت‌های موجود به‌دست بیاید، بررسی نمود. برای ایجاد انگیزه در میان مصرف‌کنندگان آب برای کاهش ردپاهای آب به حدودِ بنچ‌مارک، باید پژوهش‌های بیش‌تری روی میزان اثربخشی مقررات یا ابزارهای اقتصادی موثر صورت بگیرد. کارآیی مصرف آب در سطح جهانی، به این مسأله بستگی دارد که آیا کالاهای آب‌بر، غالباً در نواحی نسبتاً پرآب با بهره‌وری بالا تولید شده و به مناطقی کم‌آب با بهروری پایین‌تر صادر می‌شوند یا خیر (Hoekstra and Hung, 2005). در این مورد، سوال این است که مسأله‌ی کمبود آب، چگونه می‌تواند به شیوه‌ای بهتر در اقتصاد جهان مورد توجه قرار بگیرد. کارآیی مصرف آب از دیدگاه مصرف‌کننده، مبین این واقعیت است که مصرف‌کنندگان، می‌توانند تمامی خواسته‌های خود (مثلاً میزان کیلوکالری و پروتئین مورد نیاز خود در روز) را از الگوهای مصرفی دیگری به دست بیاورند که ردپای آب بسیار کم‌تری دارند. این‌که چگونه می‌توان انگیزه‌ی لازم را در میان مصرف‌کنندگان برای توجه به اثرات زیست‌محیطی ناشی از انتخاب‌های خود حین خرید ایجاد نمود، خود زمینه‌ای جدید در تحقیق‌هاست.

احتمالاً در در پژوهش‌های بعدی WFA، به جای تکرار روندِ گذشته که روی محاسبه‌ی ردپاهای آب تمرکز می‌شد، به مسائل عدالت و کارآمدیِ ردپاهای آب، توجه بیش‌تری خواهد شد. به‌علاوه، به طور فزاینده‌ای، تبعات و مخاطرات ناشی از ردپاهای آب بررسی خواهند شد. با تحلیل شدتِ وابستگیِ شرکت‌ها و جوامع به مصارف ناپایدار آب در زنجیره‌های تأمینشان، می‌توان میزان وابستگی و امنیت

1 Suweis *et al.* (2013)
2 the water-controlled wealth of nations

آبی آن‌ها را بررسی نمود. در مکان‌هایی که در آن، شرکت‌ها با خطرات کمبود آب در زنجیره‌ی تأمین[1] مواجه باشند (Sarni, 2011)، کشورها با خطرات ناشی از واردات آب[2] مواجه خواهند بود (Hoekstra and Mekonnen, 2016).

پیشرفت‌های تکنیکی

اولین تحقیق‌های مربوط به تعیین ردپای آب در فرآیند تولید گیاهان، با استفاده از مدل CROPWAT که توسط فائو توسعه داده شده است، و آمار کشوری موجود برای تولیدات گیاهی انجام شد (Hoekstra and Hung, 2002). مدل CROPWAT، مدلی نسبتاً ساده است که بیلان آب در خاک در طول دوره‌ی رشد یک گیاه، تنش آبیِ اعمال شده به گیاه به دلیلِ محدودیت آب در خاک در دوره‌های خشک و تاثیر آن بر میزان کاهش عملکرد گیاه را شبیه‌سازی می‌کند. با این مدل، می‌توان میزان تعرقِ گیاه و میزان تبخیر از خاک را تحت هر دو کشتِ دیم و آبی، شبیه‌سازی نمود. اولینِ پژوهشِ صورت گرفته در مقیاس جهانی و با دقتِ مکانیِ ۵×۵ دقیقه (ابعاد سلول‌های مکانی)، در سال ۲۰۱۱ چاپ شد که در آن نیز از مدل CROPWAT برای تخمین ردپای آب برای تولید گیاهان استفاده شد (Mekonnen and Hoekstra, 2011a). پس از آن، از مدلِ پیشرفته‌ترِ فائو، به‌نام AquaCrop که برای شبیه‌سازیِ بیلان آب خاک و رشد گیاه ارائه شده است، در پژوهش‌های متعددی استفاده شد و به آن، ماژول دیگری برای تفکیکِ تعرق گیاه و تبخیر از خاک به اجزای سبز و آبی، اضافه شد (Chukalla *et al*., 2015; Zhuo *et al*., 2016a; Karandish and Hoekstra, 2017; Nouri *et al*., 2019).

مدل‌های دیگری که برای تخمین ردپای آب در پروسه‌ی تولید گیاه استفاده شدند شامل مدل‌های EPIC (Liu *et al*., 2007) و LPJmL (Fader *et al*., 2011) بودند.

یکی از راه‌هایی که می‌تواند جایگزینِ مدل‌سازیِ ردپای آب در پروسه‌ی تولید گیاهان شود، استفاده از سنجش از دور است (Romaguera *et al*., 2010; 2012; 2014a; 2014b) که قابلیتِ ثبتِ بلندمدت (داده‌ها را) دارد. مدل‌سازی، همگام با استفاده از آمار ملی، داده‌های اندازه‌گیری شده در مزراع و سنجش از دور، می‌تواند باعثِ بهبودِ کیفیتِ ارزیابی‌ها شود. این زمینه از تحقیق، هنوز از نظرِ واسنجی و صحت‌سنجیِ نتایج حاصل از مدل‌سازی و سنجش از دور بر اساسِ داده‌های مزرعه‌ای، در حال کامل شدن است. به‌علاوه، ما باید تخمین‌های بهتری از عدم‌قطعیت‌های مربوط به برآوردهای خود ارائه

1 supply-chain water risks
2 imported water risk

نماییم و باید مانند آن‌چه در پژوهش‌های تغییراقلیم انجام می‌شود، مقایسه‌ای بین مدل‌های مختلف داشته باشیم.

در اولین دهه از پژوهش‌های ردپای آب، اغلب تمرکز روی ارایه‌ی مقادیر ردپاهای آب به صورت میانگینی در یک بازه‌ی زمانیِ معین بود. اما از سال ۲۰۱۰، تغییرات زمانیِ (ردپاهای آب) در مقیاس سالانه در پژوهش‌های متعددی ارایه شد؛ در چنین پژوهش‌ها، امکانِ تحلیلِ تغییرات زمانی و روندها وجود دارد (Dalin *et al*., 2012; Zhuo *et al*., 2016a). همچنین، پژوهش‌هایِ مبتنی بر پیش‌بینی در آینده نیز ارایه شد. تعداد محدودی از پژوهش‌های ردپای آب و مبادله‌ی آب مجازی، که در آن‌ها سناریوهایی مربوط به پیامدهای آینده‌ی افزایش جمعیت و رشد اقتصادی، تغییرات رژیم غذایی، بهبود تکنولوژی، تغییر منبع تأمین انرژی و تغییراقلیم، در نظر گرفته شده بود، اکنون به چاپ رسیده‌اند (Ercin and Hoekstra, 2014, 2016; Orlowsky *et al*., 2014). اما این زمینه‌ی تحقیق، هنوز در آغاز راه خود قرار دارد.

استانداردها و دستورالعمل‌ها

اولین استاندارد ردپای آب، به وسیله‌ی شبکه‌ی ردپای آب و با مشورت با طیف وسیعی از سهامداران در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۱–۲۰۰۸، توسعه داده شد. نسخه‌ی پیش‌نویس این استاندارد در سال ۲۰۰۹، و نسخه‌ی نهایی آن، با عنوان استاندارد جهانی ردپای آب[1]، در سال ۲۰۱۱، ارایه شد (Hoekstra *et al*., 2011). صنعت نوشیدنی، دستورالعملی را که تا حد زیادی مطابق با این استاندارد بود، به چاپ رساند (BIER, 2011). در سال‌های ۲۰۱۳–۲۰۱۱، شبکه‌ی ردپای آب، میزبان گروهی از دانشمندان برای توسعه‌ی دستورالعمل‌های مربوط به ردپای آب خاکستری شد که طی آن جلسات، جزئیات بیش‌تری برای محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری، برای طیف وسیعی از مواد شیمیایی ارائه شد (Franke *et al*., 2013). در سال ۲۰۱۴، سازمان بین‌المللی استانداردسازی[2] (ISO)، شیوه‌ی استانداردی را برای نحوه‌ی ارزیابی و گزارش‌دهیِ ردپای آب محصول‌ها، فرآیندها و سازمان‌ها، در پژوهش‌های LCA ارائه نمود. متأسفانه، این استاندارد، با استاندارد شبکه‌ی ردپای آب، سازگار نیست؛ بخشی از این تفاوت مربوط به متدولوژی متفاوت WFA و LCA بوده و قابل درک است، زیرا تمرکز اصلیِ ISO چرخه‌ی حیات محصولات و پایداری زیست‌محیطی است؛ در حالی که شبکه‌ی ردپای آب، چارچوب وسیعی ارائه نموده است که با استفاده از آن می‌توان ردپای آب را با تمرکز بر موارد مختلف (همچون محصول، تولیدکننده، مصرف‌کننده یا محدوده‌ی جغرافیایی) و از دیدگاه‌های مختلف (همچون پایداری زیست‌محیطی، عدالت

1 Water Footprint Assessment, Setting the Global Standard
2 International Organization for Standardization (ISO)

اجتماعی، کارآیی منبع یا خطر آب) بررسی نمود. با این حال، تعریف واژه‌ها در ISO گمراه‌کننده است. یکی از تفاوت‌های اساسی در ISO آن است که مصرف آب را در یک "ضریب مشخصه[1]" ضرب می‌کند. برای این کار، حجم آب مصرفی در شاخص کمبود محلی آب ضرب می‌شود (Ridoutt and Pfister, 2010)؛ اما این مسأله، با تعاریفی که در دیگر ردپاهای زیست‌محیطی ارائه شده ناسازگار بوده و به همین دلیل مورد نقد قرار گرفته است (Hoekstra, 2016). در این کتاب، من از تعاریفی که در استاندارد جهانی ارزیابی ردپای آب ارایه شده است، پیروی می‌کنم.

نتیجه‌گیری

نوآوری زمینه‌ی تحقیقاتیِ جدیدِ WFA در آن است که توانسته دیدگاه جدیدی را به مدیریت آب اضافه نماید. اولاً، در پژوهش‌های WFA، بعد جهانی به‌کار برده شد است که می‌تواند به درک الگوهای مصرف، آلودگی و کمبود آب، کمک نماید. تعیین عواملی که به صورت غیرمستقیم روی چالش‌های محلیِ آب تاثیر می‌گذارند، این امکان را فرآهم کرد که بدانیم چه‌کاری باید در جای دیگری به جز محلِ مورد بررسی صورت بگیرد، تا باعث بهبود وضعیت پایداری و عدالت در مصرف آب در جهان شد. پیش از آن، به چالش‌های آب، به مثابه‌ی معضلی محلی نگاه می‌شد و این معضل به صورت محلی و یا حداکثر درون یک حوضه‌ی آبریز، حل و فصل می‌گردید.

دوم آن‌که، WFA آغازکننده‌ی راهی برای تحلیل اساسی‌ترین عامل موثر روی پیدایش چالش‌های آلودگی و کمبود آب، یعنی عامل مصرف، می‌باشد. در مدیریت آب، اغلب روی انطباق عرضه و تقاضای آب به صورت محلی، تمرکز می‌شود و در آن، "مدیریت عرضه" و "مدیریت تقاضا" مورد بررسی قرار می‌گیرد، ولی این روش، بسیار کوتاه‌بینانه عمل می‌کند. در مدیریت تقاضای آب، روی کاهش تقاضای آب هر فرد (سرانه‌ی مصرف آب) تمرکز می‌شود، اما به این سوال اساسی که آب در نهایت، برای چه هدفی باید استفاده شود، پاسخی داده نمی‌شود. در نتیجه، این تفکر مانع پیدایش مباحث منتقدانه در بحث تخصیص آب می‌شود؛ مثلاً این‌که آب برای تولید غذا استفاده شود یا تولید علوفه؟ برای غذا مصرف شود یا تولید انرژی‌های زیستی؟ برای غذا مصرف شود یا جنگل‌داری؟ برای تولید محصول‌هایی برای تأمین نیازهای داخلی مصرف شود یا برای تولید محصولات صادراتی؟

سوم آن‌که WFA تفکر زنجیره‌ی تأمین را در مدیریت آب مطرح نموده و از طریق آن، عوامل جدیدی که در ردپای آب و تبعات آن سهیم هستند، را نیز در تحلیل‌ها لحاظ نموده است. در مدیریت سنتی آب، تمرکز اصلی بیش‌تر روی یافتن پاسخ به این سوال است که دولت‌ها چگونه می‌توانند با وجود

1 Characterization factor

رقبای متعدد برای مصرف آب در یک حوضه، بهترین حکمرانی آب را انجام دهند. این در حالی است که در WFA نقش عواملِ موثر دیگری بر حکمرانی آب (مثل مصرف‌کنندگان، شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران) را نشان می‌دهد که بسیاری از آن‌ها، به ظاهر در آن حوضه حضور ندارند. WFA، مفهومی جدید برای بخش کسب‌وکار محسوب می‌شود، زیرا به جای آنکه صرفاً روی فعالیت‌های عملیاتیِ (آن کسب‌وکار) تمرکز کند، روی زنجیره‌ی تأمین را نیز در نظر می‌گیرد. همچنین، به جای برداشت ناخالص روی برداشت خالص، به جای تضمین "مجور برداشت" روی تحلیلِ پایداری واقعیِ مصرف آب، و به جای دادن "مجور دفع و انتشار" روی تحلیلِ سهمِ واقعیِ شرکت در آلودگی تمرکز می‌کند.

اگرچه WFA، ریشه در مباحث مربوط به جهانی‌سازی و پایداری ردپاها و زنجیره‌ی تأمین دارد، توسعه‌ی WFA نیز به نوبه‌ی خود، سهمی در این زمینه‌های فکری بزرگ‌تر دارد. با توجه به نقش حیاتیِ آب در تأمین غذا و انرژی ما، آب منبعی کلیدی برای توسعه‌ی آینده‌ی جهان محسوب می‌شود. برای بهبودِ درک ما از این‌که چگونه عوامل مختلف می‌توانند سهمی در حکمرانی آب[1]، که ترکیبی از معیارهای مهمِ پایداری زیست‌محیطی، عدالت اجتماعی، کارآیی اقتصادی و امنیت عرضه است، داشته باشند، باید پیشرفت‌های بیش‌تری در WFA صورت بگیرد.

گاهی، این سوال عجیب و خنده‌دار از من پرسیده می‌شود که آیا ردپای آب می‌تواند چالش‌های آب جهان را حل نماید یا خیر. مسلم است که نمی‌تواند؛ این مردم هستند که باید این چالش‌ها را حل نمایند. به هرحال، امیدوارم که مفهوم ردپای آب، انگیزه‌ی لازم را در شما ایجاد نماید که عمیق‌تر در مسائلی که در این کتاب مطرح شده است، کنکاش کنید و با ما همراه شوید.

1 Water governance

فصل سوم

چرا ما از منابع آب شیرین محدود خود، بی‌رویه بهره‌برداری می‌کنیم؟

بر اساس نظریه‌ی دست نامرئیِ آدام اسمیت[1]، این اطمینان وجود نخواهد داشت که منابع آب شیرینِ محدودِ جهان، به گونه‌ای تخصیص داده شوند که بیش‌ترین ارزش را برای بشر به همراه بیاورند. سپردنِ (چگونگی) تخصیص آب شیرین به دست بازار، چه در زمان آدام اسمیت و چه در زمان ما، ایده‌ی خوبی نیست. این یکی از بدترین ایده‌هاست. در این‌جا، قصد ندارم که اقتصاددانان را ناراحت نمایم، اما من فکر می‌کنم که ما باید عادل باشیم و این را بپذیریم که استفاده‌ی عاقلانه از منابع طبیعی، قلمرو اختصاصی بازار نیست. آب شیرین برای حیات ضروری است. آب یعنی، سلامتی یعنی غذا، یعنی انرژی. بررسی رفتار "بهره‌ورِ بی‌هزینه[2]" (یعنی کسی که آب را بدون توجه به تبعاتش مصرف و آلوده نموده و بهای این رفتارش را به جای خود، دیگران پرداخت می‌کنند) در درجه‌ی اول در حیطه‌ی تخصص دانشمندان علوم اجتماعی است و نه اقتصاددانان. یافتن راهی برای ممانعت از تغییرات شدید شدت جریان و کیفیت منابع آبی از طریق برداشت و آلودگی آب توسط بشر، بخشی از علوم طبیعی محسوب می‌شود. ارتباط بین کمیت و کیفیت جریان‌های آب شیرین با عملکرد اکوسیستم، در حیطه‌ی عملِ اکولوژیست‌ها قرار دارد. طراحی زیرساخت‌های آب، در زمره‌ی علوم مهندسی بوده و در نهایت، تخصیص منابع آب شیرین، اساساً در دستان سیاست است.

هیچ‌یک از ما، منکرِ ارتباط رشته‌های مختلف با مدیریت آب نیستیم. پس چرا اجازه می‌دهیم که اقتصادِ بازار، نقش اصلی را در حکمرانی منابع آب ما بازی کند؟ آب شیرین، منبعی کمیاب بوده و مصرف‌کنندگان مختلفی دارد که بر سر دسترسی به آن، با هم به رقابت می‌پردازند. بنابراین، پرواضح است که مدیریت آب، داری یک مولفه‌ی اقتصادی مهم است، اما آب یک منبع عمومی بوده و برای اطمینان از استفاده‌ی پایدار و عادلانه از آن، دولت نقش مهمی بازی می‌کند. از آنجایی‌که همه کشورها، نهادهای دولتی بسیاری، از هیئت‌های آب و کمیسیون‌های حوضه‌ی آبریز گرفته تا اداره‌های آب شهری و وزارتخانه‌های ملی مدیریت آب، برای حفاظت از آب دارند، ما همواره تصور می‌کنیم که دولت (به خوبی از آب) حفاظت می‌کند، اما واقعیت، چیز دیگری است. اگر به این نکته را دریابیم که مکانیسم اصلی‌ای که باعثِ تغییر در وضعیتِ منابع آب شیرین ما شده است، همان مکانیسمِ اقتصادیِ عرضه و تقاضایِ کالاهای روزانه‌ی ما، مانند غذا، الیاف، انرژی، موادمعدنی و غیره می‌باشد، خواهیم دانست که آن‌چه امروزه، دولت‌ها به عنوان حفاظت از آب و تخصیص عاقلانه‌ی منابع آب انجام می‌دهند، اقداماتی نامرتبط و نامطلوب است. بازار جهانی می‌گوید: تولید مارچوبه در صحراهای کشور پرو[3]، سود اقتصادی بسیاری دارد، بنابراین، مارچوبه در بیابان‌های پرو کاشت می‌شود و در نتیجه، سطوح آب زیرزمینی،

1 The invisible hand of Adam Smith
2 Free-rider behaviour
3 Peru

کاهش می‌یابد. بازار می‌گوید: چیزهای ارزان را از کشور چین وارد کنید؛ بنابراین، این مسأله باعثِ خشک‌شدن و به شدت آلوده شدنِ رودخانه‌های کشور چین می‌شود. آب، رایگان است، بنابراین، هیچ راهی وجود ندارد که بر اساسِ آن، اقتصادها، (غرامت ناشی از) کمبود منابع آب شیرین و آسیب‌پذیریِ اکوسیستم‌ها به برداشت بی‌رویه و یا آلودگی منابع آب را حساب کنند. اقتصاد از عوامل دیگری به جز آب پیروی می‌کند. اقتصادها، الگوهای خاصی برای چگونگی توزیعِ مکانیِ تولید را توسعه می‌دهند که این الگوها به نوبه‌ی خود، مشخص می‌کنند که کجا باید آب مصرف و آلوده شود، بدون اینکه برای توسعه‌ی چنین الگوهایی، به حداکثر میزان آب پایداری که می‌تواند در هر مکانی برداشت شود یا به ظرفیتِ پذیرش آلاینده‌ها (در منابع آب شیرین آن مکان) توجهی شده باشد. شهرها، بدون توجه به این مسأله که آیا اصلاً آبی برای حفظ این شهرها وجود دارد یا خیر، در هر جایی که بخواهند توسعه می‌یابند. کشاورزی و شماهای آبیاری، حتی در جاهایی گسترش می‌یابند که کاملاً واضح است که در درازمدت، آب کافی در این مکان‌ها برای تولید پایدار گیاهان وجود نخواهد داشت.

دولت‌ها به ظاهر، برنامه‌ریزی‌هایی برای مقابله با آلودگی و اصلاحِ کارآیی مصرف آب شیرین انجام می‌دهند، اما آن‌ها با تسهیل نمودن فرآیند رشد اقتصادی‌ای که در آن، توجهی به مسأله‌ی آسیب‌پذیری آب شیرین نمی‌شود، در عمل و از دیدگاه استفاده‌ی پایدار از آب، بیش‌تر در حال آسیب رساندن هستند تا انجام کاری مفید. ایالات متحده‌ی آمریکا، قوانین آب خوبی داشته و استانداردهای محیطیِ مطلوبی را برای کیفیت آب تدوین نموده است، پس چرا از آبخوان اوگالالا[1] که زیرِ گریت‌پلین[2] قرار دارد، برداشت بی‌رویه صورت گرفته است؟ چرا رودخانه‌ی کلرادو[3] در حال خشک شدن است و چرا عناصر مغذی و آفت‌کش‌هایی که به منابع آب این کشور وارد شده‌اند، در بسیاری از مکان‌ها فراتر از حد استاندارد خود هستند؟ به نظر می‌رسد که کسی تمایل به لحاظ مسأله‌ی کمبود و آلودگی آب، به عنوان معیاری در تصمیم‌گیری‌های اقتصادی نداشته باشد. تدوین و تنظیم شرایط مرزی برای توسعه‌ی کشاورزی، رشد صنعتی و یا توسعه‌ی شهرها، در اختیارات وزارت آب نیست. بنابراین، چنین توسعه‌هایی بدون توجه به حد و مرزهایی که برای پایداریِ منابع آب موجود در هر محل وضع شده است، صورت می‌گیرد.

قضیه‌ی اصلیِ این کتاب آن است که بگوید، تمام چالش‌هایِ برداشت بی‌رویه و آلودگی آب در جهان، نشأت‌گرفته از آن چیزهایی است که ما مصرف می‌کنیم، اما بررسی چالش‌های آبی با این دیدگاه، امری غیرمعمول است. این مسأله، خیلی مرتبط و حتی خیلی مهم است که ما بدانیم آیا نخی که در شلوار نخی ما استفاده شده است، از مکان‌هایی تأمین می‌شود که در آن‌ها، رودخانه‌ها به دلیلِ آبیاری

1 Ogallala aquifer
2 Great Plains
3 Colorado River

مزراع پنبه در حال خشک شدن هستند یا خیر و این‌که آیا غذایی که ما می‌خوریم از مکان‌هایی وارد می‌شود که در آن‌ها، آبخوان‌ها در حال خشک‌شدن هستند یا خیر. چرا باید به مسایل آبی ازاز دیدگاه مصرف و زنجیره‌ی تأمین توجه کنیم؟ دیدگاه سنتی‌ای که درباره‌ی مصرف بی‌رویه و آلودگی آب وجود دارد آن است که تنها باید کشاورزان، صنایع و شهرداری‌ها پاسخگوی چالش‌های آبی باشند، زیرا هرجایی که آبخوان‌ها تخلیه می‌شوند، رودخانه‌ها خشک می‌شوند و یا منابع آبی آلوده می‌شوند، تنها به این دلیل است که کشاورزان، صنایع یا شهرداری‌ها، آب زیادی برداشت می‌کنند، مواد شیمیایی بسیار زیادی در مزراع خود استفاده می‌کنند و یا فاضلاب‌های آلوده را به منابع آب تخیله می‌نمایند. اگر قرار باشد چنین دیدگاهی تغییر کند، آن‌گاه چه کسی به جز کشاورزان، صنایع و شهردارای‌ها باید پاسخگو باشند؟ معمولاً، در پاسخ به این سوال، مسئولان دولتیِ کشور یا ایالت به عنوان پاسخگویان اصلی انگاشته می‌شوند. دولت‌ها باید قوانین و مقررات صحیح را – از طریق تنظیمِ مجورهای برداشت آب، استانداردهای کیفی فاضلاب و مجوزهای (دفع آن) – تدوین نمایند؛ در چنین شرایطی، کاربران آب، انگیزه‌های کافی (برای مصرف صحیح آب) را به دست آورده و حد و مرزها را نیز به طور شفاف خواهند دانست.

بنابراین، دیدگاه متداول آن است که: دولت باید قانون وضع کند و کاربران آب باید از این قوانین تبعیت کنند. دو دلیل اصلی مبنی بر ناکافی بودن چنین دیدگاهی وجود دارد. اول آن‌که، تولید هر محصولی، تابع تقاضا بوده و یا دست‌کم، برای مصرف‌شدن تولید می‌شود. بنابراین، وقتی تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، همگی بخشی از یک سیستمِ ناپایدار هستند، باید کل مجموعه‌ی درگیر در این سیستم برای رفع چالش‌ها اقدام نمایند. مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان در این سیستم مسئولیت مشابه دارند. دوم آن‌که، تنها زمانی می‌توان مصرف‌کنندگان را از این ورطه خارج نمود که دولت‌ها به خوبی حکمرانی نموده و تولیدکنندگان، به صورت پایدار تولید نمایند، اما هیچ‌یک از این دو شرط، وجود ندارند. دولت‌ها تا حد زیادی، به دلیلِ نبود قیمت‌گذاریِ صحیحِ آب شکست می‌خورند و به این ترتیب، بهای واقعی آب را با سرمایه‌گذاری روی برداشت بی‌رویه از آب به جای سرمایه‌گذاری روی حفاظت از آب و ارتقای کارآیی آن، بیا با تدوین استانداردهای کیفیِ آب، بدون اطمینان از محقق شدن آن‌ها و دیگر موارد این چنینی، می‌پردازند. تولیدکنندگان نیز به دلیل بی‌توجهی‌های خود، شکست می‌خورند. استراتژی‌های مدنظرِ کسب‌وکارها در زمینه‌ی پایداری، اغلب به مسائل خودِ کارخانه (یعنی همان فعالیت‌های درون کارخانه) محدود می‌شود؛ در حالی‌که معمولاً در زنجیره‌هایِ تأمین مربوط به کارخانه‌ها و شرکت‌ها، استفاده‌ی ناپایدار آب وجود دارد.

اگر دولت‌ها در تمام کشورهای جهان، استانداردهای محلی مناسبی تدوین نمایند، مقررات محلی وضع نموده و از اجرای آن‌ها اطمینان حاصل نمایند، دیگر جایی برای برداشت بی‌رویه از آب و آلوده نمودن آن در این جهان باقی نخواهد ماند. فرآیندهای تولید، با رعایت حد و مرزهای پایداری، پیش می‌روند و به این ترتیب، مصرف‌کنندگان، می‌توانند مطمئن باشند که مصارف آب در تمامیِ فرآیندهای درگیر در تولید محصول‌های مختلفی که خریداری می‌نمایند، پایدار بوده است، اما واقعیت نشان می‌دهد که اگر تمام مسئولت، به گردن دولت و شرکت‌ها محول شود، چنین چیزی رخ نخواهد داد. راهی به جز این وجود ندارد که مصرف‌کنندگان، داوطلبانه، به دلیل جایگاهی که به عنوان مصرف‌کننده، رای‌دهنده، صرفه‌جویی‌کننده‌ی آب و همچنین عامل مستقل در ایجاد تغییرات دارند، نیز وارد عمل شوند. تغییرات واقعی در جهان، یعنی تغییر در منش ما برای مدیریت مطلوب مصارف‌مان، تنها زمانی رخ می‌دهد که افراد زیادی، علاقه‌مند و خواستارِ (مشارکت در ایجاد چنین تغییراتی) شوند. این کتاب قصد دارد تا انگیزه‌ی کافی در شما ایجاد نماید تا به تفکری عمیق درباره‌ی روش مدیریت منابع آب شیرین در جهان و درباره‌ی نقشی که عوامل ودست‌اندرکاران مختلف می‌توانند در راه رسیدن به استفاده‌ای پایدارتر، عادلانه‌تر و کارآمدتر از منابع آب شیرین محدود جهان داشته باشند، بپردازید.

در این فصل، به این مسأله که چرا آب شیرین، یک منبع منحصر به فرد بوده و دارای ویژگی‌هایی بسیار متفاوت نسبت به دیگر منابع طبیعی است، می‌پردازم. اولاً، آب شیرین، منبعی تجدیدپذیر اما محدود می‌باشد. تا حد زیادی، آب شیرین، ویژگی‌های یک منبع تجدیدناپذیر را دارد، که این بدان معنی است که ما باید با (آبی) که در یک سال به‌دست می‌آوریم (یعنی همان باران)، زندگی خود را بگذرانیم؛ ما نمی‌توانیم آبی بیش‌تر از آن‌چه (سالانه) دریافت می‌داریم، برداشت کنیم. دوم این‌که آب، کالایی خصوصی نیست، بلکه اصطلاحاً به اموال عمومی[1] شناخته می‌شود؛ مصرف‌کنندگان آب اغلب بهایِ مصارف آبی نادرست خود را به دیگر مصرف‌کنندگان، چه به آن‌هایی که در محیطِ پیرامون‌شان هستند و چه آن‌هایی که در پایین‌دست رودخانه زندگی می‌کنند، تحمیل می‌کنند. سوم این‌که، میزان آب در دسترس، در طول یک‌سال و در سال‌های مختلف، و از مکانی به مکان دیگر، به شدت تغییر می‌کند، بنابراین، کمبودِ آب نیز دارای نوسانات مکانی و زمانی می‌باشد. چهارم این‌که، معمولاً بهایی که برای آب درنظر گرفته می‌شود، بسیار کم‌تر از قیمت واقعی آن است که این مسأله، خود عاملی برای استفاده‌ی غیرعاقلانه از چنین منبعی می‌شود. به طور کلی، این ویژگی‌های خاص آب، همان دلیل اصلی برداشت‌های بی‌رویه منابع آب شیرین در بسیاری از نقاط می‌باشد. چنین برداشت‌هایی نه تنها به اکوسیستم‌ها آسیب می‌رساند، بلکه رفاه پایدار را نیز به مخاطره می‌اندازد. مسأله‌ی مهم‌تر از همه‌ی

1 Common-pool resource

این‌ها، که مدیریت عاقلانه‌ی آب را دشوارتر می‌سازد، آن است که ما در دنیایی زندگی می‌کنیم که بیش‌تر از هر زمان دیگری، توسعه یافته و جهانی شده است. آب، از منبعی محلی، که برای تولید نیازهای داخلی استفاده می‌شد، به منبعی جهانی، که برای تولید کالاهای صادراتی نیز استفاده می‌شود، تبدیل شده است. با استفاده از مفهوم ردپای آب، می‌توان درک بهتری از نقش آب در اقتصاد جهانمان، و به‌ویژه، این‌که چگونه مصرف‌کنندگان و شرکت‌ها می‌توانند به صورت غیرمستقیم باعث پیدایش چالش‌های آبی در زنجیره‌ی تأمین خود می‌شوند، به دست خواهد آمد.

آب شیرین، منبعی تجدیدپذیر، اما محدود است

برخلاف نفت، ذغال‌سنگ یا گاز، آب شیرین، منبعی تجدیدپذیر است. دیگر منابع تجدیدپذیر، شاملِ زیست‌توده، انرژی خورشیدی و باد هستند. تجدیدپذیری به این معنی است که آن منبع به صورت طبیعی در یک دوره‌ی زمانی معین، دوباره شکل گرفته و یا پُر می‌شود. تخلیه‌ی چنین منبعی، به معنی نابودی آن نیست. منابع آب شیرین روی زمین به خاطر تبخیر و یا تخلیه آب به اقیانوس‌ها، از دسترس خارج می‌شوند، اما در زمان دیگری، دوباره به واسطه‌ی بارش به زمین بازمی‌گردند. اگرچه آب شیرین، منبعی تجدیدپذیر است، اما منبعی محدود نیز می‌باشد. محدود به این معنی است که مقدار آبِ در دسترس محدود است. به نظر می‌رسد که چنین چیزی در تضاد با تجدیدپذیری باشد. زیرا، اگر آب به طور مداوم، در حال تجدید شدن است، پس چرا باید گفت که میزان آب در دسترس محدود است؟ دلیل آن است که ما "میزان آب در دسترس[1]" را به صورت حجم آب موجود در واحد زمان تعیین می‌کنیم. در یک بازه‌ی زمانی خاص، همیشه مقدار معینی بارش وجود دارد. همین مسأله، درباره‌ی میزان تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی و جریان آب در رودخانه‌ها نیز مصداق دارد. آب باران می‌تواند در تولید محصولات کشاورزی به‌کار گرفته شده و آب آبخوان‌ها و رودخانه‌ها نیز می‌تواند برای مقاصدی همچون آبیاری، شرب و صنعت، استفاده شود. اما در یک بازه‌ی زمانی خاص، نمی‌توان آبی بیش‌تر از آن‌چه در آن بازه موجود است را استفاده نمود. در درازمدت، برداشت از رودخانه‌ها نمی‌تواند بیش‌تر از میزان جریان ورودی به آن‌ها باشد، همچنین، آب برداشتی از منابع آب زیرزمینی و دریاچه‌ها نیز نمی‌تواند بیش‌تر از نرخ تغذیه‌ی آن‌ها باشد . گاهی آبخوان‌های عمیق گاهی اصلاً تغذیه نمی‌شوند و نمی‌توان به آن‌ها به چشم منابعی تجدیدپذیر نگریست؛ بنابراین، آب موجود در چنین آبخوان‌هایی، آب‌های زیرزمینی فسیلی[2] نامیده می‌شوند.

1 Freshwater availability
2 Fossil groundwater

به این ترتیب، به دلیلِ محدودیت آب و تقاضاهای مختلفی که برای استفاده از آب وجود دارد، اغلب رقابت‌هایی بر سر آب به وجود آمده و باعث می‌شود که آب، تبدیل به منبعی کمیاب شود. "تولید" آب، غیرممکن است. فقط گاهی می‌توان برای استفاده از آب در زمان و یا مکانی دیگر، آن را از مسیر طبیعی خود منحرف نمود و یا به صورت موقتی ذخیره نمود. اما، انجام چنین کارهای، همواره با محدودیت‌هایی همراه است، زیرا محدودیت‌هایی برای انتقال و ذخیره‌سازی آب وجود دارد. اولین محدودیت آن است که انتقال و یا ذخیره‌سازی آب به دلیلِ حجیم بودنِ آن، بسیار پرهزینه بوده و به زیرساخت‌های عظیمی نیاز دارد. دوم آن‌که منحرف نمودن جریان آب از مسیر طبیعی‌اش و بردن آن به جایی دیگر و یا ذخیره‌سازی برای استفاده در زمانی دیگر، می‌تواند روی اکوسیستمی که با این شدت جریان طبیعی سازگار شده است، اثرات منفی بگذارد. ایجاد تغییرات معنی‌دار در شدت جریان‌های طبیعی آب، اثرات نامطلوبی، هم روی اکوسیستم‌های پایین‌دست و هم مصرف‌کنندگان پایین‌دست خواهد گذاشت.

آب شیرین، نه تنها کمیاب است، بلکه غیرقابل بازتولید[1] است. من تا دقایقی دیگر، مفاهیم مربوط به این مسأله را بررسی می‌کنم. اما اجازه دهید ابتدا درباره‌ی این عبارت که آب نمی‌تواند "تولید شود"، توضیح بدهم. ممکن است برخی این‌گونه مدعی شوند شوری‌زدایی و شیرین نمودن آب‌های شور و لب‌شورِ موجود در اقیانوس‌ها و نواحی ساحلی، آب را به منبعی نامحدود تبدیل خواهد نمود . اگرچه این فرضیه در ظاهر درست به نظر می‌رسد، اما در آن، از این واقعیت صرف‌نظر شده که فرآیند شوری‌زدایی نیازمند صرف مقدار زیادی انرژی است که خود عاملی محدودکننده برای این فرآیند محسوب می‌گردد؛ همچنین، شوری‌زدایی فقط در حجمی محدود و در اراضی ساحلی و برای اهداف ر ارزش قابل اجرا بوده و نمی‌توان به آن به عنوان راه‌کاری برای تأمین آب در بخش کشاورزی، که حجم زیادی آب مصرف می‌کند، نگریست.

این واقعیت که آب اساساً کالایی غیرقابل بازتولید است، اثرات و پیامدهای زیادی روی توانایی برای مدیریت تأمین و عرضه‌ی آب دارد. تفاوت بین کالاهای قابل بازتولید و غیرقابل بازتولید، از سوی ریکاردو (۱۸۲۱)[2] ارائه شد. کالاهای قابل بازتولید، می‌توانند دوباره تولید شوند و میزان آن‌ها می‌تواند افزایش یابد. همه‌ی کالاهای ماشینی، قابل بازتولید هستند. کالاهای غیرقابل بازتولید، نمی‌توانند مجدداً تولید شوند و به همین دلیل، مقدار عرضه‌ی آن‌ها ثابت است. بسیاری از تئوری‌های اقتصادی، درباره‌ی تولید، عرضه و تقاضایِ کالاهای قابل بازتولید است. وقتی ما درباره‌ی کالاهای غیرقابل بازتولید صحبت می‌کنیم، به جای تولید، باید درباره‌ی "نگهداری" و "محافظت" صحبت کنیم. هر زمان که ما از کالاهای ارزشمند غیرقابل بازتولید محافظت کنیم، (در حقیقت) ارزش اقتصادی تولید نموده‌ایم، اما

1 *Non-reproducible*
2 Ricardo (1821)

اقتصاددان‌ها به این موضوع توجهی نمی‌کنند، زیرا از نظر آن‌ها، محافظت را نمی‌توان بخشی از فرآیند تولید در نظر گرفت. در مقیاس حوضه‌ی آبریز، آب به وسیله‌ی بارش تأمین می‌شود. مردمِ درون یک حوضه‌ی آبریز، هرچه‌قدر هم که آب نیاز داشته باشند، تنها همان اندازه می‌توانند آب دریافت کنند که (بارش) به آن‌ها می‌دهد. در مقیاس کوچک‌تر، مردم می‌توانند با ذخیره‌سازی آب در پشت سدها و یا با منحرف نمودن جریان آب از طریق کانال‌ها یا پمپ‌ها به مکان‌هایی دیگر، در عرضه و تأمین آب دستکاری کنند. اما حجم آبی که در هر زمان می‌توانند ذخیره کنند و یا میزان آبی که می‌توانند در هر مکانی از مسیر طبیعی خود منحرف نمایند، محدود است. بنابراین، در مقیاس‌های بزرگ‌تر، امکانِ کم‌تری برای دستکاری نمودن در وضعیت موجود برای افزایش عرضه و تأمین آب دارند.

وقتی روی مصرف آبِ موجود رقابت وجود داشته باشد، بهترین کاری که مردم می‌توانند انجام دهند آن است که تا جایی که می‌توانند از منابع آب محافظت نمایند. در این صورت، استفاده از آب برای هدفی خاص، مانع تأمین آب برای هدفی دیگر نخواهد شد. این کار را می‌توان با بازگرداندن تمام آب برداشت شده پس از مصرف به طبیعت و با آلوده ننمودن آب انجام داد؛ این همان مفهومِ اقتصاد چرخشی است. متأسفانه، محافظت از کالاهای غیرقابل بازتولید، تنها در زمره‌ی بحث‌های حاشیه‌ای اقتصادی قرار دارد.

دسترسی آزاد، رقابت و اثرات خارجی

آب شیرین، به اصطلاح جزو اموال عمومی است. اموال عمومی، گروه خاصی از کالاها هستند که دو ویژگی مشخص دارند: اولاً، دسترسی به آن‌ها، آزاد بوده و اموال خصوصی محسوب نمی‌شوند؛ دوم آن‌که برای مصرف آن‌ها رقابت وجود دارد. به عبارتی دیگر، استفاده از این منبع در یک هدف، می‌تواند مانعِ استفاده‌ی آن در هدفی دیگر شود.

مردم، می‌توانند صاحب یک زمین باشند، اما نمی‌توانند صاحبِ آب سطحی و یا زیرزمینیِ جاری در آن زمین نیز باشند. آب شیرین، نه می‌تواند به صورت خصوصی در انحصار کسی باشد و نه مبادله شود. وقتی اصطلاح "خصوصی‌سازی آب"[1] به کار گرفته می‌شود، منظور، خصوصی‌سازیِ ذخیره‌ی آب است، که این بدان معناست که وظایف و خدمات مربوط به جمع‌آوری، تصفیه و توزیع ویا وظایف مربوط به جمع‌آوری فاضلاب و تصفیه آن، خصوصی است، اما بدان معنی نیست که آب خودش کالایی خصوصی است.

1 Water privatization

اموال عمومی، در معرضِ خطرِ بهره‌برداری‌های بی‌هزینه قرار دارند؛ یعنی این‌که فردی، استفاده‌ی شخصی خود از این منبع ببرد، اما و هزینه‌ها و پیامدهای این کار را به کل جامعه تحمیل نماید. این مسأله را می‌توانیم با مثالی ساده بررسی کنیم. فرض کنید یک کشاورز، به ازای برداشت یک مترمکعب آبِ بیش‌تر از آبخوانی، یک دلار درآمدِ اضافی به دست بیاورد. همچنین فرض کنید که این برداشتِ اضافه، باعثِ کاهشِ اندکی در سطح آب زیرزمینی شود، در نتیجه، تمامِ کشاورزانی که از آن آبخوان استفاده می‌کنند، باید انرژی بیش‌تری برای پمپاژ نمودنِ آب بپردازند. فرض کنید که کل هزینه‌ی پمپاژِ اضافی در آن جامعه، در مجموع دو دلار بشود. از دیدگاه کلان، درآمد حاصل از آن یک مترمکعب برداشتِ اضافی از آب (یعنی یک دلار)، بیش‌تر از هزینه‌ی تحمیل شده (یعنی دو دلار) نیست. با این حال، اگر بخواهیم این قضیه را از دیدگاهِ هر کشاورز به‌تنهایی بررسی کنیم، داستان فرق خواهد داشت. این هزینه‌ی اضافی دو دلاری، بین تمامیِ کشاورزانی که از آن آبخوان استفاده می‌کنند، تقسیم می‌شود؛ مثلاً اگر صد کشاورز از آن آبخوان استفاده کنند، هریک از آن‌ها باید ۲ سنت اضافه برای پمپاژ بپردازند؛ بدون آن‌که سود اضافه‌ای به دست بیاورند. اما آن کشاورزی که یک مترمکعب آب اضافه برداشت کرده بود، سود خواهد کرد؛ زیرا با پرداخت دو سنت بیش‌تر، درآمدش یک دلار بیش‌تر خواهد شد. به این ترتیب، سود خالص او ۹۸ سنت خواهد بود. پس او هزینه‌ی این رفتار ناعادلانه‌ی خود را به کل جامعه تحمیل نموده و فقط خودش سود برده است.

اغلب، مسأله حتی بدتر از این است. در مثالِ بالا، آن بهره‌بردارِ بی‌هزینه که آب اضافی برداشت کرده بود، دست‌کم سهم خود از این مجموعِ هزینه‌ی تحمیلیِ اضافه (یعنی آن دو سنت) را پرداخت نموده است، اما گاهی اتفاق می‌افتد که این این فرد، حتی همین هزینه‌ی را نیز پرداخت ننموده و فقط سود می‌برد. چنین چیزی، به خاطر خاصیت جاری بودن آب است که باعثِ تحمیلِ هزینه‌های اضافی توسط مصرف‌کنندگان بالادست به مصرف‌کنندگان پایین‌دست می‌گردد. در حقیقت، هزینه‌های ناشی از مصرف و آلوده نمودن آب یک رودخانه، برای مصرف‌کنندگان بالادست ملموس نیست، اما مصرف‌کنندگان در پایین‌دست رودخانه، به خوبی آن را درک می‌کنند. در علم اقتصاد، چنین هزینه‌هایی را هزینه‌های خارجی[1] و یا اثرات خارجی[2] می‌نامند. در دنیای آب شیرین، این‌که مصرف‌کنندگان، بهای مربوط به اثرات خارجی مصارف آبی خود را بپردازند، رایج نیست که این مسأله، خودش باعث تشویق آن‌ها به مصرف و آلوده نمودن آب، بدون توجه به هزینه‌هایی که به پایین‌دست تحمیل می‌کنند، خواهد شد.

1 External costs
2 Externalities

موجودیت آب شیرین و تقاضای برای آن، به شدت متأثر از زمان و مکان است

مقدار آب شیرین، در مناطق مختلف با هم فرق دارد. از این جهت، آب شیرین شبیه نفت است: برخی کشورها، مقدار زیادی نفت دارد، در حالی‌که برخی ندارند. نظر به نقشِ حیاتی آب در بسیاری از فرآیندهای تولید، می‌توان گفت که آب نیز مانند نفت، منبعی ژئوپولیتیک است (Hoekstra and Chapagain, 2008).

داشتنِ مقدار زیادی آب یا نفت در شرایطی که دیگران از داشتن آن محروم هستند، باعثِ پیدایش نوعی قدرت سیاسی می‌شود (Allan, 2001). کشورهای بالادست، از موضع قدرت با کشورهای پایین‌دست برخورد می‌کنند. ترکیه، با بهره‌برداری از دجله و فرات، روی سوریه و عراق، اعمال قدرت می‌کند. چین، با برداشت از رود مکونگ، به کامبوج و ویتنام زور می‌گوید. اما قدرت سیاسی به سبب داشتنِ آبی بیش‌تر، تنها محدود به روابط بالادستی‌ها–پایین‌دستی‌ها نمی‌شود. کشورهای کم‌آب در شمال آفریقا و خاورمیانه، به واردات غذا از کشورهای پرآبی وابسته هستند که بسیار از آن‌ها دور می‌باشند.

در نهایت تعجب، نواحی بسیاری وجود دارد که همزمان با چالش‌های سیل و کمبود آب مواجه هستند. در این نواحی، کمبود آب در دوره‌های خشکِ سال اتفاق می‌افتد و سیل در دوره‌های مرطوب. همچنین، رقابت بر سر آب و ارزش‌های اقتصادیِ ناشی از آن، از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند. این یکی از ویژگی‌های خاص آب است؛ ویژگی‌ای که برای دیگر منابع یا کالاها یافت نمی‌شود. نه فقط موجودیت آب، بلکه حتی تقاضای آب نیز با زمان و مکان تغییر می‌کند.

نکته‌ی قابل توجه برای آب آن است که حداکثر مقدار تقاضا، معمولاً درست وقتی رخ می‌دهد که کم‌ترین ذخیره‌ی آبی وجود دارد. هم مصرف و هم موجودیت آب، در طول یک‌سال و از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند (Mekonnen and Hoekstra, 2016). همین مسأله را وقتی که سال‌های نسبتاً خشک و تر را با هم مقایسه می‌کنیم نیز می‌بینیم: تقاضای آب در سال‌های خشک، حداکثر است، اما ذخیره‌ی آب در این سال‌ها، حداقل مقدار خود را دارد. چنین چیزی برای دیگر کالاهای اقتصادی مصداق ندارد؛ برای آن کالاها، عرضه و تقاضا در تعامل با یک‌دیگر بوده و به نحوی تنظیم می‌شوند که بر هم منطبق شوند. بسیار دشوار است که بتوان درباره‌ی "کمبود آب"، به همان شیوه‌ای صحبت کنیم که مثلاً درباره‌ی بازارِ خانگی یا بازارِ وسائل الکترونیکی صحبت می‌کنیم. کمبود آب می‌تواند به شدت روی میزان تولید محصولات و فعالیت‌های عملیاتی صنعتی تاثیر بگذارد، اما سیل‌ها، به راحتی می‌توانند تمامِ خاطراتِ ناخوشایند مربوط به کمبود آب را از ذهن مردم پاک کنند. این خیال که می‌توان با ذخیره‌ی سیلاب‌ها در دوره‌های تر و استفاده از آن‌ها در دوره‌های خشک، همه‌ی مشکلات مربوط به کم‌آبی را

حل نمود، خیلی وسوسه‌برانگیر است، اما، در این زمینه هم محدودیت‌هایی از نظر یافتنِ مکان‌های مناسب برای ذخیره‌ی آب وجود دارد. بعید نیست که ساختنِ یک سد جدید، باعثِ مجبور نمودن هزاران نفر از مردم به ترک زمین‌های خود، که (به خاطر ساختنِ این سدهای) غرقاب می‌شوند، گردد. با ساختنِ سد سه‌دره[1] بر روی رودخانه‌ی یانگ‌تسه[2] در چین، بیش از یک میلیون نفر از مردم، به دلیلِ قرار داشتن خانه‌هایشان در محل مخزن پشت سد، مجبور به ترک آن‌جا شدند. علاوه بر محدودیت مکانی، ملاحظات اکولوژیکی نیز مانعی برای ذخیره‌ی آب و سدسازی‌های بی‌رویه محسوب می‌شود. مروری بر پیامدهای ناشی از ساخت سدها روی رودخانه‌های بزرگ در جهان نشان می‌دهد که سدسازی، سیستم طبیعیِ بیش از نیمی از این رودخانه‌ها را متأثر ساخته است؛ از آن جمله می‌توان به هشت مورد از رودخانه‌هایی که بیش‌ترین تنوع بیولوژیکی و جغرافیایی دارند، اشاره نمود (Nilsson *et al*., 2005). تغییر جریان رودخانه و انقطاع آن در نتیجه‌ی ساخت سد بر رودخانه، می‌تواند باعثِ خسارت‌های اکولوژیکی قابل‌توجهی شود (Poff and Zimmerman, 2010).

آب شیرین، بسیار با ارزش است، اما اغلب، کم‌تر از ارزش واقعی‌اش، ارزش‌گذاری می‌شود

از آنجایی‌که آب، طبیعتاً رایگان است؛ یعنی باران می‌بارد چون باید ببارد و آب در رودخانه‌ها جریان می‌یابد، چون باید جریان یابد و متعلق به کسی نبوده یا معامله نمی‌شود، در نتیجه هیچ مکانیزم بازاری‌ای برای ارزش‌گذاری آب وجود ندارد. نه تنها آب باران و منابع آب سطحی و زیرزمینی رایگان در اختیار بشر قرار می‌گیرد، بلکه حتی شکل‌های خاص‌تری از ذخایر آب شیرین نیز وجود دارند که به شدت ارزان‌تر از قیمتِ واقعی‌اش و یا حتی رایگان هستند. بسیاری از دولت‌ها، با سرمایه‌گذاری روی ساخت زیرساخت‌هایی همچون سدها، کانال‌ها، ایستگاه‌های تصفیه آب، سیستم‌های توزیع، ایستگاه‌های شوری‌زدایی و ایستگاه‌های تصفیه فاضلاب، تا حد بسیار زیادی به تأمین آب، یارانه اختصاص می‌دهند. این هزینه‌ها، مستقیماً از مصرف‌کنندگان آب دریافت نمی‌شود. اگر قرار باشد کاربران، تمام هزینه‌های مربوط به تأمین آب مصرفی‌شان را بپردازند، علاوه بر پرداختِ هزینه‌ی مربوط به خودِ آب، باید تمام هزینه‌های مربوط به خدماتی که عرضه‌کنندگان آب ارایه می‌دهند و هزینه‌هایی که آن‌ها برای پمپاژ یا تصفیه آب صرف می‌کنند را نیز متقبل شوند. این‌که کمبود آب به صورت "هزینه‌ی کمبود[3]" در تعیین هزینه‌ی واقعی آب لحاظ شود، امری غیرمعمول است. به‌علاوه، مصرف‌کنندگان آب، معمولاً هزینه‌های

1 Three Gorges Dam
2 Yangtze River
3 Scarcity rent

مربوط به اثرات منفی‌ای که به مردم و یا اکوسیستم‌های پایین‌دست تحمیل می‌کنند، را پرداخت نمی‌نمایند. فقط در برخی موارد استثنایی، دولت‌ها مصرف‌کنندگان را وادار به پرداخت هزینه‌های خود آب در قالب مالیاتِ آب یا خرید مجوز برداشت آب می‌نمایند. با این‌حال در عمل، اگر بخش بزرگی از مصرف‌کنندگان آب را در نظر بگیریم، درخواهیم یافت که ارزش آب، اغلب به شدت کم‌تر از مقدار واقعی‌اش بوده و یا حتی رایگان است. در نتیجه، انگیزه‌ی اقتصادی کافی میان مصرف‌کنندگان برای صرفه‌جویی در مصرف آب وجود ندارد. به‌علاوه، هزینه‌ی آب، حتی در هزینه‌های کلیِ مربوط به کالاهای آب‌بر هم لحاظ نمی‌شود. در نتیجه، علی‌رغم این‌که کالاهای مختلف تا حد زیادی به منابع آبی کمیاب به عنوان ورودی نیاز دارند، در تولید و مبادله‌ی این کالاها، اصلاً و یا به ندرت، به مسأله‌ی کمبود آب توجهی می‌شود. تنها محدودیتی که برای تولید وجود دارد کمبود مطلق آب است؛ یعنی وقتی که رودخانه کاملاً خشک می‌شود و دیگر آبی برای استفاده در پایین‌دست وجود نخواهد داشت. همان‌گونه که یانگ و همکاران (۲۰۰۳) و چوچان و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند، در حقیقت، کمبود مطلق آب، مانعی برای تولید بوده و ورودِ کالاهای آب‌بری همچون غلات را در بسیاری از مناطقِ کم‌آبِ جهان، ضروری می‌سازد.

با تمرکز روی معضلِ نبود قیمت‌گذاریِ مناسبِ آب، ممکن است توجه‌ها از موضوع اصلی که همان لحاظ نرخ کمبود آب در تصمیمات اقتصادی است، منحرف شود. ارزش‌گذاری آب بر اساسِ قیمتِ واقعی‌اش، می‌تواند به تخصیص مناسب منابع آب و استفاده صحیح از آب شیرین کمک نماید، اما این تصور غلطی است که ارزش‌گذاری صحیحِ آب را به عنوان راه‌کاری برای رفعِ استفاده‌ی ناکارآمد و ناپایدار از منابع آب قلمداد نماییم. اگرچه این استراتژی می‌تواند به استفاده‌ی کارآمد و پایدار آب کمک نماید، اما به تنهایی برای نیل به چنین هدفی کافی نخواهد بود. وضع مقررات اضافیِ دیگری نیز ضروری است. تصور غلط‌ترِ دیگر آن است که "بازارهای آب"[1]، ابزاری منطقی برای ارزش‌گذاری صحیح آب هستند. تعداد کمی از کشورها، مانند شیلی، استرالیا و ایالات متحده‌ی آمریکا، تجربه‌ی راه‌اندازیِ بازارهای آب را داشته‌اند که در آن‌ها، حقابه‌ها[2] (حقوق آب[3]) معامله می‌شوند (Bjornlund and McKay, 2002)، اما هیچ شواهدی وجود ندارد که آیا چنین کاری، باعثِ محافظت بهتر از منابع آبی در مقایسه با دیگر مکان‌ها شده است یا خیر (Bauer, 1997; Dellapenna, 2000). برای داشتن قیمت‌هایی که ارزش واقعی آب را بهتر نشان دهند، دولت‌ها باید به جای ایجاد بازار آب، به اصلاح تعرفه‌های آب بپردازند.

1 Water markets
2 Water use-rights
3 Water entitlements

تعیین قیمت‌های آب به گونه‌ای که ارزش واقعی آب را نشان دهد از این حیث مهم است که باعث می‌شود مصرف‌کنندگان کالاهای آب‌بر را از قیمت‌های واقعی آب مطلع سازد. در عمل، قیمت‌گذاری صحیح آب به دلایل متعددی یک کار به ظاهر دشوار برای دولت‌هاست. این دلایل شامل نبود مبناهایی مناسب برای قیمت‌گذاری آب و مقاومت‌های شدیدِ کشاورزان و مصرف‌کنندگان عمده‌ی آب برای پذیرش قیمت‌های تدوین شده می‌باشد، اما حتی اگر دولت‌ها موفق‌تر عمل کنند، باز هم از آنجایی که آب کالایی عمومی است، تخصیص آب میان کاربران و پیش‌گیری از آلودگی منابع آب هم‌چنان نیازمند وضع مقررات دولتی خواهد بود. این رویایی است که تصور کنیم تنها ارزش‌گذاری مناسب آب، ضمانتی کافی برای استفاده‌ی پایدار از یک منبع آبی خواهد بود. دلیلش آن است که علم اقتصاد بر پایه‌ی "نرخ تنزیل[1]" است. این اصل می‌گوید که یک دلار منفعتِ امروز، بیش‌تر از یک دلار ضررِ فردا، ارزش دارد. به‌ویژه، زمانی که منافع اقتصادی به سرعت و به بهایی نسبتاً اندک به دست می‌آیند (مانند آنچه حین مصرف آب وجود دارد)، نرخ تنزیل زمانی موثر است که که برداشت‌های بی‌رویه از منابع آبی در درازمدت صورت بگیرد.

چرا آب شیرین به راحتی، بیش از حد برداشت می‌شوند

ما اکنون به مرحله‌ای رسیدیم که می‌توانیم به سادگی درک کنیم که چرا آب شیرین، به سهولت از بین می‌رود. نقاط بسیاری در جهان وجود دارد که درآن‌ها، مسأله‌ی برداشت‌های بی‌رویه یا آلودگی آب، مسأله‌ای کاملاً جدی است.

ما می‌توانیم رودخانه‌های در حال خشک شدن (مانند رودخانه‌ی کلرادو در آمریکا و رودخانه‌ی زرد در چین)، کاهش سطح آب دریاچه‌ها (مانند دریاچه‌ی ارومیه در ایران و دریاچه‌ی چاد[2] در غرب آفریقای مرکزی)، کاهش سطح آب‌های زیرزمینی (مثلاً در چین شمالی و در یمن) و گونه‌های در معرض انقراض به واسطه‌ی آلودگی آب (مانند دلفین‌های رودخانه‌ی ایندوس[3] در پاکستان) را ببینیم. دلایل متعددی برای وقوع این مسائل وجود دارد. همه‌ی آن‌ها به ویژگی‌های غیرعادی آب که در بالا بحث شد، ربط دارد. یکی از دلایل آسیب‌پذیر بودن آب‌های شیرین آن است که این منابع، در زمره‌ی اموال عمومی قرار دارند. همان‌گونه که چند دهه‌ی پیش توسط هاردین[4] (۱۹۶۸) در زمینه‌ی چرای گاوها در مراتع بیان شد، منابعی که اموال عمومی محسوب می شوند، در معرض خطر برداشت بی‌رویه قرار دارند. در

1 Discount rate
2 Lake Chad
3 Indus river
4 Hardin (1968)

مورد یک آبخوان یا دریاچه‌ی آب شیرین که توسط تعدادی کاربر استفاده می‌شود، مصرف و یا آلودگی آب ممکن است منفعتی باشد که تنها عاید یک مصرف‌کننده و یا آلوده‌کننده‌ی آب می‌شود؛ اما اثرات منفی این کار، به کل جامعه‌ای که از آن منبع آب استفاده می‌کنند خواهد رسید. آسیب‌های ناشی از برداشت‌های بی‌رویه، ممکن است به جای مصرف‌کنندگان آب، به دیگران تحمیل شود. حتی ممکن است به نسل‌های بعدی نیز برسد؛ مانند آن‌چه در باره‌ی دریاچه‌های در حال ناپدید شدن و یا رسوبات آلوده رخ می‌دهد. دومین دلیلی که باعث می‌شود آب، به سهولت بیش‌برداشت شود، قابلیت سیال بودن آن است.

اثرات منفیِ ناشی از مصرف بی‌رویه و آلودگی آب، اغلب تنها در پایین‌دست احساس می‌شود. دلیل سوم آن است که کابران مختلف آب، بر سر استفاده از ذخایر آب شیرین با هم رقابت می‌کنند که به موجب آن، طبیعت، معمولاً یک ورودی بسته خواهد بود. اگر تمام آب رودخانه‌ها به صورت موثر و کارآمد توسط بشر برداشت شود، دیگری آبی در رودخانه برای بقای آن و حفظ اکوسیستم‌های ساحلی در پایین‌دست که حیاتشان به بقای جریان رودخانه وابسته است، باقی نخواهد ماند. این واقعیت که آب "در دسترس" است به این معنی نیست که تمام آب را مصرف نمود بدون اینکه پیامدهای نامطلوبی رخ دهد. دلیل چهارم آن است که قیمتِ پایین آب، مانع صرفه‌جویی آب و لحاظ نرخ کمبود آب حین ارزش‌گذاری کالاها خواهد شد. به همین دلیل، اطلاعات غلطی درباره‌ی ارزش واقعی آب و کالاها به مصرف‌کنندگان داده خواهد شد. در نهایت، احتمالاً مهم‌ترین دلیل برای به سادگی از بین رفتن منابع آب، نه به خاطر ویژگی‌های خاص آب و یا آسیب‌پذیر بودنِ سیستم‌های آبی، بلکه به دلیل ناتوانیِ جوامع در پی‌ریزی طرح‌های بنیادی برای اعمال عکس‌العمل‌های کافی است. شکی نیست که منابعی که اموال عمومی هستند، تخریب می‌شوند. جوامع محلی و کوچک اغلب راه‌هایی خلاقانه برای استفاده‌ای پایدار و عادلانه از منابعی که اموال عمومی هستند، پیدا می‌کنند (Ostrom, 1990). با این حال، حفاظت از اموال عمومی‌ای که به صورت مشترک از طریق جوامع بزرگ استفاده می‌شوند، تا حدی مشکل‌تر است (Ostrom *et al*., 1999).

توزیع آب میان کشاورزان به سبب یک سیستم آبیاری به روشی پایدار، شدنی است (Tang, 1992) اما توزیع آب درون یک حوضه‌ی آبریز، دشوارتر است (Van Oel *et al*., 2009a). توزیع آب در یک اقتصاد جهانی آزاد، چالش‌برانگیزتر است. ما در این‌جا، به مسأله‌ای برمی‌خوریم که کلیدِ حل چالش‌های کمبـود و آلودگی محلی آب است: این مسأله مهم آن است که حکمرانی عاقلانه‌ی آب، بعد جهانی دارد.

آب شیرین، منبعی محلی و در عین حال، منبعی جهانی است

آب، منبعی محلی است، زیرا به طور طبیعی درون مرزهای حوضه‌ها آبریز جریان دارد، بدون آن‌که از این مرزها عبور کند. از دیدگاه مهندسی سنتی، نیاز آبی درون یک حوضه‌ی آبریز، باید از منابع آب موجود در داخل همان حوضه تأمین شود. آب، تنها به‌واسطه‌ی تبخیر و یا تخلیه به درون اقیانوس، آن حوضه را ترک می‌کند. این‌ها، همان جریان‌هایی هستند که مهندسان آب، از آن به صورت "تلفات[1]" یاد می‌کنند. از دیدگاه اکولوژیکی، صحبت از تلفات آب، سخت خواهد بود، زیرا تلفات، بخشی از چرخه‌ی طبیعی آب بوده و لازمه‌ی بقای حیات و عملکرد اکوسیستم‌ها می‌باشد، اما از دیدگاه یک مصرف‌کننده‌ی آب، یک نفر می‌تواند به آب، به چشم کالایی محلی نگاه کند که در این حالت، اصطلاح "محلی"، به معنی "موجود و در دسترس بودن تنها در درون یک حوضه‌ی آبریز" می‌باشد.

از آنجایی‌که آب حجیم است، به سختی می‌توان آن را به شکل فیزیکی مبادله نمود و یا آن در مسافت‌های طولانی منتقل نمود، اما سه استثنا در این زمینه وجود دارد که حین آن‌ها، آب در طول مسافت‌های طولانی جابه‌جا شده و مرزهای حوضه‌ی آبریز را در می‌نوردد: این سه استثنا عبارتند از: مبادله‌ی بین‌المللی بطری‌های آب و دیگر نوشیدنی‌ها، حمل و نقل آب در مخازن، و انتقال بین‌حوضه‌ای آب. در مورد بطری‌های نوشیدنی‌ها، صحبت از حجم‌های اندک انتقال آب است. مردم، روزانه بیش‌تر از چند لیتر نوشیدنی مصرف نمی‌کنند، در حالی‌که سرانه‌ی مجموع آب مصرفی (برای تولید تمام کالاها و خدمات مصرفی توسط مردم) دست‌کم، به چند هزار لیتر در روز می‌رسد. مبادلات بین‌المللی بطری‌های آب در دیدگاه‌های هیدرولوژیکی مفهومی ندارد، اما این بدان معنی نیست که روند افزایشی مبادله‌ی بطری‌های آب را زیر سوال نبریم، زیرا استفاده از آبی که در شیرهای آب جریان دارد، بسیار ارزان‌تر بوده از بطری‌های آب بوده و بیش‌تر، دوست‌دارِ محیط‌زیست است (Gleick, 2010). اما هرگونه که درباره‌ی بطری‌های آب فکر کنیم، باز هم صحبت از مقادیر نسبتاً اندکی از آب در مقایسه با دیگر انواع مصارف آب است. در مورد حمل و نقل آب در مخازن، بازهم صحبت از حجم‌های اندک آب است؛ هرچند، این آب، دوای درد کسانی است که زندگی‌شان به این آب وارداتی وابسته است.از نمونه هایی که برای حمل و نقل آب شیرین وجود دارد، مربوط به بهار ۲۰۰۸ است. زمانی که شهرِ اسپانیاییِ بارسلون، مجبور شد آب را از فرانسه با مخازن وارد نماید، جزایر متعددی مانند آرابا[2]، نائورو[3]، تونگو[4]، و جزایر قناری[5]، بارها آب را با استفاده از تانکر از جاهای دیگر دریافت نمودند (Gleick *et al*., 2002).

1 lost
2 Aruba
3 Nauru
4 Tonga
5 Canary Islands

وقتی درباره‌ی انتقال آب بین‌حوضه‌ای صحبت می‌کنیم، صحبت از انتقال مقادیر بیش‌تری آب است. در جهان، ۱۵۵ نمونه انتقال آب بین‌حوضه‌ای وجود دارد که در ۲۶ کشور جهان رخ داده و حجم آب انتقال یافته با این روش، به ۴۹۰ میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد (ICID, 2006). ایستگاه‌هایی برای اجرای ۶۰ طرح انتقال آب بین‌حوضه‌ایِ دیگر نیز وجود دارد که ظرفیت آن‌ها در مجموع به ۱۱۵۰ میلیارد مترمکعب در سال می‌رسد. با این حال، زیرساخت‌هایی که لازمه‌ی انتقال آب بین‌حوضه‌ای هستند، اثرات منفیِ اجتماعی و زیست‌محیطی زیادی داشته و به همین دلیل، پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای به شدت نقد می‌شوند.

به‌رغمِ اثرات محلی زیادِ برخی از پروژه‌های انتقال آب بین‌حوضه‌ای موجود، ممکن است این‌گونه بیان شود که از دیدگاه جهانی، حجم آبی که به واسطه‌ی انتقال آب بین‌حوضه‌ای، به خارج از مرزهای حوضه می‌رود، بسیار اندک است. احتمال زیادی وجود دارد که وضع به همین منوال باقی بماند. چنین تصوری می‌تواند زمینه‌سازِ این ایده باشد که آب، غالباً منبعی محلی است و در نتیجه، نیازهای آبی، باید از همان منابع آب محلی تأمین شود، اما آن‌چه در حد قابل‌توجهی رخ می‌دهد، انتقال آب مجازی به مسافت‌های دور به‌واسطه‌ی مبادلات کالاها می‌باشد. این بدان معنی نیست که آب واقعی‌ای که در بطن محصول قرار دارد بسیار زیاد است، بلکه آبی که به صورت مجازی درون کالاها جای گرفته است، می‌تواند بسیار حجیم باشد. وقتی آبی در کشوری برای تولید محصولی مصرف می‌شود که قرار است به کشوری دیگر صادر شود، در حقیقت قرار است آب به صورت مجازی به کشور واردکننده صادر شود (Hoekstra and Chapagain, 2008; Allan, 2011). بنابراین، این ایده که تقاضای آب، مسأله‌ای محلی بوده و باید به صورت محلی حل شود، تصوری غلط است. بیش‌ترین آب مصرفی در این دنیا، برای تولید آن دسته از کالاهای کشاورزی و صنعتی‌ای مصرف می‌شود که قرار است به صورت بین‌منطقه‌ای درون یک کشور و یا به صورت بین‌المللی مبادله شوند. نیاز آبی در جهان که به تقاضایِ جهانی برای غذا و دیگر کالاها بستگی دارد، را نمی‌توان نیازی دانست که در حوضه‌های آبریز خاص واقع شده‌اند. نیازها و عرضه‌های آب باید در مقیاس جهانی بر هم منطبق باشند. چنین چیزی تنها از طریق تجارت امکان‌پذیر است. از این دیدگاه، نمی‌توان ادعا نمود که آب، منبعی محلی است، بلکه آب یک منبع جهانی است (Hoekstra, 2011a; Vörösmarty et al., 2015).

تا به امروز، هم‌چنان به آب، اغلب به عنوان منبعی محلی نگاه می‌شود و ترجیح بر آن است که مدیریت آب در مقیاس حوضه‌ی آبریز و یا حوضه‌ی یک رودخانه صورت بگیرد. این تصور، مانع از درک این حقیقت می‌شود که بسیاری از چالش‌های آبی، ناشی از مصارف آب در جایی دیگر می‌باشد. چالش‌های آبی، بخشی جدایی‌ناپذیر از ساختار اقتصادی در جهانی است که در آن، هزینه‌های ناشی از

کمبود آب، نه برای تولیدکنندگان و نه برای مصرف‌کنندگان در نظر گرفته نمی‌شود. در نتیجه، مکان‌های بسیاری در جهان وجود دارند که در آن‌ها، منابع آبی تخلیه یا آلوده می‌شوند و در آن‌ها، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگانی وجود دارند که به بهای وارد نمودن خسارت‌هایی به جوامع محلی و یا اکوسیستم‌های موجود در مکان‌هایی دیگر، از این منابع آبی در زنجیره‌ی تأمین خود بهره می‌برند.

چگونه تمام چالش‌های آبی، به آن‌چه ما مصرف می‌کنیم بستگی دارد: مفهوم ردپای آب

با استفاده از مفهوم ردپای آب، می‌توان به ارتباط بین مصرف کالاها در یک مکان و مصرف و آلودگی آب برای تولید آن کالا در مکان‌های دیگر پی برد. آشکار نمودن آب پنهانی که در پروسه‌ی تولید محصول‌ها استفاده می‌شود می‌تواند به درک ویژگی جهانی بودن آب، و همچنین به کمی‌سازی و به تصویر کشیدن اثرات ناشی از مصرف و تجارت کالاها بر میزان استفاده از منابع آب کمک نماید. ردپای آب، شاخصی چندبعدی است که حجم آب مصرفی را به تفکیک نوع آن، و حجم آب آلوده شده را به تفکیک نوع آلودگی نشان می‌دهد. تمام اجزای ردپای آب را می‌توان از نظر جغرافیایی و زمانی، تعیین نمود و از آن‌ها برای بررسی کارایی و پایداری مصرف آب در هر محلی استفاده نمود. همان‌گونه که در فصل اول بیان شد، پایه و اساس تمام محاسبات ردپای آب، محاسبه‌ی ردپای آب مربوط به یک فرآیند یا فعالیت است.

ردپای آب یک محصول، مجموع ردپاهای آب در فرآیندهای مختلفی است که در پروسه‌ی تولید آن محصول وجود دارند. در فصل بعد، با جزئیات بیش‌تری، نگاهی به ردپای آب گروهی از محصولاتی که روزانه توسط مصرف‌کنندگان استفاده می‌شوند، اعم از نوشیدنی‌ها، نان، پاستا، گوشت و فرآورده‌های لبنی تا پنبه، انرژی، شاخه‌های گل و کاغذ، خواهیم داشت. ما خواهیم دید که ردپاهای آب این کالاها، اغلب چه اثراتی داشته و چگونه ما که مصرف‌کنندگان شمرده می شویم، در چالش‌های کمبود و آلودگی آب دخیل هستیم و این‌که ما چه‌قدر می‌توانیم با استفاده‌ی کارآمدتر از آب و تعدیل الگوی مصرف‌مان به رفع این چالش‌ها کمک کنیم.

فصل چهارم

نوشیدن ۱۰ وان آب در یک روز

مصرف‌کنندگان، نوشیدنی‌ها را معادلِ آب می‌دانند؛ بنابراین منطقی است که شرکت‌های تولیدکننده و فروشنده‌ی آب‌های بطری‌شده، نوشیدنی‌های غیرالکلی، آب‌میوه‌ها، آب‌جو، شراب و دیگر نوشیدنی‌ها، علاقه‌ی زیادی به مسأله‌ی ردپای آب داشته باشند (BIER, 2011). اولین کمپانی‌ای که به مسأله‌ی ردپای آب علاقه‌مند شد، کمپانی کوکاکولا[1] بود. من، به خوبی اولین جلسه‌ی خودم را با گِرِگ کوک[2]، مدیرعامل سازمان جهانی نظارت آب در شرکت کوکاکولا، در یک رستوران در امتداد یکی از کانال‌های آمستردام در اولین روز از تابستان ۲۰۰۷ را به یاد دارم. گِرِگ برای من توضیح داد که این کمپانی، به مدت دوسال است که در تمام ایستگاه‌های مربوط به بطری‌کردنِ نوشیدنی‌های خود در سرتاسر جهان، روی کاهش میزان آب مصرفی (در نوشیدنی‌ها) متمرکز شده است و این‌که آن‌ها همچنین، علاقه‌مند به دانستن میزان آب مصرفی در زنجیره‌ی تأمین خود هستند. کمپانی کوکاکولا، یکی از بزرگ‌ترین خریداران شکر در جهان است و گِرِگ بیان داشت که تولید شکر، می‌تواند مستلزم صرف آب زیادی باشد. او اعتقاد داشت که (استفاده از) مفهوم ردپای آب، راهی برای درکِ بهترِ کل آب مصرفی در فرآیند تولید یک نوشیدنی است، زیرا این مفهوم، مصرف و آلودگی آب در کل زنجیره‌ی تأمین را در نظر می‌گیرد. این ملاقات اولیه با گِرِگ، شروعِ تلاش‌های متعدد کمپانی کوکاکولا برای دانستنِ ردپای آب شرکت خود بود. ابتدا، آن‌ها روی معروف‌ترین محصول خود، یعنی کوکاکولا، تمرکز نمودند، اما پس از آن، روی نوشیدنی‌هایِ دیگر خود نیز تمرکز کردند (TCCC and TNC, 2010).

کمپانی پپسی[3]، خیلی زود، به روشی مشابه کمپانی کوکاکولا وارد عمل شد و دیگر کمپانی‌ها نیز آغاز به تعیین ردپای آب محصول‌های خود نمودند. پیش از این‌ها، شرکت یونی‌لور[4] اقدام به بررسی وضعیت پایداری زنجیره‌ی تأمین خود نمود؛ لکن (در این بررسی)، خیلی به مسأله‌ی مصرف آب توجهی نشده بود. به مناسبت افتتاح استاندارد جهانی ردپای آب در فوریه‌ی سال ۲۰۱۱، دونا جفریز[5]، مدیر توسعه‌ی پایدار در یونی‌لور، بیان داشت که "یونی‌لور قصد دارد ردپای زیست‌محیطی محصولات خود را در کل چرخه‌ی حیاتشان به نصف کاهش دهد". او این‌گونه گفته‌هایش را ادامه داد که "آب، یکی از شاخص‌های کلیدی ماست و ما از تلاش‌هایی که برای استانداردسازیِ متدولوژی و دستیابی به داده‌هایی که از نظر علمی، پربار و استاندارد باشند، حمایت می‌کنیم". یکی از اولین کارها، آن بود که یونی‌لور، آغاز به تعیین ردپای آب چای نمود (Jefferies *et al*., 2012). این کار کاملاً منطقی بود، زیرا یونی‌لور،

1 The Coca-Cola Company
2 Greg Koch
3 PepsiCo
4 Unilever
5 Donna Jeffries

یکی از بزرگ‌ترین خریداران چای در جهان بوده و تقریباً ۱۲ درصد از چای سیاهِ جهان را خریداری می‌نماید.

در میان کارخانه‌های آب‌جوسازی، سب‌میلر[1] (که از سال ۲۰۱۶، بخشی از Anheuser-Busch InBev شده است)، اولین کارخانه‌ای بود که ردپای آب محصول خود را تعیین نمود. آن‌ها، این کار را از سال ۲۰۰۹، با مقایسه‌ی ردپای آب بطری‌های آب‌جو در آفریقای جنوبی و بطری‌های آب‌جوی جمهوری چک آغاز نمودند (SABMiller and WWF-UK, 2009). اختلاف‌ها غالباً ناشی از تفاوت‌هایی بود که در میزان آب مصرفی برای تولید جو و رازک[2] در دو کشور وجود داشت. یک سال بعد، بر اساس مطالعه‌های موردی که برای کشورهای تانزانیا، پرو، اوکراین و باز هم آفریقای جنوبی صورت گرفته بود، سب‌میلر گزارش دوم خود را درباره‌ی ردپای آب مربوط به آب‌جوهایش را منتشر نمود (SABMiller *et al*., 2010). دیگر کمپانی‌های آب‌جوسازی، مثلاً هاینکن[3]، نیز پژوهش‌هایی در زمینه‌ی ردپای آب انجام دادند. در شیلی، دو کمپانیِ شراب‌سازی، آغاز به بررسی ردپای آب محصول‌های خود نمودند.

بزرگ‌ترین درسی که تمام آن کارخانه‌های نوشیدنی حین تعیین ردپای آب نوشیدنی‌های خود گرفتند آن بود که بزرگ‌ترین بخشِ ردپای آب مربوط به یک نوشیدنی، نه آن مقدار آبی که در بطری‌ها جای می‌گیرد، که مربوط به پروسه‌ای است که حین آن، مواد اولیه‌ی این نوشیدنی‌ها تولید می‌شود. در نتیجه، اگر کمپانی‌ها قصد دارند که نوشیدنی‌های خود را پایدارتر نمایند، مجبور خواهند بود که همواره کل زنجیره‌ی تأمین مربوط به محصولات خود را درنظر بگیرند. اغلبِ کمپانی‌های نوشیدنی می‌دانند که چند لیتر آب در فعالیت‌های عملیاتی‌شان استفاده می‌شود و اغلب راه‌کارهایی برای کاهش آب مصرفی در این فعالیت‌ها تدوین می‌کنند. با این حال، کاهش میزان ردپای آب تنها در ایستگاه‌های مربوط به بطری‌کردنِ نوشیدنی‌ها، تاثیر کمی در کاهش مجموع ردپای آب آن نوشیدنی‌ها دارد. تا کنون، هیچ کمپانی‌ای وجود نداشته که حاضر باشند راه‌کارهای مربوط به کاهش ردپای آب در کل زنجیره‌ی تأمین محصولات تولیدی‌شان را بپذیرد، اما این مسأله بی‌تردید اتفاق خواهد افتاد. مصرف‌کنندگان، به طور روزافزون از مسائل زیست‌محیطی در زنجیره‌ی تأمین محصول‌ها مطلع می‌شوند. بعید نیست که در آینده، مصرف‌کنندگان تنها نوشیدنی‌هایی را انتخاب نمایند که مطابق با تلاش‌هایی که شرکت‌های تولیدکننده برای کاهش کل ردپای آب محصولات خود انجام می‌دهد، برچسب "پایدار" خورده باشند.

1 SABMiller
2 Hops
3 Heineken

نوشابه

این فصل نشان می‌دهد که ما چگونه می‌توانیم ردپای آب یک نوشیدنی را تعیین و تحلیل نماییم. نوشابه‌ای را در نظر بگیریم که در یک بطریِ نیم لیتری، که از جنس پلی‌اتیلن (PET[1]) قرار دارد. مواد تشکیل‌دهنده‌ی این نوشابه را مطابق با اطلاعات عمومی‌ای که برای این نوشیدنی وجود دارد، در نظر بگیریم. پر واضح است که مقادیری که در این‌جا (برای مواد اولیه) ارائه می‌شود را نمی‌توان به نوشابه‌ای با برندی خاص منسوب نمود, زیرا هر برند، دستورالعمل تهیه‌ی خاص و محرمانه‌ی خود را دارد. به‌علاوه، حتی اگر برندی، از یک دستورالعمل جهانیِ خاص برای تهیه‌ی نوشابه استفاده کند، باز هم از آنجایی‌که این مواد اولیه از مناطق مختلف تهیه می‌شود نمی‌توان ردپای آب نوشابه، حتی برای ایستگاه‌های مختلفِ یک برند در مکان‌های مختلف جهان را با هم برابر دانست.

نوشابه‌ی فرضیِ ما، در کارخانه‌ای فرضی تولید می‌شود که شکر موردنیاز خود را از چغندر قند، نیشکر و ذرت تولیدشده در کشورهای مختلف تأمین می‌کند. چغدرقند و نیشکر، ساکاروز را تأمین می‌کنند در حالی‌که از ذرت، برای استخراج مخلوطی از گلوکز و فروکتوز، به صورت شربت ذرتی با غلظت بالای فروکتوز (HFMS[2]) استفاده می‌شود. این شربت به‌ویژه در ایالات متحده‌ی آمریکا استفاده می‌شود و از آن، به عنوان HFCS[3] نام برده می‌شود. فرض کنیم که کارخانه‌ی فرضیِ ما در هلند باشد، اما بسیاری از مواد اولیه‌ی مورد نیاز برای تهیه‌ی نوشابه را از کشورهای دیگر وارد نماید. اگرچه ترکیبات این نوشیدنی و یژگی‌های کارخانه در مثالِ ما فرضی هستند، اما جملگی واقع‌بینانه هستند. ایستگاهی را در نظر گرفتیم که این بطری‌های نیم‌لیتری نوشابه را تولید می‌کند. ردپای آب محصول موردنظرمان، هم شامل ردپای آب مربوط به فعالیت‌های عملیاتی و هم شامل ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین است. ردپای آب در فعالیت‌های عملیاتی (یا ردپای آب مستقیم)، حجمی از آب شیرین است که مستقیماً حین فعالیت‌های صورت‌گرفته در کارخانه برای تولید این نوشیدنی‌های نیم‌لیتری مصرف یا آلوده می‌شود. ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین (یا ردپای آب غیرمستقیم)، حجمی از آب شیرین است که برای تولید تمام مواد اولیه‌ی موردنیاز، مصرف و یا آلوده می‌شود. برای هر دو مورد، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری را از هم تفکیک نمودیم.

1 Polyethylene terephthalate
2 High fructose maize syrup
3 High fructose corn syrup

ردپای آب در فعالیت‌های عملیاتیِ کارخانه برای تولید یک بطری نوشابه

ردپای آب مربوط به فعالیت‌های عملیاتی، شامل سه مولفه است. اول از همه، خود آبی است که به عنوان ماده‌ی اولیه‌ی (به صورت مستقیم) در محصول جای می‌گیرد. دوم، آبی است که در فرآیندهای مختلف حین تولید محصول در کارخانه مصرف می‌شود؛ یعنی آبی که دیگر به منبعی که از آن برداشت شده است باز نمی‌گردد و آب آلوده شده‌ای که از این ایستگاه‌ها به حوضه‌ی آبریز باز می‌گردد، می‌باشد. مولفه‌ی سوم، "ردپای آب بالاسری" در کارخانه می‌باشد. این مولفه، شامل آب آشامیدنی و آبی که در توالت‌ها، آشپزخانه، شستشوی لباس‌ها، نظافت کارخانه و یا در فضای سبز محوطه‌ی اطراف کارخانه، مصرف و یا آلوده می‌شود، می‌باشد.

آبی که به صورت ماده‌ی اولیه مصرف می‌شود (یعنی مولفه‌ی اول)، حدود ۴۷۰ میلی‌لیتر در هر بطری است که آن را به ۰/۵ لیتر در هر بطری گرد می‌کنیم. مراحل تولید این نوشابه در کارخانه شامل فرآیندهای زیر است؛ یعنی آبی که برای تخمین مولفه‌ی دوم باید در نظر گرفته شود در این فرآیندها مصرف یا آلوده می‌شود: ساخت بطری (تبدیل رزین‌های پلی‌اتیلن به بطری‌های پلی‌اتیلنی)، تهیه‌ی شربت، مخلوط نمودن، پر کردن بطری‌ها، برچسب زدن و بسته‌بندی نمودن. فرض کنیم تا بدین‌جا، آبی که در تمامیِ این فرآیندها استفاده می‌شود، به همان حوضه‌ی آبریزی که از آن برداشت شده بود، بازمی‌گردد. بنابراین، به جز آبی که برای پرکردن بطری‌ها به کار گرفته می‌شود، آب مصرفیِ دیگری در این کارخانه‌ها وجود ندارد (یعنی ردپای آب آبی در تخمین مولفه‌ی دوم برابر با صفر است). همچنین فرض کنیم اندک پسابی که تولید می‌شود نیز در ایستگاه تصفیه‌ی فاضلاب شهری، تصفیه می‌شود. در واقعیت نیز غلظت مواد شیمیایی در پساب خروجی از ایستگاه تصفیه‌ی فاضلاب، معادلِ و یا حتی در برخی موارد، کم‌تر از غلظت طبیعیِ این مواد در منابع آبی است که بدان تخلیه می‌شوند. بنابراین، ردپای آب خاکستری، برابر با صفر خواهد بود.

در این بخش، ردپای آب بالاسری (یعنی مولفه‌ی سوم) نیز باید درنظر گرفته شود. برای تخمین این ردپا، فرض می‌کنیم آب نوشیده‌شده توسط کارکنان کارخانه، اندک بوده و همچنین، هیچ‌گونه فعالیت‌های باغبانی در کارخانه نیز وجود ندارد. همچنین، فرض کنیم که تمام آبی که در سایر فعالیت‌های مذکور به استفاده می‌شود، به سیستم جمع‌آوری فاضلاب عمومی بازگردانده شده و در یک ایستگاه تصفیه‌ی فاضلاب، به نحوی تصفیه می‌شود که پساب خروجی از آن، دارای ردپای آب خاکستری صفر باشد. به این ترتیب، ردپای آب مربوط به فعالیت‌های بالاسری در کارخانه‌ی تولید این نوشابه‌ها نیز صفر خواهد بود.

با توجه به مطالب بالا، مجموع ردپای آب برای فعالیت‌های عملیاتی در داخل کارخانه به ازای تولید هر بطریِ نوشابه، همان نیم لیتر آبی خواهد بود که به عنوان ماده‌ی اولیه در بطری‌ها جای‌سازی شده شده است. این مقدار (یعنی ۰/۵ لیتر)، همان ردپای آب آبی است، ردپای آب سبز و خاکستری برابر با صفر خواهند بود. ردپای آب آبی در فعالیت‌های عملیاتی، کم‌تر از حجم آبی است که توسط آن کارخانه از منابع آب برداشت می‌شود؛ زیرا به جز آبی که به عنوان ماده‌ی اولیه‌ی ورودی در تولید نوشابه استفاده می‌شود، تمام آبی که توسط کارخانه‌ی فرضیِ ما برداشت می‌شود، دوباره به طبیعت بازگردانده شده و قبل از دفع به منابع آبی، تصفیه می‌شود. آب برگشتی، می‌تواند دوباره مورد استفاده قرار بگیرد، بنابراین، این آب‌ها، روی میزان منابع آبی در دسترس تاثیری نخواهند داشت.

زنجیره‌ی تأمین

به جز آب، سه ماده‌ی اولیه‌ی دیگر برای تولید نوشابه لازم است: شکر، دی‌اکسیدکربن و شربت برای طعم‌دار کردن نوشابه. شربتی که در نوشابه‌ی فرضی ما استفاده می‌شود، حاویِ اسیدفسفریک، کافئین مستخرج از دانه‌های قهوه، عصاره‌ی وانیل، روغن لیمو و روغن پرتقال می‌باشد. به جز سه ماده‌ی فوق، دیگر ورودی‌های مورد نیاز برای تولید این نوشابه، شامل بطریِ پلی‌اتیلن، درپوشِ بطری، برچسب کالا، چسب و مواد مربوط به بسته‌بندی می‌باشند. جدول ۴-۱، مقادیر دقیقِ این مواد را به تفکیک برای یک بطریِ نیم‌لیتری مشخص نموده است. این جدول همچنین نشان می‌دهد که ماده‌ی اولیه‌ی هریک از این ورودی‌ها چه هستند و از کدام کشورها تأمین می‌شوند. در این پژوهش، سه منبع برای تأمین شکر در نظر گرفته شده است: چغندر قند، نیشکر و ذرت (که برای ساخت HFMS استفاده می‌شود). ۲۵ درصد از مواد اولیه‌ای که حین تولید بطری استفاده می‌شوند، قابل بازیافت می‌باشند. بنابراین، مقدار این مواد در محاسبات ردپای آب در ضریب ۰/۷۵ ضرب شد. برای ساخت پالت، که دارای طول عمر ۱۰ سال می‌باشد، نیز ضریب ۰/۱ لحاظ شد (یعنی ضریب ۰/۱ برای کل ماده‌ی مصرفی در ساخت پالت در نظر گرفته شد).

جدول ۴-۱. مواد اولیه و دیگر ورودی‌های استفاده شده برای تهیه یک بطریِ پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری حاوی نوشابه

ماده‌ی ورودی نهایی در تولید نوشابه	مقدار (گرم)	ماده‌ی خام اولیه	محل تولید مواد خام اولیه
		چغندر قند	ایران، روسیه، آمریکا، ایتالیا، اسپانیا، فرانسه، هلند
شکر	۵۰	نیشکر	کوبا، پاکستان، برزیل، هند، پرو، آمریکا
		ذرت	هند، آمریکا، فرانسه، چین
CO_2	۴	مشتقات آمونیاک	هلند
کافئین	۰/۰۵	دانه‌های قهوم	کلمبیا
اسید فسفریک	۰/۲	سنگ فسفر	آمریکا
عصاره‌ی وانیلی	۰/۰۱	دانه‌های وانیل	ماداگاسکار
روغن لیمو	۰/۰۰۷	لیمو	بازار جهانی
روغن پرتقال	۰/۰۰۴	پرتقال	بازار جهانی
بطری پلی‌اتیلن	۱۹/۵	نفت	بازار جهانی
درپوش – HDPE	۳	نفت	بازار جهانی
برچسب – PP	۰/۳	نفت	بازار جهانی
چسب برای برچسب	۰/۱۸	چسب	بازار جهانی
چسب برای پاکت	۰/۰۱۵	چسب	بازار جهانی
پاکت کارتنی – مقوا	۲/۸	چوب	بازار جهانی
Tray shrink film – PE	۱/۶	نفت	بازار جهانی
Pallet stretch wrap – PE	۰/۲۴	نفت	بازار جهانی
برچسب پالت – کاغذ روکش‌دار	۰/۰۰۳	چوب	بازار جهانی
پالت – چوب رنگ‌شده	۰/۰۹	چوب	بازار جهانی

منبع داده‌ها: ارسین و همکاران (Ercin et al., 2011)

علاوه بر موادی که برای ورودی تهیه‌ی نوشابه در نظر گرفته شد، مواد دیگری نیز هستند که مستقیماً در تولید نوشیدنی استفاده نمی‌شوند، اما بدونِ وجود آن‌ها، امکان تولید این نوشابه وجود ندارد. این مواد، که اصطلاحاً با عنوان مواد بالاسری شناخته می‌شوند، عبارتند از: همه‌ی مصالح ساختمانیِ استفاده شده در (ساخت) کارخانه، تجهیزات اداری، لوازم آشپزخانه، لباس‌های کارِ کارکنان، حمل و نقل و انرژی لازم برای تولید گرما و برق در کارخانه. اگرچه این فهرست قبیل مواد می‌تواند طویل‌تر از این هم باشد، لکن ما باید فقط ورودی‌هایی را درنظر بگیریم که از نظر ردپای آب، مهم‌تر هستند. از این نظر، ورودی‌هایی که به عنوان مواد بالاسری در نظر گرفته می‌شوند، به شرح زیر خواهند بود: بتن و فولاد استفاده شده در ساخت کارخانه و ماشین‌آلات، کاغذ، گاز و الکتریسیته‌ی استفاده شده در کارخانه و در وسایل نقلیه و سوخت مصرفی در پروسه‌ی حمل و نقل. این ورودی‌ها را نمی‌توان فقط به تولید نوشابه منسوب نمود، زیرا کارخانه‌ی فرضی ما، علاوه بر نوشابه، نوشیدنی‌های دیگر نیز تولید می‌کند. بنابراین، کل ورودی‌های بالاسری که در این کارخانه استفاده می‌شود را باید بر اساس ارزش اقتصادی نسبی نوشیدنی‌های مختلفی که تولید می‌شود، میان آن‌ها تقسیم نمود.

میزان ورودی‌های بالاسری در جدول ۴–۲ ارائه شده است. مقادیر ارائه شده برای کاغذ و انرژی مصرفی در کارخانه و سوخت مصرفی در فرآیند حمل و نقل، به صورت مقادیر سالانه بیان شده‌اند. برای مصالح ساختمانی و وسائل نقیله، مقادیر به صورت کلی ارائه شده و طول عمر کلی آن‌ها نیز مشخص شده است. طول عمر می‌تواند برای محاسبه‌ی مقادیر سالانه از روی مقادیر کلی، استفاده شود. برای وسائل نقلیه، طول عمر متوسط یک کامیون (یعنی ۱۰ سال) در نظر گرفته است. ارزش اقتصادی بطری‌های نیم‌لیتری نوشابه، ۱۰ درصد از کل ارزش اقتصادی مربوط به تمام محصولات تولیدی این کارخانه در نظر گرفته شد. بنابراین، ۱۰ درصد از کل ردپای آب بالاسریِ این کارخانه، به محصول ما (یعنی نوشابه) اختصاص دارد. سالانه، ۳۰ میلیون بطری نوشابه تولید می‌شود، بنابراین، ردپای آب بالاسری برای هر بطری حاوی نوشابه، از تقسیمِ کل ردپای آب بالاسری‌ای که به نوشابه‌ها اختصاص داده شده است؛ یعنی ۱۰ درصد از کل ردپای آب بالاسری طبق توضیحات فوق)، بر ۳۰ میلیون به دست می‌آید.

جدول ۴-۲. فهرست کالاهای منتخب برای تعیین ردپای آب بالاسری در زنجیره‌ی تأمین

آیتم بالاسری	مقدار مصرفی	واحد	ماده‌ی اولیه‌ی خام	مقدار ماده‌ی اولیه‌ی خام	واحد ماده‌ی اولیه‌ی خام	طول عمر ماده‌ی اولیه	مقدار سالانه
بتن	30,000	تن	بتن	30,000	تن	40	750
فولاد	5,000	تن	فولاد	5,000	تن	20	250
کاغذ	1	تن بر سال	چوب	1	تن بر سال	–	1
گاز طبیعی	65,000	گیگاژول بر سال	گاز	65,000	گیگاژول بر سال	–	65,000
الکتریسیته	85,000	گیگاژول بر سال	متنوع	85,000	گیگاژول بر سال	–	85,000
وسائل نقلیه	40	عدد	فولاد	11.6	تن به ازای هر وسیله‌ی نقلیه	10	46.4
سوخت	150,000	لیتر در سال	دیزل	15,0000	لیتر در سال	–	150,000

منبع داده‌ها: ارسین و همکاران (Ercin et al., 2011)

ردپای آب یک بطری پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری از نوشابه

بر اساس تمام داده‌ها، مقدار ردپای آبی که برای نوشابه‌ی خود محاسبه نمودیم، بسته به منبع تأمین شکر، بین ۱۶۸ تا ۳۰۹ لیتر به دست آمد. کم‌ترین ردپای آب مربوط به زمانی است که شکر مصرفی، از چغندر قندی تأمین شود که در هلند تولید می‌شود (جدول ۴-۳). تاثیر نوع و محل تأمین شکر مصرفی در شکل ۴-۱ نشان داده شد. در این شکل، با هدف بررسی تاثیر نوع شکر و محل تولید آن بر ردپای آب کل این نوشابه، مقادیر مربوط به تمام مواد اولیه و دیگر ورودی‌ها در محاسبات ردپای آب ثابت در نظر گرفته شد و تنها نوع و محل تأمین شکر تغییر داده شد.

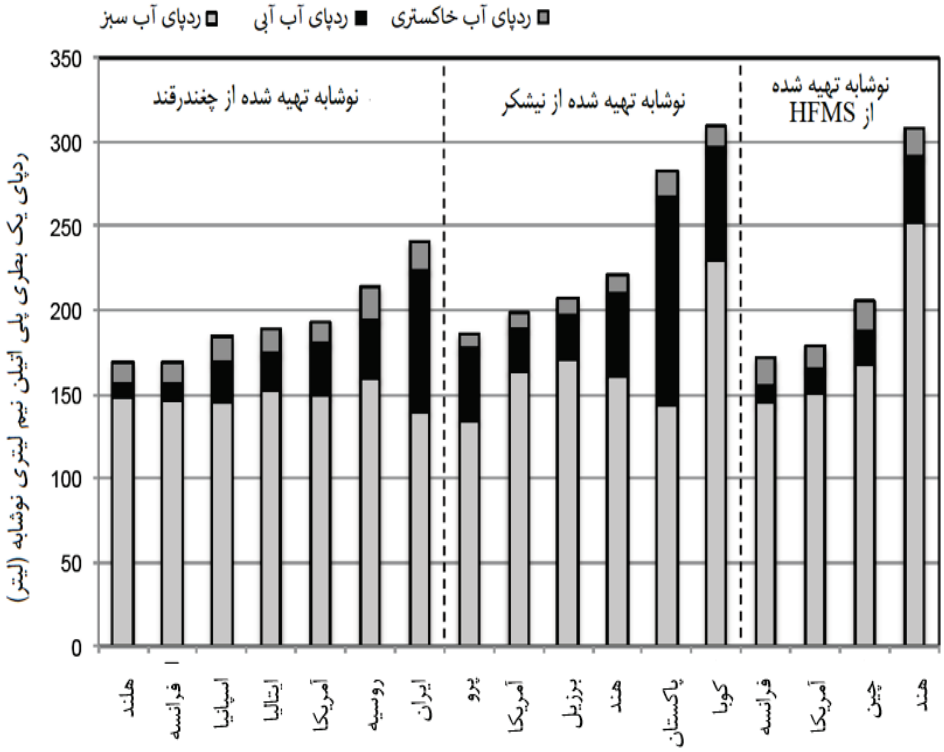
جدول ۴-۳. ردپای آب کل برای تولید یک بطریِ پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری نوشابه با استفاده از شکر به‌دست آمده از چغندر تولیدی در هلند

ترکیبات	ردپای آب (لیتر)			
	سبز	آبی	خاکستری	کل
ردپای آب تولید				
آب استفاده شده به عنوان ماده‌ی اولیه	0	0.5	0	0.5
مصرف یا آلودگی آب در فرآیند فرآوری نوشابه در کارخانه	0	0	0	0
مولفه‌ی بالاسری درون کارخانه				
مصرف یا آلودگی آب ناشی از فعالیت‌های بالاسری در کارخانه (توالت‌ها، آشپزخانه و غیره)	0	0	0	0
ردپای آب کل فعالیت‌های عملیاتی درون کارخانه (ردپای آب تولید + مولفه‌ی بالاسری درون کارخانه)	0	0.5	0	0.5
ترکیبات				
شکر	13.6	7.0	5.4	26
CO_2	0	0.3	0	0.3
اسید فسفریک یا اسید سیتریک (e338)	0	0	0	0
کافئین	52.8	0	0	52.8
عصاره‌ی وانیل	79.8	0	0	79.8
روغن لیمو	0.01	0	0	0.01
روغن پرتقال	0.9	0	0	0.9
دیگر ورودی‌ها				
بطری پلی‌اتیلن (PET)	0	0.2	4.4	4.6
درپوش (HDPE)	0	0.03	0.68	0.7
برچسب (PP)	0	0.003	0.068	0.07
پاکت کارتنی – مقوا	1	0	0.5	1.5
Tray shrink film – PE	0	0.02	0.36	0.38
Pallet stretch wrap – PE	0	0.003	0.054	0.057
Pallet label (2x) – coated paper	0.001	0	0.0004	0.0014
پالت – چوب رنگ‌شده	0.033	0	0.007	0.04
مولفه‌های بالاسری در زنجیره‌ی تأمین				
بتن	0	0	0.005	0.005
فولاد	0	0.004	0.05	0.054
کاغذ	0.0012	0	0.0004	0.0016
گاز طبیعی	0	0	0.024	0.024
الکتریسیته	0	0	0.13	0.13
وسائط نقلیه	0	0.001	0.009	0.01
سوخت	0	0	0.5	0.5
ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین	148.1	7.6	12.2	167.9
ردپای آب کل (درون کارخانه و در زنجیره‌ی تأمین)	148.1	8.1	12.2	168.4

منبع تأمین داده: ارسین و همکاران (Ercin et al., 2011)

ردپای آب این نوشابه‌ی منتخب زمانی به حداکثر مقدار خود (یعنی ۳۰۹ لیتر) می‌رسد که شکر موردنیاز آن از نیشکری که در کوبا یا ذرتی که در هند تولید شده، تأمین شود. وقتی ما نوشابه‌هایی که با استفاده از نیشکر تولید می‌شوند را با هم مقایسه می‌کنیم، ردپای آب محصولِ این نوشابه‌ها، بین ۱۹۸ لیتر (وقتی محل تولید نیشکر در هلند است) و ۲۴۱ لیتر (وقتی محل تولید نیشکر در ایران است) متغیر خواهد بود. برای نوشابه‌هایی که از چغندر قند تهیه شده‌اند، ردپای آب را بین ۱۸۶ لیتر (وقتی چغندر قند از پرو تأمین می‌شود) تا ۳۰۹ لیتر (وقتی چغندر قند از کوبا تأمین می‌شود) به دست آوردیم. اگر از HFMS برای شیرین‌کننده استفاده کنیم، کم‌ترین ردپای آب، ۱۲۷ لیتر (وقتی HFMS از ذرتی که در فرانسه تولید می‌شود، تهیه شود) و بیش‌ترین مقدار آن، ۳۰۹ لیتر (وقتی HFMS از ذرتی که در هند تولید می‌شود، تهیه شود) خواهد بود.

ترکیب رنگ‌های ردپای آب کل (سبز، آبی، خاکستری) برای این نوشابه نیز می‌تواند در حد قابل‌توجهی، از کشوری به کشور دیگر تغییر کند. ردپای آب نوشیدنی منتخب ما، بیش‌ترین درصد ردپای آب آبی خود (۴۴ درصد از کل) را در پاکستان و بیش‌ترین درصد ردپای آب سبز خود (۸۸ درصد) را در هلند خواهد داشت. تقریباً، ردپای آب کل محصول منتخب، تابعی از ردپای آب زنجیره‌ی تأمین می‌باشد (۷/۸–۹۹/۹۹ درصد از ردپای آب کل محصول مربوط به زنجیره‌ی تأمین است). این مسأله، اهمیت تحلیل و تعیینِ دقیق زنجیره‌ی تأمین را نشان می‌دهد. این در حالی است که اغلبِ فعالیت‌های صورت‌گرفته در زمینه‌ی حسابداری آب در کسب‌وکارها، معطوف به آب مصرفی حین فعالیت‌های عملیاتی بوده است. این نتایج نشان می‌دهد که ردپای آب، اطلاعات بیش‌تری را در مقایسه با شاخص سنتیِ کاربرد آب (یعنی میزان برداشت آب برای فعالیت‌هایمان)، فرآهم می‌آورد.



شکل ۴-۱. ردپای آب کلِ یک بطریِ پلی‌اتیلنِ نیم‌لیتری حاوی نوشابه‌ی منتخب متناسب با نوع و محل تأمین شکر. منبع داده‌ها ارسین و همکاران (Ercin et al., 2011).

در نوشابه‌ی فرضیِ ما، مقدار عصاره‌ی وانیل (۰/۰۱ گرم) و کافئین به‌دست آمده از دانه‌های قهوه (۰/۰۵ گرم)، در مقایسه با مقدار کل نوشیدنی، خیلی اندک هستند، اما اگرچه از نظر عددی، مقدار آن‌ها در نوشیدنی خیلی اندک هست، اما سهم آن‌ها در ردپای آب کلِ محصول، بسیار بزرگ است. این نشان می‌دهد که وقتی هیچ اطلاعی درباره‌ی نقش ورودی‌های مختلف در ردپای آب کل محصول نداریم، تعیین جزئی و جامع زنجیره‌ی تأمین برای محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول، ضروری خواهد بود. حتی مقادیر اندک مواد اولیه، می‌تواند در حد قابل‌توجهی، ردپای آب یک محصول را متأثر سازد.

نیشکر، چغندر قند یا ذرت؟

شکر، یکی از مصرف‌کنندگان اصلی آب در نوشیدنی ماست. بنابراین، نوع و محل تأمین شکر مصرفی، می‌تواند ردپای آب کل محصول را متأثر سازد. اگر نیشکر را به عنوان منبع تأمین شکر انتخاب

کنیم، ردپای آب شکر برای هر بطری نیم‌لیتری از این نوشابه، می‌تواند بین ۲۶ لیتر (وقتی که نیشکر در هلند تولید می‌شود) تا ۹۹ لیتر (وقتی نیشکر در ایران تولید شده باشد) تغییر کند. اگر از چغندر قند استفاده شود، ردپای آب شکر می‌تواند بین ۴۴ لیتر در هر بطری (پرو) تا ۱۶۷ لیتر (کوبا) تغییر کند. اگر از HFMS برای شیرین‌کننده استفاده کنیم، ردپای آب شکر می‌تواند بین ۲۹ لیتر در هر بطری (وقتی ذرت از فرانسه وارد شود) تا ۱۶۶ لیتر (وقتی از هند وارد می‌شود) تغییر کند. مهم است که رنگ‌های ردپای آب محصول را نیز تجزیه و تحلیل نماییم. کم‌ترین ردپای آب آبیِ شکر، ۷ لیتر (وقتی که شکر از نیشکری استخراج می‌شود که در هلند تولید شده است) خواهد بود؛ بیش‌ترین مقدار آن ۱۲۴ لیتر است (برای زمانی که شکر، از چغندر قندی استخراج می‌شود که در پاکستان تولید شده باشد). کم‌ترین مقدار ردپای آب خاکستریِ شکر، وقتی به‌دست می‌آید که شکر از چغندر قندی به‌دست آمده باشد که در برزیل تولید شده است (۲/۴ لیتر) و بیش‌ترین مقدار آن وقتی است که از شکر تولیدشده در چین به دست آید (۱۲ لیتر). این تحلیل نشان می‌دهد که نوع شکر و محل تولید آن، در حد قابل‌توجهی روی ردپای آب کل، و نسبت آب‌های سبز/آبی/خاکستری، اثر می‌گذارد. بنابراین، وارد نمودن ابعاد مکانی در تحلیل‌های ردپای آب، اهمیت بسیاری خواهد داشت. این اختلاف‌ها بین مقادیر ردپای آب حتی می‌تواند بیش‌تر از مقداری باشد که در شکل‌های فوق نشان داده شده‌اند، زیرا مقادیر ارائه شده در این شکل، میانگین‌های کشوری بوده و بنابراین، اختلاف‌هایی که (بین مقادیر ردپای آب) درون کشورها وجود دارد، مشخص نیست.

آثار محلی

پس از تعیین، جانمایی و تفسیر رنگ‌های ردپای آب، مرحله‌ی بعدی، تعیین شدت آسیب‌پذیریِ منابع آب در مکان‌هایی که ردپای آب مربوط به این نوشابه در آن‌ها واقع شده است، تعیین رقابتِ واقعی‌ای که بر سر مصرف آب در آن مکان‌ها وجود دارد و پیامدهایی که به سبب مصرف آب برای تولید کالاهای مورد نیاز در زنجیره‌ی تأمین نوشابه به وجود می‌آید، می‌باشد. دانستنِ اثراتی که تولید چغندر قند، نیشکر و ذرت بر منابع آب می‌گذارد به‌ویژه از این حیث مهم است که کشورهای بسیاری وجود دارند که می‌توانند این گیاهان را تولید کنند و همچنین به این دلیل مهم است که به دلیلِ پتانسیل این مواد به عنوان منبعی برای سوخت‌های زیستی، تمایل روزافرونی برای کشت آن‌ها وجود دارد (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2012).

اجازه بدهید با بررسی اثرات تأمین چغندر قند از ایران آغاز کنیم، جایی که ردپای آب چغندر قند، نسبتاً بزرگ‌تر بوده و عمدتاً شامل ردپای آب آبی می‌باشد. ایران، با جمعیتی معادلِ ۸۳ میلیون نفر در

سال ۲۰۱۹، یکی از کم‌آب‌ترین کشورهای جهان است. سرانه‌ی آب شیرین در دسترس در سال ۲۰۱۹، ۱۵۵۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال بوده و این مقدار، به دلیل رشد جمعیت، کاهش خواهد یافت. بر اساس آستانه‌های فالکن‌مارک[1]، وقتی موجویت آب شیرین در کشوری کم‌تر از ۱۷۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال باشد، آن کشور دچار کم‌آبی است (Falkenmark and Rockström, 2004). بیش از ۹۴ درصد از مجموع آب مصرفی سالانه در ایران، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. بنابراین، کشاورزی، نقشی اساسی در بروز تنش آبی در این کشور دارد. به‌علاوه، بهره‌وری آب (یعنی میزان تولید به ازای هر واحد آب) خیلی کم است (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2012). استفاده از چغندر قند ایرانی در نوشابه‌ی فرضی ما، باعث مصرف ۹۹ لیتر آب در هر بطری خواهد شد که ۸۴ درصد از آن، از منابع آب آبی تأمین می‌شود. این مسأله، باعث پیدایش چالش‌های جدی آب در مناطق تولیدکننده‌ی چغندر قند، به‌ویژه در مناطقی که میزان تولید این محصول بالاست، خواهد شد. یک‌سوم از کارخانه‌های چغندر قند (ایران) در استان‌های خراسان‌رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی قرار دارند که غالباً دارای اقلیم خشک بوده و با کمبود آب زیادی مواجه است (Larijani, 2005).

کشور بعدی با ردپای آب نسبتاً بالا در تولید چغندر قند، روسیه است. ردپای آب شکر در نوشابه‌ی تولید شده با شکری که از روسیه تأمین می‌شود، ۶۳ لیتر به ازای هر بطری می‌باشد. همچنین در این حالت، سهم ردپای آب آبی در ردپای آب کل چغندر قند نیز بالاست (۵۳ درصد). بیش‌ترین مشکل در نتیجه‌ی کشت چغندر قند در کشور روسیه، در منطقه‌ی شمال دریای سیاه رخ می‌دهد. آلودگیِ رودخانه‌های نیپر[2] و دان[3]، که به دریای سیاه می‌ریزند، باعثِ آسیب‌رسانیِ جدیِ زیست‌محیطی به اکوسیستمِ دریای سیاه شده است. بنا بر گزارش کمیته‌ی ماهیگیری فدراسیون روسیه، چندین مورد از پیکره‌های آبی، به واسطه‌ی پساب‌های کشاورزی کاملا آلوده شده‌اند. جدای از آلودگی‌های نشأت گرفته از مصرف بی‌رویه‌ی کودها، آبیاری نیز باعث کمبود آب در برخی مناطق شده است (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2012). کاملاً مشخص است که منطقه‌ی آندولوسیا[4] در اسپانیا، یک نقطه‌ی بحرانی است زیرا منطقه‌ای کم‌آب و با ردپای آب بالا در تولید چغندر قند می‌باشد. آبیاری چغندر قند در این ناحیه، باعثِ کاهش سطح آب در رودخانه‌ی گوآدال‌کوویر[5] و خشک‌شدنِ تالاب‌های مهم در تابستان شده است (WWF, 2004).

1 Falkenmark thresholds
2 Dnieper
3 Don
4 Andalucía
5 Guadalquivir River

یکی از چالش‌های گسترده‌ی ناشی از کشت چغندر قند، وقوع پدیده‌ی اتروفیکاسیون در آب به دلیل استعمال بی‌رویه‌ی کودهاست (WWF, 2004). تمام عناصر غذایی‌ای که در کودها وجود دارد، به صورت کامل جذب گیاه نمی‌شود و بخشی از آن به سمت آب‌های زیرزمینی آبشویی شده و یا به داخل رودخانه‌ها می‌ریزد. جریان نیترات و فسفات به دریاچه‌ها و رودخانه‌ها می‌تواند شرایط لازم برای پدیده‌ی اتروفیکاسیون را فرآهم نموده و باعث ازدیاد میکروارگانیسم‌های سمی شود. در حوضه‌ی زینه‌نورماندی[1] در فرانسه، آبیاری اثرات اندکی از نظر کمی روی منابع آبی داشته است، اما به لحاظ کیفی، این منابع را به شدت متأثر ساخته است، زیرا (آبیاری) باعثِ روی آوردن به تکنیک‌های کشاورزی فشرده و کشت گیاهان بهاره‌ای شده که به واسطه‌ی کشت آن‌ها، خاک برای مدتی طولانی در طول سال لخت باقی مانده و تخلیه‌ی مواد شیمیایی به رودخانه‌ها به دلیل آبشویی از خاک و زهکشی افزایش می‌یابد (UNESCO, 2003). چنین مسأله‌ای، اثرات مضری هم بر محیط‌زیست و هم بر دیگر مصرف‌کنندگان آب خواهد داشت. در حوضه‌هایی که درآن‌ها، آلودگی آب به دلیل دفع آلاینده‌هایی چون نیترات، آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین از اراضی کشاورزی و مناطق شهری تبدیل به معضلی جدی شده است، بهبود کیفیت آب مهم‌ترین چالش محسوب می‌شود. اگرچه اثرات ناشی از کشت ذرت، اغلب شبیه اثرات چغندر قند است (تفاوت‌ها اساساً به اقلیمِ محلی، موجودیت آب و فعالیت‌های کشاورزی بستگی دارد)، اما اثرات ناشی از کشت نیشکر غالباً از کشت این دو محصول بدتر است. بیائید نیشکر کوبا را در نظر بگیریم. نیشکر، مهم‌ترین گیاه در این جزیره بوده و برای دهه‌ها، مهم‌ترین منبع درآمد در مبادلات خارجی بوده است. در طول دهه‌های گذشته، کشور کوبا، به دلیل تولید نیشکر، با چالش‌های زیست‌محیطی متعددی مواجه شده است. کوبا، منابع غنی‌ای از آب‌های کارستی دارد لکن، کیفیت این آب‌ها به شدت به آلودگی حساس هستند. آلودگی‌های ناشی از کارخانه‌های نیشکر، یکی از مهم‌ترین منابعی است که باعثِ تخریب کیفیتِ آبخوان‌های کارستی شده است (León and Parise, 2008). به‌علاوه، فاضلاب تصفیه نشده‌ی حاصل از کارخانه‌های شکر در کوبا، باعثِ کمبودِ اکسیژن در رودخانه‌ها و افزایش ماکروفیت‌های آبی می‌شود که در نهایت، منتج به ایجاد لایه‌ی ضخیمی از علف‌های هرز (در سطح آب) خواهد شد. چنین شرایطی، تا حدی قابلیت انتقال آب در کانال‌ها را کاهش می‌دهد که این مسأله، اثرات منفی‌ای بر ماهیگیری و گردشگری خواهد داشت (WWF, 2004). همچنین، کشت نیشکر، یکی از دلایل عمده‌ی قطع درختان جنگلی و جنگل‌زدایی در کوبا بوده (Monzote, 2008) و به دلیل نیازِ صنایع نیشکر به چوب‌های جنگلی، هم‌چنان تهدیدی برای جنگل‌های باقی‌مانده محسوب می‌شود.

1 Seine-Normandy Basin

یکی دیگر از کشورها با ردپای آب بالای نیشکر، کشور پاکستان است. اگر ما از نیشکری که در پاکستان تولید می‌شود در محصول خود استفاده کنیم، ردپای آب شکر برای هر بطری نوشابه، برابر با ۱۴۰ لیتر خواهد بود. تولید نیشکر در پاکستان به شدت به آبیاری وابسته است، ردپای آب آبی، ۸۸ درصد از از ردپای آب کل نیشکر تولیدشده در این کشور را تشکیل می‌دهد. برداشت آب برای آبیاری، باعث کمبود آب در نواحی تولیدکننده‌ی نیشکر و چالش‌های زیست‌محیطیِ جدی شده است. رودخانه‌ی ایندوس[1]، مهم‌ترین منبع آبی پاکستان است. آبی که به دلتای ایندوس می‌رسد، به دلیل استفاده‌ی بی‌رویه از منابع آبیِ موجود در حوضه‌ی ایندوس، به شدت کاهش یافته است. نیشکر یکی از محصولات کشاورزی مهمِ آب‌بر در این حوضه است. کاهش جریان آب به سمت دلتای ایندوس، اثرات منفی‌ای بر تنوع زیستیِ این دلتا داشته است (مثل کاهش سطح جنگل‌های حرا و خطر انقراضِ دلفین در رودخانه‌ی کور)[2]. همچنین، برداشت بی‌رویه‌ی آب در نواحیِ تحت کشت نیشکر، مشکلات شوری را نیز به‌وجود آورد است (WWF, 2004). به‌علاوه، فاضلاب تصفیه نشده‌ی کارخانه‌های شکر، باعثِ کاهش اکسیژن موجود در منابع آب شده که در پی آن، باعثِ به خطر انداختن حیات ماهی‌ها و دیگر موجودات آبی شده است (Akbar and Khwaja, 2006).

برزیل، که بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی نیشکر در جهان است، نیز با اثرات منفیِ متعددی ناشی از کشت این محصول مواجه شده است. مقدار زیادی از نیشکر تولیدی در برزیل، به صورت ماده‌ی اولیه‌ی خام در تولید اتانول به کار گرفته می‌شود. تولید انبوه نیشکر باعثِ قطع درختان جنگلی در جنگل‌های دیم شده است. به‌علاوه، گزارش شده است که مزارع نیشکر در ایالت سائوپائولو[3]، به دلیل آتش‌زدن پیش از برداشت مزراع، باعث آلودگی هوا نیز شده است (WWF, 2004). آلودگی آبِ ناشی از کارخانه‌های نیشکر و استعمالِ کودها و آفت‌کش‌ها در کشتِ این محصول، یکی دیگر از چالش‌های زیست‌محیطیِ مهم در برزیل است (Gunkel *et al*., 2006).

هند نیز به دلیلِ کشت نیشکر با چالش‌های زیست‌محیطی مواجه شده است. در ایالتِ هندیِ ماهاراشترا[4]، ۶۰ درصد از مجموع ذخایر آب آبیاری برای آبیاری نیشکر استفاده می‌شود که این مسأله، باعث تخلیه‌ی قابل‌توجه آب‌های زیرزمینی شده است (WWF, 2004). رودخانه‌ی گنگ (بزرگ‌ترین رودخانه‌ی هند) با کمبود آب مواجه شده است. نیشکر، یکی از مهم‌ترین گیاهان کشت‌شده در این نواحی بوده و باعث افزایش شدت کمبود آب شده است (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2012).

1 Indus River
2 The blind river dolphin
3 The state of São Paulo
4 Maharashtra

یکی دیگر از مشکل‌های ناشی از کشت نیشکر و فعالیت‌های فرآوری شکر در هند، آلودگی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌باشد (Solomon, 2005).

مصرف و آلودگی آب در نتیجه‌ی تولید شکر، تنها مسأله‌ی نگران‌کننده در فرآیند تولید نوشابه‌ی فرضی ما در این مثال نیست. وانیل نیز که بخشی از طعم‌دهنده‌ی طبیعیِ نوشیدنی ماست، سهم زیادی در ردپای آب کل این نوشابه دارد (۲۷ تا ۵۰ درصد). وانیل از ماداگاسکار، که اصلی‌ترین کشور تولیدکننده‌ی وانیل در جهان است، تأمین می‌شود. وانیل، یکی از پرزحمت‌ترین محصولات کشاورزی بوده و حدود سه سال طول می‌کشد تا محصول، آماده‌ی برداشت شود. برای استخراج عصاره‌ی وانیل، گل‌های برداشت شده را می‌پزند. فرآیند پخت، نیازمند حرارت دادن دانه‌های وانیل در آب داغ (۶۵ °C) به مدت سه دقیقه می‌باشد. تخلیه‌ی آب داغ به داخل منابع آب باعثِ آلودگی حرارتی و در نتیجه، افزایش ناگهانیِ دمای منابع آب به مقادیری فراتر از حدود مجاز اکولوژیکی خواهد شد. علاوه بر آلودگی آب به واسطه‌ی تغییر درجه‌ی حرارت، استفاده از چوب که منبع اصلی تأمین انرژی در فرآیند گرمایش شمرده می شود، باعث از بین رفتن جنگل‌های دیم خواهد شد (Alwahti, 2003).

کافئین، یکی دیگر از مواد اولیه‌ای است که به میزان اندکِ موجود در نوشیدنیِ فرضی ما وجود دارد. اگر چه میزان کافئین استفاده شده در این محصول، اندک است، اما ردپای آب آن بسیار بالاست (۵۳ لیتر به ازای هر بطری). منبع تأمین کافئین، دانه‌های قهوه‌ی تولید شده در کلمبیا، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان قهوه در جهان، می‌باشد. از جمله چالش‌های ناشی از کشت قهوه در کلمبیا، از بین رفت گونه‌های پرنده و فرسایش خاک می‌باشد. به‌علاوه، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینیِ ناشی از کاربرد کودها، از جمله مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی است (Miura, 2001).

مشتقات نفتیِ استفاده شده در نوشیدنیِ ما (بطری پلی‌اتیلن، درپوش، stretch films و برچسب‌ها)، به‌ویژه دارای ردپای آب خاکستری هستند. در تولید پلی‌اتیلن، مقدار زیادی از آب برای خنک‌سازی استفاده می‌شود. آب خاکستریِ ناشی از تخلیه‌ی آب استفاده شده در فرآیند خنک‌سازی به رودخانه‌ها، ناشی از افزایش حرارتی است که در آب درون رودخانه‌ها ایجاد می‌کند که این افزایش حرارت، اغلب بیش‌تر از حد مجازِ آن از دیدگاه الکولوژیکی است. بر اساس شاخص‌های کیفیت آب برای اکوسیستم‌های آبی، افزایش حرارت آب نسبت به شرایط طبیعی‌اش، نباید بیش‌تر از چند درجه‌ی سلسیوس باشد. کاهش حرارت آب پس از فرآیند خنک‌سازی، نیازمند منابع آبی مازاد خواهد بود (تا بتوان درجه‌ی حرارت آب خنک‌کننده‌ی تخلیه شده را به حدی کاهش داد که مطابق با استانداردهای مربوط به حداکثر افزایش حرارت مجاز در آب باشد).

به طور خلاصه، پیامدهای مهم این نوشابه‌ی فرضی در این مثال، مربوط به ردپاهای آب آبی و خاکستری این محصول است. ترکیباتی مانند شکر، وانیل و کافئین (قهوه)، به دلیل استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها، باعث آلودگی منابع آب می‌شوند (یعنی ردپای آب خاکستری). بزرگ‌ترین پیامد آبیِ ناشی از تولید این نوشیدنی، مربوط به شکر است. بسیاری از کشورهای تولیدکننده‌ی شکر، کشورهایی هستند که از نظر آب، غنی هستند و ردپای آب (شکر) در آن‌ها، باعث کمبود آب نمی‌شود. با این حال، چندین نقاط بحرانی نیز وجود دارد؛ مانند تولید چغندر قند در ناحیه‌ی اندولسیا واقع در جنوب اسپانیا، تولید نیشکر در پاکستان (رودخانه‌ی ایندوس) و هند (رودخانه‌ی گنگ)، و تولید چغندر قند در ایران. از نظر کیفیت آب، آلودگیِ ناشی از نیترات، مسأله‌ای است که در چندین ناحیه، مانند هلند، شمال فرانسه، روسیه (دریای سیاه)، هند، پاکستان، کوبا، برزیل، ایران و چین وجود دارد. استعمال دقیق کود نیتروژن، برای کاهش اثرات زیست‌محیطی مهم است. اعمال فعالیت‌های مدیریتی بهتر برای کاهش مخاطرات زیست‌محیطی در کارخانه‌ی شکر، الزاماً به معنیِ کاهش بهره‌وری و سود نیست؛ برعکس، راه‌کارهایی که باعث برطرف نمودن مخاطرات زیست‌محیطی می‌شوند، می‌توانند با کاهش هزینه از طریق استفاده‌ی کارآمدتر از منابع، منافع اقتصادی را برای کشاورزان یا کارخانه‌ها به ارمغان بیاورند. به‌علاوه، غالباً تولید نیشکر باعثِ جنگل‌زدایی در مناطقی مانند کوبا و برزیل می‌شوند. از دیگر آثار منفیِ تولید نیشکر، تاثیر آن بر تنوع زیستی (کاهش اراضی جنگلیِ حرا، خطر انقراضِ دلفینِ رودخانه‌ی کور در دلتای ایندوس) می‌باشد.

مثال مربوط به نوشابه، چه چیزی را به ما می‌آموزد؟

ردپای آب کلِ نوشیدنی ما، حداقل ۱۶۸ لیتر (به شرط استفاده از شکری که در هلند تولید می‌شود) و حداکثر ۳۰۹ لیتر (با استفاده از نیشکر تولیدی در کوبا و یا ذرت تولیدی در هند) محاسبه شد. ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی برای این محصول، ۰/۵ لیتر است که ۰/۳–۰/۲ درصد از ردپای آب کل نوشابه را تشکیل می‌دهند. ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین، ۹۹/۸–۹۹/۷ درصد از ردپای آب کل این محصول را شامل می‌شود. بیش‌ترین ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین (یعنی ۹۷–۹۷ درصد از آن)، مربوط به ترکیبات و مواد اولیه در این زنجیره می‌باشد. بخش کم‌تری (حدود ۴–۲ درصد)، مربوط به دیگر ورودی‌ها، و اساساً مربوط به بطری پلی‌اتیلنی می‌باشد. ردپای آب بالاسری، بخش اندکی از ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین را شامل می‌شود (۰/۳–۰/۲ درصد).

مثال مربوط به نوشابه، اهمیت تحلیلِ دقیقِ زنجیره‌ی تأمین را نشان می‌دهد. کمپانی‌ها، اغلب خود را تنها محدود به محاسبه‌ی آب مصرفی در فعالیت‌های عملیاتی‌شان می‌کنند. این در حالی است که ما

دیدیم که ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی در مقایسه با ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین، قابل اغماض است. این مطالعه همچنین نشان داد که ردپای آب یک نوشیدنی، بسیار به محل تولیدِ ورودی‌های کشاورزی حساس می‌باشد. ردپای آب نوشابه‌ی فرضی ما، متناسب با نوع شکر و محل تولید شکر، در حد معنی‌داری تغییر می‌کرد. به‌علاوه، نوع ردپای آب (سبز، آبی و خاکستری)، متناسب با محل و عمدتاً به دلیل تفاوت‌های موجود در شرایط اقلیمی و فعالیت‌های کشاورزی در محل‌های مختلف، تغییر می‌کند. این مثال‌ها، اهمیت لحاظ بعد مکانی در محاسبات ردپای آب را نشان می‌دهد.

یافته‌های کلیِ این پژوهش درباره‌ی نسبت ردپای آب در فعالیت‌های عملیاتی به ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین و اهمیتِ نسبیِ مواد اولیه، سایر ورودی‌ها در زنجیره‌ی تأمین و مواد بالاسری‌ها را می‌توان به دیگر نوشیدنی‌های مشابه تعمیم داد. عمده‌ترین بخشِ ردپای آب در اغلب نوشیدنی‌ها، مربوط به زنجیره‌ی تأمین آن‌هاست. این مسأله، اهمیتِ متمرکز نمودن سیاست آب شرکت‌ها بر زنجیره‌ی تأمین به جای تمرکز بر آب مصرفی در فعالیت‌های عملیاتی‌شان را نشان می‌دهد. شرکت‌ها می‌توانند شاخص عملکرد کلیدی (KPI[1]) مربوط به آب را تغییر دهند. در حال حاضر، کارخانه‌های نوشیدنی، آب برداشت‌شده برای فعالیت‌های عملیاتی‌شان را KPI در نظر می‌گیرند که بدون شک، اگر این شاخص را معیاری برای کاهش ردپای آب محصولات خود قرار دهند، در مجموع باعثِ سرمایه‌گذاری ناکارآمد خواهد شد.

اگر کارخانه‌ها، روی زنجیره‌ی تأمین خود نیز سرمایه‌گذاری نمایند، موفقیت‌های بزرگ‌تری در راستای تولید نوشیدنی‌های پایدارتر به دست–خواهند آورد؛ به عنوان مثال، کارخانه‌ها می‌توانند در قراردادهایی که برای تأمین محصولات موردنیازشان با کشاورزان منعقد می‌کنند، معیارهای پایداریِ کاربرد آب را لحاظ نمایند و خودشان برای رعایت این معیارها، فعالانه به آن‌ها کمک نمایند. حتی در مورد نیشکر در هلند نیز که در حال حاضر، تولیدش منتج به برداشت‌های بی‌رویه و آبشویی عناصر مغذی شده است، توجه به زنجیره‌ی تأمین می‌تواند باعث کاهش قابل توجهی در ردپای آب شود. در کشورهایی که آبیاری، سهم بزرگی در ردپای آب کل دارد، معمولاً اجرای آبیاری دقیق می‌تواند باعث صرفه‌جوییِ زیادی در آب شود.

ردپای آب نوشیدنی‌های روزانه‌ی ما

ما چه‌قدر آب در طول روز می‌نوشیم؟ مقادیری که معمولاً برای آن گزارش می‌شود، بین ۲ تا ۵ لیتر متغیر است. با این حال، اگر ما مصارف غیرمستقیم آبِ مربوط به آن‌چه می‌نوشیم را نیز درنظر بگیریم،

1 Key performance indicator

به مقادیر بسیار بزرگ‌تری خواهیم رسید. جدول ۴-۴، ردپای آب برخی نوشیدنی‌های معمول را نشان می‌دهد. بیائید یک الگوی متوسط برای مصرف نوشیدنی در غرب را در نظر بگیریم. فرض کنید فردی، یک لیوان شیر برای صبحانه (با ردپای آب ۲۰۰ لیتر)، یک لیوان قهوه تلخ در صبح (با ردپای آب ۱۳۰ لیتر)، یک لیوان آب پرتقال هنگام ناهار (با ردپای آب ۲۰۰ لیتر)، یک لیوان چای سیاه در عصر (با ردپای آب ۳۰ لیتر) و یک لیوان دیگر قهوه در هنگام شام (با ردپای آب ۱۳۰ لیتر) و یک لیوان شراب در شب (با ردپای آب ۲۰۰ لیتر) بنوشد. در این صورت، ردپای آب کلِ مربوط به نوشیدنی‌هایش در کل روز، تقریباً ۹۰۰ لیتر خواهد بود. یک وان حمام معمولی، می‌تواند ۹۰ لیتر آب را در خود جای دهد (هرچند، این وان‌ها در اندازه‌های بزرگ‌تر هم وجود دارند). این بدان معنی است که ما حدود ۱۰ وان حمام آب در روز می‌نوشیم.

جدول ۴-۴. میانگین جهانی ردپای آب برخی نوشیدنی‌ها (بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶)

نوشیدنی		مقدار	ردپای آب (لیتر)			
			سبز	آبی	خاکستری	کل
آب میوه	آب گوجه	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	27	16	11	54
	آب گریپ‌فروت	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	98	23	14	135
	آب پرتقال	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	146	40	18	204
	آب سیب	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	156	37	35	228
	آب آناناس	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	215	9	31	255
نوشیدنی بدون الکل	نوشابه	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	59	3	5	67
شیر	شیر گاو	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	173	17	14	204
	شیر سویا	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	55	2	2	59
الکل	آب‌جو	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	51	3	5	59
	شراب	یک لیوان (۲۰۰ میلی‌لیتر)	76	17	16	109
نوشیدنی‌های داغ	چای	یک فنجان (۳ گرم چای سیاه)	22	3	2	27
	قهوه	یک فنجان (۷ گرم قهوه‌ی بو داده شده)	127	1	4	132
	شکلات داغ	یک لیوان (۱۰ گرم پودر کاکائو، ۲۰ گرم شکر به‌دست آمده از چغندر قند، ۲۰۰ میلی‌لیتر شیر)	333	20	19	372

منبع داده، ارسین و همکاران (Ercin et al., 2011) برای نوشابه‌ی تولید شده از چغندر قند تولیدی در هلند، ارسین و همکاران (Ercin et al., 2012) برای شیرسویا؛ مکونن و هوکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2012a) برای شیر گاو؛ مکونن و هوکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2011a) برای دیگر نوشیدنی‌ها

فصل پنجم

آب برای نان و پاستا

آب زیادی برای تهیه‌ی نوشیدنی‌های ما نیاز است، اما، آبی که برای تولید غذای ما لازم است، بیش‌تر می‌باشد. گندم، گیاهی است که بیش‌ترین ردپای آب جهانی را دارد. ۱۵ درصد از مجموع ردپای آب کلی که در جهان برای تولید گیاه مصرف می‌شود، در فرآیند تولید گندم مصرف می‌شود. برنج، با سهمی حدود ۱۳ درصد در ردپای آب کل در جهان، تقریباً در جایگاه دوم و ذرت، با سهمی معادل ۱۰ درصد در جایگاه سوم قرار دارد. اگر تنها ردپای آب آبی را درنظر بگیریم، درخواهیم یافت که گندم و برنج، تقریباً سهمی برابر در مصرف منابع آب آبی جهان دارند و مجموع سهم آن‌ها در ردپای آب آبی مصرف شده برای تولید کل گیاهان در جهان، ۴۵ درصد است (Mekonnen and Hoekstra, 2011a). برنج، گندم و ذرت، سه مورد از محبوب‌ترین گیاهان اصلی در جهان هستند. در این فصل، ما روی یکی از آن‌ها متمرکز می‌شویم: گندم. ما دو فرآورده‌ی مهمِ گندم در رژیم غذایی‌مان را در نظر می‌گیریم: نان و پاستا.

اعتقاد بر آن است که منشأ پیدایش گندم، در جنوب‌غربیِ آسیا بوده و به احتمال زیاد، اولین بار در نزدیکیِ دیاربکر[1] در ترکیه بومی شد (Dubcovsky and Dvorak, 2007). امروزه، گندم در تمام جهان کشت می‌شود. بیش از ۹۰ درصد از گندم تولیدی در جهان، گندم معمولی و گندم نان می‌باشد (*Triticum aestivum aestivum*) در حالی‌که گندم دوروم[2] (*Triticum turgidum durum*)، حدود ۱۵ درصد از کل گندم تولیدی در جهان را شامل می‌شود (Dixon *et al*., 2009). گندم نان، اساساً برای تهیه‌ی نان، نودل‌ها، کوکی‌ها، کیک‌ها و غلات صبحانه استفاده می‌شود. گندم دوروم، دانه‌ی سختی داشته و برای تولید نان مناسب نیست؛ این گونه‌ی گندم، اغلب برای تولید سمولینا، پاستا، ناکی[3] و فرآورده‌های گندم شکسته مانند کوسکوس یا بلغور استفاده می‌شود. بر اساس دوره‌ی رشد، می‌توان انواع گندم را به گندم بهاره و گندم پائیزه تقسیم‌بندی نمود.

برای شروع، ردپای آب گندم در جهان را ارائه می‌کنم. در این فصل خواهیم دید که ردپای آب گندم بر حسب لیتر بر کیلوگرم، در چه مکان‌هایی نسبتاً اندک و در چه مکان‌هایی نسبتاً زیاد است. به‌علاوه، خواهیم دید که در چه مناطقی، مقدار مطلق ردپای آب گندم (مترمکعب در سال)، بیش‌ترین مقدار را دارد که این مقدار، خود تابعی از ردپای آب گندم به ازای هر واحد گندم تولیدی و همچنین، چگونگیِ تولید گندم است. اینجا روی تعدادی از نواحیِ تولیدکننده‌ی خاص متمرکز می‌شوم: ایالت‌های غرب میانه‌ی آمریکا و حوضه‌های گنگ و ایندوس. سپس، جریان بین‌المللی آب مجازی در ازای مبادلات محصولات گندم را بررسی می‌کنیم. تحلیل مبادلات، ما را قادر می‌سازد که دیدگاه مصرف‌کننده را در

1 Diyarbakir
2 Durum wheat
3 Gnocchi

نظر گرفته و توزیع مکانیِ ردپای آب گندم مصرفی برای هر کشور را ردیابی نماییم. در بسیاری از کشورها، بخش قابل توجهی از ردپای آب مربوط به مصرف گندم‌شان درخارج از آن کشورها واقع شده و این بدان معناست که مصرف‌کنندگان، به منابع آبی واقع در مکان‌های دیگر، وابسته هستند. در درازمدت، استفاده‌ی ناپایدار از آب در نواحی صادرکننده، ممکن است تأمین گندم برای نواحی واردکننده را متأثر سازد. در بخش انتهایی این فصل، با تمرکز روی ردپای آب پاستا، درباره‌ی مصرف گندم در ایتالیا، که یکی از کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی گندم در جهان است، صحبت می‌کنم. این فصل، به منظور تشویق به بهبود شرایط در نواحی‌ای که ردپای آب در پروسه‌ی تولید گندم، فراتر از حدود بنچ‌مارک است، با مثالی از ایده‌ی تدوین بنچ‌مارک برای ردپای آب گندم به پایان می‌رسد.

ردپای آب برای تولید گندم

ما، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در پروسه‌ی تولید گندم را با استفاده از یک مدل دینامیکی بیلان آب بر مبنای رستر تعیین نمودیم که در این مدل، شرایط خاک و اقلیم‌های محلی و همچنین شدت‌های کوددهی نیتروژن در نظر گرفته شده و نیاز آبی گیاه، آب مصرفی واقعی و عملکرد محصول، برآورد می‌گردد؛ در نهایت، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در مقیاس رستر محاسبه می‌شود (Mekonnen and Hoekstra, 2010). این مدل، با دقت مکانی ۵ دقیقه در ۵ دقیقه استفاده شده است که این مقیاس در استوا، پیکسل‌هایی با ابعاد ۱۰×۱۰ کیلومترمربع خواهد بود. بر اساس نتایج این پژوهش، میانگین ردپای آب در پروسه‌ی تولید گندم در جهان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶، برابر با ۱۰۸۸ میلیارد مترمکعب بود. برای درک بهتر این عدد، می‌توان گفت که این مقدار، تقریبا برابر و یا حتی کمی بیش‌تر از مجموع بارش سالانه در کشورهای فرانسه، آلمان و اسپانیا می‌باشد. حدود ۷۰ درصد از ردپای آب در پروسه‌ی تولید گندم در جهان، ردپای آب سبز، ۱۹ درصد ردپای آب آبی و ۱۱ درصد ردپای آب خاکستری بود. در جدول ۵-۱، داده‌های به‌دست آمده برای بزرگ‌ترین کشورهای تولیدکننده‌ی گندم ارائه شد. ردپای آب سبز در پروسه‌ی تولید گندم در جهان، ۷۶۰ میلیارد مترمکعب در سال بود. کشورهای ایالات متحده‌ی آمریکا، چین، روسیه، استرالیا و هند بزرگ‌ترین مقادیر ردپاهای آب سبز را داشتند. حدود ۴۹ درصد از از مجموع ردپای آب سبز در پروسه‌ی تولید گندم در جهان در این پنج کشور مصرف می‌شود. در مقیاس زیر-کشوری (ایالت یا استان)، بزرگ‌ترین مقادیر ردپای آب سبز در کانزاس[1] آمریکا (۲۱ میلیارد مترمکعب در سال)، ساسکچوآن[2] در کانادا (۱۸ میلیارد مترمکعب

1 Kansas
2 Saskatchewan

در سال)، استرالیای غربی (۱۵ میلیارد مترمکعب در سال) و داکوتای[1] شمالی در آمریکا (۱۵ میلیارد مترمکعب در سال) به دست آمد. ردپای آب آبی در پروسه‌ی تولید گندم در جهان، ۲۰۴ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده شد. بزرگ‌ترین مقادیر ردپای آب آبی، برای کشورهای هند، چین، پاکستان، ایران، مصر و ایالات متحده‌ی آمریکا به دست آمد. این شش کشور در مجموع، ۸۸ درصد از کل ردپای آب آبی در پروسه‌ی تولید گندم در جهان را از آن خود ساختند. در سطح زیر–کشوری، بزرگ‌ترین مقادیر ردپای آب آبی را می‌توان در اوتار پرادش[2] (۲۴ میلیارد مترمکعب در سال) و مادهیه پراداش[3] (۲۱ میلیارد مترمکعب در سال) در هند و پونجاب[4] در پاکستان (۲۰ میلیارد مترمکعب در سال) یافت. این سه ایالت در این دو کشور، به تنهایی، ۳۲ درصد از مجموع ردپای آب آبی در پروسه‌ی تولید گندم در جهان را از آن خود نمودند. ردپای آب خاکستری مربوط به کاربرد کود نیتروژن در کاشت گندم، ۱۲۴ میلیارد مترمکعب در سال بود. بیش‌ترین مقادیر ردپای آب خاکستری، در کشورهای چین، هند، ایالات متحده‌ی آمریکا و پاکستان به دست آمد. میانگین جهانی ردپای آب به ازای تولید هر واحد گندم، ۱۸۳۰ لیتر بر کیلوگرم می‌باشد، اما نتایج، اختلاف‌های زیادی را هم بین ردپای آب گندم در کشورهای مختلف و هم بین مکان‌های مختلفِ درون یک کشور را نشان داد. در میان بزرگ‌ترین تولیدکنندگان گندم، بیش‌ترین مقادیر ردپای آب به ازای هر واحد تولید گندم مربوط به کشورهای مراکش، ایران و قزاقستان بود. در سوی دیگر، کشورهایی مانند انگلستان و فرانسه قرار داشتند که ردپای آب گندم تولیدی در آن‌ها، حدود ۶۰۰–۵۶۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم بود. میانگین جهانی ردپای آب آبی گندم، ۳۴۳ لیتر بر کیلوگرم بود. در تعداد محدودی از کشورها، شامل پاکستان، هند، ایران و مصر، ردپای آب آبی بسیار بیش‌تر از این حد بوده و حداکثر مقدار آن، برای پاکستان و برابر با ۱۴۷۸ لیتر بر کیلوگرم به دست آمد. در پاکستان، سهم ردپای آب آبی در ردپای آب کل، تقریباً ۵۸ درصد است. میانگین جهانی ردپای آب خاکستری گندم، ۲۰۸ لیتر بر کیلوگرم بود؛ اما مقدار آن در لهستان، ۲/۵ برابر بیش‌تر از میانگین جهانیِ آن است. جدول ۵–۲، ردپای آب در پروسه‌ی تولید گندم در برخی از حوضه‌های آبریز را نشان می‌دهد. حدود ۵۹ درصد مقدار جهانیِ ردپای آبِ مربوط به تولید گندم در همین حوضه‌های آبریز قرار دارد. ردپاهای آب آبی بزرگ را می‌توان در حوضه‌های آبریز گنگس‌براهماپوترا–مغنا[5]، ایندوس[6]، زرد[7]، دجله و فرات[8]، آمور[9]

1 Dakota
2 Uttar Pradesh
3 Madhya Pradesh
4 Punjab
5 Ganges-Brahmaputra-Meghna
6 Indus
7 Yellow
8 Tigris-Euphrates
9 Amur

و یانگ‌تسه[1] یافت. حوضه‌های آبریز گنگس‌براهماپوترا–مغنا و ایندوس در مجموع، ۴۷ درصد از ردپای جهانی آب آبی و ۲۱ درصد از ردپای جهانی آب خاکستری در پروسه‌ی تولید گندم را به خود اختصاص داده‌اند.

جدول ۵–۱. ردپای آب مربوط به تولید گندم در بزرگ‌ترین کشورهای اصلی تولیدکننده‌ی گندم، بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶

کشور	سهم در مجموع گندم تولیدی در جهان (٪)	ردپای آب کل در پروسه‌ی تولید گندم (میلیون مترمکعب در سال)				ردپای آب گندم به ازای هر واحد تولید (لیتر بر کیلوگرم)			
		سبز	آبی	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری	کل
آرژانتین	2.5	25,905	162	1,601	27,668	1,777	11	110	1,898
استرالیا	3.6	44,057	363	2,246	46,666	2,130	18	109	2,257
کانادا	3.9	32,320	114	4,852	37,286	1,358	5	204	1,567
چین	17.4	83,459	47,370	31,626	162,455	820	466	311	1,597
جمهوری چک	0.6	2,834	0	900	3,734	726	0	231	957
دانمارک	0.8	2,486	30	533	3,049	530	6	114	650
مصر	1.1	1,410	5,930	2,695	10,035	216	907	412	1,535
فرانسه	6.0	21,014	48	199	21,261	584	1	6	591
آلمان	3.5	12,717	0	3,914	16,631	602	0	185	787
مجارستان	0.7	4,078	8	1,389	5,475	973	2	331	1,306
هند	11.9	44,025	81,335	20,491	145,851	635	1,173	296	2,104
ایران	1.8	26,699	10,940	3,208	40,847	2,412	988	290	3,690
ایتالیا	1.2	8,890	120	1,399	10,409	1,200	16	189	1,405
قزاقستان	1.7	33,724	241	1	33,966	3,604	26	0	3,630
مراکش	0.5	10,081	894	387	11,362	3,291	292	126	3,709
پاکستان	3.2	12,083	27,733	8,000	47,816	644	1,478	426	2,548
لهستان	1.5	9,922	4	4,591	14,517	1,120	0	518	1,638
رومانی	0.9	9,066	247	428	9,741	1,799	49	85	1,933
جمهوری	6.5	91,117	1,207	3,430	95,754	2,359	31	89	2,479
اسپانیا	1.0	8,053	275	1,615	9,943	1,441	49	289	1,779
سوریه	0.7	5,913	1,790	842	8,545	1,511	457	215	2,183
ترکیه	3.3	40,898	2,570	3,857	47,325	2,081	131	196	2,408
انگلستان	2.5	6,188	2	2,292	8,482	413	0	153	566
اوکراین	2.5	26,288	287	1,149	27,724	1,884	21	82	1,987
ایالات	10.2	111,926	5,503	13,723	131,152	1,879	92	230	2,201
ازبکستان	0.7	3,713	399	0	4,112	939	101	0	1,040
کل جهان		760,301	203,744	123,533	1,087,578	1,279	343	208	1,830

مرجع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰)[2]

1 Yangtze
2 Mekonnen and Hoekstra (2010)

جدول ۵-۲. ردپای آب در فرآیند تولید گندم در برخی از حوضه‌های آبریز منتخب، دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶

حوضه‌ی آبریز	ردپای آب گندم به ازای هر واحد تولید (لیتر ردپای آب کل در پروسه‌ی تولید گندم (میلیون مترمکعب در سال)				ردپای آب گندم به ازای هر واحد تولید (لیتر ردپای آب کل در پروسه‌ی تولید گندم (میلیون بر کیلوگرم)			
	سبز	آبی	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری	کل
گنگس‌براهماپوترامغنا (Ganges-Brahmaputra-Meghna)	30,288	53,009	12,653	95,950	665	1,164	278	2,107
می‌سی‌سی‌پی (Mississippi)	79,484	2,339	9,413	91,236	1,979	58	234	2,271
ایندوس(Indus)	22,897	42,145	13,326	78,368	604	1,111	351	2,066
اوب (Ob)	51,984	225	511	52,720	2,680	12	26	2,718
نلسون‌ساسکاچومن (Nelson-Saskatchewan)	38,486	118	5,691	44,295	1,275	4	189	1,468
دجله و فرات(Tigris-Euphrates)	29,219	10,282	2,670	42,171	2,893	1,018	264	4,175
زرد (Yellow)	17,012	13,127	7,592	37,731	695	536	310	1,541
دانوب (Danube)	27,884	273	3,579	31,736	1,298	13	167	1,478
ولگا (Volga)	25,078	272	955	26,305	2,315	25	88	2,428
دان (Don)	24,834	384	927	26,145	2,658	41	99	2,798
سانگ‌تسه (Yangtze)	17,436	2,700	4,855	24,991	1,112	172	310	1,594
مورای‌دارلینگ (Murray-Darling)	20,673	343	987	22,003	2,061	34	98	2,193
لاپلاتا (La Plata)	17,127	73	1,070	18,270	2,039	9	127	2,175
آمور (Amur)	8,726	3,136	2,355	14,217	985	354	266	1,605
دنیپر (Dnieper)	13,219	68	813	14,100	1,732	9	107	1,848
کلمبیا (Columbia)	7,238	1,877	1,122	10,237	1,852	480	287	2,619
اورال (Ural)	9,338	94	192	9,624	2,542	26	52	2,620
کل جهان	760,301	203,744	123,533	1,087,578	1,279	343	208	1,830

مرجع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰)[1]

1 Mekonnen and Hoekstra (2010)

کشاورزی دیم در مقابل آبی

میانگین جهانی ردپای آب برای تولید گندم دیم، ۱۸۰۵ لیتر بر کیلوگرم است، در حالی‌که این مقدار برای تولید گندم آبی، ۱۸۶۸ لیتر بر کیلوگرم می‌باشد (جدول ۵-۳). پرواضح است که ردپای آب آبی در تولید گندم دیم، برابر با صفر است. در تولید گندم آبی، ردپای آب آبی ۵۰ درصد از کل ردپای آب را شامل می‌شود. به طور میانگین، عملکرد گندم در مزارع تحت کشت آبی، ۳۰ درصد بیش‌تر از مزارع دیم است؛ لکن، ردپای آب گندم در کشت آبی، بیش‌تر از مقدار آن در کشت دیم است. اگر تنها آب مصرفی (یعنی مجموع ردپای آب آبی و سبز) را درنظر بگیریم، میانگین جهانی مقادیر ردپای آب گندم (بر حسب لیتر بر کیلوگرم) در کشت‌های دیم و آبی، تقریباً با هم برابر خواهند بود. دلیل این برابری آن است که اگرچه عملکرد گندم در کشت آبی بیش‌تر از کشت دیم است، اما، میزان مصرف آب (یعنی تبخیر-تعرق) نیز در کشت آبی بیش‌تر است. در کشت دیم، تبخیر-تعرق واقعی در طول فصل رشد، کم‌تر از مقدار پتانسیل آن است، در حالی‌که در کشت آبی، آب بیش‌تری برای تأمین نیاز آبی گیاه در دسترس می‌باشد که باعث می‌شود مقدار تبخیر-تعرق واقعی به مقدار پتانسیل نزدیک و یا با آن برابر شود.

ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ مربوط به تولید گندم در جهان، باعث اعمال فشار بر منابع آب به شیوه‌های مختلفی می‌شود. حوضه‌های آبریز بسیاری در جهان وجود دارند که مصرف آب در آن‌ها، باعث بروز کمبود آب شدید و چالش‌های زیست‌محیطیِ مربوطه شده است؛ مانند حوضه‌های آبریز ایندوس و گنگس[1] که در ادامه در خصوص آن‌ها بحث می‌شوند. از آنجایی‌که در مقایسه با بسیاری از گیاهان، بهره‌وری اقتصادی آب گندم (یورو بر مترمکعب) اندک است (Molden, 2007)، ممکن است این سوال پرسیده شود که در حوضه‌های نسبتاً کم‌آب، تا چه حد باید آب را به تولید گندم اختصاص داد. عملکرد پایین گندم در اراضی دیم نشان می‌دهد که هنوز در بسیاری از کشورها، پتانسیل زیادی برای بهبود بهره‌وری آب سبز، یعنی کاهش ردپای آب سبز، وجود دارد. این مسأله، به‌ویژه می‌تواند در سیاست‌هایی لحاظ شود که هدفشان، رفع تبعات منفی ردپای آب آبی می‌باشد، زیرا افزایش بهره‌وری آب سبز و در پی آن، افزایش میزان تولید در اراضی دیم، نیاز به تولید گندم در اراضی آبی در نواحی کم‌آب را کاسته و در نهایت، باعث کاهش مصرف آب آبی برای تولید گندم می‌شود. اصلاح شدت‌های کوددهی و آن‌ها در زمان‌های مناسب با کاربرد تکنولوژی‌های کاربردی مناسب (کشاورزی دقیق)، می‌تواند باعث کاهش ردپای آب خاکستری در پروسه‌ی تولید گندم شده و در نتیجه، باعث کاهش

1 Ganges

آبشویی کودها به منابع آب زیرزمینی و جریان‌های سطحی گردد (Jenkinson, 2001; Norse, 2005).

جدول ۵-۳. مقادیر جهانی ردپای آب در فرآیند تولید گندم در اراضی دیم و آبی، بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹.

روش کشت	عملکرد (تن بر هکتار)	مجموع ردپای آب در فرآیند تولید گندم (میلیارد مترمکعب در سال)				ردپای آب گندم به ازای هر واحد تولید (لیتر بر کیلوگرم)			
		سبز	آبی	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری	کل
دیم	2.5	611	0	66	677	1,629	0	175	1,804
آبی	3.3	150	204	58	412	679	926	263	1,868
میانگین جهانی	2.7	760	204	124	1,088	1,279	343	208	1,830

مرجع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰)[1]

دشت بزرگ آمریکا[2]

آبخوان اوگالالا[3]، که به آبخوان دشت‌های بلند[4] نیز معروف است، یک آبخوان منطقه‌ای است که تحت دشت بزرگ ایالات متحده، در بخش‌هایی از هشت ایالت داکوتای جنوبی، نبراسکا، وایومینگ، کلرادو، کانزاس، اکلاهما، نیومکزیکو و تگزاس، قرار دارد. این آبخوان، منطقه‌ای به وسعت ۴۵۱۰۰۰ کیلومتر مربع را پوشش داده و آن را به بزرگ‌ترین مزارع آبی جهان تبدیل نموده است. بخش اعظمِ این آبخوان، تحت سه ایالت نبراسکا (۶۵ درصد از حجم آبخوان)، تگزاس (۱۲ درصد) و کانزاس (۱۰ درصد) قرار گرفته است (Peck, 2007). حدود ۷۲ درصد از اراضی تحت آبیاری در ایالات متحده‌ی آمریکا، در محل این آبخوان واقع شده‌اند که این مسأله باعث شده تا ۳۰ درصد از آب‌های زیرزمینی کشور برای آبیاری استفاده شود (Dennehy, 2000).

آبِ آبخوان اوگالالا، منبع اصلی تأمین آب برای کشاورزی آبی است. در سال ۱۹۹۵، آبخوان اوگالالا، ۸۱ درصد از آب آبیاری در محدوده‌ی اوگالالا را تأمین نمود و باقی آن، از روخانه‌ها و نهرها، به‌ویژه از پلات[5] در نبراسکا، برداشت شد. در خارج از محدوده‌ی رودخانه‌ی پلات، ۹۲ درصد از آب مصرفی برای آبیاری در محدوده‌ی اوگالالا از آب زیرزمینی تأمین شد (Dennehy, 2000). از زمانی

1 Mekonnen and Hoekstra (2010)
2 Great Plains of US
3 The Ogallala Aquifer
4 High Plains Aquifer
5 Platte

که آبیاری با استفاده از آب زیرزمینی شدت یافت، سطح آب در بخش‌های زیادی از این آبخوان، حدود ۳–۱۵ متر در افت نمود (McGuire, 2007).

درون محدوده‌ی اوگالالا، ایالت کانزاس بیش‌ترین سهم را در تولید گندم داشته (۵۱ درصد) و تگزاس و نباراسکا در رتبه‌های بعدی قرار دارند. در ایالت تگزاس، بخش نسبتاً زیادی از گندم (۵۳ درصد) در اراضیِ آبی تولید می‌شود. ۱۴ درصد از کل گندم تولیدی در آمریکا، در محدوده‌ی اوگالالا تولید شده و ۱۶ درصد از ردپای آب کل در فرآیند تولید گندم در این محدوده قرار دارد. همچنین، حدود ۱۹ درصد از ردپای آب آبی در فرآیند تولید گندم در آمریکا نیز در محدوده‌ی اوگالالا مصرف شده است. ردپای آب کل در محدوده‌ی اوگالالا، ۲۱ میلیون مترمکعب در سال بود (جدول ۵–۴).

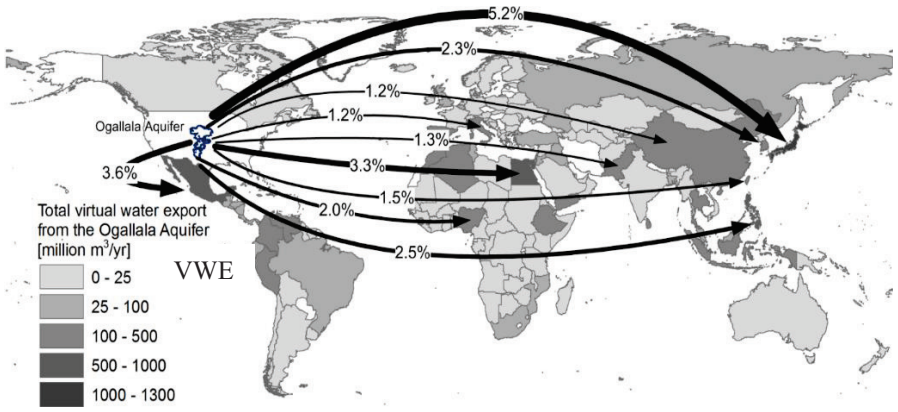
تگزاس، بیش‌ترین سهم (۳۹ درصد) را در مجموع ردپای آب آبی مصرفی در فرآیند تولید گندم در محدوده‌ی اوگالالا را داشته و کانزاس (۳۵ درصد) در جایگاه دوم قرار دارد. اختلاف قابل توجهی بین مقادیر ردپای آب آبی به ازای هر کیلوگرم گندم تولیدی در مکان‌های مختلفِ واقع در محدوده‌ی اوگالالا وجود دارد. علاوه بر آن، مقادیر ردپای آب آبی به ازای هر کیلوگرم گندم تولیدی در محدوده‌ی اوگالالا بسیار بزرگ‌تر از میانگین کشوری آن در آمریکا می‌باشد.

در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، صادرات آب مجازی در ازای صادرات گندم تولیدی در آمریکا، ۵۷ میلیارد مترمکعب در سال بود. حدود ۹۸ درصد از این آب مجازی صادراتی، از منابع آب داخلی نشأت گرفته و تنها ۲ درصد از آن، مربوط به صادرات مجدد آب مجازی وارداتیِ مربوط به واردات فرآورده‌های گندم به آمریکا است. با لحاظ سرانه‌ی مصرف گندم در آمریکا برابر با ۸۸ کیلوگرم برای هر نفر در سال (FAO, 2012) و جمعیتی معادل ۲/۴ میلیون نفر در محدوده‌ی اوگالالا (CIESIN, 2005)، معلوم شد که تنها ۲ درصد از گندم تولیدی در محدوده‌ی اوگالالا، در همین محدوده مصرف می‌شود و مازاد آن (حدود ۹۸ درصد) به دیگر نواحی واقع در ایالات متحده‌ی آمریکا و دیگر کشورها صادر می‌شود. ژاپن، مکزیک و مصر، بزرگ‌ترین واردکنندگان خارجی آب مجازی از نواحی تحت آبخوان اوگالالا هستند (شکل ۵–۱). نمایان ساختن ارتباط پنهان بین مصرف‌کننده‌ی گندم در جایی دیگر با اثرات ناشی از تولید گندم بر منابع آب موجود در آبخوان اوگالالا، برای سیاست‌هایی که هدف آن‌ها، داخلی نمودن اثرات منفی تولید گندم و تحمیل آن هزینه‌ها به مصرف‌کنندگان در مکان‌های دیگر است، بسیار سودمند می‌باشد.

جدول ۵–۴. ردپای آب در فرآیند تولید گندم و صادرات آب مجازی از محدوده‌ی اوگالالا، بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶

ایالت‌های واقع در محدوده‌ی اوگالالا	ردپای آب مربوط به تولید گندم (میلیون مترمکعب در سال)				صادرات آب مجازی در ازای صادرات محصولات گندم (میلیون مترمکعب در سال)			
	سبز	آبی	خاکستری	کل	سبز	آبی	خاکستری	کل
کانزاس	9,136	368	1,077	10,581	8,914	359	1,051	10,324
تگزاس	1,981	417	301	2,699	1,933	407	294	2,634
نباراسکا	2,952	78	345	3,375	2,880	76	337	3,293
کلرادو	2,108	67	281	2,456	2,057	66	274	2,397
اوکلاهاما	693	26	91	810	676	25	88	789
نیومکزیکو	317	94	45	456	309	91	44	444
داکوتای جنوبی	211	0	24	235	206	0	23	229
وایومینگ	299	6	34	339	291	6	33	330
کل محدوده‌ی اوگالالا	17,696	1,056	2,196	20,948	17,266	1,031	2,143	20,440

منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰). این مقادیر، تنها مربوط به بخشی از هر ایالت است که درون محدوده‌ی اوگالالا واقع شده است



شکل ۵–۱. مقاصد اصلی صادرات آب مجازی (VWE) مربوط به گندم از محدوده‌ی اوگالالا در ایالات متحده‌ی آمریکا، بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶. حدود ۸۵ درصد از کل ردپای آب ددر فرآیند تولید گندم در محدوده‌ی اوگالالا ، جهت مصرف گندم در ایالات متحده‌ی آمریکا بوده و ۴۵ درصد از آن به کشورهای دیگر صادر می‌شود. تنها مقادیر بزرگ صادرات آب مجازی (مقادیر بزرگ‌تر از یک درصد) نشان داده شده‌اند. منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰)

حوضه‌های آبریز گنگ و ایندوس

حوضه‌ی آبریز گنگ، که بخشی از حوضه‌ی آبریز کامپوزیتی رودخانه‌ی گنگس‌براهماپوترامغنا است، یکی از پرجمعیت‌ترین حوضه‌های آبریز جهان (با تراکم جمعیتی ۴۴۳ نفر در هر کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۰) است. این حوضه، سطحی به وسعت یک میلیون کیلومترمربع را پوشش می‌دهد (Gleick, 1993). همچنین، حوضه‌ی آبریز ایندوس نیز که مشتمل بر چهار کشور چین، هند، پاکستان و افغانستان می‌باشد، یکی دیگر از حوضه‌های آبریز پرجمعیت (با تراکم جمعیتی ۱۸۶ نفر در هر کیلومتر مربع) می‌باشد. وسعت حوضه‌ی آبریز ایندوس، کمی کوچک‌تر از حوضه‌ی آبریز گنگ است،اما این آبخوان نیز سطحی معادل یک میلیون کیلومترمربع را پوشش می‌دهد (Gleick, 1993).

در این دو حوضه در مجموع، حدود ۹۰ درصد از گندم تولیدی در هند و پاکستان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶ تولید شد. تقریباً تمام گندم تولیدی در پاکستان (۹۸ درصد) در حوضه‌ی ایندوس تولید می‌شود. حدود ۹۸ درصد از گندمِ هند، در حوضه‌های گنگ (۶۵ درصد) و ایندوس (۲۷ درصد) تولید می‌شود. حدود ۸۷ درصد از کل ردپای آب در فرآیند تولید گندم در هند و پاکستان، در این دو حوضه‌ی آبریز واقع شده است. مجموع ردپای آب در فرآیند تولید گندم در بخش هندی حوضه‌ی گنگ، ۹۲ میلیارد مترمکعب در سال است (۳۲ درصد سبز، ۵۴ درصد آبی و ۱۴ درصد خاکستری). مجموع ردپای آب مربوط در فرآیند گندم در بخش پاکستانیِ حوضه‌ی ایندوس، ۴۸ میلیارد مترمکعب در سال است (۲۵ درصد سبز، ۵۸ درصد آبی و ۱۷ درصد خاکستری).

مجموع صادرات آب مجازی به دلیل صادرات گندم از هند و پاکستان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶، ۵/۱ میلیارد مترمکعب در سال بود (۲۹ درصد سبز، ۵۶ درصد آبی و ۱۵ درصد خاکستری)، که این مقدار، بخش کوچکی (۳ درصد) از کل ردپای آب در فرآیند تولید گندم در این دو کشور است. حدود ۵۵ درصد از این آب مجازی صادراتی، از حوضه‌ی گنگ و ۴۵ درصد از حوضه‌ی ایندوس نشأت می‌گیرد. صادرات آب مجازی آبی از حوضه‌ی آبریز گنگ و ایندوس به دیگر کشورها، به ترتیب ۱/۳ و ۱/۱ میلیارد مترمکعب در سال بود.

بر اساس شاخص نسبت آب برداشتی به آب موجود، که یکی از شاخص‌های رایج برای تنش آبی است، بیش‌ترِ بخش‌های پاکستان و هند، تحت تنش شدید هستند (Alcamo *et al*., 2003). هر دو حوضه‌ی آبریز گنگ و ایندوس، در چندین ماه از سال (سپتامبر تا آوریل) با تنش شدید آبی مواجه هستند (Hoekstra *et al*., 2012). حوضه‌ی آبریز ایندوس، در سه‌چهارم از سال، با تنش آبی شدید مواجه است. این حوضه، ۷۰ درصد از مجموع بارش سالانه‌ی خود را در حدفاصل ماه‌های ژوئن تا اکتبر دریافت می‌کند (Thenkabail *et al*., 2005). بازه‌ی کم‌آب در حوضه‌ی ایندوس، از نوامبر تا فوریه

است. دوره‌ی پرآب، از ژوئن آغاز شده و تا اکتبر، یعنی زمانی که توده‌های برف و یخ از فلات تبت[۱] آب می‌شود، ادامه می‌یابد. بیش از ۹۳ درصد از ردپای آب آبی در فرآیند تولید گیاهان در پاکستان، در دو استان کشاورزی پونجاب[۲] و سیند[۳] قرار دارد که تمامی استان پونجاب و بخش اعظم استان سیند در حوضه‌ی آبریز ایندوس واقع شده است. آبیاریِ گیاهان گندم، برنج و کتان، ۷۷ درصد از ردپای آب آبی در این حوضه را به خود اختصاص می‌دهد. فراتر بودن شدت برداشت از منابع آب زیرزمینی، که غالباً برای آبیاری صورت می‌گیرد، از شدت تغذیه‌ی طبیعی‌اش، موجبِ تخلیه‌ی آب زیرزمینی در این حوضه شده است (Wada *et al*., 2010). حوضه‌ی آبریز گنگ، در پنج ماه از سال (ژانویه تا می) با کمبود آب شدید مواجه است. این حوضه، از دو سرشاخه‌ی اصلی در آلپ، با نام‌های باگیراتی[۴] و آلاکناندا [۵]، و آبراهه‌های بسیار دیگری که رشته‌کوه‌های هیمالیا[۶]، ویندیا[۷] و ساتپورا[۸] را زهکشی می‌کنند، تغذیه می‌شود. بخش اعظمِ ردپای آب آبی در این حوضه، به دلیل تبخیر–تعرق صورت گرفته از آن آبی است که صرف آبیاری در اراضی کشاورزی، به‌ویژه در اراضی تحت کشت گندم، برنج و چغندر قند می‌شود. این سه گیاه در مجموع، ۸۵ درصد از کل ردپای آب آبی در حوضه‌ی آبریز گنگ را به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، در این حوضه، تبخیر–تعرق از آبِ آبخوان‌هایی که برای آبیاری صرف می‌شوند، باعث تخلیه‌ی آب‌های زیرزمینی شد است (Wada *et al*., 2010).

حدود ۹۷ درصد از ردپای آبِ درفرآیند تولید گندم در این دو حوضه، برای تأمین مصارف داخلی دو کشور هند و پاکستان صرف می‌شود. از آنجایی که دو حوضه‌ی آبریز گنگ و ایندوس، محل اصلی تأمین گندم برای این دو کشور است، آب مجازی قابل‌توجهی از این دو حوضه به دیگر نواحی واقع در هند و پاکستان جابه‌جا می‌شود. با نگاهی به مقادیر جریان آب مجازیِ درون و برون‌کشوری، می‌توان اثرات ناشی از مصرف گندم در مکان‌های دیگر را به تنش آبی در حوضه‌های گنگ و ایندوس منسوب نمود. در مورد هند، کامپمن و همکاران (۲۰۰۸)[۹] نشان دادند که ایالت‌هایی مانند پونجاب[۱۰]، اوتارپرادش[۱۱] و هاریانا[۱۲]، که درون حوضه‌های آبریز رودخانه‌های گنگ و ایندوس واقع شده‌اند، بزرگ‌ترین صادرکنندگان بین ایالتیِ آب مجازی در هند هستند. بالا بودن نرخ یارانه‌ی تعلق گرفته به

1 Tibetan plateau
2 Punjab
3 Sindh
4 Bhagirathi
5 Alaknanda
6 Himalayas
7 Vindhya
8 Satpura
9 Kampman *et al*. (2008)
10 Punjab
11 Uttar Pradesh
12 Haryana

آب آبیاری در این نواحی، باعثِ برداشت بی‌رویه از منابع آب موجود در آن‌ها در مقایسه با دیگر نواحیِ پرآب‌ترِ هند شده است. به منظور ایجاد انگیزه‌هایی برای حفاظت از آب، باید هزینه‌های مربوط به پیامدهای منفی همچون برداشت بی‌رویه از آب و آلودگی، و همچنین، هزینه‌های کمیابی آب[1] را در قیمت گیاه لحاظ نمود. هر دو حوضه، بهره‌وری آب نسبتاً بالایی (یعنی ردپای آب کم‌تری به ازای هر کیلوگرم گندم تولیدی) در مقایسه با دیگر نواحی تولیدکننده‌ی گندم در این دو کشور دارند. با این حال، از آنجایی که گندم دارای ارزش اقتصادی اندکی است، ممکن است این سوال پیش بیاید که آیا اختصاص آب برای تولید گندم جهت صادرات آن به ایالت‌هایی همچون پونجاب، اوتارپرادش و هاریانا، به هزینه‌های آن می‌ارزد یا خیر. یکی از مهم‌ترین مسیرها برای صادرات گندم تولید شده در بخش‌های هندیِ ایندوس و گنگ، صادرات گندم از هند شرقی به ایالت‌های نسبتاً پرآبی مانند بیهار[2] می‌باشد. کشورهای خارجیِ واردکننده‌ی آب‌مجازیِ مربوط به تولید گندم در هند، شامل بنگلادش (۲۲ درصد)، اندونزی (۱۱ درصد)، فیلیپین (۱۰ درصد)، و یمن (۱۰ درصد) می‌باشد. گندم پاکستان، غالباً به افغانستان (۵۶ درصد) و کنیا (۱۱ درصد) صادر می‌شود.

جریان آب مجازی بین‌المللی مربوط به فرآورده‌های گندم

میانگین مجموع جریان آب مجازی به‌واسطه‌ی مبادلات بین‌المللی فرآورده‌های گندم در جهان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، ۲۰۰ میلیارد مترمکعب در سال بود. این به آن معناست که تقریباً ۱۸ درصد از ردپای آبِ مربوط به فرآورده‌های گندم در جهان، صرف تولید گندم برای صادرات می‌شود. حدود ۸۷ درصد از این مقدار، آب سبز بوده و آب آبی و خاکستری، به ترتیب ۴ و ۹ درصد از آن را تشکیل می‌دهند. اساساً صادرات گندم در جهان، از نواحی تحت کشت دیم صورت می‌گیرد. ۲۶ تولیدکننده‌ی بزرگ جهان، که حدود ۹۰ درصد از کل گندم جهان را تولید می‌کنند (جدول ۵–۱)، سهمی در حدود ۹۴ درصد در صادرات آب مجازی جهان دارند. ایالات متحده‌ی آمریکا، کانادا و استرالیا، به تنهایی، ۵۵ درصد از مجموع صادرات آب مجازی را به خود اختصاص داده‌اند. چین، که بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی گندم بوده و ۱۷ درصد از کل گندم جهان را تولید می‌کند، یک واردکننده‌ی خالص آب مجازی است. هند و ایالات متحده‌ی آمریکا، بزرگ‌ترین صادرکنندگان آب آبی بوده و سهمی در حدود ۶۲ درصد در مجموع صادرات آب آبی داشتند. بخش بسیار اندکی (۴ درصد) از کل آب آبی مصرفی در پروسه‌ی تولید گندم، به صورت بین‌المللی مبادله شد. با کمال تعجب، برخی از نواحی کم‌آب در جهان، که متکی بر آبیاری می‌باشند، به واسطه‌ی صادرات گندم، صادرکننده‌ی خالص آب مجازی آبی بودند. صادرات آب مجازی آبی در

1 Scarcity rent
2 Bihar

عربستان صعودی، ۲۱ میلیون مترمکعب در سال و در عراق، ۶ میلیون مترمکعب در سال بود. ایالات متحده‌ی آمریکا، کانادا، استرالیا و آلمان، بزرگ‌ترین صادرکنندگان آب خاکستری بودند. جدول ۵–۵، این داده‌ها را برای بزرگ‌ترین کشورهای صادرکننده و واردکننده‌ی آب مجازی، نشان می‌دهد. مقدار جهانیِ ذخیره‌ی آب به واسطه‌ی مبادلات بین‌المللی گندم، ۶۵ میلیارد مترمکعب در سال بود (۳۹ درصد سبز، ۴۸ درصد آبی و ۱۳ درصد خاکستری). بیش‌ترین صرفه‌جویی آب، در ازای واردات گندم و فرآورده‌های آب به کشورهای الجزایر، ایران، مراکش و ونزوئلا، از کشورهای کانادا، فرانسه، آمریکا و استرالیا، صورت گرفت. شکل ۵–۲، با استفاده از مثالی درباره‌ی مبادله‌ی گندم دوروم از فرانسه به مراکش، مفهوم صرفه‌جویی جهانی آب را به تصویر می‌کشد.

جدول ۵–۵. صادرات و واردات ناخالص آب مجازی مربوط به مبادلات بین‌المللی فرآورده‌های گندم، بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶.

بزرگ‌ترین صادرکنندگان آب مجازی (میلیون مترمکعب در سال)					بزرگ‌ترین واردکنندگان آب مجازی (میلیون مترمکعب در سال)				
	سبز	آبی	خاکستری	کل		سبز	آبی	خاکستری	کل
ایالات متحده‌ی آمریکا	48,603	2,389	5,959	56,951	Brazil	11,415	88	801	12,304
کانادا	24,144	85	3,625	27,854	Japan	10,393	320	1,147	11,860
استرالیا	24,396	201	1,244	25,841	Italy	7,345	174	760	8,279
آرژانتین	15,973	100	987	17,060	Egypt	6,838	274	633	7,745
قزاقستان	16,490	118	0	16,608	Korea, Rep.	6,511	398	685	7,594
فرانسه	9,347	21	89	9,457	Indonesia	6,512	364	577	7,453
جمهوری فدرال روسیه	7,569	100	285	7,954	Iran	6,105	60	504	6,669
اوکراین	4,587	50	200	4,837	Malaysia	5,616	185	636	6,437
آلمان	3,537	0	1,090	4,627	Algeria	5,330	323	696	6,349
هند	1,266	2,338	589	4,193	Mexico	5,155	205	660	6,020
ترکیه	2,208	139	208	2,555	Russian Fed.	5,334	69	92	5,495
انگلستان	1,189	0	441	1,630	Philippines	3,923	426	538	4,887
اسپانیا	1,242	42	249	1,533	Spain	4,161	80	493	4,734
مجارستان	1,035	2	352	1,389	China	4,087	98	453	4,638
دیگر کشورها	13,107	2,202	2,488	17,797	Others	85,967	4,725	9,131	99,823
کل جریان جهانی	174,693	7,789	17,807	200,289	Global flow	174,693	7,789	17,807	200,289

منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰).

شکل ۵-۲. صرفه‌جویی جهانی آب در نتیجه‌ی مبادله‌ی گندم دوروم از فرانسه به مراکش در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۶-۲۰۰۵. منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰).

ذخایر غلات به عنوان مخازن آب مجازی[1]

از آنجایی‌که مبادله‌ی غلات، می‌تواند آب را به صورت مجازی از مکانی پرآب به مکانی کم‌آب جابه‌جا کند، می‌توان به ذخیره‌سازی غلات به عنوان ابزار سودمندی نگریست که از طریق آن، می‌توان غذا را در سال‌های پرباران تولید نمود و سپس با ذخیره‌ی غذای تولید شده، آن را در سال‌های بعدی که کم‌باران بوده و عملکرد گندم به دلیل کم‌آبی کاهش می‌یابد، استفاده نمود. وقتی درباره‌ی چگونگیِ غلبه بر دوره‌های خشکسالی فکر می‌کنیم، اغلب به ساخت سدها برای مخازن مصنوعی آب می‌اندیشیم.

مجموع آب آبی‌ای که می‌تواند در مخازن تمامی سدهای جهان ذخیره شود، ۵۷۲۰ مترمکعب است (Wisser *et al*., 2013). این در حالی است که ما می‌توانیم به جای احداث سدها، مخازن ذخیره‌ی غلات را احداث نموده و آب را به صورت مجازی ذخیره نماییم. در اواخر سال ۲۰۱۸، مجموع ذخایر گندم در جهان، ۲۶۷ میلیون تن بود. مجموع ذخایر غلات که علاوه بر گندم، شامل دیگر غلات همچون

1 Grain reserves as virtual water reservoir

برنج، ذرت و جو نیز می‌شود، ۷۷۰ میلیون تن بود. با لحاظ مقدار میانگینی برای آب مصرفی در پروسه‌ی تولید هر تن غله برابر با ۱۴۶۰ مترمکعب بر تن (شامل آب آبی و آب سبز)، چنین ذخیره‌ای به معنی ذخیره‌ی ۱۱۲۴ میلیون مترمکعب آب به صورت مجازی است که معادل ۲۰ درصد از کل آبی است که می‌تواند در مخازن سدهای مصنوعی جهان ذخیره شود. به این ترتیب، مبادلات آب مجازی، نه تنها به رفع معضل توزیع مکانی غیریکنواخت آب کمک می‌نماید، بلکه می‌تواند معضل موجودیت زمانی نامتوازن آب را نیز برطرف نماید.

ردپای آب گندم از دیدگاه مصرف

میانگین جهانی ردپای آب گندم، ۱۸۳۰ لیتر بر کیلوگرم است. بر اساس ارزش اقتصادی نسبیِ فرآورده‌های مختلف گندم، حدود ۸۰ درصد از ردپای آب ردپای آب گندم، مربوط به آردی است که از انواع گندم به دست می‌آید، باقی آن مربوط به پلت گندم[1]، به صورت محصول جانبی است. یک کیلوگرم گندم، حدود ۷۹۰ گرم آرد تولید می‌کند، بنابراین ردپای آب آرد گندم، حدود ۱۸۵۰ لیتر بر کیلوگرم است. از یک کیلوگرم آرد، حدود ۱/۱۵ کیلوگرم نان درست می‌شود، بنابراین ردپای آب نان، حدود ۱۶۰۸ لیتر بر کیلوگرم است. این مقادیر، میانگین‌های جهانی هستند؛ مقادیر دقیق ردپای آب نان، به محل و شرایط تولید گندم بستگی دارد. در اروپای غربی، ردپای آب گندم بسیار کم‌تر از مقدار میانگین جهانی آن است. ما، ردپای آب برخی از انواع نان‌های رایج اروپایی را محاسبه نمودیم. ردپای آب یک باگت فرانسوی ۳۰۰ گرمی، که با گندم فرانسوی پخته شده باشد، ۱۵۵ لیتر (یعنی ۵۱۷ لیتر بر کیلوگرم) است. ردپای آب یک نان هلندی ۵۷۰ گرمی، که از گندم‌های هلندی تولید شده باشد، ۴۶۰ لیتر (یعنی ۶۱۰ لیتر بر کیلوگرم) است. به این ترتیب، یک تکه از نان هلندی (۳۰ گرمی)، ردپای آبی برابر با ۱۸ لیتر دارد. ردپای آب یک نان آلمانی ۶۰ گرمی[2]، که از گندم آلمان تولید شده است، حدود ۴۰ لیتر (یعنی ۶۹۰ لیتر بر کیلوگرم) است.

میانگین جهانی سرانه‌ی مصرف فرآورده‌های گندم در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵-۱۹۹۶، برابر با ۱۰۰ کیلوگرم گندم در سال بود. سرانه‌ی ردپای آب برای چنین مصرفی، ۱۷۷ مترمکعب در سال به ازای هر نفر بود. مردم قزاقستان، بیش‌ترین ردپای آب (۱۱۵۶ مترمکعب بر سال به ازای هر نفر) را داشتند؛ پس از آن، مردم استرالیا و ایران بوده و سرانه‌ی ردپای آب مربوط به گندم مصرفی‌شان، به ترتیب ۱۰۸۲ و ۷۱۶ مترمکعب در سال بود.

1 Wheat pellets
2 *Kaiser-Brötchen*

داده‌های مربوط به بزرگ‌ترین کشورهای مصرف‌کننده‌ی گندم در جدول ۵–۶ ارائه شد. بزرگ بودن مقادیر سرانه‌ی ردپای آب در فرآیند مصرف گندم در یک کشور، می‌تواند مربوط به یک یا هر دو دلیل ذیل باشد: (الف) سرانه‌ی مصرف گندم در آن کشور بالاست؛ (ب) گندم مصرفی، دارای ردپای آب بالایی به ازای تولید هر کیلوگرم گندم می‌باشد. همان‌گونه که در جدول ۵–۶ مشهود است، در قزاقستان و ایران، هر دو عامل نقش دارند، اما بالا بودن ردپای آب گندم مصرفی در استرالیا، می‌تواند تنها به دلیل بالا بودن سرانه‌ی مصرف گندم در این کشور باشد. مقدار سرانه‌ی مصرف گندم در آلمان، زیاد بوده و دو برابر میانگین جهانی است؛ بنابراین، می‌توان انتظار داشت که ردپای آب مربوط به آن نیز بالا باشد، اما چنین چیزی نیست، زیرا ردپای آب به ازای هر کیلوگرم گندم مصرفی در آلمان، پایین است (۴۳ درصدِ میانگین جهانی است).

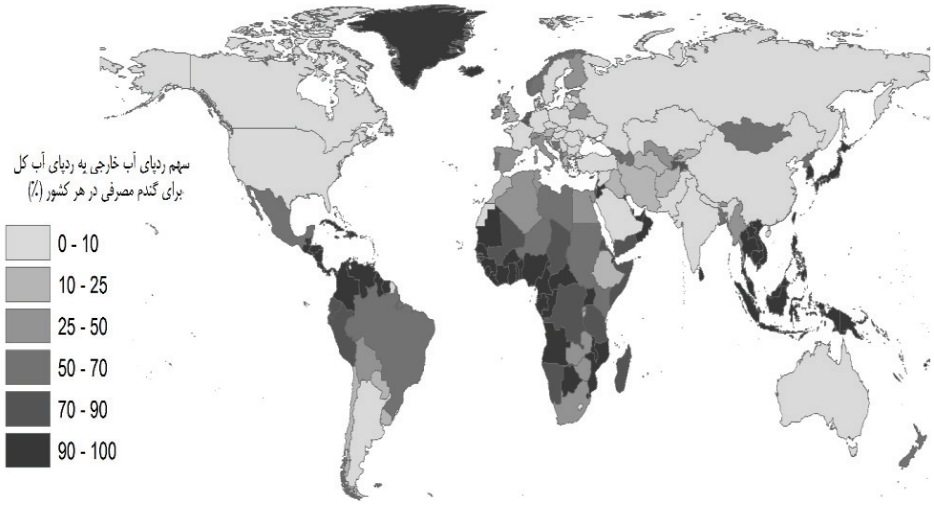
تمام گندم مصرفی در یک کشور، الزاماً در همان کشور تولید نمی‌شود. حدود ۸۲ درصد از ردپای آب مربوط به گندم مصرفی در جهان، داخلی بوده (یعنی گندم در همان کشوری که مصرف می‌شود، تولید می‌گردد)؛ در حالی‌که ۱۸ درصد باقی‌مانده، خارجی است (یعنی مربوط به واردات گندم است).

برزیل، ژاپن، مصر، ایتالیا، جمهوری کره و ایران، از جمله کشورهایی هستند که سهم ردپای آب خارجی مربوط به مصرف گندم آن‌ها بالاست. این کشورها در مجموع، ۲۸ درصد از کل ردپای آب خارجی جهان را به خود اختصاص می‌دهند. ۹۳ درصد از مجموع ردپای آب گندم مصرفی در کشور ژاپن، خارج از این کشور واقع شده است. این مقدار در کشور در ایتالیا، با لحاظ مقدار میانگین سرانه‌ی مصرف گندم برابر با ۱۵۰ کیلوگرم در سال، که بیش از دو برابرِ میانگین جهانی آن است، ۴۴ درصد است. همان‌گونه که در شکل ۵–۳ نشان داده شده است، اغلبِ کشورهای آفریقایی، آفریقای جنوبی، کارائیب و آمریکای مرکزی، به منابع آب خارجی برای تأمین گندم مصرفی خود وابسته هستند.

جدول ۵-۶. ردپای آب مربوط به گندم مصرفی در کشورهای اصلیِ مصرف‌کننده‌ی گندم، بازه‌ی زمانی: ۱۹۹۳-۲۰۰۵

کشور	ردپای آب داخلی (میلیون مترمکعب در سال)			ردپای آب خارجی (میلیون مترمکعب در سال)			ردپای آب		سرانه‌ی ردپای آب	سرانه‌ی مصرف گندم	ردپای آب محصولات گندم
	سبز	آبی	خاکستری	سبز	آبی	خاکستری	کل (میلیون مترمکعب در سال)	سرانه (مترمکعب در سال)	کسری از میانگین جهانی	کسری از میانگین جهانی	کسری از میانگین جهانی
چین	82,990	47,091	31,442	4,064	97	450	166,134	133	0.75	0.86	0.88
هند	42,786	78,997	19,903	931	17	64	142,698	135	0.76	0.66	1.15
روسیه	83,967	1,112	3,152	4,915	63	85	93,294	635	3.59	2.67	1.33
ایالات متحده‌ی آمریکا	64,508	3,124	7,941	1,612	15	244	77,444	270	1.53	1.32	1.17
پاکستان	11,900	27,218	7,856	2,752	90	259	50,075	345	1.95	1.42	1.37
ایران	26,693	10,937	3,208	6,104	60	504	47,506	716	4.04	2.32	1.74
ترکیه	38,810	2,434	3,659	2,238	54	181	47,376	691	3.90	2.98	1.30
اوکراین	21,905	239	955	1,021	12	30	24,162	496	2.80	2.78	1.01
استرالیا	19,671	162	1,005	8	1	3	20,850	1,082	6.11	5.47	1.16
برزیل	6,901	3	469	11,224	88	788	19,473	111	0.63	0.58	1.08
مصرف	1,409	5,924	2,692	6,837	274	633	17,769	264	1.49	1.62	0.92
قزاقستان	17,312	124	1	83	1	7	17,528	1,156	6.53	3.92	1.85
ایتالیا	8,274	114	1,284	6,837	165	697	17,371	300	1.69	2.35	0.70
لهستان	9,687	4	4,478	572	7	94	14,842	386	2.18	2.48	0.87
مراکش	9,923	877	383	3,230	68	306	14,787	505	2.85	2.21	1.29
آلمان	9,459	0	2,868	810	13	120	13,270	161	0.91	2.07	0.43
جهان	593,599	196,690	106,972	166,703	7,147	16,586	1,087,697	177			

منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰)



شکل ۵–۳. شدت وابستگی کشورها به منابع آب خارجی برای مصارف گندم در بازه‌ی زمانی: ۲۰۰۵–۱۹۹۶. منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۰).

ردپای آب مصرف گندم ایتالیایی

ایتالیا یکی از کشورهای اصلی مصرف‌کننده‌ی گندم به شمار می‌آید. این مسأله به‌ویژه به دلیلِ سهم قابل توجه انواع پاستا در رژیم غذایی مردم این کشور است. سرانه‌ی مصرف گندم در ایتالیا، ۱۵۰ کیلوگرم در سال و معادل ۴۰۰ گرم در روز می‌باشد (FAO, 2012). این کشور، یکی از بزرگ‌ترین واردکنندگان گندم در جهان است. ردپای آب مربوط به مصرف فرآورده‌های گندم در ایتالیا در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، برابر با ۱۷/۴ میلیارد مترمکعب در سال بود. حدود ۴۴ درصد از ردپای آب گندم مصرفی در ایتالیا، خارج از مرزهای این کشور، و به‌ویژه در ایالات متحده‌ی آمریکا، فرانسه، کانادا و روسیه، قرار دارد. همان‌گونه که شکل ۵–۱ نشان می‌دهد، آن بخش از ردپای آب مصرف‌کنندگان گندم در ایتالیا که در ایالات متحده‌ی آمریکا قرار گرفته است، در نواحی مختلف آمریکا، به‌ویژه در ناحیه‌ی اوگالالا، واقع شده– است. ایتالیا همچنین از کشورهای کم‌آب خاورمیانه نیز آب مجازی وارد می‌کند. با این حال، حدود نیمی از ردپای آب گندم مصرفی در ایتالیا، در همین کشور واقع شده است. تولید گندم در ایتالیا، ۲۰ درصد از مجموع ردپای آب مربوط به تولید همه‌ی گیاهان در این کشور را به خود اختصاص می‌دهد (Mekonnen and Hoekstra, 2011b). بخش زیادی از گندم تولیدی در ایتالیا، گندم دوروم است که برای تولید پاستا استفاده می‌شود.

ردپای آب پاستای ایتالیایی

گندم دوروم، گیاهی یک‌ساله و بسیار مشابه گندم نان، اما با دانه‌هایی بزرگ‌تر و سفت‌تر و درصد پروتئین بالاتر می‌باشد (Van Wyk, 2005). این گیاه، در نواحی نسبتاً خشک کاشت شده و با روشی مشابه گندم نان و دیگر غلات، برداشت می‌شود. گندم دوروم ایتالیایی، اغلب در ایتالیای جنوبی کشت می‌شود (ISTAT, 2008). میانگین کشوری ردپای آب سبز گندم دوروم، ۷۴۸ لیتر بر کیلوگرم، و ردپای آب آبی آن، ۵۲۵ لیتر بر کیلوگرم می‌باشد. با این وجود، اختلاف‌های چشم‌گیری بین مناطق مختلف این کشور، چه از نظر مجموع ردپای آب و چه از نظر نسبت آب سبز به آبی، وجود دارد. بخش اعظم گندم دوروم در ایتالیا، در پوگلیا[1] و سیسیلی[2] کشت می‌شود؛ ردپای آب آبی در این نواحی، نزدیک به نیمی از ردپای آب کل را به خود اختصاص می‌دهد. در ایتالیای شمالی، در نواحی‌ای مانند توسکانا[3] و مارشی[4]، حدود ۲۵ درصد از آب مصرفی، آب آبی است. در ایتالیای جنوبی، ردپای آب کل به ازای هر کیلوگرم، بسیار بزرگ‌تر از مقدار آن در ایتالیای شمالی است.

مقدار زیادی کود و سموم در تولید گندم مصرف می‌شود. یکی از مواد معذی اصلی کابردی، نیتروژن است. نیتروژن، برای رشد گیاه ضروری است؛ لکن، استفاده‌ی بی‌رویه و بدون مدیریت آن، باعث می‌شود بخش زیادی از این ماده به واسطه‌ی آبشویی به منابع آب زیرزمینی وارد شود و یا همراه با رواناب، به جریان‌های سطحی و رودخانه‌ها بپیوندد و به این ترتیب، باعث تخریب کیفیت آب شود. ردپای آب خاکستری، حجم آب لازم برای پالایش آلاینده‌های شیمیاییِ دفع‌شده به منابع آب را نشان می‌دهد. با لحاظ مقداری میانگین برای شدت کوددهی نیتروژن و با فرض این‌که ۱۰ درصد از این کود آبشویی شود و همچنین، حداکثر غلظت مجاز نیتروژن در منابع آب ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر باشد، ردپای آب خاکستری گندم دوروم در ایتالیا، حدود ۳۰۰ کیلوگرم بر لیتر خواهد بود (جدول ۵–۷). این مقدار، از دو جهت، تخمینی محافظه‌کارانه محسوب می‌شود. اول آن‌که، چون در این محاسبات، غلظت طبیعی نیتروژن در منابع آب برابر با صفر در نظر گرفته شده است، بنابراین ظرفیت این منابع برای پذیرش آلاینده‌ی نیتروژن بیش‌برآورد شده است؛ دوم آن‌که، تاثیر استفاده از دیگر عناصر مغذی، آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها، بررسی نشده است.

از حاصل‌جمع ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ گندم دوروم، مقدار ۱۵۷۴ لیتر بر کیلوگرم برای ردپای آب کل گندم دورم به دست آمد (جدول ۵–۸). برای تهیه‌ی پاستا، باید گندم دوروم، به آرد تبدیل شود. در این راستا، گندم به گونه‌ای آسیاب می‌شود که دانه‌ها به سبوس، جوانه و سمولینا (آرد) تبدیل

1 Puglia
2 Sicily
3 Toscana
4 Marche

می‌شوند. در این فرآیند، حدود ۲۷ درصد از وزن گندم دوروم، تبدیل به آرد می‌شود. ارزش اقتصادی آرد سمولینا، ۸۸ درصد از ارزش اقتصادی کل دانه‌های گندم را به خود اختصاص می‌دهد. اگر ردپای آب کل گندم دوروم، ۱۵۷۴ لیتر بر کیلوگرم باشد، می‌توان ردپای آب آرد سمولینا را برابر با ۱۹۲۴ لیتر بر کیلوگرم (1,574 x 0.88/0.72 =1,924) دانست. ۴۸ درصد از این ردپای آب، آب سبز، ۳۳ درصد آب آبی و ۱۹ درصد آب خاکستری است.

جدول ۵–۷ شدت اعمال کود نیتروژن و ردپای آب خاکستری مربوط به آن در فرآیند تولید گندم در ایتالیا

نوع گندم	شدت کوددهی نیتروژن	سطح زیرکشت	کل نیتروژن کاربردی	بخشی از نیتروژن که به منابع آب می‌رسد	حد استاندارد نیتروژن در منابع آب	حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی آب آلوده	محصول تولیدی	ردپای آب خاکستری
	kg/ha	ha	tonne/yr	tonne/yr	mg/l	10^6 m^3/yr	tonne/yr	litre/kg
گندم نان	82	629,778	51,642	5,164	10	516	3,111,352	166
گندم دوروم	82	1,612,706	132,242	13,224	10	1,322	4,387,863	301

منبع داده: آلدایا و هوکسترا (۲۰۱۰). استاندارد نیتروژن در آب، مربوط به استاندارد نیترات در آب است که به صورت مقدار معادل نیتروژن بر حسب میلی‌گرم بر اساس استانداردهای EPA به‌دست آمده است، که تقریباً با مقدار استاندارد ۵۰ میلی‌گرم نیترات در ایالات متحده‌ی اروپا برابر است.

جدول ۵–۸ ردپای آب برای تولید گندم و آرد گندم در ایتالیا

نوع گندم	ردپای آب (لیتر بر کیلوگرم)			
	سبز	آبی	خاکستری	کل
گندم نان	495	125	166	786
آرد به‌دست آمده از گندم نان	605	154	202	961
گندم دوروم	748	525	301	1,574
آرد به‌دست آمده از گندم دورم (سمولینا)	914	642	368	1,924

منبع داده: آلدایا و هوکسترا (۲۰۱۰)

پاستای اصیل، از آرد سمولینا تهیه شده و به آن، مایعات مختلف (مانند آب، شیر یا تخم‌مرغ) اضافه می‌شود. پاستا به شکل‌های خشک و تازه موجود بوده و متناسب با دستور غذایی، می‌توان یکی از این دو شکل را تهیه نمود. پاستا در فرآیندی با مدت زمان و دمای معلوم خشک می‌شود. در مقایسه با پاستاهای حجیم، که در زمانی کوتاه تحت دمایی بسیار بالا خشک می‌شوند، پاستاهای سنتی، آهسته‌تر و تا ۵۰ ساعت و تحت دمایی بسیار پایین‌تر، خشک می‌شوند. پاستایی را درنظر بگیریم که از آرد سمولینا

(یک کیلوگرم)، آب (نیم لیتر) و نمک تهیه شده است. حینِ فرآیند خشک کردن پاستا، این آب دوباره از آن خارج می‌شود. حجم آبی که حین فرآوری پاستا استفاده می‌شود، بسیار کم‌تر از حجم آبی است که برای تولید گندم دوروم به کار رفته است. بنابراین، ردپای آب پاستای خشک، تقریباً با ردپای آب گندمی که آرد سمولینا از آن تهیه شده است، برابر خواهد بود؛ مقدار این ردپا برابر با ۱۹۲۴ لیتر بر کیلوگرم است.

با توجه به این مسأله که ایتالیایی‌ها، سالانه به طور متوسط ۲۸ کیلوگرم پاستا مصرف می‌کنند، می‌توان دریافت که ردپای آب پاستای مصرفی توسط ایتالیایی‌ها، برابر با ۵۴۰۰۰ لیتر در سال خواهد بود (Aldaya and Hoekstra, 2010). این مقدار، حدود ۲ درصد از مقدار میانگین سرانه‌ی ردپای آب ایتالیایی‌ها (۲۳۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال) را تشکیل می‌دهد. با توجه به جمعیت ۶۰ میلیون نفری در ایتالیا، ردپای آب پاستای مصرفی در این کشور حدود ۳۲۰۰ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود. این مقدار، معادل حجم آبی است که برای پر نمودن بیش از یک میلیون استخر شنای المپیک لازم است (در هر استخر، ۲۵۰۰ مترمکعب آب جای می‌گیرد).

گندم نان در مقابل گندم دوروم

از نظر میزان آب مصرفی، گندم نان، که برای تهیه‌ی نان و همچنین نان پیتزا استفاده می‌شود، کاملاً با گندم دوروم فرق دارد. گندم نان، به دلیل اختلافی که از نظر میزان عملکرد محصول و شرایط کشت با گندم دوروم دارد، تنها به نیمی از آب لازم برای تولید گندم دوروم در طول فصل کشت نیاز دارد. گندم نان، گیاهی یک‌ساله است که سازگار با زمستانی مرطوب و تابستانی بدون باران بوده (Van Wyk, 2005) و غالباً در نواحی شمالی ایتالیا (و عمدتاً در امیلیا رومانا[1]) کشت می‌شود، در حالی‌که گندم دوروم، غالباً در نواحی جنوبی و خشک‌ترِ ایتالیا کشت می‌شود. معمولاً، عملکرد محصول در شمال ایتالیا، بیش‌تر بوده و تبخیر–تعرق در آن، کم‌تر از جنوب کشور است.

با جمع نمودن مقادیر ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری، مقدار ردپای آب کل برای گندم نان ایتالیایی، برابر با ۷۸۶ لیتر بر کیلوگرم به‌دست می‌آید (جدول ۵–۸). وقتی دانه‌ها به آرد تبدیل می‌شوند، ۷۲ درصد از وزن کل دانه‌ها تبدیل به آرد می‌شود و ۱۸ درصد باقی‌مانده، پلت گندم خواهد بود. آرد گندم، ۸۸ درصد از مجموع ارزش اقتصادی این دو محصول (یعنی آرد و پلت گندم) را به خود اختصاص می‌دهد. اگر ردپای آب کل گندم نان را ۷۸۶ لیتر بر کیلوگرم درنظر بگیریم، ردپای آب آرد گندم، ۹۶۱ لیتر بر کیلوگرم ($961 = 0.88/0.72 \times 786$) خواهد بود. از آنجایی‌که از یک کیلوگرم آرد، ۱/۱۵

1 Emilia Romagna

کیلوگرم نان تولید می‌شود، بنابراین ردپای آب نان ایتالیایی، ۸۳۶ لیتر بر کیلوگرم خواهد بود (که این مقدار، بیش‌تر از مقدار معادل آن برای نان‌های تهیه شده در فرانسه، هلند یا آلمان بوده و کم‌تر از مقدار میانگین جهانی است).

ما همچنین، ردپای آب پیتزایی که با استفاده از آرد گندم نان به دست می‌آید را نیز محاسبه نمودیم. مواد اولیه برای پخت یک پیتزای مارگاریتا[1]، شامل آرد گندم نان، پوره‌ی گوجه‌فرنگی و پنیر موزارلای تهیه شده از شیر گاو است. بر اساس مقادیر میانگین ردپای آب برای این مواد اولیه، ردپای آب یک پیتزای مارگاریتا، ۱۲۱۶ لیتر به‌دست آمد (آلدایا و هوکسترا، ۲۰۱۰). حدود یک‌چهارم از این مقدار، مربوط به نان پیتزا است که از آرد گندم نان، تهیه شده است.

نگرانی‌های مربوط به آب مصرفی برای تولید گندم ایتالیایی

در ایتالیا، موجودیت آب در نواحی مختلف، بسیار متغیر است. در این کشور نیز مانند همه‌ی کشورهای خاورمیانه، تغییرات فصلی و مکانیِ بارش بسیار زیاد است. در شمال ایتالیا، آب بسیاری وجود دارد، در حالی‌که آب در جنوبِ آن، در حد قابل‌توجهی کم‌تر بوده و رواناب، دارای تغییراتِ شدید فصلی می‌باشد. از نظر کیفیت آب نیز تفاوت‌های بسیاری در سرتاسر کشور وجود دارد. معمولاً، کیفیت بیولوژیکی و شیمیاییِ بزرگ‌ترین رودخانه‌ها، بسیار پایین است و تعداد سایت‌های آلوده، افزایش یافته و حتی در خارج از نواحی شهری نیز پراکنده شده است. آلودگی در شمال و مرکز ایتالیا، اغلب به دلیل فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی است (Goria and Lugaresi, 2002). در موارد بسیاری، به‌ویژه در دشت‌های ساحلیِ مربوط به رودخانه‌های تیبر و پوو[2]، غلظت نیترات، فراتر از حد آستانه‌ی قابل قبولی (۵۰ میلی‌گرم در لیتر) است که بر اساس دستورالعمل‌های اروپایی تدوین شده است. مشکل اساسی در دیگر نواحی، به‌ویژه در قسمت‌های جنوبیِ پوگلیا[3]، و در دشت‌های ساحلیِ کامپانیا[4]، کالابریا[5] و جزیره‌ی ساردینیا[6]، نشت نمک به دلیل برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی می‌باشد. بسیاری از این چالش‌ها، به دلیل بی‌توجهی‌ها و ناآگاهی‌ها به‌وجود آمده‌اند (Goria and Lugaresi, 2002). آب، به صورت منبعی نامحدود و ماندگار، با قیمتی بسیار اندک، در نظر گرفته می‌شود. به همین دلیل، اسراف در مصرف آن، امری رایج و جاافتاده می‌باشد.

1 *pizza margherita*
2 Tiber and Po
3 Puglia
4 Campania
5 Calabria
6 Island of Sardinia

ردپای آب گندم دوروم، در پوگلیا و سیسیلی قرار دارد که هر دو، با کمبود آبی شدید مواجه هستند. برداشت آب زیرزمینی در هر دو منطقه رواج یافته است. در پوگلیا، حدود دو–سوم از آب عرضه شده، از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. در سیسیلی، این مقدار برابر با ۴۰ درصد است (ISTAT, 2008). هر دو ناحیه‌ی پوگلیا و دشت‌های ساحلی سیسیلی با برداشت‌های بی‌رویه از آبخوان‌ها و مشکلات کیفی مواجه– هستند (OECD, 2006). چندین آبخوان در سیسیلی، مانند دشت کاتانیا[1] در شرق سیسیلی، بیش‌برداشت شده‌اند (Ferrara and Pappalardo, 2004). بسیاری از برداشت‌های آب زیرزمینی، توسط آن دسته از کاربران خصوصی‌ای صورت می‌گیرد که عمدتاً، خارج از کنترل سازمان آب[2] می‌باشد (OECD, 2006). در ایتالیا، حدود ۱/۵ میلیون چاه غیرمجاز وجود دارد. در هشت منطقه از ایتالیا (شامل آبروزو، مولیس، پوگلیا، کامپانیا، باسیلیکاتا، کالابریا، سیسیلیا و ساردگنا)[3]، حدود ۸۳۰ هزار هکتار از اراضی، می‌توانند به صورت قانونی آبیاری شوند، این در حالی است که مجموع اراضی تحت کشت آبی در این مناطق، ۱/۶ میلیون هکتار است. در پوگلیا به تنهایی، ۳۰۰ هزار چاه غیرمجاز وجود دارد که مسئول آبیاری یک–سوم از مجموع اراضی تحت کشت آبی در این منطقه می‌باشند (WWF, 2006). همچنین، وجود قنات‌ها در این مناطق نیز امری رایج است. با این حال، بر اساس نتایج پژوهشی که توسط یک بانک سرمایه‌گذاری ایتالیایی با عنوان مدیوبانکا انجام شد، قناتی که در پوگلیا وجود دارد، دارای سوراخ‌های بسیار زیادی است که باعث می‌شود تلفات ناشی از نشت آب از آن، بیش‌تر از حجم آب برداشتی برای آبیاری باشد.

نیمی از آب موجود که در قنات ۱۰۲ ساله‌ی آکوئیدوتو پوگلیزه[4]، بزرگ‌ترین قنات اروپایی با مجرایی به طول ۱۶۰۰۰ کیلومتر، به سبب نشت تلف می‌شود. در جنوب ایتالیا، به دلیل بالاتر بودن تبخیر–تعرق و پایین‌تر بودن عملکرد گندم، ردپای آب گندم دوروم به ازای هر واحد تولید بزرگ‌تر از مقدار آن در شمال این کشور است. اختلاف‌های زیادی که در میزان عملکرد محصول در نواحی مختلف این کشور وجود دارد، اساساً نشأت‌گرفته از تفاوت‌های محلی خاک و شرایط اقلیمی است (Bianchi, 1995). از نظر وضعیت حاصل‌خیزی خاک و همچنین، میزان موجویت آب، نواحی شمالی ایتالیا برای کشت گندم دوروم مناسب‌تر هستند.

داستان گندم نان، کاملاً متفاوت از داستان گندم دوروم است. تولید گندم نان، در شمال ایتالیا متمرکز شده است؛ یعنی جایی که کمبود آب، به اندازه‌ی جنوب این کشور وجود ندارد. به‌علاوه، تولید گندم نان، به جای آب آبی، اساساً با استفاده از آب سبز صورت می‌گیرد و میزان تولید به ازای هر مترمکعب آب

1 Catania plain
2 water administration
3 Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria, Sicilia and Sardegna
4 Acquedotto Pugliese

نیز بسیار بالاتر از گندم دوروم است. به طور خلاصه، ردپای آب مربوط به تولید گندم در ایتالیای جنوبی، یعنی در پوگلیا و سیسیلی، بسیار بیش‌تر است؛ یعنی در جایی‌که آبیاری گندم دوروم، به واسطه‌ی برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. تولید گندم نان، در ایتالیای شمالی صورت می‌گیرد؛ یعنی جایی که هم آب، با کارایی بیش‌تری استفاده می‌شود، و هم به اندازه‌ی نواحی جنوبی، کم‌آب نیست.

فقدان سیاست‌های آبی مناسب

تقاضای آب در ایتالیا به دلایل متعددی افزایش یافته است که از آن‌جمله می‌توان به عواملی همچون سیستم قیمت‌گذاری نامناسب، رعایت نکردن قوانین و مقررات آبی و همچنین نبود نظارت کافی مسئولان ذیصلاح در حوضه‌های آبریز به‌ویژه، بر برداشت‌های غیرقانونی از منابع آب‌های زیرزمینی، اشاره نمود (WWF, 2006; Bartolini *et al*., 2007). نرخ کم‌آبی[1] در ارزش‌گذاری آب در ایتالیا در نظر گرفته نشده است. همچنین، مصرف‌کنندگان، بهای اثرات منفی و هزینه‌ی فرصت ناشی از مصارف آبی خود را پرداخت نمی‌کنند (Goria and Lugaresi, 2002). به‌علاوه، یارانه‌ها، مانع حرکت به سمت تکنولوژی‌های جدید می‌شوند. افزودن قیمت آب و لحاظ هزینه‌های مربوط به آلودگی یا پساب‌ها در آن می‌توانند نقش موثری در بهبود کارآیی اقتصادی و پایداری زیست‌محیطیِ مصارف آبی داشته باشند.

بهبود سیستم‌های آبیاری ایتالیایی و تکنولوژی جمع‌آوری آب‌ها، گامی مهم برای کاهش مصرف و تلفات آب می‌باشد. نگاهی به نبود رعایت قوانین و مقررات آب در ایتالیا نشان می‌دهد که این کشور از دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه‌ی اروپا[2] پیروی نمی‌کند و این موضوع به دلایل ذیل می‌باشد: ارائه نکردن و یـا گزارش‌دهیِ ناکافی درباره‌ی وضعیت آلودگی آب، نبـود و یا ناکـافی بودنِ تصفیـه‌ی فاضلاب و بی‌توجهی به تعیین صحیح کانون‌های بحرانی که شدت مازاد کوددهی نیتروژن در آن‌ها حدود ۱۵۰–۱۰۰ کیلوگرم در هکتار است (EC, 2010). در نواحی شمالی ایتالیا، غلظت نیترات در بسیاری از نمونه‌های اندازه‌گیری شده بین ۱۰ تا ۲۵ میلی‌گرم نیترات در لیتر بودکه این مسأله، حاکی از وجود خطر اوتروفیکاسیون در این منابع آبی می‌باشد (EC, 2010).

برخی یارانه‌های کشاورزی‌ای که بدون توجه به موجودیت آب اعطا می‌شوند؛ باعث حمایت از تولید محصول و یا توسعه‌ی سیستم‌های آبیاری می‌شود. افزایش یارانه‌ی اختصاص یافته به تولید گیاهان تحت سیاست کشاورزی مشترک در اتحادیه‌ی اروپا[3] منتج به افزایش آب مصرفی در بخش کشاورزی

1 The scarcity value of water
2 EU Water Framework Directive
3 The Common Agricultural Policy of the European Union

شد، زیرا این سیاست، به صورت محرکی برای تغییر کشت‌های سنتی دیم به کشت‌های آبی در ایتالیا و دیگر کشورهای جنوبیِ عضو اتحادیه‌ی اروپا عمل نمود (Brouwer *et al*., 2003). اگرچه اصلاحات صورت‌گرفته روی این سیاست کشاورزی[1] مشترک در سال‌های اخیر، منتج به ارایه‌ی آیین‌نامه‌ها و مقرارت جدیدی درباره‌ی چگونگی تخصیص یارانه‌ی کشاورزی در اتحادیه‌ی اروپا شد؛ اما شیوه‌ی اجرای این قوانین در سطح ملی، در عمل باعثِ تضعیف اثرات مثبت این تغییرات شده است. هنوز باید دید که چگونه کشورهای عضو اتحادیه، این قوانین را در درازمدت پیاده خواهند نمود.

کمپانی‌های تولید غذا، می‌توانند نه تنها با کاهش مصرف و آلودگی آب در فعالیت‌های خود، بلکه مهم‌تر از آن، با مشارکت با تولیدکنندگان گندم و اثرگذاری برآن‌ها با هدف افزایش پایداری مصرف آب در تولید گندم، باعثِ کاهش ردپای آب گندم شوند (Antonelli and Ruini, 2015). این کار می‌تواند مثلاً با بهبود کشاورزی دیم و ارگانیک و با به‌کارگیری تکنیک‌های بهتری برای آبیاری و اعمال روش‌های آبیاری صرفه‌جو در مکان‌هایی که آبیاری ضرورت دارد، صورت بگیرد.

در ایتالیا، اطلاع داشتن از میزان ردپای آب پاستا، می‌تواند به حل معضل کمبود آب کمک نماید. کمپانی‌ها، باید ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی و زنجیره‌ی تأمین خود را تعیین نموده و استراتژی‌های خود برای کاهش ردپای آب را مشخص نمایند. اولویت‌ها برای کاهش ردپای آب باید بر این اساس تعیین شود که کجاها، هنوز بهره‌وری‌های آب پایین است، کجاها آلودگی نسبتاً بالاست و کجاها ردپاهای آب، بیش‌ترین اثرات محلی را داشته‌اند. از اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰، تولیدکنندگان ایتالیایی، تلاش به بهبود کارآیی زیست‌محیطیِ فعالیت‌های خود نمودند؛ لکن، از اواخر دهه‌ی ۲۰۰۰ بود که به کل زنجیره‌ی تأمین توجه زیادی شد (Bevilacqua *et al*., 2007; Ruini *et al*., 2013).

تدوین بنچ‌مارک برای ردپای آب گندم

شفاف‌ساختن ماهیت محصول، یکی از الزامات اولیه برای قادر ساختنِ مصرف‌کنندگان به اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه حین خرید می‌باشد. اطلاعاتی درباره‌ی ردپای آب، می‌تواند سطح آگاهی مصرف‌کنندگان درباره‌ی حجم زیاد آبی که برای تولید محصولات غذایی مختلف مصرف شده و اثرات زیست‌محیطی متعاقبِ آن را افزایش دهد. مصرف‌کنندگانِ آگاه، قادر خواهند بود تا با انتخاب کالاهایی با ردپای آب کم‌تر و یا انتخاب کالاهایی که ردپای آب آن‌ها، در مکان‌هایی واقع شده که کمبود آبی شدیدی ندارند، اثرات منفیِ ناشی از مصارف خود را کاهش دهند. از آنجایی‌که در جهان امروز، اطلاعات کافی در این زمینه برای محصول‌های مختلف وجود ندارد، یکی از کارهای مهمی که اکنون

1 Agricultural policy

مصرف‌کنندگان می‌توانند انجام دهند، تقاضا برای ارائه‌ی چنین اطلاعاتی توسط کسب‌وکارها و وضع قوانین مربوطه برای تسهیل این کار در عمل توسط دولت می‌باشد. با این حال، هدف از شفاف‌سازی اطلاعاتی محصولات، تنها کمک به مصرف‌کنندگان برای انجام انتخاب‌های آگاهانه نیست، بلکه چنین اطلاعاتی، می‌تواند برای سرمایه‌گذارانی که علاقه‌مند به پایداری کسب‌وکارهایِ سرمایه‌گذاری شده‌ی خود هستند نیز مفید باشد. کمپانی‌هایی که در زنجیره‌ی تأمین محصولات تولیدی‌شان،آب به صورت ناپایدار استفاده می‌شود، با خطرات متنوعی در کسب‌وکارشان مواجه می‌شوند که این خطرات برای سرمایه‌گذاران، خوشایند نیست. کمپانی‌هایی که سخت به مسئولیت‌های اجتماعی خود پایبند هستند، باید مصمم به انجام نظارت کافی بر آب باشند که این خود نیازمند شفاف‌سازی اطلاعاتی محصولات تولیدی‌شان در کل زنجیره‌ی تأمین آن‌ها می‌باشد.

تدوین بنچ‌مارک‌های ردپای آب، چه برای محصول‌های نهایی مانند پاستا، و چه برای مواد اولیه مانند گندم، از آن حیث اهمیت دارد که بتوان فهمید، چه زمانی بزرگ بودن ردپای آب، ضرورتی نداشته و می‌تواند کم‌تر باشد. این بنچ‌مارک‌ها، می‌توانند با استفاده از بهترین تکنولوژی‌های موجود، و یا بر اساس اختلاف‌هایِ فعلیِ موجود در ردپاهای آب، به دست آیند (Zwart *et al*., 2010). اجازه دهید درباره‌ی این موضوع که چگونه اطلاع از تغییرات ردپای آب در مکان‌های مختلف جهان و یا تحت سناریوهای مدیریتی مختلف می‌تواند به تدوین بنچ‌مارک‌های ردپای آب کمک نماید، مثالی بزنم. ردپای آب در فرآیند تولید گندم (بر حسب لیتر بر کیلوگرم) در تمام جهان یکسان نیست. میانگین جهانی ردپای آب مصرفیِ گندم (یعنی مجموع ردپای آب سبز و آبی در پروسه‌ی تولید گندم)، ۱۶۲۰ لیتر بر کیلوگرم است، اما مقدار این ردپا مثلاً در در بخش‌های وسیعی از اروپای غربی، ۶۰۰ لیتر بر کیلوگرم می‌باشد (Mekonnen and Hoekstra, 2011a). نتایج پژوهش ما نشان داد که حدود ۱۰ درصد از مجموع گندم تولیدی در جهان، با مجموع آب سبز و آبی‌ای کم‌تر از ۶۰۰ لیتر بر کیلوگرم، تولید می‌شود. حدودِ ۲۰ درصد از گندم جهان، دارای ردپای آب مصرفی‌ای کم‌تر از ۱۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم می‌باشند (Mekonnen and Hoekstra, 2014a). بنابراین، یک شرکت مواد غذایی، بسته به میزان خواست و همت خود، می‌تواند به تهیه چنین گندم‌هایی که در زمره‌ی همان ۱۰ یا ۲۰ درصد گندم تولیدی در مثال بالا هستند، ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین خود را به حداقل برساند. این بدان معنی نیست که تأمین گندم، الزاماً باید از مناطقی که این ردپاها را دارند، صورت بگیرد. بلکه کمپانی‌ها می‌توانند به کشاورزان در هر مکانی کمک نمایند که آن‌ها نیز، با به‌کارگیری بهترین فعالیت‌هایی که چه در نزدیکی آن‌ها و چه در مکان‌های دیگر وجود دارد، بهره‌وری آب خود را بهبود دارد و به این ترتیب، ردپای آب به ازای هر واحد محصول تولیدی را کاهش دهند.

فصل ششم

گوشت و لبنیات، بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب

دام‌ها، سهم زیادی در مصرف منابع طبیعیِ زمین دارند. در سند چشم‌اندازِ طولانیِ دام‌ها[1]، که یک گزارش موثر از سازمان خواروبار جهانی (فائو) در ایالات متحده است، این‌گونه بیان شده است که تاکنون، بخش دام به عنوان بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی منابع طبیعی برای تأمین نیازهای بشر بوده است (Steinfeld *et al*., 2006). مجموع اراضیِ تحت چرای دام در جهان، معادل ۲۶ درصد از کل سطح خاک‌های بدونِ یخ در زمین می‌باشد. به‌علاوه، ۳۳ درصد از کل اراضی قابل کشت باید به تولید غذای دام اختصاص یابد. در مجموع می‌توان گفت که ۷۰ درصد از کل اراضی کشاورزی، و ۳۰ درصد از کل سطح زمین، به پرورش دام‌ها اختصاص داده شده است. در همین گزارش، این‌گونه نقد شده است که پرورش دام، می‌تواند یکی از عوامل موثر در کاهش تنوع زیستی در جهان محسوب شود. دام‌ها، ۲۰ درصد از وزن کل حیوانات موجود در کره‌ی زمین را به خود اختصاص داد و ۳۰ درصد از سطح زمینی که امروزه، توسط حیوانات اهلی اشغال شده است، روزی به حیات وحش اختصاص داشت. همچنین بر اساس محاسبات انجام شده در این گزارش، ۱۸ درصد از کل گازهای گلخانه‌ایِ منتشرشده توسط بشر، که بر حسب معادل دی‌اکسیدکربن اندازه‌گیری شده است، مربوط به بخش دام می‌باشد، اما این یافته‌ی آخر در خصوص سهم بخش دام در مجموع انتشارات گازهای گلخانه‌ای از فعالیت‌های انسان‌نهاد، به دلایلی همچون دشواری‌های مربوط به کمی‌سازی و اندازه‌گیری، اختلاف‌های موجود در متدولوژی و اختلاف‌ها و بحث‌ها درباره‌ی آن‌چه که باید در محاسبات بخش دامی در نظر گرفته شود، هم‌چنان جای بحث دارد (O'Mara, 2011). تخمین‌های انجام‌شده در این زمینه بین ۳ درصد (Pitesky *et al*., 2009) تا ۵۱ درصد (Goodland and Anhang, 2009) متغیر است، اما در مجموع، به نظر می‌رسد تخمینِ ارائه شده توسط فائو، بد نباشد (Herrero *et al*., 2011). نکته‌ی آخر آنکه بخش دام، بسیار انرژی‌بر نیز می‌باشد. پیمنتال و پیمنتال (Pimentel and Pimentel, 2008)، این‌گونه تخمین زدند که به طور متوسط، برای تولید یک کیلوکالری پروتئین دامی، ۲۵ کیلوکالری انرژی فسیلی نیاز است، که این مقدار، ۱۰ برابر بیش‌تر از انرژی‌ای است که برای تولید یک کیلوکالری پروتئین گیاهی نیاز است.

بخش دامی، سهم قابل‌توجهی، در اشغال اراضی و مصرف منابع انرژی در جهان و همچنین پیدایش گرمایش جهانی داشته و نقش مهمی در کاهش تنوع زیستی در جهان بازی می‌کند، اما از نظر آب مورد نیاز برای حیوانات اهلی چه‌طور؟ بر اساس تخمین‌های ما، حدود ۳۰ درصد از ردپای آب بشر، مربوط به تولید محصولات دامی است (Mekonnen and Hoekstra, 2012a). در بسیاری از کشورها، این مقدار، به ۴۵ درصد نیز می‌رسد. مجموع ردپای آب مربوط به تولیدات دامی در جهان، ۲۴۲۲ میلیارد

1 *Livestock's Long Shadow*

مترمکعب در سال است. یک سوم از این مقدار، مربوط به گاوهای گوشتی و ۱۹ درصد از آن برای گاوهای شیری می‌باشد. با کمال تعجب، دانشمندان یا سیاست‌گذاران، علاقه‌ی چندانی به دانستن ارتباط بین مصرف گوشت و محصولات لبنی با میزان آب مصرفی نداشته‌اند. خوشبختانه، از زمان انتشار اولین گزارش ما درباره‌ی ردپای آب محصولات دامی (Chapagain and Hoekstra, 2003) و نسخه‌ی به‌روز شده‌ی آن (Chapagain and Hoekstra, 2003) تا کنون، تعداد تحقیق‌های صورت گرفته در این زمینه، افزایش یافته است (Mekonnen and Hoekstra, 2012a)؛ با این وجود، اهمیت لحاظ آب مصرفی در پروسه‌ی تولید و مصرف گوشت و شیر تا حد زیادی توسط مدیران آب نادیده گرفته شده است.

اگر پیامدهایی که مصارف آب توسط حیوانات اهلی بر منابع آب می‌گذارند، را در نظر بگیریم، آن‌گاه اهمیت لحاظ این موضوع در سیاست‌های آبی بیش‌تر خواهد شد. تولید گوشت در جهان، از ۷۱ میلیون تن در سال ۱۹۶۱، به ۳۳۴ میلیون تن در سال ۲۰۱۷ افزایش پیدا کرده و ۴/۷ برابر شده است (FAO, 2019a)؛ همچنین پیش‌بینی می‌شود که این میزان در سال ۲۰۵۰، به ۴۶۵ میلیون تن برسد (Steinfeld *et al*., 2006).

در این فصل، میزان آب استفاده شده در فرآیند تولید گوشت و لبنیات را بررسی خواهیم نمود. بدین منظور، ابتدا کل زنجیره‌ی تأمین گوشت و لبنیات را درنظر خواهیم گرفت، سپس، از آنجایی‌که ردپای آب مربوط به غذای دام، مهم‌ترین بخشِ ردپای آب حیوانات است، اهمیتِ مسأله‌ی ترکیبات غذای دام و عبارت معروفِ "راندمان تبدیل غذا[1] (FCE)" را بررسی خواهیم نمود. سپس، ردپای آب گوشت و لبنیات را از نظر میزان آب مصرفی به ازای هر واحد محصول تولیدی و به ازای هر واحد ارزش غذاییِ به‌دست آمده با ردپای آب گیاهان مقایسه خواهیم نمود. همچنین، مطالب اندکی را نیز درباره‌ی قرار دادن ماهی در رژیم غذایی‌مان به این فصل خواهم افزود. اگرچه ماهی معمولاً، گوشت درنظر گرفته نمی‌شود، اما بدون شک محصولی حیوانی محسوب می‌شود. در ادامه، ردپای آب یک انسان گوشت‌خوار را با یک انسان گیاه‌خوار و یا وگان مقایسه می‌نماییم. در نهایت، مصارف آب در بخش دامی را در ابعاد بین‌المللی بررسی نموده و روی اهمیت این موضوع مهم که ردپای آب در بخش دامی باید در سطوحی بالاتر و به صورت دغدغه‌ای مهم توسط مصرف‌کنندگان، دولت‌ها و بخش‌های تولید گوشت و لبنیات مدنظر قرار بگیرد، بحث خواهیم نمود.

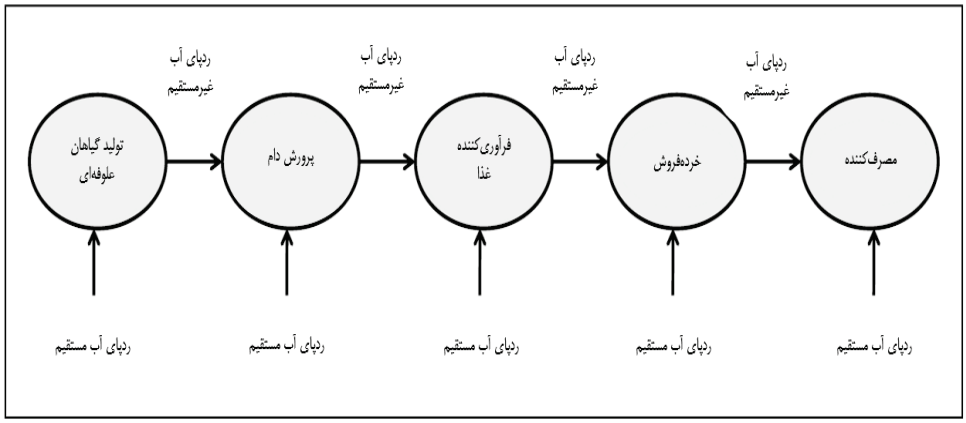
1 Feed conversion efficiency

زنجیره‌ی تأمین

زنجیره‌ی تأمین گوشت و لبنیات، از تولید گیاه که غذای دام می باشد، شروع می‌شود و با مصرف‌کننده‌ی این محصولات به پایان می‌رسد (شکل ۶-۱). در هر مرحله از این زنجیره، یک ردپای آب مستقیم وجود دارد که مصرف و آلودگی آب در آن مرحله را نشان می‌دهد. همچنین، در هر مرحله، یک رپای آب غیرمستقیم وجود دارد که مصرف و آلودگی آب در مراحل قبلی را نشان می‌دهد. ردپای آب مربوط به گوشت و لبنیاتی که شما مصرف‌کننده‌اید، آن‌ها را می‌خرید، مجموع آب‌های مصرفی و آلوده شده در کل زنجیره‌ی تأمین است. اگرچه این ردپا، شامل آب مصرفی در مراحل خرده‌فروشی[1] و فرآوری غذا[2] نیز می‌شود، اما میزان آب مصرفی در این مراحل، بسیار کم‌تر از آب مصرفی در مرحله‌ی کشاورزی است. به‌علاوه، باید به خاطر داشت که آبی که در خرده‌فروشی و پردازش غذا مصرف می‌شود را باید بین تمام محصولات فروخته شده تقسیم نمود، بنابراین، این مقادیر اندک ردپاهای آب، وقتی بر حسب واحد محصول بیان شود، حتی کم‌تر نیز خواهند شد. به این ترتیب، بیشترین مصرف و آلودگی آب، حین کشاورزی اتفاق می‌افتد.

ردپای آب یک حیوان در آخر عمرش را می‌توان بر اساس ردپای آب تمام غذایی که در طول عمرش مصرف نموده و آبی که برای آشامیدن و مثلاً برای تمییز نمودن محل نگهداری وی استفاده شده است، محاسبه نمود. بدین منظور، باید سن حیوان در زمان ذبح و جیره‌ی غذایی در مراحل مختلف حیاتش را دانست. کل ردپای آب یک حیوان، بین محصولات مختلفی که از آن حیوان به دست آمده است، تقسیم می‌شود. این کار بر اساس ارزش نسبی محصولات مختلف حیوانی، که با توجه به قیمت این محصولات در بازار تعیین می‌شود، صورت می‌گیرد. تقسیم ردپای آب به فرآورده‌های مختلف دامی به گونه‌ای صورت می‌گیرد که اولاً، هیچ‌گونه محاسبه‌ی مضاعفی وجود نداشته باشد و ثانیاً، بیش‌ترین سهم از کلِ آب، به محصولی با بالاترین ارزش اقتصادی و کم‌ترین سهم، به محصولی با کم‌ترین ارزش اقتصادی برسد.

1 Retailor
2 Food processor



شکل ۶-۱. ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم در هر مرحله از رنجیره‌ی تأمین یک محصول حیوانی.

اهمیت غذای حیوان

بیش‌ترین سهم در مجموع ردپای آب فرآورده‌های دامی مربوط به آب استفاده شده برای خوراک دام می‌باشد. ردپای آب خوراک دام، ۹۸ درصد از کل ردپای آب مربوط به گوشت و لبنیاتی که شما در مغازه می‌خرید را تشکیل می‌دهد. سهم آبی که برای آشامیدن، سرویس‌دهی و مخلوط نمودن غذای دام استفاده می‌شود، به ترتیب، ۱/۱، ۰/۸ و ۰/۰۳ درصد از کل ردپای آب این فرآورده‌ها می‌باشد (Mekonnen and Hoekstra, 2012a).

هیچ اطلاعات مربوط به مصارف آبی در مرحله‌ی تولید خوراک دام در اختیار مصرف‌کننده قرار نمی‌گیرد و این همان دلیلی است که باعث می‌شود مصرف‌کنندگان، عموماً از این واقعیت که تولید فرآورده‌های حیوانی، نیازمند صرف مقدار زیادی زمین و آب هستند، غافل باشند (Naylor *et al*., 2005). علاوه بر آن، خوراک دام غالباً در نواحیِ خارج از محل مصرف آن‌ها تولید می‌شوند. بخش زیادی از غلاتِ جهان، نه برای مصارف انسانی، که برای مصارف حیوانی تولید می‌شوند. در بازه‌ی سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۰۱، به طور متوسط، ۳۶ درصد از کل غلاتِ تولیدی در جهان، به عنوان خوراک دام مصرف شد (FAO, 2019a).

دو عامل تعیین‌کننده در میزان ردپای آب محصولات حیوانی وجود دارد (Mekonnen and Hoekstra, 2012a; Hoekstra, 2012a; Gerbens-Leenes *et al*., 2013). اولین عامل، راندمان تبدیل غذای دام است که این ضریب، میزان خوراک لازم برای تولید مقدار معینی گوشت، تخم‌مرغ، شیر و غیره را نشان می‌دهد. بیش‌تر بودن تحرک دام‌ها در سیستم‌های پرورش دام در چراگاه‌ها باعث

می‌شود که زمان بیش‌تری برای رسیدن وزن دام به مقداری معین نیاز باشد. به همین دلیل، حیوان غذای بیش‌تری برای تولید گوشت مصرف خواهد نمود. بنابراین، تغییر سیستم پرورش دام از چراگاه، به سیستم ترکیبی سنتی–صنعتی یا سیستم صنعتی، باعث بهبود راندمان تبدیل غذای دام و در پی آن، کاهش ردپای آب، به‌ویژه در سیستم‌های صنعتی خواهد شد. دومین عامل موثر روی ردپای آب فرآورده‌های حیوانی که بیش‌تر به نفع سیستم‌های پرورش دام چراگاهی می‌باشد ترکیبات غذایی است که در هر سیستمی توسط حیوانات مصرف می‌شود.

وقتی میزان خوراک‌های کنستانتره در غذای دام زیاد می‌شود، ردپای آب نیز پس از آن، افزایش می‌یابد؛ زیرا، خوراک‌های کنستانتره دارای ردپای آب نسبی بالایی هستند، در حالی‌که علوفه‌ها (چمن، بقایای گیاهی و گیاهان علوفه‌ای)، ردپای آب کم‌تری دارند. تغییر سیستم پرورش دام از چراگاه، به سیستم‌های ترکیبی و صنعتی، باعث افزایش سهم خوراک کنسانتره و کاهش سهم علوفه در غذای حیوان شده (Hendy *et al*., 1995) و این مسأله باعث می‌شود که سیستم‌های چراگاهی و ترکیبی، ردپای آب کم‌تری در مقایسه با سیستم صنعتی داشته باشند.

به طور کلی، ردپای آب کنسانتره، ۵ برابر بیش‌تر از ردپای آب علوفه است. در ترکیبات غذایی‌ای که تنها علوفه وجود دارد، میانگین جهانی ردپای آب حدود ۲۰۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم علوفه‌ی مصرفی توسط دام می‌باشد، این در حالی است که این ردپا برای ترکیباتی که حاوی کنسانتره‌ها می‌باشند، حدود ۱۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم است. از آنجایی‌که علوفه‌ها غالب به صورت دیم تولید شده و گیاهانی که برای تولیدِ کنسانتره به کار می‌روند، اغلب به صورت آبی و همراه با کوددهی تولید می‌شوند، ردپای آب آبی و خاکستریِ برای تولید کنسانتره، به ترتیب، ۴۳ و ۶۱ درصد بیش‌تر از مقدار معادل آن‌ها برای تولید علوفه می‌باشد.

اگر مثلاً گوشت گاو را درنظر بگیریم، با توضیحات بالا معلوم می‌شود که ردپای آب آن، متناسب با نوع ترکیبات غذایی دام و محل تأمین مواد اولیه‌ی این ترکیبات غذایی، به شدت متغیر است. بخشی از ردپای آب گوشت گاوِ پرورش‌یافته در یک سیستم صنعتی، مربوط به آب آبیاری (آب آبی) برای تولید خوراک دام در ناحیه‌ای است که دور از مکانِ پرورش گاو واقع شده است. این ناحیه، می‌تواند جایی باشد که آب به وفور وجود دارد، اما همچنین می‌تواند در محلی باشد که آب کمیاب بوده و حداقل جریان زیست‌محیطی مورد نیاز، به دلیل برداشت‌های بی‌رویه، تأمین نشده است. ردپای آب گوشت گاوی که در سیستم چراگاهی پرورش یافته است، بیش‌تر از آب بارانی (آب سبز) تأمین می‌شود که روی چراگاه باریده است. اگر چراگاه منتخب، خشکه‌زارها و یا تالاب‌هایی باشند که برای پرورش گیاه مناسب نیستند، آب سبزی که به صورت مجازی، در پس تولید گوشت وجود دارد، نمی‌توانسته به جای این کار، برای

تولید گیاهان غذایی[1] استفاده شود. با این‌حال، اگر چراگاه، قابلیت تبدیل شدن به مزارع تولید غذا را داشته باشد، می‌توان این‌گونه استباط نمود که آب سبزی که برای تولید گوشت به کار رفته است، می‌توانسته برای تولید گیاهان غذایی نیز به کار رود در حالی‌که اکنون، این آب، به دلیل مصرف از راه دام، دیگر برای تولید غذا در اختیار نیست. این مسأله نشان می‌دهد که چرا می‌توان به ردپای آب، به شکل شاخصی چندبعدی نگریست. نباید تنها کل حجم ردپای آب را درنظر گرفت؛ بلکه باید مولفه‌های سبز، آبی و خاکستری آن را به تفکیک بررسی نمود و همچنین، مکان وقوع هریک از این مولفه‌ها را نیز مدنظر داشت. اثرات اجتماعی و اکولوژیکیِ مصرف آب در یک مکان معین، به نرخ کمبود آب و استفاده‌های جایگزینِ آن در مکان مورنظر بستگی دارد.

سیستم‌های دامداری[2]

یکی از موارد خاص پرورش دام، که در آن دام در سیستم‌های دامداری نگهداری می‌شود، را می‌توان در نواحی خشک و نیمه‌خشک یافت. مموﻻً در مکان‌هایی که برای کشت گیاه مناسب نیست، اما برای چرای گسترده‌ی دام مناسب است، معیشت مردم در درجه‌ی اول از دامداری تأمین می‌شود. حیواناتی که معمولاً توسط مردم نگهداری می‌شوند، شامل گاو، شتر، گوسفند و بز می‌باشند. چنین سیستمی هنوز در مکان‌هایی مانند نواحی جنوبی صحرای آفریقا، در گستره‌ی کمربند خشکی‌ای که از موریتانیا تا اتیوپی و کنیا امتداد می‌یابد، رایج می‌باشد. برای دامداران، در مکان‌هایی که زندگی بشر در آن به دلیل خشکیِ بیش از حد میسر نیست، پرورش دام، به معنی تضمین بقای آن‌هاست. در دفاع از گوشت‌خواری، مردم اغلب به چنین سیستم‌های دامداری‌ای استناد نموده و معتقدند که خوردن گوشت، بخشی از فرهنگ بشر است و آنچه این حیوانات می‌خورند، توسط بشر قابل خوردن نمی‌باشد. آری، این استدلال‌ها در مورد چرای گسترده‌ی گاو در خشکه‌زارها صحت دارد، اما در این کتاب، من مسأله‌ی الگوی مصرف در جوامع بشری مدرن را مطرح نمودم؛ سیستم‌های تولیدی که در پسِ چنین الگوهای مصرف مدرنی وجود دارد، هیچ ارتباطی به دامداری کلاسیک ندارد. بیش‌ترین خوراک دام در دامداری‌های مدرن، از پرورش گیاهان در مناطقی تأمین می‌شود که می‌شد در آن‌ها، به جای تولید غذای دام، گیاهانی تولید نمود که مستقیماً به مصرف بشر برسد.

1 Food crops
2 Pastoralist systems

ردپای آب محصولات حیوانی در مقابل محصولات گیاهی

جای تعجب ندارد که ردپای آب تمام محصولات حیوانی، بیش‌تر از ردپای آب محصولات گیاهی با ارزش غذایی یکسانی است که آگاهانه توسط مصرف‌کننده انتخاب شده‌اند(Mekonnen and Hoekstra, 2012a). این مسأله را می‌توان مثلاً با مقایسه‌ی ردپای آب دو فرآورده‌ی به‌دست آمده از سویا با دو محصول حیوانی با ارزش غذایی یکسان دریافت (Ercin *et al*., 2012).

طبق محاسبات ما، ردپای آب یک لیتر شیر سویای تولید شده در کشور بلژیک، حدود ۳۰۰ لیتر است، در حالی‌که ردپای آب یک لیتر شیر گاو، سه برابر بیش‌تر از این مقدار است. ردپای آب ۱۵۰ گرم همبرگر تهیه شده از سویا در هلند، حدود ۱۶۰ لیتر است؛ اما ردپای آب ۱۵۰ گرم همبرگر به‌دست آمده از گوشت گوسفند، ۱۵ برابر بیش‌تر است.

جدول ۶-۱، میانگین جهانیِ ردپای آب مربوط به فرآورده‌های گیاهی و حیوانی را نشان می‌دهد. اعداد مندرج در این جدول نشان می‌دهد که میانگین ردپای آب به ازای هر کالری تولیدی، برای گوشت گوسفند، ۲۰ برابر بیش‌تر از مقدار آن برای غلات و ریشه‌های نشاسته‌دار می‌باشد. میزان ردپای آب به ازای هر گرم پروتئین برای شیر، تخم‌مرغ و گوشت مرغ، حدود ۱/۵ برابر بیش‌تر از مقدار معادل آن برای حبوبات است. ردپای آب به ازای هر گرم پروتئین به‌دست آمده از گوشت گوسفند، شش برابر بیش‌تر از مقدار معادل به‌دست آمده ازحبوبات است. کره، ردپای آب کمی به ازای هر گرم چربی دارد و مقدار آن، حتی از (ردپای آبِ چربیِ به‌دست آمده از) دانه‌های روغنی نیز کم‌تر است، لکن دیگر فرآورده‌های حیوانی، ردپای آب بزرگ‌تری به ازای هر گرم چربی در مقایسه با دانه‌های روغنی دارند.

جدول ۶-۱. میانگین جهانی ردپای آب برای تولید فرآورده‌های گیاهی و حیوانی

نام فرآورده	ردپای آب به ازای هر واحد وزن محصول(litre/kg)				ارزش غذایی			ردپای آب به ازای هر واحد ارزش غذایی		
	سبز	آبی	خاکستری	کل	کالری (kcal/kg)	پروتئین (g/kg)	چربی (g/kg)	کالری (litre /kcal)	پروتئین (litre /g protein)	چربی (litre /g fat)
گیاهان قندی	130	52	15	197	285	0	0	0.69	-	-
سبزیجات	194	43	85	322	240	12	2.1	1.34	26	154
ریشه‌های نشاسته‌دار	327	16	43	386	827	13	1.7	0.47	31	226
میوه‌ها	726	147	89	962	460	5.3	2.8	2.09	180	348
غلات	1,232	228	184	1,644	3,208	80	15	0.51	21	112
دانه‌های روغنی	2,023	220	121	2,364	2,908	146	209	0.81	16	11
حبوبات	3,180	141	734	4,055	3,412	215	23	1.19	19	180
آجیل	7,016	1,367	680	9,063	2,500	65	193	3.63	139	47
شیر	863	86	72	1,021	560	33	31	1.82	31	33
تخم‌مرغ	2,592	244	429	3,265	1,425	111	100	2.29	29	33
گوشت مرغ	3,545	313	467	4,325	1,440	127	100	3.00	34	43
کره	4,695	465	393	5,553	7692	0	872	0.72	-	6.4
گوشت خوک	4,907	459	622	5,988	2,786	105	259	2.15	57	23
گوشت گوسفند/بز	8,253	457	53	8,763	2,059	139	163	4.25	63	54
گوشت گاو	14,414	550	451	15,415	1,513	138	101	10.19	112	153

منبع داده: مکونن و هوکسترا (۲۰۱۲)[1]

ردپای آب ماهی و خرچنگ‌ها

ردپای آب ماهی و خرچنگ‌ها، اساساً به چهار عامل بستگی دارد: به نوع آبی که در آن پرورش می‌یابند (آب شور، لب‌شور یا شیرین)، به این‌که آیا در منابع آب طبیعی زندگی می‌کنند یا در محیط‌های آبزی‌پروری پرورش می‌یابند، به ترکیب غذای مصرفی، منبع تأمین‌شان و به راندمان تبدیل

1 Mekonnen and Hoekstra (2012a)

غذا (Hoekstra, 2015c). ماهی‌ها و خرچنگ‌هایی که در آب‌های شور زندگی می‌کنند، خودشان غذای خود را تأمین می‌کنند،بنابراین پرورش نمی‌یابند بلکه از آب‌های آزاد صید می‌شوند و به همین دلیل ردپای آب شیرین آن‌ها صفر است. البته این بدان معنی نیست که مصرف چنین ماهی‌هایی، هیچ‌گونه مخاطره‌ی زیست‌محیطی‌ای به همراه نخواهد داشت؛ مثلاً ماهیگیری بیش از حد، صید ناخواسته‌ی دیگر آبزیان حین ماهیگیری و آسیب‌هایی که به واسطه‌ی به کارگیری ادوات و تکنیک‌های ماهیگیری به اکوسیستم دریایی وارد می‌شود را می‌توان در زمره‌ی آسیب‌های زیست‌محیطیِ ناشی از مصرف ماهی‌های آزاد دانست. بنابراین، منظور از ردپای آب صفر برای ماهی‌های آزاد، تنها آن است که چنین ماهی‌هایی، هیچ سهمی در مصرف منابع آب شیرین محدود جهان ندارند. ردپای آب این ماهی‌ها که در خرده‌فروشی‌ها به فروش می‌رسند، تنها شامل ردپای آب مواد و انرژی‌ای خواهد بود که حین ماهیگیری، حمل و نقل و بسته‌بندی مصرف می‌شوند. این ردپای آب، بسیار کم‌تر از ردپای آب ماهی‌های پرورشی‌ای است که غذایشان از موادی که در سطح زمین پرورش می‌یابند، تأمین می‌شود. بر اساس یافته‌های نایلور و همکاران (۲۰۰۹)[1]، در کنار سایر موادی که برای غذای آبزیان مصرف می‌شود، مهم‌ترین گیاهانی که با این منظور تولید می‌شوند، عبارتند از: جو، کلزا، ذرت، تخم پنبه، نخودیات، لوپین‌ها، سویا، و گندم. از آنجایی‌که سهم پروتئین گیاهی در غذای آبزیان در حال افزایش است، بنابراین، دانستن ردپای آب ماهی، بسیار مهم خواهد بود.

با در نظر گرفتن میانگین کارآیی تبدل غذا حدوداً برابر با ۲ (یعنی مصرفِ ۲ کیلوگرم غذا برای تولید یک کیلوگرم ماهی)، می‌توان گفت ماهی، بسیار کارآمدتر از مرغ خواهد بود، بنابراین حتی اگر سهم غذاهای گیاهی در غذای مصرفیِ آبزیان بسیار زیاد باشد، باز هم ردپای آب مربوط به غذای ماهی، بسیار کم‌تر از مقدار معادل آن برای مرغ خواهد بود.

در پژوهشی جهانی، پائولو و همکاران (۲۰۱۵)[2]، ردپای آب مربوط به غذای ماهی‌ها و خرچنگ‌هایی که به صورت تجاری پرورش می‌یابند، را به طور میانگین، ۱۹۷۴ لیتر بر کلوگرم تخمین زدند (۸۲/۵ درصد ردپای آب سبز، ۹/۱ درصد ردپای آب آبی و ۸/۴ درصد ردپای آب خاکستری). این تخمین‌ها، بین گونه‌های مختلف متفاوت بوده و از صفر تا ۳۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم تغییر می‌کند؛ به عنوان مثال، ردپای آب تیلاپیلای نیل، ۲۲۶۰ لیتر بر کیلوگرم است، در حالی‌که مقدار آن برای کپور چمن[3]، ۲۲۳ لیتر بر کیلوگرم و برای کپور معمولی، ۲۳۶۰ لیتر بر کیلوگرم است. جیره‌ی غذایی تیلاپیلای نیل، اغلب شامل کنجاله‌ی سویا و سبوس برنج است و جیره‌ی غذایی کپورهای چمن و معمولی، اغلب شامل

1 Naylor et al. (2009)
2 Pahlow et al. (2015)
3 Grass carp

کیک‌روغنی کلزا، کیک سویا، کیک گندم و ذرت است. در این پژوهش، رپای آب مربوط به خوراک زمینیِ آبزیان گوشت‌خوار، به دلیلِ سهم نسبتاً زیادِ پودر ماهی و ماهی تازه در جیره‌ی غذایی‌شان، بسیار کم‌تر از آبزیانِ همه‌چیزخوار، پلانکتیور و گیاه‌خوار به دست آمد. با این حال، اگر قرار باشد که کل زنجیره‌ی تأمین را در نظر گرفت و ردپای آب ماهی‌هایی که به مصرف آبزیان گوشت‌خوار می‌رسد، را نیز لحاظ نمود، احتمالاً نیاز خواهد بود تا مقادیر به‌دست آمده که ردپای آب گوشتخوران محسوب می‌شود، در این پژوهش را اصلاح نمود. با این حال، نبود داده‌های مورد نیاز، امکان انجام چنین کاری را فرآهم ننمود.

یوآن و همکاران (۲۰۱۷)[1]، در پژوهشی برای چین، کشوری که بزرگ‌ترین بخش آبزی‌پروری را در جهان دارد، میانگین ردپای آب برای ۲۲ گونه‌ی مختلف ماهی را ۳۱۱۰ لیتر بر کیلوگرم تخمین زدند (۶۲/۱ درصد سبز، ۲۳/۸ درصد آبی و ۱۴/۱ درصد خاکستری). میانگین ردپای آب ماهی دریایی، بسیار کم‌تراز میانگین ردپای آب ماهیِ پرورش یافته در آب‌های شیرین به دست آمد. در مجموع، تخمین‌های به‌دست آمده در این پژوهش، بسیار بزرگ‌تر از مقادیر به‌دست آمده در پژوهش جهانی‌ای است که در بخش فوق بدان اشاره شد، اما با توجه به اختلاف‌هایی که در بعدهای مکانی مختلف وجود دارد، تحولات سریع در بخش مربوط به آبزیان و همچنین عدم‌قطعیت‌های زیاد، بسیار دشوار خواهد بود که بخواهیم در این مرحله، درباره‌ی ردپای آب ماهی اظهارنظر کنیم. اگر بخواهیم نظری به لحاظ رتبه‌بندی ارایه بدهیم، می‌توان گفت که به طور کلی، ردپای آب مربوط به غذا برای تولید گوشت ماهی، تا حدی کم‌تر از مقدار معادل آن برای تولید گوشت مرغ است.

با این حال، ماهی‌ها و خرچنگ‌هایی که در استخرهای باز پرورش می‌یابند، علاوه بر ردپای آب مربوط به غذایشان، دارای ردپای آب آبی و خاکستری نیز هستند که این ردپاها، به ترتیب به واسطه‌ی تبخیر و آلودگی آب در این استخرهای باز ایجاد می‌شوند. بر اساس یافته‌های وردیگم و همکاران (۲۰۰۶)[2]، در یک استخر ماهی، که مجموع تبخیر و تلفات ناشی از نشت در آن ۳۵۰۰ میلی‌متر در سال بوده و میزان تولید سالیانه‌ی ماهی در آن ۱۰۰۰ کیلوگرم در هکتار است، میزان تلفات ناشی از نشت و تبخیر به ازای تولید هر کیلوگرم ماهی، ۳۵۰۰ میلی‌لیتر در سال خواهد بود. با فرض آنکه این استخر، سالی یک‌بار تخلیه و مجدد پر شود، آنگاه کل آب مصرفی در این استخر برای تولید یک کیلوگرم ماهی ۴۵۰۰۰ لیتر خواهد بود. با این وجود، ردپای آب آبی، کم‌تر از این حد است، زیرا در محاسبات ردپای آب، تنها تبخیر به عنوان آب آبی مصرفی در نظر گرفته شده و آبی که حین پرنمودن مجدد استخر، از آن خارج می‌شود، مجدد به طبیعت برمی‌گردد. بسته به شرایط اقلیمی، این ردپای آب، بین ۱۰۰۰ تا

1 Yuan *et al.* (2017)
2 Verdegem *et al*. (2006)

۲۰۰۰ میلی‌متر در سال خواهد بود؛ بنابراین، ردپای آب آبی معادل ۱۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم ماهی به دست خواهد آمد. یکی از عوامل مهم و اثرگذار روی ردپای آب آبی در پرورش ماهی، میزان تولید ماهی در هر هکتار است. مقدار ۱۰۰۰ کیلوگرم بر هکتار در سال که پیش‌تر ذکر شد، مربوط به سیستم‌های گسترده است؛ در سیستم‌های ترکیبی فشرده، بهره‌وری تولید می‌تواند صد برابر بیش‌تر باشد و در نتیجه، ردپای آب آبی مربوط به تبخیر از استخرهای پرورش ماهی به ازای تولید هر کیلوگرم ماهی، صد برابر کم‌تر خواهد بود (۲۰۰–۱۰۰ لیتر بر کیلوگرم). آب خارج شده از استخرهای پرورش ماهی، بسیار آلوده است، بنابراین، ردپای آب خاکستری در این سیستم‌ها بسیار بزرگ است. با این حال، تا کنون تخمینی روی این مولفه از ردپای آب صورت نگرفته است.

ردپای آب گوشت‌خواران، در مقایسه با گیاه‌خواران یا وگان‌ها

عادات غذایی، به شدت بر ردپای آب بشر تاثیر می‌گذارد. در کشورهای صنعتی، میانگین سرانه کالری مصرفی، حدود ۳۴۰۰ کیلوکالری در روز است (FAO, 2019a) که ۲۸ درصد از این مقدار از فرآورده‌های دامی تأمین می‌شود. این میزان کالری مصرفی مربوط به آنچه مردم می‌خرند می‌باشند، نه به آنچه واقعاً می‌خورند (در محاسبه‌ی این کالری، تلفات غذایی نیز لحاظ شده است)؛ مصرف ۳۴۰۰ کیلوکالری در روز، به جز برای ورزشکاران، رژیمی بسیار ناسالم برای دیگر مردم می‌باشد. میانگین کالری مورد نیاز ما تقریباً ۲۵۰۰ کیلوکالری در روز است (Willett *et al.*, 2019). اختلاف بین آن‌چه می‌خریم و آن‌چه می‌خوریم، در حقیقت همان تلفات غذایی است. برای دانستن ردپای آب خود، باید تمام غذایی که می‌خریم را درنظر بگیریم، زیرا هر غذایی چه خورده شود و چه تلف شود، در هر صورت دارای ردپای آب است. تأمین هرکیلوکالری از محصولات گیاهی، با لحاظ ترکیبی از غلات، گیاهان قندی، ریشه‌ها، حبوبات، دانه‌های روغنی، میوه‌ها، سبزیجات و آجیل و خشکبار، نیازمند ۰/۷ لیتر آب خواهد بود. تأمین هر کیلوکالری در ازای مصرف فرآورده‌های لبنی و تخم‌مرغ‌ها، با درنظر گرفتن ترکیبی از شیر، کره، پنیر و تخم‌مرغ‌ها، ردپای آبی معادل ۱/۷ لیتر خواهد داشت. تأمین هر کیلوکالری در ازای مصرف محصولات خانواده‌ی گوشت و ماهی، با لحاظ مخلوطی از گوشت گاو، خوک، مرغ و ماهی، و طبق الگوی میانگین مصرف مردم در کشورهای صنعتی، ردپای آبی در حدود ۴ لیتر خواهد داشت. با داشتن این اطلاعات و بر اساس مقدار نسبی مصرف فرآورده‌های گیاهی در مقابل فرآورده‌های لبنی و تخم‌مرغ و گوشت و ماهی، دریافتیم که تولید غذا برای هر فرد در یک روز، نیازمند ۴۴۸۰ لیتر آب خواهد بود (جدول ۶–۲). برای رژیمِ غذایی گیاه‌خواران، گوشت و ماهی را با فرآورده‌های گیاهی جایگزین نمودیم. این مسأله باعث شد تا ردپای آب غذای آن‌ها به ۲۸۳۰ لیتر در روز کاهش یابد که این مقدار،

معادل ۳۷ درصد کاهش در مقایسه با حالت قبل خواهد بود. با علم به این مسأله که برای گوشت‌خواران، الگوی مصرف متوسطی که برای کل جمعیت جهان وجود داشت در نظر گرفته شد و همچنین این نکته که سرانه گوشت مصرفی بین مردم متفاوت است، این مهم مشهود می‌گردد که اگر فردی، کم‌تر از الگوی مصرف میانگین، گوشت مصرف کند، تا حد زیادی در مصرف آب صرفه‌جویی خواهد نمود.

اگر تمام فرآورده‌های حیوانی را از رژیم غذایی خود حذف کنیم، میزان صرفه‌جویی آب بیش‌تر خواهد شد. اگر کل کالری مورد نیاز یک فرد در یک کشور صنعتی را ثابت درنظر گرفته و با این فرض، تمام فرآورده‌های حیوانی را با فرآورده‌های گیاهی جایگزین نماییم، ردپای آب وی، از ۴۴۸۰ لیتر بر روز (رژیم غذایی با فرآورده‌های حیوانی) به ۲۳۸۰ لیتر بر روز (رژیم غذایی وگان) خواهد رسید؛ یعنی ۴۷ درصد کاهش خواهد یافت. تغییر رژیم غذایی از گوشت‌خواری به گیاه‌خواری، بسیار موثرتر از تغییر رژیم غذایی از گیاه‌خواری به وگان خواهد بود، زیرا ردپای آب یک واحد گوشت، بسیار بیش‌تر از ردپای آب همان واحد لبنیات و تخم‌مرغ خواهد بود.

جدول ۶-۲. ردپای آب در سه رژیم غذایی مختلف در کشورهای صنعتی

	رژیم غذایی گوشتی			***رژیم غذایی گیاه‌خواری***			**رژیم غذایی وگان**		
	kcal/day	*litre/kcal*	*litre/day*	*kcal/day*	*litre/kcal*	*litre/day*	*kcal/day*	*litre/kcal*	*litre/day*
فرآورده‌های گیاهی	2,450	0.7	1,715	2,950	0.7	2,065	3,400	0.7	2,380
لبنیات و تخم‌مرغ‌ها	450	1.7	765	450	1.7	765	0	1.7	0
گوشت و ماهی	500	4.0	2,000	0	4.0	0	0	4.0	
کل	3,400	1.3	4,480	3,400	0.8	2,830	3,400	0.7	2,380

بر اساس مطالب فوق، پرواضح است که مصرف‌کنندگان می‌توانند با کاهش مصرف گوشت، ردپای آب خود را کاهش دهند. همچنین از سویی دیگر یا بهتر است بگوییم علاوه بر آن، مصرف‌کنندگان می‌توانند با دقت نمودن در انتخاب نوع گوشتی که می‌خرند، ردپای آب خود را کاهش دهند. پرورش مرغ، مستلزم صرف آب کم‌تری در مقایسه با پرورش گاو خواهد بود و همچنین گوشت گاو به‌دست آمده در یک سیستم تولید، ممکن است بسیار کم‌تر از گوشت گاو به‌دست آمده در یک سیستم تولید دیگر باشد.

وجهه‌ی بین‌المللی گوشت، لبنیات و آب

روستائیان چه از راه مشارکت در فعالیت‌های کشاورزی و چه از طریق زندگی در نزدیک محیط‌های کشاورزی، غالباً هنوز هم به نوعی در فرآیند تأمین غذای خود درگیر بوده و از آن مطلع هستند، این در حالی است که چنین امکانی برای شهرنشینان وجود ندارد. برای شهرنشینان، که بیش از نیمی از جمعیت جهان را تشکیل می‌دهند، غذا همان چیزی است که از فروشگاه‌ها تهیه می‌کنند. برای این افراد، تمام فرآیندها و مسائل مربوط به تولید غذا، از جمله ردپای آب غذا، در خارج از محیط زندگی‌شان (در جایی دیگر در درون یا بیرون کشور) رخ می‌دهد (Hoekstra *et al.*, 2016, 2018b).

ردیابیِ مکانی زنجیره‌ی تأمین برای گوشت و لبنیات بسیار دشوارتر از انجام کاری مشابه برای محصولات گیاهی خواهد بود. به دلیل مبادلات بین‌المللی علوفه، حیوانات زنده و فرآورده‌های حیوانی، مصرف گوشت یا لبنیات در مکانی معین، اغلب با مصرف آب در مکان‌های بسیارِ دیگری همراه خواهد بود؛ به عنوان مثال در مورد حیوانات زنده، سالانه میلیون‌ها گوسفند از استرالیا به خاورمیانه صادر می‌شود. ایالات متحده‌ی آمریکا، سالانه میلیون‌ها گاو و خوک را عمدتاً از کانادا و مکزیک وارد می‌کند. در اروپا، میلیون‌ها مورد از انواع مختلف حیوانات، مسافتی طولانی را در کل قاره‌ی اروپا طی می‌کنند (Millstone and Lang, 2003).

مبادلات مربوط به فرآورده‌های فرآوری شده‌ی حیوانی، حتی از این حد هم وسیع‌تر است. طبق تخمین‌های ما، کل جریان آب مجازیِ بین‌المللی در ازای مبادلات جهانیِ حیوانات زنده و فرآورده‌های آن‌ها، قریب به ۲۷۲ میلیارد مترمکعب در سال است که این حجم آب، حدوداً معادل نیمی از رواناب سالانه‌ی می‌سی‌سی‌پی می‌باشد (Millstone and Lang, 2003). حدود ۱۶ درصد از این جریان آب مجازی، مربوط به مبادلات حیوانات زنده بوده و ۸۴ درصد مربوط به مبادلات فرآورده‌های حیوانی است. مبادلات بین‌المللی نه فقط در مورد دام و فرآورده‌های دامی، بلکه در مورد گیاهان علوفه‌ای نیز صورت می‌گیرد (Galloway *et al*., 2007).

با این حال، تمایز قایل شدن در آمار بین گیاهانی که با هدف تأمین غذای بشر مبادله می‌شود، از گیاهانی که با هدف تأمین غذای دام مبادله می‌شود، امری دشوار است، زیرا این گیاهان اغلب یکسان هستند و تنها کاربرد نهایی آن‌ها با هم فرق دارد. مبادله‌ی گیاهان و فرآورده‌های گیاهی در سرتاسر جهان، باعث پیدایش جریان آب مجازی می‌گردد که حجم این جریان، ۱۷۶۶ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زده شده (Mekonnen and Hoekstra, 2011b) و بخش قابل‌توجهی، از آن، مربوط به مبادلات غذای دام است.

حیوانات، اغلب مواد غذایی متنوعی مصرف می‌کنند و ردیابی زنجیره‌های تأمین این غذاها، امری دشوار است. بنابراین، به جز در مواردی که ما از شیر، پنیر، تخم‌مرغ یا گوشت به‌دست آمده از حیواناتی استفاده می‌کنیم که در همان محل زندگی ما پرورش یافته و چرا می‌کنند و یا از غذاهایی استفاده می‌کنند که در همان محل زندگی ما تولید شده است، ردیابی مکانی دقیق ردپای آب برای این محصولات امری بسیار دشوار خواهد بود. پیچیدگی‌های روزافزون سیستمِ غذایی ما، و به‌ویژه سیستم پیچیده‌ی تولید محصولات حیوانی، باعث شده است که ارتباط موجود بین غذایی که می‌خریم با منابعی که برای تولید آن‌ها مصرف شده و اثراتی که مصرف این منابع از خود برجای می‌گذارد، پنهان باقی بماند. بنابراین، ارائه‌ی اطلاعاتی شفاف پیرامون میزان غذای مصرفی دام و منبع تأمین این غذاها، مقدمه‌ای برای رسیدن به درکی بهتر از نحوه‌ی اعمال فشار توسط محصولات حیوانی تولید شده در سیستم‌های مختلف تولید بر منابع محدود آبی خواهد بود.

گوشت و لبنیات: نقطه‌ی کور در بخش آب

مدیران آب، هرگز درباره‌ی گوشت و لبنیات صحبت نمی‌کنند (Hoekstra, 2014b). دلیل آن واضح است: دامداران به خودی خود مصرف‌کنندگان بزرگ آب نیستند. این غذای دام است که مقدار زیادی آب مصرف می‌کند. با این‌که گوشت و لبنیات، در مجموع سهمی در حدود ۳۰ درصد در ردپای آب بشر در جهان دارند، این سهم به سختی مشهود است، زیرا بخش زیادی از این ردپای آب، به بخش زراعت منسوب می‌گردد. این واقعیت که ۳۷ درصد از غلات تولیدی در جهان، برای غذای دام مصرف می‌شود، پنهان بوده و تنها توسط متخصصان بخش کشاورزی قابل درک است، حال آن‌که این واقعیت، توسط متخصصان بخش آب، قابل درک نیست. مدیران آب، اختلاف بین مصرف آب برای تولید گیاهان با هدف تأمین غذای بشر، و مصرف آب برای تولید گیاهان با هدف تأمین غذای دام را نمی‌بینند. این گیاهان، اغلب مشابه هستند (یعنی گیاهان مشابهی تولید می‌شوند که می‌توانند هم به مصرف بشر، و هم به مصرف دام برسند) و تنها مسأله‌ای که توسط مدیران مدنظر قرار می‌گیرد آن است که مقدار آب موردنیاز برای تولید گیاهان چه‌قدر است؛ برای آن‌ها مهم نیست که این گیاهان با چه هدفی تولید می‌شوند. اگر مدیران آب به حدی باهوش بودند که به این مسأله عمیق‌تر بنگرند، درمی‌یافتند که هنگام رسیدگی به مسأله‌ی کمبود روزافزون منابع آب شیرین، باید به دقت، آب مورد نیاز برای تولید گوشت و لبنیات را تعیین نمایند. سیاستِ آبی خوب، باید مشتمل بر سیاستی درباره‌ی چگونگیِ توسعه‌ی بخش گوشت و لبنیات نیز باشد. شرایط فعلی جهان مبین آن است که هنوز حتی یک طرح و برنامه‌ی آبی در سطح ملی در جهان وجود ندارد که این مسأله که گوشت و لبنیات، از جمله آب‌برترین محصولات

مصرفی توسط مصرف‌کنندگان است، در آن لحاظ شده باشد؛ چه برسد به آن‌که سیاست‌های آبی ملی به گونه‌ای تدوین شده باشد که بخواهد مصرف‌کنندگان گوشت و یا کارخانه‌های گوشت و لبنیات را به نوعی به این بازی بکشاند. سیاست‌های آبی، اغلب بر "تولید پایدار"[1] تمرکزنموده و به ندرت به مسأله‌ی "مصرف پایدار"[2] می‌پردازند. این سیاست‌ها، بیش‌تر به مسأله‌ی ارتقای کارآیی مصرف آب در کشاورزی می‌پردازند (یعنی محصول بیش‌تر به ازای هر قطره آب مصرفی)، اما به ندرت به مسأله‌ی افزایش کارآیی مصرف آب در کل سیستم تولید غذا (یعنی تولید کیلوکالری بیش‌تر به ازای هر قطره آب مصرفی) توجه می‌کنند.

اگرچه دولت‌ها، سهم تولید گوشت و لبنیات در مصرف منابع آب شیرین جهان را نمی‌بینند، خودِ بخش‌های گوشت و لبنیات نیز چنین سهمی را ندیده و نسبت به آن، به همان اندازه ناآگاه هستند. میل به دانستنِ ردپای آبِ مربوط به بخش غذا، به طور فزاینده‌ای رو به رشد است، اما چنین تمایلی اغلب به یافتن اطلاعاتی پیرامون نوشیدنی‌ها ختم می‌شود. پرواضح است که برای یک بخش اقتصادی، در ابتدا خوشایند نیست که به دارنده‌ی رتبه‌ی نخست در مجموع ردپای آب بشر شناخته شود، ولی در نهایت بهتر است با هرچیزی، همان‌گونه که واقعاً هست، مواجه شد. این‌که بخش گوشت و شیر، نقش بحرانی خود را در حلِ مسأله‌ی برداشت‌های بی‌رویه و آلودگی منابع آب به درستی درک نماید، از اهمیتی حیاتی برخوردار است. تولید گوشت و لبنیات در مقیاس صنعتی، به نظر کارآمدتر از تولید آن‌ها در بخش‌های سنتی و یا ترکیبی است، اما افزایشِ مصرف کنسانتره در بخش صنعتی، باعث می‌شود تا بر خلاف آن‌چه این‌جا بیان شد، مصرف و آلودگی آب، به دلیل افزایش نیاز آبیاری و افزایش میزان کودهای مصرفی، افزایش یابد. این‌که چگونه باید بخش‌های گوشت و لبنیات، دوباره به گونه‌ای سازمان‌دهی شوند که سهم کم‌تری در مصرف و آلودگی آب داشته باشد، خود یک چالش است، ولی به دلیل محدودیت‌هایی که برای کارآمدتر ساختن حیوانات وجود دارد، احتمالاً تغییر جایگاه گوشت و لبنیات در رژیم غذایی بشر امروز، مهم‌تر خواهد بود. به این ترتیب، بحثِ مربوط به تولیدات حیوانی و آب، تنها معطوف به دولت‌ها و بخش‌های تولید گوشت و لبنیات نبوده و مصرف‌کنندگان، که شامل تمامی ما می‌شود، نیز باید در این مسأله مشارکت نمایند.

1 Sustainable production
2 Sustainable consumption

فصل هفتم

چگونه لباس‌های نخی ما، باعث ناپدید شدن دریاها می‌شوند

میانگین جهانیِ ردپای آب پارچه‌ی نخی، ۱۰۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم است. این به آن معناست که برای تولید یک تی‌شرت نخی به وزن ۲۵۰ گرم، ۲۵۰۰ لیتر آب مصرف می‌شود. تولید یک شلوار جین به وزن ۸۰۰ گرم، ۸۰۰۰ لیتر آب نیاز دارد. این مقادیر، میانگین‌های جهانی هستند. ردپای آب برای تولید پارچه‌ی نخی، از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند. ردپای آب برای پارچه‌ی نخی که با پنبه‌ی چین تولید شده است، ۶۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم است. این ردپا برای پارچه‌ی تولیدشده با پنبه‌ی آمریکا، ۸۱۰۰ لیتر بر کلوگرم، پنبه‌ی ازبکستان، ۹۲۰۰ لیتر بر کیلوگرم، پنبه‌ی پاکستان ۹۶۰۰ لیتر بر کیلوگرم و پنبه‌ی هند، ۲۲۰۰ لیتر بر کیلوگرم است (Mekonnen and Hoekstra, 2011a). سهم آب آبی در ردپای آب پنبه، نسبتاً زیاد است، زیرا پنبه اغلب در اراضی آبی تولید می‌شود. به طور متوسط، آب آبی، یک‌سوم از کل ردپای آب پنبه را شامل می‌شود. در برخی کشورها، سهم آب آبی، خیلی زیادتر است؛ مانند ازبکستان (۹۰ درصد) و پاکستان (۵۵ درصد). آب آبی‌ای که در تولید پنبه مصرف می‌شود، اغلب آثار زیست‌محیطیِ بسیاری به همراه خواهد داشت. موردی که ما در این فصل با جزئیات بدان می‌پردازیم، مربوط به تولید پنبه در آسیای مرکزی است، جایی‌که برداشت بی‌رویه‌ی آب از دو رودخانه با نام‌های آمو–دریا[1] و سیر–دریا[2] برای آبیاری پنبه، باعث شده است که دریای آرال[3]، قریب به از بین رفتن باشد (Zonn *et al*., 2009; Edelstein *et al*., 2012).

پنبه، مهم‌ترین الیاف طبیعی است که در صنایع نساجی در جهان استفاده می‌شود و در سال ۲۰۰۸، سهمی معادل ۳۶ درصد در مجموع الیاف به‌کار رفته در تولید پوشاک را به خود اختصاص داده است (الیاف مصنوعی، بزرگ‌ترین گروه بوده و سهمی معادل ۵۶ درصد در مجموع الیاف به کار رفته در تولید پوشاک دارند). مصرف یک محصولِ تولید شده از پنبه، باعثِ بروز زنجیره‌ی از اثرات ناخوشایند بر منابع آبی در کشورهایی خواهد شد که پنبه در آن‌ها تولید و فرآوری می‌شود. تولید پنبه عمدتاً در نواحی خشک صورت می‌گیرد؛ بنابراین، چنین تولیدی، مستلزم صرف حجم قابل توجهی، آب آبیاری خواهد بود. بسیاری از کارخانه‌های فرآوری پنبه، در کشورهای در حال توسعه با شرایط وخیم واقع شده‌اند و این مسأله، به‌ویژه به دلیل مصرف رنگ‌ها برای رنگ‌آمیزی، باعثِ بروز چالش‌های عظیم آلودگی آب شده است. اثرات تولید پنبه بر محیط‌زیست، به وضوح قابل مشاهده بوده و این اثرات به شکل‌های مختلفی بروز می‌کند: مثل خشک‌شدن تدریجی رودخانه‌ها، کاهش سطح آب دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی به دلیل برداشت‌های بی‌رویه از آن‌ها جهت آبیاری، و تخریب کیفیت آب‌ها به دلیل استعمال

1 Amu Darya
2 Syr Darya
3 Aral Sea

کودها و آفت‌کش‌ها در مزراع پنبه و همچنین به دلیل استفاده از مواد شیمیایی در کارخانه‌های فرآوری پنبه.

در سال ۲۰۱۸، هشت کشور اول تولیدکننده‌ی پنبه، شامل هند، چین، ایالات متحده‌ی آمریکا، برزیل، پاکستان، ترکیه، ازبکستان و استرالیا بودند (NCC, 2019). در بازه‌ی سال‌های ۲۰۰۵–۱۹۹۶، ردپای آب مربوط به تولید پنبه در جهان، سهمی معادل ۳ درصد در مجموع ردپای آب مربوط به تولید گیاهان در جهان داشت (Mekonnen and Hoekstra, 2011a). تولید پنبه در جهان، نیازمند ۲۳۳ میلیارد مترمکعب آب در سال بود، که از این مقدار، حدود ۵۷ درصد مربوط به آب سبز، ۳۲ درصد مربوط به آب آبی و ۱۱ درصد مربوط به آب خاکستریِ ناشی از دفع نیتروژن به منابع آبی به‌واسطه‌ی استعمال کودهای نیتروژن در اراضی تحت کشت پنبه بود. در این تخمین‌ها، ردپای آب خاکستری مربوط به استعمال آفت‌کش‌ها حین تولید پنبه، و ردپای آب خاکستری مربوط به مواد شیمیایی استفاده شده در کارخانه‌های نساجی، درنظر گرفته نشده است.

برای بسیاری از مصرف‌کنندگان، اثرات زیست‌محیطی مخرب ناشی از مصرف محصولات پنبه‌ای در همان محل زندگی‌شان رخ نمی‌دهد، زیرا پنبه‌ای که برای تولید پوشاک مصرف می‌شود، غالباً از کشورهای دیگر وارد می‌شود؛ مثلاً پنبه در اتحادیه‌ی اروپا به صورت محدود کشت می‌شود؛ به همین دلیل، بیش‌ترین ردپای آب پنبه‌ی مصرفی و تبعات زیست‌محیطی حاصل از آن در خارج از اروپا، به‌ویژه در کشورهای هند، ازبکستان، و همچنین پاکستان، ترکیه، چین، سوریه، ترکمنستان و مصر واقع شده است (Chapagain *et al*., 2006b). در بسیاری از کشورهای اروپایی، پنبه اصلاً کشت نمی‌شود و ۱۰۰ درصد از دیگر کشورها وارد می‌شود؛ به عنوان مثال انگلستان را درنظر بگیرید؛ جایی که تمام پنبه‌ی موردنیازش وارد می‌شود. شکل ۷–۱ نشان می‌دهد که چگونه ردپای آب پنبه‌ی مصرفی در انگلستان، در دیگر مناطق جهان واقع شده است. ترکیه و هند، مهم‌ترین مناطق تولیدکننده‌ی پنبه‌ی آبی جهت مصرف آن در انگلستان هستند.

اگر بخواهیم تنها یک گیاه را از نظر اثرات وحشتناکی که بر کمیت و کیفیت آب در حوضه‌های آبریز باقی می‌گذارد، انتخاب نماییم، آن گیاه بی‌شک پنبه خواهد بود. البته پنبه خودش مقصر نیست، بلکه کسانی مقصر هستند که آن را در مکان‌های نامناسب در سطحی وسیع کشت نمودند، اما وقتی به این سوال می‌رسیم که دقیقاً چه کسی مقصر است، مسأله تا حدی پیچیده می‌شود. درست است که کشاورزان، کسانی هستند که آب، کودها و آفت‌کش‌ها را برای تولید پنبه مصرف می‌کنند، اما در حقیقت، این دولت‌ها هستند که باعث توسعه‌ی بی‌رویه کشت پنبه در مکان‌های نامناسب شده و با توسعه‌ی تجهیزات آبیاری و ارائه‌ی یارانه‌های دولتی شرایط لازم برای این کار را فرآهم نموده‌اند. علاوه بر آن،

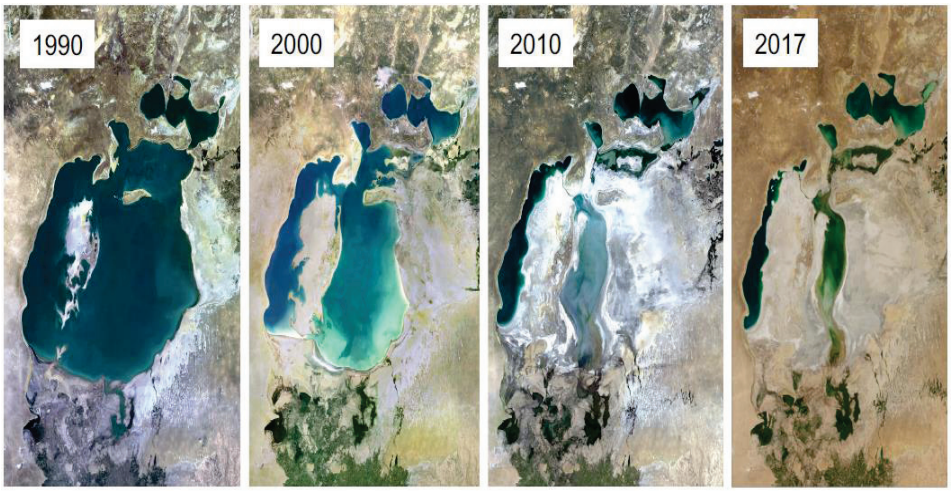
صنعت پوشاک و مصرف‌کنندگان نیز به این چالش دامن زده و باعث شدند که لباس‌های نخی، قیمت‌های بسیار پایینی داشته باشند و در نتیجه، باعث شدند که کشاورزان و تولیدکنندگان کوچک، حاضر به پذیرش تکنولوژی‌های بهتر برای کاهش ردپای آب خود نشوند. تمایل به تولید و مصرف پایدار، به یک آرمان تبدیل شده و خوشبختانه این باور، در حال توسعه است. هنوز سطح آگاهی مصرف‌کنندگان درباره‌ی اثراتی که مصرف پنبه توسط آن‌ها، در خارج از محل زندگی‌شان باقی می‌گذارد، اندک است. یکی از مشکل‌های بزرگ، پیچیدگیِ بازار جهانی پنبه است که به موجب آن، امکان ردیابی منشأ تولید پنبه‌ای که برای یک تی‌شرت یا یک شلوار جین معین استفاده می‌شود، به سختی میسر می‌گردد (Rivoli, 2005). بسیاری از خرده‌فروشان و برندها، نمی‌دانند پنبه‌ای که با آن محصولات خود را تولید می‌کنند، در کجا تولید شده است. گاهی، تنها کشور یا منطقه‌ی مبدأ را می‌دانند، اما برای دانستن میزان پایداری یک پنبه‌ی خاص، باید بیش‌تر از این‌ها دانست، زیرا حتی در یک منطقه‌ی معین، تفاوت‌های زیادی می‌تواند بین چگونگی عملکرد کشاورزان مختلف وجود داشته– باشد که این تفاوت‌ها می‌تواند مثلاً به دلیل تفاوت در تکنیک‌های به‌کار رفته حین تولید پنبه، مقدار و نوع آب آبیاریِ مصرفی و چگونگی استعمال کودهای مواد شیمیایی به وجود آمده باشد. نمونه‌های خوبی از کشت پنبه نیز وجود دارند، اما در راس توجه نیستند. در حقیقت، همه‌ی پنبه‌ها، در مکان‌هایی با میزان بارش اندک و کاربرد حجم آب آبیاری زیاد تولید نمی‌شوند. همه‌ی پنبه‌ها با استعمال بیش از حد کودهای مصنوعی و آفت‌کش‌ها تولید نمی‌شوند؛ مثلاً می‌توان به پنبه‌هایی که طی کشت‌های ارگانیک تولید می‌شوند، اشاره نمود.

شکل ۷–۱. ردپای جهانی آب آبی مربوط به پنبه‌ی مصرفی در انگلستان در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶. فلش‌ها، بزرگ‌ترین جریان‌های آب مجازی به انگلستان به واسطه‌ی واردات پنبه را نشان می‌دهند.
منبع داده‌ها: مکونن و هوکسترا (2011a).

دریای رو به نابودی آرال

اگر بخواهیم تنها یک نمونه از برداشت‌های بی‌رویه‌ی آب در جهان را به عنوان بدترین مورد انتخاب نماییم، احتمالاً باید دریای رو به نابودی آرال در آسیای مرکزی را انتخاب کنیم که علت نابودی آن، کشت بی‌رویه پنبه است. خشک‌شدنِ تدریجی دریای آرال، عمدتاً به دلیل افزایش نیاز آبیاری برای تولید پنبه‌ی صادراتی است. به عنوان بخشی از برنامه‌ریزی‌های اصلی در شوروی سابق، تصمیم بر آن شد که رونق اقتصادی در این کشور حاصل شود. از دهه‌ی ۶۰، سطوح تحت کشت آبی، به‌ویژه به دلیل استفاده از تمام جریان آب موجود در دو رودخانه‌ی اصلی با نام‌های دریای آمو و سیردریا، به هشت میلیون هکتار افزایش یافتند (Micklin *et al*., 2014). ناپدید شدن تدریجی دریای آرال، بارزترین نشانه از بلایای زیست‌محیطی در حوضه‌ی آبریز دریای آرال می‌باشد که حتی از روی مساحت این دریا قابل تشخیص است (شکل ۷–۲). سطح دریای آرال، از ۶۷۵۰۰ کیلومترمربع در سال ۱۹۶۰ به ۷۰۰۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۱۴ رسیده است (Micklin, 2016). اکوسیستم‌های اصلی دریاچه‌ای از بین رفته‌اند؛ تالاب‌ها ناپدید شده و یا به شدت آسیب دیده‌اند و اثرات جدی بر فعالیت‌های اقتصادی و سلامتی بشر داشته‌اند (Nandalal and Hipel, 2007).

از بین رفتن حاصل‌خیزی خاک، یکی از اثرات سریع می‌باشد. آب‌های آلوده‌ی جاری در رودخانه‌ها و طوفان‌های شن نشأت‌گرفته از خاک‌های آلوده، به تهدیدی جدی برای سلامتی مردم تبدیل شده است، به‌ویژه آن‌که آب آشامیدنی با کیفیت مطلوب، در بخش‌های زیادی از این حوضه وجود ندارد (UNESCO, 1998). در حال حاضر، محیط‌زیست در پنج استان خشک و نیمه‌خشک در حوضه‌ی دریای آرال باید احیا شود و همزمان، پیشرفت و معیشت جمعیتِ رو به رشد در این نواحی نیز مدنظر قرار بگیرد. بنابراین، تدوین و اجرای اقدامات سیاسی هماهنگ در تمامی این استان‌ها برای حمایت از مدیریت پایدار منابع آب امری ضروری است (UNESCO, 2000).



شکل ۷-۲. ناپدید شدن دریای آرال با توجه به وسعت دریا. منبع: ناسا.

بخش‌های زیادی از آسیای مرکزی در حوضه‌ی دریای آرال واقع شده است که شامل تمامیِ قسمت‌های کشورهای تاجیکستان و ازبکستان، و بخش‌های وسیعی از کشورهای ترکمنستان، قرقیزستان و قزاقستان جنوبی می‌باشد. کشاورزی در این منطقه‌ی خشک و نیمه‌خشک، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب می‌باشد. گندم، پنبه و علوفه‌هایی مثل یونجه، گیاهانی هستند که بیش‌ترین آب را در بخش کشاورزی مصرف می‌کنند. این پنج کشورِ واقع در آسیای مرکزی به شدت متکی بر کشاورزی هستند؛ ۶۰ درصد از جمعیت‌شان در نواحی روستایی زندگی نموده و کشاورزی، پیشه‌ی اصلی ۴۵ درصد از افراد شاغل می‌باشد (Lerman and Stanchin, 2006). در قرقیزستان، سهم کشاورزی در تولید ناخالص داخلی ۱۵ درصد (در سال ۲۰۱۷)، در ازبکستان۱۸ درصد و در تاجیکستان ۲۹ درصد است. بخش انرژی در کشور قزاقستان بسیار قوی است. به همین دلیل، اقتصادِ متکی بر کشاورزی در این کشور، کم‌تر از دیگر کشورهای آسیای مرکزی بوده و کشاورزی، سهمی معادل ۵ درصد در مجموع تولید ناخالص ملی در این کشور دارد (در سال ۲۰۱۷)، اما هم‌چنان ۱۸ درصد از کل افراد شاغل در این کشور، به کشاورزی مشغول هستند (CIA, 2019).

وسعت اراضی تحت کشت آبی در کشورهای واقع در آسیای مرکزی از زمان استقلال تا کنون، تغییر چشمگیری نداشته است. تنها استثناء در این زمینه، کشور ترکمنستان است که در آن، اراضی تحت کشت آبی در بازه‌ی سال‌های ۱۹۹۶-۱۹۹۵، به ۴۰۰۰۰۰ هکتار رسید. برعکس، در کشورهای ازبکستان، قرقیزستان، و به‌ویژه، تاجیکستان، تخریب زیرساخت‌ها در نتیجه‌ی عدم نگهداریِ مناسب از آن‌ها،

باعث– شده تا بخش‌های زیادی از اراضی تحت کشت، از حالت آبی خارج شوند. در این ناحیه، تا حدی تغییر الگوی کشت وجود داشته است. پنبه، هنوز هم در شمارِ مهم‌ترین گیاهان است، ولی سهم آن در کشاورزی آبی کاهش یافته است. این در حالی است که اراضی تحت کشت غلات (گندم، برنج، ذرت و دیگر غلات) افزایش یافته است (CAWater, 2012).

ردپای آب کشاورزی در آسیای مرکزی

بخش کشاورزی در آسیای مرکزی، ۹۰ درصد از کل ردپای آب در این ناحیه را به خود اختصاص می‌دهد (جدول ۷–۱). گندم و پنبه، در مجموع، ۵۶ درصد از کل ردپای آب مربوط به گیاهان تولیدشده در پنج کشور واقع شده در آسیای مرکزی را به خود اختصاص داده‌اند. در قزاقستان و قرقیزستان، گندم و علوفه، مهم‌ترین مصرف‌کنندگان آب در بخش کشاورزی هستند، ولی در تاجیکستان، ترکمنستان و ازبکستان، پنبه مهم‌ترین گیاه از این حیث می‌باشد. در این سه کشور، پنبه سهمی معادل ۴۰ درصد در مجموع ردپای آب مربوط به تولید گیاهان داشته و بیش از نیمی از این ردپای آب، ردپای آب آبی می‌باشد (Mekonnen and Hoekstra, 2011a).

جدول ۷–۱. ردپای آب در آسیای مرکزی در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹ (بر حسب میلیارد مترمکعب در سال)

کشور	ردپای آب مربوط به منابع آب داخلی	ردپای آب محصولات صنعتی	ردپای آب محصولات کشاورزی	بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان
قزاقستان	0.59	5.8	67.7	گندم، علوفه
قرقیزستان	0.29	0.23	10.3	گندم، علوفه
تاجیکستان	0.44	0.56	9.2	پنبه
ترکمنستان	0.42	0.19	14.7	پنبه
ازبکستان	2.77	1.2	38.3	پنبه

منبع داده: مکونن و هوکسترا (2011b)[1]

1 Mekonnen and Hoekstra (2011b)

از کل ۱۵۵ میلیون هکتار از منابع ارضی، حدود ۸ میلیون هکتار تحت کشت آبی است (که این سطح، ۵ درصد از کل قلمروی مربوط به حوضه‌ی آبریز دریای آرال می‌باشد) (CAWater, 2012). وسعت دیگر اراضی (مراتع، چمن‌زارها، یونجه‌زارها، اراضی آیش بلندمدت)، ۵۴ میلیون هکتار می‌باشد. این مساحت، شامل ۲ میلیون هکتار اراضی تحت کشت دیم نیز می‌شود، لکن، بهره‌وری در این اراضی، کم‌تر از یک‌دهمِ بهره‌وری در اراضی تحت کشت آبی می‌باشد. کشت دیم، نقش مهمی در مجموع تولیدات به‌دست آمده از بخش کشاورزی در حوضه‌ی آبریز دریای آرال ندارد. تنها استثنا در این زمینه، دامپروری‌های عشایری (گاو و گوسفند) می‌باشند (CAWater, 2012). با این وجود، ارتقای بهره‌وری در اراضی غیر آبی (دیم) هدف مهمی است. برخی گیاهان، مانند گندم، که به طور روزافزون، به صورت آبی کشت می‌شوند را می‌توان به صورت دیم نیز کشت نمود که در صورت انجام چنین کاری، حجم آبی که سالانه به منظور آبیاری در این حوضه برداشت می‌شود، در حد چشمگیری کاهش پیدا خواهد کرد.

اهمیت پنبه

پیش‌تر، کشورهای ازبکستان، ترکمنستان، تاجیکستان و قرقیزستان، نواحیِ اصلیِ کشت پنبه در شوروی سابق محسوب می‌شدند. پنبه هم‌چنان گیاهی مهم در این منطقه باقی ماند، اما از سال ۱۹۹۱ که این جمهوری مستقل شد و خودکفایی غلات در راس امور دولت قرار گرفت، تولید غلات نیز به طور روزافزون اهمیت یافت. در دهه‌های اخیر، اراضی تحت کشت پنبه، به آرامی کاهش یافت؛ در حالی‌که سطح تحت کشت گندم، که مهم‌ترین گیاه در خانواده‌ی غلات است، افزایش یافت.

در سه کشور ازبکستان، ترکمنستان و تاجیکستان، پنبه هم‌چنان به عنوان یک کالای استراتژیک مهم باقی ماند. هنوز هم ازبکستان، یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان پنبه در جهان است (NCC, 2019). در سال‌های اخیر، تولید و صادرات پنبه، کاهش یافت، ولی این کشور، هم‌چنان در هر سال ۳/۵ میلیون تن پنبه‌ی خام تولید نموده و با فروش حدود یک میلیون تن پارچه در سال، درآمدی بیش‌تر از یک میلیون دلار آمریکا به دست می‌آورد که این درآمد، معادل نیمی از بودجه‌ی سالانه‌ی این کشور است. طی سال‌های ۲۰۰۷–۱۹۹۷، قیمت پنبه در آسیای مرکزی به طور متوسط حدود ۸۴۰ دلار آمریکا به ازای هر تن بوده است. قیمت برنج و گندم در این سال‌ها، به ترتیب ۷۲۰ و ۲۷۰ دلار آمریکا به ازای هر تن بود (FAO, 2012). اگر بهره‌وری اقتصادی آب آبی برای گیاهان مختلف را در نظر بگیریم، خواهیم دید که پنبه، بیش‌ترین ارزش اقتصادی به ازای هر واحد آب مصرفی را خواهد داشت (حدود

۰/۵ دلار آمریکا بر مترمکعب). میانگین بهره‌وری اقتصادی برنج و گندم، به ترتیب، کم‌تر از ۰/۲ و ۰/۱ دلار آمریکا بر مترمکعب است.

ردپای آب پنبه

پنبه، به طور عمده، در نواحی جنوبیِ حوضه‌ی آبریز دریای سیاه و اساساً با استفاده از منابع آب آبی کشت می‌شود. دقیقاً بخشِ جنوبی حوضه، بیش‌ترین مقدار نسبی ردپای آب را برای پنبه دارد: بزرگ‌ترین مقدار ردپای آب پنبه، ابتدا در ترکمنستان، و سپس در تاجیکستان و ازبکستان وجود دارد. در ترکمنستان، میانگین ردپای آب آبی در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۹۲، ۶۸۷۵ لیتر به ازای هر کیلوگرم پنبه‌دانه بود، در حالی‌که ردپای آب سبز برای تولید پنبه‌دانه در این کشور ۱۹۱ لیتر بر کیلوگرم بود (Aldaya *et al.*, 2010b). کم‌ترین مقدار برای ردپای آب برای تولید هر کیلوگرم پنبه در قزاقستان به دست آمد؛ جایی‌که در آن، ردپای آب آبیِ پنبه، ۱۴۶۱ لیتر بر کیلوگرم و ردپای آب سبز، ۹۶۲ لیتر بر کیلوگرم بود (جدول ۷-۲). کم‌تر بودن ردپای آب را می‌توان به کم‌تر بودن تبخیر-تعرق در کشور قزاقستان منسوب نمود.

ازبکستان، بیش‌ترین مصرف آب برای تولید پنبه را عهده‌دار بوده و ۶۰ درصد از کل آبی که در این ناحیه برای تولید پنبه مصرف می‌شود را به خود اختصاص داده است. بخش اعظمی از آبی که در ازبکستان برای تولید پنبه مصرف می‌شود، به صورت مجازی به نواحی مختلف جهان صادر می‌شود. بیش‌ترین مقدارِ این صادرات (۴۰ درصد)، به اتحادیه‌ی اروپا و کم‌ترین مقدار آن، به کشورهای روسیه، چین، جمهوری کره، ترکیه، برزیل، بنگلادش و ایالات متحده‌ی آمریکا صورت می‌گیرد. این به آن معناست که داشتنِ سیاست‌های غیرآبی، مانند سیاست‌های اقتصادی و تجارت، می‌تواند منتج به اثرات منفیِ عظیمی بر کل آب مصرفی شود (Abdullaev *et al.*, 2009). استفاده‌ی عاقلانه از آب، تنها در صورتی حاصل خواهد شد که سیاست‌های تدوین شده در بخش‌های مختلف (یعنی بخش‌های آب، کشاورزی، اقتصادی و تجارت) با هم هماهنگ باشند، به نحوی‌که همه‌ی آن‌ها در یک راستا تدوین شده و در تعامل با یک‌دیگر باشند. بزرگ‌ترین چالش مربوط به توسعه‌ی کشاورزی در آسیای مرکزی، چگونگی محافظت از محیط‌زیست در درازمدت بدون وارد آمدن صدمات اقتصادی می‌باشد.

جدول ۷–۲. تبخیر–تعرق (ET)، آب مصرفی گیاه (CWU)، عملکرد محصول (Y)، تولید (Prod) و ردپای آب (WF) مربوط به پنبه در پنج کشور از آسیای مرکزی، بازه‌ی زمانی ۲۰۰۷–۱۹۹۲

	ET_g	ET_b	CWU_g	CWU_b	Y	WF_g	WF_b	WF	$Prod$	WF_g	WF_b	WF
	mm	*mm*	*m^3/ha*	*m^3/ha*	*tonne/ha*	*litre/kg*	*litre/kg*	*litre/kg*	*Mtonne/yr*	mm^3/yr	mm^3/yr	mm^3/yr
قزاقستان	193	293	1,925	2,925	2.0	962	1,461	2,423	0.3	297	451	749
قرقیزستان	166	594	1,657	5,941	2.5	665	2,384	3,049	0.1	57	206	263
تاجیکستان	64	968	641	9,680	1.7	388	5,858	6,246	0.4	169	2,554	2,723
ترکمنستان	33	1,183	330	11,835	1.7	191	6,875	7,067	1.0	1al.	6,650	6,835
ازبکستان	60	987	603	9,867	2.4	255	4,171	4,426	3.6	905	14,812	15,717

منبع داده: آلدایا و همکاران (Aldaya et al., 2010b)

مقادیر مربوط به تولید و ردپای آب، مربوط به پنبه‌دانه است.

ET_g: تبخیر–تعرق سبز، ET_b تبخیر–تعرق آبی، CWU_g آب سبز مصرفی توسط گیاه، CWU_b آب آبی مصرفی توسط گیاه، Y عملکرد محصول، WF_g ردپای آب سبز، WF_b ردپای آب آبی، WF ردپای آب کل، Prod میزان تولید

تدوین بنچ‌مارک برای ردپای آبِ پنبه‌دانه

با استفاده از داده‌های موجود در جهان برای میزان پنبه‌ی تولیدی و مجموع آب مصرفی و آلوده شده حین تولید آن، می‌توان بنچ‌مارک‌های منطقی برای ردپای آب پنبه‌دانه را تدوین نمود. میانگین جهانیِ ردپای آب مصرفیِ پنبه‌دانه (یعنی مجموع ردپای آب آبی و سبز)، ۳۶۰۰ لیتر بر کیلوگرم است. با این حال، ردپای آب مصرفی برای ۱۰ درصد اول از کل پنبه‌ی تولید شده در جهان، برابر و یا کم‌تر از ۱۶۷۰ لیتر بر کیلوگرم است. ردپای آب مصرفی برای ۲۰ درصد اول از کل پنبه‌ی تولیدی در جهان، برابر و یا کم‌تر از ۱۸۲۰ لیتر بر کیلوگرم است (Mekonnen and Hoekstra, 2014a). در ازبکستان، که بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی پنبه در آسیای مرکزی است، ردپای آب مصرفیِ پنبه، ۴۴۲۶ لیتر به ازای هر کیلوگرم پنبه‌دانه‌ی تولید است (جدول ۷–۲). در ترکمنستان و تاجیکستان، که در رتبه‌های بعدی از حیث مجموع پنبه تولیدی در جهان قرار گرفته‌اند، وضعیت بدتر است. با بیانی دیگر، فقط از دیدگاه بهره‌وری آب به تنهایی، تولید پنبه در آسیای مرکزی، گزینه‌ای مناسب نخواهد بود. ردپای آب مصرفی برای ۲۰ درصدِ آخر از کل پنبه‌ی تولیدی در جهان (بدترین وضعیتِ تولید از نظر ردپای آب)، حدود ۵۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم می‌باشد؛ این در حالی است که ردپای آب برای تولید پنبه در کشورهای ترکمنستان و تاجیکستان، از این حد نیز بیش‌تر است. نگاهی به بنچ‌مارک‌ها نشان می‌دهد که امکان بهبود وضعیت و کاهش ردپای آب در فرآیند تولید پنبه در آسیای مرکزی وجود دارد. هیچ مسأله‌ی خاص و ویژه‌ای در این مناطق وجود ندارد که بتواند مقادیرِ اندکِ بهره‌وری آب در آن‌ها در مقایسه با

دیگر مناطق جهان را توجیه نماید. اگر این سه کشور مهمِ تولیدکننده‌ی پنبه در منطقه‌ی آسیای مرکزی، که ردپای آب مصرفی پنبه در آن‌ها به طور میانگین در حدود ۵۰۰۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم پنبه‌دانه است، به گونه‌ای مدیریت نمایند که بتوانند ردپای آب پنبه‌ی تولیدیِ خود را به ۱۸۲۰ لیتر بر کیلوگرم (یعنی ردپایی که ۲۰ درصد اول کل پنبه‌ی تولیدی در جهان با آن به دست می‌آید) برسانند، مجموع آب مصرفی برای تولید پنبه در این کشورها تا حدود سه برابر کاهش خواهد یافت.

کشاورزان پنبه، تاجران پنبه، کارخانه‌های پنبه و دولت‌ها، باید با هم متحد بوده و یا یک‌دیگر همکاری نمایند تا بتوانند اهداف روشنی برای کاهش ردپای آب پنبه در این نواحی، همراه با یک جدول زمان‌بندی و طرح سرمایه‌گذاری شفاف، تدوین نمایند که به موجب آن، هزینه‌های لازم جهت نیل به این اهداف، نه‌تنها توسط دولت، که حتی توسط کارخانه‌های پنبه نیز قابل تأمین باشد. مصرف‌کنندگان، مجبور خواهند بود که به طور غیرمستقیم، بهای پنبه‌ی مصرفی خود را بپردازند. در این بخش، روی مرحله‌ی کشت و رشد پنبه متمرکز شدیم. این در حالی است که آب در مرحله‌ی فرآوری پنبه نیز مصرف و آلوده می‌شود. می‌توان بنچ‌مارک‌های ردپای آب پنبه که در هریک از مراحل مربوط به زنجیره‌ی تأمین آن، نه فقط برای آب مصرفی که حتی برای آب آلوده‌شده نیز تدوین می‌شوند را با یک‌دیگر ترکیب نمود تا در نهایت بتوان به بنچ‌مارکی برای ردپای آب مربوط به پارچه‌ها و لباس‌هایی که در فروشگاه‌ها خریداری می‌شود، دست یافت. مصرف‌کنندگان، حق دارند که اطلاعاتی درباره‌ی تاریخچه‌ی تی‌شرت و یا شلواری که می‌پوشند داشته باشد؛ از جمله این‌که آیا ردپای آب این محصولات، با مقادیر بنچ–مارکشان برابر بوده است یا خیر.

قرار دادن حدی برای ردپای آب آبی در حوضه‌ی آبریز دریای آرال

پنبه، تنها گیاه آب‌بر در حوضه‌ی آبریز دریای آرال نیست. تولید غلات و علوفه نیز آب زیادی مصرف می‌کند. در حقیقت، این مجموع آب مصرفی توسط تمامی محصولات است که باعث ناپدید شدن دریای آرال شده است. صرفه‌جویی آب به واسطه‌ی افزایش بهره‌وری آب حین تولید گیاهان، اهمیت بسیاری دارد؛ لکن، به دو دلیل کافی نیست. اول آن‌که ارتقای بهره‌وری آب، به سرعت امکان‌پذیر نیست. دوم آن‌که، اگر قرار باشد کشاورزان، آب کم‌تری برای تولید مقدار معینی محصول مصرف نمایند، احتمالاً میزان تولید خود را افزایش خواهند داد و در نتیجه، صرفه‌جویی آب به معنای واقعی صورت نخواهد گرفت. بنابراین، علاوه بر کاهش ردپای آب به ازای هر کیلوگرم پنبه‌دانه‌ی تولیدی، کارهای دیگری نیز نیاز خواهد بود. دولت‌هایی که در حوضه‌ی آبریز دریای آرال واقع شده‌اند، باید با یک‌دیگر به توافقی برای مقدار ردپای آب آبیِ مجاز در این حوضه برسند و مقرراتی را وضع نمایند که مطمئن باشند ردپای

آب آبی واقعی در این حوضه، کم‌تر از این حد باقی خواهد ماند. "سقف ردپای آب[1]" ، حداکثر ردپای آبی است که نباید از آن تجاوز نمود. این اصطلاح، مانند اصطلاح "سقف ردپای کربن[2]" یا به اختصار، "سقف کربن[3]" است. با این تفاوت که سقف مربوط به میزان مجاز انتشار گازهای گلخانه‌ای، حدی است که باید در مقیاس جهانی تعریف شود، در حالی‌که سقف ردپای آب، حدی است که باید در سطح حوضه‌ی آبریز تعریف شود. به منظور افزایش شانس موفقیت حین اجرای طرح، باید سقف ردپای آب آبی برای حوضه‌ی آبریز دریای آرال را در حد قابل‌توجهی کم‌تر از ردپای آب آبی فعلی در این حوضه تعریف نمود، اما در ابتدا نباید خیلی زیاد در این زمینه اغراق نمود. به منظور اطمینان از پایداری بلندمدت، باید این سقف را به تدریج کاهش داد و به یک سطح پایدار معینی رساند، به نحوی که رعایت این سقف (یعنی محدود نمودن مصارف آبی به این حد)، این اطمینان را به ما بدهد که سطح آب دریای آرال، در درازمدت در حد قابل‌قبولی باقی خواهد ماند. با چنین تحلیلی، یک مسأله مشخص می‌شود: همکاری‌های منطقه‌ای، شرط لازم برای پایداریِ آن مناطق خواهد بود.

استفاده از دیگر الیاف به جای پنبه؟

ردپای آب الیاف پنبه‌ای، در حد قابل‌توجهی بیش‌تر از ردپای آب دیگر الیاف گیاهی است. برای انجام مقایسه‌ای درست، ما پرز پنبه[4] که الیاف پنبه‌ای است که از پنبه‌دانه جدا می‌شود، را با دیگر الیاف گیاهی مقایسه می‌کنیم. میانگین جهانی کل ردپای آب پنبه‌دانه (یعنی مجموع ردپای آب سبز، آبی و خاکستری)، ۴۰۳۰ لیتر بر کیلوگرم است. پنبه‌دانه، به دانه‌های پنبه (۶۳ درصد از کل وزن پنبه دانه، با ارزش اقتصادیِ نسبیِ ۲۱ درصد)، و پرز پنبه (۳۵ درصد از کل وزن پنبه دانه، با ارزش اقتصادیِ نسبیِ ۷۹ درصد) تفکیک می‌شود. بنابراین ردپای آب پرز پنبه برابر با ۹۱۰۰ ($= 4030 \times \frac{0.79}{0.35}$) لیتر بر کیلوگرم خواهد بود. حین فرآوردی پرز پنبه به پارچه‌ی نخی، مجدداً بخشی از وزن این ماده‌ی اولیه کاسته خواهد شد، بنابراین ردپای آب پارچه‌ی نخی، مقداری بزرگ‌تر خواهد بود. با این روش، به عدد ۱۰۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم که در ابتدای فصل آن را ردپای آب تی‌شرت و شلوار معرفی کردیم، خواهیم رسید. با هدف انجام مقایسه‌ای عادلانه بین الیاف گیاهی مختلف، می‌توان ردپای آب به ازای هر کیلوگرم الیاف حاصل از این گیاهان و یا ردپای آب به ازای هر کیلوگرم محصول نهاییِ به‌دست آمده از الیاف آن‌ها را با هم مقایسه نمود. اختلاف چندانی بین خروجی حاصل از این دو نوع مقایسه وجود ندارد، زیرا

1 Blue water footprint cap
2 Carbon footprint cap
3 Carbon cap
4 Cotton lint

بیش‌ترین اختلاف بین آن‌ها، به دلیل اختلاف موجود در میزان آب مصرفی حین مرحله‌ی رشد این گیاهان، و نه به دلیل اختلاف موجود بین آب مصرفی در مرحله‌ی فرآوری الیاف به فرآورده‌ی نساجی نهایی، می‌باشد. در این بخش، ردپای آب پرز پنبه را با ردپای آب الیاف به دست آمده از دیگر گیاهان با هم مقایسه می‌کنیم. یک تصویر کلی از چنین مقایسه‌ای در جدول ۷–۳ ارائه شده است. این جدول نشان می‌دهد که به طور متوسط، ردپای آب الیاف پنبه، تا حدی بیش‌تر از ردپای آب الیاف سیزال و الیاف آگاو[1]، و خیلی بیش‌تر از ردپای آب الیاف رامی و کتان، و خیلی زیاد بیش‌تر از ردپای آب الیاف کنف و جوت است. نمی‌توان به سرعت به این نتیجه‌گیری رسید که ما باید الیاف پنبه‌ای را با مثلاً الیاف کنفی جایگزین نماییم، زیرا الیاف مختلف با هم فرق دارند و پارچه‌هایی که با الیاف مختلف تهیه می‌شوند، ویژگی‌های متفاوتی دارند، اما از سویی دیگر، این مطالب نشان می‌دهد که کسب اطلاعاتی در این زمینه که پنبه، چه فرقی با کنف و یا دیگر الیاف گیاهی داشته و این‌که تا چه حد و برای چه کاربردهایی، می‌توان پنبه را با دیگر الیاف گیاهی جایگزین نمود، ارزشمند خواهد بود. همچنین، می‌توان کارآیی الیاف گیاهی را با الیاف حیوانی (مانند انواع مختلف نخ‌های پشمی)، الیاف چوبی و الیاف مصنوعی (که عمدتاً از نفت به‌دست می‌آیند)، مقایسه نمود. البته میزان آب مصرفی توسط این الیاف، تنها یکی از شاخص‌های متعددی است که می‌توان آن‌ها را در چنین مقایسه‌ای به‌کار برد.

جدول ۷–۳. میانگین جهانی ردپای آب برای تولید الیاف گیاهی مختلف. بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶

محصول	میانگین جهانی ردپای آب (لیتر بر کیلوگرم)			
	سبز	آبی	خاکستری	کل
الیاف آباکا[2]	21,529	273	851	22,653
پرز پنبه	5,163	2,955	996	9,114
الیاف سیزال	6,791	787	246	7,824
الیاف گاوآ	6,434	9	106	6,549
الیاف رامی	3,712	201	595	4,508
الیاف کتان	2,866	481	436	3,783
الیاف کنف	2,026	0	693	2,719
الیاف جوت	2,356	33	217	2,606

منبع داده: مکونن و هوکسترا (2011b)[3]

1 Agave fiber
2 Abaka fiber
3 Mekonnen and Hoekstra (2011b)

اخیراً، ما میزان آب موردنیاز در زنجیره‌ی تولید ابریشم در مالاوی[1] را محاسبه نمودیم و به ردپای آبی بین ۵۰۰۰۰ تا ۸۰۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم رسیدیم (Hogeboom and Hoekstra, 2017). کم‌ترین تخمین برای حالتی به‌دست آمد که در آن، کرم‌های ابریشم، از باغ‌های شاتوت تحت آبیاری قطره‌ای توأم با استعمال مالچ‌های ارگانیکی، تغذیه می‌کردند. همچنین، بیش‌ترین تخمین نیز برای پرورش کرم ابریشم در باغ‌های دیم شاتوت به‌دست آمد. در باغات آبی، تاثیر مثبتی که آبیاری می‌تواند بر سطح برگ‌های شاتوت و متعاقباً بر میزان ابریشم تولیدی بگذارد، اثرات منفی ناشی از مصرف آب بیش‌تر را جبران می‌کند. به‌رغمِ بزرگ بودن مقدار ردپای آب به ازای هر کیلوگرم ابریشم تولیدی، کشاورزان به دلیل ارزش اقتصادی زیاد ابریشم، تمایل زیادی به تبدیل باغات دیم به آبی دارند. نتایج ما نشان داد که بهره‌وری اقتصادی آب و زمین برای ابریشیمی که در باغات آبی شاتوت تولید می‌شود، بسیار بیش‌تر از مقادیر این بهره‌وری‌ها برای تولید سایر گیاهان موجود می‌باشند. پرورش کرم ابریشم[2] به سبب آبیاری درختچه‌های شاتوت، قطعاً منتج به افزایش فشار وارد آمده بر منابع آب محلی خواهد شد. این‌که آیا چنین کاری، در یک محل، کاری پایدار محسوب می‌شود یا خیر، تا حد زیادی به وسعت اراضی تحت کشت برای تولید ابریشم و میزان آب مورد نیاز برای آن در مقایسه با میزان آب در دسترس در آن محل بستگی دارد. پر واضح است که در مقیاس بزرگ و از نظر میزان آب مصرفی، تولید ابریشم در مقایسه با تولید پنبه کارآمد نخواهد بود.

به طور کلی، در بسیاری از نقاط جهان، میزان آبی که در فرآیند تولید پنبه مصرف یا آلوده می‌شود، بیش از حد نیاز است. خشک‌شدن دریای آرال، نمونه‌ی اندوهناکی است که در شرایطی اتفاق می‌افتد که از یک‌سو، بهره‌وری آب بسیار پایین است و از سوی دیگر، مجموع آب مصرفی برای تولید پنبه، فراتر از ظرفیت حوضه است. برداشت بی‌رویه از منابع آب به دلیلِ تولید پنبه، تنها مختص آسیای مرکزی نیست، بلکه می‌توان آن را در مکان‌های بسیار دیگری نیز مشاهده نمود. علاوه بر دیگر گیاهان آبی، تولید پنبه، باعثِ کمبود آب در مکان‌هایی دیگری مانند حوضه‌های آبریز ایندوس (در پاکستان)، دجله و فرات (در ترکیه تا عراق)، کلرادو (در ایالات متحده‌یآمریکا) و موری[3] (در استرالیا) نیز شده است. از آنجایی‌که پنبه، وجهه‌ای جهانی دارد، واضح است که چالشِ تغییر سیستم تولید و مصرف پنبه به سیستمی پایدار نیز چالشی جهانی بوده و به موجب آن، مصرف‌کنندگان، در صورتی که متقاضیِ پنبه‌ی پایدار باشند، عنصری سازنده در رفع این چالش خواهند بود. به طور مشابه، اگر کارخانه‌های نساجی نیز در این زمینه مسئولیت‌پذیر باشند، با فرآهم آوردن اطلاعاتی شفاف پیرامون کالاهای ارائه شده‌شان، و

1 Malawi
2 Sericulture
3 Murray

با داشتن مشارکتی فعال با کشاورزان پنبه برای کمک به آن‌ها برای پایدارتر نمودن تولیدشان، می‌توانند در رفع این چالش، بسیار موثر باشند. در نهایت، چنان‌چه ما، به جای آن‌که در هر فصل از سال لباس‌هایی نو بخریم، همان لباس‌هایی که داریم را بپوشیم، و اگر پنبه‌ی مربوط به لباس‌هایی که دور می‌ریزیم، بازیافت شود، در این صورت، تقاضا برای تولید پنبه‌ی خام در حد قابل‌توجهی کاهش خواهد یافت.

فصل هشتم

تغییر منابع انرژی: چگونه باعث کاهش توامان ردپای کربن و ردپای آب شویم؟

پیوند آب–انرژی، به مبحثی داغ تبدیل شده است. این درک، رو به رشد است که سیاست‌های آب و انرژی، باید به نوعی در تعامل با یک‌دیگر باشند، زیرا تولید انرژی، به آب نیاز دارند و تأمین آب، نیازمند صرف انرژی است. در گذشته، و در حقیقت باید گفت از گذشته تا به امروز، غالباً هیچ‌گونه ارتباطی بین سیاست‌های آب و انرژی وجود نداشته است. اگرچه تاکنون تلاش‌هایی به صورت جداگانه هم برای بهبود کارآیی مصرف آب و هم برای بهبود کارایی انرژی صورت گرفته است، ولی دو روند جالب را می‌توان مشاهده نمود. اول آن‌که، بخش آب، به بخشی بسیار انرژی‌بر تبدیل شده است؛ مثلاً می‌توان به انرژی زیادی که برای پمپاژ آب‌های زیرزمینی از عمیق‌ترین منابع آب، ساخت تجهیزات و انتقال آب در شماهای انتقال آب بین‌حوضه‌ای، و شوری‌زدایی از منابع آب نامتعارف لازم است، اشاره نمود. دوم آن‌که، بخش انرژی نیز به بخشی بسیار آب‌برتر تبدیل شده است. این مسأله به‌ویژه به دلیل تمرکز روزافزون روی تولید زیست‌توده منبع اصلی استخراج انرژی می‌باشد. در تمام سناریوهای انرژی برای دهه‌های پیش‌رو، تمایل به افزایش سهم انرژیِ زیستی[1] وجود دارد.

در این فصل، من قصد ندارم که تمامی جنبه‌های پیوند آب–انرژی و همه‌ی چالش‌های مربوط به آن را بررسی نمایم، بلکه تمرکز اصلی من، تنها روی این سوال است که چه‌قدر آب برای تولید انواع انرژی لازم بوده و چگونه می‌توان در حالی به جامعه‌ای بدون مصرف سوخت فسیلی تبدیل شد که ردپای آب در بخش انرژی افزایش نیابد. ابتدا، به تفصیل درباره‌ی ردپای آب انرژی زیستی بحث می‌کنم، زیرا بسیار ترویج شده که این نوع انرژی، می‌تواند به عنوان جایگزینی برای انرژی فسیلی باشد. این در حالی است که ردپای آب برای تولید هر واحد انرژی از سوخت‌های زیستی بسیار زیاد است. من درباره‌ی به اصطلاح سوخت‌های زیستی نسل اول و نسل بعد[2]، و همچنین، هیزم و الکتریسته‌ی زیستی صحبت خواهم نمود. پس از مبحث انرژی‌زیستی، درباره‌ی انرژی برقابی صحبت خواهم نمود، زیرا تولید انرژی برقابی، دومین مصرف‌کننده‌ی بزرگ آب در بخش انرژی است. سپس، درباره‌ی میزان آب مورد نیاز برای انرژی‌های به‌دست آمده از دیگر منابع بحث نموده و این مبحث را با منابعی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ مانند زغال‌سنگ، نفت، گاز و انرژی هسته‌ای، آغاز نموده و سپس منابعی که در آینده مورد استفاده قرار خواهند گرفت؛ مانند انرژی‌های خورشیدی، بادی و حرارتی، را بررسی خواهم نمود. این فصل، با بیان این مطلب که ما چگونه می‌توانیم سیاست‌های آب و انرژی را به گونه‌ای با هم هماهنگ نماییم که بتوانیم هر دو ردپای آب و کربن را کاهش دهیم، به اتمام خواهد رسید.

1 Bioenergy
2 First and next generation biofuels

انرژی زیستی

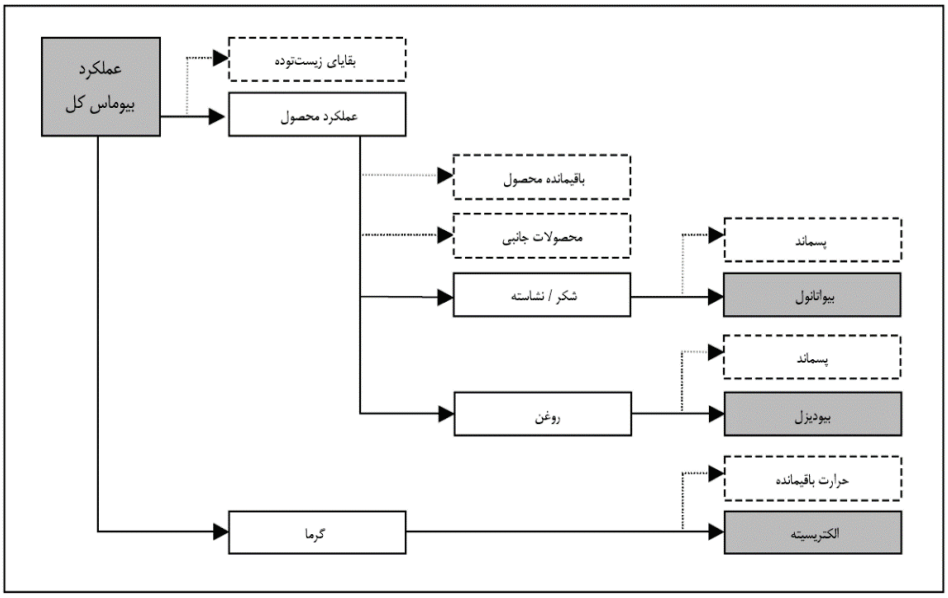
افزایش تقاضا برای غذا، همگام با تغییر رویه از سمت استفاده از انرژی‌های فسیلی به انرژی‌های زیستی، میزان فشار بر منابع آب شیرین در جهان را افزایش خواهد داد. در بخش‌های زیادی از جهان، آب موردنیاز در بخش کشاورزی با آب‌های مورد نیاز برای مصارف خانگی، شهری و صنعت، رقابت می‌کند، این در حالی است که بررسی وضعیتِ پیکره‌های آبی، حاکی از نشانه‌های تخریب کیفیت و تنزل مقدار آب این پیکره‌هاست. اتحادیه‌ی اروپا، ایالات متحده‌ی آمریکا، برزیل، چین و بسیاری از کشورهای دیگر، سیاست‌ها و اهدافی را برای جایگزنی بخشی از نفت مصرفی با سوخت‌های زیستی، پایه‌گذاری نموده‌اند. نکته‌ی مهم آن است که پرورش گیاهان در بخش کشاورزی با هدف تولید انرژی‌های زیستی به آن معناست که دیگر نمی‌توان از آب و زمین مصرفی در این هدف برای تولید غذا استفاده نمود؛ یعنی تولید انرژی رقیبی برای تولید غذا از حیث استفاده از آب و زمین محسوب می‌شود. اگر زمین و آبی به تولید انرژی‌های زیستی اختصاص داده شود که قبلاً برای تولید غذا یا تأمین دیگر اهداف بشر مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گرفتند، این به آن معناست که برای تولید انرژی‌های زیستی، از آب و زمینی که باید به هدف حفظ بقای پوشش گیاهی طبیعی اختصاص می‌بافت و یا آبی که باید برای حفظ اکوسیستم رودخانه در آن جریان می‌یافت، استفاده شده است و این مصرف، به معنی نقض نیاز زیست‌محیطی می‌باشد. کشت‌های وسیع زیست‌توده‌ها برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های زیستی، تقاضای آب را در آینده افزایش خواهد داد (Berndes, 2002). سوال مهم آن است که آیا ما باید منابع آب شیرین خود را به تولید انرژی‌های زیستی اختصاص دهیم یا به تولید غذا؟ بانک جهانی، تولید سوخت‌های زیستی را عامل اصلیِ افزایش قیمت غذا بیان می‌دارد. بر اساس تخمین بانک جهانی، ۷۵ درصد از میزان افزایش قیمت غذا در بازه‌ی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۷، مربوط به سوخت‌های زیستی بود (Mitchell, 2008). افزایش قیمت غذا می‌تواند منتج به کاهش امنیت غذایی برای افراد فقیر شود.

منابع تولید انرژی‌های زیستی، می‌تواند گیاهان، درختان و یا جلبک‌هایی که به طور خاص برای این هدف کشت می‌شوند، بقایای گیاه و چوب، یا بقایای ارگانیکِ گیاهان و حیوانات باشند. بسیاری از گیاهانی که برای تولید انرژی زیستی استفاده می‌شوند، این قابلیت را دارند که به عنوان غذا یا علوفه نیز مصرف شوند (البته نه به صورت همزمان). درختانی که برای تهیه‌ی هیزم قطع می‌شوند، دیگر نمی‌توانند برای تولید فرآورده‌های چوبی مانند تمبر و کاغذ مورد استفاده قرار بگیرند. بقایای گیاهی که برای تولید انرژی‌های زیستی مصرف می‌شوند، دیگر نمی‌توانند برای علوفه‌ی حیوانی مصرف شوند و یا نمی‌توانند به عنوان مالچ، برای افزایش حاصلخیزی خاک، روی سطح زمین باقی بمانند. استفاده از

زیست‌توده برای تولید انرژی، همواره بهایی خواهد داشت؛ به نحوی که چنین کاری، مانع انجام کار جایگزین دیگری که می‌توانست به جای آن صورت بگیرد، خواهد شد.

زیست‌توده‌ها می‌توانند با هدف تولید گرما و الکتریسته سوزانده شوند، اما آن‌ها همچنین می‌توانند برای تولید بیواتانول یا بیودیزل نیز استفاده شوند. ترکیبات زیست‌توده و میزان گرمای حاصل از احتراق بر اساس سوخت‌های زیستی مایعی که می‌توانند جایگزین انرژی‌های فسیلی در وسایل نقلیه‌ی موتوری و یا دیگر موارد شوند (شکل ۸–۱). تعیین می‌شود و بر اساس این اطلاعات، گیاهانی که می‌توانند برای تولید سوخت‌های زیستی به‌کار روند تعیین می‌شوند. سوخت‌های زیستی اغلب در دو گروه سوخت‌های زیستی نسل اول و نسل دوم طبقه‌بندی می‌شوند. سوخت‌های زیستی نسل اول، بیواتانول و بیودیزلی هستند که با به‌کارگیری تکنولوژی‌های مرسوم، از گیاهان ساخته می‌شوند؛ این تکنولوژی‌ها شامل تخمیر محتوای کربوهیدرات‌های گیاه (یعنی شکر و نشاسته) به اتانول، یا استخراج روغن از گیاهان روغنی و فرآوری نمودن آن‌ها به بیودیزل می‌باشند.

اغلبِ سوخت‌های زیستیِ نسل اول، به نوعی رقیبی برای غذای انسان محسوب می‌شوند، زیرا بیشترِ گیاهانی که برای تولید سوخت‌های زیستی به کار می‌روند (مثل چغندر قند، نیشکر، ذرت، کلزا، سویا، روغن نخل)، می‌توانند برای غذا (یا علوفه‌ی حیوانی) نیز مصرف شوند. سوخت‌های زیستی نسل دوم، تمام سوخت‌هایی هستند که به صورت مستقیم، رقیبی برای غذای انسان محسوب نمی‌شوند، زیرا این سوخت‌ها از زیست‌توده‌هایی به دست می‌آیند که قابل مصرف توسط بشر نیست. زیست‌توده‌ها، تنها حاوی شکر، نشاسته و روغنی که قابل فرآوری شدن به سوخت‌های زیستی باشند، نیستند. آن‌ها همچنین، حاوی مقدار زیادی زیست‌توده‌ی سلولزی هستند. بخش سلولزیِ زیست‌توده‌ها، برای تولید غذا مناسب نیست. بنابراین ما می‌توانیم از سوزاندن آن برای تولید انرژی استفاده– کنیم که این کار، باعث حرارت می‌شود و بخشی از آن به نوبه‌ی خود، می‌تواند به الکتریسیته تبدیل شود. همچنین، زیست‌توده‌ی سلولزی، می‌تواند با به‌کارگیری تکنیک‌های ترموشیمیایی یا بیوشیمیایی، به سوخت‌های زیستی تبدیل شود که البته این تکنیک‌ها، هنوز در حال بررسی برای ارتقای کارآیی آن‌ها و همچنین آماده‌سازی برای استفاده در مقیاس‌های وسیع هستند. انتظار می‌رود که مواد سلولزی، با به‌کارگیری تکنیک‌هایی که هنوز در دست توسعه هستند، به منبعی جذاب برای تولید سوخت‌های زیستیِ نسل دوم تبدیل شود. با این وجود، در حال حاضر، این منابع، نقشی در تأمین انرژی ما ندارند. من این منابع را در ادامه بررسی خواهم نمود؛ لکن، ابتدا، بیش‌تر به سوخت‌های زیستی نسل اول خواهم پرداخت.



شکل ۸–۱. روش‌های معمول استفاده شده برای تبدیل زیست‌توده به انرژی. کل زیست‌توده‌ی تولیدی را می‌توان به گرما، و سپس به الکتریسیته تبدیل نمود. به طور جایگزین، می‌توان محصول گیاه، که بخشی از کل زیست‌توده است را جهت تولید بیواتانول (برای گیاهان نشاسته‌ای و قندی) یا بیودیزل (برای گیاهان روغنی) استفاده نمود. در هر مرحله از رنجیره‌ی تولید، بقایای گیاهی و یا خاکستر تولید می‌شود. برگرفته از گربنز–لنز و همکاران (Gerbens-Leenes *et al.*, 2009b).

ردپای آب سوخت‌های زیستی به‌دست آمده از گیاهان قندی، نشاسته‌ای و روغنی

سوخت‌های زیستیِ نسل اول، از فرآوری محتوای شکر، نشاسته و یا روغن گیاهان به بیواتانول یا بیودیزل به دست می‌آید. گیاهان قندی (چغندر قند و نیشکر)، و گیاهان نشاسته‌ای (غلاتی مانند جو، ذرت، برنج، چاودار، سورگوم و گندم، و فیبرهایی مانند کاساوا و سیب‌زمینی)، می‌توانند برای تولید بیواتانول استفاده شوند؛ گیاهان روغنی (مثلاً کلزا، سویا، روغن نخل و جاتروفا) می‌توانند برای تولید بیودیزل استفاده شوند. کارآیی گیاهان مختلف برای تولید سوخت‌های زیستی، عمدتاً به میزان گیاه تولیدی در واحد سطح و به ازای هر واحد آب مصرفی، و به محتوای قند، نشاسته و روغن در زیست‌توده‌ی گیاه بستگی دارد.

میزان انرژی به‌دست آمده از اتانول حاصل از یک گیاه (بر حسب مگاژول بر کیلوگرم)، به کسر ماده‌ی خشک گیاه (گرم بر گرم)، کسرکربوهیدرات موجود در ماده‌ی خشک گیاه (گرم بر گرم) و به

ارزش گرمایی بالاتر بیواتانول[1] (مگاژول بر کیلوگرم) بستگی دارد. در مقابل، انرژی بیودیزلی به‌دست آمده از یک گیاه (مگاژول بر کیلوگرم)، به کسر ماده‌ی خشک موجود در محصول به‌دست آمده از گیاه (گرم بر گرم)، کسر چربی در ماده‌ی خشک موجود در محصول به‌دست آمده از گیاه (گرم بر گرم)، میزان بیودیزل به‌دست آمده به ازای هر واحد چربی (گرم بر گرم) و به ارزش گرمایی بالاتر بیودیزل[2] (مگاژول بر کیلوگرم) بستگی دارد. ردپای آب اتانول به‌دست آمده از گیاه بر حسب لیتر بر مگاژول، از تقسیم ردپای آب گیاه بر حسب لیتر بر کیلوگرم بر انرژی اتانولی به‌دست آمده از گیاه بر حسب مگاژول بر کیلوگرم محاسبه شد. ردپای آب انرژی بیودیزلی به‌دست آمده از گیاه نیز با روشی مشابه محاسبه شد.

میزان ردپای آب سوخت‌های زیستی به نوع گیاه و محل تولید آن‌ها بستگی داشته و متناسب با آن‌ها تغییر می‌کند. گیاهان، از نظر میزان عملکرد و آب مصرفی در واحد سطح و از نظر نوع ترکیباتشان و در پی آن، میزان انرژی قابل استحصال از آن‌ها با هم فرق دارند. حتی اگر یک گیاه خاص هم در نظر گرفته شود، باز به دلیل تغییرات زمانی و مکانی عملکردها و تفاوت‌هایی که در ترکیبات مربوط به گونه‌های مختلف این گیاه وجود دارد، اختلاف‌های زیادی بین ردپای آب سوخت زیستیِ به‌دست آمده از گونه‌های مختلف همین گیاه خاص در مکان‌ها و زمان‌های مختلف وجود خواهد داشت. عملکرد گیاه، تحت شرایط اقلیمیِ مختلف و ویژگی‌های خاک و فعالیت‌های کشاورزی تغییر می‌کند. جدول ۸–۱، میانگین جهانی ردپای آب سبز، آبی و خاکستریِ سوخت‌زیستی برای برخی از گیاهانی که مولد تولید بیواتانول یا بیودیزل هستند را نشان می‌دهد. مقادیر ارائه شده در این جدول، هم بر حسب لیتر آب مصرفی به ازای تولید هر لیتر سوخت‌زیستی، و هم بر حسب لیتر آب مصرفی به ازای هر مگاژول انرژی به دست آمده، می‌باشند.

در شکل ۸–۲، ردپای آب کل سوخت‌های زیستی به‌دست آمده از انواع گیاهان، رتبه‌بندی شده است. یافته‌ی کلی حاصل از این جدول و شکل آن است که اتانول به‌دست آمده از گیاهان قندی (چغندر قند و نیشکر)، ردپای آب کم‌تری نسبت به اتانول به‌دست آمده از دیگر گیاهان (مانند ذرت) داشته و بیودیزل به‌دست آمده از گیاهان روغنی، اغلب، ردپای آب بزرگ‌تری در مقایسه با بیواتانول دارد. در میان گیاهان مولد بیواتانول، چغندر قند، کم‌ترین مقدار میانگین جهانی ردپای آب (۱۲۰۰ لیتر آب به ازای هر لیتر اتانول تولیدی، معادل ۵۰ لیتر آب به ازای هر مگاژول انرژی تولیدی) را داشت. بیواتانول به‌دست آمده از گیاه سوگوم، بیش‌ترین ردپای آب را داشت و مقدار آن، ۷۰۰۰ لیتر آب به ازای هر لیتر اتانول، یعنی ۳۰۰ لیتر بر مگاژول بود. از بین گیاهانی که اینجا ارائه شده‌اند، بیودیزلی که از نارگیل به

1 The higher heating value of ethanol
2 The higher heating value of biodiesel

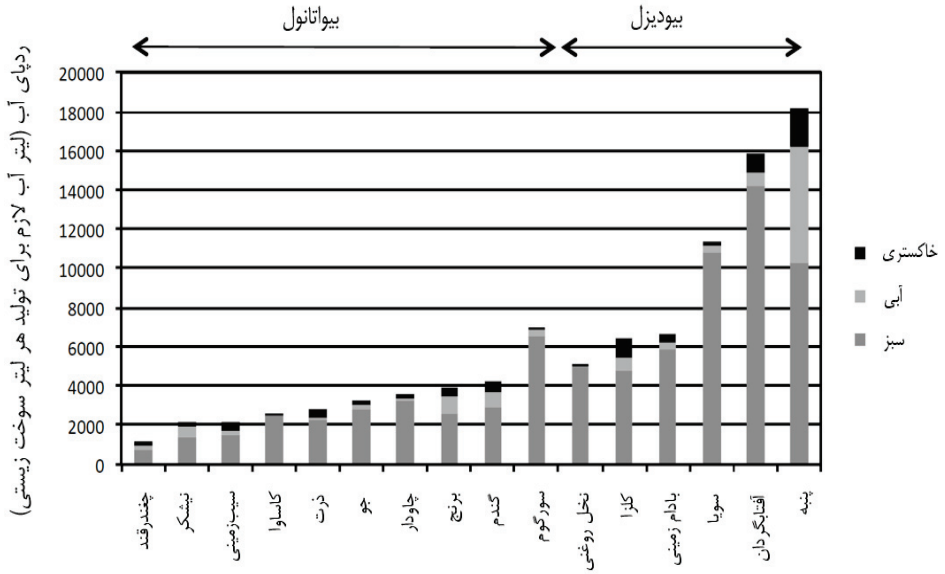
دست می‌آید، بیش‌ترین ردپای آب را دارد: یعنی ۱۵۸۰۰۰ لیتر بر لیتر، معادل ۴۷۵۰ لیتر بر مگاژول. بیودیزل حاصل از نخل روغنی، کلزا و بادام زمینی، کارآیی بیش‌تری داشته و مقادیر ردپای آن‌ها، بین ۵۰۰۰–۷۰۰۰ لیتر بر لیتر (معادل ۲۰۰–۱۵۰ لیتر بر مگاژول) متغیر بود. بیش‌ترین ردپای آب آبی، برای بیودیزل حاصل از پنبه به دست آمد و مقدار آن ۱۷۷ لیتر بر مگاژول (معادل ۳۲ درصد از ردپای آب کل) بود.

جدول ۸–۱. میانگین جهانی ردپای آب در فرآیند تولید سوخت‌های زیستی با استفاده از ۱۰ گیاه مولد بیواتانول و ۷ گیاه مولد بیودیزل: بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶

گیاه	ردپای آب به ازای هر واحد انرژی			ردپای آب به ازای هر واحد سوخت‌زیستی		
	سبز	آبی	خاکستری	سبز	آبی	خاکستری
گیاهانی که بیواتانول تولید کنندمی	لیتر آب بر مگاژول اتانول			لیتر آب بر لیتر اتانول		
جو	119	8	13	2,796	182	302
کاساوا	106	0	3	2,477	1	60
ذرت	94	8	19	2,212	190	453
سیب‌زمینی	62	11	21	1,458	251	483
برنج، شالی	113	34	18	2,640	785	430
چاودار	140	2	10	3,271	58	229
سورگوم	281	10	9	6,585	237	201
چغندر قند	31	10	10	736	229	223
نیشکر	60	25	6	1,400	575	132
گندم	126	34	20	2,943	789	478
گیاهانی که بیودیزل تولید کنندمی	لیتر آب بر مگاژول بیودیزل			لیتر آب بر لیتر بیودیزل		
نارگیل	4,720	3	28	156,585	97	935
بادام زمینی	177	11	12	5,863	356	388
نخل روغنی	150	0	6	4,975	1	190
کلزا	145	20	29	4,823	655	951
پنبه‌دانه	310	177	60	10,274	5,879	1,981
سویا	326	11	6	10,825	374	198
آفتابگردان	428	21	28	14,200	696	945

منبع داده‌ها: مکونن و هوکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2011a).

با مقایسه‌ی داده‌های مربوط به دو کشور اصلیِ تولیدکننده‌ی بیواتانول، یعنی برزیل و ایالات متحده‌ی آمریکا، دریافتیم که در برزیل، اتانولی که از نیشکر به‌دست می‌آید، کارآیی بیش‌تری در مقایسه با اتانولی که از ذرت به دست می‌آید دارد (ردپای آب معادل ۱۳۸۰ در مقابل ۴۰۷۷ لیتر آب به ازای هر لیتر اتانول)؛ در حالی‌که در ایالات متحده‌ی آمریکا، ذرت، از این حیث بهتر از نیشکر می‌باشد (ردپای آب معادل ۱۷۸۰ در مقابل ۲۱۳۲ لیتر بر لیتر). گیاهان مختلفی که مواد اولیه‌یِ تولید بیودیزل محسوب می شوند، به کار می‌روند. رایج‌ترین گیاهان از این حیث، نخل روغنی (اندونزی و مالزی)، کلزا (در اروپا) و سویا (در ایالات متحده‌ی آمریکا) می‌باشند. بیودیزل به‌دست آمده از سویا، با داشتن میانگین ردپای آبی معادل ۱۱۴۰۰ لیتر مصرف آب به ازای هر لیتر بیودیزل تولیدی، نسبتاً ناکارآ است. در ایالات متحده‌ی آمریکا، ردپای آب سویا، که مهم‌ترین گیاه برای تولید بیودیزل در این کشور محسوب می‌شود، تا حدی بیش‌تر از میانگین جهانی آن است، اما هم‌چنان این ردپای آب، بزرگ قلمداد می‌شود و برابر با ۸۸۰۰ لیتر بر لیتر است. ردپای آب بیودیزل به‌دست آمده از کلزا، با دارا بودن میانگین جهانی‌ای برابر با ۶۴۰۰ لیتر بر لیتر، کم‌تر از ردپای آب بیودیزل حاصل از سویا می‌باشد. در آلمان، که بزرگ‌ترین تولیدکننده‌ی کلزا در اروپاست، ردپای آب بیودیزل حاصل از کلزا، ۳۵۰۰ لیتر بر لیتر می‌باشد که در حد قابل‌توجهی، کم‌تر از میانگین جهانی آن است.



شکل ۸-۲. میانگین جهانی ردپای سوخت‌های زیستی بر لیتر برای ۱۶ گیاه مختلف؛ بازه‌ی زمانی ۱۹۹۶-۲۰۰۵. منبع داده‌ها: مکونن و هوکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2001a).

نکته‌ای که باید درباره‌ی مقادیر ردپاهای آبی که اینجا ارائه شده‌اند گفته شود آن است که ما، مقدار تولید ناخالص انرژی را لحاظ نمودیم، نه مقادیر خالص آن را. بگذارید در این زمینه توضیح بدهم. در ارزیابی ردپای آب سوخت‌زیستی، میزان انرژی ناخالص به‌دست آمده از گیاه در نظر گرفته می‌شود. ما، انرژی‌های ورودی در زنجیره‌ی تولید، مانند انرژی مورد نیاز در بخش کشاورزی (مثلاً، انرژی مصرفی برای تولید کودها و مواد شیمیایی)، یا انرژی مصرفی حین تولیدِ صنعتیِ سوخت‌زیستی، را لحاظ ننمودیم. این به آن معناست که مقادیر ردپای آب سوخت‌های زیستی، به‌ویژه زمانی که ورودی‌های انرژی به سیستم‌های کشاورزی بزرگ باشند، کم‌برآورد می‌شوند؛ به عنوان مثال، اگر میزان انرژی ورودی، ۵۰ درصد از کل انرژی خروجی باشد (که این مسأله در سیستم‌های تولید انرژی زیستی امری رایج است (Pimentel and Patzek, 2005)) در این صورت، ردپای آب برای انرژی زیستی خالص تولید شده، دو برابرِ ردپای آب انرژی زیستی ناخالص تولیدی خواهد بود. نکته‌ی مهم بعدی آن است که ما تنها ردپای آب مربوط به پرورش گیاه برای تولید انرژی زیستی را محاسبه نمودیم. ما از آبی که در فرآیندهای صنعتی در زنجیره‌ی تولید انرژی زیستی مصرف می‌شود، صرف‌نظر نمودیم. اگرچه میزان ردپای آب در مرحله‌ی کشاورزیِ مربوط به زنجیره‌ی تأمین سوخت‌های زیستی، تقریباً بیش‌ترین اهمیت را دارد، اما مقدار واقعی ردپای آب سوخت‌های زیستی تنها زمانی به دست خواهد آمد که ردپای آب در تمامی مراحل زنجیره‌ی تأمین محاسبه شود.

ردپای آب سوخت‌های زیستیِ حاصل از مواد اولیه‌ی سلولزی

سوخت‌های زیستی نسل دوم، طیف بسیار وسیعی را در بر گرفته و مواد اولیه‌ی مختلفی در این طیف می‌توانند برای تولید چنین سوخت‌هایی به کار گرفته شوند: مانند گیاهان غیرخوراکی مانند سوئیچ‌گراس[1] یا میسکانتوس[2]، بقایای گیاهی موجود در باغچه‌ها و باغ‌ها، ساقه‌ها و شاخه‌های گیاهان، برگ‌ها، پوسته و دیگر بقایای گیاهی، تفاله‌های حاصل از فشردن میوه‌ها، درختان، چیپس‌های چوب، جلبک‌ها، پوست حیوانات، فضولات حیوانی و تمام انواع بقایای ارگانیکی که در بخش‌های خانگی و صنعتی تولید می‌شوند، مانند بقایای حاصل از فاضلاب‌های شهری، بی‌نهایت مواد اولیه‌ای وجود دارند که می‌توانند با هدف تولید سوخت‌های زیستی نسل دوم به کار گرفته شوند. سوخت‌های زیستیِ حاصله می‌توانند هم به صورت گازهای زیستی (مانند بیواتان یا گاز سنتزی[3]) و هم به صورت سوخت‌های مایع (مانند بیواتانول، بیومتانول یا بیودیزل) باشند. سوخت‌های زیستی نسل دوم، چه از نظر مواد اولیه‌ی

1 Switchgrass
2 Miscanthus
3 Syngas

مختلفی که می‌توانند برای تولید آن‌ها به کار گرفته شوند و چه از نظر روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی که می‌تواند برای تولید انرژی از آن‌ها استفاده شود، هنوز در ابتدای راه قرار داشته و در دست بررسی هستند. به این منظور، یکی از چالش‌ها، چگونگی تبدیل کارآمدِ محتوای لیگنوسلولزی گیاه به سوخت است. در حال حاضر، سوخت‌های زیستی نسل دوم تنها در موارد معدودی تولید شده‌اند، اما این تولید هنوز در مقادیر اندک صورت گرفته است. تنها در برخی پژوهش‌های محدود، ردپای آب سوخت‌های زیستی نسل دوم بررسی شده است. از این جهت، ارائه‌ی مقادیر خوبی برای این ردپاها میسر نیست که اغلبِ تکنیک‌ها هنوز در مرحله‌ی توسعه هستند و بنابراین، احتمال می‌رود که کارآیی این تکنیک‌ها، بهبود یابد. تمرکز اصلی در روند توسعه، به جای لحاظ میزان منابع مصرفی حین تولیدسوخت‌های زیستی نسل دوم، مشخصاً روی بهینه‌سازی اقتصادی این فرآیند است.

جامع‌ترین پژوهشی که تاکنون روی میزان آب مصرفی برای سوخت‌های زیستی نسل دومِ موجود وجود دارد، پژوهشی است که ما روی ردپاهای آب سوخت‌های زیستی برای ۱۰ نوع باقی‌مانده‌ی گیاهی (تفاله‌ی چغندر قند، باگاس‌های نیشکر، ساقه‌های کاساوا، کاه برنج، کاه گندم، کاه پنبه، کاه سویا، کاه کلزا، کاه ذرت و کاه آفتابگردان) و سه ماده‌ی اولیه‌ی دیگر برای تولید سوخت‌های زیستی نسل دوم (میسکانتوس، اکالیپتوس و کاج) انجام دادیم (Mathioudakis *et al.*, 2017). ما، تکنیک‌های مختلفی که منتج به تولید انواع انرژی‌های زیستی می‌شود را در نظر گرفتیم: احتراق برای تولید گرما و الکتریسیته، گاززدایی برای به دست آوردن گاز سنتزی (که این هم می‌تواند برای تولید گرما و الکتریسیته استفاده شود)، پرولیز کردن[1] برای تهیه‌ی روغن پرولیز[2]، و تخمیر جهت تولید بیواتانول. برای تمام مواد اولیه، ردپای آب گرمای حاصل از احتراق یا گاززدایی، بسیار شبیه هم هستند. ردپای آب الکتریسیته‌ی حاصل از احتراق، بین ۳۳ تا ۳۲۴ لیتر بر مگاژول متغیر بوده و ردپای آب الکتریسیته‌ی حاصل از فرآیند گاززدایی، بین ۲۱ تا ۱۰۴ لیتر بر مگاژول متغیر است. محاسبات ما نشان داد که ردپای آب سوخت‌های زیستیِ به‌دست آمده از بقایای گیاهی، کم‌تر از ردپای آب سوخت‌های زیستیِ به‌دست آمده از میسکانتوس و چوب است. همچنین، برای روغن پیرولیز، روغن به‌دست آمده از تفاله‌ی چغندر قند، باگاس‌های نیشکر و ساقه‌های کاساوا، کم‌ترین مقادیر ردپای آب را داشتند (۷ تا ۸ لیتر بر مگاژول). برای بیواتانول نیز، اتانول حاصل از تفاله‌ی چغندر قند، کم‌ترین مقدار ردپای آب (۶ لیتر بر مگاژول) را داشت. برای همه‌ی مواد اولیه، به استثنای تفاله‌ی چغندر قند، ردپای آب به ازای هر واحد انرژی، برای روغنی که حین پیرولیز شدن به‌دست آمده است، کم‌تر از بیواتانولی بود که حین تخمیر به دست آمد. سوخت‌های زیستیِ

1 یعنی تجزیه‌ی شیمیایی در اثر حرارت Pyrolysis

2 Pyrolysis oil

به‌دست آمده از کاج و اکالیپتوس، ردپاهای آب بزرگی داشتند: مقادیر آن‌ها، معادل ۱۱۰ لیتر بر مگاژول برای روغن پیرولیز حاصل از اکالیپتوس، ۱۶۰ لیتر بر مگاژول برای اتانول حاصل از اکالیپتوس، ۲۱۰ لیتر بر مگاژول برای روغن پیرولیز حاصل از کاج و ۴۹۰ لیتر بر مگاژول برای اتانول حاصل از کاج بود. میسکانتوس، که اغلب به عنوان ماده‌ی اولیه برای تولید سوخت‌های زیستی در آینده درنظر گرفته می‌شود، نیز ردپای آب نسبتاً بزرگی معادل ۶۳ لیتر بر مگاژول برای روغن پیرولیز و ۸۱ لیتر بر مگاژول برای اتانول داشت. توجه کنید که تمام مقادیر بالا، به آب مصرفی به ازای هر واحد انرژی ناخالص تولید اشاره می‌کند و مصرف انرژی در کل زنجیره‌ی تولید در این محاسبات لحاظ نشده است. بنابراین، ردپای آب به ازای هر واحد انرژی خالص تولیدی، در حد قابل توجهی بزرگ‌تر خواهد بود.

ردپای آب سوخت‌های زیستیِ حاصل از جلبک

جلبک می‌تواند برای تولید انواع مختلفی از سوخت‌های زیستی، از سوخت‌های زیستی مایع مانند بیودیزل، بیواتانول و بیوبوتانول گرفته تا گازهای سنتزی مانند متان، اتان، پروپان و هیدروژن، استفاده شود.به این منظور، جلبک‌های مختلف و تکنیک‌های مختلف برای تولید انرژی از آن‌ها وجود دارند. اغلبِ تکنیک‌ها، منتج به ترکیبی از انواع سوخت‌های زیستی می‌شوند. در تحقیق‌های متعددی، این مسأله بررسی شده است که چگونه‌ای می‌توان، به‌شیوه‌ای اقتصادی‌تر، از جلبک برای تهیه‌ی سوخت‌های زیستی استفاده نمود. تنها تعداد اندکی از این پژوهش‌ها، ردپای آب سوخت‌های زیستیِ حاصل از جلبک را نیز بررسی نمودند. گربن–لینز و همکاران[1] (۲۰۱۴)، ردپای آب آبیِ مربوط به مخلوط سوخت‌های زیستیِ حاصل از جلبک، چه از طریق روش حوضچه‌ی باز و چه با روش فتوبیورآکتورهای بسته[2]، را ارزیابی نمودند. آن‌ها، ردپای آب سوخت‌های زیستی حاصل از جلبک را بین ۸ تا ۱۹۳ لیتر به ازای هر مگاژول انرژی خالص تولیدی تخمین زدند.

نوگیرا و همکاران (۲۰۱۸)، ردپای آب انرژی به‌دست آمده از هیدروژنی که از جلبک استخراج شده بود را با لحاظ هر دو روش حوضچه‌ی باز و بیورآکتورهای بسته، تخمین زدند. آن‌ها دریافتند که ردپای آب هیدروژن حاصل از جلبک برای روش بیورآکتورهای بسته، بین ۵/۲–۱/۷ لیتر بر مگاژول، و برای روش حوضچه‌ی باز، بین ۱۴۲–۹۹ لیتر بر مگاژول بود. به‌علاوه، آن‌ها دریافتند که تولید سوخت زیستی به سبب گاززدائی هیدروترمالِ بیوماس جلبک، منتج به ردپای آب کم‌تری برای محصول نهایی، در مقایسه با گاززدایی سنتی خواهد شد. مقادیری که این‌جا ارائه شد نشان می‌دهد که از نظر میزان آب مصرفی، سوخت‌های زیستیِ حاصل از جلبک، با سوخت‌های زیستی به‌دست آمده از گیاهان زراعی در

1 Gerbens-Leenes *et al*. (2014)
2 Closed photobioreactors

رقابت هستند. همچنین نشان می‌دهد که در این راستا، روش فوتوبیوراکتورهای بسته، ارجحیت دارد. با این حال، تحقیق‌های بیش‌تری برای یافتن دانشی عمیق درباره‌ی میزان ردپای آب جلبک، نیاز است.

افسانه‌ی "عدم رقابت با غذا"

وقتی گیاهی را برای تولید انرژیِ زیستی پرورش می‌دهیم، باید به تقاضاهای دیگری که برای آب و زمین مصرفی در این هدف (یعنی پرورش گیاه برای تولید انرژی) وجود دارند نیز توجه کنیم، اما به جای آن، بیش‌تر روی این سوال تمرکز می‌شود که آیا باید گیاهان غذایی یا غیرغذایی را برای تولید سوخت‌های زیستی استفاده کنیم یا خیر. از آنجایی‌که رقابت با غذا، معمولاً نقطه‌ی ضعف سوخت‌های زیستی محسوب می‌شود، اغلب این مسأله جذاب می‌شود که روی پرورش گیاهان غیرخوراکی، و یا دست‌کم، گیاهانی که معمولاً، کم‌تر توسط مردم برای غذا مصرف می‌شوند، برای تولید سوخت‌های زیستی تمرکز شود. یکی از گیاهان غیرخوراکی که به صورت گیاهی برای تولید انرژی زیستی مورد توجه قرار گرفته است، گیاه جاتروفا می‌باشد. جاتروفا کورکاس[1]، یکی از گونه‌های درختی درختچه‌مانند است که می‌توان با به‌کارگیری تکولوژی سنتی، از دانه‌های آن روغن استخراج نمود (Banerji *et al*., 1985)، اما باید توجه نمود که در واقع، درست است که ما نمی‌توانیم این درختچه را بخوریم، اما می‌توان در مکان‌های بسیاری که اکنون تحت پرورش تجاری این گیاه قرار گرفته است، به جای آن، گیاهان خوراکی برای بشر تولید نمود، بنابراین، این تصور که استفاده از گیاهان غیرخوراکی برای تولید سوخت‌های زیستی، در رقابت با غذا نیست، کاملاً غلط است. همین مسأله برای سوئیچ‌گراس یا میسکانتوس نیز صادق است.

گیاهانی که اغلب، نمایندگانی مناسب برای تولید سوخت‌های زیستی نسل دوم درنظر گرفته می‌شوند. سوال، این نیست که آیا استفاده از گیاهان خوراکی برای تولید انرژی، امری عاقلانه است یا خیر. اگر سوال بدین شکل مطرح شود، به این معنی است که استفاده از گیاهان خوراکی برای این هدف، نامناسب، و استفاده از گیاهان غیرخوراکی، خوب است. سوال صحیحی که باید پرسیده شود آن است که تا چه حد، مجاز هستیم که منابع آب و زمین محدود خود را به تولید بیوماس‌هایی اختصاص دهیم که قرار است برای تولید انرژی، استفاده شوند. اگر در مجموع، اختصاص بخش معینی از منابع آب و زمین برای تولید سوخت‌های زیستی منطقی به نظر رسیده و تایید شده باشد، آن‌گاه می‌توان به جای پرورش گیاهان غیرخوراکی ناکارآمد برای تولید سوخت‌های زیستی، صرفاً با این توهم که آن‌ها در رقابت با غذا نیستند، از کارآمدترین گزینه‌های گیاهی در این راستا استفاده نمود.

1 *Jatropha curcas*

بیودیزل حاصل از جاتروفا

جاتروفا از این حیث جذاب است که به دو دلیل، گمانه‌زنی‌های بسیاری برای ترویج این گیاه جهت تولید انرژی زیستی صورت گرفته است: اول آن‌که می‌توان این گیاه را در نواحی خشک در خاک‌های فقیر پرورش داد و دوم آن‌که، این گیاه، خوراکی نیست. در شرایطی که کمبود آب وجود داشته باشد، تبخیر–تعرق از یک مزرعه‌ی جاتروفا، نسبتاً اندک خواهد بود، اما به همان میزان هم محصول آن، اندک خواهد بود. از منظر جهانی، حدود نیمی از جاتروفا، با هدف افزایش عملکرد محصول، به صورت آبی تولید می‌شود (Renner *et al*., 2008). تحت شرایط بهتر، عملکرد محصول افزایش می‌یابد، اما تبخیر–تعرق نیز پس از آن، افزایش می‌یابد. استفاده‌ی آب کم‌تر، عملکرد روغن را کاهش خواهد داد (Jongschaap *et al*., 2007). سرمایه‌گذاران، علاقه‌مند به دستیابی به عملکردهای بالا تحت شرایط مطلوب هستند که دستیابی به چنین چیزی، اغلب نیازمند آبیاری خواهد بود. بر اساس نتایج پژوهشی که روی جاتروفای آبی (تحت آبیاری) تحت شرایط تولید مطلوب در چهار کشور مختلف صورت گرفت، به این جمع‌بندی رسیدیم که ردپای آب روغن جاتروفا، بین ۲۵۰ تا ۳۳۰ لیتر بر مگاژول متغیر است (Gerbens-Leenes *et al*., 2009c). این ارقام نشان می‌دهد که جاتروفا، گزینه‌ی مناسبی برای تولید سوخت‌های زیستی در مقایسه با دیگر گیاهان نیست (جدول ۸–۱).

ما مقادیر خیلی بزرگِ ۱۷۰۰ لیتر بر مگاژول را برای روغن جاتروفای حاصل از جاتروفای کشت شده در مزرعه‌ای در هند تحت شرایط کشت ضعیف به دست آوردیم، ولی دیگران دریافتند که تنش‌های آبی، الزاماً منتج به ردپاهای آب بزرگ‌تر به ازای هر واحد انرژی حاصله نخواهد شد. به این منظور، جانگ‌شاپ و همکاران[1] (۲۰۰۹)، مثالی را از آفریقای جنوبی ارائه نموده‌اند. جایی‌که تبخیر–تعرق سالانه‌ی جاتروفا، ۴۰۵۲ مترمکعب در هکتار بوده و عملکرد روغن این گیاه در آن مکان، ۴۵۰ کیلوگرم بر هکتار است. به دلیل داشتنِ ارزش گرمایی بالاتر، برابر با ۳۷/۷ مگاژولبر کیلوگرم، می‌توان عملکرد انرژی برابر با ۱۷ گیگاژول بر هکتار را به دست آورد. به این ترتیب، ردپای آب در این مورد، ۲۴۰ لیتر بر مگاژول به دست می‌آید. چنین یافته‌ای از این جهت، جالب است که نشان می‌دهد که عملکرد پایین‌تر (یعنی تولید کم‌تر در واحد سطح)، الزاماً به معنی بهره‌وری آب کم‌تر (یعنی تولید کم‌تر به ازای هرمترمکعب آب مصرفی) نیست. جاتروفا، گیاهی خشکی پسند است که حتی در شرایط خشک نیز زنده مانده و محصولی هرچند اندک، تولید می‌کند. در چنین شرایطی، تولید جاتروفا، می‌تواند گزینه‌ای مناسب باشد، زیرا گزینه‌های گیاهی اندکی وجود دارند که بتوانند چنین شرایطی را تحمل کنند، اما تولید جاتروفا در شرایط مطلوب، ایده‌ای سوال‌برانگیز است. درست است که در این شرایط، عملکرد محصول جاتروفا

1 Jongschaap *et al*. (2009)

بیش‌تر خواهد بود، ولی تحت چنین شرایط مطلوبی، گیاهان خوراکی را نیز می‌توان تولید نمود، بنابراین در این حالت، جاتروفا رقیبی برای غذا محسوب خواهد شد. به‌علاوه، تحت شرایط مطلوب، گیاهان دیگری به جز جاتروفا نیز می‌توانند برای تولید انرژی زیستی، پرورش یابند، بنابراین، سوال آن خواهد بود که آیا جاتروفا هم‌چنان بهترین گزینه از این حیث است یا خیر؟ داده‌های موجود نشان می‌دهد که جاتروفا، در مقایسه با دیگر گیاهان روغنی، مانند نخل روغنی و بادام زمینی، انرژی کم‌تری به ازای هر واحد آب مصرفی تولید می‌کند و این عملکرد انرژی، بسیار کم‌تر از انرژی حاصل از گیاهانی مانند چغندر قند یا کاساوا است که می‌توان از آن‌ها، اتانول به دست آورد. بنابراین، باید بین جاتروفای دیم تولیدی در شرایط تنش آبی شدید، یعنی شرایطی که به سختی قابل تحمل برای دیگر گیاهان است، با جاتروفای تولیدی تحت شرایط آبیاری یا باران، یعنی شرایطی که گیاهان دیگر نیز تحت آن قابل تولید هستند، تمایز قائل شد (Hoekstra *et al*., 2009).

ردپای آب حمل‌ونقل مبتنی بر مصرف سوخت‌های زیستی

اجازه دهید سوال دیگری مطرح نماییم. چه اتفاقی خواهد افتاد اگر ما، در مقیاسی وسیع، سوخت‌های زیستی را جایگزین سوخت‌های فسیلی نماییم؟ در جوامع غربی، حمل‌ونقل، ۲۰ تا ۳۰ درصد از کل انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده و سهم قابل‌توجهی در انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. کشورهای بسیاری، اهدافی را برای معرفی سوخت‌های تجدیدپذیر قابل استفاده در حمل‌ونقل (بیودیزل و بیواتانول)، پایه‌گذاری نموده‌اند؛ مثلاً، هدف "سیاست ملی هند در مورد سوخت‌های زیستی[1]" آن است که سهم بیواتانول در بنزین را از ۲ درصد در سال ۲۰۱۸ به ۲۰ درصد در سال ۲۰۳۰، و سهم بیویزل در گازوئیل را، از ۰/۱ درصد در سال ۲۰۱۸ به ۵ درصد در سال ۲۰۳۰ افزایش دهد (GoI, 2018). بر اساس برنامه‌ی میان‌مدت و بلندمدت چین درباره‌ی انرژی‌های تجدیدپذیر[2]، این کشور قصد دارد تا سال ۲۰۲۰، سالانه، ۱۰ میلیون تن بیواتانول و ۲ میلیون تن بیودیزل استفاده نماید (NDRC, 2007). در ایالات متحده‌ی آمریکا، قانون امنیت و استقلال انرژیِ[3] سال ۲۰۰۷، تولید ۳۶ میلیارد گالن سوخت‌زیستی از ذرت و گیاهان سلولزی تا سال ۲۰۲۲ را اجباری نموده است (Pimentel *et al*., 2009). اتحادیه‌ی اروپا، قصد دارد که تا سال ۲۰۲۰، ۱۰ درصد از سوخت مصرفی در بخش حمل و نقل خو را با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین نماید. به این منظور، ۷ درصد از این سوخت، با سوخت‌های زیستی و ۳ درصد با برق‌رسانی جایگزین خواهد شد (EC, 2009).

1 India's *National Policy on Biofuels*
2 China's *Medium and Long-Term Development Plan for Renewable Energy*
3 The Energy Independence and Security Act

در پژوهشی که روی ردپای آب حمل‌ونقل مبتنی بر کاربرد سوخت‌های زیستی در اروپا انجام دادیم (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2011)، علاوه بر بیواتانول و بیودیزل، الکتریسیته‌ی حاصل از بیوماس گیاهی را نیز در نظر گرفتیم. برای هریک از شکل‌های انرژی زیستی، گیاهی را درنظر گرفتیم که در حال حاضر، نسبت به دیگر گیاهان، آب کم‌تری برای تولید انرژی از آن مصرف می‌شود. این گیاهان، با لحاظ عملکردهای فعلی محصولات و کارآیی‌های مصرف آب در اروپا شامل چغندر قند برای بیواتانول، کلزا برای بیودیزل و ذرت برای بیوالکتریسیته می‌باشند. مقادیر محاسبه شده برای ردپای آب تحت شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل در اروپا، در شرایطی که فقط از سوخت‌هایی زیستی به این منظور، استفاده شود، در جدول ۸–۲ ارائه شد. این ارقام، بر حسب لیتر بر هرکیلومتر جابه‌جایی مسافر ارائه شده‌اند. در این محاسبات، شیوه‌های حمل‌ونقل ذیل را درنظر گرفتیم: پیاده رفتن، استفاده از دوچرخه، قطار، اتوبوس، ماشین و هواپیما. با ارائه‌ی مقادیر ردپای آب بر حسب لیتر بر هر کیلومتر جابه‌جایی هر مسافر، این اطمینان حاصل می‌شود که ردپاهای مربوط به ماشین‌ها، اتوبوس‌ها، قطارها و هواپیماها، به تعداد مسافرانی که به صورت نرمال با یک وسیله‌ی نقلیه، مسافرت می‌کنند، تقسیم شده است. برای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، قند حاصل از چغندر قند را منبع تأمین انرژی درنظر گرفتیم. منابع انرژی‌ای که برای دیگر شیوه‌های حمل‌ونقل لحاظ شدند عبارتند از: بیواتانول، بیودیزل و همچنین در صورت امکان، بیوالکتریسیته بودند. با صرف‌نظر از پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، قطارها و ماشین‌های برقی و هواپیماهایی که از بیودیزل استفاده می‌کنند، بهترین شیوه‌های حمل‌ونقل از نظر کارآمدی آب مصرفی هستند. اختلاف بین مقادیر ردپاهای آبی که در جدول ۸–۲ ارائه شده‌اند، به دلیل مقادیر متفاوت انرژی موردنیاز در وسائط حمل‌ونقط مختلف به ازای هر کیلومتر جابه‌جایی مسافر و همچنین تفاوت ردپاهای آب سوخت‌های مختلف با یک‌دیگر می‌باشد. برای هواپیماها، اختلاف ۱۰ برابری، بین کم‌ترین و بیش‌ترین مقادیر ردپای آب به ازای هر کیلومتر جابه‌جایی مسافر وجود دارد. برای ماشین‌ها، این اختلاف حتی از این مقدار نیز بیش‌تر است؛ دلیل آن، تنوع زیاد انرژی‌های مصرفی به‌وسیله‌ی ماشین است. اگرچه از نظر میزان انرژی مصرفی، ماشین‌های دیزلی، کارآمدتر از ماشین‌های بنزینی هستند، ولی ردپای آب ماشین‌هایی که از بیودیزل استفاده می‌کنند، بزرگ‌تر از ردپای آب ماشین‌هایی است که از بیواتانول استفاده می‌کنند، زیرا بیودیزل، کارآیی آب کم‌تری نسبت به بیواتانول دارد. ردپای آب یک ماشین برقی، که از بیوالکتریسیته برای سوخت استفاده می‌کند، بسیار کم‌تر از ردپای آب ماشین‌های مرسومی است که از سوخت‌های زیستی استفاده می‌کنند. تفاوت دقیق بین آن‌ها از این حیث، بستگی به نوع ماشینی دارد که ردپای آب سوخت‌های زیستی مختلف برای آن، بررسی و با هم مقایسه می‌شوند. پس از دوچرخه‌سواری و پیاده‌رویِ مبتنی بر انرژی‌های حاصل از شکر، حمل‌ونقل با ماشین و قطار با

تأمین انرژی از بیوالکتریسیته‌ی حاصل از ذرت، بهترین عملکرد را داشتند، اما قصد من این نیست که بگویم هدف‌گذاری برای توسعه‌ی استفاده از حمل‌ونقل مبتنی بر بیوالکتریسیته در آینده، امری مطلوب است. ما این پژوهش را تنها با این هدف انجام دادیم که کارآیی آب برای شکل‌های مختلف حمل‌ونقل مبتنی بر کاربرد سوخت‌های زیستی را با هم مقایسه کنیم. در انتهای این فصل، معلوم خواهد شد که الکتریسیته‌ی حاصل از انرژی خورشیدی و باد، بسیار کارآمدتر از الکتریسیته‌ی حاصل از سوخت‌های زیستی می‌باشد.

جدول ۸–۲. ردپای آب حمل‌ونقل مسافر در اروپا تحت استفاده از سوخت‌های زیستی نسل اول

			ردپای آب (لیتر بر هر کیلومتر حمل‌ونقل مسافر)		
شیوه‌ی حمل‌ونقل	منبع تأمین انرژی	منبع گیاهی	سبز	آبی	کل
هواپیما	بیودیزل	کلزا	142–403	0	142–403
	بیواتانول	چغندر قند	42–79	1–10	43–89
ماشین (بزرگ)	بیودیزل	کلزا	214–291	0	214–291
	بیواتانول	چغندر قند	136–257	2–32	138–289
ماشین (کوچک و کارآ)	بیودیزل	کلزا	65–89	0	65–89
	بیواتانول	چغندر قند	23–44	0–5	23–49
اتوبوس	بیودیزل	کلزا	67–126	0	67–126
	بیواتانول	چغندر قند	20–52	0–5	20–57
قطار	بیودیزل	کلزا	15–40	0	15–40
قطار الکتریکی	بیوالکتریسیته	ذرت	3–8	0–3	3–11
ماشین الکتریکی	بیوالکتریسیته	ذرت	4–5	1–2	5–7
پیاده‌روی	شکر	چغندر قند	3–5	0–1	3–6
دوچرخه	شکر	چغندر قند	1–2	0	1–2

منبع تأمین داده: گربینز–لینز و هوکسترا (Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2011)

در همان پژوهشی که بالا به آن اشاره شد، ما دریافتیم که اگر ۱۰ درصد از سوخت مصرفی در بخش حمل‌ونقل در اروپا، با بیواتانول نسل اول جایگزین شود، ردپای آب در بخش حمل و نقل، به حدی می‌رسد که معادل ۱۰ درصد از کل ردپای آب غذای مصرفی در اروپا خواهد بود. اگر چنین کاری در دیگر مناطق نیز انجام شود، مقدار افزایشی که در میزان آب مصرفی در چین ایجاد خواهد شد، رقمی معادل ۵ درصد از کل ردپای آبی است که برای تولید غذا در این کشور مصرف می‌شود؛ این رقم در دیگر نواحی آسیا، ۳ درصد، در آفریقا، ۴ درصد، در آمریکای لاتین، ۶ درصد، در شوروی سابق، ۹ درصد و در آمریکای شمالی و استرالیا سرهم، ۴۰ درصد از کل ردپای آبی برای تولید غذا در این کشورها

خواهد بود. تحت این سناریو، مجموع آب مصرفیِ مربوط به حمل‌ونقل مبتنی بر کاربرد سوخت‌های زیستی در کل جهان، رقمی معادل ۷ درصد از آبی است که در حال حاضر، در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. به این ترتیب، تمایل به افزایش مصرف سوخت‌های زیستی، عاملی مهم در افزایش آب مصرفی در بخش کشاورزی بوده و منتج بر افزایش فشار بر منابع آب شیرین جهان خواهد شد.

ارقام ارایه شده برای نیازهای آبی آینده در بخش حمل‌ونقل در شرایط افزایش سهم سوخت‌های زیستی، هشدارهای زیادی برای ما به همراه دارد؛ مثلاً فرض کنید میزان نیاز انرژی در بخش حمل و نقل (بر حسب مگاژول بر هر کیلوکتر جابه‌جایی مسافر) ثابت باشد و ما بخواهیم همین میزان انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی را با انرژی حاصل از سوخت‌های زیستی جایگزین نماییم. واقعیت آن است که سوخت‌های زیستی، از نظر کارآیی انرژی (بر حسب کیلومتر جابه‌جایی مسافر به ازای هر مگاژول)، تنها زمانی با سوخت‌های فسیلی برابری می‌کنند که به مقادیر کم (marginal) به سوخت‌های فسیلی اضافه شده باشند. ویژگی‌های انحلال اتانول به گونه‌ای است که در غلظت‌های بالا می‌تواند باعث خوردگی فلز و یا تخریب لاستیک یا پلاستیک شود.

کارخانه‌های عمده‌ی خودرو، مقاومت خوردوهای خود را تحت کاربرد حداکثر ۱۰ درصد اتانول در بنزین، تضمین می‌کنند. این در حالی‌است که ماشین‌هایی که در برزیل به‌فروش می‌رسند، متشکل از اجزایی هستند که به تا ۲۵ درصد اتانول در بنزیل نیز مقاوم هستند. نکته‌ی مهم دیگر آن است که ما، حجم سوختی که در حال حاضر برای جابه‌جایی نیاز است را در نظر می‌گیریم. این در حالی است که میزان انرژی مورد نیاز در حال افزایش بوده و به همان نسبت نیز آب مورد نیز برای تولید سوخت‌های زیستی افزایش خواهد یافت (Gerbens-Leenes *et al*., 2012). علاوه بر آن، ما فرض نمودیم که با استفاده از گیاهانی که کم‌ترین ردپای آب را دارند و با بهره‌گیری از بهترین تکنولوژی‌ها، سوخت‌های لازم برای حمل‌ونقل، تحت روشی با بیش‌ترین کارآیی مصرف آب تولید شوند. این به آن معناست که مقادیر ردپای آبی که محاسبه نموده‌ایم، احتمالاً بسیار محافظه‌کارآنه است. اگرچه بیواتانولی که از چغندر قند به دست می‌آید، کارآمدتر از بیودیزلی است که از کلزا حاصل می‌شود، اما آلمان، هم‌چنان کشت کلزا را توصیه می‌کند و این سیاست هم سو با فرضیات ما نیست. فرض ما بر این بوده است که بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، ثابت باقی بماند. حال آن‌که اگر بتوان میزان محصول حاصله در هر هکتار را بدون افزایش آب مصرفی، افزایش داد، آنگاه ردپای آب به ازای هر واحد انرژی حاصله کاهش خواهد یافت. نکته‌ی آخر آن‌که، ما برای تخمین ردپای آب مربوط به سوخت‌های زیستی در هر کشور و در هر منطقه، بهره‌وری‌های آب در بخش کشاورزی برای هر کشور یا هر ناحیه را با این فرض به دست آوردیم که بیوماس گیاهی در همان منطقه تولید شده باشد. هم‌اکنون، همگام با افزایش تقاضا برای سوخت‌های

زیستی، شاهدِ افزایش مبادله‌های بین‌المللی سوخت‌های زیستی نیز هستیم. به این منظور، اتحادیه‌ی اروپا، بزرگ‌ترین واردکننده، به‌ویژه از کشورهای آرژانتین، برزیل، ایالات متحده‌ی آمریکا، و اندونزی است. به این ترتیب، ردپای آب سوخت‌های زیستی در بسیاری از کشورها، خارج از آن‌ها قرار گرفته است.

آب برای هیزم

میزان آبی که برای تولید یک درخت، با هدف تأمین یک مترمکعب چوب گرد مصرف می‌شود، متناسب با نوع درخت و شرایط رشد آن بسیار متغیر است. بخش زیادی از ردپای آبِ مربوط به چوب‌های برداشت شده، آب سبز است، هرچند در شرایط وجود آب‌های زیرزمینی کم‌عمق، یا در شرایطی که ریشه‌ی درختان به حدی عمیق شده باشد که به آب‌های زیرزمینی عمیق‌تر دسترسی داشته باشد، درختان قادر خواهند بود که مقدار قابل‌توجهی آب را از آب‌های زیرزمینی (یعنی آب آبی) مصرف نمایند. بر اساس تخمین‌های ما، میانگین جهانی ردپای آب چوب، ۲۹۳ مترمکعب آب به ازای هر مترمکعب چوب گرد تولیدی است که این مقدار برای درخت‌های غیرمخروطی، ۲۳۱ مترمکعب بر مترمکعب و برای درختان مخروطی، ۳۹۰ مترمکعب بر مترمکعب است (Schyns *et al*., 2017). توجه داشته باشید که معیار اندازه‌گیری چوب گرد، حجم آن است نه وزن آن، اما می‌توان این حجم را با استفاده از چگالی‌اش، به وزن تبدیل نمود (بدین منظور، درصد رطوبت چوب، عامل مهمی است که باید حین چنین محاسبه‌ای لحاظ شود). وقتی هیزم را آتش می‌زنیم، مقدار معینی گرما آزاد می‌کند. بر اساس تخمین‌های ما، میزان ردپای آب به ازای هر مگاژول گرمای آزاد شده از هیزمِ درختان غیرمخروطی، ۲۱ لیتر، و از هیزم درختان مخروطی، ۴۷ لیتر می‌باشد. این میزان برای پلت‌چوب[1]، ۴۱ لیتر بر هر مگاژول گرمای تولیدی و برای ذغال، ۵۹ لیتر بر هر مگاژول گرمای تولیدی می‌باشد. اگر بخواهیم به جای گرما، الکتریسیته تولید کنیم، حین تبدیل گرما به الکتریسیته، تلفات کارآیی خواهیم داشت که این به آن معناست که با فرض حداکثر کارآیی برابر با ۴۰ درصد، ردپای آب یک مگاژول الکتریسیته‌ی حاصل از سوخت هیزم، حداقل ۲/۵ برابر بیش‌تر از ردپای آب یک‌مگاژول گرما می‌باشد.

میانگین ردپای آب برای اتانولی که از چوب، تحت فرآیند هیدرولیز و سپس تخمیر، به دست می‌آید، ۲۲۶۰ مترمکعب آب به ازای هر مترمکعب اتانول حاصله بود که این مقدار (با توجه به ارزش گرمایی و چگالی اتانول، به ترتیب برابر با ۲۹ گیگاژول بر تن و ۰/۷۸۹ تن بر مترمکعب)، معادل ۹۷ لیتر بر مگاژول می‌باشد (Schyns *et al*., 2017). ردپای آب این اتانولی که از چوب به‌دست می‌آید، بیش‌تر از ردپای

1 Pellets

آب اتانول حاصله از چغندر قند و برابر با اتانول به‌دست آمده از ذرت بود (جدول ۸–۱ را ببینید). مانند تمام بیوماس‌های اصلی، ردپای آب هیزم نیز بسیار بالاست. بنابراین، این مسأله جای نگرانی دارد که در بسیاری از کشورهای جهان، تولید هیزم با هدف تولید الکتریسیته، به عنوان جایگزنی پایدار برای سوخت‌های فسیلی، ترویج می‌شود. حتی اگر تولید هیزم، اساساً متکی بر آب سبز باشد، باید دانست که منابع آب سبز نیز محدود بوده و همچنین، استفاده از این منابع آبی برای امنیت غذایی و بقای تنوع زیستی سرزمین، امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. شینس و ونهام (۲۰۱۹)[1]، ردپای آب چوب برای تولید انرژیِ مصرفی در اتحادیه‌ی اروپا در سال ۲۰۱۵ را محاسبه نموده و دریافتند که ۹۴ درصد از ردپای آب مربوط به چوب تولیدی برای تأمین انرژی مصرفی در اتحادیه‌ی اروپا، در خود اتحادیه‌ی اروپا قرار دارد، این در حالی است که بیش از نیمی از ردپای آب داخلی‌اش، در کشورهایی از اتحادیه قرار دارد که دارای بیش‌ترین حد کمبود آب سبز هستند.

ردپای آب برقابی

بحث پیرامون پیامدهای آبی سوخت‌های زیستی، از حدود سال ۲۰۰۹ آغاز شد. مباحث مربوط به سدها و برقابی، کمی قدیمی‌تر است. در اواخر قرن حاضر، مباحث پیرامون نقاط ضعف و قوت سدها بسیار داغ شد، به طوری‌که به دلیل تلاش‌هایی برای داشتن یک کمیته‌ی تحقیقاتی مجزا برای مطالعه‌ی اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادیِ مربوط به توسعه‌ی سدهای بزرگ، یک کمیته‌ی جهانی با عنوان "کمیته‌ی جهانی سدها[2]" در سال ۱۹۹۸ شکل گرفت. دو سال بعد، این کمیته، گزارشی ارائه نمود که به واسطه‌ی آن، نقطه‌ی عطفی در نگرش مربوط به سدها شکل گرفت (WCD, 2000). این گزارش این‌گونه آغاز می‌شود که "ما، با سرعت بی‌سابقه‌ی یک سد در هر ساعت و مجموع ۴۵۰۰۰ سد با ارتفاعی بزرگ‌تر از یک ساختمان ۴ طبقه، روی بیش از نیمی از رودخانه‌های جهان سد ساختیم". برآیند این گزارش آن بود که سدها، اثرات مخربی بر اکوسیستم‌های آبی و جوامع داشته و باید ملاحظات دقیق را در سدسازی‌های آتی روی رودخانه‌ها لحاظ نمود. تقریباً به تازگی، عامل دیگری در مباحث پیرامون سدها وارد شده است. بسیاری از سدهای بزرگ در جهان، اساساً با هدف تولید برقابی احداث می‌شوند. برقابی، ۱۶ درصد از کل الکتریسیته‌ی جهان را تأمین می‌کند (IEA, 2018). جنجالی که به‌پا شده، پیرامون این سوال است که آیا برقابی، صرفاً یک کاربر آب بر روی رودخانه محسوب می‌شود و یا این‌که باید آن را به عنوان یک مصرف‌کننده‌ی آب درنظر گرفت. این تنها یک سوال دانشگاهی نیست، زیرا واقعاً چیزی در خطر است. تقاضای روزافزونی برای دریافت هزینه‌ی آب مصرفی توسط

1 Schyns and Vanham (2019)
2 World Commission on Dams

مصرف‌کنندگان آب وجود دارد، بنابراین، این سوال که چه کسی و چه مقدار باید پرداخت نماید، سوالی به‌جا خواهد بود. بر اساس عرف، برقابی اغلب به عنوان یک کاربر آب بر روی رودخانه در نظر گرفته می‌شود. با این وجود، ما نشان دادیم که تولید برقابی، در بسیاری از موارد، یک مصرف‌کننده‌ی آبی بزرگ نیز می‌باشد (Mekonnen and Hoekstra, 2012b). ما، با استفاده از آب تبخیر شده در مخازن پشت سدها، ردپای آب آبی برقابی را در ۳۵ سایت منتخب محاسبه نمودیم. اگر سدی احداث نشود و مخزنی وجود نداشته باشد، این آبی که در مخازن پشت سدها تبخیر می‌شود، در رودخانه باقی خواهد ماند؛ بنابراین، می‌توان برقابی را یک مصرف‌کننده‌ی حقیقی آب دانست. اختلاف زیادی بین مقادیر ردپای آب برقابی در نیروگاه‌های مختلف به دست آمد؛ این مقادیر، از ۰/۳ لیتر بر مگاژول در سد سان‌کارلوس[1] در کلمبیا، تا ۸۴۶ لیتر بر مگاژول در سد آکوسومبو[2] در قانا متغیر بود. این دامنه‌ی تغییرات به دلیل تفاوت‌هایی است که از نظر اقلیمی بین مناطقی که در آن‌ها نیروگاه‌های برقابی احداث شده‌اند، وجود دارد، اما از آن مهم‌تر، این اختلاف متأثر از محدوده‌ی سیلابی به ازای هر واحد ظرفیت نیروگاه برقابی می‌باشد.

پس از آن، تخمین‌های مربوط به ردپای آب برقابی را بهبود بخشیدیم: برای سدهایی که هدف اصلی آن‌ها، تولید برقابی بود تمام تبخیر را به تولید برقابی منسوب نمودیم، اما برای سدهایی که تولید برقابی، در رتبه‌ی دوم قرار داشت، ۵۰ درصد از کل تبخیر، و برای سدهایی که تولید برقابی در رتبه‌ی سوم قرار داشت، ۳۳ درصد از کل تبخیر به تولید الکتریسته منسوب شد (Mekonnen *et al.*, 2015a). بر اساس این روش، میانگین جهانی ردپای آب برقابی، ۱۵/۱ لیتر بر مگاژول به دست آمد.

در پژوهشی جدیدتر و جامع‌تر، ردپای آب آبی مربوط به ۲۲۳۵ مخزن مصنوعی در جهان را محاسبه نمودیم و برای هر سد، این ردپا را بین اهداف مختلف آن سد توزیع نمودیم. این سدها، یا تنها برای تأمین یک هدف بنا نهاده شده بودند و یا هدف از احداث آن‌ها، تأمین مجموعه‌ای از اهداف همچون، تولید برقابی، تأمین آب آبیاری، تأمین آب شرب و صنعت، تولید غذا، ماهیگیری و تفریح بود (Hogeboom *et al.*, 2018b). توزیع ردپای آب بین اهداف مختلف یک سد، بر اساس ارزش اقتصادی نسبی آن اهداف صورت گرفت. بنابراین، اگر تولید برقابی، هدف اصلی یک سد بوده و بزرگ‌ترین ارزش اقتصادی را داشته باشد، بیش‌ترین سهم را در ردپای آب کل آن سد خواهد داشت. مجموع ردپای آب تمام مخازن منتخب در این پژوهش، ۶۶ میلیارد مترمکعب در سال به دست آمد. اگر بخواهیم این مقدار را به کل مخازن جهان تعمیم دهیم، به عددی برابر با ۲۵۰ میلیارد مترمکعب در سال خواهیم رسید که معادل ۲۵ درصد از کل آب آبی مصرفی توسط بشر در بخش‌های کشاورزی، صنعت و خانگی خواهد

1 San Carlos dam
2 Akosombo-Kpong dam

بود (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). ۴۱ درصد از کل ردپای آب آبی محاسبه شده برای ۲۲۳۵ مخزن منتخب در این پژوهش، مربوط به تولید برقابی بود. میانگین جهانی ردپای آب برقابی در این پژوهش، ۱۴/۶ لیتر بر مگاژول بود که به مقادیری که پیش‌تر تخمین زده شده بود، نزدیک بود (Mekonnen *et al.*, 2015a). با توجه به این‌که در اغلب موارد، ردپای آب برقابی، مقادیری بزرگ به‌دست آمدند، ارزیابی ردپای آب آبی مربوط به نیروگاه‌های برقابی‌ای که به تازگی برای احداث پیشنهاد داده شده‌اند، امری عاقلانه خواهد بود. همچنین، وقتی کشاورزان و کارخانه‌ها، مجبور به پرداخت بهای آب مصرفی خود هستند، چرا صورت‌حساب شرکت‌های برقابی برایشان ارسال نشود؟

ردپای آب سوخت‌های فسیلی

حال که ردپای آب بیوانرژی و برقابی را بررسی نمودیم، دانستن ردپای آب سوخت‌های فسیلی نیز جالب خواهد بود. بر اساس تخمین صورت‌گرفته در سال ۲۰۱۷، نفت، ذغال‌سنگ و گازهای طبیعی، در مجموع ۸۱ درصد از نیاز انرژی اولیه‌ی جهان را تأمین می‌کنند (IEA, 2018). یافتن داده‌های باکیفیت در این زمینه، بسیار سخت است؛ زیرا، معادن ذغال‌سنگ و بخش‌های نفت و گاز، اطلاعات شفافی در زمینه‌ی میزان آب مصرفی و آلوده شده حین فرآیندهای استخراج و فرآوری ارائه نمی‌کنند. داده‌های پراکنده‌ی بسیای وجود دارند، اما تنها تعداد اندکی منابع داده‌ی منسجم وجود دارد. مهم‌ترین چالش آن است که داده‌های گزارش شده، اغلب مربوط به آب برداشتی بوده نه آب مصرفی (در برخی موارد، حتی مشخص نیست که چه نوع داده‌ای گزارش می‌شود) و حجم آب برداشتی نیز به صورت مجموع برداشت در آن منطقه گزارش شده است نه میزان آبی که برای تولید انرژی استفاده می‌شود.

یکی از پیچیدگی‌ها آن است که آب کاربردی در مکان‌های مختلف متفاوت بوده و داده‌هایی که برای تعداد محدودی از مناطق (یا کشورهای خاص) گزارش شده است قابل تعمیم به کل جهان نیست. یک مسأله روشن است و آن این‌که، آب مصرفی برای تولید سوخت‌های فسیلی (وقتی به صورت لیتر بر مگاژول بیان می‌شود)، چند برابر کمتر از آب مصرفی برای تولید سوخت‌های زیستی است (Gleick, 1994; Gerbens-Leenes *et al.*, 2009a). ردپای آبِ انواع سخت‌های فسیلی بین ۰/۰۰۱ تا ۱ لیتر بر مگاژول متغیر است (Gleick, 1994; Maheu, 2009; Olsson, 2012). در برخی موارد، این تخمین‌ها، تنها آب مصرفی در پروسه‌ی استخراج سوختِ فسیلی را نشان می‌دهد، اما در مواردِ دیگر، آب مصرفی در فرآیند فرآوری نیز لحاظ شده است. این تخمین‌ها، ردپای آب آبیِ سوخت فسیلی را نشان می‌دهد. در موردِ تولیدِ انرژیِ الکتریسیته، باید آب مصرفی در فرآیند خنک‌سازیِ نیروگاه‌های حرارتی نیز در نظر گرفته شود که میزان آن، بر اساسِ تخمین‌های گلیک (Gleick, 1994) بین ۰/۳

تا ۰/۷ لیتر بر مگاژول، و بر اساس یافته‌های مکونن و همکاران (Mekonnen et al., 2015a)، بین ۰/۰۶ تا ۱/۴ لیتر بر مگاژول متغیر است.

احتمالاً ردپای آب خاکستریِ سوخت‌های فسیلی، بیش‌تر از ردپای آب آبی آن‌ها (یعنی بخشی از ردپای آب مصرفی‌شان) است، اما از آنجایی که این صنایع، میزان آلودگی‌ای که از بخش آن‌ها به منابع آب سطحی و زیرزمینی وارد می‌شود را گزارش نمی‌کنند، تخمین‌های قابل قبولی از ردپای آب خاکستری ارایه نشده است. اندازه‌گیریِ این قبیلِ آلودگی‌ها دشوار است زیرا انتقال آلودگی در مرحله استخراج سوخت‌های فسیلی از نوع گسترده[1] است. نگرانی‌های بسیاری در زمینه‌ی اثرات استخراج ذغال‌سنگ و اکتشاف و استخراج نفت و گاز بر کیفیت آب وجود دارد؛ امروزه این نگرانی‌ها، به دلیل کاربرد تکنیک‌هایی همچون شکست هیدرولیکی در برداشت از ذخایر شیل (Cooley and Donnelly, 2012) و توسعه‌ی ماسه‌های قیری (Schindler, 2010) افزایش یافته است.

نگاهی به جدولی که در آن، مقادیر آب مصرفی برای انواع منابع انرژی به صورت لیتر بر مگاژول گزارش شده است نشان می‌دهد که سوخت‌های فسیلی، ردپای آب کم‌تری را در مقایسه با سوخت‌های زیستی دارند. این یافته می‌تواند به این نتیجه‌گیریِ اشتباه منتهی شود که از منظر آب مصرفی، سوخت‌های فسیلی برتر از سوخت‌های زیستی هستند. این در حالی است که برای انجامِ چنین مقایسه‌ای، باید مجموع آب سبزی که در طول میلیون‌ها سال برای شکل‌دهی این سوخت‌ها مصرف شده است را نیز در نظر بگیریم. حدس من آن است که اغلبِ مردم، این مسأله را نامربوط به چالش تخصیص و بحرانِ آب فعلی می‌دانند، ولی اشاره به این مسأله، خالی از لطف نیست. اهمیتِ سوخت‌های فسیلی از این نظر است که آنها، فسیل هستند: این فسیل‌ها، سال‌ها قبل، و پس از گذر سالیانی دراز، شکل گرفته‌اند. بنابراین، در مقایسه‌ی سوخت‌های فسیلی و زیستی، درست نیست که بگوییم سوخت‌های فسیلی آب کم‌تری مصرف می‌کنند. در نهایت باید گفت که سوخت‌های فسیلی، طی میلیون‌ها سال، از زیست‌توده‌ها به وجود آمده‌اند و از آنجایی که تنها درصد کمی از زیست‌توده‌ها تبدیل به سوخت‌های فسیلی می‌شود، این فرآیند تبدیل بسیار ناکارآمد تلقی می‌شود. به همین دلیل، می‌توان فرآیند تولیدِ سوخت‌های زیستی را کارآمدتر دانست. این نکته را نیز نباید از یاد برد که سوخت‌های فسیلی، در واقع همان ذخایری هستند که در طول تاریخ به‌وجود آمده‌اند و به همین جهت، اساساً منابع ناپایدار انرژی قلمداد شده و دایمی نیستند.

1 . diffuse forms of pollution

انرژی هسته‌ای

در سال ۲۰۱۷، حدود ۱۰ درصد از مجموع الکتریسیته‌ی مصرفی در جهان از انرژی هسته‌ای به دست آمد، اما در تعداد محدودی از کشورها، از جمله فرانسه، اسلواکی، اوکراین، بلژیک، و مجارستان، انرژی هسته‌ای سهمی برابر با ۵۰ درصد و یا بیشتر در مجموع الکتریسیته‌ی مصرفی در کشور داشت (IEA, 2018). وقتی در خصوص انرژی هسته‌ای صحبت می‌کنیم، داستان مشابه زمانی است که از سوخت‌های فسیلی سخن می‌گوییم. آب مصرفی در فرآیند بهره‌برداری، مشابه سوخت‌های فسیلی بوده و چالش‌های تخریب کیفیت آب نیز قابل انتظار است (Gleick, 1994)، اما برای انرژی هسته‌ای، علاوه بر موارد فوق، خطرِ آلودگی منابع آب به آلاینده‌های رادیواکتیو که به دلایلی همچون دپو نمودن زباله‌های هسته‌ای، حوادثِ رخ داده در نیروگاه‌ها و یا حمل و نقل مواد رادیواکتیو ایجاد می‌شود، نیز وجود دارد.

انرژی خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی

انرژی‌های تجدیدپذیر خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی، بخش کمی از مجموع الکتریسته‌ی تولیدی در جهان را تأمین می‌کنند. در سال ۲۰۱۷، سهم انرژی‌های بادی در مجموع الکتریسته‌ی تولیدی در جهان، ۳/۴ درصد، فتوولتائیک خورشیدی ۱/۷ درصد، برق خورشیدی متمرکز[1] ۰/۰۴ درصد و سهم انرژی زمین‌گرمایی در مقیاس جهانی، ناچیز بود (IEA, 2018). از آنجایی‌که الکتریسته، تنها بخش کمی از مجموع انرژی مصرفی ما در جهان را شامل می‌شود، بنابراین زمانی که کل این انرژی‌ها در نظر گرفته شود، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر بسیار کمتر مقادیر فوق خواهد بود.

آب مصرفی در فرآیند تولید الکتریسته از سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی یا انرژی باد، در مقایسه با تولید آن از سوخت‌های فسیلی ناچیز است (Gleick, 1994)؛ بنابراین سوال اینجاست که ردپای آب انرژی به‌دست آمده از این منابع چه‌قدر است؟ مجموع ردپای آبِ الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از برق خورشیدی متمرکز بین ۰/۰۰۶ تا ۰/۳ لیتر بر مگاژول، و برای انرژی باد بین ۰/۰۰۰۲ تا ۰/۰۱ لیتر بر مگاژول تخمین زده شده است (Mekonnen et al., 2015a) و در هر دو مورد، بیش‌ترین آب مصرفی، مربوط به زنجیره‌ی تأمین مصالح ساختمانی می‌باشد.

آب مصرفی در فرآیند تولید انرژی از برق خورشیدی متمرکز، صرف جبران تلفات تبخیر (در مواردی که سیستم خنک‌کننده‌ی مرطوب وجود دارد) و تمیز کردن آینه‌ها می‌شود. نیروگاه‌های برق خورشیدی متمرکز، از همان تکنولوژی‌ای که در نیروگاه‌های سوخت فسیلی و انرژی هسته‌ای برای خنک‌سازی

1 Concentrated solar power (CSP)

وجود دارد، استفاده می‌کنند. آب مصرفی در این فرآیند در نیروگاه‌های برق خورشیدی متمرکز، حدود ۳۰۰۰ لیتر به ازای هر مگاوات برق تولیدی گزارش شده است (Carter and Campbell, 2009) که معادلِ ۰/۸ لیتر بر مگاژول می‌باشد. استفاده از دیگر سیستم‌های خنک‌کننده می‌تواند میزان آب مصرفی در این فرآیند را بکاهد. مکونن و همکاران (Mekonnen et al., 2015a) مجموع ردپای آب برای ساخت و بهره‌برداری در نیروگاه‌های برق خورشیدی متمرکز را بین ۰/۱ تا ۲/۲ لیتر بر مگاژول تخمین زدند که بخش بیشتری از این مجموع، مربوط به فرآیند بهره‌برداری از سیستم بود.

ردپای آبِ انرژیِ زمین‌گرمایی، بین ۰/۰۰۷ تا ۰/۷۶ لیتر بر مگاژول بوده و به طور متوسط، حدود ۰/۳۴ لیتر بر مگاژول تخمین زده شده- است (Mekonnen *et al*., 2015a).

ردپای آب الکتریسیته

ردپای آب الکتریسته به ترکیب انرژی‌هایی بستگی دارد که برای تولید الکتریسیته به کار می‌رود، زیرا همان‌گونه که در ادامه خواهیم دید، منابع مختلفِ انرژی، ردپاهای آب متفاوتی به ازای هر واحد الکتریسیته‌ی تولیدی دارند. جدول ۳-۸، ردپای آب مصرفی به ازای هر واحد الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از منابع مختلف انرژی و در مراحل مختلف تولید را نشان می‌دهد. توجه شود که مقادیر این جدول، به ازای واحد الکتریسیته‌ی ناخالص تولیدی است.

از آنجایی که برای تولید الکتریسیته، انرژی نیز نیاز است، ردپای آب به ازای هر واحد الکتریسیته‌ی خالص تولیدی قطعاً بزرگ‌تر خواهد بود. در این جدول، بزرگ‌ترین مقادیر مربوط به ردپای آب الکتریسته‌ی به‌دست آمده از هیزم و برقابی است. حتی در خوش‌بینانه‌ترین حالت، ردپای آب برای الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از سوزاندن هیزم، دو برابر بیش‌تر از ردپای آب مربوط به سوخت‌های فسیلی است. دامنه‌ی تغییرات ردپای آبِ برقابی وسیع است؛ بنابراین، در بهترین حالت (وقتی ردپای آب برقابی کم‌ترین مقدار را دارد)، ردپای آب برقابی برابر با ردپای آب الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از سوخت‌های فسیلی خواهد بود، اما در بدترین حالت (وقتی ردپای آب برقابی بیش‌ترین مقدار را دارد)، ردپای آب برقابی سه برابر بیش‌تر است. ردپای آب الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از سلول‌های فتوولتاییک خورشیدی، باد و انرژی زمین‌گرمایی، بین یک تا دو برابر کم‌تر از سوخت‌های فسیلی است.

جدول ۸–۳. ردپای آب مصرفی به ازای هر واحد الکتریسیته‌ی به‌دست آمده از منابع مختلف انرژی در مراحل مختلف تولید

منبع انرژی	ردپای آب سوخت	ردپای آب به ازای هر واحد الکتریسیته‌ی تولیدی			
		ردپای آب سوختِ مصرفی	ردپای آب در فرآیند ساخت و ساز	ردپای آب در فرآیند بهره‌برداری	مجموع ردپای آب
	m^3/tonne	litre/GJ	litre/GJ	litre/GJ	litre/GJ
ذغال سنگ	0.18-4.2	17-665	0.32-26	61-1,410	79-2,100
لیگنیت	0.10-0.72	31-139	0.32-26	61-1,410	93-1,580
نفت	0.33-8.9	20-546	0.32-26	194-615	214-1,190
ماسه‌ی نفتی	3.3-10	224-697	0.32-26	194-615	419-1,340
نفت شیل	1.8-17	121-1,180	0.32-26	194-615	316-1,830
گاز طبیعی	-	1.2-35	0.32-1.1	74-1,200	76-1,240
گاز شیل	-	6.9-67	0.32-1.1	74-1,200	81-1,270
انرژی هسته‌ای	-	17-512	0.3	0-936	18-1,450
	(m^3/ m^3)	litre/GJ	litre/GJ	litre/GJ	litre/GJ
هیزم	210-1,100	48,000 – 500,000	0.32-26	61-1,410	48,000-500,000
برقابی	-	-	0.30	300-850,000	300-850,000
برق خورشیدی متمرکز	-	-	84-179	34-2,000	118-2,180
فتوولتاییک	-	-	5.3-221	1.1-82	6.4 -303
باد	-	-	0.10-9.5	0.1-2.1	0.2-12
زمین‌گرمایی	-	-	2.0	5.3-757	7.3-759

Data source: Mekonnen *et al.* (2015a)

تبدیل به الکتریسیته

انرژی خورشیدی، چه در پنل‌های فتوولتاییک و چه در سیستم‌های برق خورشیدی متمرکز، کارآیی بالاتری نسبت به فرآیند فتوسنتز از منظر جذب تابش خورشیدی ورودی دارد. به همین دلیل، انرژی بیش‌تری در واحد سطح تولید می‌کند. تخصیصِ زمین برای پروش زیست‌توده جهت تولید سوخت‌های زیستی، نه از دیدگاه استفاده‌ی بهینه از اراضی و یا منابع محدود آبی، و نه حتی از منظر میزان انرژی تولیدی توجیه‌پذیر نیست، زیرا تولید انرژی زیستی، خود نیازمندِ صرف مقدار زیادی انرژی برای ورودی است که باعث می‌شود اختلاف زیادی بین انرژی خالص و ناخالص تولیدی وجود داشته باشد (Mekonnen *et al*., 2018). با این وجود، مزیتِ فتوسنتز این است که انرژی زیستیِ قابل ذخیره‌ای تولید می‌کند که می‌توانند به سوخت‌های زیستیِ پرانرژی تبدیل شوند، اما پنل‌های فتوولتاییک،

الکتریسیته‌ی غیرقابل ذخیره تولید می‌کنند. اگرچه سیستم‌های برق خورشیدی متمرکز قادر به ذخیره‌سازی انرژی حرارتی هستند، ولی محصول نهایی آن‌ها، الکتریسیته خواهد بود نه سوخت.

از آنجایی‌که رشدِ چشمگیرِ انرژی زیستی (به حدی فراتر از مقداری که از بقایای مواد آلی در خاک به دست می‌آید) غیرممکن است، باید بدنه‌ی اقتصادِ ما بیش‌تر متکی بر کاربرد الکتریسته باشد؛ یعنی باید حمل و نقل الکتریکی، و تأمین انرژی گرمایی از الکتریسته با کمک پمپ‌هایی که می‌توانند گرما را از منابع متعددی مانند انرژی زمین‌گرمایی، هوای پیرامون، مخازن آبی یا کلکتورهای حرارتی خورشیدی تأمین کنند، رواج یابد. در برخی موارد، گرمای اضافیِ تولیدی در فرآیندهای صنعتی نیز می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد. ما باید راه‌هایی برای ذخیره‌ی انرژی و طراحی شبکه‌های الکتریکی بیابیم که بتوانند اختلافِ متغیرِ بین عرضه و تقاضا را مدیریت کنند.

استفاده از هیدروژن به صورت سوخت می‌تواند جایگزینی برای حمل و نقل الکتریکی باشد، البته بدون شک این سوخت در مقایسه با الکتریسیته، کارایی کم‌تری خواهد داشت. در فرآیند تولید هیدروژن از الکتریسته، اتلاف انرژی حینِ فرآیندهای الکترولیز (برای تولید هیدروژن از آب)، فشرده‌سازی (برای تولید گاز هیدروژن تحت فشار) یا میعان (برای تولیدِ هیدروژنِ مایع) و انتقال و در نهایت، در پیل سوختی هیدروژنی وجود خواهد داشت. این در حالی است که در حمل و نقلِ مبتنی بر کاربرد الکتریسیته، تلفات تنها در حین جابه‌جایی، شارژ کردنِ باطری و حین فرآیند تبدیل الکتریسته به انرژی حرکتی در موتور وجود خواهد داشت. به ازای مقدار معینی انرژی، مسافتی که یک وسیله‌ی نقلیه‌ی الکتریکی می‌تواند طی کند، سه برابر بیش‌تر از وسیله‌ی نقلیه‌ای است که از سوخت هیدروژنی استفاده می‌کند (T&E, 2017). یک وسیله‌ی نقلیه با استفاده از یک کیلوگرم گاز هیدروژن، می‌تواند مسافتی در حدود ۱۰۰ کیلومتر را طی کند؛ این میزان گاز هیدروژن (با لحاظِ ناکارآمدی فرآیند الکترولیز و تلفات انرژی)، معادلِ مصرفِ ۱۰۰–۸۰ کیلووات–ساعت الکتریسته برای طیِ این مسافت است، در حالی‌که یک وسیله‌ی نقلیه که از باتری الکتریکی برای منبع سوخت استفاده می‌کند، برای طیِ این مسافت، (با لحاظِ تلفات انرژی حین جابه‌جایی) تنها ۳۰ کیلووات–ساعت الکتریسته نیاز خواهد داشت (Smit *et al*., 2018).

خودکفایی انرژی در مقیاس‌های کوچک‌تر

استفاده از انرژی‌های خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی، ممکن است شرایط دستیابی به خودکفایی انرژی در مقیاس‌هایی بسیار کوچک‌تر از آنچه ما در محاسباتِ مربوط به اقتصاد جهانی سوخت‌های فسیلی در نظر گرفتیم را فرآهم سازد. بدون شک، این مسأله می‌تواند یک مزیت برای تغییرِ اقتصاد متکی بر کربن به اقتصادِ مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شود. کشورهایی که در حال

حاضر، انرژی خود را از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌کنند، با اتمامِ این منابع انرژی، قدرت خود را در جهان از دست خواهند داد. حال این سوال پیش می‌آید که آیا در آن زمان، قدرت از دست ایشان به دست کشورهایی خواهد افتاد که برای تأمین انرژی، بیشتر متکی بر انرژی‌های تجدیدپذیر هستند؟ با توجه به اینکه توزیع منابع انرژی تجدیدپذیر در جهان، یکنواخت‌تر از سوخت‌های فسیلی است، پاسخِ این سوالِ ژئوپلیتیکی که در شرایط اتمامِ سوخت‌های فسیلی، قدرت به دست چه کسی خواهد افتاد، معلوم نیست.

سیاستِ انرژیِ هوشمند از دیدگاه آب[1]

اغلبِ سناریوهای انرژیِ سبز موجود، که به دلیلِ سهمِ بالای انرژیِ تجدیدپذیر در ترکیب آن‌ها، سناریوی سبز خوانده می‌شوند، بر پایه‌ی گسترشِ استفاده از سوخت‌های زیستی و برقابی استوار است؛ این به آن معناست که اگر این سناریوها را دنبال کنیم، مقادیرِ ردپای آبِ انرژی، در حد فزاینده‌ای افزایش خواهد یافت. سناریوی سبزِ واقعی که در آن ردپای آب کاهش می‌یابد، باید بر اساسِ گسترشِ استفاده از انرژی خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی باشد (Mekonnen *et al.*, 2016).

نتیجه‌ی کلی این فصل آن است که از منظر آب، و با لحاظ این مسأله که سوخت‌های فسیلی و انرژی هسته‌ای پایدار نیستند، انرژی خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی بهترین منابع انرژی محسوب شده و کاربردِ آن‌ها می‌تواند باعثِ ارتقای خودکفایی انرژی در یک منطقه شود. ما باید تولید سوخت‌های زیستیِ نسل اول را متوقف کنیم. انرژی زیستی تنها زمانی مفید است که با تولیدِ غذا و تنوع زیستی در جهان در تضاد نباشد، این به آن معناست که تنها بقایای آلی می‌توانند برای تولید سوخت‌های زیستی مورد استفاده قرار بگیرند. سهمی که جلبک‌ها می‌توانند در تولیدِ چنین منابعِ سوختی‌ای داشته باشند، هنوز معلوم نیست، زیرا این تکنولوژی، هنوز سیر تکاملی خود را طی می‌کند و نتایجِ فعلیِ آن، قابل تعمیم به سطوح بزرگ نیست.

وقتِ آن است که سوخت‌های فسیلی کنار گذاشته شوند. اگر ما تقاضای خود برای انرژی را کاهش دهیم، چنین کاری ساده‌تر خواهد بود. ما باید روی راه‌کارهای پایدارِ واقعی سرمایه‌گذاری کنیم؛ سوخت‌های زیستی، که امروزه در رأس توجه سیاست‌های ملی قرار دارد، بدون شک در زمره‌ی این قبیل راه‌کارها قرار ندارند. تنها زمانی کربن‌زدایی از اقتصادِ ما منتج به کاهش ردپای آب خواهد شد که توجه ما، اساساً معطوف به استفاده از انرژی‌های خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی باشد.

1 Water-smart energy policy

فصل نهم

ردپای آب گل‌های شاخه‌بریده‌یِ خارج از کشور

گل‌های شاخه‌بریده‌ای که ما به عنوان هدیه خریداری می‌کنیم، اغلب وارداتی بوده و در کشور خودمان تولید نمی‌شوند؛ به عنوان مثال، در کشور هلند، که به واسطه‌ی گل‌هایش مشهور است، بخش زیادی از گل‌های رزی که فروخته می‌شوند، توسط تولیدکنندگان هلندی تولید نشده و از خارج از کشور وارد می‌شوند. کشورهای کنیا، اتیوپی، تانزانیا، اکوادور، زامبیا و اوگاندا، مهم ترین صادرکنندگان گل رز به هلند هستند. هلند، مرکز گل‌های شاخه بریده در اروپا است. این به آن معنی است که بخش زیادی از گل‌هایی که به هلند صادر می‌شوند، مجدد از این کشور به دیگر نقاط جهان صادر می‌شوند.

در این فصل، صادرات مجدد گل از هلند به کنیا، که بزرگترین صادرکننده‌ی گل به هلند است را بررسی می‌کنیم. سپس، با جزئیات بیشتری، به بررسی وضعیت نواحیِ اطرافِ دریاچه‌ی نایواشا[1]، که مرکز اصلی تولید گل‌های شاخه‌بریده در کنیا هستند، خواهیم پرداخت.

دریاچه نایواشا در دره ریفت[2]، واقع در ۸۰ کیلومتری از شمال غربِ نایروبی، قرار دارد. این دریاچه، دومین دریاچه‌ی بزرگ آب شیرین در کنیا بدونِ خروجیِ آب سطحی به آن در کنیا می‌باشد. دلیلِ تازه ماندن این دریاچه، جریانِ قابل توجه آب زیرزمینی به خارج از این دریاچه می‌باشد. مزارع گل در اطراف دریاچه، بزرگ‌ترین مصرف‌کننده‌ی آب در آنجا هستند که آب مورد نیاز خود را از طریق پمپاژ آب‌های زیرزمینی، یا برداشتِ مستقیم از دریاچه و یا رودخانه‌های اطراف آن تأمین می‌کنند. دریاچه نایواشا، همچنین در فهرست تالاب‌های بین‌المللیِ ثبت شده در کنوانسیون رامسر[3] است. در طول سه دهه‌ی گذشته، نواحی اطراف این دریاچه، به مهمترین مراکز صنعتی باغی (به خصوص گل‌های شاخه بریده) تبدیل شده است که این تولیدات صنعتی، بعد از چای و صنعت گردشگری، سومین سهم را در درآمد حاصل از مبادلات بین‌المللی دارند. از اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰، مزارع گل‌های شاخه بریده با سرعت بیشتری گسترش پیدا کردند (Becht *et al*., 2005). مجموع مزراع آبی صنعتی در اطراف دریاچه نایواشا، حدود ۴۴۵۰ هکتار می‌باشد. مزراعی که به پرورش گل‌های شاخه‌بریده اختصاص داده شده‌اند، حدود ۴۳ درصد از این اراضی آبی را شامل می‌شوند و سبزیجات و علوفه، به ترتیب با سهمی معادل ۴۱ و ۱۵ درصد، در رتبه‌های دوم و سوم قرار دارند (Musota, 2008). گل‌های صادراتی شامل میخک، آلسترومریا، لیزیانتوس و استاتیک هستند، اما گل رز، بیش‌ترین سهم را در صادرات گل دارد. مهم‌ترین مناطق

1 Lake Naivasha
2 Rift Valley
۳ . کنوانسیون رامسر، یک معاهده‌ی بین‌المللی است که با هدف حفاظت و استفاده ی پایدار از تالاب‌های مهم جهان شکل گرفته است.

صادرکننده گل، دریاچه نایواشا، سیکا[1] و کیامبو/لیمورا[2] بوده و حدود ۹۵ درصد از مزراعی که به کشت گل برای صادرات اختصاص داده شده است، در اراضی اطراف دریاچه نایواشا واقع شده‌اند.

وضعیتِ دریاچه‌ی نایواشا، باعث بروز نگرانی‌ها و توجهات بسیاری از سوی سازمان‌های ملی و بین‌المللی شده است. بهره‌برداران اصلیِ این دریاچه، به دلایلی همچون افت سطح آب دریاچه، تخریب کیفیت آب و کاهش تنوعِ زیستیِ آن، نگرانِ سلامت دریاچه هستند. انجمن ساحلی دریاچه نایواشا[3]، گروه پرورش دهندگان دریاچه نایواشا[4]، و خدمات حیات وحش کنیا[5]، برخی از مهمترین بهره‌بردارانِ فعالِ اطراف دریاچه هستند. هدفِ طرح مدیریت دریاچه نایواشا، که در سال ۲۰۰۴ از سوی دولت به تصویب رسیده و در سال ۲۰۱۲ بازنگری شد، آن است که با ابزارهای مختلفی همچون تعیین روش‌های تخصیص آب، تدوین سیاست‌های کاربرد آب و جلوگیری از اضافه برداشت از طریق صدور مجوزهای برداشت آب برای کابران، آب مصرفی در حوضه را تنظیم و مدیریت کند.

در این فصل، نتایجِ یکی از پژوهش‌هایمان که در زمینه‌ی تعیین ردپای آب در پروسه‌ی تولید محصولات باغی در حوضه دریاچه نایواشا صورت گرفته است را ارایه می‌کنم (Mekonnen *et al*., 2012). در این پژوهش، به ارزیابی روش‌هایی برای کاهش این ردپای آب، با مشارکت تاجرانِ گل‌های شاخه بریده، خرده‌فروشان و مصرف‌کنندگانِ خارج از کشور پرداختیم. به طور خاص، ایده‌ی "توافق داوطلبانه‌ی گل پایدار[6]" بین تمامِ عواملِ اجتماعیِ درگیر در زنجیره‌ی تولید این گل‌ها را ارایه نمودیم که به سبب آن، تمام مصرف‌کنندگان گل‌های وارداتی از کنیا، ملزم به پرداخت حق بیمه‌ی پایداری آب به ساکنان آن منطقه خواهند بود.

آبیاری و مصرف کود در اطراف دریاچه نایواشا

حوضه دریاچه نایواشا را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد: بخش بالایی حوضه که شامل اراضی خرده‌مالکی است و اراضی اطراف دریاچه که شامل اراضی بزرگ مقیاس برای تولید محصولات صادراتی است. حدود ۶۲ درصد از گل‌های شاخه بریده‌ای که در اطراف دریاچه‌ی نایواشا تولید می‌شوند، در گلخانه‌ها پرورش داده می‌شوند (Musota, 2008). بسیاری از نویسندگان اذعان داشتند که میزان تبخیر–تعرق در شرایط گلخانه‌ای، ۶۵ درصد از مقدار آن در فضای باز است (Baille *et al*., 1994;

1 Thika
2 Kiambu/Limuru
3 Lake Naivasha Riparian Association
4 Lake Naivasha Growers Group
5 Kenya Wildlife Services
6 Sustainable-flower agreement

Orgaz *et al*., 2005; Mpusia, 2006). بنابراین در این تحقیق، ردپای آب برای گل‌های شاخه‌بریده به صورت میانگینِ وزنیِ ردپای آب گل‌های پرورش یافته در فضای باز و گلخانه محاسبه شد. جدول ۹-۱، وسعت اراضی آبی و شدت کودهای مصرفی در مزارعِ اطراف دریاچه‌ی نایواشا را نشان می‌دهد. ضریبِ رواناب-آبشویی جهتِ تخمینِ میزان کودِ نیتروژنِ ورودی به منابع آب سطحی و زیرزمینی برابر با ۱۰ درصد در نظر گرفته شد.

جدول ۹-۱. گیاهان آبی کشت‌شده در اطراف دریاچه‌ی نایواشا در سال ۲۰۰۶

گیاه	اراضی آبی		شدت کوددهی نیتروژن
	مساحت (هکتار)	درصد از کل	(کیلوگرم بر هکتار)
کل گل‌ها	1,911	42.8	325
رز	1,028	23.0	325
رز و میخک	730	16.3	325
رز و هایپریکوم	21	0.5	325
دیگر گل‌ها	132	3.0	325
کل سبزیجات	1,824	40.8	185
بچه ذرت	205	4.6	41
بچه ذرت و لوبیا	143	3.2	252
بچه ذرت، لوبیا، و کلم	169	3.8	235
بچه ذرت، لوبیا، و پیاز	906	20.3	244
لوبیا و گوجه‌فرنگی	21	0.5	235
کلم	374	8.4	68
کلم و لوبیا	6	0.1	235
کل علوفه‌ها	665	14.9	68
چمن	286	6.4	68
چمن و یونجه	40	0.9	68
یونجه	163	3.7	68
یونجه، بچه ذرت، لوبیا	176	3.9	68
ماکادمیا	50	1.1	68
اکالیپتوس	17	0.4	–
کل گیاهان	4,467	100	

رفرنسِ برای اراضی آبی: Musota (2008) and Becht (2007)

رفرنس برای شدت کوددهی: Tiruneh (2004), Xu (1999) and Ariga *et al*. (2006)

ردپای آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا

مجموع گیاهانِ تولیدی در این حوضه را می‌توان به دو گروه تقسیم‌بندی نمود: گیاهان پرورش یافته در مزراع صنعتی در اطراف دریاچه‌ی نایواشا برای صادرات که به صورت کامل آبیاری می‌شوند، و سایر مزراع که توسط خرده‌مالکان نگهداری شده و در بالای حوضه قرار دارند. مجموع ردپای آب در پروسه‌ی تولید گیاهان در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا، حدود ۱۰۲ میلیون مترمکعب در سال است (جدول ۲-۹). این مجموع شاملِ حدود ۶۸/۷ درصد ردپای آب سبز، ۱۸/۵ درصد ردپای آب آبی و ۱۲/۸ درصد ردپای آب خاکستری است. حدودِ دو پنجم از کل این ردپای آب، مربوط به گیاهان تجاری است. سهم این گیاهان در ردپای آب آبی و خاکستری، به ترتیب ۹۸ درصد (۱۸/۴ میلیون مترمکعب در سال) و ۶۱ درصد است. علاوه بر پرورش گیاهان آبی، اراضی حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا برای پرورش گاو و مراتع نیز استفاده می‌شود. در اراضیِ خرده‌مالکی که اساساً در آن‌ها ذرت، سبزیجات و دیگر گیاهان پرورش می‌یابد، بارش بالایی رخ می‌دهد. وسعت این اراضی که در بالای حوضه قرار دارند، حدود ۱۸۰۰۰ هکتار بوده و تنها ۲ درصد از این اراضی آبیاری می‌شوند. مجموعِ ردپای آب گیاهان پرورش یافته در این اراضی در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶، حدود ۶۰ میلیون مترمکعب در سال بود (۹۰/۷ درصد آب سبز، ۰/۸ درصد آب آبی و ۸/۵ درصد آب خاکستری).

جدول ۹-۲. ردپای آب گیاهان پرورش یافته در حوضه دریاچه نایواشا در حد فاصل سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶

کاربری اراضی	مساحت تحت کشت		ردپای آب (۱۰۰۰ مترمکعب در سال)			
	مساحت (هکتار)	درصد اراضی آبی	سبز	آبی	خاکستری	کل
کل مزراع صنعتیِ اطراف دریاچه‌ی نایواشا						
گل‌های فضای باز	652	100	3,640	1,770	2,122	7,532
گل‌های گلخانه	1,076	100	0	5,805	3,504	9,309
سبزیجات	1,885	100	7,887	7,375	1,834	17,096
علوفه	665	100	3,716	3,194	452	7,362
ماکادمیا	50	100	278	303	34	615
کل این بخش	4,327	100	15,521	18,448	7,947	41,916
مزراع واقع در بالای حوضه						
غلات	12,125	1	34,776	82	1,655	36,513
حبوبات	2,199	0	3,958	0	2,673	6,631
دیگر گیاهان	3,813	7	15,876	382	809	17,067
کل این بخش	18,137	2	54,609	465	5,137	60,211
کل گیاهان	22,465	21	70,130	18,913	13,084	102,127

مساحت مزراع صنعتی در سال ۲۰۰۶ از رفرنس موسوتا (Musota, 2008) گرفته شد و برای دوره‌ی ۲۰۰۵–۱۹۹۶ اصلاح شد؛ مقادیر ردپای آب از مکونن و همکاران (Mekonnen et al., 2012) به‌دست آمد.

بخش زیادی از ردپای آب در پروسه‌ی تولیدِ گیاهان در اطراف دریاچه‌ی نایواشا، مربوط به پرورش گل‌های شاخه‌بریده است. سهم این گل‌ها در ردپای آب آبی و خاکستری، به ترتیب ۹۱ و ۴۱ درصد می‌باشد. مجموع ردپای آب در پروسه‌ی پرورش گل‌های شاخه‌بریده، ۱۶/۸ میلیون مترمکعب در سال است. گل‌هایی که در گلخانه پرورش می‌یابند، ۱۰۰ درصد آبیاری می‌شوند، ولی پرورش گل‌ها در فضای باز، متکی بر آب باران و آبیاری می‌باشد. اگر مقادیر ردپای آب به ازای وزن گل‌ها در نظر گرفته شود، خواهیم دید که مقادیر ردپای آب گل‌هایی که در گلخانه پرورش می‌یابند (۳۲۶ لیتر بر کیلوگرم) کم‌تر از مقادیر ردپای آب گل‌هایی است که در فضای باز پرورش می‌یابند (۴۳۵ لیتر بر کیلوگرم). این در حالی است که ردپای آب آبیِ این گل‌ها (۲۰۳ لیتر بر کیلوگرم) حدودِ دو برابر بیش‌تر از گل‌هایِ پرورش یافته در فضای باز است (۱۰۲ لیتر بر کیلوگرم). میانگین وزنیِ ردپای آب گل‌های شاخه‌بریده در اطراف دریاچه‌ی نایواشا، ۳۶۷ لیتر بر کیلوگرم است. حدود ۴۵ درصد از این ردپای آب، آب آبی بوده، ۲۲ درصد ردپای آب سبز و ۳۳ درصد ردپای آب خاکستری (حجم آبی که لازم است تا غلظتِ آب آلوده به کودهای نیتروژنی که به واسطه رواناب یا آبشویی به منابع آب اطراف می‌پیوندند را رقیق نموده و به غلظت استاندارد برگرداند) می‌باشد.

جالب است بدانیم که شش مزرعه‌ی بزرگِ صنعتی[1]، ۵۶ درصد از کل ردپای آبِ پرورش گیاه در اطراف دریاچه و ۶۰ درصد از مجموع ردپای آب آبی برای این منظور در آن نواحی را شامل می‌شدند. این به آن معنی است که اگر تنها در همین مزراع، تلاش‌هایی برای کاهش ردپای آب صورت بگیرد، نتایج بسیار مطلوبی برای دستیابی به اهداف این پژوهش به دست خواهد آمد.

ردپای آب گل‌های شاخه‌بریده صادراتی

ردپای آب رزهای صادراتی، متناسب با عملکرد و وزن ساقه‌شان، بین ۷ تا ۱۳ لیتر به ازای هر گل متغیر است (جدول ۳–۹). اگر وزن یک گل رز شاخه‌بریده را حدود ۲۵ گرم در نظر بگیریم، ردپای آب سبز، آبی و خاکستری آن، به ترتیب ۲، ۴ و ۳ لیتر به ازای هر گل بوده و در نتیجه، کل ردپای آبِ آن، ۹ لیتر به ازای تولید هر گل خواهد شد. اگر فرض کنیم که حدود ۹۵ درصد از گل‌های شاخه‌بریده‌ای که از کنیا صادر می‌شوند، در حوالی دریاچه‌ی نایواشا تولید می‌شوند، در این صورت، میانگین صادرات

1 Logonot Horticulture, Delamere, Oserian, Gordon-Miller, Marula Estate and Sher Agencies

آب مجازی به دلیل صادرات گل از حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶، برابر با ۱۶ میلیون مترمکعب در سال خواهد بود (جدول ۴-۹). اتحادیه‌ی اروپا، اصلی‌ترین بازار برای فروش گل‌های شاخه‌بریده‌ی کنیا بوده و در مجموع، ۹۰ درصد از کل آب مجازی صادرشده از حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا، به سه کشور هلند، انگلیس و آلمان وارد می‌شود. از میان این سه کشور، هلند، مهم‌ترین واردکننده بوده و حدود ۶۹ درصد از این آب مجازی صادراتی از کنیا را به کشور خودش وارد می‌کند. صادرات آب مجازی به واسطه‌ی صادرات گل‌های شاخه‌بریده، در حد معنی‌داری افزایش یافته و از ۱۱ میلیون مترمکعب در سال ۱۹۹۶ به ۲۱ میلیون مترمکعب در سال ۲۰۰۵ رسیده است.

در کنیا، علاوه بر گل‌های شاخه‌بریده، سبزیجاتی همچون لوبیاها، ذرت شیرین، گوجه‌فرنگی، کلم و پیاز نیز هم برای مصارف داخلی و هم برای صادرات تولید می‌شوند. حدود ۵۰ درصد از سبزیجاتی که در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا تولید می‌شوند، از این منطقه صادر شده و باقی، در بازارهای داخلی، به‌ویژه در نایروبی، به فروش می‌رسند. صادر نمودن این محصولات، ۸/۵ میلیون مترمکعب آب مجازی را در سال صادر خواهد نمود. بخش زیادی از این آب مجازی صادراتی، به امارات متحده‌ی عربی، فرانسه، و انگلیس وارد می‌شوند. در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۵، مجموع آب مجازی صادراتی به واسطه‌ی صادرات گل‌های شاخه‌بریده و سبزیجات مذکور، حدود ۲۴/۵ میلیون مترمکعب در سال بود.

صنعت گل شاخه‌بریده، اهمیت بالایی از منظر صادرات دارد؛ میانگین ارزش افزوده صادرات خارجی گل‌های شاخه‌بریده در حدفاصل سال‌های ۱۹۹۶-۲۰۰۵، حدود ۱۴۱ میلیون دلار در سال بود که حدود ۷ درصد از مجموع ارزش افزوده‌ی صادرات از کشور کنیا را شامل می‌شد. این مقدار در سال ۲۰۰۵، حدود ۳۵۲ میلیون دلار بود. از این رو، ارزش افزوده‌ی حاصل از مصرف هر مترمکعب آب برای تولیدِ گل‌های صادراتی، حدود ۸/۸ دلار بود. این مقدار، ده برابر بزرگ‌تر از ارزش افزوده‌ی حاصل از مصرف یک متر مکعب آب برای تولیدِ قهوه صادراتی در این کشور می‌باشد (Mekonnen and Hoekstra, 2014b).

جدول ۹-۳. ردپای آب گل رز در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶

وزن گل رز (گرم به ازای هر شاخه گل)	عملکرد گل‌های شاخه‌بریده (شاخه بر مترمربع)	ردپای آب (لیتر به ازای هر شاخه)			
		سبز	آبی	خاکستری	کل
20	134	1.6	3.3	2.5	7.4
25	107	2.0	4.1	3.1	9.2
35	77	2.8	5.8	4.3	12.9

منبع: مکونن و همکاران (Mekonnen et al., 2012)

جدول ۹-۴. آب مجازی صادراتی در ازای صادرات گل‌های شاخه‌بریده از حوضه دریاچه‌ی نایواشا در حدفاصل سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶

کشور وارد کننده	صادرات آب مجازی از حوضه دریاچه‌ی نایواشا			
	سبز	آبی	خاکستری	کل
هاند	2,399	4,993	3,708	11,100
انگلستان	611	1,272	944	2,827
آلمان	230	478	355	1,064
سوییس	59	122	91	272
آفریقای جنوبی	37	77	57	171
فرانسه	33	68	51	152
امارات متحده عربی	16	33	25	74
ایتالیا	10	20	15	45
سایر کشورها	64	133	98	295
کل	3,458	7,196	5,345	16,000

منبع: مکونن و همکاران (Mekonnen et al., 2012)

پایداری آب مصرفی در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا

حدود ۲۵ هزار نفر در بخش تولیدات باغیِ حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا مشغول به کار هستند و همین تعداد هم به طور غیرمستقیم، با این بخش درگیر هستند که این افراد، شامل خانواده‌های افرادِ شاغل و خدماتی‌ها می‌باشد (Becht *et al.*, 2005). در اغلبِ این مزراع، دستمزدی بیش‌تر از حد معمول به کارگران پرداخته شده و مزایای دیگری همچون مسکن، خدمات پزشکی رایگان، تحصیل در مدرسه برای فرزندانِ کارگران و خدمات اجتماعی و ورزشی نیز به آن‌ها ارایه می‌شود. برخی از مزراع بزرگ، علاوه بر موارد فوق، در توسعه‌ی جوامع محلی نیز مشارکت نموده و کارهایی همچون ساخت کلینیک و یا ارایه خدمات آمبولانس را انجام می‌دهند. با این وجود، مصرفِ فزاینده‌ی آب شیرین برای پایدار نگه داشتنِ اقتصاد، جای نگرانی دارد.

از دهه‌ی ۱۹۴۰ به بعد از آب دریاچه‌ی نایواشا برای آبیاری استفاده می‌شده است. آب هم به صورت مستقیم، از دریاچه و هم از منابع آب زیرزمینی و رودخانه‌هایی که این دریاچه را تغذیه می‌کنند، استخراج می‌شود. علاوه بر آبیاری، آبِ این حوضه برای شرب نیز استفاده می‌شود. در سال ۱۹۹۲، روزانه ۲۰ هزار مترمکعب از زیرحوضه‌ی مالیوا[1] برای مصارف شرب به شهر ناکورو و گیلگیل[2] می‌رفت. مجموع

1 Malewa
2 Gilgil and Nakuru Town

آبی که در این حوضه به مصارف شرب می‌رسد، ۱/۲ میلیون مترمکعب در سال است. در مجموع، ردپای آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا، ۲۷ میلیون مترمکعب در سال است (جدول ۵–۹).

جدول ۹–۵. ردپای آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا

	ردپای آب آبی (میلیون مترمکعب در سال)	سهم در کل ردپای آب (درصد)
گل‌های شاخه‌بریده	7.58	28
سبزیجات و ماکادمیا	7.68	28
چمن و علوفه	3.19	12
گیاهان کشت شده در بالای حوضه	0.47	2
شهر ناکورو و گیلگیل	7.3	27
آب آشامیدنی حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا	1.19	4
کل	27.4	100

منبع داده: داده‌های مربوط به شهر ناکورو و گیلگیل از بچت و نیاورو (Becht and Nyaoro, 2006) و موسوتا (Musota, 2008) به دست آمد. داده‌های آب شرب مصرفی در حوضه بر اساس جمعیتِ آن (۶۵۰ هزار نفر) و فرضِ سرانه‌ی آب مصرفیِ ۵۰ لیتر بر روز، و این فرض که از مجموع این مقدار، ۱۰ درصد مصرف می‌شود و ۹۰ درصد بازمی‌گردد، محاسبه شد. سایر داده‌ها از مکونن و همکاران به دست آمد (Mekonnen *et al*., 2012).

جدول ۹–۶. میانگین بلندمدتِ بیلانِ آب سالانه در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا

	بیلان آب حوضه (میلیون مترمکعب در سال)	درصد از کل
بارش	2,790	100
تبخیر از سطح خاک	2,573	92.2
تبخیر از دریاچه	256	9.2
جریان آب زیرزمینی خروجی	56	2.0
ردپای آب آبی	27	1.0
خطا	–122	–4.4

منبع داده: ردپای آب آبی از مکونن و همکاران (Becht, 2007) و سایر داده‌ها از بچت (Mekonnen *et al*., 2012) به دست آمد.

رژیم بارش در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا، متأثر از سایه‌بارانی است که به دلیلِ ارتفاعاتِ ابردرده[1] در سمت شرق و مائو اسکارپمنت[2] در غرب شکل می‌گیرد. بارش بلندمدت سالانه، بین ۶۰۰ میلیمتر در شهر نایواشا تا حدود ۱۷۰۰ میلیمتر در ارتفاعات رشته‌کوه‌های نیاندارو[3] متغیر است (Becht et al., 2005). مجموع بارش در این حوضه ۲۷۹۰ میلیون مترمکعب، تبخیر تعرق ۲۵۷۳ میلیون مترمکعب، و رواناب ۲۱۷ میلیون مترمکعب در سال تخمین زده شده است (Becht, 2007; Becht and Harper, 2002). میانگین بلندمدت اجزای بیلان آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا در جدول ۶-۹ نشان داده شده است.

پایداری ردپای آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا را می‌توان از مقایسه‌ی ردپای آب آبی با منابع آب آبی در دسترس تعیین نمود. منابع آب آبی در دسترس برای مصارف بشری، از اختلاف بین مجموع رواناب طبیعی (سطحی و زیرزمینی) و نیازهای زیست‌محیطی به دست می‌آید. در این بخش، نیازهای زیست‌محیطی، برابر با ۸۰ درصد از کل رواناب طبیعی در حوضه در نظر گرفته شده است (Hoekstra *et al*., 2011; Richter *et al*., 2012). برای حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا، مجموع ردپای آب آبی، در حدودِ ۱۳ درصد از رواناب طبیعیِ سالانه است؛ یعنی ۸۷ درصد از کل این رواناب، به محیط زیست اختصاص داده می‌شود. اگر مجموع ردپای آب آبی و خاکستری را با هم در نظر بگیریم، آن‌گاه این مجموع، ۱۹ درصد از کل رواناب طبیعیِ حوضه را شامل می‌شوند.

مقایسه‌ی مجموع ردپای آب آبی و خاکستری با آب در دسترس برای مصارف بشری در مقیاس سالانه نمی‌تواند تغییرات فصلی را به‌ویژه در حوضه‌هایی که رژیم‌های جریان متغیر دارند، نشان بدهد. اگر این مقایسه در مقیاس ماهانه صورت بگیرد، خواهیم دید که در دوره‌های خشک (ژانویه تا مارچ)، مجموع ردپای آب آبی و خاکستری، دوبرابرِ روانابی است که می‌تواند بدونِ تعدی به حریم محیط زیست، استفاده شود. این به آن معناست که آبی دو برابر بیشتر از حد پایدار، برای مصرف و یا پایالایش آلودگی به بشر تخصیص داده شده است. در نوامبر و دسامبر، مجموع ردپای آب آبی و خاکستری، تا حدی باعث نقض نیاز زیست‌محیطی شده است، اما در دوره‌ی زمانی آوریل تا اکتبر، مصارف پایدار بوده و بدون تعدی به حریم محیط‌زیست استفاده شده است.

نواسانات سطح آبِ دریاچه‌ی نایواشا، امری طبیعی در این حوضه بوده و تا ۱۲ متر در طول ۱۰۰ سال گذشته نوسان داشته است (Mavuti and Harper, 2006). لکن، نوسانات اخیر سطح آب در این دریاچه، به دلیلِ شروع کشت گیاهان باغی از سال ۱۹۸۲ می‌باشد. بچت و هارپر (Becht and Harper,

1 Aberdare
2 Mau Escarpment
3 Nyandarua Mountains

2002) نشان دادند که در اواخر سال ۱۹۹۸، سطح آب دریاچه، ۳/۵ متر پایین‌تر از حد قابل انتظار بود. با این وجود، تاکنون برداشت آب در این حوضه، باعث نشده که سطح دریاچه، از رقوم تاریخی‌ای که برای آن ثبت شده است پایین‌تر برود و همچنین نوسانات سطح آب دریاچه، هنوز اثری بر کاهش تنوع زیستی در حوضه نداشته است (Harper and Mavuti, 2004). بر اساس یافته‌های بچت (Becht, 2007)، اگر از این به بعد، برداشت آب ثابت باقی بماند، می‌تواند منتهی به توازن دینامیکیِ سطح آب دریاچه شود. اما اگر این برداشت، روندی افزایشی را طی کند، سطح آب دریاچه حتی از کم‌ترین مقداری که در طول ۱۰۰ سال گذشته برای آن گزارش شده است، نیز پایین‌تر خواهد رفت. اگرچه مهم‌ترین دلیلِ افت سطح آب دریاچه، وجود مزراع تجاری است، اما دلیل تخریب کیفیت آبِ آن، علاوه بر دفع آلاینده‌ها از این مزراع، به دلیل آلاینده‌های دفع شده از مزراع خرده‌مالکی که در بالای حوضه واقع شده‌اند نیز می‌باشد. این یافته، با نتایج کیتاکا و همکاران (Kitaka et al., 2002) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که بخش زیادی از عناصر غذایی که به دریاچه وارد می‌شود، نشأت‌گرفته از مزارعِ بالادست حوضه و فاضلاب شهری است که از طریق جریان‌های سطحی به دریاچه می‌ریزند. انتقال مواد مغذی از اراضیِ بالای حوضه، اغلب از طریق رواناب سطحی صورت می‌گیرد؛ این در حالی است که انتقال این مواد از اراضیِ کشاورزیِ ساحلی، به واسطه جریان آب زیرزمینی صورت می‌گیرد.

محافظتِ بلندمدت از اکوسیستمِ دریاچه و منافعِ اقتصادی و اجتماعیِ حاصل از آن، نیازمندِ استفاده‌ی پایدار از آب دریاچه‌ی نایواشا و حوضه‌ی تحت پوشش آن است. مهم‌ترین چالش‌های کنونی، روند افزایشی مصرف آب برای پرورش گیاهان باغی، افزایش مصارف آب شرب و گسترش پدیده‌ی تغذیه‌گرایی در دریاچه به دلیلِ ورودِ عناصر مغذی از اراضی اطراف دریاچه و بالای حوضه می‌باشد. افزایش عناصر مغذی در دریاچه‌ی نایواشا می‌تواند هم به دلیلِ کاهش پوشش گیاهی در اراضی ساحلی باشد، که این پوشش در حقیقت مانند فیلتری برای به دام‌انداختن رسوبات عمل می‌کند، و هم به دلیلِ افزایش جریان رسوب از حوضه و افزایش عناصر مغذی ورودی به منابع آبی حوضه به واسطه‌ی آبشویی و یا جریان سطحی باشد. این شرایط، به دلیلِ توسعه‌ی کشاورزی معیشتی حتی در شیب‌هایِ تندِ کنار رودخانه که باعثِ تخریبِ اراضی ساحلی شده است، بدتر هم شده است (Everard and Harper, 2002).

تعیین سقف برای ردپای آب آبی و خاکستری در حوضه

به دست آوردن منافعِ بلندمدت در ازای استفاده‌ی پایدار نیازمند انجام اقداماتی در کل حوضه است. بنابراین باید سقف حداکثری برای میزان آب مصرفی در حوضه تعیین شود. این به معنیِ تعیین سقفی

برای حداکثر ردپای آب آبی در حوضه می‌باشد. به نحوی که مجموع آب آبیِ اختصاص داده شده به مصرف‌کنندگان آب در این حوضه، از سقفِ تعیین شده فراتر نرود. تصمیم برای چگونگیِ تخصیصِ منابع آبیِ محدود بین مصرف‌کنندگانِ مختلف باید اولاً بر اساسِ برابری (بین کشاورزان کوچک و بزرگ، و بین کشاورزان و دیگر مصرف‌کنندگان آب)، و دوماً با لحاظ بهره‌وری اقتصادیِ گیاهان مختلف صورت بگیرد. گل‌های شاخه‌بریده، ارزش اقتصادیِ بیش‌تری در مقایسه با گیاهان علوفه‌ای دارند. همچنین، گل‌هایی که در فضای بسته پرورش می‌یابند، اقتصادی‌تر از گل‌هایی هستند که در فضای باز تولید می‌شوند؛ بنابراین، تولید در فضای گلخانه توام با توسعه‌ی استحصال آب باران باید در راس توجه قرار بگیرد. استفاده از منابع آب آبی برای تولیدِ گیاهات آب‌بری چون لوبیا، و یا محصولاتی چون علوفه که ارزش اقتصادی پایینی دارند، باید ممنوع شود. استفاده‌ی عاقلانه از آب باران، به‌ویژه در اراضی بالای حوضه، برای تولیدِ گیاهان علوفه‌ای باید ترویج شود. استفاده از ابزار قانونی و مشارکت جامعه‌ی مدنی برای کنترل برداشت غیرمجاز از منابع آبی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

برای آب خاکستری نیز باید حدی تعریف شود. میزان رسوبات و عناصر مغذی ورودی از اراضیِ تجاریِ اطراف دریاچه و یا اراضیِ معیشتیِ بالای حوضه باید کاهش یابد. مشکل ورود رسوبات به دریاچه، به دلیلِ کاهش پوشش گیاهی در اراضی ساحلی که به شکل فیلتری برای جذب رسوبات عمل می‌کردند، تشدید شده است. به منظور توقفِ تخریبِ پوشش گیاهی در حواشی رودخانه به‌واسطه‌ی چرای بی‌رویه‌ی دام، باید اقداماتی ضروری و هماهنگ در سطح حوضه انجام شود. به این منظور، ممنوعیت کشت در اراضی ساحلی امری مهم خواهد بود.

مقررات آبیِ فعلی در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا

در سال ۲۰۱۶، پارلمانِ کنیا، قانونِ آبِ ۲۰۱۶[1] را تصویب کرد که این قانون، جایگزینِ قانونِ آبِ ۲۰۰۲[2] شد. در قانونِ ۲۰۰۲، مدیریت منابع آب و ارایه‌ی خدمات آبی از هم تفکیک شد و سازمان مدیریت منابع آب[3] تاسیس شد که این سازمان، عهده‌دار صدور مجوزهای برداشت آب بود. در قانونِ سال ۲۰۱۶، این سازمان، به سازمان منابع آب[4] تبدیل شد. دولتِ کنیا، به آب، کالایی اقتصادی و اجتماعی در نظرمی گیرد، به نحوی که آب برای همه‌ی افرادِ کنیا، و با قیمت متغیری که به وضعیتِ بازار بستگی دارد، در دسترس باشد. این اصل، در تمام استراتژی‌های بخش آب و قوانین مدیریت منابع

1 Water Act 2016
2 Water Act 2002
3 Water Resources Management Authority (WRMA)
4 Water Resources Authority (WRA)

آب جای گرفت. از جمله این استراتژی‌ها، می‌توان به مدیریتِ تقاضا، بازتخصیصِ آب به مصرف‌کنندگانی که ارزش افزوده‌ی بیشتری تولید می‌کنند و تخصیصِ کارآمدتر با قیمت‌گذاری واقعیِ آب اشاره نمود.

از آنجایی‌که آب، به طور فزاینده‌ای، در حال تبدیل شدن به یک منبع کمیاب است، تعیین قیمت تمام شده‌ی آب، ابزار موثری برای مدیریت آن محسوب می‌شود. پس از کنفرانس بین‌المللیِ آب و محیط زیست که در سال ۱۹۹۲ در دوبلین برگزار شد، ضرورتِ تعیین قیمت تمام شده‌ی آب، اهمیتی جهانی پیدا کرد. پس از آن، دستورالعمل ۲۱ سازمان ملل متحد (UN, 1992) نیز از بین‌المللی‌سازیِ هزینه‌های زیست‌محیطی و استفاده از ابزار اقتصادی برای استفاده‌ی منطقی از منابع آب حمایت کردند. کمیسیون جهانیِ آب[1] در سال ۲۰۰۰ نیز بیان– داشت که تنها راه‌کار فوری و مهمی که می‌توان توصیه کرد، اجرای اصولیِ مسأله‌ی قیمت‌گذاری واقعی آب بر اساس هزینه‌های تمام شده برای خدماتِ آبی مورد نظر است. استفاده‌ی پایدار و کارآمدِ آب، نیازمند قیمت تمام شده‌ی آب است که این قیمت باید مشتمل بر تمام هزینه‌ها از جمله هزینه‌های بهره‌بردای و نگهداری، هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های فرصت، هزینه‌ی مربوط به شرایط کمبود آب[2]، و هزینه‌های مربوط به اثرات خارجیِ استفاده از آب[3] باشد (Hoekstra, 2011a; Rogers *et al*., 2002). با این حال، تنها موارد معدودی وجود دارد که این قبیل ارزش‌گذاری‌ها را انجام دادند (Cornish *et al*., 2004). حتی در اغلب کشورهای OECD[4] نیز ارزش‌گذاری واقعیِ آب به سختی صورت گرفته است، کشورهای در حال توسعه که دیگر جای خود دارند (Rosegrant and Cline, 2002; Perry, 2003; Molle and Berkoff, 2007). بانک جهانی در سال ۲۰۰۴ بیان داشت که اصلاح ارزش‌گذاری برای آب آبیاری، چه در تئوری و چه در عمل، با پیچیدگی‌های بسیاری همراه است (World Bank, 2004). همچنین، بانک جهانی از دیدگاهِ "عمل‌گرا، اما اصولی[5]" حمایت می‌کند که در آن، علاوه بر اینکه اصولی همچون کارایی، برابری و پایداری اهمیت دارند، اما این مسأله نیز پذیرفته شده است که مدیریت منابع آب، مبحثی به شدت سیاسی بوده و مداخلاتی که برای اصلاح آن لازم است، باید ابتدا اولویت‌بندی شده، سپس بر اساسِ این اولویت‌ها، اصلاحات به ترتیب، به صورت عملی و صبورانه اجرا شود.

کمبود بودجه یکی از مهم‌ترین چالش‌هایی است که در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا برای احیای حوضه و محافظت از دریاچه با کمک جامعه وجود دارد (Becht *et al*., 2005). در چنین شرایطی،

1 World Water Commission
2 Scarcity rent
3 Externality costs of water use
4 Organization for Economic Co-operation and Development (OECD)
5 Pragmatic but principled

فرآهم کردن بودجه‌ی کافی می‌تواند به اجرای ارزش‌گذاری آب از یک سو، و ایجاد انگیزه‌ی کافی برای استفاده‌ی پایدار و کارآمد از آب از سویی دیگر، منتهی شود. با این حال، اجرای قیمت‌گذاری کامل آب در شرایط موجود در کنیا و اراضی اطراف نایواشا امکان‌پذیر نیست. صاحبان مزراع گل معتقدند که حتی در شرایط فعلی نیز مالیاتِ اضافه پرداخت می‌کنند؛ از این‌رو، از سال ۲۰۰۶ تاکنون، تعداد زیادی از کمپانی‌های گل به اتیوپی نقل مکان کردند و انتظار می‌رود که این روند ادامه– داشته باشد.

بر اساس قوانین مدیریت منابع آب در سال ۲۰۰۷، به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، مصرف‌کنندگان آب شرب باید ۰/۵ شیلینگ کنیا، و دیگر مصرف‌کنندگان باید ۰/۷۵–۰/۵ شیلینگ کنیا پرداخت کنند. مصرف‌کنندگانِ بزرگ، برای برداشت آب نیاز به مجوز دارند و باید کنتور آب داشته باشند. با این وجود، اجرای چنین قوانینی در عمل، به دلیل همراهی نکردن بسیاری از مصرف‌کنندگان در پیروی از مقررات دولتی و همچنین به دلیل مشکلاتی که دولت در پیاده‌سازیِ قوانین پیدا می‌کند، میسر نیست. سیاستِ ارزش‌گذاری فعلیِ آب در کنیا، ضعف‌های بسیاری دارد. یکی از این ضعف‌ها آن است که برداشت غیرقانونی از منابع آب سطحی و زیرزمینی در این کشور، امری رایج است. به دلیلِ مشکلاتی همچون محدودیت سوخت و ماشین، برای دولت دشوار است که بررسی کند که آیا کشاورزان در بالادستِ حوضه، مطابق با الزامات قانونی، کنتورهای حجمیِ آب را نصب نموده‌اند یاخیر. اگرچه کشاورزان معتقدند که تعرفه‌های جدیدِ آب بسیار زیاد است، اما حتی این تعرفه‌ها نیز تمامِ هزینه‌های تمام شده برای تأمین آب آبیاری را پوشش نمی‌دهند. در نتیجه، ارزش افزوده‌ی حاصل از طرح تعرفه‌گذاری جدید، بسیار ناچیز بوده است. اجرای طرح افزایش قیمت آب، که بدون شک برای مدیریت تقاضا لازم است، به لحاظ سیاسی دشوار است. علاوه بر آن، اجرایِ سرسختانه‌ی طرح ارزش‌گذاری واقعیِ آب، روی قدرت رقابت‌پذیریِ شرکت‌های داخلیِ کنیا در بازار جهانی نیز اثر می‌گذارد (Cornish *et al*., 2004).

قراردادِ گلِ پایدار بین عواملِ اصلی در زنجیره‌ی تولیدِ گل‌های شاخه بریده

با توجه به افزایشِ تعدادِ مصرف‌کنندگانِ دوست‌دارِ محیط‌زیست از یک‌سو، و تمایلِ تجار و خرده‌فروشان به تولیدِ محصولات پایدار برای مصرف‌کنندگان از سویی دیگر، مشارکت دادنِ مصرف‌کنندگان و دیگر ذی‌نفعان، می‌تواند فرصت مناسبی برای استفاده‌ی پایدار از منابع آب در تولید گل‌های شاخه‌بریده باشد. دغدغه‌ی مصرف‌کنندگان در خصوص این‌که الگوی مصرف آن‌ها، چگونه جهان پیرامونشان را متأثر می‌سازد، افزایش یافته است. این مسأله، باعثِ افزایش تولیدِ محصولات ارگانیک و تجارت عادلانه‌ی آن‌ها شده است. نتایج بسیاری از پژوهش‌ها نشان می‌دهد که

مصرف‌کنندگان، حاضرند بهای بیش‌تری برای محصولاتی که ملاحظات زیست‌محیطی و اجتماعی در پروسه‌ی تولیدِ آن‌ها لحاظ شده است، پرداخت کنند.

در این بخش، ویژگی‌های یک "توافق‌نامه‌ی گل پایدار" بین عوامل اصلی در فرآیند تولید گل‌های شاخه بریده، با تاکید بر استفاده‌ی پایدار از منابع آب، را تشریح می‌کنم. این توافق‌نامه، باید مشتمل بر دو بخش کلیدی و مهم باشد: (الف) بخش اول، تعیین یک مکانیسم مشخص برای جمع‌آوری بودجه‌ای است که به سبب اجرای این توافق‌نامه به‌دست خواهد آمد؛ این بودجه، قرار است برای استفاده‌ی پایدار از منابع آب در فرآیند تولید گل صرف شود؛ (ب) و بخش دوم، شفاف‌سازی اطلاعاتی به دلیل برچسب‌گذاری روی محصول و یا ارایه‌ی گواهی‌نامه‌ای است که تضمین کند این بودجه، به درستی برای تولیدِ پایدار گل‌ها هزینه شده است.

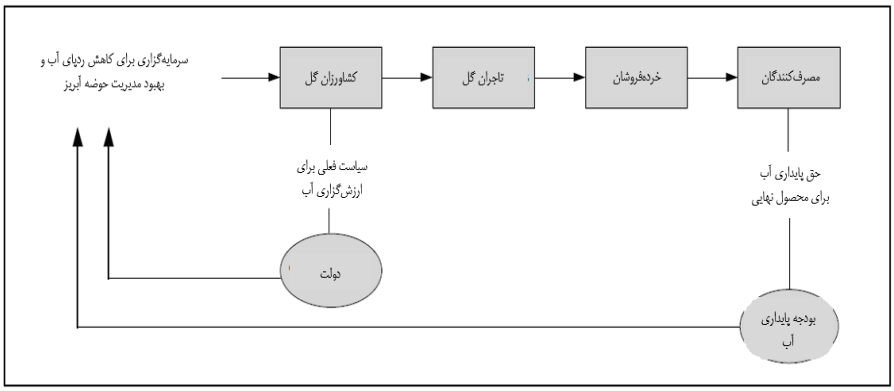
حق بیمه‌ای که در ازای فروشِ گل‌هایِ شاخه‌بریده‌ی حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا به مصرف‌کنندگان در اروپا، از ایشان دریافت می‌شود، باید برای مدیریتِ بهترِ حوضه و به‌ویژه، کاهش ردپای آب در مزراع پرورش گل، هزینه شود. برای تعیینِ چگونگیِ صرفِ این بودجه، باید معیارهای مشخصی تدوین شود. این معیارها باید به گونه‌ای تنظیم شوند که خرده‌مالکان نیز در زمره‌ی ذینفعانِ این بودجه قرار بگیرند، زیرا خرده‌مالکان، هم برای پایبند بودن به معیارهای زیست‌محیطی و هم برای جذب این بودجه، با چالش‌های بیش‌تری در مقایسه با تجارِ مزراع بزرگ مواجه هستند.

برای بازگرداندن بودجه‌ی حاصل از اجرای طرح حق‌بیمه‌ی پایداری آب به حوضه و صرف آن برای حفاظت از محیط‌زیست، مدیریت حوضه، حمایت از کشاورزان برای بهبود مدیریت آب در مزارع و توسعه‌ی جامعه، لازم است تا زیرساخت‌های نهادی تشکیل شود. سازمان‌های تجارت عادلانه، می‌توانند نقش مهمی در اطمینان از صرفِ بودجه‌ی به‌دست آمده از سمت مصرف‌کنندگان، برای حمایتِ مالی از برنامه‌های داخلی‌ای که با هدف بهبود مدیریت حوضه و حمایت از کشاورزان به خاطر کاهش ردپای آب خود تدوین شده‌اند، داشته باشند.

دیدگاهِ اخذ حق بیمه‌ی پایداریِ آب از مصرف‌کنندگانی که در انتهای زنجیره‌ی تأمین یک کالا قرار دارند، با دیدگاه فعلیِ ارزش‌گذاری محلی آب برای اخذ بودجه برای سرمایه‌گذاری روی استفاده‌ی پایدار از آب فرق دارد (شکل ۹–۱). ارزش‌گذاری محلی آب، مکانیسمی است که در ابتدای زنجیره‌ی تأمین لحاظ می‌شود؛ یعنی کشاورزان باید این حق بیمه را پرداخت کنند. حق بیمه‌ی پایداری آب مربوط به انتهای زنجیره‌ی تأمین است؛ یعنی مصرف‌کنندگان باید آن را پرداخت کنند. با توجه به این مهم که قیمت گل در انتهای زنجیره‌ی تأمین افزایش می‌یابد، بنابراین لحاظ این حق بیمه روی قیمتِ تمام شده برای مصرف‌کننده، آسان‌تر از لحاظ آن برای کشاورزان خواهد بود. در حال حاضر، هزینه‌ی استحصال

هر مترمکعب آب برای کشاورزان تجاری، ۰/۵ شیلینگ کنیاست (۰/۰۰۷ یورو بر مترمکعب). مجموع آبی که توسط این کشاورزان در اراضی اطراف دریاچه‌ی نایواشا برداشت می‌شود، ۴۰ میلیون مترمکعب در سال است؛ که حدود نیمی از این مقدار توسط تجارِ مزراع گل برداشت می‌شود (Becht, 2007). هزینه‌ی برداشت این مقدار آب، ۰/۱۳ میلیون یورو در سال خواهد بود. با توجه به اینکه سالانه، ۹/۷ میلیارد شاخه گل صادر می‌شود، می‌توان گفت که به ازای هر شاخه گل، حدوداً ۰/۰۰۰۰۷۶ یورو برای تأمین آب آبیاری مورد نیاز برای آن پرداخت می‌شود. این خوش‌بینانه‌ترین حالت است، زیرا همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، دولت نمی‌تواند کشاورزان را مجبور به پرداخت این پول نماید. این در حالی است که اگر هزینه‌ای برابر با ۰/۰۱ یورو به ازای هر شاخه گلی که در خرده‌فروشی‌ها فروخته می‌شود، به شکل حق بیمه‌ی پایداریِ آب از مصرف‌کنندگان دریافت شود، سالانه ۱۷ میلیون یورو در سال جمع‌آوری خواهد شد. نگاهی به قابلیت جذب سرمایه از طریق دو رویکردِ مذکور برای مدیریت حوضه نشان می‌دهد که با اجرای رویکردِ حق‌بیمه‌ی پایداری آب، می‌توان سرمایه‌ای در حدود ۱۰۰ تا ۲۰۰ برابر بیش‌تر از آنچه به واسطه‌ی ارزش‌گذاری محلی آب به دست می‌آید را جذب نمود.

برای جذب سرمایه از طریق پرداخت حق بیمه‌ی پایداریِ آب توسط مصرف‌کنندگان در انتهای زنجیره‌ی تأمین کالا، باید مکانیسمی اتخاذ شود که از طریق آن، هم کشاورزانی که گل‌های پایدار تولید می‌کنند، گواهی‌نامه‌ی پایداری دریافت کنند و هم گل‌هایی که توسط این کشاورزان تولید می‌شوند، برچسب پایداری داشته باشند. برچسب‌گذاری می‌تواند یا روی هر یک از گل‌هایی که به دست مصرف‌کننده می‌رسد صورت بگیرد، و یا به صورت اطلاعات پیوست برای یک دسته گلی که به دست خرده‌فروش می‌رسد باشد. می‌توان مصرف‌کنندگان را به خرید گل‌هایی که از مزارعِ دارای مجوز پایداری به دست آمده‌اند و یا گل‌های برچسب‌دار تشویق نموده و از آن‌ها خواست تا هزینه‌ی معینی برای مشارکت در پایداریِ فرآیند تولید و مصرف این گل‌ها بپردازند. صدور این مجوزها و یا برچسب‌گذاری‌ها، به تفکیکِ محصولاتِ سازگار با محیط‌زیست از دیگر محصولات کمک نموده و به مصرف‌کنندگان، تضمین کیفیت ارایه می‌دهد. موفقیتِ این طرح، به یک سیستمِ شفاف و معتبر برای نظارت و صدور مجوزها نیازمند است. کشاورزان، زمانی می‌توانند از منافع این طرح بهره‌مند شوند که اصولِ استانداردِ بین‌المللی در پروسه‌ی تولید را رعایت کرده باشند.



شکل ۹–۱. شمایی از زنجیره‌ی تأمین گل.

فرآیند صدور مجوز و برچسب‌گذاری روی محصولات می‌تواند بر اساسِ شیوه‌نامه‌های موجود در "اقدامات خوب کشاورزی جهانی" (GlobalGAP)[1] صورت بگیرد. استانداردهای پایداریِ آب می‌تواند به استانداردهای موجود در GlobalGAP، که در حال حاضر، در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته و در حال توسعه از جمله کنیا اعمال می‌شود، اضافه شود. کشاورزانی که مطابق با استانداردهای GlobalGAP عمل کنند، از مزایایی همچون دسترسیِ بیش‌تر به بازار برای فروش محصولات خود، افزایش بهره‌وری و کاهش هزینه‌های تولید به واسطه‌ی اعمالِ دقیقِ کودها و سموم، بهره‌مند می‌شوند.

رویکردی که اینجا ترسیم شده است، کشاورزانِ پرورش‌دهنده‌ی گل را به استفاده‌ی پایدار از منابع آب تشویق می‌کند. هزینه‌ای که برای صدور مجوز و برچسب‌گذاری لازم است باید از طریق بودجه‌ای که از اجرای طرحِ حق بیمه‌ی پایداریِ آب به دست می‌آید، تأمین شود، اما این هزینه باید بخش کمی از کل بودجه‌ی به‌دست آمده را شامل شود، زیرا مهم‌ترین هدفِ جمع‌آوری این بودجه، سرمایه‌گذاری برای استفاده‌ی پایدار از منابع آب درون حوضه است. این نکته یک مسأله‌ی مهم در پایه‌گذاری توافق‌نامه‌ی پایداریِ آب است، زیرا وقتی چنین هزینه‌هایی خیلی بالا رود، این ابزار کارآیی خود را از دست می‌دهد. این توافق‌نامه در ساده‌ترین شکلِ خود، مشتمل بر یک خرده‌فروش در هلند (مهم‌ترینِ واردکننده‌ی گل از کنیا)، یک تاجرِ صادرکننده‌ی گل، و یکی از کشاورزانِ بزرگ است. در سطحی وسیع‌تر، چندین خرده‌فروش، تاجر و کشاورز در این توافق‌نامه درگیر خواهند بود. خرده‌فروشان، تجار و کشاورزان، همچنین می‌تواند نمایندگانی از شعب خود به شمار آیند. این نمایندگان برای کشاورزان گل، می‌تواند گروه پروش‌دهندگان گل در دریاچه‌ی نایواشا و یا شورای گل کنیا باشد. در هلند، بازار گل

1 Global Good Agricultural Practices (GlobalGAP).

توسط رویال فلور هلند[1] سازمان‌دهی می‌شود که این سازمان، می‌تواند نقش مهمی در تسهیل نمودن فرآیند انعقاد چنین تفاهم‌نامه‌ای داشته باشد.

وارد نمودنِ موضوعِ پایداری در توسعه‌ی اقتصادی

گل‌های شاخه‌بریده، سهم مهمی در صادرات از کنیا دارد. این مزراع، علاوه بر سهم بالایی که در تولید ناخالص ملی و صادرات بین‌المللی دارند، برای کارگران و خانواده‌هایشان، شغل و تسهیلات رایگانی همچون مسکن، مدرسه و خدمات پزشکی فرآهم می‌کنند. بنابراین، تعطیل شدن صنعت تولید گل‌های شاخه‌بریده، به معنیِ رقم زدنِ فجایعِ اقتصادی و اجتماعی بسیاری درکنیا و به‌ویژه در حوالیِ دریاچه‌ی نایواشا می‌باشد. از سوی دیگر، احیای دریاچه‌ی نایواشا، تنها در گروی پایداریِ دریاچه و بهره‌برداریِ پایدار از آن توسط مزراع تجاریِ اطرافِ این دریاچه است. بنابراین، مدیریت پایدارِ منابع آب در حوضه‌ی دریاچه‌ی نایواشا ضروری است. در این مدیریت، سقفی برای ردپای آب آبی و خاکستری در حوضه تعیین می‌شود و متناسب با آن، میزان برداشتِ مجاز از رودخانه تعیین خواهد شد.

اگرچه تعیین قیمتِ واقعیِ تمام شده برای آب مهم است، لکن اجرای آن در عمل با توجه به شرایطِ فعلی و آینده‌ی نزدیک در کنیا ممکن نیست. در عوض، تعیین حقِ بیمه‌ی پایداریِ آب برای خرده‌فروشانِ گل‌های شاخه‌بریده، روش موثرتری خواهد بود. با این روش، می‌توان بودجه‌ی مناسبی از طریقِ ارزش‌گذاری محلی برای آب به دست آورد و این بودجه را برای بهبودِ مدیریتِ حوضه و اعمال روش‌هایی برای کاهش ردپای آب آبی و خاکستری در این حوضه هزینه نمود. همچنین، این روش می‌تواند باعث آگاه شدن مصرف‌کنندگان از ارزشِ واقعیِ آب در فرآیند تولید گل‌های شاخه‌بریده در کنیا شود. تعیین حق بیمه‌ی پایداریِ آب، خطرِ نابودیِ تجارت گل در کنیا در بلندمدت را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن، عادلانه آن است که این هزینه را مصرف‌کنندگان واقعیِ این گل‌ها پرداخت کنند: در حال حاضر، مصرف‌کنندگانِ خارجیِ این گل‌ها، تنها از تولیدِ این گل‌ها سود می‌برند، اما هزینه‌های زیست‌محیطیِ ناشی از این تولید را پرداخت نمی‌کنند. حقِ بیمه‌ی پایداریِ آب می‌تواند پایداریِ مزراعِ تجاری و شانس تداوم یک بازار پایدار را افزایش دهد. اجرای موثر این ایده به میزان متعهد بودن تمام ذی‌نفعان، مشتمل بر دولت کنیا، سازمان‌های مردم‌نهاد، کشاورزان، تجار، خرده‌فروشان، و مصرف‌کنندگان به تفاهم‌نامه‌های منعقدشده بستگی دارد. موفقیتِ این ایده همچنین نیازمندِ اتخاذ تمهیدات سازمانیِ لازم و دستورالعمل شفافی برای تخصیص بودجه‌ی به‌دست آمده از این کار برای سرمایه‌گذاری رویِ استفاده‌ی پایدار از منابع آبی حوضه می‌باشد.

1 Royal FloraHolland

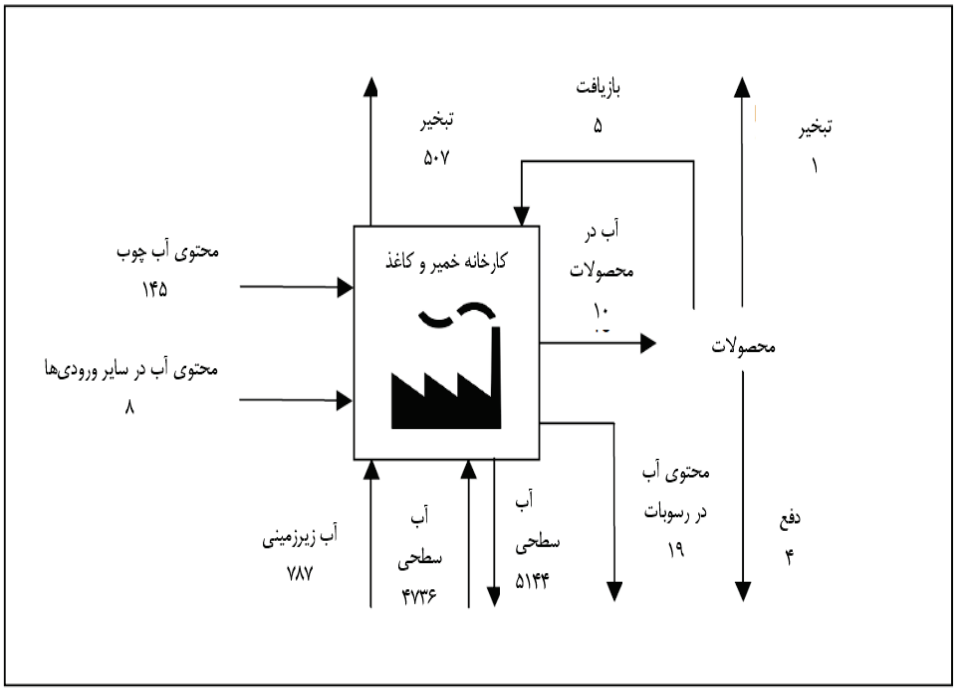
فصل دهم

ردپای آب کاغذ در زنجیره‌ی تأمین

کارخانه‌های کاغذ، مشهور به مصرف زیادِ آب و تولیدِ بالایِ فاضلاب هستند که اگر این فاضلاب‌ها به درستی تصفیه نشوند، می‌توانند موجبِ آسیب‌های اکولوژیکیِ قابل توجهی در رودخانه‌هایی که بدان‌ها تخلیه می‌شوند، گردند. کارخانه‌های خمیر و کاغذ، سالانه، حدود ۵۵۰۰ میلیارد لیتر از آب‌های سطحی و زیرزمینی در آمریکا را برداشت می‌کنند (شکل ۱۰–۱) که این میزان، ۲/۲ درصد از کل آبی است که توسط بخش صنعت در این کشور برداشت می‌شود (FAO, 2019b). با این وجود، بخش زیادی از آبی که در کارخانه‌های خمیر و کاغذ استفاده می‌شود، مجدد به حوضه‌ای که آب از آن برداشت شده است، بر می‌گردد. به همین دلیل، مقدار آب مصرفی بسیار کمتر از آب برداشتی است: سالانه، ۵۰۷ میلیارد لیتر آب در کارخانه‌های خمیر و کاغذ تبخیر شده و ۱۰ میلیارد لیتر آب نیز درونِ فرآورده‌های تولیدی نهادینه می‌شود. احتمالاً، آلودگیِ ناشی از صنایع خمیر و کاغذ، مهم‌تر از میزان آب مصرفی در این کارخانه‌هاست.

خمیرهای شیمیایی، با پختنِ مواد خام و افزودنِ مواد شیمیایی تهیه می‌شوند. ترکیبات مواد شیمیایی‌ای که در این مراحل اضافه می‌شوند، به نوع فرآیند منتخب حین تولید خمیر و کاغذ بستگی دارد. ما باید بین فرآیندهایی که در آن‌ها، سولفات، سولفیت و سدیم اضافه می‌شود، تمایز قایل شویم. هرچند فرآیند تولیدِ خمیر به صورت مکانیکی نیز امکان‌پذیر است، اما تولیدِ آن به روش شیمیایی رایج‌تر بوده و از میان روش‌های شیمیایی نیز، فرآیند تهیه خمیر با افزودنِ سولفات، مرسوم‌تر می‌باشد.
پس از خمیرسازی، خمیر را سفید می‌کنند. بدین منظور، از مواد شیمیایی متعددی مانند کلرین، هیپوکلریت سدیم، و دی‌اکسید کلر، استفاده می‌شود. استفاده از کلر و ترکیباتِ آن، غلظتِ مواد نامطلوب در فاضلابِ تولیدی را افزایش می‌دهد.

مهم‌ترین منبعِ آلوده کننده‌ی منابعِ آبی به واسطه‌ی کارخانه‌های خمیر و کاغذ، ترکیباتِ آلیِ موجود در فاضلاب خروجی از این کارخانه‌هاست که اغلب، شامل مقدار زیادی ترکیبات آلی کلر، مانند دی‌اکسیدها و دیگر هالیدهای آلیِ قابل جذب، می‌باشد؛ این هالیدها، به اختصار، AOX نامیده می‌شوند. مواد آلیِ موجود در فاضلابِ خروجی از کارخانجات خمیر و کاغذ، با شاخصِ نیاز اکسیژنِ بیوشیمیایی (BOD) اندازه‌گیری می‌شود؛ مقادیرِ بالای BOD در فاضلاب، باعثِ کاهش اکسیژن و در نتیجه، مرگِ آبزیان در رودخانه‌ها خواهد شد. همچنین، غلظت بالای AOX نیز می‌تواند باعث مرگ آبزیان شود.



شکل ۱۰-۱. بیلان آب در کارخانه‌های خمیر و کاغذ در ایالات متحده‌ی آمریکا. حجم آب بر اساس میلیارد مترمکعب در سال بیان شده است. منبع داده‌ها NCASI (2009) می‌باشد. اصطلاحِ "آبِ چوب"، به میزان آبی اشاره دارد که به صورت فیزیکی واردِ چوب شده است. در این بیلان، میزان آبی که به صورت غیرمستقیم در پروسه‌ی تولید چوب استفاده شده، ارایه نشده است.

علاوه بر مصرف و آلودگی آب در کارخانجات خمیر و کاغذ، حجم زیادی آب برای پرورشِ درختانی که ماده‌ی اولیه‌ی تولیدِ کاغذ محسوب می‌شوند، نیاز خواهد بود. این نیاز آبی، غالباً از آب باران تأمین شده و همان تعرقِ درختان و تبخیرِ صورت گرفته از سطح مزراع می‌باشد، اما اگر آب زیرزمینی خیلی عمیق نباشد، بخشی از این نیاز آبی می‌تواند از منابع آب زیرزمینی نیز تأمین شود. تبخیر-تعرق، به خودیِ خود، یک نیاز کاملاً طبیعی بوده و تغییر محسوسی در هیدرولوژیِ حوضه‌هایی که مزراع در آن‌ها واقع شده است ایجاد نمی‌کند، ولی از دیدگاه تخصیص آب، تعیینِ میزان آبی که برای پرورشِ فرآورده‌های چوبی جنگلی مانند کاغذ، الوار، و هیزم نیاز است، اهمیت دارد، زیرا آب و زمینی که به این کار تخصیص داده می‌شود، نمی‌تواند در سایر اهداف، مثلِ تولیدِ گیاهان و یا تأمین نیاز زیست‌محیطی برای پایداریِ جنگل‌ها و حفظ تنوع زیستی، استفاده شود.

بر اساسِ آخرین ارزیابی صورت گرفته از منابع جنگلیِ جهان، ۳۰ درصد از ۴۰۰۰ میلیون هکتار جنگل‌های دنیا، جنگل‌های تولیدی[1]، و ۲۶ درصد هم جنگل‌هایِ چندمنظوره می‌باشند (FAO, 2016). مساحت جنگل‌های مصنوعی، ۷ درصد از مساحت کل جنگل‌های جهان را شامل شده و در حال افزایش می‌باشد. آبِ اختصاص یافته به اراضیِ تحت پوشش جنگل‌های تولیدی، برای تولیدِ فرآورده‌های جنگلی مصرف می‌شود، بنابراین از دسترس دیگر مصرف‌کنندگانِ آب خارج می‌شود. وقتی آب مورد نیاز برای تولید کاغذ بررسی می‌شود، باید علاوه بر آبی که به صورت مستقیم در فرآیند تولید خمیر و کاغذ مصرف می‌شود، به آب مصرفی برای تولید چوب نیز توجه نمود. موضوعِ مورد بحثِ ما در این فصل نیز، تعیین حجم زیاد آبی است که به تولید چوب اختصاص داده شده و به صورت غیرمستقیم، در فرآیند تولید کاغذ مورد استفاده قرار می‌گیرد. این درست است که تولیدِ چوب، عمدتاً با مصرف آب باران (آب سبز)، و تهیه خمیر و کاغذ با مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی (آب آبی) صورت می‌گیرد و چالش‌های آبی، عمدتاً مربوط به آب آبی است، اما این تصور که آب سبز محدود نیست، کاملاً اشتباه است.

در حقیقت، در بحث‌هایی که پیرامون کمبود آب شیرین صورت می‌گیرد، تمرکز عمدتاً بر منابع آب آبی (رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی) است؛ این در حالی است که به دلایلِ متعددی باید نگرانِ چگونگیِ تخصیصِ منابع آب سبز (آب باران) نیز بود. رقابت بر سرِ مصرف آب سبز نیز مانند آب آبی وجود دارد. هر دو منبع آب سبز و آبی، می‌توانند برای مصارف متعدد بشر (مثل تولید چوب، غذا، الیاف لباس، تولید سوختِ زیستی، الوار، هیزم، و کاغذ) مورد استفاده قرار بگیرند و یا با هدف پایداریِ اکوسیستم‌های طبیعی، دست‌نخورده باقی بماند. بخش زیادی از منابع آب سبز در جهان برای تولید فرآورده‌های جنگلی مصرف می‌شود، بنابراین نمی‌تواند برای سایر اهداف مورد استفاده قرار بگیرد. تصویر کاملِ ردپای آب یک کاغذ تنها زمانی قابل ترسیم است که به مصرف آب در تمام زنجیره‌ی تولیدِ آن توجه شود.

تخمین ردپای آب کاغذ

ردپای آب کاغذ (بر حسب لیتر بر کیلوگرم)، مجموع تمام ردپاهای آبی است که در مراحل جنگل‌داری و صنعتی مصرف می‌شوند. در مرحله‌ی اول (جنگل‌داری)، چوب تولید می‌شود و در مرحله‌ی دوم (صنعتی)، چوب به خمیر و کاغذ تبدیل می‌شود.

در یک کارخانه‌ی خمیر، چیپس‌های چوب یا دیگر منابع فیبر گیاهی به یک تخته‌ی فیبر ضخیم تبدیل می‌شود که می‌تواند برای فرآوری و تبدیل شدن به فرآورده‌های نهایی کاغذ، به کارخانه‌های

1 Production Forests

تولید کاغذ ارسال شود. ردپای آب در مرحله‌ی صنعتی، از حاصل‌جمع میزان تبخیر در کارخانجات خمیر و کاغذ، میزان آبی که درون محصولات تولیدی در کارخانه‌های خمیر و کاغذ قرار می‌گیرد و مجموع آبی که در بقایای جامدِ این کارخانجات وجود دارد، به‌دست می‌آید. ردپای آب خاکستری به غلظت آلاینده‌های موجود در فاضلاب کارخانجات خمیر و کاغذ که به محیط‌زیست تخلیه می‌شوند، بستگی دارد. اگر این فاضلاب‌ها پیش از تخلیه، تصفیه شوند، برای محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری باید مجموع آلاینده‌های موجود در این فاضلاب‌ها را پس از تصفیه تعیین نمود. در مرحله‌ی صنعتی، ردپای آب سبز وجود ندارد.

ردپای آب مصرفی در مرحله‌ی جنگل‌داری دارای هر دو مولفه‌ی سبز و آبی است. نمی‌توان به سادگی ردپای آب سبز و آبی را در این مرحله از هم تفکیک نمود، زیرا درخت می‌تواند به صورت همزمان از آب باران و آب زیرزمینی (به واسطه‌ی صعود مویینگی) استفاده نماید. با این فرض که در مزارعِ پرورش چوب، هیچ ماده‌ی شیمیایی‌ای استفاده نمی‌شود، می‌توان ردپای آب خاکستری در مرحله‌ی جنگل‌داری را صفر فرض نمود.

علاقه‌ی زیادی به محاسبه‌ی ردپای آبِ کاغذ در کارخانجات خمیر و کاغذ وجود داشته است. یکی از اولین شرکای شبکه‌ی جهانیِ ردپای آب، کنفدراسیون صنایع کاغذ اروپا[1] بود که در سال ۲۰۰۹ به این شبکه ملحق شد. کارخانجات کاغذی که شروع به تعیینِ ردپای آب فرآورده‌های خود نمودند شاملِ کمپانی یوپی‌ام-کیمن[2] (در فنلاند)، استورا انسو[3] (در سوئد) و گروه اسمورفیت‌کاپا[4] (در ایرلند) بودند. در سال ۲۰۱۲، ما اولینِ تخمین‌های خود از ردپای آب کاغذ در جهان را منتشر کردیم (Van Oel and Hoekstra, 2012) و پنج سال بعد، این کار را با جزئیات بیش‌تر تکرار نموده و نتایج آن را در مقاله‌ی دیگری منتشر کردیم (Schyns *et al*., 2017).

نمونه‌ی محاسبات برای کمپانی UPM

کمپانی یوپی‌ام-کیمن، که یک کارخانه خمیر، کاغذ و الوار در فنلاند است، اولین کارخانه در صنف خود بود که یک مطالعه‌ی دقیق روی ردپای آب کاغذ انجام داد. در یک مطالعه‌ی موردی دقیق، این کمپانی ردپای آب عملیاتی و زنجیره‌ی تأمین را برای کارخانه‌ی کاغذِ نوردلند[5] در آلمان تعیین نمود (Rep, 2011). بخش زیادی از خمیرهای شیمیاییِ

1 Confederation of European Paper Industries
2 UPM-Kymmene
3 Stora Enso
4 Smurfit Kappa Group
5 Nordland

استفاده شده در این کارخانه‌ی کاغذ، از سه کارخانه‌ی خمیرِ ذیل می‌آیند: کارخانه‌های خمیر کائوکاس و پیتارساری[1] در فنلاند، و کارخانه‌ی خمیر فرای‌بنتوس[2] در اروگوئه. در کارخانجات خمیر فنلاند، سه نوع درخت استفاده می‌شوند: درختان پهن‌برگ، صنوبر و کاج. در کارخانه‌ی خمیرِ اروگوئه، درختان اکالیپتوس برای مواد خام اولیه استفاده می‌شوند. کارخانه‌ی کاغذِ نوردلند در آلمان دو نوع کاغذ تولید می‌کند: کاغذ بدونِ چوب با روکش (۱۵۰ گرم بر مترمربع) و کاغذ بدون چوب و بدونِ روکش (۸۰ گرم بر متر مربع). کاغذِ بدونِ چوب، کاغذی است که از خمیر شیمیایی تولید می‌شود نه از خمیر مکانیکی. خمیر شیمیایی که از خمیر چوب به دست می‌آید، از این جهت بدون چوب نامیده می‌شود که بخش زیادی از لیگنینِ موجود در الیاف سلولزیِ خمیرچوب، حینِ فرآوری حذف می‌شود، در حالی‌که در خمیرِ مکانیکی، بخش زیادی از ترکیباتِ چوب باقی می‌ماند و به همین دلیل، کاغذی که با این خمیر به دست می‌آید هم‌چنان حاویِ چوب خواهد بود.

ردپای آب یک کاغذ A4 که از کاغذ بدون چوبِ بدون روکش در کارخانه‌ی کاغذِ نوردلند تولید می‌شود، ۱۳ لیتر، و در صورتی که از کاغذ روکش‌دار تهیه شود، ۲۰ لیتر خواهد بود. از این مقادیر، ۶۰ درصد ردپای آب سبز، ۳۹ درصد ردپای آب خاکستری و یک درصد ردپای آبی است. حدودِ ۹۹ درصد از کل ردپای آب، مربوط به مراحل تولیدِ مواد اولیه (یعنی آب مصرفی و آلوده شده در مراحل جنگل‌داری و تولید خمیر در کارخانه‌های خمیرِ فنلاند و اروگوئه) بوده و تنها یک درصد مربوط به مرحله‌ی فرآوری نهایی کاغذ در کارخانه‌ی کاغذِ نوردلند در آلمان می‌باشد. ارزیابیِ ردپای آب خاکستری نشان داد که AOX بحرانی‌ترین آلاینده از دیدگاه زیست‌محیطی بوده و به بیش‌ترین حجم آب برای رساندنِ غلظتِ آب آلوده شده تا حد قابل قبول نیاز دارد.

ردپای آب کاغذ در مرحله‌ی تولید چوب

اکنون اجازه دهید با جزئیات بیش‌تری به ردپای آب در اولین مرحله‌ی تولید کاغذ، که مرحله‌ی تولید چوب می‌باشد، نگاهی بیندازیم. برای تخمین ردپای آب یک واحد کاغذ در مرحله‌ی جنگل‌داری، لازم است تا اطلاعاتی در خصوص تعدادی متغیر ورودی داشته باشیم (Van Oel and Hoekstra, 2012). ابتدا، باید میزان تبخیر–تعرقی که در جنگل و یا مزراع تولیدِ چوب رخ می‌دهد (بر حسب مترمکعب بر هکتار در سال) و درصد رطوبتی که در چوب تازه‌ی برداشت شده وجود دارد (بر حسب مترمکعب بر مترمکعب) را تخمین بزنیم. رطوبت چوب حین برداشت معمولاً حدود ۰/۴ مترمکعب در

1 Kaukas and Pietarsaari
2 Fray Bentos

هر مترمکعب چوب تازه است (Gonzalez-Garcia *et al*., 2009; NCASI, 2009). برای تخمین ردپای آبِ چوبی که تازه برداشت شده است (بر حسب مترمکعب آب بر هر مترمکعب چوب تولیدی)، باید مجموع تبخیر–تعرق و رطوبتِ موجود در چوب (مترمکعب در هکتار) را بر عملکرد چوب[۱] (مترمکعب در هکتار) تقسیم نمود. این مقدار، باید در سه فاکتور مختلف ضرب شود تا در نهایت، ردپای آب فرآورده‌ی نهاییِ کاغذ به دست آید. اولین فاکتور، فاکتورِ تبدیل چوب به کاغذ است که نشان می‌دهد برای تولید هر تن کاغذ، چند مترمکعب چوب باید برداشت شود (جدول ۱–۱۰). فاکتورِ دوم، کسری از کل درآمد حاصل از جنگل است که به واسطه‌ی تولید چوب به‌دست آمده است. این فاکتور به این دلیل لحاظ می‌شود که مطمئن شویم کل آب مصرفی به صورت عادلانه بین فرآورده‌های مختلف جنگلی (بر اساس ارزش نسبیِ آن‌ها) توزیع شده است.

جنگل‌ها معمولاً خدمات متعددی ارایه می‌دهند که تولیدِ کاغذ، یکی از آن‌هاست؛ دیگر خدمات جنگل‌داری می‌تواند شاملِ تولید الوار و هیزم، حفظ تنوع زیستی و ذخیره‌سازی کربن باشد. به همین دلیل، نمی‌توان تمام تبخیر–تعرقی که در جنگل رخ می‌دهد را به تولیدِ کاغذ منسوب نمود. در چنین شرایطی، یک راه عادلانه آن است که مجموع آب مصرفی را بر اساسِ ارزش نسبیِ فرآورده‌های مختلف جنگلی بین آن‌ها توزیع نمود (Hoekstra *et al*., 2011). به این ترتیب، باید فرآورده‌های مختلف جنگل برآورد شود؛ این کار می‌تواند به عنوان مثال، مطابق با روشِ ارایه شده توسط کنتانزا و همکاران (Costanza *et al*., 1997) انجام شود. برای تخمین ردپای آب به روشی که در این فصل ارایه شده، فرض کردیم که کاغذ با چوبِ جنگل‌هایی تهیه می‌شود که هدف و خروجیِ اصلیِ آن‌ها، تولید خمیر چوب است و میزان برداشتِ سالانه‌ی چوب، معادلِ میزان رشد درختان در یک سال باشد.

آخرین عاملی که باید در نظر گرفته شود، کسری از خمیرِ استفاده شده در فرآیند تولید کاغذ است که از چوب به دست می‌آید نه از کاغذ بازیافتی. بازیافتِ کاغذ، مسأله‌ی مهمی در محاسبه‌ی ردپای آب است زیرا وقتی کاغذ به صورت کامل بازیافت شود، دیگر نیاز به استفاده از چوب برای تولید کاغذ نخواهد بود، بنابراین ردپای آب در فرآیند جنگل‌داری صفر شود. به این ترتیب، استفاده از کاغذ بازیافتی باعث می‌شود که ردپایِ آب کاغذ کاهش یابد. به طور میانگین، ۴۱ درصد از کل خمیر تولیدی از کاغذ بازیافتی به دست می‌آید (FAO and CEPI, 2007; UNECE and FAO, 2010)؛ البته دامنه‌ی تغییرات این درصد، بین

۱ عملکرد چوب، بر حسب حجم چوب برداشت شده بر هکتار تعیین می‌شود؛ به همین دلیل، واحد آن، مترمکعب بر هکتار است.

تولیدکنندگانی که اصلاً از کاغذ بازیافتی استفاده نمی‌کنند تا تولیدکنندگانی که تمام خمیرِ خود را از کاغذ بازیافتی تأمین می‌کنند، بسیار متغیر است.

شدت استفاده از کاغذ بازیافتی در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی کاغذ در جدول ۲-۱۰ ارایه شده است. این نرخ، میزانِ کاغذِ بازیافتیِ استفاده شده در تولید کاغذ و مقوا است که بر حسب درصدی از مجموع کاغذ و مقوای تولیدی ارایه شده است. میزانِ تلفات در مرحله‌ی خمیرسازیِ مجددِ کاغذ، بین ۱۰ تا ۲۰ درصد تخمین زده شد (FAO and CEPI, 2007). در تخمین‌های ردپای آب که در ادامه‌ی این فصل ارایه شده است، ما میانگینِ این درصد برای کل کشورها را ۱۵ درصد در نظر گرفتیم.

جدول ۱۰-۱. میانگینِ ضریب تبدیلِ چوب به کاغذ

فرآورده	*ضریب تبدیل (مترمکعب بر تن)*
خمیرچوب مکانیکی	2.50
خمیرچوب نیمه‌شیمیایی	2.67
خمیرچوب شیمیایی	4.49
خمیرچوب محلول	5.65
کاغذ روزنامه	2.87
کاغذ چاپ و تحریر	3.51
دیگر انواع کاغذ و مقوا	3.29

Data source: based on UNECE and FAO (2010)

جدول ۱۰-۲. نرخ استفاده از کاغذ بازیافتی در خمیرِ به‌دست آمده از کاغذ بازیافتی در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیر کاغذ

کشور	نرخ بازیافت کاغذ	درصد خمیر به‌دست آمده از کاغذ بازیافتی
آمریکا	0.37	0.31
کانادا	0.24	0.20
چین	0.42	0.36
فنلاند	0.05	0.04
سوئد	0.17	0.14
ژاپن	0.61	0.52
برزیل	0.40	0.34
روسیه	0.42	0.36
اندونزی	0.42	0.36
هند	0.42	0.36
شیلی	0.42	0.36
فرانسه	0.60	0.51
آلمان	0.67	0.57
نروژ	0.22	0.19
پرتغال	0.21	0.18
اسپانیا	0.85	0.72
آفریقای جنوبی	0.42	0.36
اتریش	0.46	0.39
نیوزیلند	0.25	0.21
استرالیا	0.64	0.54
لهستان	0.36	0.31
تایلند	0.59	0.50
میانگین	0.42	0.36

منبع داده‌ها: نرخ بازیافت کاغذ از FAO and CEPI (2007) به دست آمد. برای کشورهایی که فاقد داده بودند، میانگین به‌دست آمده از آمار سایر کشورها (۴۲ درصد) در نظر گرفته شد. درصد خمیر تولیدی از کاغذ بازیافتی ۸۵ درصد از نرخ بازیافت کاغذ در نظر گرفته شد؛ زیرا بخشی از کاغذ بازیافتی در فرآیند فرآوری اتلاف- می‌شود.

تبخیر-تعرق در جنگل

عوامل متعددی تبخیر-تعرقِ پوشش گیاهی در جنگل را متأثر می‌سازد؛ مانند شرایط اقلیمی، نوع درخت و روش مدیریت جنگل. جدول ۱۰-۳ میانگین سالانه‌ی تبخیر-تعرق در کشورهای اصلیِ

تولیدکننده‌ی خمیر کاغذ را برای جنگل‌های مختلف نشان می‌دهد. این کشورها، سهمی معادلِ ۹۵ درصد در کل خمیرِکاغذِ تولید شده در دنیا در سال‌های ۲۰۰۷–۱۹۹۸ داشتند. در کشورهای پهناوری مانند آمریکا که چندین ناحیه‌ی اقلیمی دارند، تغییرات مکانیِ تبخیر–تعرق بسیار زیاد است. در اولین پژوهش جهانی ما (Van Oel and Hoekstra, 2012)، پراکنش مکانیِ جنگل‌های مختلف، با استفاده از داده‌های WF2000[1] به‌دست آمد (FAO, 2001) که در این داده‌ها، پراکنش مکانیِ بیوماس تولیدی در جنگل‌های جهان با دقت مکانی یک کیلومتر ارایه شده است. پنج نوع جنگل مختلف در جهان شناسایی شده– است: جنگل‌های شمالی (درختان معمولِ این مناطق شاملِ کاج و صنوبر است)، جنگل‌های گرمسیری (درخت معمولِ این منطقه اکالیپتوس است)، جنگل‌های نیمه گرمسیریِ معتدل (درختان معمولِ این مناطق شاملِ بلوط، راش و افرا است) و جنگل های قطبی. میانگینِ داده‌های تبخیر–تعرق سالانه در بازه‌ی ۱۹۹۰–۱۹۶۱ با دقتِ مکانیِ پنج دقیقه‌ای از وبسایت فائو به دست آمد (FAO, 2009). میانگین کشوریِ تبخیر–تعرقِ جنگل‌ها را می‌توان از میانگین‌گیریِ تبخیر–تعرق‌های تمامی جنگل‌های واقع شده در آن کشور به دست آورد.

ما مجموع تبخیر–تعرقِ سبز و آبیِ جنگل‌ها را در محاسبات خود در نظر گرفتیم. تعیین سهم آب سبز و آبی برای تولیداتِ جنگلی، به اندازه‌ی محصولات زراعی اهمیت ندارد. در حقیقت، برای جنگل، اختلاف بین میزان آب سبز و آبی مصرفی توسط درختان به این بستگی دارد که درخت آب مورد نیاز خود را از چه منبعی جذب نماید. عمق ریشه‌ی درختان معمولاً فراتر از عمقی از خاک است که توسط باران خیس می‌شود. به همین دلیل، درختان علاوه بر باران ذخیره شده در خاک، آب را از منابع آب زیرزمینیِ کم‌عمق نیز جذب می‌کنند. محاسبه‌ی سهم آب سبز و آبی در کل ردپای آب چوب جنگلی نیازمند پژوهشی دقیق می‌باشد. همچنین، اجازه دهید دو نکته‌ی مهم دیگر در خصوص تبخیر–تعرق در جنگل را بیان کنم. اول از همه، تغییرات آب و هوایی باعثِ تغییراتِ زمانی تبخیر–تعرق در طول یک سال می‌شود. تغییر اقلیم می‌تواند حتی باعثِ ایجاد روندی نزولی و یا صعودی در بلندمدت شود. مقادیر تبخیر–تعرق از جنگل که در جدول ۳–۱۰ ارایه– شده است، میانگینِ یک دوره‌ی ۳۰ ساله در طول سال‌های ۱۹۹۰–۱۹۶۱ است. نکته‌ی دوم آنکه شدت تبخیر–تعرق در یک جنگل به مرحله‌ی رشد درختان جنگلی بستگی دارد. در جدول ذیل، میانگینِ سالانه‌ی شدت تبخیر–تعرق در یک سطحِ وسیعِ پوشیده از جنگل ارایه شده است؛ لذا، میانگین تغییرات تبخیر–تعرق در طول دوره‌ی رشد در این جدول ارایه شده است.

1 The World’s Forests 2000

جدول ۱۰–۳. سهم کشورهای مختلف در مجموع خمیرکاغذ تولیدی در جهان، سهمِ خمیرِ شیمیایی در مجموع خمیرکاغذ تولیدی، و مجموع تبخیر–تعرق سالانه‌یِ جنگل در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیرکاغذ در جهان

کشورهای تولیدکننده‌ی خمیر	سهم در مجموع خمیر تولیدی در جهان	درصد خمیر شیمیایی در کل	میانگین تبخیر–تعرق در جنگل‌های مختلف (میلی‌متر در سال)			
			شمالی	گرمسیری	نیمه‌گرمسیری	گرمسیری
آمریکا	29.5%	85%	278	516	635	1,730
کانادا	13.5%	52%	358	360	–	–
چین	9.2%	11%	370	416	608	547
فنلاند	6.5%	60%	355	293	–	–
سوئد	6.3%	69%	345	318	–	–
ژاپن	5.9%	87%	–	637	725	–
برزیل	4.8%	93%	–	–	965	1,048
روسیه	3.3%	74%	310	362	–	–
اندونزی	2.4%	93%	–	–	–	1,071
هند	1.7%	37%	–	–	455	551
شیلی	1.6%	86%	–	567	578	–
فرانسه	1.3%	67%	–	401	386	–
آلمان	1.3%	44%	–	363	–	–
نروژ	1.2%	26%	328	303	–	–
پرتغال	1.0%	100%	–	512	502	–
اسپانیا	1.0%	93%	–	547	527	–
آفریقای جنوبی	1.0%	72%	–	–	819	762
اتریش	0.9%	76%	–	344	–	–
نیوزیلند	0.8%	45%	–	491	630	–
استرالیا	0.6%	50%	–	768	775	818
لهستان	0.6%	76%	–	377	–	–
تایلند	0.5%	86%	–	–	–	636
کل	94.9%					

منبع داده‌ها: سهم کشورهای مختلف در مجموع خمیر تولیدی در جهان و درصد خمیرشیمیایی در کل برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶ بر اساس آمار فائو به دست آمد (FAO, 2012)؛ میانگین کشوری تبخیر–تعرق از تلفیق نقشه‌ی پراکنش مکانی بیوماس جنگلی درجهان (FAO, 2001) و پراکنش مکانی مقادیر تبخیر–تعرق در سطح جهان (FAO, 2009) به دست آمد.

عملکرد چوب

ما در اولین مطالعه‌ی جهانیِ خود، فرض کردیم عملکرد سالانه‌ی چوبی که برای تولیدِ خمیرکاغذ استفاده می‌شود، در جنگل‌هایی که هدف اصلیِ آن‌ها تهیه‌ی فرآورده‌هایی چوبی است، برابر با حدکثر عملکرد سالانه‌ی پایدار[1] باشد. حدکثر عملکرد سالانه‌ی پایدار، حداکثر عملکردی است که در یک بازه‌ی زمانی بلندمدت در جنگل مشاهده می‌شود. ما برای تخمین این عملکرد برای هر نوع جنگل، یک درخت معرف را در نظر گرفتیم. بدین منظور، درختان زیر را برای جنگل‌های مختلف در نظر گرفتیم: کاج برای جنگل‌های شمالی، درختان پهن‌برگ برای جنگل‌های معتدل و اکالیپتوس برای جنگل‌های نیمه‌گرمسیری و گرمسیری. مقادیر تخمین زده شده برای عملکرد چوب برای درختان مختلف و در کشورهای مختلف جهان در جدول ۴–۱۰ ارایه شده است.

معمولاً، تبدیل چوب به خمیرچوب در همان مکانِ برداشتِ چوب صورت می‌گیرد، اما این موضوع همیشه صادق نیست؛ به عنوان مثال، کارخانجات کاغذ در سوئد، ۷۵ درصد از چوب موردنیاز خود را از همان چوب‌هایی که در این کشور تولید می‌شوند تأمین می‌کنند، اما ۲۵ درصدِ باقی‌مانده از کشورهای لتونی، استونی و لیتوانی تأمین می‌شود (Gonzalez-Garcia et al., 2009).

1 Maximum sustainable annual yield

جدول ۱۰–۴. مقادیر تخمین زده شده برای عملکرد چوب در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیرچوب

کشورهای تولیدکننده‌ی خمیر	عملکرد چوب (مترمکعب بر هکتار در سال)		
	پهن‌برگ	اکالیپتوس	کاج
آمریکا	7	16	6
کانادا	7	–	6
چین	6	6	4
فنلاند	7	–	6
سوئد	7	–	8
ژاپن	11	14	7
برزیل	20	45	–
روسیه	7	–	8
اندونزی	–	19	–
هند	–	10	–
شیلی	22	26	19
فرانسه	7	16	9
آلمان	7	–	8
نروژ	7	–	8
پرتغال	7	16	8
اسپانیا	7	16	8
آفریقای جنوبی	11	23	–
اتریش	7	–	8
نیوزیلند	14	19	15
استرالیا	14	19	12
لهستان	8	–	7
تایلند	–	14	–

منبع داده‌ها: فائو (FAO, 2006)؛ برای چند کشور، فرضیات بر اساس یافته‌های ون‌اول و هوکسترا (Van Oel and Hoekstra, 2012) صورت گرفت.

ردپای آب کاغذ چاپ و تحریر

مقادیر ردپای آب به ازای هر واحد حجم چوب برداشتی در کشورهای اصلی تولیدکننده‌ی خمیرچوب در جدول ۱۰–۵ ارایه شده است. ردپای آب کاغذ چاپ و تحریر در جدول ۱۰–۶ ارایه شده است. در این مقادیر، درصد بازیافت کاغذ در کشورهای مختلف لحاظ شده است. کم‌ترین مقدار ردپای آب برای کاغذ چاپ و تحریر، برابر با ۳۲۱ لیتر به ازای هرکیلوگرم (برای کاغذِ تولید شده با چوب درختان اکالیپتوس در جنگل‌های نیمه‌گرمسیریِ اسپانیا)، و بیش‌ترین مقدار آن برابر با ۲۶۰۲ لیتر به ازای هر کیلوگرم

(برای کاغذِ تولید شده با چوب درختان اکالیپتوس در جنگل‌های گرمسیریِ آمریکا) به دست آمد. به این ترتیب، ردپای آب برای یک کاغذ A4 (با وزن ۸۰ گرم بر مترمربع) بین ۲ تا ۱۳ لیتر به‌دست آمد. اگر کاغذ بازیافتی برای تولید خمیر استفاده نشود، آنگاه ردپای آب کاغذ بین ۷۵۳ لیتر بر کیلوگرم (برای کاغذ تولیدشده با درختان اکالیپتوس در جنگل‌های نیمه‌گرمسیری برزیل) تا ۳۸۸۰ لیتر بر کیلوگرم (برای کاغذ تولیدشده با درختان اکالیپتوس در جنگل‌های نیمه‌گرمسیری چین) متغیر خواهد بود. در این صورت، تولید هر کاغذ A4 استاندارد، ۴ تا ۱۹ لیتر آب نیاز خواهد داشت.

جدول ۱۰–۵. ردپای آب چوب برداشت‌شده در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی خمیرچوب
(Van Oel and Hoekstra, 2012)

کشورهای اصلی تولیدکننده‌ی خمیر	ردپای آب چوب (مترمکعب بر مترمکعب)				
	کاج در جنگل‌های شمالی	کاج در جنگل‌های گرمسیری	درختان پهن‌برگ در جنگل‌های گرمسیری	اکالیپتوس در جنگل‌های نیمه‌گرمسیری	اکالیپتوس در جنگل‌های گرمسیری
آمریکا	463	860	752	397	1,081
کانادا	597	600	525	–	–
چین	891	1,001	693	1,105	995
فنلاند	592	488	451	–	–
سوئد	413	381	463	–	–
ژاپن	–	859	571	527	–
برزیل	–	–	–	214	233
روسیه	371	434	528	–	–
اندونزی	–	–	–	–	564
هند	–	–	–	455	551
شیلی	–	298	262	222	–
فرانسه	–	446	584	241	–
آلمان	–	435	529	–	–
نروژ	393	363	442	–	–
پرتغال	–	613	746	314	–
اسپانیا	–	655	797	329	–
آفریقای جنوبی	–	–	–	356	331
اتریش	–	412	501	–	–
نیوزیلند	–	335	351	338	–
استرالیا	–	662	549	415	438
لهستان	–	539	459	–	–
تایلند	–	–	–	–	463

جدول ۱۰-۶. ردپای آب کاغذ چاپ و تحریر با لحاظ درصد کاغذ بازیافتی در تولید خمیرکاغذ در کشورهای مختلف (Van Oel and Hoekstra, 2012)

کشور	ردپای آب کاغذ چاپ و تحریر (مترمکعب بر مترمکعب)				
	کاج در جنگل‌های شمالی	کاج در جنگل‌های گرمسیری	درختان پهن‌برگ در جنگل‌های گرمسیری	اکالیپتوس در جنگل‌های نیمه‌گرمسیری	اکالیپتوس در جنگل‌های گرمسیری
آمریکا	1,115	2,069	1,809	955	2,602
کانادا	1,667	1,676	1,466	–	–
چین	2,015	2,266	1,568	2,501	2,250
فنلاند	1,988	1,641	1,515	–	–
سوئد	1,241	1,144	1,392	–	–
ژاپن	–	1,452	965	891	–
برزیل	–	–	–	497	540
روسیه	840	981	1,193	–	–
اندونزی	–	–	–	–	1,275
هند	–	–	–	1,029	1,246
شیلی	–	674	591	502	–
فرانسه	–	766	1,005	415	–
آلمان	–	657	799	–	–
نروژ	1,121	1,036	1,260	–	–
پرتغال	–	1,769	2,151	905	–
اسپانیا	–	638	776	321	–
آفریقای جنوبی	–	–	–	806	749
اتریش					
نیوزیلند	–	881	1,072	–	–
استرالیا	–	925	969	933	–
لهستان					
تایلند	–	1,060	878	665	701
آمریکا	–	1,312	1,118	–	–
کانادا	–	–	–	–	809

بیش‌ترین درصدِ ردپای آب کاغذ، مربوط به مرحله‌ی مصرف آب در جنگل برای تولید چوب می‌شود. این مورد را می‌توان به خوبی در مطالعه‌ی موردیِ صورت گرفته درآمریکا مشاهده کرد. در این کشور، حدود ۹۷ میلیارد کیلوگرم کاغذ در سال تولید می‌شود و مجموع ردپای آب مصرفی در کارخانجات کاغذ و خمیر در این کشور (یعنی مجموع تبخیر–تعرق، محتوای آب موجود در بقایای جامد، و محتوی آب موجود در فرآورده‌های تولیدی؛ شکل ۱۰–۱ را ببینید)، ۵۳۶ میلیون مترمکعب در سال است. از این مجموعِ آب مصرفی، حدود ۵/۵ لیتر بر کیلوگرم (یعنی ۰/۰۳ لیتر برای تولید هر کاغذ A4) مربوط به آب مصرفی در کارخانه است و باقی در مرحله‌ی جنگل‌داری مصرف می‌شود. باید توجه داشت که ما ردپای آب خاکستری در کارخانه را محاسبه نکردیم و این مقدار، تنها مربوط به ردپای آب آبی در کارخانه می‌باشد،اما برای محاسبه‌ی کل ردپای آب کاغذ (یعنی حاصل جمع ردپای آب مصرفی و تخریب‌کننده) باید مولفه‌ی آب خاکستری را نیز محاسبه نمود؛ این مورد به عنوان مثال برای کارخانه‌ی UPM ارایه شد.

ردپای آب برای مجموع کاغذ مصرفی در هلند

کشورهای بسیاری به شدت به وارداتِ کاغذ و خمیر وابسته هستند. در چنین کشورهایی، دانستنِ میزان ردپای آب محصولات وارداتی و محل مصرف آن اهمیت بسیاری دارد. به همین منظور، در این بخش، کشور هلند را به عنوان یکی از این کشورهای واردکننده بررسی می‌کنیم. بدین منظور، ابتدا مقادیر سالانه‌ی تولید، واردات و صادرات خمیر و کاغذ برای کشور هلند تعیین شد (جدول ۱۰–۷). با استفاده از آمار مرکز تجارت بین‌المللی، می‌توان کشورهای صادرکننده‌ی خمیر و کاغذ به کشور هلند را تعیین نمود (ITC, 2006).

فرض کردیم که کل فرآورده‌های کاغذی که داخل کشور مصرف می‌شود، از خمیر تولید شده در داخل و خمیر وارداتی تهیه شده است و سهم این دو خمیر (داخلی و وارداتی) در کاغذ مصرفی، بر اساس نسبت میزان خمیر تولیدی در داخل کشور به میزان خمیر وارداتی تعیین شد. درصد کاغذ بازیافتی در هلند، ۷۰ درصد است (FAO and CEPI, 2007). ردپای آب کل برای مصرف کاغذ در هلند، ۳/۲ تا ۴/۶ میلیارد مترمکعب در سال است که از این میزان، ۰/۱ میلیارد مترمکعب از منابع آب هلند مصرف می‌شود (Van Oel and Hoekstra, 2012). باقیِ آن، که ۳/۱ تا ۴/۵ میلیارد مترمکعب است، مربوط به مصرف آب در کشورهایی است که خمیر و کاغذ مصرفیِ هلندی‌ها را تولید می‌کنند. بخش اعظمِ خمیر مصرفی در هلند، از دیگر کشورهای اروپایی (۸۵ درصد)، آمریکای شمالی (۱۲ درصد)، آسیا (۲ درصد) و آمریکای جنوبی (۰/۷ درصد) وارد می‌شود. دامنه‌ی تغییراتِ ردپای آب مربوط به تفاوتِ ماهیت

جنگل‌هایی است که خمیر و کاغذ وارداتی، از چوب آن‌ها تهیه می‌شود، زیرا ردپای آب چوبی که در این جنگل‌ها تولید می‌شوند، با هم فرق دارد.

اگر ردپای آب کل، به صورت سرانه برای مصرف‌کنندگان هلندی بیان شود، مقدار آن بین ۲۰۰ تا ۲۹۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال متغیر خواهد بود. اگر کشورهای صادرکننده‌ی خمیر و کاغذ به هلند از کاغذ بازیافتی، با شدتی که اکنون مصرف می‌کنند، استفاده نکنند، و اگر هلند نیز بازیافت کاغذ انجام ندهد، آنگاه ردپای آب فرآورده‌های کاغذی که در هلند مصرف می‌شود، بین ۴/۹ تا ۷ میلیارد مترمکعب متغیر خواهد بود. به این ترتیب، بازیافت کاغذ می‌تواند ۳۶ درصد آب را صرفه‌جویی کند. ردپای آب کاغذ چاپ و تحریر در فروشگاه‌های هلندی بین ۹۶۲ تا ۱۳۴۹ لیتر بر کیلوگرم تخمین زده شد. اگر کاغذ با چوب درختانی که در هلند پرورش می‌یابند تولید شود، ردپای آب حدود دو تا سه برابر، کم‌تر از زمانی خواهد بود که این کاغذها از خمیر وارداتی تولید شوند (جدول ۱۰–۸). ردپای آب یک کاغذ A4 استاندارد (با وزن ۸۰ گرم بر مترمربع) درفروشگاه هلندی بین ۵ تا ۷ لیتر متغیر است؛ اگر برای تولید آن از کاغذ بازیافتی استفاده نشود، این مقادیر بین ۱۰–۷ لیتر خواهد بود.

جدول ۱۰–۷. مقادیر سالانه‌ی تولید، ورادات، صادرات و مصرفِ خمیر و کاغذ در هلند

فرآورده	خمیر	کاغذ روزنامه	کاغذ چاپ و تحریر	دیگر انواع کاغذ و مقوا
تولید (تن بر سال)	125,350	387,700	895,400	1,987,200
میزان واردات (تن بر سال)	1,132,860	476,540	1,267,890	1,498,200
میزان صادرات (تن بر سال)	322,340	259,480	1,143,450	1,417,900
مصرف (تن بر سال)	935,870	604,760	1,019,840	2,067,500

منبع داده‌ها: فائو (FAO, 2012). میانگین برای دوره‌ی ۲۰۰۵–۱۹۹۶ محاسبه شد

جدول ۱۰–۸. ردپای آب کاغذ و فرآورده‌های کاغذی در هلند

مبدا	فرآورده	ردپای آب (لیتر بر کیلوگرم)	
		حداقل	حداکثر
کاغذ تولید شده از درختانِ پرورش‌یافته در هلند	کاغذ روزنامه	369	410
	کاغذ چاپ و تحریر	451	501
	دیگرانواع کاغذ و مقوا	423	470
کاغذ وارداتی به هلند و کاغذ تولید شده از خمیر وارداتی به هلند	کاغذ روزنامه	829	1,144
	کاغذ چاپ و تحریر	994 848	1,402 1,267
میانگین برای کاغذهای موجود در فروشگاه‌های هلندی	کاغذ روزنامه	802	1,101
	کاغذ چاپ و تحریر	962	1,349
	دیگرانواع کاغذ و مقوا	823	1,221

منبع داده‌ها: ون‌اون و هوکسترا (Van Oel and Hoekstra, 2012). برای محاسبه‌ی میانگین ردپای آب برای کاغذهای موجود در فروشگاه‌های هلند، فرض بر آن است که خمیرِ مورد نیاز برای تولید کاغذ، هم از منابع داخلی و هم خارجی تأمین می‌شود. حدود ۹۴ درصد از خمیر موجود در هلند، وارداتی است.

مصرف دو تا ۲۰ لیتر آب برای تولید هر ورق کاغذ

با لحاظ تمامی محاسباتی که در جهان انجام شده و لحاظ نتایج مطالعه‌ای که برای کاغذ مصرفی در هلند صورت گرفته و مطالعه‌ی موردی که برای کارخانه‌ی کاغذ UPM در آلمان صورت گرفته است، خواهیم یافت که ردپای آب یک ورق کاغذ A4 بین ۲ تا ۲۰ لیتر است. اگر تمامی متغیرها و عدم قطعیت‌ها نیز در محاسبات لحاظ شود، آن‌گاه این دامنه وسیع‌تر خواهد بود. اضافه نمودنِ ردپای آب خاکستری در مرحله‌ی صنعتی، باعث افزایش مقادیر ردپای آب در پروسه‌ی تولید کاغذ خواهد شد. ردپای آب خاکستری تنها در مطالعه‌ای مربوط به کارخانه‌ی کاغذ UPM در آلمان در نظر گرفته شده است. در هیچ یک از مطالعات مذکور، میزان ردپای آب غیرمستقیم مربوط به مصرف دیگر مواد اولیه (به غیر از چوب) و انرژی در پروسه‌ی تولید کاغذ در نظر گرفته نشد. ماشین‌آلات، مواد اولیه و انرژی مصرفی در مرحله‌ی برداشت چوب و در پروسه‌ی فرآوری خمیر و کاغذ و همچنین، مواد اولیه و انرژی مصرفی برای حمل و نقل چوب، خمیر و کاغذ نیز هریک ردپای آب مربوط به خود را دارند. اگر انرژی مورد نیاز در فرآیند حمل و نقل از انرژی زیستی تأمین شود، آن‌گاه ردپای آب در مرحله‌ی حمل و نقل می‌تواند پایدار باشد (فصل ۸ را ببینید). اگر کاغذ به صورت کامل (۱۰۰ درصد) بازیافت شود،، آنگاه مقادیر ردپای آب در پروسه‌ی تولید کاغذ می‌تواند به کمتر از ۲ لیتر به ازای هر ورق کاغذ تولیدی کاهش یابد.

نرخ بازیافت کاغذ و غلظت آلاینده‌های موجود در فاضلاب دفع شده به محیط‌زیست، دو مولفه‌ی مهمی است که میزان ردپای آب کاغذ را متأثر می‌سازد. بازیافت کاغذ می‌تواند در حد قابل توجهی، حجم آب مصرفی در پروسه‌ی تولید کاغذ در جهان را کاهش دهد. یکی از مراحل مهم برای کاهش آلودگی آب می‌تواند عدم استفاده از ماده‌ی شیمیایی کلر در مرحله‌ی سفیدکردن خمیر باشد که این کار، با عنوان سفیدسازی کاملاً بدون کلر (TCF)[1] شناخته می‌شود. به‌علاوه، کاهش مصرف کاغذ نیز راهی برای کاهش ردپای آب است، اما مسأله اینجاست که چه‌قدر کارخانه‌ها، مصرف‌کنندگان و دولت، به مسایلی چون بازیافت کاغذ، حذف کاغذبازی در ادارات و کاهش و کنترل آلودگی حین تولید کاغذ اهمیت می‌دهند.

ردپای آب مربوط به دیگر فرآورده‌های چوبی

در پژوهشی که اخیراً در جهان انحام شده است، ردپای آب فرآورده‌های مختلف جنگلی، که کاغذ تنها یکی از آن‌هاست، محاسبه شده است (Schyns *et al.*, 2017). در این پژوهش، بهبودهای قابل ملاحظه‌ای در محاسبه‌ی ردپای آب در مقایسه با اولین پژوهش جهانیِ ما صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به استفاده از داده‌هایی با دقت‌های مکانی بالاتر، و توزیع نمودن ردپای آب کل جنگل بین فرآورده‌ها و خدمات مختلف آن‌ها اشاره نمود. همچنین، ارزش خدمات اکوسیستمیِ جنگل‌های مختلف نیز محاسبه شده است؛ بنابراین، تنها بخشی از کل تبخیر–تعرق صورت گرفته در جنگل، برای تولید چوب‌های جنگلی در نظر گرفته شد. در این مطالعه، میانگین ردپای آب به ازای هر واحد چوب تولیدی در کشورهای اصلیِ تولیدکننده‌ی چوب بین ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ مترمکعب به ازای هر مترمکعب چوب تولیدی به دست آمد. بر این اساس، میانگینِ وزنی ردپای آب در جهان، ۲۹۳ مترمکعب به ازای هر مترمکعب چوب تولیدی در جهان است (۲۳۱ مترمعکب به ازای هر مترمکعب چوب تولیدی از درختان غیرسوزنی، و ۳۹۰ مترمعکب به ازای هر مترمکعب چوب تولیدی از درختان سوزنی). ما ردپای آب دیگر چوب‌های تولیدی را نیز محاسبه نموده و نتایج را در جدول ۱۰–۹ ارایه نمودیم. در مقایسه با دیگر مطالعاتی که پیش‌تر در این فصل بدان‌ها اشاره شد، در این مطالعه، میانگین ردپای آب در پروسه‌ی تولید یک ورق کاغذ A4 با وزن ۸۰ گرم، ۵ لیتر به‌دست آمد که البته دامنه‌ی تغییرات آن بین ۱ تا ۱۳ لیتر بود.

1 . total chlorine-free (TCF) bleaching

جدول ۱۰–۹. میانگینِ جهانی ردپای آب برای فرآورده‌های چوبی منتخب (Schyns *et al.*, 2017)

واحد (مترمکعب آب به ازای هر مترمکعب محصول تولیدی)	ردپای آب	واحد (مترمکعب تنه درخت به ازای هر واحد محصول تولیدی)	ضریب تبدیل	محصول تولیدی
مترمکعب بر هر مترمکعب چوب اره	726	مترمکعب بر هر مترمکعب چوب اره	1.86	چوب اره مخروطی
مترمکعب بر هر مترمکعب چوب اره	433	مترمکعب بر هر مترمکعب چوب اره	1.88	چوب اره غیرمخروطی
مترمکعب به ازای هر ورق تخته	648	مترمکعب به ازای هر ورق تخته	2.21	ورق روکش
مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	607	مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	2.07	تخته سه‌لا
مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	809	مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	2.76	پانل‌ها
مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	1044	مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	3.56	تخته سخت
مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	865	مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	2.95	ام دی اف
مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	428	مترمکعب به ازای هرمترمکعب پانل	1.46	تخته عایق
مترمکعب به ازای هر تن خمیر	733	مترمکعب به ازای هر تن خمیر	2.50	خمیر چوب مکانیکی
مترمکعب به ازای هر تن خمیر	1316	مترمکعب به ازای هر تن خمیر	4.49	خمیر چوب شیمیایی
مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	841	مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	2.87	کاغذ روزنامه
مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	1029	مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	3.51	کاغذ چاپ و تحریر
مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	965	مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	3.29	دیگر انواع کاغذ و مقوا
مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	1275	مترمکعب به ازای هر تن کاغذ	4.35	کاغذهای خانگی و بهداشتی
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	47	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.12	هیزم مخروطی
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	21	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.09	هیزم غیرمخروطی
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	41	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.14	پالت‌ها
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	67	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.23	کنده‌های فشرده و بریکت‌ها
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	29	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.10	دست آمده سوخت به از پوست درخت
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	97	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.33	اتانول بر پایه‌ی چوب
مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	59	مترمکعب به ازای هر گیگاژول سوخت تولیدی	0.20	زغال چوب

فصل یازدهم

پایداری: حدود ردپای آبِ مجاز برای هر منبع آبی

ایجاد ردپای بشر روی کره‌ی زمین اجتناب‌ناپذیر است. انسان، منابع طبیعی همچون زمین، آب و انرژی را مصرف نموده و فعالیت‌های مختلفی انجام می‌دهد که باعث آلودگی زیست‌بومش می‌گردد. همان‌گونه که در فصل اول بحث شد، این‌که ردپای آب زیست‌محیطیِ فعالیت‌های بشر پایدار است یا خیر، به مجموع ردپاهای وی در مقیاس محلی، منطقه‌ای و جهانی بستگی دارد. نمی‌توان به سادگی بیان داشت که میزان ردپای کربن، آب و یا دیگر ردپاهای مربوط به یک فعالیت خاص به خودی خود پایدار یا ناپایدار است (Hoekstra, 2015a)، زیرا آنچه اهمیت دارد، مجموع ردپاهایِ تمام فعالیت‌هایی است که در یک منطقه‌ی خاص و یا در سطح جهان رخ می‌دهد. این حقیقت که اضافه شدنِ گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر به‌واسطه‌ی فعالیت‌های بشری به یک چالش تبدیل شده است، به دلیلِ کل گازهای گلخانه‌ای است که در ازای تمام فعالیت‌های بشر، به اتمسفر اضافه شده است. ردپای کربنِ برای یک فعالیت خاص به تنهایی نمی‌تواند اثری داشته باشد. این کل ردپای کربنِ بشر است که بسیار بزرگ می‌باشد. همان‌گونه که می‌دانیم، میانگین دمای جهان مدام در حال افزایش بوده و این افزایش، الگوی بارش و تبخیر از سطح دریاها و متعاقباً، اکوسیستم و جوامع را متأثر می‌سازد (IPCC, 2014).

ما مشکلی مشابه برای ردپای اکولوژیکی یا ردپای زمین داریم. در سال ۲۰۱۴، ردپای اکولوژیکیِ بشر، ۷۰ درصد فراتر از ظرفیت زیستیِ زمین شد (Lin *et al*., 2018)؛ این بدان معنی است که ما برای ادامه‌ی زندگیِ خود به روشِ فعلی، به ۱/۷ زمین نیاز خواهیم داشت (نه یک زمین). بنابراین در حال حاضر، بقایِ ما با داشتنِ تنها یک زمین، تنها به دلیلِ استفاده‌ی بیش‌از حد (و فراتر از حد پایدار) از منابع می‌باشد؛ اما این روند نمی‌تواند برای همیشه ادامه داشته باشد. در این زمینه، ردپای اکولوژیکیِ ناشی از یک فعالیتِ خاص به تنهایی مهم نیست، بلکه مجموع ردپاهای اکولوژیکی در کل جهان است که اهمیت دارد. در خصوص ردپای آب نیز چالشی مشابه وجود دارد. برای بحثِ آب، مقیاس‌های مکانی که معمولاً برای ارزیابیِ پایداری به کار می‌روند، آبخوان (برای زمانی که برداشت از منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار می‌گیرد) وحوضه‌ی آبریز (برای زمانی که کل آب سطحی و زیرزمینیِ مصرفی مورد توجه است) می‌باشد.

حداکثر ردپای آب سبز و آبیِ پایدار

در یک حوضه‌ی آبریز، میزانِ آب موجود به میزان بارش بستگی دارد. بارشی که آب یک حوضه را تأمین می‌کند، دوباره می‌تواند به سبب تبخیر و یا جریان رواناب به سمت اقیانوس‌ها از آن حوضه خارج شود. تبخیرِ باران (آب سبز) زمانی می‌تواند مولد باشد که از سطح مزارع یا جنگل‌ها صورت بگیرد. در این صورت، تبخیر، تلفات نخواهد بود، بلکه در پروسه‌ی تولید گیاهان استفاده شده است. جریان رواناب

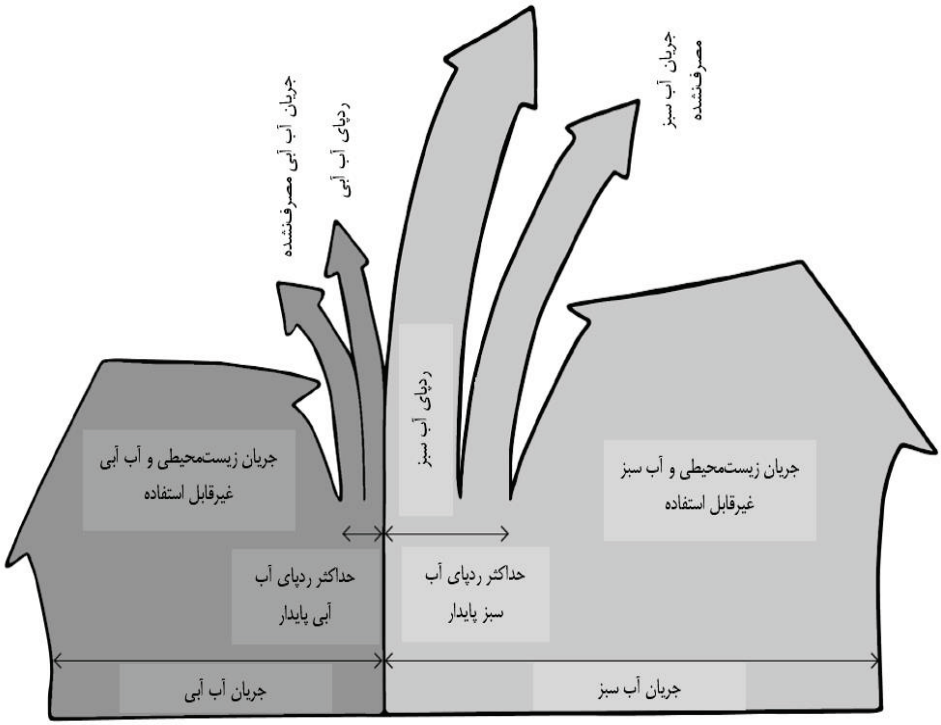
(آب آبی) نیز می‌تواند برای تولید استفاده شود. به این منظور، منظور، باید آب را از آبخوان‌ها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها برداشت نموده و در فعالیت‌های خانگی و صنعتی و یا برای آبیاریِ مزراع از آن استفاده نمود. به این ترتیب، رواناب نیز با جریان به سمت اقیانوس‌ها تلف نخواهد شد و برای اهداف بشر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نگاه اول، به نظر می‌رسد که ما می‌توانیم تمام آب سبز و آبی موجود در یک حوضه‌ی آبریز که در یک بازه‌ی زمانی معین (توسط بارندگی تأمین می‌شود) را مصرف کنیم. گاهی حتی با برداشتی فراتر از حدمجاز از منابع آب زیرزمینی و دریاچه‌ها، مصرف ما فراتر از نرخ تغذیه‌ی سالانه‌ی این منابع می‌رود، اما در بلندمدت، شدت مصرف ما نمی‌تواند فراتر از شدت تغذیه‌ی منابع باشد. در تئوری، حداکثر آب مصرفی در یک حوضه‌ی آبریز می‌تواند برابر با بارندگیِ رخ داده در آن حوضه باشد، اما این فقط در تئوری است. در عمل، حداکثر مصرف ما باید بسیار کم‌تر از این مقدار باشد، زیرا اولاً باید بخشی از آب سبز و آبی را برای محافظت از طبیعت، دست‌نخودره باقی بگذاریم و دوم این‌که، بخشی از باران، اغلب در زمان‌هایی از سال رخ می‌دهد که ما بدان نیاز نداریم و لذا قابل استفاده نیستند. به این ترتیب، بخشی از آب باران که بدون مصرف در فعالیت‌های بشری تبخیر می‌شوند و یا جریان رواناب‌ها به سمت دریاها و اقیانوس‌ها، که پیش‌تر تلفات خوانده شدند، در واقع تلفات نیست، بلکه این جریان‌ها برای حفظ ساختار اکوسیستم‌ها و جوامع وابسته این اکوسیستم‌ها ضروری است.

حداکثر میزان ردپای آب سبز و آبیِ مجاز برای فعالیت‌های بشری باید به تفکیک برای هر منبع آبی تعیین شود؛ به عنوان مثال، حداکثر ردپای آب آبی پایدار[1] را می‌توان برای هر آبخوان یا هر حوضه‌ی آبریزی تعیین نمود و حداکثر ردپای آب سبز را می‌توان برای هر زیستگاه طبیعی تعیین کرد. در سطح جهانی، می‌توان شمای تخصیص منابع آب سبز و آبی را به صورت شکل ۱۱-۱ در نظر گرفت. اندازه‌ی فلش‌ها در این شکل واقعی نیست، زیرا تحقیقات در این زمینه هم‌چنان ادامه دارد. این شکل نشان می‌دهد که در مقیاس جهانی، میزان ردپای آب سبز و آبیِ فعالیت‌های بشر، هنوز کم‌تر از حد پایدارش است، امـا این همه‌ی داستـان نیسـت و ارایه و بررسی نتایج در مقیاس جهانی می‌تواند گمراه‌کننده باشد.

همان‌گونه که در ادامه‌ی این فصل نشان خواهیم داد، در بسیاری از مناطق جهان، ردپای آبِ بشر فراتر از حد پایدارش رفته است. ارایه‌ی نتایج در مقیاس جهانی، تجاوز از حدود پایدار ردپای آب در مناطق پرجمعیت جهان را نشان نمی‌دهد. این در حالی است که ردپای آب بشر، اغلب تنها در نواحیِ خالی از سکنه که درآن‌ها هیچ نیاز آبی‌ای برای فعالیت‌های بشری وجود ندارد کم‌تر از حداکثر حد

1 Maximum sustainable blue water footprint

پایدارش می‌باشد نه در تمامی مناطقِ جهان، اما اکنون اجازه دهید به بحث پیرامون ردپای آب سبز و آبیِ مورد نیاز برای حفظ طبیعت در مقیاس مناطق اکولوژیکی و منابع آبی بپردازیم.



شکل ۱۱-۱. الگوی تخصیص منابع آب سبز و آبیِ جهان. اندازه‌ی نسبیِ فلش‌ها بر اساس داده‌های به‌دست آمده از تحقیقات مکونن و هوکسترا (Mekonnen and Hoekstra, 2016) و شینس و همکاران (Schyns et al., 2019) است. بخش زیادی از آب‌های سبز و آبیِ استفاده نشده، مربوط به مکان‌هایی است که جمعیت کمی از مردم در آن زندگی می‌کنند، بنابراین باید دید که آیا این قبیل منابع، واقعاً برای تأمین نیازهای ما قابل استفاده هستند یا خیر. بحران آب، در مکان‌ها و زمان‌های خاصی از سال خود را نشان می‌دهد و الزاماً تابع تصویر جهانیِ جریان آب، که در این شکل نشان داده شده است، نیست.

آب آبی مورد نیاز برای طبیعت

سقف ردپای آب آبی در یک حوضه‌ی آبریز، از تفاضلِ مجموع رواناب طبیعی (سطحی و زیرزمینی) از نیاز زیست‌محیطی[1] به دست می‌آید. نیاز زیست‌محیطی، میزان آبی است که باید برای حفظ ساختار اکوسیستم‌ها و معیشتِ جمعیتِ وابسته به آن‌ها، در رودخانه‌ها باقی بماند. به این ترتیب، این تصور که تمام این رواناب طبیعی می‌تواند برای مصارف بشر مصرف شود، اشتباه است. قطعاً تنوع زیستیِ رودخانه‌ها و دلتاهای ساحلی، به حفظ آبِ رودخانه‌ها وابسته است. برای جلوگیری از تغییرِ ساختارِ طبیعیِ اکوسیستم‌های رودخانه‌ها و اراضیِ ساحلی‌شان، باید ۸۰ درصد از کل رواناب طبیعیِ سالانه دست‌نخورده باقی بماند (Richter *et al*., 2012). به این ترتیب، با یک قانون سرانگشتی، حداکثر ردپای آب آبی پایدار (یا اصطلاحاً آب آبی در دسترس یا موجود[2]) در یک حوضه‌ی آبریز می‌تواند معادلِ ۲۰ درصد از کل رواناب طبیعی جاری در آن حوضه باشد. نیاز زیست‌محیطی برای هر رودخانه را می‌توان با استفاده از ویژگی‌ها، میزان پویایی و شدت آسیب‌پذیریِ اکوسیستمش تعیین نمود، اما در یک تخمینِ تقریبیِ اولیه، می‌توان گفت که ۸۰ درصد از جریان این رودخانه باید دست‌نخورده باقی بماند (یا به عبارتی، برای مصارف بشری استفاده نشود). ۲۰ درصد باقی‌مانده، در عمل به صورت کامل قابل استفاده و یا برداشت نیست، زیرا بخشی از این آب، در خارج از فصل رشد گیاهان که نیاز آبی در بخش کشاورزی در آن زمان اندک است رخ می‌دهد و یا مثلاً بخشی از آب موجود، با شدت زیادی جریان در زمین یافته و قابل استحصال نخواهد بود. با در نظر گرفتن این محدودیت‌ها، باید بیان داشت که میزان منابع آب آبی که می‌تواند به صورت پایدار مصرف شود، در حوضه‌های آبریز مختلف، با هم فرق دارد.

ممانعت از افت شدت جریان طبیعیِ رودخانه‌ها، نیازمندِ حفاظت منابع آب زیرزمینی می‌باشد. خروجیِ آب زیرزمینی، جریانِ پایه‌ی رودخانه‌ها را شکل می‌دهد که این جریان، حداقل برای حفظ اکوسیستم و معیشتِ مردمِ پایین‌دستِ رودخانه، ضروری است. در نگاه اول، ممکن است تصور شود که شدت برداشت آب از منابع آب زیرزمینی، با شدت تغذیه‌ی آن‌ها برابر است، اما این تصور، اشتباه بزرگی است که اغلب رخ– می‌دهد. دلیلش آن است که آبخوان‌ها (یا سفره‌های آب زیرزمینی) که با آب باران تغذیه می‌شوند، دارای سیستمی پویا هستند که درآن‌ها، شدت جریان خروجی از آبخوان، به شدت تغذیه‌ی آن بستگی دارد. در حالتی که توازن طبیعی وجود داشته باشد، شدت جریان خروجی با شدت تغذیه برابر خواهد بود. اما وقتی ما از آبخوان‌ها برداشت می‌کنیم، در حقیقت، شدت جریان ورودی به آبخوان کاهش می‌یابد و این مسأله، شدت جریان خروجی از آن و در نتیجه، جریان پایه‌ی رودخانه‌ها در پایین‌دست را متأثر

1 environmental flow requirement
2 blue water availability

می‌سازد. به این ترتیب، برای حفظ پایداری، استفاده از منابع آب زیرزمینی باید محدود به درصدی از تغذیه‌ی سالانه‌ی آن باشد (Hoekstra, 2018b). دلیلِ بعدی آن است که برداشت آب از آبخوان‌ها همیشه روی سطح آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارد؛ هرچه برداشت بیش‌تر باشد، میزان افت سطح آب زیرزمینی بیش‌تر خواهد بود. بسته به میزان وابستگیِ مردم و اکوسیستم‌های یک محدوده به آب‌های زیرزمینی، این محدودیت برداشت می‌تواند متغیر باشد. پیشنهادِ گلی‌سون و ریچر (Gleeson and Richter, 2018) این بود که شدت پمپاژ آب زیرزمینی نباید به گونه‌ای باشد که جریان پایه ماهانه در پایین‌دست را بیش‌تر از ۱۰ درصد کاهش دهد؛ در چنین شرایطی، به شدت باید از اکولوژیِ آن منطقه محافظت نمود. این مقدار استاندارد فرضی، یک معیار سخت‌گیرانه برای مکان‌هایی پیشنهاد شده است که در آن‌ها، تعیین نیاز زیست‌محیطی با روش‌های دقیق علمی در کوتاه مدت قابل تعیین نیست.

آب سبز موردنیاز برای طبیعت

منابع آب سبز و زمین، ارتباط نزدیکی با هم دارند. به همین دلیل، این‌که چه مقدار آب سبز برای مصارف بشری در دسترس است به پاسخِ این سوال بستگی دارد که چه اندازه زمین برای فعالیت‌های بشر وجود دارد. ما برای زندگی، کار کردن، و استفاده از ادوات حمل و نقل به زمین، برای معدن‌کاوی و دفع پسماند به زمین، برای تولید غذا، چوب، الوار، و منابع سوختی، به اراضی کشاورزی، برای تولید چوب و فرآورده‌های آن به اراضی جنگلی و برای پرورش دام، به مراتع نیاز داریم. عاقلانه نیست که از تمام اراضیِ موجود در جهان تنها برای تأمین نیازهای بشری بهره‌برداری شود. بر اساسِ تخمین‌های علمی، ۲۵ تا ۷۵ درصد از کل اراضی جهان باید برای حفظ تنوع زیستی و ساختار اکوسیستم‌ها دست‌نخودره باقی بماند (Baillie and Zhang, 2018). به طور میانگین، برای حفظ تنوع زیستی در جهان، باید ۵۰ درصد از اراضی دنیا دست‌نخورده باقی بماند (Wilson, 2016). به این ترتیب، حداکثر ردپای آب سبز پایدارِ بشر، به میزان آب سبز موجود در اراضی‌ای بستگی دارد که نیاز نیست در حال حاضر یا در آینده برای حفاظت از محیط زیست، دست‌نخوره رها شود. تلاش‌های بسیاری برای تعیینِ مناطق بحرانی از حیث تنوع زیستی و تعیینِ مناطقی که باید برای محافظت از طبیعت دست‌نخورره باقی‌بماند، صورت گرفته است (به عنوان مثال، Pouzols *et al*. (2014) را ببینید). به این ترتیب، می‌توان منابع آب سبز موجود برای نیازهای بشری را در سطح یک زیستگاه طبیعی، یک ناحیه اکولوژیکی، یک حوضه‌ی آبریز و یا یک کشور تعیین نمود.

حداکثر ردپای آب سبز پایدار در یک ناحیه، به میزان منابع آب سبز موجود در آن منطقه بستگی دارد، حتی تمام این آب سبز پایدار که می‌تواند برای اهداف بشری بهره‌برداری شود، نیز نمی‌تواند فقط

صرف تولید در کشاورزی یا جنگل‌داری شود. بخشی از این زمین (و در نتیجه، آبِ سبز موجود در آن) باید برای زندگی و احداث سازه‌ها باقی بماند. بخشی نیز مانند بیابان‌ها و مناطق کوهستانیِ پرشیب، برای تولید مناسب نیستند. به این ترتیب، تنها بخشی از این اراضی می‌تواند برای کشاورزی و یا جنگل‌داری استفاده شود و تنها آب سبزی که در این اراضی جریان می‌یابد می‌تواند برای تولید غذا، علوفه، محصولات فیبری، الوار، کاغذ و غیره استفاده شود. همچنین، تنها آن مقدار آب سبزی که در طول فصل رشد گیاه جریان دارد، در فرآیند تولید این محصولات قابل استفاده است. بنابراین، حداکثر ردپای آب سبز پایدار (یا به اختصار، آب سبز موجود) در یک حوضه‌ی آبریز، تنها بخشی از کل جریان آب سبزی است که می‌تواند برای مصارف بشر استفاده شود (Hoekstra *et al.*, 2011). اخیراً، ما با لحاظ مقداری بسیار محافظه‌کارانه برای درصد اراضی‌ای که باید برای حفظ طبیعت دست‌نخورده باقی بمانند (۱۷ درصد بر اساس استاندارد کنوانسیون تنوع زیستی) و تخمینِ جریان آب سبز غیرقابل استفاده، دریافتیم که ۲۵ درصد از کل منابع آب سبز جهان قابل استفاده هستند (Schyns *et al.*, 2019). به این ترتیب، به صورت اولین تخمینِ تقریبی، می‌توان گفت که حداکثر ردپای آب سبز پایدار برای مصارف بشری در جهان، تنها ۲۵ درصد از کل منابع آب سبز جهان می‌باشد.

حداکثر ردپای آب خاکستری پایدار

ردپای آب خاکستری، معیاری برای اندازه‌گیری حجم آب آلوده شده است، این شاخص، میزانِ آب مورد نیاز برای پالایشِ آب آلوده شده به یک آلاینده‌ی خاص، برای رساندن غلظت آن آلاینده در این منبع آب به حدی استاندارد را نشان می‌دهد. به این ترتیب، میزان ردپای آب خاکستری در یک مکان، به شدت جریان آب موجود در آن مکان بستگی دارد. حداکثر ردپای آب خاکستری پایدار در یک حوضه‌ی آبریز زمانی رخ می‌دهد که میزان ردپای آب خاکستری، برابر با میزان جریان آب آن حوضه باشد. به طور مشابه، حداکثر ردپای آب خاکستری پایدار در یک آبخوان زمانی است که در آن، ردپای آب خاکستری با شدت جریان آب در آن آبخوان برابر باشد. وقتی ردپای آب خاکستری به حداکثر مقدار خود برسد، اصطلاحاً گفته می‌شود که میزان مواد شیمیاییِ دفع‌شده به رودخانه و یا آبخوان، به حد بحرانی خود رسیده است. این حد بحرانی، از حاصل‌ضربِ شدت جریان آب در یک رودخانه یا آبخوان در تفاضل غلظت طبیعیِ موجود و حداکثر غلظتِ مجازِ آلاینده‌ی مورد نظر در آن منبع آبی به دست می‌آید (Hoekstra *et al.*, 2011). در آمریکا، مفهوم تخلیه‌ی بحرانی با عنوان "حداکثر تخلیه‌ی مجاز روزانه"[1] شناخته می‌شود. نکته‌ی مهم آن است که وقتی میزان تخلیه‌ی آلاینده، از میزان حداکثر و یا

1 Total maximum daily load

بحرانی‌اش فراتر رود، استانداردهای کیفی منابع آب نقض می‌شود؛ در چنین شرایطی، اصطلاحاً گفته می‌شود که ردپای آب خاکستری از ظرفیت آن منبع آب برای پذیرش آلاینده‌ی موردنظر فراتر رفته است.

اهمیت زمان و مکان در ردپای آب

حداکثر ردپای آب سبز، آبی و خاکستری همیشه به مکان و زمان بستگی دارد؛ به عنوان مثال، یک مقدار معینی ردپای آب آبی، ممکن است باعثِ ایجاد تغییرات اندکی در یک حوضه‌ی آبریز شود، اما همین میزان ردپای آب در حوضه‌ی دیگری که در مناطق خشک‌تر قرار- دارد، می‌تواند باعثِ تخلیه‌ی غیرمجاز آب گردد. زمان وقوع ردپای آب نیز مهم است: در یک ماه مرطوب، یک مقدار معین ردپای آب می‌تواند کم به نظر برسد، در حالی‌که یک ماه خشک‌تر، همین میزان ردپای آب می‌تواند بسیار زیاد باشد. وقتی مجموع ردپای آب آبیِ مربوط به تمام فعالیت‌های بشری در کل حوضه‌های آبریز جهان و در کل ماه‌های یک سال محاسبه می‌شود، تنها می‌توان در خصوص کل ردپای آب بشر در جهان در طول یک سال سخن گفت، اما مقایسه‌ی این مقدار با منابع آبیِ موجود برای مصارف بشری در جهان در آن سال (برای تعیین شدت کمبود آب در جهان) بی‌معنی است، زیرا کمبود آبی که در یک حوضه‌ی آبریز به‌وجود می‌آید، نمی‌تواند به سبب فراوانیِ آب در حوضه‌ای دیگر جبران شود؛ همچنین، کمبود آب در یک ماه مشخص نمی‌تواند با وفورِ آب در ماهی دیگر جبران شود. در حقیقت، کمبود آب، برداشت بی‌رویه‌ی و آلودگیِ آب، خود را در نواحی و ماه‌های معین نشان می‌دهند.

ردپای آب آبی ما چه‌قدر پایدار است؟

در بسیاری از مناطق جهان، ردپای آب مصرفیِ آبخوان‌ها و رودخانه‌ها از سطح پایدارش فراتر رفته است. ابتدا، به بحث پیرامون اضافه برداشت از آبخوان‌ها خواهم پرداخت و سپس، مجموع اضافه برداشت از منابع آب حوضه‌های آبریز جهان، که در نتیجه‌ی برداشت از منابع آب سطحی و زیرزمینی رخ می‌دهد، را بررسی خواهم نمود. در اغلبِ کشورها، برداشت آب زیرزمینی، چه به صورت نسبی و چه مطلق، در طول دهه‌های گذشته افزایش یافته است. با این حال، در کشورهای محدودی، هم‌چنان منابع آب زیرزمینی پایدار هستند. بر اساس یافته‌های وادا و همکاران (Wada et al., 2014)، مجموع برداشت از منابع آب زیرزمینی در حدفاصل سال‌های ۲۰۱۰-۱۹۷۹، با ۸۵ درصد افزایش، از ۶۵۰ به ۱۲۰۰ میلیارد مترمکعب در سال رسیده است، این در حالی است که در طول این دوره، سهم آب زیرزمینی در مجموع آب برداشتی (سطحی و زیرزمینی)، از ۳۲/۵ درصد به ۳۶/۶ درصد رسیده است. در طول

سال‌های ۱۹۹۰–۱۹۷۹، نرخ افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی، تقریباً یک درصد در سال بود، اما این نرخ در سال‌های ۲۰۱۰–۱۹۹۰، به ۳ درصد رسید. دلیلِ اهمیتِ روزافزونِ منابع آب زیرزمینی، به‌خاطر افزایشِ نرخ کمبودِ آب سطحی و کاهش سرعت ساختِ سدها و مخازن مصنوعیِ جدید می‌باشد. در اروپا، برداشت آب‌های زیرزمینی، سهمی برابر با ۳۰ درصد در کل آب برداشتی داشته و این درصد در طول دهه‌های گذشته، افزایش چشم‌گیری نداشته است. این در حالی است که در آمریکای شمالی و مرکزی، شدت برداشت از منابع آب زیرزمینی در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۰–۱۹۷۹، بیش از ۴۰ درصد افزایش یافته است به نحوی که در سال ۲۰۱۰، سهم آب زیرزمینی در مجموع برداشت آب در این نواحی، حدود ۶۰ درصد بود. در آسیای غربی، شدت برداشت از منابع آب زیرزمینی در این بازه‌ی زمانی سه برابر شد و سهم آن در مجموع آب برداشتی در سال ۲۰۱۰ به ۷۰ درصد رسید. در آسیای جنوبی و شرقی، برداشت آب زیرزمینی در دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰–۱۹۷۹، تقریباً دو برابر شد. در آفریقای شمالی، برداشت آب زیرزمینی حدود ۳۰ درصد از کل آب برداشتی را شامل می‌شود. در دیگر مناطق جهان، مانند آسیای جنوب‌شرقی، برداشت از منابع آب زیرزمینی، سهمی کم‌تر از ۲۰ درصد در مجموع آب برداشتی دارد.

گلیسون و همکاران (Gleeson *et al.*, 2012) بیان داشتند که در ۲۰ درصد از کل آبخوان‌های جهان، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی از مقدار پایدار آن فراتر رفته است. آب زیرزمینی موجود (یا پایدار)، با تفاضل شدت تغذیه‌ی آب زیرزمینی از بخشی از آب زیرزمینی که برای حفظ جریان زیست‌محیطی نیاز است، به دست می‌آید. حدود ۱/۷ میلیارد نفر در مناطقی از جهان زندگی می‌کنند که در آن‌ها، میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی فراتر از حد مجاز بوده و لذا، حیاتِ منابعِ آب سطحی و اکوسیستم‌های وابسته به منابع آب زیرزمینی در این نواحی در خطر است.

بحرانی‌ترین مناطق از منظر استفاده‌ی ناپایدار از منابع آب زیرزمینی عبارتند از هند، پاکستان، عربستان صعودی، ایران، مکزیک، آمریکا، آفریقای شمالی، چین، و اروپای مرکزی و شرقی. در آبخوان‌های گنگ و ایندوس در هند و پاکستان، نسبت آب زیرزمینی برداشتی به مقدارِ موجودِ آن، به ترتیب ۵۴ و ۱۸ درصد می‌باشد. در آبخوان‌های شمالی و جنوبیِ عربی، این نسبت‌ها به ترتیب، ۴۸ و ۳۹ درصد؛ در آبخوان‌های واقع شده در حواشی خلیج فارس و جنوب دریای خزر در ایران، به ترتیب ۲۰ و ۹۸ درصد؛ در آبخوان‌های غربی و مرکزیِ مکزیک، به ترتیب ۲۷ و ۹/۱ درصد، و در آبخوان‌هایِ دشت‌های مرتفع و دره‌های مرکزیِ آمریکا، به ترتیب ۹ و ۶/۴ درصد است. در آبخوان‌های دلتای نیل در مصر، این نسبت ۳۲ درصد، و در آبخوان‌های شمال آفریقا که بین الجزایر، تونس و لیبی مشترک است، ۲/۶ درصد، در دشت‌های شمالیِ چین و آبخوان‌های چینِ شمالی، به ترتیب ۷/۹ و ۴/۵ درصد و بالاخره در آبخوان‌های حوضه‌ی دانوب که در کشورهای مجارستان، اتریش و رومانی واقع شده است،

۷/۴ درصد می‌باشد. بر اساس یافته‌های پژوهشی که توسط وادا و همکاران در سال ۲۰۱۲ انجام شد، ۲۰ درصد از کل آبی که در جهان برای آبیاری در سال ۲۰۰۰ برداشت شد، از منابع آب‌های زیرزمینی غیرقابل تجدیدپذیر تأمین شد که بیش‌ترین برداشت از این منابع، در کشورهای هند، پاکستان، آمریکا، ایران، چین، مکزیک و عربستان صعودی صورت گرفت. ایشان همچنین بیان داشتند که میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی تجدیدناپذیر در طول سال‌های ۲۰۰۰–۱۹۶۰، سه برابر شده است (Wada et al., 2012).

هوکسترا و مکونن (Hoekstra and Mekonnen, 2012a) نشان دادند که برخی از کشورهایی که بیش‌ترین برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی را دارند، همان کشورهایی هستند که آب زیادی برای تولیدِ محصولاتِ صادراتی مصرف می‌کنند.؛ مثل آمریکا، چین و پاکستان. هند، بزرگ‌ترین صادرکننده‌ی آب مجازی خالص در جهان، و آمریکا، سومین کشور از این منظر است. پاکستان و چین نیز به ترتیب رتبه‌ی هفتم و یازدهم را دارند. حتی کشورهایی مثل مصر و ایران نیز که واردکننده‌ی خالص آب مجازی هستند، حجم قابل توجهی آب مجازی را در سال صادر می‌کنند (Abdelkader *et al*., 2018; Karandish and Hoekstra, 2017). تخمین‌های مربوط به شدت برداشت و تغذیه‌ی آب زیرزمینی با عدم‌قطعیت‌های زیادی همراه بوده و در منابع مختلف با هم فرق دارند. بر اساس یافته‌های مارگات و ون‌درگان (Margat and Van der Gun, 2013)، ۹۸۲ میلیارد مترمکعب آب زیرزمینی در سال ۲۰۱۰ برداشت شد. سهم کشاورزی، شرب و صنعت در این مجموع، به ترتیب ۷۰، ۲۱ و ۹ درصد بود. این تخمین‌ها، که مثلاً توسط فائو نیز ارایه شده، بر اساسِ جمع‌آوری آمارهای ملی به‌ دست آمده است. وادا و همکاران در سال ۲۰۱۴ (Wada *et al*., 2014)، با مرور مقادیرِ شبیه‌سازی‌شده برای میزان برداشت آب زیرزمینی در جهان، مقدار آن را در منابع مختلف بین ۵۴۵ (بر اساس پژوهش سایبرت و همکاران در سال ۲۰۱۰ (Siebert *et al*., 2010) که تنها آب برداشتی از منابع آب زیرزمینی برای آبیاری را محاسبه نمودند) تا ۱۷۰۰ میلیارد مترمکعب (Wisser *et al*., 2010) بیان کردند. نقطه‌ی ضعف تخمین‌هایی که بر اساس آمار صورت می‌گیرد آن است که آن‌ها، از داده‌هایی استفاده می‌کنند که مشخص نیست با چه دقتی در کشورها جمع‌آوری شده و تا چه اندازه قابل اعتماد هستند، همچنین ضعف تخمین‌هایی که با مدل‌سازی به دست می‌آیند، آن است که در آن‌ها، فرضیات ساده‌کننده‌ی بسیاری به‌کار گرفته می‌شود و عدم‌قطعیت‌های بسیاری در داده‌های ورودی وجود دارد. به این ترتیب، مقادیر ارایه شده برای میزان آب زیرزمینی برداشتی همواره با عدم‌قطعیت‌های بسیاری همراه است. این موضوع، برای نرخ برداشت از منابع آب زیرزمینی تجدیدپذیر (و تجدیدناپذیر) نیز صادق است. بر اساس یافته‌های فائو و همکاران در سال ۲۰۱۶ (FAO *et al*., 2016)، کل آب زیرزمینی

برداشتی در جهان، معادلِ ۸ درصد از منابع آب زیرزمینیِ تجدیدپذیرِ جهان بوده است، اما این درصدِ میانگین جهانی، بدون شک نمی‌تواند تغییرات مکانی شدیدی که از این نظر در جهان وجود دارد را نشان دهد، دامنه‌ی تغییرات این درصد در جهان، توسط گلیسون و همکاران (Gleeson *et al*., 2012) و مارگات و ون‌درگان (Van der Gun, 2013) محاسبه شده است. به‌رغم تمام عدم‌قطعیت‌هایی که در تخمینِ میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی وجود دارد، نتایج تمامیِ تحقیقات، افتِ سریع سطح آب زیرزمینی در جهان را نشان می‌دهد.

وقتی کل آب آبیِ مصرفی در یک حوضه‌ی آبریز در نظر گرفته می‌شود، منظور، مجموع مصرف آب‌های سطحی و زیرزمینی است که اگر آن را با آب آبیِ موجود برای مصارف بشر مقایسه کنیم، به نتیجه‌ی مشابهی (از منظر کمبود آب) می‌رسیم. ما در یک مطالعه‌ی جهانی با دقت مکانیِ بالا دریافتیم که در حوالی سال ۲۰۰۰، دوسومِ جمعیتِ جهان (یعنی ۴ میلیارد نفر) در مناطقی زندگی می‌کنند که در آن‌ها، حداقل یک ماه از سال، کم‌آبی بسیار شدید وجود دارد (Mekonnen and Hoekstra, 2016). حدودِ نیمی از این جمعیت، در کشورهای هند و چین ساکن هستند. تعداد افرادی که در ۴ تا ۶ ماه از سال با کمبود آب بسیار شدید مواجه هستند، ۱/۸ تا ۲/۹ میلیارد نفر می‌باشد. نیم میلیارد از مردمِ جهان نیز در کل ماه‌های سال با کم‌آبی شدید مواجه هستند. جدول ۱۱-۱ خلاصه‌ای از تعداد افرادی که در ماه‌های معینی از سال، در مناطقی با کم‌آبی کم، متوسط، شدید، و بسیار شدید زندگی می‌کنند، را نشان می‌دهد.

ما در این پژوهش، بر اساس نسبتِ ردپای آب آبی به میزان آب آبیِ موجود، شدت کم‌آبی را به چند دسته از کم تا شدید تقسیم کردیم. آب آبیِ موجود (یا پایدار)، از تفاضل مجموع رواناب طبیعی (سطحی و زیرزمینی) از نیاز زیست‌محیطی به‌دست آمد. نیاز زیست‌محیطی، ۸۰ درصد از کل رواناب طبیعی در نظر گرفته شد. چهار حالت برای کمبود آب آبی تعریف شد: کمبود آب آبی اندک، که در این حالت، ردپای آب آبی، با آب آبیِ موجود برابر است (یعنی کم‌تر از ۲۰ درصد از کل رواناب طبیعی است). در چنین شرایطی، نیاز زیست‌محیطی نقض نشده، و شرایط، پایدار است. حالت دوم، کمبود آب آبی متوسط، که در آن، ردپای آب آبی، ۱۰۰ تا ۱۵۰ درصد از آب آبیِ موجود (یعنی، ۲۰ تا ۳۰ درصد از کل روناب طبیعی) است. در این شرایط، نیاز زیست‌محیطی تأمین نشده است. حالت سوم، کمبود آب آبی شدید است که در آن، ردپای آب آبی، معادل ۱۵۰ تا ۲۰۰ درصد از آب آبی موجود (یعنی ۳۰ تا ۴۰ درصد از کل رواناب طبیعی) می‌باشد. حالت آخر، کمبود آب آبی بسیار شدید است که در آن، ردپای آب آبی، فراتر از ۲۰۰ درصد از آب آبی موجود (یعنی بیش‌تر از ۴۰ درصد از کل رواناب طبیعی) است.

جدول ۱۱–۱. تعداد افرادی که در ماه‌های معینی از سال، با کمبود آب اندک، متوسط، شدید و بسیار شدید مواجه هستند؛ محاسبات به صورت میانگین برای دوره‌ی زمانیِ ۲۰۰۵–۱۹۹۶ انجام شده است (Mekonnen and Hoekstra, 2016).

تعداد ماه‌های سال	میلیارد نفر مردمی که در n ماه از سال با کمبود آب اندک، متوسط، شدید یا خیلی شدید مواجه هستند				میلیارد نفر مردمی که در حداقل n ماه از سال با کمبود آب متوسط یا شدید مواجه هستند	میلیارد نفر مردمی که در حداقل n ماه از سال با کمبود آب خیلی شدید مواجه هستند
	کمبود آب اندک	کمبود آب متوسط	کمبود آب شدید	کمبود آب خیلی شدید		
0	0.54	4.98	5.22	2.07	6.04	6.04
1	0.12	0.81	0.66	0.31	4.26	3.97
2	0.12	0.19	0.13	0.37	3.95	3.66
3	0.35	0.05	0.03	0.37	3.55	3.28
4	0.33	0.01	0.001	0.59	3.15	2.91
5	0.30	0	0	0.55	2.56	2.32
6	0.33	0	0	0.27	2.09	1.78
7	0.47	0	0	0.21	1.76	1.50
8	0.59	0	0	0.29	1.46	1.30
9	0.40	0	0	0.30	1.13	1.01
10	0.40	0	0	0.12	0.78	0.71
11	0.30	0	0	0.09	0.66	0.59
12	1.78	0	0	0.50	0.54	0.50
کل	6.04	6.04	6.04	6.04		

ما در مطالعه‌ای نشان دادیم که ردپای آب، در ۵۵ درصد از کل ۴۰۵ حوضه‌ی آبریز بزرگ جهان، حداقل در یک ماه از سال ناپایدار است (Hoekstra *et al*., 2012). این به آن معناست که در این حوضه‌ها، نیاز زیست محیطی، حداقل در یک ماه از سال (که معمولاً ماه‌های خشک است)، تأمین نمی‌شود. این حوضه‌ها، ۶۹ درصد از رواناب جهان، ۷۵ درصد از کل اراضیِ آبی جهان و ۶۵ درصد از جمعیت جهان را در بر دارند. شدت و مدت کم‌آبی برای تعیینِ تبعات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطیِ آن اهمیت دارد. بر اساس نتایج مطالعه‌ی مذکور، ۱۲ حوضه‌ی آبریز در تمام ماه‌های سال با کم‌آبی بسیار شدید مواجه هستند. بزرگ‌ترینِ این حوضه‌ها، حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی ایر[1] در استرالیاست که

1 Lake Eyre

یکی از بزرگ‌ترین حوضه‌های آبریز آندروئیک[1] با اقلیم خشک در جهان محسوب می‌شود. این حوضه، به‌رغم داشتنِ وسعتی معادل ۱/۲ میلیون کیلومتر مربع، تنها ۸۶ هزار نفر جمعیت دارد. حوضه‌ی آبریز یونگ‌دینگ‌هی در چین شمالی (که نیاز آبی پکن را تأمین می‌کند) با وسعتی معادل ۲۱۴ هزار کیلومترمربع و تراکم جمعیتیِ ۴۲۵ نفر در هر کیلومترمربع، پرجمعیت‌ترین حوضه‌ی آبریز جهان با کمبود آب آبی شدید در کل سال است. حوضه‌های آبریز سن‌آنتونیو[2] در تگزاسِ آمریکا، و گروت‌کی در کیپِ شرقی در آفریقای شمالی، در ۱۱ ماه از سال با کمبود آب خیلی شدید مواجه هستند. دو حوضه‌ی آبریزِ پرجمعیتِ جهان، شامل حوضه‌ی پنر[3] در هند جنوبی با اقلیمِ موسمی گرمسیری خشک و جمعیتِ ۱۰/۹ میلیون نفر، و حوضه‌ی رودخانه‌ی تاریم[4] در چین با در بر داشتنِ بیابانِ تاکلاماکان[5] و جمیعتِ ۹/۳ میلیون نفر، در ۹ ماه از سال با کمبود آب خیلی شدید مواجه هستند. در چهار حوضه‌ی آبریز ذیل، در ۸ ماه از سال کمبود آب آبی خیلی شدید وجود دارد: حوضه‌ی آبریز ایندوس[6] در پاکستان و هند با جمعیتیِ معادل ۲۱۲ میلیون نفر، حوضه‌ی آبریز کاوری[7] در هند با ۳۵ میلیون نفر جمعیت، حوضه‌ی آبریز دریای مرده[8] که شامل رود اردن بوده و بخش وسیعی از اردن، اسرائیل، و کرانه‌ی باختری، و بخش اندکی از لبنان و مصر را شامل می‌شود و حوضه‌ی آبریز رودخانه سالیناس در کالیفرنیایِ آمریکا[9].

سقفِ ردپای آب آبی

در فصل ۷ که ردپای آب پنبه بررسی شد، گفتم که دولت‌های پنج کشور در آسیای مرکزی باید برای تعیین سقفِ ردپای آب در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی آرال با هم به توافق برسند. این سقف، در حقیقت حداکثر ردپای آب آبیِ پایدار در این نواحی را نشان می‌دهد. در فصل ۹ که ردپای آب گل‌های شاخه‌بریده بحث شد نیز به بحث پیرامون فواید تعیین سقف ردپای آب در حوضه‌ی آبریز دریاچه‌ی نایواشا[10] در کنیا پرداختم. این مسأله را می‌توان عمومیت بخشید. اگرچه بحث و توافق پیرامون تعیین سقفِ ردپای آب به نفع تمام حوضه‌های آبریز جهان است، اما این مسأله، در حوضه‌هایی که در حال حاضر، ردپای آب آبی در آن‌ها از حد پایدارش فراتر رفته است، ضرورتِ بیش‌تری دارد. در چنین

1 Endorheic basin
2 San Antonio River
3 Penner River Basin
4 Tarim River Basin
5 Taklamakan Desert
6 Indus River Basin
7 Cauvery River Basin
8 Dead Sea Basin
9 Salinas River Basin
10 Lake Naivasha Basin

حوضه‌هایی، رسیدن به توافقات سیاسی در تعیین سقف ردپای آب، اهمیت بسیاری در حرکت به سمت استفاده‌ی پایدار از منابع آبی خواهد داشت، همچنین تعیین سقفِ ردپای آب زیزمینی نیز می‌تواند مانعِ اضافه برداشت از آبخوان‌ها شود. فرقی نمی‌کند که یک رودخانه یا آبخوان، به صورت کامل در یک کشور واقع شده باشد و یا بین چندین کشور مشترک باشد. در هر صورت، تعیین سقفِ ردپای آب مسأله‌ای سیاسی است، بنابراین می‌توان انتظار داشت که سقفی که در نهایت برای ردپای آب آبی تعیین می‌شود، به چگونگیِ مذاکرات و منافعِ مذاکره‌کنندگان بستگی داشته باشد. در حوضه‌های آبریزی که در حال حاضر با اضافه برداشت از منابع آب آبی مواجه هستند، باید سقفی برای ردپای آب آبی تعیین شود که در گذر زمان، باعث کاهش میزان ردپای آب و محدود نمودن آن به حد پایدارش گردد. یکی از اقدامات ضروری که باید در گذر زمان صورت بگیرد، افزایش کارآیی مصرف آب به گونه‌ای است که بتوان همان محصول فعلی را با ردپای آب آبی کم‌تری به دست آورد. از دیگر اقدامات ضروری برای کاهش ردپای آب آبی، می‌توان به اصلاح الگوی کشت، و (اگر باز هم کاهش ردپای آب تا سطح پایدارش محقق نشد) کاهش سطح زیرکشت می‌باشد.

یکی از چالش‌هایی که برای تعیین سقف ردپای آب در یک حوضه‌ی آبریز وجود دارد، تغییراتِ طبیعیِ آب آبی موجود است و این مسأله، باعثِ عدم‌قطعیت در سقف‌گذاری می‌شود، زیرا نمی‌توان آب آبی موجود در سال آینده را تعیین نمود. با داشتنِ داده‌های مربوط به روند تغییرات طبیعی رواناب (سطحی و زیرزمینی) و نیازهای زیست‌محیطی در یک حوضه‌ی آبریز در طول یک‌سال، می‌توان با روش‌های مختلفی، سقف ردپای آب را تعیین نمود. برای شروع، توافق روی روش تعیین نیاز زیست‌محیطی اهمیت دارد. آب آبی موجود، از تفاضل رواناب طبیعی (مجموع سطحی و زیرزمینی) از نیازهای زیست‌محیطی به دست می‌آید. سپس، می‌توان برای هر ماه، روش معینی برای تعیین سقف ردپای آب آبی تعیین نمود؛ مثلاً می‌توان این سقف را برابر با میانگین بلندمدت آب آبیِ موجود در آن ماه در نظر گرفت. اگر بخواهیم محتاطانه‌تر عمل کنیم، می‌توان این سقف را برابر با چارک اول آب آبی موجود در ماه مورد نظر در یک دوره‌ی زمانیِ معین قرار داد و یا اگر بخواهیم سخت‌گیرانه‌تر عمل کنیم، می‌توان این سقف در ماه مورد نظر را برابر با حداقل میزان آب آبیِ موجود در آن ماه در طول دوره‌ی زمانیِ مورد بررسی قرار داد.

پرواضح است که هرچه سقف ردپای آب در یک حوضه‌ی آبریز سخت‌گیرانه‌تر تعیین شود، مقدار این سقف در مواقع بیش‌تری سخت‌گیرانه‌تر از حد لزوم خواهد بود. این مسأله به‌ویژه در آن دوره‌های مرطوب اتفاق می‌افتد که میزان آب آبی موجود در آن‌ها، از میانگینِ بلندمدتِ آب آبیِ موجود در طول دوره‌ای که سقف ردپای آب بر اساس آن تعیین شده است، بیش‌تر باشد. وقتی سقف ردپای آب برابر با

حداقل میزان آب آبیِ موجود در طول دوره‌ی زمانیِ منتخب در نظر گرفته می‌شود، می‌توان مطمئن بود که نیازهای زیست‌محیطی همواره تأمین می‌شود، اما در این شرایط، میزان آبی که برای مصارف بشری غیرقابل استفاده بوده و باید به طبیعت رها شود نیز بسیار زیاد خواهد بود. در گزینه‌ی اول، که سقف ردپای آب در هرماه، برابر با میانگین بلندمدت آب آبیِ موجود در آن ماه در نظر گرفته می‌شود، ممکن است نیازهای زیست‌محیطی در برخی مواقع (در دوره‌های خشک) تأمین نشود. به این ترتیب، حینِ تعیینِ روشِ سقف‌گذاری برای ردپای آب، ناگزیر باید تعادلی بین تأمین نکردن نیازهای زیست‌محیطی (در دوره‌های خشک) و آب غیرقابل استفاده به دلیلِ رهاسازیِ آن به طبیعت (در دوره‌های تر) تعادلی برقرار نمود. اگر بتوان جریان‌های آبی آینده را نیز پیش‌بینی نمود، می‌توان از آن‌ها در تدوین سقف ردپای آب در آینده استفاده نمود.

وجودِ مخازنِ مصنوعی ذخیره‌ی آب در رودخانه‌ها، می‌تواند با گذشت زمان، میزان سقف ردپای آب در حوضه‌های آبریز را تغییر دهد. این مخازن، تغییرات رواناب را تعدیل نموده و بنابراین، آب قابل استفاده برای مصارف بشر، و در نتیجه سقف ردپای آب در دوره‌های خشک را افزایش می‌دهند. در یک مطالعه‌ی موردی که برای حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی زرد در چین صورت گرفت، تاثیر احداث مخازن بزرگ بر سقف ردپای آب در گذر زمان بررسی شد (Zhuo *et al.*, 2019). نتایج نشان داد که این مخازن، با تغییر رژیم جریان آب در رودخانه، امکانِ استفاده از آب بیش‌تری را در دوره‌های خشک فراهم می‌کنند. به این ترتیب، این مخازن باعثِ کاهش سقف ردپای آب در ماه‌های سیلابی (ژولای تا اکتبر) و افزایش آن در دوره‌هایی که نیاز آبی گیاهان حداکثر است (مارچ تا ژوئن) شدند. یکی از تبعاتِ جانبی و قابل توجه سدها این بود که ذخیره‌ی بیش از ۲۰ درصد از کل رواناب در مخازنِ آن‌ها در ماه‌های مرطوب، باعث پیدایش کمبود آب در این ماه‌ها شد؛ بنابراین، با ایجاد چنین شرایطی، دیگر نیازهای زیست‌محیطی در این ماه‌ها تأمین نخواهد شد.

ایده‌ی سقف‌گذاری برای میزان آب برداشتی موضوع جدیدی نیست؛ به عنوان مثال، افزایش مصرف آب و افت سلامت رودخانه‌ها در حوضه‌ی آبریز موری‌دارلینگ در استرالیا باعث شد تا سقفی برای میزان برداشت از منابع آب سطحیِ موجود در این حوضه تعیین شود (MDBC, 2004). این سقف، برابر با میزان آب برداشتی در سال‌های ۱۹۹۳–۱۹۹۴ در نظر گرفته شد. سوالی که هم‌چنان پابرجاست آن است که آیا واقعاً تعیین سقفِ ردپای آب، می‌تواند باعثِ مصرف پایدار در درازمدت شود یا خیر. نقطه‌ی ضعف سقفی که در حوضه‌ی آبریز موری‌دارلینگ تعیین شده است، در نظر نگرفتنِ میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی بود. به همین دلیل، محدود کردن برداشت از منابع آب سطحی به سقفِ تعیین شده، باعث

اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی گردید. مشکلِ بعدی از دیدگاه من آن است که این سقف، بیش‌تر باعث کنترلِ برداشت آب می‌شود تا مصرف آب.

چه‌قدر ردپای آبِ سبز ما پایدار است؟

در پژوهشی که اخیراً با دقت مکانی بالایی انجام شد، دریافتیم که ردپای آب سبز بشر، معادل ۵۶ درصد از حداکثر سطح پایدارش در جهان بوده و در برخی مناطق، مانند اروپا، آمریکای مرکزی، خاورمیانه و آسیای جنوبی، از حد پایدارش فراتر رفته است (Schyns *et al.*, 2019). بخش اعظم و گاهی حتی کل جریان آب سبز پایدارِ موجود[1] در این مناطق، به فعالیت‌های بشری (عمدتاً به کشاورزی و جنگل‌داری) اختصاص داده شده و همین مسأله، مانع تأمین نیازهای زیست‌محیطی شده است. ۱۸ درصد از ردپای آب سبز بشر در مناطقی قرار دارد که بر اساسِ معیار کنوانسیون تنوع زیستیِ ملل متحد، باید دست‌نخورده رها شود[2]. به طور کلی، نیمی از ردپای آب سبز ناپایدار در ۱۰ کشور ذیل واقع شده است: آمریکا، برزیل، اندونزی، هند، چین، کلمبیا، فیلیپین، مکزیک، آلمان، و مالزی. میزان ردپای آب سبز ناپایداری که محاسبه شده است بسیار تخمینی می‌باشد، زیرا این مقدار، بر اساسِ فرضیه‌ی دست‌نخورده رها کردن ۱۷ درصد از کل اراضی جهان برای حفظ محیط‌زیست و تنوع زیستی به‌دست آمده است، این در حالی است که دانشمندان با ارایه‌ی استدلات علمی جدید بیان داشتند که این کسر، باید حداقل ۵۰ درصد باشد. اگر فرضیه‌ی علمی ایشان در نظر گرفته شود، آنگاه زمین و در نتیجه، آب سبز کم‌تری برای فعالیت‌های بشری باقی خواهد ماند و لذا، درصد مناطقی که در آن‌ها، ردپای آب سبز فراتر از حد پایدارش است، بسیار بیش‌تر از ۱۸ درصدی خواهد بود که ما تخمین زده‌ایم.

جالب است بدانیم که در بسیاری از مناطق جهان، شدت کمبود آب سبز[3] به اندازه‌ی کمبود آب آبی و حتی در برخی مناطق، بیش‌تر از آن است؛ به عنوان مثال، آلمان کشوری است که در آن، تمام منابع آب سبزِ پایدار موجود، و حتی مقادیری بیش‌تر از این حد، استفاده می‌شود؛ یعنی منابع آب سبزی که باید برای طبیعت رها شود نیز در حال استفاده توسط بشر است. صحبت پیرامونِ کمبود آب سبز در کشوری مثل آلمان، که دارای اقلیمی مرطوب و معتدل است، ممکن است عجیب به نظر برسد، اما باید توجه داشت که کمبود آب سبز به این معنی نیست که آلمان کشوری خشک است، بلکه بدان معنی است که میزان استفاده‌ی بشر از منابع آب سبز، فراتر از حد پایدارش می‌باشد. این در حالی است که کمبود آب آبی در آلمان کم است، زیرا بخش زیادی از جریان رودخانه‌ها دست‌نخورده باقی می‌ماند.

1 sustainably available green water flows

۲ بر اساس این معیار، ۱۷ درصد از اراضیِ هر زیستگاه باید برای حفظ تنوع زیستی، دست‌نخورده باقی بماند.

3 Green water scarcity

نگاهِ غالبِ اشتباهی که در میان متخصصان آب به ردپای آب سبز وجود دارد آن است که دلیلی برای نگرانی در خصوص ردپای آب سبز وجود ندارد، زیرا آب باران، در هر صورت تبخیر می‌شود، حال چه این تبخیر از سطح جنگل‌ها و مزراع صورت بگیرد و چه از پوشش‌های طبیعی. این در حالی است که جایگزینیِ جنگل‌ها با اراضی کشاورزی، باعثِ کاهش تبخیر–تعرق سالانه شده و در پیِ آن، رواناب سالانـه افزایـش می‌یـابد؛ لکن از آنجایی‌که زمان تاخیر در جنگل‌ها بیش‌تر از مزراع است، این جایگزینی باعـث کاهـش جریـان پایـه‌ی رودخانه‌ها در دوره‌های خشک می‌شود. با این حال، این اثرات را نمی‌توان به سادگی در سطح حوضه‌ی آبریز اندازه‌گیری کرد. به همین دلیل، هیدرولوژیست‌ها گمان می‌کنند که جایگزینیِ پوشش‌های طبیعی با مزراع دیم، و یا گیاه دیم با گیاهی دیگر تاثیری در سطح حوضه ندارد. بنابراین، در مباحثی که پیرامون کمبود آب سبز صورت می‌گیرد، نباید تنها اثراتِ هیدرولوژیکیِ آن در حوضه را در بررسی نمود، بلکه باید به مسأله‌ی چگونگی تخصیص منابع آب سبز پرداخت.

اراضی حاصلخیزی که دارای بارانِ کافی برای رشدِ مطلوب گیاه باشند، کم است. وقتی زمینی با منابع آب سبزش، برای یک هدف در نظر گرفته می‌شود، امکانِ استفاده از آن برای هدفی دیگر وجود نخواهد داشت. به این ترتیب، وقتی زمینی برای کشاورزی یا جنگل‌داری استفاده می‌شود، دیگر نمی‌تواند برای محافظت از پوشش‌های طبیعی دست‌نخورده باقی بماند. یا مثلاً تخصیصِ زمینی برای تولید ذرت برای مصرف دام، مانعِ استفاده از آن زمین برای تولید گندمِ نان می‌شود. زمین و آب سبزی که برای پرورش کلزا برای تولید سوخت‌زیستی در نظر گرفته شده است، دیگر نمی‌تواند برای تولید گیاهان غذایی مورد استفاده قرار بگیرد. اگرچه باران رایگان است و تبخیر در همه جا اتفاق می‌افتد، لکن مسأله‌ی مهم این است که آب سبز پایدار موجود چگونه به اهداف مختلف تخصیص داده شده است.

محدود نمودنِ ردپای آب سبز ما

کمبود آب سبز به ندرت در تحقیقات علمی بررسی شده (Schyns *et al.*, 2015b) و حتی هرگز در مباحثِ سیاسی‌ای که پیرامون کمبود آب صورت می‌گیرد، مورد توجه قرار نگرفته است. وقتی زمینی به یک هدف خاص اختصاص داده می‌شود، آبِ سبزش نیز خود به خود به همان هدف اختصاص می‌یابد. من در خصوص تعیین سقف ردپای آب سبز در یک محدوده‌ی جغرافیایی خاص مثل حوضه‌ی آبریز یا کشور بحث نخواهم کرد؛ زیرا به توافق رسیدن در خصوص تخصیص بخشی از زمین برای حفظ طبیعت آسان‌تر است. به بیانی دیگر، وقتی بخشی از منابع آب سبز برای حفظ طبیعت در نظر گرفته می‌شود، دیگر نمی‌توان از آن برای کشاورزی یا جنگل داری استفاده کرد. در حقیقت، وقتی معلوم شود چه

اراضی‌ای قرار است برای کشاورزی و جنگل داری استفاده شود، همزمان منابع آب سبزی که به این اهداف اختصاص می‌یابد نیز تعیین می‌شود.

چه‌قدر ردپای آبِ خاکستری ما پایدار است؟

در سال ۲۰۰۰، ردپای آب خاکستریِ ناشی از آلاینده‌های نیتروژنه یا فسفره در دوم‌سوم از حوضه‌های آبریز جهان ناپایدار بود (Liu *et al*., 2012). در این حوضه‌ها، ظرفیت پذیرش آلودگی در منابعِ آب به طور کامل، استفاده شده است و غلظتِ آلاینده‌های نیتروژنه یا فسفره در این منابع، از حد استانداردش بالاتر رفته است. در یک مطالعه‌ی جهانی معلوم شد که سطح حوضه‌هایی که در آن‌ها، ردپای آب خاکستریِ مربوط به نیتروژن از ظرفیتِ پذیرشِ منابع آبیِ حوضه فراتر رفته است، ۱۷ درصد از کل اراضی و ۹ درصد از کل جریان رودخانه‌های جهان را شامل شده و ۴۸ درصد از جمعیت دنیا در آن سکونت دارند (Mekonnen and Hoekstra, 2015). حدود ۴۸ درصد از کل آلودگیِ ناشی از نیتروژن در آسیا رخ می‌دهد. تقریباً ۲۳ درصد از کل ردپای آب خاکستریِ مربوط به نیتروژن در جهان، ناشی از فاضلاب خانگی است که بدون شک می‌تواند با احداث یا بهبود سیستم‌های تصفیه‌ی فاضلاب، کاهش یابد. دومین منشأ اصلی ردپای آب خاکستریِ مربوط به نیتروژن (۱۸ درصد از کل)، مزراع غلاتی است که در آن‌ها، کود نیتروژن اعمال می‌شود. آبشویی کودهای نیتروژن از مزراع سبزیجات، سومین منبع عمده‌ی پیدایش ردپای آب خاکستریِ مربوط به نیتروژن است.

آلودگی نشأت گرفته از اراضیِ کشاورزی را می‌توان با اقداماتی همچون کاهش شدت کوددهی، استفاده از کودهای ارگانیک به جای کودهای صنعتی، کاهش و یا نبود خاک‌ورزی، و کم‌آبیاری که به واسطه‌ی آن، آبشویی نیتروژن در نتیجه‌ی بیش‌آبیاری افزایش می‌یابد– کاهش داد (Chukalla *et al*., 2018a). بر اساس نتایج پژوهش دیگری که روی فسفر انجام شد، حوضه‌هایی که در آن‌ها ردپایِ آب خاکستریِ مربوط به فسفر، فراتر از حد پایدارش است، ۳۸ درصد از مجموع اراضی و ۳۷ درصد از کل جریان رودخانه‌های جهان را شامل شده و ۹۰ درصد از کل جمعیت جهان در این مناطق زندگی می‌کنند (Mekonnen and Hoekstra, 2018). در این مورد نیز فاضلاب خانگی مهم‌ترین منبع آلاینده بوده و آسیا، مهم‌ترین آلوده‌کننده می‌باشد. هیچ گزارش جامعی که در آن، وضعیت کیفی رودخانه‌های جهان با لحاظ پارامترهای کیفی متعدد بررسی شده باشد، وجود ندارد، اما این اتفاق نظر وجود دارد که کیفیت این منابع مدام در حال تخریب بوده و هیچ رودخانه‌ای در جهان از این فرآیند تخریبی در امان نیست (Meybeck, 2003, 2004)؛ شاید در تعداد خیلی کمی از رودخانه‌های دنیا، تمام استانداردهای کیفیِ آب در طول سال رعایت شده باشد. مصرف بیش از حد از نیتروژن و فسفر،

تنها یکی از شکل‌های گسترده‌ی آلودگی است. دیگر منابع آلاینده شامل آفت‌کش‌ها، فلزات و پاتوژن‌ها هستند. یکی از مشکلات جدید نیز دفعِ داروهایِ مصرفیِ بشر و دام به رودخانه‌هاست.

سقف ردپای آب خاکستری[1]

برای آب خاکستری در یک حوضه‌ی آبریز نیز باید سقفی تعیین شود. تعیینِ این سقف، از تعیینِ سقف ردپای آب آبی آسان‌تر است، زیرا اغلبِ کشورها دارای استانداردهای کیفی آب در قوانین خود هستند. با دانستن غلظتِ طبیعیِ آلاینده‌ی موردنظر و شدت جریانِ آب در منابع آبی موجود، می‌توان میزان تخلیه‌ی مجازِ آن آلاینده به این منابع را مشخص نمود. وقتی میزان تخلیه‌ی یک آلاینده‌ی خاص به منابع آبی حوضه‌ای با میزان تخلیه‌ی مجاز برابر شود، ردپای آب خاکستری در آن حوضه به حداکثر مقدارِ پایدارش رسیده است؛ در این شرایط، اصطلاحاً گفته می‌شود که ردپای آب خاکستری با حجم رواناب رودخانه برابر شده است (یعنی تمام آب آن رودخانه برای رقیق‌سازی آب آلوده‌ی دفع‌شده به آن تا رساندن غلظتِ آلاینده‌ی مورد نظر به حد مجاز، لازم خواهد بود). چالشی که اینجا وجود دارد، آن است که بتوان به صورت منطقی، میزان تخلیه‌ی بحرانی برای هر آلاینده را بر اساسِ استانداردهایِ کیفیِ آب تعیین نمود و مکانیسمی برای نظارت بر میزان دفع آلاینده‌ها و جلوگیری از تجاوز آن‌ها از حدود مجاز تعبیه شود. سهم منابعِ آلودگیِ گسترده را نباید نادیده گرفت. در اغلب حوضه‌های آبریز جهان، معیاری برای کنترل میزان دفع آلودگی‌های گسترده (مثلاً آلودگی‌های ناشی از اعمال کودها و آفت‌کش‌ها در اراضی کشاورزی) وجود ندارد. برای آلودگی‌های متمرکز نیز، معمولاً یا استانداردهای کیفیِ آب به اندازه‌ی کافی سخت‌گیرانه نیست و یا تخلیه‌ی غیرقانونیِ فاضلاب صورت می‌گیرد. در نتیجه، تخلیه فراتر از حد مجاز می‌شود. مشکلِ دیگری که وجود دارد این است که استانداردهای کیفی آب، معمولاً غلظتِ آلاینده در فاضلاب را مدنظر قرار می‌دهند و میزان تخلیه‌ی مجاز بر حسب جرمِ آلاینده در واحد زمان را مشخص نمی‌کنند.

تعیینِ سقف ردپای آب برای هر مصرف‌کننده

مدیریتِ عاقلانه‌ی منابع آب شیرین، نیازمند تعیینِ سقف ردپای آب آبی و میزان تخلیه‌ی مجاز آلاینده‌ها به منابع آبی (آبخوان‌ها و رودخانه‌ها) است. مشکلی که در خصوص اضافه برداشت از آبخوان‌ها و رودخانه‌ها و آلودگی آن‌ها وجود دارد آن است که روش مناسبی برای سقف‌گذاری ردپای آب آبی و خاکستری وجود ندارد. تعیین این حدود، مشخصاً گامی به سوی (داشتنِ) مقرراتی بهتر محسوب می‌شود.

1 Grey water footprint cap

چالشی که در گام بعدی وجود دارد، آن است که حداکثر مصرف آب آبی و تخلیه‌ی مجاز آلاینده‌ها، برای هر مصرف‌کننده تعیین شود که این کار را می‌توان با صدور مجوزهای ردپای آب برای مصرف‌کنندگان تعیین نمود. در حوضه‌های آبریزی که بین چند کشور مشترک است، باید حدودی که برای کل حوضه تعیین می‌شود، به حدود ملی برای کشورهای منتفع تبدیل شود.

سقف‌های ردپای آب باید در مقیاس مکانی (مثلاً در سطح حوضه‌ی آبریز و یا زیرحوضه‌ها) و در مقیاس زمانی (مثلاً به صورت ماهانه) تعیین شود. نکته‌ی بعدی که باید بدان توجه نمود، تغییراتِ زمانی‌ای است که در سال‌های مختلف رخ می‌دهد. معمولاً سقف ردپای آب برای یک سال نرمال تعیین می‌شود، بنابراین محدود شدن به این سقف‌ها مشکلاتی را در سال‌های خشک ایجاد خواهد نمود. این چالش را می‌توانیم در حوضه‌ی آبریز موری‌دارلینگ در استرالیا مشاهده کنیم؛ جایی‌که اضافه برداشت از منابع آبی به این دلیل بوده است که صدور مجوزهای برداشت آب برای کشاورزان، بر اساس پیش‌بینی‌های بسیار خوش‌بینانه از وضعیت آب آبی موجود صورت گرفته است. پس از تعیین سقف ردپای آب برای یک حوضه‌ی آبریز، باید پایش‌های منظمی برای اطمینان از مناسب بودن سقفِ تعیین شده صورت بگیرد؛ زیرا ممکن است شرایط رودخانه و یا نیازهای زیست‌محیطی به دلیل عواملی همچون تغییرات اقلیمی و ارتقای دانشِ زیست‌محیطی، تغییر نماید (که در پی آن، سقف‌ها نیز باید تغییر کنند).

از دیدگاه محدوده‌ی جغرافیایی تا دیدگاه تولید یا مصرف

تا اینجا، پایداری از دیدگاه محدوده‌ی جغرافیایی بحث شد که در آن، کل ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در یک محدوده‌ی جغرافیایی مشخص، مثل حوضه‌ی آبریز، زیرحوضه یا آبخوان محاسبه می‌شد. سپس، ردپای آب سبز با آب سبز پایدار موجود، ردپای آب آبی با آب آبی پایدار موجود، و ردپای آب خاکستری با میزان جریان آب موجود در آن محدوده برای پذیرش آلاینده‌ها، مقایسه می‌شد. با این مقایسه، مکان‌ها و زمان‌های بحرانی تعیین می‌شدند؛ مثلاً حوضه‌های آبریز یا زیرحوضه‌هایِ موجود در یک حوضه‌ی آبریز که در آن‌ها، ردپای آب سبز، آبی یا خاکستری پایدار نیست. این نوع ارزیابی به ما این امکان را می‌دهد که بدانیم آیا ردپای آب در آن محدوده‌ی جغرافیایی پایدار است یا خیر، اما گاهی لازم است بدانیم که یک نوع الگوی تولید یا مصرف خاص، پایدار است یا خیر و چگونه می‌توان با اصلاح آن‌ها، این الگوها را پایدارتر نمود (جدول ۱۱-۲). به طور دقیق، نمی‌توان یک مرحله‌ی تولیدی یا یک فرآورده یا الگویِ مصرف یک فرد را به تنهایی پایدار یا ناپایدار نامید، زیرا همان‌گونه که در ابتدای این فصل گفته شد، پایداری باید در سطح کل یک سیستم تعیین شود. وقتی می‌خواهیم در خصوص پایداری صحبت کنیم، ابتدا باید کل ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین را تعیین

کنیم و آن را با توانِ واقعی آن سیستم مقایسه کنیم، اما می‌توانیم سهم یک الگوی تولیدی یا مصرف را در پایداری یا ناپایداری در کل سیستم تعیین نماییم. می‌توانیم بگوییم که اگر فرآورده‌ای در حوضه‌ای تولید شده باشد که آنجا، اضافه‌برداشت از منابع آبی وجود دارد، در این صورت تولید یا مصرف آن فرآورده، ناپایدار است. یا اگر محل تولیدِ فرآورده‌ها را هم در نظر نگیریم، می‌توانیم بگوییم محصولی که تولیدش بسیار آب‌بر است، باعثِ افزایش نیاز آبی در جهان شده و غیرمستقیم، در پیدایش کمبود آب نقش دارد.

جدول ۱۱-۲. سه دیدگاه در خصوص مصرف پایدار آب

کار رایج‌راه	سوال	دیدگاه
باید سقف‌هایی برای ردپای آب تعیین شود و برای هیچ کاربری، مجوز برداشتی فراتر از این سقف، صادر نشود.	چه‌طور می‌توانیم نیازهای زیست‌محیطی را تأمین کنیم و مطمئن باشیم که مصرف و آلودگی آب، از حد پایدارش فراتر نرفته است؟	محدوده‌ی جغرافیایی
با ارتقای کارآیی مصرف آب در فرآیند تولید و تولیدِ محصولاتِ آب‌بر در نواحی پرآب با هدفِ کاهشِ تولیدِ چنین محصولاتی در مناطق کم‌آب	چه‌طور می‌توان الگوهای مربوط به فرآیندهای تولید و توزیع مکانیِ آن‌ها را به نحوی اصلاح نمود که باعث کاهش نیاز آبی، به‌ویژه در مناطق کم‌آب شوند؟	تولید
اصلاح الگوی مصرف به نحوی که نیاز آبیِ (غیرمستقیم) همچنین و مصرف محصولاتی که در نواحی کم‌آب تولید می‌شوند، کاهش یابد	چه‌طور می‌توانیم الگوی مصرف خود را به نحوی تغییر دهیم که نیاز آبی و آلودگی، به‌ویژه در مناطق کم‌آب، کاهش یابد؟	مصرف

تولید پایدار چیست؟

محصولاتی که در نواحی بحرانی تولید شده و در فرآیند تولید خود، مقدار زیادی آب را مصرف یا آلوده می‌کنند، در پیدایش ناپایداری سهیم بوده و می‌توان آن‌ها را محصولات ناپایدار نامید. می‌توان محصولات را به دو گروه تقسیم کرد: محصولات ناپایدار، که محصولاتی هستند که تمام یا بخشی از فرآیند تولیدِ آن‌ها، در مناطقی رخ می‌دهد که ردپای آب از حد پایدارش فراتر رفته است؛ و محصولات پایدار که محصولاتی هستند که کل فرآیند تولید آن‌ها در مناطقی رخ می‌دهد که ردپای آب در آن مناطق پایدار است. البته در خصوص دسته‌ی دوم، ابهاماتی وجود دارد که آن را با ذکر مثالی توضیح می‌دهم.

دو حوضه‌ی آبریز فرضی با وسعت یکسان را در نظر بگیرید (جدول ۱۱-۳). حوضه‌ی الف، نسبتاً خشک بوده و آب آبیِ موجودش در سال، یعنی حداکثر ردپای آب پایدارش، ۵۰ واحد است، اما در این

حوضه، ردپای آب واقعی، دو برابر بیش‌تر از مقدار پایدارش می‌باشد. فرض کنید کشاورزانِ این حوضه، برای تولیدِ ۱۰۰ واحد گیاه، ۱۰۰ واحد آب مصرف می‌کنند. آب آبی موجود در حوضه‌ی ب، ۲۵۰ واحد در سال است. به این ترتیب، وفور آب نسبت به حوضه‌ی الف، بیش‌تر بوده و آب در این حوضه، ناکارآمدتر مصرف می‌شود. کشاورزانِ این حوضه، برای تولید ۱۰۰ واحد محصول، ۲۰۰ واحد آب مصرف می‌کنند؛ یعنی برای تولید مقدار محصولی برابر با حوضه‌ی الف، دو برابر آب بیش‌تری مصرف می‌کنند و لذا بهره‌وری آب در این حوضه، نصفِ حوضه‌ی الف است. تحلیلِ جغرافیایی نشان می‌دهد که ردپای آب آبی در حوضه‌ی ب (۲۰۰ واحد) کم‌تر از حداکثر حد پایدارش (۲۵۰ واحد) است، به همین دلیل، این ردپا پایدار است، اما در حوضه‌ی الف، ردپای آب (۱۰۰ واحد) فراتر از حد پایدارش (۵۰ واحد) رفته است و به همین دلیل، ناپایدار در نظر گرفته می‌شود. حال سوال اینجاست که آیا باید محصولاتی که در حوضه‌ی الف تولید می‌شوند را ناپایدار، و محصولات تولیدی در حوضه‌ی ب را پایدار دانست؟ از دیدگاه جغرافیایی، پاسخ مثبت است. به نظر می‌رسد که فقط باید ردپای آب تولیدِ گیاه در حوضه‌ی الف را کاهش داد (یعنی بهره‌وری را افزایش داد)، اما وقتی از دیدگاه تولید به مسأله نگاه می‌کنیم، متوجه می‌شویم که ردپای آب به ازای هر واحد گیاه تولیدی در حوضه‌ی ب، دو برابر بیش‌تر از حوضه‌ی الف است. پس اگر کشاورزانِ حوضه‌ی ب، آب را با بهره‌وریِ یکسانی مانند حوضه‌ی الف مصرف می‌کنند، می‌توانند بدون هیچ‌گونه افزایشی در مصرف آب، تولید خود را دو برابر کنند. این در حالی است که کشاورزانِ حوضه‌ی الف، ممکن است نتوانند به راحتی بهره‌وری آب را افزایش دهند، بنابراین اگر قرار است کل تولید (یعنی مجموع تولید در این دو حوضه) ثابت بماند، تنها راه‌کار، کاهش تولید در حوضه‌ی الف به حدی است که ردپای آبِ کل حوضه الف پایدار شود، و در عین حال، با افزایش بهره‌وری، باید میزان تولید در حوضه‌ی ب افزایش یابد. اگر حوضه‌ی ب بتوانند بهره‌وری آب خود را به حوضه‌ی الف برساند، مجموع تولید در این دو حوضه حتی از حالت فعلی هم بیش‌تر خواهد بود؛ این در شرایطی اتفاق می‌افتد که کل ردپای آب در حوضه‌ی الف، نصف شود و و میزان ردپای آب مصرفی در حوضه‌ی ب، به اندازه‌ی همین مقدار فعلی‌اش باقی بماند.

جدول ۱۱-۳. مثالی از اینکه چگونه می‌توان با افزایش بهره‌وری آب در یک حوضه‌ی پرآب (حوضه‌ی ب)، مانع برداشت بی‌رویه در یک حوضه‌ی آبریز کم‌آب (حوضه‌ی الف) شد (Hoekstra, 2014a)

پارامتر	واحد	شرایط فعلی			کار ممکن‌راه	
		حوضه الف	حوضه ب		حوضه الف	حوضه ب
حداکثر ردپای آب پایدار	میزان آب در واحد زمان	50	250		50	250
ردپای آب	میزان آب در واحد زمان	100	200		50	200
تولید	میزان تولید در واحد زمان	100	100		50	200
ردپای آب به ازای هر واحد محصول تولیدی	میزان آب به ازای هر واحد تولید	1	2		1	1
بهره‌وری آب	میزان تولید به ازای هر واحد آب	1	0.5		1	1

این مثال، غیرواقعی نیست. مناطق زیادی در جهان وجود دارد که در آن‌ها، آب با بهره‌وری بالا مصرف می‌شود، اما همزمان در همین مناطق، اضافه برداشت از منابع آبی نیز وجود دارد. این در حالی است که مناطق پرآب بسیاری هم وجود دارند که اضافه برداشت ندارند، اما بهره‌وری آب‌شان در مقایسه با مناطق قبلی، پایین‌تر است. از منظر جغرافیایی، مناطقی مشکل دار محسوب می‌شوند که در آن‌ها، اضافه برداشت از منابع آب صورت گرفته و ردپای آب بسیار بالاست. از دیدگاه تولید، مناطقی مشکل دارند که بهره‌وری آب در آن‌ها کم بوده و ردپای آب به ازای هر واحد تولید، بی‌جهت زیاد است. برای این‌که کل سیستم از هر دو دیدگاه به سمت پایداری پیش برود، دو نکته باید همزمان مدنظر قرار بگیرد: اول آنکه کل ردپای آب (مترمکعب در سال) کاهش یافته و به حد پایدارش برسد؛ و دوم آنکه در صورت امکان، ردپای آب به ازای هر واحد تولید (مترمکعب بر تن) کاهش یابد. از دیدگاه کلی، دستیابی به پایداری، مستلزم کاهش ردپای آب در تمامی محدوده‌های جغرافیایی به حد پایدارشان است و برای تحقق این هدف، کارآیی مصرف آب نیز باید در هرجایی که ممکن است، افزایش یابد. حتی در مناطق پرآب. وقتی از دیدگاه کلی به مسأله نگاه کنیم، دیگر نمی‌توان محصول تولیدشده در منطقه‌ای که حداکثر ردپای آب پایدارش مصرف شده است را به سادگی پایدار در نظر گرفت. با در نظر گرفتنِ مجموع محصولات مورد نیاز در جهان و تمام محدودیت‌هایی که در خصوص موجودیت آب وجود دارد، همواره باید مقادیر ردپای آب به ازای هر واحد تولید، در محدوده‌ی معینی نگاه داشته شود و از آن بیش‌تر نگردد، اما این محدوده را نمی‌توان به سادگی برای هر محصول تعیین نمود، با این حال، در فصل بعدی، با بحث پیرامون کارآیی مصرف آب و بنچ‌مارکینگ، بیش‌تر در این خصوص صحبت خواهم کرد

مصرف پایدار چیست؟

الگوی مصرف یک مصرف‌کننده تنها زمانی پایدار است که هیچ‌یک از محصولاتی که مصرف می‌کند، در شرایط ناپایدار تولید نشده باشند. بنابراین، باید منشأ تولیدِ و واردات تمامیِ این محصولات را دانست. دو معیار دیگر نیز برای تحلیلِ پایداریِ الگوی مصرف وجود دارد. معیار دوم، همان چیزی است که در بخش تولید پایدار بحث شد. در نظر گرفتنِ کارآیی مصرف آب برای محصولاتی که مصرف می‌شوند، نیز ضروری است، زیرا اگر محصولات با بهره‌وری پایین تولید شوند، در حقیقت باعثِ افزایشِ نیاز آبی شده و غیرمستقیم، روی شکل‌گیری شرایط ناپایدار در کل سیستم اثر می‌گذارند. برای کاهش میزان تولید در مناطق کم‌آبی که در آن‌ها اضافه برداشت از منابع آبی صورت می‌گیرد، باید بهره‌وری آب در مناطق پرآب را افزایش داد. سوال این است که سهم هر مصرف‌کننده، در کل ردپای آب بشر چه‌قدر است؟ اگر مقدار کل ردپای آبِ بشر بسیار زیاد است، این سوال مطرح می‌شود که اولاً سهم هر مصرف‌کننده در این مجموع چه‌قدر است و دوم اینکه این سهم، تا چه حد منطقی است؟ این مسأله، همان مسأله‌ی برابری است که در فصل ۱۳ بحث خواهد شد.

فصل دوازدهم

کارآیی: تدوین بنچ‌مارک ردپای آب برای هر محصول

همان‌گونه که در فصل پیش دیدیم، هرچه آب کارآتر مصرف شود، مصرف آب پایدارتر خواهد بود. در این فصل، مسأله‌ی کارآمدی مصرف آب را از دیدگاه‌های مختلف بررسی می‌کنیم. ابتدا موضوع را از دیدگاه کاربران آب آغاز می‌کنیم. برای کاربر، ارتقای بهره‌وری آب (یعنی خروجیِ بیش‌تر به ازای هر واحد آب مصرفی،)می‌تواند جذاب باشد؛ مثلاً، تولیدِ گیاه بیش‌تر به ازای هر واحد آب مصرفی، یا درآمد بیش‌تر به ازای هر واحد آب مصرفی. افزایش بهره‌وری آب (خروجیِ بیش‌تر به ازای هر واحد آب ورودی) معادلِ کاهش ردپای آب (آب کم‌تر به ازای هر واحد خروجیِ حاصله) است. پس از بحث روی مسأله‌ی کارآمدی مصرف آب از دیدگاه تولید، کارآمدی را از دو دیدگاه دیگر بحث خواهم کرد: از دیدگاه محدوده‌ی جغرافیایی، که در آن، این مسأله که چه چیزی را کجا تولید کنیم که باعثِ کاهش آب مصرفی گردد، بررسی خواهد شد و از دیدگاه مصرف‌کننده، که در آن، به این سوال پاسخ داده می‌شود که چه‌طور به بهترین شکل، نیاز مصرف‌کننده را با آبِ کم‌تری تولید کنیم؟ پس از بررسی روش‌های مختلفی برای بهبود کارآیی مصرف آب، این موضوع را بررسی خواهیم کرد که تا چه حد می‌توانیم به حل چالش‌های آبی خود از طریق بهبودِ بهره‌وری آب امیدوار باشیم.

کارآیی مصرف آب از دیدگاه تولید

کارآیی مصرف آب، عموماً به معنایِ مقدار کالایِ تولید شده به ازای هر واحد آب مصرفی یا برداشت شده است. این اصطلاح، گاهی به جای بهره‌وری آب استفاده می‌شود. در فرآیند تولیدِ گیاه، بهره‌وریِ آب از تقسیمِ میزان محصول برداشتی بر میزان آب مصرفی به دست می‌آید. آب مصرفی، در حقیقت، همان تبخیر–تعرق (سبز و آبی) از سطح مزرعه در طول دوره‌ی رشد گیاه است. بنابراین، بهره‌وری آب در تولید گیاه (مترمکعب بر تن) می‌تواند از تقسیم عملکرد گیاه (تن بر هکتار) بر تبخیر–تعرق (مترمکعب بر هکتار) به دست آید. بهره‌وری آب، معکوسِ ردپای آب مصرفی گیاه (سبز+آبی) است. به این ترتیب کاهش ردپای آب به ازای هر واحد گیاه تولیدی (بر حسب مترمکعب بر تن)، همان افزایش بهره‌وری آب (تن بر مترمکعب) است. در کشاورزی دیم، که تنها آب سبز مصرف می‌شود، می‌توان در خصوص بهره‌وری آب سبز صحبت کرد. در کشاورزی آبی، که هم آب سبز و هم آب آبی مصرف می‌شود، می‌توان در خصوص بهره‌وری کل آب مصرفی صحبت کرد و آن را از تقسیم کل عملکرد بر مجموع آب سبز و آبی مصرفی به دست آورد. در این مورد، می‌توان بهره‌وری آب آبی را از تقسیمِ عملکردِ اضافی در کشت آبی در مقایسه با کشت دیم بر آب آبی مصرفی به دست آورد.

می‌توان این نقد را وارد نمود که آب مصرفی در فرآیند تولید گیاه را باید تنها آبی که مستقیماً توسط گیاه جذب می‌شود؛ یعنی تعرق، در نظر گرفت نه کل تبخیر–تعرق در سطح مزرعه. اما معمولاً این‌گونه

عمل نمی‌شود، زیرا اگرچه تنها تعرق است که موجب رشد گیاه می‌شود، اما آبی که در نهایت از دسترس خارج شده و وارد اتمسفر می‌شود، کل تبخیر–تعرق خواهد بود. بنابراین، باید بخشی از تبخیر–تعرق که گیاه از آن منتفع نمی‌شود؛ یعنی تبخیر را نیز تلفات آبی در محاسبات وارد نمود. در صنایع، کارآیی مصرف آب یا بهره‌وری آب معمولاً از تقسیم کل تولید بر میزان آب برداشتی به دست می‌آید. از دیدگاه یک شرکت، در نظر گرفتن میزان آب برداشتی منطقی به نظر می‌رسد؛ مثلاً به این دلیل که آن‌ها، مجوز برداشتِ آب دارند و یا به این دلیل که آب‌بهای آن‌ها بر اساس هر مترمکعب آب برداشتی‌شان تعیین می‌شود، اما از دیدگاه زیست‌محیطی، لحاظِ آب مصرفی به جای آب برداشتی در چنین محاسباتی صحیح‌تر است؛ یعنی همان ردپای آب آبی. در این کتاب، وقتی درباره‌ی کارآیی مصرف آب آبی یا بهره‌وری آب آبی در صنایع صحبت می‌شود، منظور همان عددی است که از تقسیم کل تولید بر آب آبی مصرفی به دست می‌آید؛ به عبارتی، تولید به ازای واحد آب مصرفی مدنظر است نه واحد آب برداشتی.

هرچند مسأله‌ی آلودگی هرگز در محاسبات کارآیی مصرف آب یا بهره‌وری آب لحاظ نشده است، اما دلیلی برای نادیده انگاشتنِ این عامل مهم وجود ندارد. در حقیقت، آلودگی آب نیز شکلی از مصرف آب است. بنابراین، مهم است که ارتقای کارآیی از این حیث نیز بررسی شود؛ یعنی به دنبال کاهش ردپای آب خاکستری به ازای هر واحد تولید نیز بود.

ردپای آب صفر در صنایع

یک مصرف‌کننده‌ی آب می‌تواند با تولیدِ مقدار معینی به ازای ردپای آب کمتر، یا تولید مقدار بیش‌تری به ازای یک ردپای آب معین، کارآیی مصرف آب خود را افزایش دهد. در هر دو حالت، ردپای آب به ازای یک واحد تولید کاهش خواهد یافت. صنایع، معمولاً روی کاهش ردپای آب برای سطح مشخصی از تولید تمرکز می‌کنند. صنایع می‌توانند به ردپای آب صفر[1] در فعالیت‌های خود برسند. با جلوگیری از تلفات آب به شکل تبخیر، می‌توان ردپای آب آبی را به صفر رساند. اگر تمام آب برداشتی توسط صنایع، به حوضه بازگشته و یا مجدد استفاده شود، ردپای آب آبی صفر خواهد شد. با ممانعت از دفعِ آلاینده‌ها به طبیعت و اطمینان از این‌که فاضلاب خروجی به نحوی تصفیه شده است که غلظت آلاینده‌ها در آن برابر و یا کم‌تر از مقدارشان در آب ورودی به صنعت است، می‌توان ردپای آب خاکستری را نیز به صفر رساند. آلودگی حرارتی را نیز می‌توان با خنک‌سازی فاضلاب پیش از دفع از بین برد.

1 Zero water footprint

ایده‌ی ردپای آب صفر در صنعت، با ایده‌ی اقتصاد چرخشی، که در آن منابع تلف نمی‌شوند، بلکه مجدد استفاده و یا بازچرخانی می‌شوند، مطابقت دارد. آلودگی، و در نتیجه ردپای آب خاکستری، در اقتصاد چرخشی جایی ندارد، زیرا آلودگی به این معناست که مواد شیمیایی ارزشمند، به جای جمع‌آوری و استفاده‌ی مجدد، به طبیعت دفع می‌شوند. ردپای آب آبی نیز در اقتصاد چرخشی جایی ندارد، زیرا مصرف آب در صنعت به این معناست که در آن صنعت، بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد از آب وجود ندارد و فعالیتِ آن صنعت، باعثِ تغییرِ چرخه‌ی هیدرولوژیکیِ حوضه‌ی آبریز می‌شود. تنها یک استثنا وجود دارد که در آن شرایط، ردپای آب صنایع صفر نخواهد شد و آن زمانی است که در آن صنایع، آب به عنوان یک ماده‌ی اولیه در تولید محصولات به کار می‌رود؛ به عنوان مثال، این مسأله برای صنایع نوشیدنی مصداق دارد که در آن، آب ماده‌ی اولیه‌ای در تولید نوشیدنی به کار گرفته می‌شود. با بیانی دیگر، مصرف آب برای تولید محصول در این شرایط اجتناب‌ناپذیر است. احتمالاً، کارخانجات نوشیدنی زیادی در جهان وجود دارند که ردپای آبِ آن‌ها، محدود به همان آبی است که در بطری‌های نوشیدنی ریخته می‌شود. یک نمونه از این کارخانجات، کمپانی کوکاموِلا در هلند است (TCCC and TNC, 2010). ردپای آب صفر را نباید با برداشت نکردن آب اشتباه گرفت. ماهیتِ ردپای آب، به مصرف و آلودگیِ آب برمی‌گردد. بنابراین، برداشت آب، تا زمانی که آب برداشتی از مکانی، دوباره با همان کیفیتِ اولیه یا کیفیتی بهتر از قبل، به همان مکان بازگردد، مشکلی ایجاد نخواهد کرد. مصرفِ آب در صنعت ممکن است حتی مستلزمِ برداشت از منابع آبی حوضه نباشد و این مسأله وقتی اتفاق می‌افتد که بازچرخانی کامل در آن صنعت صورت بگیرد؛ یعنی تمامِ آب موردنیاز آن صنعت، از بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد از فاضلابش تأمین شود. به لحاظ تکنولوژیکی، هیچ مانعی برای دستیابی به ردپای آب صفر در تمام صنایع (به استثنای صنایعی که آب، به عنوان ماده‌ی اولیه در تولید محصولاتشان به کار می‌رود) وجود ندارد. تنها چالش اصلی، جذب منابع مالیِ کافی برای دستیابی به این هدف است.

افزایش بهره‌وری آب در کشاورزی

رسیدن به ردپای آب صفر در کشاورزی ممکن نیست. رشدِ گیاه، مستلزمِ تعرق است. استراتژی‌هایی که برای کاهش ردپای آب در کشاورزی به کار می‌روند باید روی کاهشِ تبخیر–تعرق غیرمفید متمرکز باشند؛ مثلاً می‌توان با شکل‌های خاصی از عملیات خاک‌ورزی و مالچ‌پاشی سطح خاک به این هدف رسید (Jalota and Prihar, 1998; Nouri *et al*., 2019). همچنین، یکی دیگر از استراتژی‌های مهم، می‌تواند اعمال فعالیت‌های کشاورزی مناسب برای افزایش عملکرد محصول به ازای هر واحد تبخیر–تعرق باشد. معمولاً دلیلِ اصلی پایین بودنِ عملکرد گیاه در بخش کشاورزی، نه به دلیلِ شرایط

قلیمی، خاک یا دیگر شرایط محیطی، که به دلیل فعالیت‌های مدیریتیِ ضعیف است (Molden, 2007). از آنجایی‌که بهره‌وری آب، ماحصلِ تقسیمِ عملکرد گیاه بر تبخیر–تعرق است، ارتقای آن نه فقط با کاهش تبخیر، که با افزایش عملکرد گیاه نیز امکان‌پذیر است. کشاورز می‌تواند کارهای بسیار زیادی برای افزایش عملکرد گیاه انجام دهد؛ مانندِ بهبودِ ساختار خاک، کوددهی، انتخاب واریته‌ی گیاهیِ مناسب و اصلاح الگوی کشت. بدین منظور، او باید دانش دقیقی در خصوص مدیریت کشاورزی و دانش و تجربیات محلی داشته باشد. باید دانست که معمولاً ترکیبی از اقدامات مختلف که موثر واقع می‌شود نه الزاماً فقط یک اقدام خاص.

کوددهی می‌تواند عملکرد گیاه و در نتیجه، بهره‌وری آب را در حد قابل توجهی افزایش دهد، اما برداشت بی‌رویه‌ی کودها، باعث دفع مقدار زیادی از آن‌ها به طبیعت به واسطه‌ی آبشویی یا رواناب، و در نتیجه، آلودگی آب خواهد شد. وقتی شدت کوددهی پایین باشد، با افزایش شدت کوددهی، نرخ افزایش میزان دفعِ آلودگی در واحد سطح به منابع آب، تقریباً با نرخ افزایش عملکرد محصول برابر خواهد شد. به همین دلیل، آب خاکستری تقریباً ثابت باقی می‌ماند. افزایش عملکرد محصول، بهره‌وری آب را افزایش خواهد داد؛ یعنی، میزان ردپای آب مصرفی به ازای هر واحد تولید کم‌تر خواهد بود.

در شدت‌های بالایِ کوددهی، میزانِ افزایشِ عملکرد و بهره‌وری آب به ازای افزایش شدت کوددهی، کم‌تر خواهد بود. به همین دلیل، ردپای آب خاکستری به صورت نمایی افزایش می‌یابد. بنابراین، مناقشاتی بین ردپای آب مصرفی (سبز+آبی) و خاکستری به ازای هر واحد گیاه تولیدی وجود داشته و سطح بهینه برای این دو، معمولاً در یک شدت کوددهی متوسط به دست می‌آید (Chukalla et al., 2018b).

آبیاری، یکی دیگر از استراتژی‌هایی است که باعث افزایش عملکرد می‌شود. اما اگر آبیاری به درستی انجام نشود، تبخیر–تعرق بیش‌تر از عملکرد محصول افزایش یافته و لذا بهره‌وری آب کاهش می‌یابد. در فصل ۵ که پیرامون گندم صحبت شد، نشان دادم که میانگین جهانیِ عملکرد گندم آبی، حدود یک‌سوم بیش‌تر عملکرد گندم دیم است، اما میانگین ردپای آب به ازای هر واحد تولید در کشت آبی، فقط کمی بیش‌تر از کشت دیم است. بر خلاف انتظار، ظاهراً آبیاری می‌تواند باعث کاهش بهره‌وری آب نیز شود. باران معمولاً به صورت غیرمنظم می‌بارد؛ در حالی‌که زمان‌های آبیاری معلوم و در مواقع موردنیاز است؛ پس چرا بهره‌وری آب در کشاورزی دیم می‌تواند بیش‌تر از کشاورزی آبی باشد؟ علت آن است که از دیدگاه منابع آب، عملیات آبیاری اغلب بهینه نیست.

بهره‌وری زمین در مقابل بهره‌وری آب در فرآیند رشد گیاه

به طور سنتی، در کشاورزی تمرکز روی افزایش بهره‌وری از طریق افزایش عملکرد محصول است. عملکردهای پایین نامطلوب درنظر گرفته می‌شوند. در کنار تمام چالش‌های موجود (در کشاورزی دیم)، مهم‌ترین مشکلی که باید رفع شوند، بارانِ ناکافیِ و حاصلخیزیِ ضعیفِ اراضی هستند که موانع مهمی برای دستیابی به رشد بهینه‌ی گیاه می‌شوند. به همین دلیل، تلاش‌های بسیاری در کشاورزی صورت گرفته که این نقاط ضعف را با آبیاری و کوددهی جبران کنند. آبیاری و کوددهی تا آن حدی صورت می‌گیرند که هرگونه افزایشی فراتر از این حد، تاثیری بر عملکرد گیاه نداشته باشد. به این ترتیب، کشاورزان بیش‌ترین بهره را از زمین خود می‌برند. سوال اینجاست که آیا این کار، از دیدگاه منابع آب نیز کارآمد است؟ اجازه دهید ابتدا در خصوص ناکارآمدی آبیاری کامل و پس از آن، آثارش بر میزان کود مصرفی توضیحاتی ارایه کنم.

آبیاری کامل، یک استراتژی آبیاری است که هدفش، دستیابی به حداکثر تولید در واحد سطح (یعنی بهره‌وری زمین[1]) است. اگر زمین محدود و آب فراوان باشد، این کار ارزش خواهد داشت، اما اگر همانند آنچه در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان مشاهده می‌شود، آب محدود و زمین به وفور وجود داشته باشد، این استراتژی، علاقلانه نخواهد بود (Pereira *et al*., 2002; Geerts and Raes, 2009). کم‌آبیاری، استراتژیِ دیگری است که هدفش، افزایش تولید به ازای هر واحد آب مصرفی است. در این استراتژی، کشاورز آب کم‌تری در مقایسه با آبیاری کامل استفاده می‌کند، زیرا از یک حدِ آبیاری معینی به بعد، میزان افزایش در تولید به ازای هر واحد آب مصرفی اضافی، کاهش می‌یابد. هرچند آبیاری در سطحی فراتر از این سطح بهینه نیز می‌تواند میزان تولید در واحد سطح را (تا رسیدن به حد معینی) افزایش دهد، اما میزان تولید به ازای هر مترمکعب آب مصرفی کاهش خواهد یافت.

بر اساس یافته‌های فررس و سوریانو (Fereres and Soriano, 2007)، میزان تبخیر–تعرق تحت کم‌آبیاری، بین ۶۰ تا ۱۰۰ درصد از مقدار آن تحت آبیاری کامل است. این استراتژی می‌تواند آب آبیاری را بسیار کاهش دهد. فرض کنید حداکثر محصول برای یک گیاه خاص در یک مکان معین، به ازای ۷۵۰ میلی‌متر تبخیر–تعرق به‌دست می‌آید، اما بیش‌ترین بهره‌وری به ازای ۵۰۰ میلی‌متر تبخیر–تعرق حاصل می‌شود. اگر ۲۵۰ میلی‌متر از کل تبخیر–تعرق توسط باران در طول فصل رشد تأمین شود، آنگاه نیاز آبیاری ۵۰۰ میلی‌متر خواهد بود، اما با اعمال کم‌آبیاری، این نیاز می‌تواند به نصف برسد. عملکرد محصول تحت کم‌آبیاری، در حد قابل‌توجهی، مثلاً ۱۰ تا ۲۰ درصد، کم‌تر از مقدار آن تحت آبیاری کامل می‌باشد؛ اما با اعمال کم‌آبیاری می‌توان ۲۵۰ میلی‌متر از کل ۵۰۰ میلی‌متر نیاز آبیاری را ذخیره

1 Land productivity

نموده و برای آبیاری سایر اراضی استفاده نمود و به این ترتیب، (با افزایش سطح زیرکشت تحت کم‌آبیاری) میزان تولید دو برابر خواهد شد. بنابراین به جای بیش‌آبیاری، می‌توان آب را ذخیره و اراضیِ بیش‌تری را با آن آبیاری نمود؛ یا این‌که می‌توان به جای توسعه سطح زیرکشت، با رهاسازی آب ذخیره شده به طبیعت، این آب را درون سطح حوضه حفظ نمود. این مورد در شرایطی مناسب است که سطحِ فعلیِ آبی که برای آبیاری برداشت می‌شود، پایدار نباشد. کم‌آبیاری، بهره‌وریِ آب (یعنی تولید به ازای آب مصرفی) را افزایش می‌دهد، اما همیشه آب آبی کافی برای تأمین نیاز آبیاریِ تمامی کشاورزان وجود ندارد. در این شرایط، آبیاری تکمیلی راه‌کار مناسبی خواهد بود. در این استراتژی، کشاورز آب کم‌تری در مقایسه با کم‌آبیاری اعمال می‌کند. آبیاری تکمیلی، استراتژی‌ای است که تحت آن، آبیاری تنها در دوره‌های خشکِ طولانی(prolonged periods of dry weather) و با هدف حفظ محصول در اراضی دیم اعمال می‌شود. در این استراتژی، شرایط رشد با حالت بهینه فاصله‌ی بسیاری دارد؛ بنابراین، آبیاری تکمیلی تنها در شرایطی مورد قبول است که آب کافی برای تأمین نیاز آبیاریِ تمام کشاورزان در حد مطلوبش وجود نداشته باشد (Oweis and Hachum, 2012).

کم‌آبیاری می‌تواند میزان ردپای آب آبیِ یک گیاه را در حد قابل توجهی کاهش دهد، اما برای کاهش ردپای آب خاکستری، باید شدت اعمال کودها و سموم مناسب باشد. کشاورزی ارگانیک یا دقیق، راهی برای دستیابی به این هدف است، در این روش‌ها، میزان استفاده از کودهای شیمیایی، آفت‌کش‌ها و دیگر مواد شیمیایی کاهش یافته یا به صفر می‌رسد.

راندمان آبیاری[1] در مقایسه با کارآیی مصرف آب

اغلب اصطلاحات راندمان آبیاری و کارآیی مصرف آب با هم اشتباه گرفته می‌شوند. این تصور وجود دارد که بهبود راندمان آبیاری، باعث ارتقای کارآیی مصرف آب می‌شود، اما همیشه این‌طور نیست. اصطلاح راندمان آبیاری به بخشی از آب برداشتی از آبخوان، رودخانه یا دریاچه اشاره دارد که در نهایت، به وسیله‌ی گیاه جذب می‌شود (Perry, 2007). راندمان آبیاری را می‌توان از تقسیم میزان تعرق آب آبی بر میزان آب آبیاری به‌دست آورد (Zhuo and Hoekstra, 2017). مهندسان تلاش کردند که با کاهش تلفات آب، میزان راندمان آبیاری را افزایش دهند. تلفات می‌تواند حین ذخیره، انتقال، توزیع و کاربرد آب اتفاق بیوفتد. راندمان آبیاری کل اغلب از حاصلضرب راندمان انتقال و راندمان کاربرد آب در مزرعه به دست می‌آید. راندمان انتقال، میزان تلفات بین محل برداشت آب تا محل کاربرد آن در مزرعه را نشان می‌دهد و راندمان کاربرد آب در مزرعه، تلفات پس از کاربرد آب در مزرعه را نشان می‌دهد.

1 Irrigation efficiency

راندمان انتقال اساساً به طول کانال‌ها، نوع خاک یا میزان نفوذپذیریِ دیواره‌های کانال‌ها، و همچنین دما که می‌تواند روی تبخیر تاثیر بگذارد بستگی دارد. راندمان انتقال برای کانال‌هایی که به خوبی نگهداری می‌شوند، معمولاً بین ۶۰ تا ۹۵ درصد است (Brouwer *et al*., 1989). نگهداری نامناسب از کانال‌ها می‌تواند راندمان انتقال را تا ۵۰ درصد کاهش دهد. راندمان کاربرد آب در مزرعه بین ۶۰ درصد (در آبیاری فارو)، ۷۵ درصد (در آبیاری بارانی) تا ۹۰ درصد (در آبیاری قطره‌ای) تغییر می‌کند. به این ترتیب، راندمان آبیاری کل بین ۲۰ تا ۸۵ درصد متغیر است؛ در شرایطی که آب پمپاژ شده و توسط لوله به محل مزرعه منتقل، و در آنجا با سیستم آبیاری قطره‌ای در مزرعه توزیع شود، راندمان آبیاری کل در حالت بهینه‌اش بوده و می‌تواند به ۹۵ درصد هم برسد. میانگین جهانی راندمان آبیاری کل حدود ۳۵ درصد است (Wallace and Gregory, 2002).

تلفاتی که از محل برداشت تا زمان جذب آب توسط گیاه رخ می‌دهد، شاملِ تبخیرِ غیرمفید (از مخازن ذخیره‌ی آب، کانال‌ها یا از سطح مزرعه)، نفوذ و نشت (در تمامی مراحل) و رواناب از انتهای مزرعه می‌باشد. کاهش تلفات آبیاری، به معنی کاهش ردپای آب آبی نیست. از آنجایی‌که فقط تبخیر–تعرق در محاسبه‌ی ردپای آب آبی استفاده می‌شود، تنها زمانی کاهش تلفات آبیاری باعث کاهش ردپای آب آبی خواهد شد که کاهش تلفات ناشی از تبخیر مدنظر باشد. نشت و نفوذ و رواناب، آب‌هایی هستند که در حقیقت، در حوضه باقی می‌مانند و می‌توانند مجدداً استفاده شوند. از دیدگاه حوضه‌ی آبریز، این آب‌ها تلفات محسوب نمی‌شوند. بنابراین، تعریفی که مهندسان آبیاری از تلفات آب دارند، با تعریفِ مدیران حوضه‌ی آبریزی که توجه‌شان به آب مصرفی (یعنی ردپای آب آبی) است، با هم فرق دارد. اصطلاح کارآیی مصرف آب (یا بهره‌وری آب)، همان نسبت عملکرد به کل آب مصرفی است. در کل، افزایش راندمان آبیاری با کاهش تبخیرِ غیرمفید می‌تواند منتج به افزایش کارآیی مصرف آب شود؛ با این حال، افزایش راندمان آبیاری با کاهش نفوذ و نشت یا رواناب کمکی به ارتقای کارآیی مصرف آب نخواهد کرد.

علی‌رغم تفاوت مهمی که بین راندمان آبیاری و کارآیی مصرف آب وجود دارد، استفاده از کارآمدترین تکنیک‌های آبیاری و استراتژی‌های کاربرد، علاوه بر ارتقای راندمان آبیاری، می‌توانند به شدت ردپای آب را نیز کاهش دهند؛ به عنوان مثال، استفاده از آبیاری قطره‌ای به جای بارانی یا آبیاری فارو، و اعمالِ آبیاری دقیق، می‌تواند میزان تبخیر را در حد قابل‌توجهی کاهش داده و همزمان، میزان عملکرد محصول را افزایش دهد. بنابراین، استفاده از این روش آبیاری، هم راندمان آبیاری و هم کارآیی مصرف آب را افزایش خواهد داد.

بنچ‌مارکینگِ ردپای آب

در فصل ۵ نشان دادم که میانگین جهانی ردپای آب مصرفی (سبز+آبی) گندم، ۱۶۲۰ لیتر بر کیلوگرم است، اما حدود ۲۰ درصد از کل گندم جهان، با ردپای آب مصرفیِ برابر یا کم‌تر از ۱۰۰۰ لیتر بر کیلوگرم تولید می‌شود. در فصل ۷، میانگین جهانی ردپای آب مصرفی پنبه، ۳۶۰۰ لیتر به ازای هر کیلوگرم پنبه‌دانه مطرح شد، اما در همین فصل بیان شد که ۲۰ درصد از کل پنبه‌ی جهان، با ردپای آب مصرفی برابر یا کمتر از ۱۸۲۰ لیتر بر کیلوگرم تولید می‌شود. تحلیل مشابهی را می‌توان برای دیگر گیاهان انجام داد (Mekonnen and Hoekstra, 2014a). می‌توان با توجه به دامنه‌ی تغییرات ردپای آب یک گیاه در مناطق مختلف و یا مزراع مختلفی که در یک منطقه وجود دارند، مقدار مشخصی ردپای آب را به صورت بنچ‌مارک برای هر گیاه تعیین نمود، این مقدار، می‌تواند معیاری برای مقایسه قرار گرفته و بر اساس آن، کشاورزانی که محصول خود را با ردپای آبی فراتر از این حد تولید می‌کنند، را مشخص نمود؛ مثلاً، بنچ‌مارک ردپای آب برای یک محصول مشخص، می‌تواند معادل ردپای آبی باشد که ۱۰ یا ۲۰ درصد از کل تولید آن محصول، با این ردپا یا کم‌تر از آن تولید- می‌شوند. برای لحاظ تغییرات محیطی (اقلیم، خاک) و سطح توسعه‌یافتگی، تدوین بنچ‌مارک را می‌توان در سطح منطقه انجام داد. هرچند این کار را می‌توان در سطح جهان نیز انجام داد؛ با این منطق که برای هر گیاهی، یک مقدار منطقی برای بهره‌وری آب (یا ردپای آب) وجود دارد که در هر مکانی از جهان که برای کاشت آن گیاه مناسب باشد، دست‌یافتنی است (Mekonnen and Hoekstra, 2014a).

یافته‌های به‌دست آمده از پژوهش زوو و همکاران (Zhuo *et al.*, 2018) برای گندم در چین نشان داد که حین استخراج بنچ‌مارک‌های ردپای آب، شرایط اقلیمی، بیش‌ترین تاثیر را دارد[1]. یکی دیگر از راه‌هایی که برای تعیینِ بنچ‌مارک ردپای آب برای یک فعالیتِ آب‌بر وجود دارد، تعیینِ ردپای آب تحت بهترین تکنولوژیِ موجود، و لحاظ ردپای آب تحت این تکنولوژی بنچ‌مارک ردپای آب در نظر گرفته می شود (Chukalla *et al.*, 2015). در کشاورزی، آبیاری دقیق با تکنیک‌های آبیاری میکرو، بهتر از آبیاری بارانی است؛ بنابراین، می‌توان میزان ردپای آب گیاه تحت این روش آبیاری را به عنوان بنچ‌مارک در نظر گرفت. در صنعت، سیستم‌های بسته‌ی خنک‌کننده‌ی آب[2]، ردپای آب آبی کمتر (و حتی برابر با صفر) نسبت به سیستم‌های باز دارند؛ همچنین، سیستم‌هایی که حرارتِ فاضلاب را قبل از تخلیه می‌زدایند، ردپای آب خاکستری کم‌تری در مقایسه با سیستم‌هایی که این کار را انجام نمی‌دهند، دارند.

---

۱ توضیح مترجم: منظور آن است که بهتر است بنچ‌مارک ردپای آب برای هر گیاه، به تفکیک برای نواحی اقلیمیِ مختلف تعیین شود؛ زیرا شرایط اقلیمی، بیش‌ترین تاثیر را بر ردپای آب دارد و به همین دلیل، توجه به شرایط اقلیمی حین تدوین بنچ‌مارک مهم است.

2 Closed loop cooling system

بنچ‌مارک ردپای آب برای فرآیندهای آب‌برِ مختلف می‌تواند مرجعی برای کشاورزان و شرکت‌ها باشد تا به منظور رسیدن به آن تلاش کنند، همچنین می‌تواند در تعیین و صدور مجوز مصرف آب توسط دولت نیز استفاده شود. کسب‌وکارهای مربوط به هر بخش اقتصادی، می‌توانند خودشان بنچ‌مارک‌های منطقه‌ای یا جهانی ردپای آب خود را تدوین کنند. اگرچه دولت نیز می‌توانند با وضع قوانین و مقرراتی در این کار سهیم شود. این قوانین و مقررات می‌تواند برای ممنوع ساختنِ بدترین فعالیت‌ها به کار گرفته شود.

می‌توان از مجموع بنچ‌مارک‌های ردپای آب مربوط به تمامی فرآیندهای آب‌بری که در زنجیره‌ی تولید یک محصول خاص اتفاق می‌افتد، بنچ‌مارک ردپای آب برای آن محصول نهایی را به دست آورد. تعیین بنچ‌مارک برای محصولات نهایی برای شرکت‌ها، خرده‌فروشان و مصرف‌کنندگان بسیار مناسب است، زیرا آن‌ها، مستقیماً در مراحل اولیه از زنجیره‌ی تولید محصولاتی که فرآوری شده و به فروش می‌رسند یا مصرف می‌شوند، درگیر نیستند، اما علاقه‌مند به دانستن کل آبی هستند که در فرآیند تولید آن محصولات، مصرف شده است. استفاده از فعالیت‌های بهتر می‌تواند صرفه‌جویی آب زیادی را به همراه داشته باشد. ما نشان دادیم که اگر در همه جا، ردپای آب مصرفی در فرآیند تولید همه‌ی گیاهان به حد بنچ‌مارک ردپای آبی برسد که ۲۵ درصد از کل تولیدِ هریک از این گیاهان، با آن ردپا و یا کم‌تر از آن تولید شده‌اند، در این‌صورت، میزان آب مصرفی در جهان، ۳۹ درصد کم‌تر از مقدار فعلی‌اش خواهد بود. اگر این ردپاها به حد آن بنچ‌مارک ردپای آبی برسد که ۱۰ درصد محصولات با آن ردپا یا کمتر از آن تولید شده‌اند، کل آبی که در جهان صرفه‌جویی می‌شود، ۵۲ درصد خواهد بود. اگر ردپای آبِ خاکستریِ ناشی از دفع نیتروژن به طبیعت در فرآیند تولید هر گیاه در جهان، به بنچ‌مارک ردپای آبی برسد که ۲۵ درصد از کل تولید با آن ردپا یا کم‌تر از آن به‌دست آمده است، در این‌صورت آلودگی آب ۵۴ درصد کاهش خواهد یافت؛ و اگر به بنچ‌مارک ردپای آب خاکستری‌ای برسد که ۱۰ درصد از محصولات با آن ردپا یا کم‌تر از آن تولید شده‌اند، کاهش آلودگی آب در مقایسه با شرایط فعلی ۷۹ درصد خواهد بود (Mekonnen and Hoekstra, 2014a).

در پژوهشی که برای ایران انجام شد، ما به طور خاص، میزان صرفه‌جویی آب زیرزمینیِ مصرفی و کاهش آلودگی‌اش به نیتروژن را بررسی کردیم (Karandish *et al.*, 2018). نتایج نشان داد که کاهش ردپای آب گیاهان به سطوح بنچ‌مارک در سطح ۲۵ درصد از تولید، می‌تواند میزان مصرف آب زیرزمینی را ۳۲ درصد (در مقایسه با سال پایه‌ی ۲۰۱۰)، و ردپای آب خاکستریِ ناشی از نیتروژن را ۲۰ درصد برای غلات، و ۵۹ درصد برای خشکبار کاهش دهد.

منحنی‌های هزینه‌ی حاشیه‌ای[1] برای کاهش ردپای آب

کاهش ردپای آب می‌تواند از نظر اقتصادی به صرفه‌باشد؛ مثلاً، وقتی کشاورزان کم‌آبیاری را به گونه‌ای اعمال کنند که بهره‌وری آب بهینه شود، آن‌گاه تولید بیش‌تری به ازای هر آب مصرفی خواهند داشت و ردپای آب به ازای هر کیلوگرم تولیدِ گیاه، کمتر خواهد بود. پس چون آب کم‌تری در مقایسه با آبیاری کامل مصرف می‌شود، هزینه‌ی آب مصرفی نیز کاهش می‌یابد، این در حالی است که تغییر چندانی در عملکرد گیاه ایجاد نمی‌شود (یعنی درآمد تغییری نمی‌کند اما هزینه کاهش می‌یابد). اقدامات دیگری مانند مالچ‌پاشی با مواد آلی که برای کاهش میزان تبخیر از سطح خاک صورت می‌گیرد، هزینه‌بر هستند. برخی اقدامات نیز مانند نصب و اجرای یک سیستم آبیاری قطره‌ای پیشرفته که جایگزینی برای آبیاری بارانی یا فارو می باشد، نیازمند سرمایه‌گزای اولیه و هزینه‌های نگهداری هنگفتی هستند. می‌توان روش‌های مختلف برای کاهش ردپای آب را بر اساس هزینه آن‌ها در مقایسه با میزان تاثیری که روی کاهش ردپای آب دارند، رتبه‌بندی نمود. با این روش، می‌توان منحنی‌های به اصطلاح هزینه‌ی حاشیه‌ای را ترسیم کرد. این منحنی‌ها می‌توانند اقدامات مختلف را از نظر مقرون به صرفه بودنِ آن‌ها برای کاهش ردپای آب رتبه‌بندی نمایند (Chukalla *et al*., 2017). منحنی‌های هزینه جاشیه‌ای، امکانِ تخمین هزینه‌ی مربوط به کاهش ردپای آب تا حدی معین (مثلاً رساندن آن به سطح بنچمارک بر حسب مترمکعب بر تن) را فرآهم کند. اگر دولتی مجوز ردپای آب مجازی (بر حسب مترمکعب بر هکتار در هر فصل) را برای مصرف‌کنندگان صادر نماید، آن‌گاه آنها مجبور خواهند شد ردپای آب خود را از مقدار فعلی به سطحی که مجاز هستند، کاهش دهند. در این صورت، برای تعیین ازران‌ترین اقداماتی که می‌تواند آن‌ها را به این سطح از ردپای آب برساند و دانستن هزینه‌ی مربوط به آن اقدامات، به منحنی‌های هزینه‌ی جاشیه‌ای نیاز خواهند- داشت.

چارچوبی گسترده‌تر برای لحاظ کارآیی مصرف آب

علاقه‌ی زیادی به بحث کارآیی مصرف آب در جهان وجود دارد؛ لکن همان‌گونه که تا اینجا بحث شد، تقریباً تمام تمرکز تاکنون روی کارآیی مصرف آب از دیدگاه تولید بوده است. این مسأله می‌تواند منتج به انجام کارهای اشتباه با بالاترین کارآیی شود. در این زمینه مثال‌های بسیاری وجود دارد: مثل تولید انبوه یونجه و بادام در کالیفرنیا، آوکادو در شیلی، مارچوبه در پرو، یا لوبیاسبز در مصر؛ همه‌ی این موارد مثال‌هایی از تولید محصولات آب‌بر در نواحی کم‌آب با هدف صادرات هستند. ممکن است ماهیت این کارها را اساساً زیرسوال ببریم. همچنین ممکن است بهره‌وری آب غذایی که می‌خوریم و انرژی‌ای

1 Marginal cost curves

که مصرف می‌کنیم را با تعیین بهره‌وری آب تغذیه‌ی کل[1] خود، بر حسب کیلوکالری به ازای هر واحد آب مصرفی، و بهره‌وری آب انرژی بر حسب ژول به ازای هر واحد آب مصرفی، بررسی کنیم. با تعیین رژیم غذایی و ترکیب انرژی‌ای که مصرف می‌کنیم، می‌توانیم هوشمندانه نیاز آبی خود را بسیار کاهش دهیم.

جدول ۱۲–۱ سه دیدگاهِ بحث شده در این بخش در خصوص کارآیی مصرف آب را نشان می‌دهد. در دیدگاه تولید، به این سوال پاسخ داده می‌شود که چه‌طور مقدار معینی محصول را با آب کم‌تری تولید نماییم. از دیدگاه جغرافیایی، یافتن پاسخ این سوال مهم است که چه چیزی را کجا با بهترین روش تولید کنیم که در مجموع آب کم‌تری مصرف شده و کمبود آب کاهش یابد. در نهایت، از دیدگاه مصرف، این سوال مطرح می‌شود که چه‌طور می‌توان نیازهای یک مصرف‌کننده را با آب کم‌تری تأمین نمود. بنابراین، در دیدگاه مصرف‌کننده، به مسأله‌ی تقاضا و چیزی که واقعاً تولید می‌شود، پرداخته می‌شود.

جدول ۱۲–۱. سه دیدگاه در خصوص کارآیی مصرف آب

راه‌کارهای معمول	سوال	دیدگاه
ایجاد انگیزه در کاربران آب برای کاهش ردپاهای خود به سطوح بنچ‌مارک؛ مثلا، با ارزش‌گذاری آب و ترویج بهترین فنآوری و شیوه‌های موجود	چه‌طور می‌توان مقدار معینی از محصولی را با آب کم‌تری تولید کنیم؟	تولید
تخصیص عاقلانه‌ی آب در همه‌جا، و صادرات محصولات آب‌بر از مناطق پرآب و یا با بهره‌وری آب بالا، به مناطق کم‌آب و یا با بهره‌وری آب پایین	چه چیزی را کجا با بهترین روش تولید کنیم که در مجموع آب کم‌تری مصرف شده و شدت کمبود آب، کاهش یابد؟	جغرافیایی
کاهش میانگین ردپای آب به ازای هر کیلوکالریِ مصرفی با اصلاح رژیم غذایی؛ کاهش ردپای آب به ازای هر کیلووات–ساعت انرژی مصرفی با اصلاح ترکیب انرژی	چه‌طور می‌توان به بهترین شکل ممکن، تقاضای مصرف‌کننده را با آب کم‌تری تأمین نمود؟	مصرف

کارآیی مصرف آب از دیدگاه جغرافیایی

وقتی کارآیی مصرف آب از دیدگاه جغرافیایی بررسی می‌شود، این سوال مطرح است که چیزی را کجا با بهترین روش تولید کنیم که در مجموع آب کم‌تری مصرف شده و شدت کمبود آب، کاهش یابد؟ این منطقی است که آب‌برترین محصولات، باید در مکان‌های پرآب و یا دارای بهره‌وری آب بالا

1 Overall nutritional water productivity

تولید شوند. بر اساس تئوریِ تجارت بین‌المللی، الگوهای کارآمد مصرف آب، بر اساس مزایا یا معایب نسبی‌ای تعیین می‌شوند که در تولید محصولات مختلف در کشورها وجود دارند. کارآیی مصرف آب جهانی زمانی افزایش می‌یابد که کشورها، کالاهای آب‌بر را بر اساس مزایا و معایب نسبی تولید کنند؛ در این مقایسه خواهند فهمید که آیا می‌توانند منابع آب خود را صرف تولیدِ کالاهای صادراتی نمایند یا خیر.

تحقیقات بسیاری روی بررسیِ کارآیی مصرفِ آب از دیدگاه کاربران آب (یعنی تولیدکنندگان) وجود دارد، اما این کار در مقیاس جهانی به ندرت صورت گرفته است. البته این موضوع بسیار پیچیده است زیرا، آب تنها یکی از عواملِ تولید در اقتصاد است. به این ترتیب، الگویِ بهینه‌ی تولید در جهان، علاوه بر آب، به عوامل متعدد دیگری نیز بستگی دارد. علاوه بر آن، الگوهای تولید و تجارت در جهان، به شدت به اولویت‌های سیاسیِ کشورها مثل خودکفایی در تولید، و به موانع تجارت و تفاوت‌هایی که در سیستم‌های مالیاتی و یارانه‌ای وجود دارد، بستگی دارند.

تنها پژوهشی که روی کارآیی مصرف آب در جهان صورت گرفته است، پژوهشی است که در آن این موضوع را تنها از منظر فیزیکی بررسی نموده است. وقتی کالاهایی که ردپای آب بسیار بالایی دارند، در مناطقی با بهره‌وری‌های آب بسیار بالا تولید شوند، میزان نیاز آبی در جهان کم‌تر از شرایطی خواهد بود که این کالاها در همان محل مصرف با بهره‌وری آب پایین تولید شوند. مطالعات بسیاری برای تعیین میزان صرفه‌جویی آب به‌واسطه‌ی تجارت‌های بین‌المللی انجام گرفته است. یافته‌های همه‌ی این پژوهش‌ها بر این مهم دلالت دارد که الگوی فعلیِ تجارت کالاهای کشاورزی، منتج به مقداری صرفه‌جویی آب در سطح جهان شده است (Oki and Kanae, 2004; De Fraiture *et al*., 2004; Chapagain *et al*., 2006a; Yang *et al*., 2006; Mekonnen and Hoekstra, 2011b).

بر اساس یافته‌های جامع‌ترین پژوهش، مجموع ردپای آب کالاهای کشاورزیِ صادراتی در جهان (در بازه‌ی زمانی ۱۹۹۶–۲۰۰۵)، ۱۵۹۷ میلیارد مترمکعب در سال بود. اگر قرار بود کشورهای واردکننده، خودشان این کالاها را در کشورشان تولید می‌کردند، ۱۹۶۶ میلیارد مترمکعب آب مصرف می‌شد؛ یعنی تجارت کالاهای کشاورزی، منتج به ۳۶۹ میلیارد مترمکعب صرفه‌جویی در آب مصرفی در جهان (۱۹ درصد کاهش آب مصرفی) شده است. ردپای آب برای تولید محصولات کشاورزی در جهان، ۸۳۶۳ میلیارد مترمکعب در سال است (Mekonnen and Hoekstra, 2011b). بدون تجارت کالا، و با این فرض که هر کشوری نیازش را خودش تولید کند، مجموع آب مصرفی در بخش کشاورزی در جهان به ۸۷۳۲ (۳۶۹+۸۳۶۳) میلیارد مترمکعب در سال خواهد رسید. الگویِ فعلیِ تجارت کالاهای کشاورزی، کل آب مصرفی در بخش کشاورزی در جهان را ۴ درصد (۸۷۳۲÷۳۶۹) کاهش داده است. این ذخیره‌ی

آب ناشی از تفاوت بهره‌وری آب در کشورهای مختلف است. اگر در تجارت جهانیِ کالاهای آب‌بر، این اختلاف بهره‌وری‌ها به درستی در نظر گرفته شود، صرفه‌جویی آب بسیار بیش‌تر خواهد بود. حال، اگر بهره‌وری آب در جهان، و به‌ویژه در کشورهای واردکننده‌ای که بهره‌وری پایین دارند، بهبود یابد، این میزان صرفه‌جوییِ آبی که در حال حاضر به واسطه‌ی تجارت این کالاها و به دلیل اختلاف بهره‌وری آب بین کشورهای صادرکننده و واردکننده به‌دست می‌آید، در آن شرایط دیگر وجود نخواهد داشت. بخشی از منافع حاصل از تجارت کالاهای آب‌بر، ناشی از همین اختلاف بهره‌وری‌های آب در کشورهای مختلف است، بنابراین، اگر این اختلاف‌ها به‌واسطه‌ی ارتقای بهره‌وری آب در کشورهایی که تولیدشان در حال حاضر کم‌تر از تقاضاست از بین برود، دیگر آبی در ازای تجارت این کالاها در جهان صرفه‌جویی نخواهد شد. با این حال واقعیت آن است که اختلاف زیادی بین منابع آبی در دسترس در کشورهای مختلف جهان وجود دارد و برخی کشورها، آب کافی برای خودکفا شدن در تولید ندارند، بنابراین آن‌ها ناچار به واردات غذا هستند. این مسأله مثلاً برای کشورهای خاورمیانه، آفریقای شمالی و همچنین مکزیک مصداق دارد.

به جای تمرکز روی این موضوع که آیا صادرات بین‌المللی کالاهای آب‌بر از مکان‌هایی با بهره‌وری بالا به مکان‌هایی با بهره‌وری صورت می‌گیرد، می‌توان از این دیدگاه به این مسأله نگاه کرد که آیا این کالاها، از مکان‌هایی با شدت کمبود آب کم‌تر به مکان‌هایی با شدت کمبود آب بیش‌تر صادر می‌شوند یا خیر. از این حیث یافته‌های متنوعی مشاهده می‌شود. برخی بیان داشتند که معمولاً اغلب کشورهای کم‌آبِ جهان، واردکننده‌ی خالص گیاهان غذایی[1] هستند و هرچه کم‌آب‌تر باشند، میزان واردات آن‌ها بیش‌تر است (Yang *et al*., 2003; Chouchane *et al*., 2018). از سوی دیگر، محققان دیگری بیان داشتند که صادرات خالص غذا از مناطق کم‌آبِ شمال چین، به مناطق پرآب جنوب چین (Ma *et al*., 2006; Zhuo *et al*., 2016a) صورت می‌گیرد؛ نتایج مشابهی برای هند نیز گزارش شده است (Kampman *et al*., 2008; Katyaini and Barua, 2017). دالین و همکاران (Dalin *et al*., 2017) نشان دادند که حدود ۱۱ درصد از کل منابع آب زیرزمینیِ تجدیدناپذیری که برای تولید غذا در جهان مصرف می‌شود، صرف تولید کالاهای صادراتی می‌شود که حدود $\frac{2}{3}$ از این کالاها، از کشورهای پاکستان، آمریکا و هند صادر می‌شوند. نتایج پژوهشی که روی جریان‌های بین‌المللی آب مجازی در جهان انجام شد، نشان داد که حدود ۲۵ درصد از آب لازم برای تولید کالاهای صادراتی، در مناطق کم‌آب مصرف می‌شود و نسبت میزان آب مصرف شده برای تولید کالاهای صادراتی به کل آب مصرفی در این نواحی، از کشورهای پرآب بیش‌تر است (Lenzen *et al*., 2013). در پژوهشی دیگر، وانگ و

1 Staple crops

زیرمرمن (Wang and Zimmerman, 2016) دریافتند که تجارت آب مجازی می‌تواند باعث تشدید یا کاهش شدت کمبودِ آب در جهان شود. وارداتِ آب مجازی، بیش‌ترین تاثیر بر کاهش شدت کمبود آب را در کشورهای خشکِ خاورمیانه و شمال آفریقا و در حوضه‌های آبریز گنگ و ایندوس در هند و پاکستان به جای گذاشت. این در حالی است که صادرات آب مجازی از کشورهای کم‌آبِ میسی‌سی‌پی، کلمبیا، و رودخانه‌های کلرادو در شمال آمریکا، باعث برداشت اضافی آب و تشدید نرخ کمبود آب در این مناطق شد. همه‌ی این پژوهش‌ها در کنار هم نشان می‌دهند که در حال حاضر، محصولات پرآب‌بر از مناطقی با کمبود آب کم‌تر به مناطقی با کمبود آب بیش‌تر، و یا برعکس، صادر می‌شوند.

یکی از راه‌کارهای کاهش شدت کمبود آب در حوضه‌های آبریزی که با تنش آبی شدید مواجه هستند، تعیین این مسأله است که چه محصولی کجا و چه زمانی از سال باید تولید شود؛ مثلاً می‌توان گیاهانی با ارزش اقتصادیِ زیاد (مثلاً با بهره‌وری تغذیه‌ای یا اقتصادی آبِ بالاتر) را جایگزینِ گیاهانی با ارزش اقتصادی کم نمود. به این ترتیب می‌توان مقدار تولید یکسانی را با آب کم‌تری به دست آورد. در برخی مکان‌ها، ممکن است تولید گیاه، ولو با بهره‌وری آب بالا، گزینه‌ی مناسبی نباشد. از دیدگاه بهره‌وری، ممکن است آبیاری کارآمدِ گیاهان در مناطق کویری، که امری غیرمعمول نیست، مناسب به نظر برسد، اما اگر برداشت آب در این نواحی فراتر از حدود پایدارش بوده و سطح آب‌های زیرزمینی مرتب در حال کاهش است، گزینه‌ی مطلوب‌تر آن است که تعیین شود چه تعدادی از کشاورزان، اجازه‌ی برداشت و مصرف آب در این نواحی را دارند. چندین پژوهش ملی وجود دارد که نشان می‌دهد اصلاح الگوی کشت، می‌تواند ضمنِ حفظ میزانِ تولید در سطحی مطلوب، مقدار آب مصرفی را نیز کاهش دهد.

شینس و هوکسترا (Schyns and Hoekstra, 2014) دریافتند که یک جابه‌جایی جزئی در مکان تولید گیاهان، با هدف تولید آن‌ها در کشورهایی از یک حوضه‌ی آبریز که نیاز آبی این گیاهان کم‌تر است، می‌تواند صرفه‌جویی زیادی در میزان آب مصرفی ایجاد نماید. در پژوهشی که برای چین انجام شد، ردپای آب در الگوی کشت موجود و پیشنهادی برای تولید غلات بررسی شد و نتایج نشان داد که اصلاح الگوی کشت، می‌تواند میزان آب مصرفی را کاهش دهد (Wang *et al*., 2014). پژوهش صورت گرفته در آمریکا نیز نشان داد که جایگزینیِ الگوی کشت موجود با الگویی مناسب‌تر، ضمن حفظ تنوع گیاهی، ارزش اقتصادی، تثبیت نیتروژن و تولید پروتئین، می‌تواند باعث صرفه‌جویی آب نیز شود (Davis *et al*., 2017a). نتایج این پژوهش نشان داد که تغییر محل تولید گیاهان، می‌تواند میزان کالری تولیدی را ۴۶ درصد، تولید پروتئین را ۳۴ درصد و ارزش افزوده‌ی تولید را ۲۰۸ درصد افزایش داده و همزمان، میزان آب مصرفی را ۵ درصد کاهش دهد. میزان صرفه‌جویی آب در قطب‌های

کشاورزی کم‌آب در آمریکا، مثل کالیفرنیا (۵۶ درصد کاهش آب مصرفی) و دیگر ایالات غربی این کشور بیش‌تر بود. در پژوهشی دیگر که برای کل جهان انجام شد، تغییر محل کشت گیاهان، روش پایدارتری در مقایسه با سرمایه‌گذاری‌های هنگفت روی تغییر تکنولوژی‌ها برای افزایش تولید و کاهش آب مصرفی عنوان شد (Davis *et al.*, 2017b). نتایج این پژوهش نشان داد که با تغییرالگوی کشتِ جهان، می‌توان غذای مورد نیاز برای ۸۲۵ میلیون نفر جمعیتِ بیش‌تر را تأمین نموده و بهره‌وری آب تغذیه‌ای در جهان را ۱۰ درصد افزایش داد. الگویِ کشت پیشنهادی می‌تواند مصرف آب سبز و آبی را به ترتیب ۱۳/۶ و ۱۲/۱ درصد کاهش دهد.

کارآیی مصرف آب از دیدگاه مصرف

وقتی از دیدگاه مصرف به کارآیی مصرف آب نگاه می‌کنیم، این سوال مطرح می‌شود که چه‌طور می‌توان به بهترین شکل، تقاضای مصرف‌کننده را با آب کم‌تری تأمین نمود؟ مثلاً می‌توانیم با استفاده از بهره‌وری آب تغذیه‌ای بر حسب کیلوکالری به ازای هر واحد آب مصرفی، کارآیی مصرف آب کل سیستم غذایی خود را بررسی کنیم. در فصل ششم که در خصوص گوشت و فرآورده‌های لبنی صحبت شد. در آن فصل، درباره‌ی کارآیی مصرف آب در شرایطی که کالری و پروتئین مورد نیاز بدن از فرآورده‌های حیوانی به دست بیاید، و در شرایطی که این فرآورده‌ها با فرآورده‌های گیاهی با ارزش غذاییِ یکسان جایگزین شوند، بحث شد. سوال مشابهی را می‌توان در خصوص کارآیی مصرف آب در بخش انرژی پرسید. در فصل ۸، نشان دادم که افزایش سهم سوخت‌های زیستی در مجموع سوختِ مصرفی باعثِ افزایش ردپای آب در بخش انرژی خواهد شد. این در حالی است که استفاده‌ی بیش‌تراز انرژی‌های خورشیدی، بادی و زمین‌گرمایی باعثِ کاهش ردپای آب می‌شود. بنابراین، شاخصی که برای ارزیابیِ ردپای آب در بخش انرژی می‌توان استفاده شود، میانگینِ ردپای آب مجموع سوخت‌هایی است که برای تولید انرژی استفاده می‌شود (بر حسب لیتر بر مگاژول). انتخاب‌های هوشمندانه می‌تواند به شدت کارآیی مصرف آب کل در سیستم‌های انرژی و غذای مصرفی ما را کاهش دهد. همچنین، کاهش تلفات غذا و انرژی، به شدت روی کاهش مصرف آب تاثیر دارند، زیرا با کاهش تلفات، نیاز به تولید غذا و انرژی، کمتر خواهد شد. صحبت در خصوص تغییر الگوی مصرف بسیار دشوارتر از صحبت پیرامون تغییر الگوی تولید (یعنی مکان و روش تولید فرآورده‌های مختلف) است. دلیل این امر آن است که ما را با ایده‌ی اقتصاد نئوکلاسیک، که معتقد است میزان مصرف معلوم بوده و تنها سوالِ باقی‌مانده، این است که ما چه‌طور می‌توانیم نیازهای خود را کارآمدتر تأمین کنیم، شستوی مغزی داده‌اند. با این حال، این واقعیت که حدی برای مصرف آب وجود دارد، بر این مسأله دلالت دارد که برای کل فرآورده‌های

مصرفی ما نیز سقفی وجود دارد. بنابراین، اکنون سوال این است که چگونه این محصولات را بین مصرف‌کنندگان مختلف توزیع کنیم؛ سوالی که در فصل بعدی بدان پاسخ داده خواهد شد.

تا چه حد می‌توان به بهبود کارآیی مصرف آب خوش‌بین بود؟

افزایش کارآیی مصرف آب، یکی از چالش‌های اساسی در جهان در دهه‌های پیشِ رو است. در عمل، مسأله‌ی کارآیی بیش‌تر از دیدگاه تولید بررسی می‌شود. دولت‌های بسیاری مسأله‌ی کارآیی منابع[1] را موضوعی مهم قلمداد می‌کنند؛ مثلاً کمیسون اروپا، دستیابی به "اروپای کارآمد از دیدگاه منابع[2]" را به گونه‌ی یکی از هفت ابتکار برجسته‌ی[3] خود تدوین نمودند (EC, 2011). "ابتکارات برجسته"، بخشی از یک استراتژی ۱۰ ساله در اروپاست که در سال ۲۰۱۰، توسط کمیسون اروپا با هدف توسعه‌ی رشد و شغل تصویب شد. این موضوع، معضل جالبی را نشان می‌دهد: از یک‌طرف، هدف، رشد است و از سوی دیگر، پایداری. مفاهیمی همچون "کارآمدی منابع" و "رشد سبز[4]" به این معضل پاسخ می‌دهد. کارآیی منابع، به معنی مصرفِ منابع طبیعیِ کم‌تر و تبعات زیست‌محیطیِ کم‌تر به ازای هر واحد تولید یا مصرف است. از سوی دیگر، رشد به معنی تولید و مصرف بیش‌تر است. بنابراین، این اعتقاد (در کمیسیون اروپا) وجود دارد که افزایش کارآمدی مصرف منابع می‌تواند به تناقضی که بین رشد و پایداری وجود دارد، پاسخ دهد، اما در واقعیت، هنوز معلوم نیست که آیا ارتقای کارآمدی مصرف منابع طبیعی می‌تواند تبعات منفیِ افزایش تقاضا (که ناشی از رشد است) بر طبیعت را جبران نماید یا خیر. ارتقای کارآمدی منابع همواره با محدودیت‌هایی همراه است؛ یک مثال خوب در این مورد، مصرف آب در بخش کشاورزی است که ۹۲ درصد از کل ردپای آب بشر مربوط به آن است. در مکان‌های بسیاری، پتانسیل‌های زیادی برای کاهش مصرف و آلودگی آب، و در نتیجه کاهش ردپای آب غذا، پنبه و سوخت‌های زیستی ما وجود دارد، اما کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی نیز حدی دارد؛ زیرا رشد گیاه اساساً منوط به تبخیر–تعرق بوده و بدون آن، امکان‌پذیر نیست.

مصرف آب در جهان در قرن گذشته، به طور مداوم افزایش داشته و پیش‌بینی می‌شود که این روند افزایشی در دهه‌های آتی نیز ادامه پیدا کند (Molden, 2007; FAO, 2011). دلیل آن، نه فقط رشد جمعیت (یعنی افزایش نیاز غذایی همگام با افزایش جمعیت)، که تغییر الگوی مصرف که منتج به استفاده از محصولات آب‌برتر در مقایسه با گذشته می‌شود نیز هست. به‌ویژه، تمایلِ بیش‌تر به افزایش مصرف

1 Resource Efficiency
2 A resource-efficient Europe
3 Flagship initiatives
4 Green growth

گوشت و فرآورده‌های لبنی و استفاده از سوخت‌های زیستی نیز نیاز آبی را افزایش خواهد داد. در طول دهه‌های گذشته، بهره‌وری‌های آب در حد قابل توجهی افزایش یافته است، اما این ارتقا، باعثِ کاهش مصرف آب نشده است. برعکس، میزان آب مصرفی علی‌رغمِ ارتقای بهره‌وری، روندی افزایشی را در طول دهه‌های گذشته طی نموده است. هیچ دلیلی برای این حد از خوش‌بینی که ارتقای بهره‌وری در دهه‌های آتی می‌تواند اثراتِ منفیِ افزایشِ تقاضا برای کالاهای آب‌بر را جبران نماید، وجود ندارد. این یک مشکل جدی است. میانگینِ کمبود آب آبی (نسبت ردپای آب آب آبی موجود) که مردم در اقصی نقاط جهان با آن مواجه هستند، حدود ۱۳۳ درصد است (Hoekstra and Mekonnen, 2011). همان‌گونه که در فصل پیش گفته شد، چهار میلیارد نفر از جمعیت جهان، در حوضه‌های آبریزی زندگی می‌کنند که درآن‌ها، ردپای آب آبی حداقل در یک ماه از سال، دو برابر (و یا بیش‌تر) فراتر از آب آبی موجود است. اگرچه ارتقای بهره‌وری آب از الزامات تعدیل کمبود آب است، اما کافی نیست. بر اساس پژوهشی معلوم شد که میانگین جهانی پتانسیل ارتقای کارآیی آب آبی در تمام بخش‌های مصرف‌کننده‌ی آب، ۲۵ درصد است (EC and PBL, 2011). همچنین، نتایج همین پژوهش نشان داد که این حد از افزایش کارآیی مصرف آب آبی، نمی‌تواند اثرات منفیِ رشد جمعیت را جبران کند. کارآیی مصرف آب، بر استفاده از آب کم‌تر به ازای واحد تولید تاکید دارد. شعار معروفی که در بحث‌های اخیرِ پیرامون کمبود آب مطرح می‌شود، "تولیدِ بیش‌تر با هر قطره‌ی آب[1]" است. هرچند این شعار خوب به نظر می‌رسد، اما آنچه در آن فراموش شده، این واقعیت است که در انتها، مجموع آب مصرفی است که از حیثِ اثری که بر محیط‌زیست می‌گذارد، اهمیت خواهد داشت. در مکان‌های بسیاری از کره‌ی زمین منابع آبی با کارآیی بالایی در حال مصرف بوده و میزان مطلوبی تولید به ازای هر واحد آب مصرفی به دست می‌آید، اما در همین نواحی، منابع آب به سرعت در حال تخلیه شدن هستند. اثرات تولید بر منابع آبی به دو عامل بستگی دارد: میزان آب مصرفی به ازای هر واحد تولید، و کل تولید. همه‌جا شاهد این هستیم که شرکت‌ها، در حال کاهش حجم آب مصرفی به ازای هر واحد تولید خود هستند، اما در همان شرکت‌ها، اغلب مجموعِ تولید با سرعت بیش‌تری (نسبت به شدت ارتقای کارآیی مصرف آب) افزایش پیدا کرده و در نهایت باعث شده که کل آب مصرفیِ آن‌ها نیز افزایش یابد. حوضه‌های آبریز بسیاری نیز وجود دارند که ردپای آب به ازای هر واحد تولید در آن‌ها در حال کاهش است (یعنی ارتقای کارآیی)، اما مجموع تولید با سرعت بیش‌تری در حال افزایش بوده و در نتیجه، مجموع ردپای آب در این حوضه‌ها علی‌رغمِ مصرفِ کارآمد، در حال افزایش است. بنابراین، بسیار مهم

1 More crop per drop

است که به جای توجه به میزان آب مصرفی به ازای هر واحد تولید، به میزانِ تولیدِ کالاهای آب‌بر توجه نماییم.

اینکه هدف افزایش کارآیی (ردپای آب به ازای هر واحد تولید) باشد، کافی نیست؛ باید کاهشِ کل آب مصرفی نیز هدف ما باشد. اگرچه افزایش کارآیی مصرف آب می‌تواند در کاهش کل آب مصرفی موثر باشد، ولی کنترل کل آب مصرفی نیازمند اقداماتی برای محدود نمودنِ رشد مستمر تقاضای کل نیز هست. مواردی که نیازمند توجه ویژه‌ای هستند، مسأله‌ی افزایشِ مصرف گوشت، فرآورده‌های لبنی و سوخت‌های زیستی است که در زمره‌ی مهم‌ترینِ عواملِ افزایش نیاز آبی در جهان هستند، اما سایر تحولات نیز نگران‌کننده هستند؛ مثلاً استفاده از روش‌های جدید برای معدن‌کاوی، مثل شکست هیدرولیکی[1] (فرکینگ[2]) برای باز کردن مخازن گازِ شیل و یا استخراج نفت از ماسه‌ها. مصرف و آلودگی آب در فعالیت‌های معدن، هنوز مورد توجه سیاست‌مداران قرار نگرفته است که بخشی از این مسأله، به دلیلِ نبود آمار مناسب و بخشی هم به این دلیل است که فعالیت‌های معدنی، به طور مستقیم و شفاف، با کالاهای مصرفی روزانه‌ی ما ارتباطی ندارند.

اثر ارتجاعی[3]

باید مراقبِ توقعِ بیش‌ازحد خوش‌بینانه‌ی خود از تاثیر مثبتِ ارتقای کارآیی مصرف آب بر حفظ محیط زیست باشیم. بر اساس مطالعاتی که برای بخش انرژی انجام شده است، واژه‌ای به نام "اثر ارتجاعی" معرفی شده است (Binswanger, 2001; Sorrell *et al*., 2009; Terry *et al*., 2009). اثرات ارتجاعی، عکس‌العمل رایج در بازار به استفاده از تکنیک‌های نوین برای ارتقای کارآیی مصرف منابع را نشان می‌دهد. این عکس‌العمل‌ها، مبین این مهم است که وقتی با ارتقای کارآیی، در مصرف منابع صرفه‌جویی شود، این منابعِ اضافی می‌توانند برای تولید بیش‌تر مورد استفاده قرار بگیرند و در نتیجه، بخشی یا کل اثراتِ مثبتی که کاهشِ مصرف منابع به ازای هر واحد تولید بر حفظ محیط زیست بر جای می‌گذارد، با این افزایش تولید از بین خواهد رفت. گاهی حتی با ارتقای کارآیی، مصرفِ منابع، به جای کاهش، افزایش نیز می‌یابد. این موردِ خاص از اثر ارتجاعی، با عنوانِ پارادوکسِ یووِنز شناخته می‌شود (Polimeni *et al.*, 2008).

شواهد بسیاری وجود دارد که اثرات ارتجاعی، در زمینه‌ی مصرف منابع آب، به‌ویژه در بخش آبیاری نیز رخ می‌دهد (Ward and Pulido-Velazquez, 2008; Crase and O'Keefe, 2009; Scott

1 Hydraulic fracturing
2 Fracking
3 Rebound effect

et al., 2014; Berbel *et al.*, 2015; Sears *et al.*, 2018). مناطقی از جهان را در نظر بگیرید که زمین به سادگی یافت می‌شود، اما آب نیست. اگر یک کشاورز در چنین منطقه‌ای، که آب را برای آبیاری مزراع خود پمپاژ می‌کند، بفهمد که می‌تواند همان مقدار محصول را با آب کم‌تری به دست آورد، ممکن است تصمیم بگیرد که اراضیِ بیش‌تری از خود را آبیاری نماید. به این ترتیب، این کشاورز، با استفاده از تکنیک‌های آبیاریِ کارآمدتر، میزان محصول خود را بدون افزایش در حجم آب مصرفی، افزایش خواهد داد. این مسأله، تنها تصور نبوده و در حال حاضر، در واقعیت نیز در حال وقوع است و با عنوانِ "پارادوکس کارآیی آبیاری[1]" شناخته می‌شود (Grafton *et al.*, 2018). دور از ذهن نیست که افزایش کارآیی مصرف آب در تولید غذا، شرایط افزایش مصرف گوشت و تغییر سریع‌تر به سمت تولید سوخت‌های زیستی را تسهیل نماید. به این ترتیب، برای پایدارتر بودن، تنها کارآمدتر بودن کافی نیست؛ باید به الگوی مصرف خود نیز توجه کنیم که این مسأله، در فصل بعدی بررسی می‌شود. تا اینجا، پایداری و کارآمدی را بحث کردیم، اما اگر این موضوعات، باعث محدودیت‌هایی در رشدِ مصرف شود، آن‌گاه باید مسأله‌ی توزیع عادلانه نیز مورد توجه قرار بگیرد.

1 Irrigation efficiency paradox

فصل سیزدهم

برابری: سهمِ عادلانه‌ی جوامع از ردپای آب

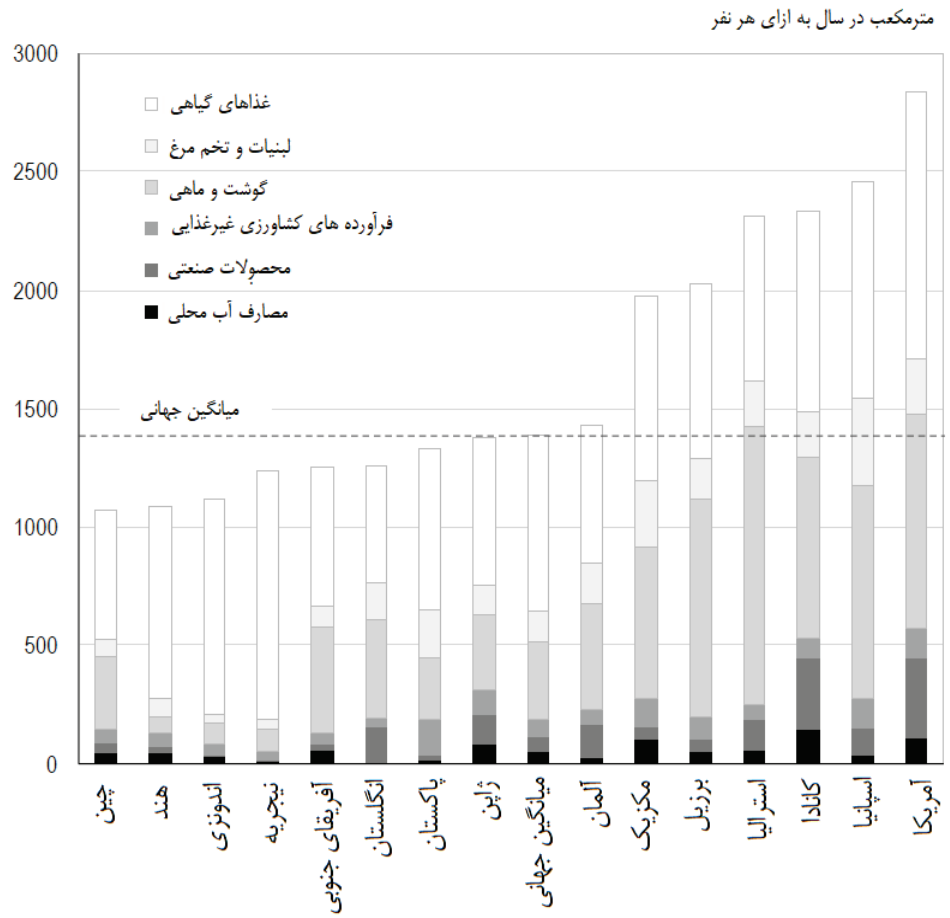
اگرچه اندیشیدن در خصوص کارآیی و پایداریِ زیست‌محیطیِ آب مصرفی مهم است، اما با بررسی آن‌ها نمی‌توان چیزی در خصوص توزیع عادلانه‌ی آب فهمید. در پایداریِ زیست‌محیطی، اغلب مصرف آب از دیدگاه جغرافیایی بررسی شده و در کارآیی مصرف آب، اغلب ویژگی فرآیندهای تولید بررسی می‌شود. وقتی از برابری صحبت می‌کنیم، اغلب از دیدگاه مصرف به موضوع نگاه می‌کنیم. حال، سوال این است: در نهایت، کدام جوامع از منافع آب مصرفی بهره‌مند می‌شوند؟ مثلاً وقتی مکزیک، منابع آب خودش را برای تولید ذرت صادراتی به آمریکا مصرف می‌کند، جایی که قرار است این ذرت بعداً در تولید بیواتانول برای تأمین سوخت وسایل نقیله‌ی به شدت انرژی‌بر در آمریکا استفاده شود، ممکن است این سوال پیش بیاید که آیا مصرف منابع آبی کمیاب در یک کشور فقیر برای خدمت به ثروتمندانِ کشوری دیگر، عادلانه است؟ غالباً کشاورزانِ ثروتمند هستند که حجم زیادی آب برای تولید گیاهان صادراتی در مقیاس صنعتی مصرف نموده و به این ترتیب، کشاورزان محلی که به تولید برای تأمین تقاضای بازارهای محلی مشغول بوده و شاهد افتِ سطح آب هستند را از داشتنِ این منابع آبی محروم می‌نمایند. منطقِ اقتصادی در پشتِ این داستان واضح است: مزراع بزرگ، آب را با کارآیی بیش‌تری مصرف نموده و تولید بیش‌تر، با کیفیت‌تر و با ارزش‌تر در مقایسه با اراضی خرده‌مالکی دارند و در نتیجه، به دلیل صادرات، ارزآوری می‌کنند، اما رویِ دیگر این سکه آن است که این منابع آبی کمیاب، در حال مصرف با کارآیی بالا برای خدمت به مصرف‌کنندگان در مکان‌های دیگریست که ثروتمند بوده و می‌توانند به جای تولیدِ غذا برای مصرف‌کنندگانِ فقیرتر، آن را بخرند (یعنی غذا را به جای تولید، وارد نمایند). به این ترتیب، عادلانه بودنِ مصرف آب، معیار ضروریِ دیگری است که باید هنگامِ تخصیصِ منابع آب لحاظ شود. قبل از آن‌که سوتفاهم پیش بیاید باید بگویم که منظور من این نیست که تولید برای صادرات ذاتاً ناعادلانه یا غیراخلاقی است، اماً حینِ تخصیص آب، این مسأله که در نهایت منافع حاصل از این شیوه‌ی تخصیص، عایدِ چه کسانی می‌شود نیز باید مدنظر قرار بگیرد.

در این فصل، ابتدا تغییراتِ مکانیِ سرانه‌ی ردپای آب مصرف‌کنندگان درون یک کشور و همچنین این تغییرات بین کشورهای مختلف بررسی می‌شود. در آنجا خواهم گفت که تأمین نیازهای اساسیِ همه‌ی افراد، نیازمند کاهش ردپای آب افرادی است که ردپای آب بسیار زیادی دارند. در آن قسمت، سه راه‌کار برای توزیع عادلانه‌تر آب ارایه خواهم داد: اول، تخصیص آب به شیوه‌ای که نیازهای اساسی هر فرد تأمین شود. این به آن معناست که همه‌ی ما، باید الگویِ مصرف خود را به الگوی کم‌آب‌برتری تغییر دهیم، دوم ارتقای کارآیی مصرف آب حینِ تولید که به‌واسطه‌ی آن، باید میزان تولید به ازای مصرف مقدار معینی آب را افزایش دهیم و سوم، صادرات کالاهای آب‌بر از نواحی پرآب به نواحی کم‌آب با هدف حمایت از مردمی که در نواحیِ تحت تنش آبی زندگی می‌کنند. در این فصل خواهم گفت که

برای تغییر الگوی مصرف به سمت الگویی کم‌آب‌برتر، باید به مسأله‌ی مصرف گوشت، تلفات غذایی و سوخت‌های زیستی توجه ویژه‌ای داشته باشیم. در نیمه‌ی دوم این فصل، ایده‌ی توزیع عادلانه‌ی ردپای آب و نیاز به رسیدن به توافقی بین‌المللی روی کاهشِ ردپای آب ملت‌ها را مطرح خواهم نمود.

تفاوت ردپاهای آب در جوامع مختلف

در اوایل قرن ۲۱، میانگین ردپای آب شهروندان در جهان، ۱۳۸۵ مترمکعب در سال بود (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). با این حال، تفاوت‌های بسیاری بینِ ردپای آبِ شهروندان یک کشور، و یا شهروندان در کشورهای مختلف وجود دارد. میانگین ردپای آب یک مصرف‌کننده در آمریکا، حدود ۲۸۴۲ مترمکعب در سال است که این مقدار، دو برابر بیش‌تر از میانگین جهانی می‌باشد، در حالی‌که ردپای آب شهروندانِ چینی و هندی، به ترتیب ۱۰۷۱ و ۱۰۸۹ مترمکعب در سال است (شکل ۱۳–۱). آنچه ما را به جایی که اکنون هستیم رسانده است، مجموع آب مصرفی در جهان است: در حال حاضر، در حدودِ نیمی از حوضه‌های آبریز جهان، برداشت بی‌رویه از منابع آب آبی وجود دارد. حداقل ۱۸ درصد از کل آب سبزی که توسط بشر مصرف می‌شود، سهمی است که باید برای حفظ طبیعت در نظر گرفته می‌شد و حداقل در $2/3$ از حوضه‌های آبریز جهان، آلودگیِ دفع‌شده به منابع آبی، فراتر از ظرفیت پذیرشِ آلودگی این منابع است (فصل ۱۱ را ببینید). می‌توان این بار را تا حدی از دوش حوضه‌های آبریزی که بیش از حد از منابعشان بهره‌برداری شده است، برداشت نموده و به حوضه‌هایی که بهره‌برداری بی‌رویه نداشته‌اند منتقل نمود و به این ترتیب، توازن منطقه‌ای بهتری بین مصرف آب و آب پایدار موجود، بین میزان دفع آلودگی و ظرفیت پذیرشِ آلاینده‌ها در منابع آبی و بین نیازهای بشر و نیاز به حفظ تنوع زیستی برقرار نمود. به این ترتیب، ممکن است بتوانیم ردپای آب جهانی خود را اصلاح کنیم. با این حال، این تصور که (حتی با انجام چنین اقداماتی)، افزایشِ ردپای آب فراتر از مقدار فعلی‌اش در جهان بتواند از منظر محیط‌زیستی پایدار باشد، کاملاً اشتباه است. بنابراین با توجه به افزایش جمعیت، کاهش سرانه‌ی ردپای آب باید در دستورکار سیاست‌مداران قرار بگیرد.



شکل ۱۳–۱. سرانه‌ی ردپای آب افراد در برخی کشورهای منتخب. مقادیر، به صورت میانگین برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶ ارایه شده– است (Hoekstra and Mekonnen, 2012).

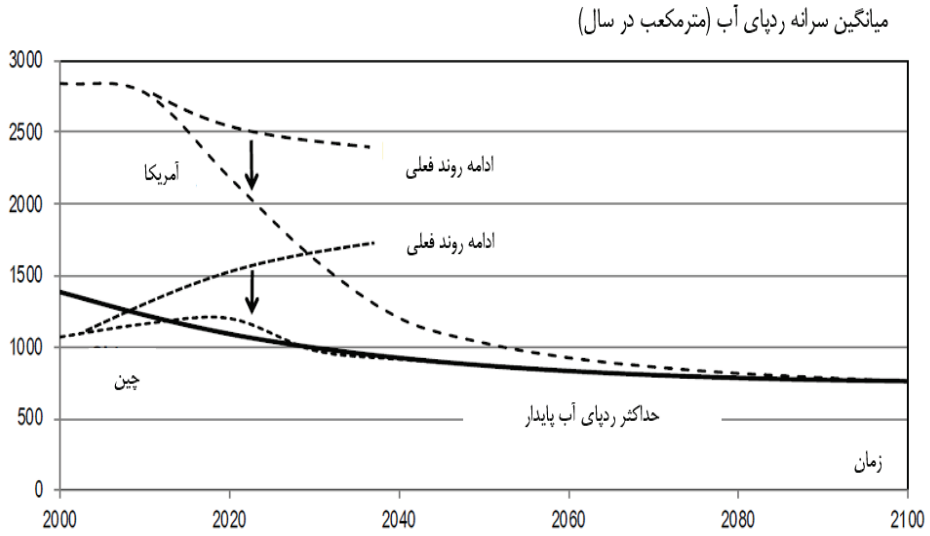
نیاز به کاهش ردپای آب و همگرایی

بر اساسِ سناریوی جمعیتیِ میانه که توسط سازمان ملل ارایه شده است، جمعیت جهان از ۶/۱ میلیارد نفر در سال ۲۰۰۰ به ۹/۸ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰، و ۱۱/۲ میلیارد نفر در انتهای این قرن خواهد رسید (UN, 2017). این به آن معناست که برای اطمینان از نبود افزایش ردپای آب بشر در سال‌های آتی، باید میانگین جهانی سرانه‌ی ردپای آب افراد، از ۱۳۸۵ مترمکعب در سال ۲۰۰۰ به ۸۷۰ مترمکعب در سال ۲۰۵۰، و ۷۶۰ مترمکعب در سال ۲۱۰۰ کاهش یابد. در خوش‌بینانه‌ترین سناریو، که

در آن حداقل نرخ باروری توسط سازمان ملل در نظر گرفته شده است، جمعیت جهان به ۸/۸ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید که در این صورت، اگر بخواهیم از افزایش ردپای آب کل ممانعت کنیم، باید میانگین جهانی سرانه‌ی ردپای آب بشر را به ۹۷۰ مترمکعب در سال برسانیم. در بدترین سناریو، که در آن حداکثر نرخ باروری توسط سازمان ملل لحاظ شده است، جمعیت جهان به ۱۶/۵ میلیارد نفر در سال ۲۱۰۰ خواهد رسید که در این صورت، سرانه‌ی ردپای آب مجاز برای بشر تنها ۵۱۵ مترمکعب در سال خواهد بود. در حال حاضر، حتی یک کشور در جهان نیز چنین سرانه‌ی ردپای آبی ندارد. جمهوری دموکراتیک کنگو، کشوری است که کم‌ترین سرانه‌ی ردپای آب (۵۵۰ مترمکعب در سال) را دارند که چندان مهم هم نیست. کشور بعدی در این لیست، بوروندی با سرانه‌ی ردپای آب ۷۲۰ مترمکعب در سال است (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). در میان کشورهای ثروتمند، انگلستان کم‌ترین سرانه‌ی ردپای آب (۱۲۶۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال) را دارد.

در یک رژیم غذایی وگان، که فرد در آن هیچ فرآورده‌ی حیوانی‌ای مصرف نکرده و سرانه‌ی کالری مصرفی‌اش ۲۵۰۰ کیلوکالری در روز است، و با لحاظ میانگین ردپای آبی برابر با ۰/۷ لیتر به ازای هر کیلوکالریِ تأمین شده از فرآورده‌های گیاهی (فصل ۶ را ببینید)، کل ردپای آب غذای این فرد برابر با ۱۷۵۰ لیتر در روز خواهد بود که معادل ۶۴۰ مترمکعب در سال است. باید به این مقدار، ردپای آب شرب و صنعت را نیز اضافه کنیم که در کشورهای ثروتمند، مقدارش بین ۱۴۰ تا ۴۵۰ مترمکعب برای هر نفر در سال متغیر است. اگر با فرض انجام اقدامات اساسی برای کاهش ردپای آب شرب و صنعت، حداقل میزان آن را ۱۲۰ مترمکعب برای هر نفر در سال در نظر بگیریم، سرانه‌ی ردپای آب کل هر فرد در سال، ۷۶۰ مترمکعب خواهد بود که با مقدارِ مورد نیازی که تحت سناریویِ میانه‌ی سازمان ملل در سال ۲۱۰۰ محاسبه شده بود، برابر است.

اگر نخواهیم چالش‌های آبی در جهان، شدیدتر و نابرابرتر شود، به کاهش و همگرایی ردپای آب ملت‌ها نیازمندیم. اگر برای تمام مردمِ جهان، ردپای آب یکسانی در نظر بگیریم، چالش اساسی متوجه کشورهایی مثل چین خواهد بود که باید نسبت به سال ۲۰۰۰، سرانه‌ی ردپای آب فعلی خود در سال‌های آتی از قرن ۲۱ را حدود ۳۰ درصد کاهش دهند. در آمریکا، میانگین سرانه‌ی ردپای آب باید ۷۳ درصد کاهش یابد (شکل ۱۳–۲ را ببینید). بهبودِ تکنولوژی نمی‌تواند منتج به تحقق این هدف شود.



شکل ۱۳–۲. همگرا شدن فرضیِ ردپای آب مربوط به مصارف ملی در دو اقتصادِ برتر جهان (چین و آمریکا) به سمت سهمی برابر با حداکثر ردپای آب پایدار در جهان. (بر اساس سناریوی میانه‌ی سازمان ملل)، رشد جمعیت، باعث کاهش میانگین جهانی حداکثر سرانه‌ی ردپای آب پایدار خواهد شد. کارآیی مصرف آب باید بسیار فراتر از مقدار فعلی‌اش شده و الگوهای مصرف باید به گونه‌ای تغییر کند که محدودیت‌های زمین، امکانِ تأمین آن را بدهد. داده‌ها مربوط به سال ۲۰۰۰ بوده و از تحقیقات مکونن و هوکسترا (Hoekstra and Mekonnen, 2012) به‌دست آمد.

سه راه‌کار برای توزیع عادلانه‌ی آب

سه راه‌کار جامع برای توزیع عادلانه‌ی منابع آب شیرین در جهان وجود دارد: (۱) تخصیص آب به نیازهای اساسیِ بشر و ایجاد انگیزه در مصرف‌کنندگانی با ردپای آب بزرگ برای تعدیل آن (۲) تولید کالاهای مورد نیاز مصرف‌کنندگان با کارآیی مصرف آب بالاتر، در این صورت، می‌توان به ازای مقدار معینی آب، غذا و دیگر محصولاتِ آب‌بر بیش‌تری تولید و بین مصرف‌کنندگان، توزیع نمود (۳) و صادرات کالاهای آب‌بر از مناطق پرآب به مناطق کم‌آب برای همبستگی با مردمی که در شرایط تنش آبی زندگی می‌کنند (جدول ۱۳–۱). دو راه‌کار اول به صورت کامل در دو فصل گذشته بحث شد. اگرچه استفاده‌ی کارآمدترِ آب و تجارت هوشمندانه‌ی کالاها بین کشورهای کم‌آب و پرآب می‌تواند منتج به صرفه‌جویی آب مصرفی در جهان شود، باز هم در نهایت محدویت‌هایی برای بهبود وجود دارد. در فصل گذشته، در خصوصِ محدودیت‌هایی که برای ارتقای کارآیی مصرف آب در پروسه‌ی تولید وجود دارد و

گرفتار شدن در دامِ استفاده از آب صرفه‌جویی شده برای تولیدِ بیش‌تر و در نهایت، از بین بردنِ اثراتِ مثبتِ بهبود کارآیی مصرف آب، صحبت کردم. واردات کالاهای آب‌بر به کشورهای کم‌آب نیز می‌تواند اثر مشابهی داشته باشد: اگر مردم، بتوانند بهای مربوط به واردات چنین کالاهایی را پرداخت کنند، این راه‌کار انگیزه‌ای برای کاهش ردپای آب مصرف‌کنندگان ایجاد نخواهد کرد، مثلاً در عربستان صعودی، که کشوری به شدت کم‌آب است، حدود $^2/_3$ از ردپای آب (مربوط به کالاهای مصرفی مردم) خارج از این کشور واقع شده است؛ اما ساکنان این کشور هیچ تلاشی برای کاهش سرانه‌ی ردپای آب خود نمی‌کنند؛ به نحوی که مقدار این ردپا در کشور عربستان صعودی، ۱/۳۴ برابر بیش‌تر از میانگین جهانی است (Hoekstra and Mekonnen, 2012a). بنابراین، حتماً باید کارآیی مصرف آب را افزایش داده و تجارت هوشمندانه‌تری را پایه‌ریزی کنیم؛ اما همزمان باید الگوی مصرف خود را نیز به دقت بررسی و در صورت نیاز، تعدیل نماییم.

جدول ۱۳-۱. سه دیدگاه برای استفاده‌ی عادلانه‌ی آب

پاسخ معمول	سوال	دیدگاه
با توافق روی توزیع عادلانه‌ی ردپای آب بین جوامع، و ترویج تغییر الگوی مصرف با هدف کاهش ردپای آب مصرف به مقادیر عادلانه‌اش	چه‌طور می‌توانیم منابع آب شیرین محدود جهان را عادلانه توزیع کنیم؟	مصرف
ارتقای کارآیی مصرف آب و در اولویت قرار دادن تخصیص آب برای تأمین نیازهای اساسی برای همه	چه‌طور می‌توانیم سهمِ مصرف‌کنندگان در میزان کالاهای آب‌بر را افزایش دهیم؟	تولید
تجارت کالاهای آب‌بر برای همبستگی با مردمی که تحت تنش‌های آبی قرار دارند	چه‌طور می‌توانیم با وجودِ تفاوت‌های عظیمی که در موجودیت آب در کشورهای مختلف دنیا وجود دارد، این منابع را عادلانه بین همه تقسیم کنیم؟	جغرافیایی

تغییر به سمت الگوی مصرف کم‌آب‌بر تر

حدود ۹۲ درصد از ردپای آب بشر، مربوط به بخش کشاورزی بوده (Hoekstra and Mekonnen 2012a) و تولید غذا، عامل مهمی در پیدایش کمبود آب شیرین است (Mekonnen and Hoekstra, 2016). حدود ۳۰ درصد از ردپای آبِ مربوط به بخش کشاورزی، به تولیدات دامی اختصاص دارد (Mekonnen and Hoekstra, 2012a). بر اساس تخمین‌های اولیه، رژیم‌های غذاییِ گیاهی می‌توانند

ردپای آب در کشوهای صنعتی را ۳۶ درصد، و مقدار آن در کشورهای در حال توسعه را ۱۵ درصد کاهش دهد (Hoekstra, 2010a). در فصل ۶، نشان دادم که تبدیل شدن به یک گیاه‌خوار وگان، می‌تواند ردپای آب ما را حدودِ ۵۰ درصد کاهش دهد.

پژوهش‌های دقیق‌ترِ دیگر نیز به نتایج مشابهی رسیدند؛ مثلاً، ون‌هام و همکاران (Vanham *et al.*, 2013b) دریافتند که تحت رژیم غذایی گیاهی، ردپای آب در اروپای غربی و جنوبی، ۴۱ درصد و در اروپای شرقی و شمالی، به ترتیب ۲۷ و ۳۲ درصد کاهش خواهد یافت. جالاوا و همکاران (Jalava *et al.*, 2014) اثرات تغییر رژیم غذاییِ جهان از الگوی فعلی‌اش (در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۹–۲۰۰۷) به الگوی پیشنهادی (بر اساس توصیه‌های رژیمی سازمان بهداشت جهانی) و جایگزینیِ تولیدات دامی با تولیدات گیاهی با ارزش غذاییِ یکسان که در همان محلِ مصرف تولید می‌شوند، را بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که با رژیم غذایی وگان، ردپا ی آب سبز غذا در جهان ۲۳ درصد، و ردپای آب آبی ۱۶ درصد کاهش خواهد یافت. البته میزان این کاهش در کشورهای مختلف جهان بسیار متغیر بوده و به میـزان گوشـت و فرآورده‌هـای لبنـی مصرفـی در آن‌ها بستگـی دارد. در آسیـای جنوبی و جنوب شرقی، و در جنوب صحرای آفریقا، میزان صرفه‌جویی آب به واسطه‌ی تغییر رژیم غذایی بسیار کم خواهد بود، زیرا مردمِ در این نواحی، به طور متوسط پروتئین حیوانیِ کم‌تری در رژیم غذایی خود در مقایسه با مردمِ دیگر نقاط جهان مصرف می‌کنند.

باید در انتخاب گیاهی که به عنوان جایگزین برای محصولات حیوانی بر می‌گزینیم، بسیار دقت کنیم تا هم توصیه‌های رژیم غذایی را رعایت کرده باشیم و هم الگوی پیشنهادی، با ذائقه‌ی غذایی محلی سازگار باشد تا امکان تغییر رژیم غذایی وجود داشته باشد. اثرات ناشی از گیاخوار یا وگان شدن در کشورهای مختلف با هم فرق داشته و به رژیم غذایی غالب فعلی در هر کشور بستگی دارد. پرواضح است که در کشورهایی مثل آمریکا و استرالیا که در حال حاضر، سرانه‌ی مصرف گوشت در آن‌ها خیلی بالاست، کاهش ردپای آب با تغییر رژیم غذایی بسیار قابل توجه خواهد بود.

می‌توان به طور خاص بررسی نمود که در کجا و چه نوع کاهش ردپای آبی می‌تواند رخ دهد: بیش‌ترین منافع زیست‌محیطی در شرایطی رخ می‌دهد که ردپای آب آبی در مناطقِ تحت تنش آبی، و ردپای آب خاکستری، در مناطقی که بیش‌ترین آسیب‌پذیری را نسبت به آلودگی آب دارند، کاهش یابد. معمولاً این‌گونه تصور می‌شود که کاهش مصرف آب در مناطق پرآب اهمیت ندارد. این تصور غلط است. اهمیت اینکه دقیقاً در کجا آب صرفه‌جویی شود، کم‌تر از چیزی است که در ابتدا تصور می‌شده است، زیرا آنچه مهم است، آن است که باید مجموع آب و زمین مورد نیاز برای تولید غذا در کل جهان کاهش یابد. اینکه مطمئن باشیم که غذای مورد نیاز مردم جهان، در بهترین مکان (یعنی جایی که

تبعات زیست‌محیطی ناشی از مصرف آب و زمین برای تولید غذا، کم‌ترین مقدار خود را دارد) تولید شود، موضوع دیگری است. تا زمانی که کل نیاز آبی در جهان بسیار زیاد باشد، بهره‌برداری بی‌رویه در بسیاری از نقاط جهان وجود خواهد داشت. بنابراین، در گام نخست، باید کاهش کل نیاز آبی در جهان مدنظر قرار بگیرد و سپس نگرانِ این موضوع بود که آیا تقاضای آبی در مناطقی وجود دارد که آب کافی دارند یا خیر. افزایش تقاضا برای مصرف منابع آب شیرینِ محدود جهان، تنها یکی از تبعات مهم افزایش مصرف فرآورده‌های حیوانی بوده و ما را به اندیشیدن در خصوص سرانه‌ی مصرف این محصولات وادار می‌کند. استفاده از فرآورده‌های حیوانی، نه تنها از نظر آبی، بلکه از نظر زمین، انرژی، تغییراقلیم، حفاظت از تنوع زیستی و حقوق حیوانات نیز تبعات بسیاری به همراه دارد (Smil, 2013). جیفارت و همکاران (Gephart *et al*., 2016)، با لحاظ محدودیت‌های مواد مغذی، آن دسته از رژیم‌های غذایی که ردپاهای زمین، آب، کربن و نیتروژن را به حداقل مقدار خود می‌رسانند، شناسایی کردند. آن‌ها همچنین رژیم‌هایی که هریک از این چهار ردپا را به تنهایی به حداقل مقدار خود می‌رساند، معرفی کردند. نتایجِ آن‌ها، هم سو با یافته‌های ما بوده و به این مهم دلالت دارد که محصولات حیوانی، به ندرت در رژیم‌های غذایی با ردپای آب کم وجود دارند، زیرا از دیدگاه زیست‌محیطی، کارآیی مصرف آب در فرآیند تولید فرآورده‌های دامی ولو با در نظر گرفتن ارزش غذایی‌شان، کم‌تر است. اخیراً، بررسی‌های کمیسیون EAT–Lancet در خصوص انتخاب رژیم‌های غذاییِ سالم از میان سیستم‌های غذایی پایدار نیز دوباره این نتایج را تایید کرد (Willett *et al*., 2019). جالب است بدانیم که مطالعات نشان می‌دهد که اهدافِ کاهش ردپای آب زیست‌محیطی، کاملاً با اهداف سلامت بشر سازگار هستند.

یکی دیگر از راه‌کارهای کاهش ردپای آب در الگوی مصرف ما، کاهش تلفات، و به‌ویژه تلفات غذایی و پنبه (که در تولید لباس‌های ما استفاده می‌شود) می‌باشد. وقتی غذایی تولید نشود، آب هم برای تولیدش مصرف و آلوده نخواهد شد و اگر پنبه بازیافت شود، نیاز به تولید الیاف پنبه‌ای کاهش خواهد یافت. اخیراً، مسأله‌ی میزان کاهش آب مصرفی در ازای کاهش تلفات غذایی توسط برخی محققین بررسی شده است. لوندکوئیست و همکاران (Lundqvist *et al*., 2008) در زمره‌ی اولین کسانی بودند که بیان داشتند تلفات غذا، به مثابه‌ی تلفات آب است. تلفات غذا در تمامی مراحل تولیدش وجود دارد: بلافاصله بعد از برداشت، در مراحل ذخیره‌سازی و توزیع، فرآوری، فروش و حین مصارف خانگی. بر اساس یافته‌های گوستاوسون و همکاران (Gustavsson *et al*., 2011)، حدود یک‌سوم از بخش خوراکیِ غذایی که برای مصارف بشری تولید می‌شود (یعنی ۱/۳ میلیارد تن در سال) در جهان تلف می‌شود. حدود ۲۴ درصد از آبی که برای تولید گیاهان غذایی در جهان مصرف می‌شود، به واسطه‌ی تلفات غذا، تلف می‌شود که این مقدار، معادل ۱۷۴ میلیارد مترمکعب در سال است (Kummu *et al*.,

2012). سازمان خواروبار جهانی فائو بیان داشت که ردپای آب آبیِ مورد نیاز برای تولید غذای تلف شده در جهان، حتی بیش از ۲۵۰ میلیارد مترمکعب در سال است که این مقدار، ۳/۶ برابر بیش‌تر از مجموع ردپای آب آبیِ مربوط به کل مصارف آمریکاست (FAO, 2013). لیو و همکاران (Liu *et al.*, 2013) میزان آب مصرفی در چین در سال ۲۰۱۰ برای تولید غذایی که در نهایت، تلف می‌شود را ۱۳۵ میلیارد مترمکعب در سال تخمین زدند.

انتخاب شکل‌های مختلفِ سوخت‌های زیستی برای تأمین انرژیِ مورد نیاز بشر، به دلایل متعددی انتخاب‌های بسیار بدی محسوب می‌شوند. این سوخت‌ها، خیلی کارآمد نیستند (به این دلیل که در فرآیند تولید آن‌ها، انرژی زیادی مصرف می‌شود)؛ آن‌ها میزان فشار بر اراضی حاصل‌خیز را افزایش می‌دهند (و بنابراین، مستقیم یا غیرمستقیم در جنگل‌زدایی موثرند)؛ به دلیل محدودیتِ آب و زمین، تولید این سوخت‌ها با تولید غذا رقابت می‌کند (چون زمین و آبی که به تولید این سوخت‌ها اختصاص داده می‌شود، نمی‌تواند برای تولید غذا استفاده شود) و در نهایت، تاثیر آن‌ها بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، در هاله‌ای از ابهام است (زیرا، سوزاندنِ این سوخت‌ها بلافاصله دی‌اکسیدکربن را به اتمسفر وارد می‌کند، در حالی‌که جذب این گاز توسط بیوماس جدیدی که در حال رشد است، سال‌ها به طور می‌انجامد). تولید بیوماس با هدف تولید انرژی، با مصرف مقدار زیادی آب همراه است. تخمین‌های ما نشان می‌دهد که در آخرین سناریوی توسعه‌ی پایدارِ آژانس بین‌المللی انرژی، که سهم سوخت‌های زیستی در ترکیب انرژی مصرفی در سال ۲۰۴۰ را ۹/۸ درصد در نظر می‌گیرد (IEA, 2017)، تولید سوخت‌های نیازمندِ ۱۱–۱۴ درصد از اراضی زراعی جهان و ۲۵–۱۷ درصد از ردپای آب فعلی بشر خواهد بود (Holmatov *et al.*, 2019). این تخمین‌ها، برای خوش‌بینانه‌ترین فرضیاتی که در خصوص کارآیی وجود دارد، و در شرایط استفاده از کارآمدترین مواد اولیه‌ی به‌دست آمده از نیشکر و چغندر قند به‌دست آمده است. البته بهتر از آن، سوخت‌های زیستی به‌دست آمده از بقایای گیاهی[1] خواهد بود، اما با توجه به این واقعیت که بقایای آلیِ در دسترس فراوان نیستند، بنابراین چنین rest flows بقایای گیاهی‌ای نیز بسیار محدود خواهند بود، بقایای گیاهی اغلب برای اهداف دیگری مثل خوراک دام یا کوددهی خاک استفاده می‌شوند. تمرکز بر انرژی‌های زیستی در سناریوهای موجود برای ترکیب انرژی مصرفی، به شدت به میزان تمایل به استفاده از سوخت‌های مایع بستگی دارد. با این حال اگر وسائط نقلیه برقی شوند، منابع جذاب‌ترِ انرژی مانند انرژی‌های خورشیدی و بادی که ردپاهای کم‌تری به ازای هر واحد انرژی تولیدی دارند، بیش‌تر مورد توجه قرار خواهند گرفت (فصل ۸ را ببینید).

1 Organic ‘rest flows’

به طور خلاصه، سیاست‌های عاقلانه‌ی آب برای آینده، حتماً باید شامل مسایل مرتبط با مصرف گوشت، تلفات غذایی و انرژی نیز باشد. تدوین سیاست‌های کشاورزی، انرژی و الگوی مصرف متناسب با محدودیت‌های آب و زمین، نقشی کلیدی در جلوگیری از افزایش مصارف آبی ما خواهد داشت.

ایده‌ی توزیع عادلانه‌ی ردپای آب

ما می‌توانیم در خصوص تغییر الگوی مصرف خود صحبت کنیم، اما دیر یا زود، این سوال مطرح می‌شود که چه کسی باید آن را تغییر دهد؟ همه‌ی ما به صورت یکسان تغییر دهیم یا فقط برخی از ما؟ ایده‌ی توزیع عادلانه‌ی ردپای آب آن است که حین پاسخ به سوالات مذکور، باید "عدالت" به عنوان یک اصل در نظر گرفته شود. این اصل باعث می‌شود که پرسش اصلی ما، روی این موضوع متمرکز شود که چه چیزی عادلانه است؟ آیا با علم به این موضوع که به‌رغمِ وجودِ تنش‌های آبی شدیدتر در کشورهای جنوبِ اروپا، میانگین سرانه‌ی ردپای آب مصرف‌کنندگانشان بسیار بزرگ‌تر از مردمانِ اروپای شمالی است، این عادلانه است که تلاش‌های یکسانی برای کاهش ردپای آب در اروپای شمالی و جنوبی صورت بگیرد؟ آیا عادلانه است که مردمانِ هند و چین، که ردپای آب آن‌ها بسیار کمتر از آمریکایی‌هاست، ردپای آب خود را به اندازه‌ی ساکنان آمریکا کاهش دهند؟ آیا عادلانه است که آمریکا، کشوری که از یک‌سو، مصرف‌کنندگانش ردپای آب فوق‌العاده بزرگی دارند و از سویی دیگر، یک صادرکننده‌ی خالص کالاهای آب‌بر است، ردپای آب خود را بیش‌تر از مصرف‌کنندگان اروپایی، که سرانه ردپاهای آب کم‌تری دارند اما به شدت به واردات کالاهای آب‌بر از خارج از اروپا وابسته هستند، کاهش دهد؟ معقول‌ترین راه برای اجرایی ساختنِ ایده‌ی توزیع عادلانه‌ی ردپای آب، تعیین حداقل آب مورد نیاز برای تأمین نیازهای اساسی و حقوق بشر است. به این ترتیب، از دیدگاه پایین به بالا برای حل مسأله استفاده کرده‌ایم. مهم‌ترین دلیل برای ترغیب برخی جوامع برای کاهش مصرف آب، احترام به حقوق دیگران برای داشتن یک زندگیِ استاندارد و مناسب است. سازمان ملل متحد به طور رسمی حق آب (حقابه) برای انسان‌ها ایجاد کرده است، اما این حق، تنها محدود به دسترسی به آب برای تأمین نیازهای شخصی و خانگی وی می‌باشد (UNCESCR, 2002). مهم است که برای وی، حقابه‌ای برای تولید غذا نیز به رسمیت شناخته شود (Hoekstra and Chapagain, 2008). تدوین این حقابه خیلی دور از ذهن نیست، زیرا سازمان ملل به صراحت حق دسترسی به غذا برای بشر را به رسمیت شناخته است. اعلامیه‌ی جهانی حقوق بشر، حق دسترسی به غذا را بخشی از حقوق بشر جهت داشتن یک زندگی استاندارد می‌داند (UN, 1948). در گذر زمان، روی حق دسترسی به غذا در اعلامیه‌های بعدی، مجدداً تاکید شده و اهمیت آن بیش‌تر شده است. از آنجایی‌که تولید غذا، بی‌شک نیازمند مصرف آب

است، در حق دسترسی به غذا، به طور غیر مستقیم، به نوعی حقابه‌ای نیز برای بشر در نظر گرفته می‌شود. رویکرد لحاظ حقابه برای بشر برای تأمین غذای مورد نیاز وی، توسط هیات عالی کارشناسانِ امنیت غذایی و تغذیه در کمیته‌ی امنیت غذایی جهان[1] تایید شده است (HLPE, 2015). آنها پیشنهاد کردند که از مفهوم "آب برای امنیت غذایی و تغذیه" جهت تعیینِ سهم مستقیم و غیرمستقیم آب در امنیت غذایی و تغذیه، استفاده شود که این آب شامل مقدار آبی است که برای تولید، انتقال و تبدیل و فرآوری غذا استفاده می‌شود.

حق بشر در آب (حقابه بشر)

وقتی درباره‌ی حقابه بشر برای غذا صحبت می‌کنیم، دقیقاً درباره‌ی چه مقدار آب صحبت می‌کنیم؟ اگر متوسط کالری مورد نیاز برای بشر را بنا بر پیشنهاد کمیسیون EAT–Lancet، ۲۵۰۰ کیلوکالری در روز در نظر بگیریم (Willett *et al.*, 2019)، و این میزان را در متوسط ردپای آب معادل ۰/۷ لیتر بر کیلوگرم در یک رژیم غذایی متعادلِ گیاهی که بر اساس تخمین‌های ما در یک مطالعه‌ی جهانی به‌دست آمده است، ضرب کنیم (Mekonnen and Hoekstra, 2011a)، حداقل ردپای آب برای تأمین این مقدار کالری، ۱۷۵۰ لیتر بر روز به دست می‌آید که معادل ۶۴۰ مترمکعب در سال است. به این مقدار، ۵۰ لیتر بر روز برای نیاز شرب و بهداشت اضافه می‌کنیم که شامل ۵ لیتر آب برای نوشیدن، ۱۰ لیتر برای پخت‌وپز، ۲۰ لیتر برای مصارف بهداشتی، و ۱۵ لیتر برای استحمام است (Gleick, 1999). این ۵۰ لیتر در روز، معادل ۱۸ مترمکعب در سال است. به این ترتیب، حداقل ردپای آب بشر برای تأمین نیاز غذایی‌اش، حدوداً ۶۶۰ مترمکعب در سال خواهد بود. این ۶۶۰ مترمکعب در سال، حداقل سهم بشر در منابع آبی محدود جهان خواهد بود که با سهم عادلانه‌ی وی فرق دارد. برای دانستنِ مقدار سهمِ عادلانه، باید به صورت عمومی و دموکراتیک روی این موضوع بحث و نتیجه‌گیری شود. در سطح بین‌المللی، وقتی نهادهای دموکراتیک جهانی وجود نداشته باشند، باید این موضوع بین کشورها به مذاکره گذاشته شود. فقدان مباحث جهانی و نبود مذاکراتِ بین کشورها حاکی از آن است که در حال حاضر، این سهم را میزان قدرت اقتصادی و نظامی هر کشور تعیین می‌کند.

توافق بین‌المللی روی مقادیر کاهش ردپای آب کشورها

برای رسیدن به توافقی بین‌المللی روی تثبیت یا کاهش ردپای آب در هر کشور، دو مرحله باید طی شود. اول، دولت‌ها باید روی الزامِ توقف روند رو به رشد کل ردپای آب بشر با هم به یک اجماع و

1 High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition of the Committee on World Food Security

توافقی برسند. در بهترین حالت، دولت‌ها به این توافق خواهند رسید که کل ردپای آب جهان را به مقدار معادل آن در سال ۲۰۰۰ برگردانند. این به این معنا نیست که ردپای آب در شرایط فعلی پایدار است، اما دلیلِ این ناپایداری تا حدی به توزیع مکانیِ نامناسب و الگوی مصرف ناکارآمد آب برمی‌گردد. پتانسیل‌هایی برای بازتوزیعِ کل ردپای آب وجود دارد که می‌تواند تا حدی بار تحمیلی به منابع آب در مناطقی که بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع صورت گرفته است، را از این منابع برداشته و به مناطقی منتقل کند که (به دلیلِ موجودیتِ آب بالاترش)، می‌تواند این بار اضافی را تحمل کند. ممکن است دولت ها با ثابت نگاه داشتنِ کل ردپای آب بشر در جهان به اندازه‌ی مقدار آن در سال ۲۰۰۰ به توافق نرسند و روی سطح بالاتری برای حداکثر ردپای آب کل به اجماع برسند. به این ترتیب، تا حدی افزایش در میزان ردپای آب را خواهند پذیرفت، اما حداقل می‌توان به تثبیت مقدار کل ردپای آب در آن سطح و توقف روند رشد افزایشی‌اش امیدوار بود. بدترین حالت زمانی است که هیچ توافقی روی لزومِ تثبیت کل ردپای آب در سطحی معین حاصل نشود. اگر توافقی در این مرحله به‌دست آمد، آن‌گاه گام بعدی که باید در سیاست‌های بین‌المللی برداشته شود، رسیدن به توافق روی میزان کاهش ردپای آب یا حداکثر افزایش مجاز در میزان ردپای آب هر کشور خواهد بود.

محدودیت منابع آب شیرین در جهان، دلالت بر وجود حدی برای کل ردپای آب بشر در جهان دارد، اما سوالی که اینجا مطرح می‌شود آن است که چه‌طور این حد جهانی را به حدود ملی و یا حتی به حدودی برای هر مصرف‌کننده تبدیل نمود؟ به بیانی دیگر، سهم هر کشور یا حتی هر مصرف‌کننده از کل منابع آب جهان چه‌قدر است؟ و با چه مکانیزمی می‌توان مطمئن شد که افراد، سهمی بیش‌تر از حد مجاز خود مصرف نمی‌کنند؟ حداکثر سطوح مصرف و آلودگی آب برای تضمین بهره‌برداری پایدار از منابع آب شرین در جهان می‌تواند در قالب یک توافق بین‌المللی روی "مقدار مجاز ردپای آب" برای هر کشور نهاینه شود. این مقدار مجاز ردپای آب، کل ردپای آبی است که مصرف‌کنندگان یک کشور، می‌توانند بر اساسِ توافقات بین‌المللی داشته باشند. در حقیقت این مقدار مجاز، سهمی که مصرف‌کنندگان می‌توانند در کل ردپای آب بشر داشته باشند را نشان می‌دهد. مقادیر مجاز ردپای آب برای هر کشور، باید بر اساسِ مذاکره‌ی بین کشورها تعیین شود و بنابراین این عدد، مقداری بین سطح فعلیِ ردپای آب در هر کشور و مقدار عادلانه‌ی آن متناسب با جمعیت کشورها خواهد بود. همان‌گونه که پیش‌تر بحث شد، در نتیجه‌ی این مذاکره، حداقل سرانه‌ی ردپای آب در هر کشور (بر اساس حقوق بشر)، ۶۶۰ مترمکعب در سال تعیین خواهد شد.

جوامع جهانی می‌توانند به جای توافق روی مقدار مطلقی برای حد مجاز ردپای آب برای هر کشور، روی مقدار کاهشی که هر کشور باید در میزان ردپای آب خود در مقایسه با سال پایه ایجاد نمایند،

توافق حاصل کنند. اگر جامعه‌ی بین‌المللی موفق به رسیدن به چنین توافقی شود، کشورها موظف خواهند بود که این حد کاهشِ مورد نیاز را به گونه‌ای در سیاست‌های ملی خود بگنجانند که این هدف در نهایت محقق شود. می‌توان برای اطمینان از تحقق این اهداف، برای شرایطی که این کاهش‌ها رخ نمی‌دهند، جرایمی تعیین نمود. مقادیر مورد نیاز برای کاهش در میزان ردپای آب را می‌توان برای هر مولفه‌ی آن (سبز، آبی و خاکستری) یا برای هر بخش یا هر گروه محصول تعیین نمود. راه‌های بسیاری برای عینیت بخشیدن به توافقات بین‌المللی وجود دارد. قطعاً مقدار مجاز ردپای آب یا میزان کاهش آن با زمان تغییر می‌کند و دولت‌ها باید به طور منظم، مثلاً هر ده سال یک‌بار، روی تعیین مقادیر جدید آن‌ها با هم مذاکره کنند.

یاد گرفتن از کیوتو و پاریس؟

از نظر ویژگی‌های معمول؛ مذاکره روی کاهش ردپای آب احتمالاً شبیه مذاکراتی خواهد بود که در حال حاضر روی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای جهت مقابله با تغییراقلیم صورت می‌گیرد. تا حدی شباهت‌هایی بین لزومِ کاهش انتشار کربن و ردپای آب در جهان وجود دارد. اولاً، تمام کشورها در رشد کمبود آب در نقاط مختلف جهان مقصر هستند، هرچند سهم آن‌ها در این چالش، تا حدی با هم فرق دارد. همین موضوع در خصوص سهم کشورها در انتشار گازهای گلخانه‌ای به اتمسفر نیز مصداق دارد. دوم اینکه، همه‌ی کشورها، چه به صورت مستقیم در کشور خودشان و چه به صورت غیرمستقیم از طریق وابستگی به واردات غذا از کشورهای کم‌آب، از تبعات ناشی از رشد تنش‌های آبی در جهان متأثر خواهند شد. با این حال، برخی کشورها آسیب شدیدتری خواهند دید. همین موضوع برای تبعات تغییر اقلیم در کشورهای مختلف نیز وجود دارد. سوم اینکه، هزینه‌ی کاهش ردپای آب در کشورهای مختلف با هم فرق دارد و چهارم، قدرتِ تاثیرگذاری بر دیگران در کشورهای مختلف نیز با هم متفاوت است. این موارد هم در خصوص کاهش ردپای کربن نیز مصداق دارد.

بنابراین، می‌توانیم از توافق‌های پاریس و کیوتو، برای چگونگیِ رسیدن به توافق‌های بین‌المللی روی مقدار کاهش ردپای آب الهام بگیریم (UN, 1998, 2015b). پروتکل کیوتو که پیش‌نویس اولیه آن در سال ۱۹۹۷ تهیه، و در سال ۲۰۰۵، لازم‌الاجرا شد، بر اساس این بینش بود که برای ممانعت از وقوعِ تغییراقلیمِ انسان‌نهاد، باید مقدار حداکثری برای انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌واسطه‌ی فعالیت‌های بشری در جهان تعیین شود. این پروتکل، یک توافق بین‌المللی روی کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای بود که در آن، میزان کاهش برای هر کشور تعیین شد. هدف کلی این پیمان آن بود که تا سال ۲۰۱۲، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای نسبت به سال پایه‌ی ۱۹۹۰، ۵/۲ درصد کاهش- پیدا کند. عهدنامه‌ی

پاریس، جایگزین پیمان کیوتو شد. در این عهدنامه، دولت‌ها روی این موضوع توافق کردند که میزان افزایش دمای میانگینِ جهانی نسبت به مقداری که قبل از صنعتی شدن جهان داشته است، کم‌تر از ۲ درجه‌ی سانتی‌گراد باشد؛ و برای کاهش آن به ۱/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد هم تلاش کنند، زیرا اگر این‌گونه شود، خطرات و اثراتِ ناگوار تغییراقلیم در حد قابل توجهی کم‌تر خواهد شد. در این عهدنامه، مقادیر هدفی برای کشورهای مختلف تعیین نشد.

تجربیات به‌دست آمده از مذاکرات قبلی و جاری تغییراقلیم، هم دلگرم‌کننده است و هم دلسردکننده. وجه مثبتش آن است که جامعه‌ی جهانی نشان داده که می‌توانند روی اهداف مشترک با هم همکاری کنند؛ اما نکته‌ی ناامیدکننده آن است که اهدافِ این عهدنامه‌ها به اندازه‌ی کافی در عمل محقق نشدند؛ به گونه‌ای که تاکنون، میزان ردپای کربن هم‌چنان روندی افزایشی را طی نموده می‌کند (Olivier and Peters, 2018). خوب است که در مذاکرات جهانیِ خود در خصوص بررسیِ مسأله‌ی ردپای آب، درس‌هایی که از تجربه‌ی مذاکرات تغییراقلیم به‌دست آمده است، در نظر گرفته شود (Ercin and Hoekstra, 2012).

در مذاکرات ردپای آب، استفاده از همان قالبی که در پیمان کیوتو برای انتشارات گازهای گلخانه‌ای در نظر گرفته شد، فکر خوبی نیست، زیرا در آن پیمان، امکانِ جبرانِ مافاتِ ناشی از انتشار گازهای گلخانه‌ای (جبران کربن)[1]، راه فراری پیش روی منتشرکنندگانش برای نبود کاهش ردپای کربنشان قرار داده و باعث می‌شود همان رویه‌ی غلط خود را دنبال کنند. باید اذعان داشت که ایده‌ی جبران مافات، بر خلاف تصوری که در زمان تدوینش وجود داشت، اصلاً ایده‌ی خوبی نبود. قطعاً ما نباید مسیرِ مشکوک و ناپایدارِ "جبرانِ آب"[2] را انتخاب کنیم، به جای آن، بهتر مشخص کنیم کجا باید مصرف و آلودگی آب کاهش یابد. چه کسانی باید این کار را انجام دهند و به این منظور، چه اقداماتی باید انجام شود. دستاوردِ پیمان کیوتو، پایه‌گذاری ایده‌ی تعیین میزان کاهش ردپا برای هر کشور بود، اما نگاهی به گذشته نشان می‌دهد که مکانیزم‌هایی که برای کاهشِ ردپای کربن و نیل به این هدف به کار گرفته شد، کامل و مناسب نبودند. در عوض، در عهدنامه‌ی پاریس، به جای این‌که برای هر کشور، میزان کاهش ردپای کربن تعیین شود، روی میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در کل جهان توافق شده است و راه برای چگونگیِ مشارکت کشورهای مختلف جهان در این عهدنامه و راه‌کار و مکانیزمی که این کشورها برای کاهش ردپای کربن خود پیش می‌گیرند، باز گذاشته شده است. قابل ذکر است که

1 Carbon Offsetting

۲ . جبران آب یا Water Offsetting، یعنی آب را مصرف کنیم و بعد، برای جبرانِ اثرات ناشی از آن، کاری انجام دهیم. مثلاً در جبران مافاتِ انتشار گازهای گلخانه‌ای (جبران کربن: Carbon Offsetting)، در ازای فعالیت‌های مخرب، در مکانی جنگل احداث می‌کنند که اثر نامناسبی که بر میزان گازهای گلخانه‌ای جهان می‌گذارند را جبران کنند چون درختان جنگل، دی اکسید کربن را جذب می‌کنند.

در مذاکرات بین‌المللی مقابله با تغییراقلیم، همواره بر کاهش ردپای کربن در فرآیند تولید تمرکز شده است، نه در فرآیند مصرف. این موضوع در سطح جهانی همین‌گونه است، اما در سطح ملی، به‌ویژه برای کشورهایی که بیش‌تر بر واردات متکی هستند تا بر تولید داخلیِ کالاهای مورد نیاز، داستان متفاوت است. در حقیقت، ممکن است برخی کشورها، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای خود (در فرآیندهای تولید داخلی کالاهای موردنیازشان) را کاهش دهند، اما در عوض، (به دلیل واردات کالاهای دیگر)، به واسطه‌ی مصرف کالاهای وارداتی، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در جهان را افزایش دهند. این موضوع زمانی اتفاق می‌افتد که ردپای کربنِ کالاهایی که توسط یک کشور مصرف می‌شود، در کشورهای دیگری که این کالاهای وارداتی را تولید می‌کنند واقع شده باشد. بنابراین، ایده‌ی کاهش ردپاهای تولیدات کشوری، در درجه‌ی اول باعث بهبودِ کارآیی زیست‌محیطی شده و در درجه‌ی دوم، مصرف را تغییر می‌دهد، اما، ایده‌ی کاهش ردپاهای مصارف کشوری، ابتدا باعث کاهش مصرف و سپس بهبودِ کارآیی زیست‌محیطی خواهد شد.

صرف‌نظر از وجوه مشترکِ موجود، تفاوت‌های بسیاری بین آب و کربن وجود دارد. بارزترین تفاوت آن‌ها این است که پدیده‌ی تغییراقلیم، یک چالش جهانی است؛ لکن کم‌آبی، چالشی منطقه‌ای–جهانی می‌باشد. اگر کشوری بخواهد مانعِ بروز مشکلاتی بشود که تغییراقلیم به همراه خواهد داشت، باید با مشارکت دیگران تلاش کند تا میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای را کاهش دهد. به طور مشابه، کشورها برای ممانعت از چالش‌هایی که به‌واسطه‌ی برداشت‌های بی‌رویه منابع در جهان رخ می‌دهد، نیز باید با هم همکاری نموده و با هم این معضل را حل کنند. در غیر این صورت، با سیل عظیمی از مهاجرت‌های اقلیمی و دردسرهایش مواجه خواهند شد، اما تفاوتی که در خصوص آب وجود دارد آن است که کشورهای پرآب، معمولاً این‌گونه گمان می‌کنند که چالشِ کم‌آبی مربوط به کشورهای دیگر بوده و ارتباطی با آن‌ها ندارد؛ پس چرا باید رفع این چالش برایشان مهم باشد و برای حل آن اقدام نمایند؟ کشورهای پرآب، می‌توانند به سادگی با بستن مرزهای خود به روی دیگران، از آب و غذای کافی برخوردار باشند. به این‌ترتیب، مردمی که در کشورهای کم‌آبِ جهان زندگی می‌کنند، ممکن است از گرسنگی بمیرند، اما این مسأله به دلیل سومدیریت خودشان است و به کشورهای پرآب ارتباطی ندارد. در خصوص تغییراقلیم، شاید کشورها بتوانند با بستنِ مرزها، به سادگی از ورود مهاجران جلوگیری کنند، اما نمی‌توانند مانع بروز تبعات مستقیم تغییراقلیم در کشور خودشان شوند، بنابراین ماهیتِ بحث‌برانگیز مسأله‌ی کمبود آب در دنیا، باعث می‌شود تا جمع نمودن تمام کشورهای جهان بر سر میز مذاکره و صحبت در خصوص یافتن راه‌کاری برای رهایی از این چالش، دشوارتر باشد. از سوی دیگر، یکی دیگر از تفاوت‌های بارز آن است که تبعاتِ منفیِ کمبود آب، زودتر از تبعاتِ منفی تغیراقلیم بروز

می‌کند. در حال حاضر، تعداد افرادی که در طول دهه‌ها با چالش کم‌آبی مواجه بوده‌اند بسیار بیش‌تر از تعداد افرادی است که برای مدتی طولانی با چالش تغییراقلیم گریبان‌گیر بوده‌اند. اگرچه تغییراقلیم، سناریویی است که هنوز در همه‌جا اتفاق نیوفتاده است، اما کم‌آبی و اثرات اقتصادی–اجتماعیِ منفی‌اش، در جهانِ امروز غالب شده است. این مسأله، لزوم ورودِ به مذاکرات بین‌المللی را مشهود می‌سازد.

برابری چیست؟

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های هر مذاکره‌ای در خصوص ردپای آب، پاسخ به این سوال خواهد بود که چه چیزی عادلانه یا منصفانه است؟ برخی کشورها (احتمالاً آن‌هایی که در حال حاضر، ردپای آب اندکی دارند)، ممکن است خواهان برابری ردپای آب باشند، در حالی‌که کشورهای دیگری که ردپای آب بزرگی دارند، ممکن است کاهشِ ردپای آب با درصدی برابر در تمام کشورها را غیرمنطقی بخوانند. در شکل ۱۳–۲، سناریویی به تصویر کشیده شده است که تحت آن، دو اقتصادی بزرگ جهان (چین و آمریکا)، باید به سرانه ردپای آب برابر برسند. اینجا تمرکز ما روی ردپای آب مصارف ملی است. در این‌صورت، درصد کاهشِ ردپای آب فرق خواهد داشت. همچنین، اگر تمام کشورها، به میزان یکسان، ردپای آب خود را ۴۵ درصد کاهش دهند، می‌توان میانگین سرانه‌ی ردپای آب در جهان را از ۱۳۸۵ مترمکعب در سال به ازای هر نفر (در سال ۲۰۰۰)، به ۷۶۰ مترمکعب در سال به ازای هر نفر (در سال ۲۱۰۰) رساند؛ در این حالت، اگر رشد جمعیت متوسط در نظر گرفته شود، مقدار کل ردپای آب (مترمکعب در سال) در جهان ثابت باقی خواهد ماند. این بدان معناست که چین باید سرانه‌ی ردپای آب خود را به ۶۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال، و آمریکا آن را به حدود ۱۵۶۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال برساند. قطعاً چین و هند این شیوه‌ی کاهش را منطقی نخواهند دانست.

یکی از انتقاداتی که ممکن است در مذاکرات بین‌المللی آب از سوی کشورهای پرآبی که آب کافی برای تأمین غذا و دیگر نیازهای خود دارند مطرح شود آن است که کاهش ردپای آب، در درجه‌ی اول، به عهده‌ی کشورهای کم‌آب است؛ مثلاً کشوری مانند برزیل، ممکن است اصلاً وارد مذاکره نشود زیرا در حال حاضر، سرانه‌ی ردپای آب آن‌ها، حدود ۵۰ درصد بیش‌تر از میانگین جهانی بوده و آب و زمین فراوانی دارند. همین مسأله برای کانادا نیز که سرانه‌ی ردپای آب ساکنانش، ۷۰ درصد فراتر از میانگین جهانی بوده و منابع طبیعی مکفی دارند، مطرح است. البته به دلیلِ کوتاه بودن طول دوره‌ی رشد در شمال کانادا، تنها برخی از این منابع قابل بهره‌برداری هستند. به این ترتیب، سهمِ بالایی که کشورهای پرآب در منابع طبیعی دارند، ممکن است باعث شود تا آن‌ها، از صرفه‌جویی در مصرف آب سر باز زده و آن را وظیفه‌ی دیگر کشورها بدانند. پیش‌تر توضیح داده شد که وجود چنین دیدگاهی، حل مسأله را

دشوارتر خواهد کرد زیرا، استفاده‌ی کارآمدِ منابع آبی و کاهش ردپای آب مصرف‌کنندگان در کشورهای پرآب، نقش برجسته‌ای در حل معظل کم‌آبی در جهان دارد، اما این داستانی است که کشورهای پرآب آن را به راحتی قبول نخواهند کرد. این مسأله، درست مانند قانع کردن کشورهای بزرگ نفتی، برای مصرف کم‌ترِ نفت است.

ممکن است در آینده، در خصوص چگونگیِ این مذاکرات بین‌المللی بیش‌تر بیاموزیم. دو عامل مهمی که موضع کشورها در مذاکرات بین‌المللی را تعیین می‌کند، علاقه‌مندی و قدرت است. می‌توان کشورها را از این حیث در یک شبکه‌ی علاقه‌مندی قدرت ترسیم کرد، به نحوی که یک محور، میزان علاقه‌مندی کشورها برای ورود به مذاکرات بین‌المللی و در محور دیگر، میزان قدرت آن‌ها مشخص شده باشد. از نظر میزان علاقه‌مندی برای ورود به مذاکرات بین‌المللی زیست‌محیطی، نتایج پژوهش میشل (Mitchell, 2010) نشان داد که کشورهایی که میزان آسیب‌پذیری‌شان نسبت به پدیده‌ی مورد بررسی زیاد بوده و هزینه‌های مربوط به کاهش ردپای‌شان اندک باشد، پیشگامان و راهبرانِ این قبیل مذاکرات بین‌المللی خواهند بود. در مقابل، کشورهایی که سطح آسیب‌پذیری‌شان اندک بوده و کاهش ردپا برایشان هزینه‌ی بسیاری دارد، در برابر مذاکرات بین‌المللی مقاومت خواهند نمود و با عنوان کُشندگانِ مذاکرات[1] در این طرح نام‌گذاری می‌شوند. کشورهایی که هم میزان آسیب‌پذیری‌شان و هم هزینه‌های کاهش ردپا برایشان بالاست، با عنوان واسطه‌ها یا حامیان نامیده می‌شوند، زیرا آن‌ها از یک‌سو، از برگزاری مذاکرات بین‌المللی حمایت می‌کنند و از سویی دیگر، حین مذاکرات تلاش می‌کنند تا نتایج به گونه‌ای باشد که هزینه‌ی کم‌تری به واسطه‌ی کاهش ردپایشان متقبل شوند. در پایان، کشورهایی که سطح آسیب‌پذیری و هزینه‌های کاهش ردپایشان اندک است، تماشاگران نامیده می‌شوند؛ آن‌ها در خصوص برگزاری مذاکرات و رسیدن به توافقات بین‌المللی، بی‌طرف هستند.

همان‌گونه که پیش‌تر مطرح شد، برزیل و کانادا، تمایل زیادی برای ورود به مذاکرات بین‌المللی در خصوص کاهش ردپای آب ندارند، زیرا آن‌ها، احتمالاً به‌واسطه‌ی ورود به چنین مذاکراتی مجبور خواهند شد که میزان ردپای آب خود را تا حد زیادی کاهش دهند، در حالی که منفعت چندانی از این کاهش عایدشان نخواهد شد. در طرح میشل، این گروه احتمالاًدر زمره‌ی کُشندگان مذاکرات طبقه‌بندی خواهند شد. از سوی دیگر، کشوهایی مثل چین، هند، آفریقای جنوبی، و کشورهای مختلفی در آفریقای شرقی را می‌توان در گروه پیشگامانِ مذاکرات بین‌المللیِ ردپای آب قرار داد، زیرا زیرا آن‌ها با چالش‌های شدید کم‌آبی مواجه بوده و در حال حاضر، ردپای آب نسبتاً کمی (حداقل در مقایسه با میانگین جهانی) دارند. کشورهای کم‌آبی همچون استرالیا، اسپانیا، ایتالیا، یونان، مکزیک و کشورهای خاورمیانه را می‌توان در

1 Draggers

گروه حامیانِ مذاکرات بین‌المللی قرار داد؛ زیرا از یک‌سو، با چالش‌های بزرگی به دلیل کم‌آبی مواجه بوده و از سوی دیگر، سرانه‌ی ردپای آب در الگویِ مصرف ساکنانشان بسیار بالاست. کشورهای اروپای شمالی، روسیه، آفریقای مرکزی، و اندونزی نیز در زمره‌ی تماشاگران خواهند بود، زیرا اولاً، هیچ‌یک از این کشورها با چالش کم‌آبی مواجه نیستند (شاید این چالش به صورت موضعی در برخی نقاط کشورشان وجود داشته باشد، اما چالش غالب نیست)، و دوم اینکه سرانه‌ی ردپای آب این کشورها، به بزرگی آمریکا، استرالیا و اروپای جنوبی نیست. البته ذکر این نکته در این بخش ضروری است که اگرچه کشورهای واقع در اروپای شمالی، مستقیماً با چالش کم‌آبی مواجه نیستند، اما به دلیلِ وابستگیِ شدید آن‌ها به واردات غذا از کشورهای کم‌آب که در نقاطِ دیگر جهان قرار دارد، آن‌ها در برابر بی‌آبی آسیب‌پذیر خواهند بود. بنابراین، اروپای شمالی، بیش‌تر از آنکه تماشاگر باشد، باید پیش‌گام در برگزاری مذاکرات باشد. چالش کم‌آبی در آمریکا همگن نیست، بیش‌ترین کمبود آب در ایالت‌های غربی و غربِ میانه‌ی آمریکا وجود دارد، در حالی‌که ایالت‌های شرقی نسبتاً پرآب هستند. به همین دلیل، موضعِ آمریکا در برابر این مذاکرات مبهم است. این مسأله برای چین هم مصداق دارد زیرا، شمال چین به شدت کم‌آب است، اما جنوبش نیست.

یکی از عوامل که در تعیین موضع کشورها مهم است، وضعیت آن‌ها از حیث تجارت‌های بین‌المللی است؛ این‌که آیا واردکننده‌ی آب مجازی (به واسطه‌ی واردات کالاهای آب‌بر) هستند یا صادرکننده‌ی آن؟ آمریکا، استرالیا، هند، پاکستان و آمریکای جنوبی (به‌ویژه برزیل، آرژانتین، اروگوئه و پاراگوئه)، صادرکنندگانِ بزرگ آب مجازی هستند (Hoekstra and Mekonnen, 2012a)، اما اروپا، آفریقای شمالی، خاورمیانه، مکزیک و ژاپن، واردکنندگان بزرگ آب مجازی هستند. چین، غالباً خودکفا بوده و یک صادرکننده‌ی خالص آب مجازی است، اما میزان آب مجازی صادراتش سهم بالایی در کل مصرف منابع آبی داخلی‌اش ندارد. واردکنندگان آب مجازی، در برابر وقوع کم‌آبی در کشورهایی که کالاهای مورد نیاز خود را از آنجا تأمین می‌کنند، آسیب‌پذیر هستند، خطری که می‌توان آن را "خطر وارداتِ آب[1]" نامید (Hoekstra and Mekonnen, 2016). همین مسأله، می‌تواند انگیزه‌ای قوی برای تعاملات بین‌المللی شود. برخی از کشورهایی که در حال حاضر، صادرکنندگان آب مجازی هستند، ممکن است در آینده، آب کافی برای تولید کالاهای صادراتی نداشته باشند، زیرا این فرض حاکم است که در شرایط کم‌آبی، تأمین نیازهای ساکنان خودشان در اولویت خواهد بود. این واقعیت، ممکن است به درآمدهای ارزی آن‌ها به واسطه‌ی صادرات کالاها لطمه بزند، اما این دلیل محکمی برای همکاری با دیگر کشورها برای کاهش سرانه‌ی ردپای آب مصارفشان نخواهد بود. از سویی دیگر، کشورهایی که بخش زیادی از

1 Imported water risk

منابع آب خود را صرف تولید کالاهای صادراتی می‌کنند، زمانی از مذاکرات بین‌المللی منتفع خواهند شد که شرکای تجاری آن‌ها، تمایل به ادامه‌ی همکاری و یا حتی سرمایه‌گذاری برای ارتقای بهره‌وری آب در این کشورها داشته باشند؛ مثلاً اروپا، علاقه‌ی خاصی به حل چالش‌های کم‌آبی در کشورهای هند و پاکستان دارد؛ زیرا بخش زیادی از کالاهای آب‌بر خود (مثل نیشکر و پنبه) را از این کشورها وارد می‌کنند.

یکی دیگر از عوامل مهم در تعیینِ موضعِ کشورها در برابر مذاکرات، توانایی آن‌ها در تأمین هزینه‌های لازم برای تغییرات است. البته لازم به ذکر است که الزاماً همه‌ی تغییرات هزینه‌بر نیستند. بسیاری از تغییرات، از نظر اقتصادی سودمند هستند؛ مثلاً کاهش مصرف گوشت هزینه‌ای ندارد. این تغییر از دیدگاه سلامتی حتی سودمند هم بوده و حتی باعث خواهد شد که هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی در کشورهایی که در حال حاضر، سرانه‌ی مصرف گوشت بالایی دارند، کاهش یابد. تغییر از دامداری به سمت تولید گیاهان غذایی، به تحولی در بخش کشاورزی نیاز دارد که زمینه‌ی ایجاد این تغییر را هموار سازد، اما این تحول، در نهایت، به یک کشاورزی کارآمدتر و تأمین نیازهای غذایی با صرف منابع کم‌تر منتهی خواهد شد. حرکت بشر به سمت گیاه‌خواری، جهش بزرگی به سمت ارتقای کارآیی عرضه‌ی مواد غذایی در تاریخ بشر خواهد بود. اقدامات دیگری همچون مالچ‌پاشیِ خاک و کم‌آبیاری به جای آبیاری کامل نیز اثرات مثبت و یا کم‌وبیش خنثی خواهند داشت. با این حال، بهبودِ سیستم‌های تولید، مستلزم داشتنِ دانش کافی و سرمایه‌گذاری روی مواردی همچون انتخاب ارقامِ گیاهیِ مناسب، اعمال فعالیت‌های کشاورزی بهتر و استفاده از تکنیک‌های کشاورزی دقیق است که برخی از این موارد، هزینه‌بر خواهند بود؛ به عنوان مثال، نصب سیستم‌های آبیاری قطره‌ای از جمله اقداماتِ هزینه‌بر است. به این ترتیب، هر توافقی که روی کاهش ردپای آب صورت می‌گیرد، باید با مکانیزمی همراه باشد که به‌واسطه‌ی آن، همه‌ی کشورها قادر به انجام اقدامات لازم برای کاهش ردپای آب خود باشند.

حرکت رو به جلو

از آنجایی‌که ردپای آب در یک سبد کالای مصرفی، هم به آنچه در سبد است و هم به ردپای آب واحد (مترمکعب بر تن) برای هر یک از این کالاها بستگی دارد، ما برای کاهش کل ردپای آبِ این سبد (مترمکعب)، یا باید الگوی مصرف خود را تغییر دهیم و یا ردپای آب واحد هر یک از این کالاها را کاهش دهیم. سوالی که در کشورهای در حال توسعه مانند چین و هند پیش می‌آید، این است که چه‌طور این کشورها، می‌توانند بدونِ افزایش سرانه‌ی ردپای آب خود و یا حتی با کاهش آن، رشد

اقتصادی–اجتماعی داشته باشند؟ در هند که سرانه‌ی مصرف گوشت کم است، می‌توان آن را از سبد غذایی مردم حذف نمود، اما چالش اصلی در این کشور، کاهش مصرف آب در فرآیند تولید غلات خواهد بود. در چین، مهم‌ترین نگرانی، سرانه‌ی مصرف گوشت است. سیاست‌گذاری‌ها در هر دو کشور باید به منظور کاهش ضایعات غذایی و توسعه‌ی صنایع با بهترین فناوری‌های موجود باشد. در این صورت، مانند آنچه در کشورهای صنعتی مشاهده می‌شود، توسعه‌ی صنایع با افزایش ردپای آب همراه نخواهد بود. در اغلبِ کشورهای در حال توسعه، سه چالش اساسی وجود دارد: بهبود بهره‌وری آب در بخش کشاورزی، اطمینان از توسعه‌ی صنایع با استفاده از بهترین فناوری‌های موجود، و حفظ و یا حرکت به سمت رژیم‌های غذاییِ کم‌گوشت.

چالشی که در در کشورهای صنعتی وجود دارد، بزرگ‌تر از کشورهای در حال توسعه است، اما این چالش، بیش‌تر از نظر تغییر عادات غذایی است تا از نظر اقتصادی. با لحاظ سناریویِ رشد جمعیتیِ متوسط سازمان ملل، و این فرض که همه‌ی کشورها باید به سمت داشتنِ سرانه‌ی ردپای آب برابر در جهان حرکت کنند، کشورهایی مثل آمریکا، کانادا، استرالیا، اسپانیا، پرتغال، ایتالیا و یونان باید سرانه‌ی ردپای آب خود را تقریباً ۲/۵ برابر در بازه‌ی زمانی ۲۰۵۰–۲۰۰۰ کاهش دهند. این هدف، تنها در صورت اتخاذ ترکیبی از اقدامات مربوط به اصلاح الگوی تولید و مصرف محقق خواهد شد. از یک‌سو، همه‌ی آن‌ها باید تا حد زیادی بهره‌وری آب در کشاورزی را افزایش دهند. از سویی دیگر، باید مصرف گوشت و تلفات غذایی خود را کاهش و ترویج سوخت‌های زیستی را متوقف کنند.

اگر کشورهای ثروتمندی که ردپای آب بزرگی دارند، به داشتنِ سهمی عادلانه قانع نشوند، قطعاً ردپای آب کل بشر در جهان افزایش خواهد یافت؛ زیرا کشورهای در حال توسعه نمی‌توانند با تلاش‌ها و اقدامات بیش‌تر، تاثیر این رفتار آن‌ها در افزایش ردپای آب را جبران کنند. ایده‌ی مذاکرات بین‌المللی درباره‌ی ردپای آب، در کشورهایی که چالش‌های کمبود آب در آن‌ها زیاد نبوده و مستقیماً نیز از تبعات آن متأثر نمی‌شوند، بسیار دور از ذهن است؛ همچنین، پذیرش مفهوم "سهم عادلانه" برای کشورهایی که در حال حاضر، سرانه‌ی ردپای آب بزرگی دارند، بسیار دشوار خواهد بود. اما اگر این ایده پیاده شود، جهانی خواهیم داشت که در آن علی‌رغمِ داشتنِ منابع آب ناکافی، قادر به ادامه‌ی شیوه‌های فعلی تولید و مصرف خود خواهیم بود.

فصل چهاردهم

تخصیص منابع آب شیرین محدود جهان

در این فصل، برای پاسخ به این سوال که چگونه باید منابع آب شیرین محدود جهان را بین مصرف‌کنندگان مختلف تقسیم نمود، از تمام مفاهیم پایداری، کارآمدی و برابری در مصرف آب، که در فصل‌های پیشین بحث شد، استفاده خواهم نمود. همچنین، اصل توسعه‌ی چهارمی به نام امنیت نیز به مباحث این فصل اضافه می شود؛ رعایت این اصل می تواند سطح ریسک در تصمیم گیری‌های مربوط به چگونگی تخصیص منابع آب را کاهش دهد. بدین منظور، لازم است تاحدی خودکفایی برای تأمین آب در یک منطقه و همچنین، تا حدی خودکفایی برای تولید کالاهای آب‌بری که به شدت به آب وابسته هستند که غالباً غذاها می باشند در نظر گرفت. همچنین باید واردات کالاهای آب بر از کشورهایی صورت بگیرد که منابع آبی خود را به صورت پایدار مصرف می کنند.

در این فصل، ابتدا سه دیدگاه در تخصیص منابع آب را بیان خواهم نمود: تخصیص از دیدگاه‌های تولیدکننده، تجارت و مصرف‌کننده. دیدگاه غالب فعلی در جهان، تخصیص منابع آب از دیدگاه تولیدکننده است (یعنی حالتی که در آن، آب بر اساس نیاز تولیدکنندگان تخصیص داده می شود). تخصیص از دیدگاه تجارت در رتبه‌ی دوم قرار دارد (یعنی زمانی که آب، صرفاً با هدف حمایت از زارعان برای تولید محصولات صادراتی تخصیص داده می شود). این در حالی است که هیچ تمایلی برای تخصیص از دیدگاه مصرف کننده که در نهایت سودی از این شیوه تخصیص عاید وی نخواهد شد وجود ندارد. سپس، به بحث پیرامون مکمل بودن چهار اصل توسعه ی مذکور و ابعاد ملی و جهانی تخصیص آب خواهم پرداخت. در شیوه‌ی کنونی تخصیص آب که معمولاً به صورت محلی و یا حداکثر در سطح ملی صورت می گیرد، جای دیدگاه جهانی کاملاً خالی است. سپس، چهار اصل توسعه را با زبان ابزارهای سیاستی مربوطه که به تخصیص هوشمندانه آب کمک می‌کند، بیان خواهم نمود.

پس از آن، هم میزان هم‌افزایی بین چهار شاخص مذکور را بحث خواهم نمود و هم نشان می‌دهم که بدون شک، مناقشاتی نیز بین آن‌ها وجود دارد. در ادامه، در خصوص چگونگیِ وارد نمودن دانش آبی به سیاست‌های دیگر حوضه‌ها صحبت خواهم نمود، زیرا تعیین الگوی تقاضای آب، نه فقط بر اساس تصمیماتِ اتخاذ شده در حوضه آب، که متأثر از تصمیماتی که در دیگر حوضه‌ها گرفته می‌شود نیز می‌باشد. این فصل را با این مبحث به پایان می‌برم که چگونه ردپای آب می‌تواند ابزاری برای اندازه‌گیری میزان پیشرفت در دستیابی به اهداف توسعه‌ی پایدار در نظر گرفته شود. به این منظور، به طور شفاف درباره‌ی کاربرد و تخصیص پایدار و کارآمد آب صحبت خواهم نمود.

تخصیص آب: دیدگاه تولیدکننده، تجارت و مصرف‌کننده

بهتر است هنگام صحبت پیرامون مبحث تخصیص آب، بین سه دیدگاه مختلف، تمایز قایل شویم (جدول ۱۴-۱). از دیدگاه تولیدکننده، سوال اصلی این است که چگونه باید مجوزهای مصرف آب بینِ کاربرهای رقیب، تقسیم شود؟ از دیدگاه تجارت، سوال مهم آن است که چگونه و تحت چه الگوی تجارتی باید کالاهای آب‌بر را به‌واسطه‌ی تجارت در جهان توزیع نمود؟ سوالی که از دیدگاه مصرف‌کننده باید به آن پاسخ داده شود آن است که چگونه باید ردپای آب کل را بین مصرف‌کنندگان نهایی تقسیم نمود؟ در مورد اول، به طور مستقیم در خصوص توزیع آب صحبت میکنیم؛ در حالی که در موردهای دوم و سوم، از تخصیص غیرمستقیم آب سخن می گوییم. اغلب وقتی مدیرانِ آب از تخصیص سخن می‌گویند، منظورشان تخصیص مستقیم آب به کاربران مختلف است (دیدگاه تولیدکننده). بر اساس مطالب مطرح شده در این کتاب، در می‌یابیم که علاوه بر تخصیص مستقیم آب، بحث پیرامون تخصیص غیرمستقیم آب نیز اهمیت دارد. مهمترین عامل کنترل کننده‌ی الگوی تجارت غذایی که حین تولید آن، حجم زیادی آب در کشور صادرکننده مصرف می‌شود، اساساً سطح توسعه یافتگی کشورهای مبادله کننده است، نه اختلاف بین سطح تنش آبی در این کشورها (Lenzen *et al*., 2013) و نه توجه به مردمی که در کشورهای تحت تنش آبی زندگی می‌کنند (Seekell *et al.*, 2011; Suweis *et al.*, 2011). اگرچه ما معمولاً توجه اندکی به محل مصرف آب (برای تولید این غذا) داریم، اما این موضوع مهمی است. اگر آب را به تولید سویا در مزراعی اختصاص دهیم که قرار است آن را به عنوان خوراک دام صادر کنند، در حقیقت آب را به طور غیرمستقیم به گوشت‌خواران اختصاص داده ایم؛ نه برای تولید گیاهان غذایی برای مردم محلی. سوال آن است که آیا چنین تخصیصی آبی به سویاکاران در این کشور، اولویت دارد؟ همین سوال را می توان هنگام تخصیصِ آب به کشاورزانی که ذرت را برای تولید انرژی‌های زیستی پرورش می‌دهند، نیز پرسید. پاسخ شفافی برای چنین سوالاتی وجود ندارد؛ اما باید مسأله‌ی تخصیص غیرمستقیم آب نیز مورد توجه قرار بگیرد. باید از دیدگاهی وسیع‌تر و در سطح ملی و جهانی به مسأله‌ی تخصیص آب به کاربران مختلف در یک حوضه‌ی آبریز توجه نمود و به این سوال پاسخ داد که در نهایت، چه کسی از این شیوه‌ی تخصیص آب، منتفع می‌شود؟

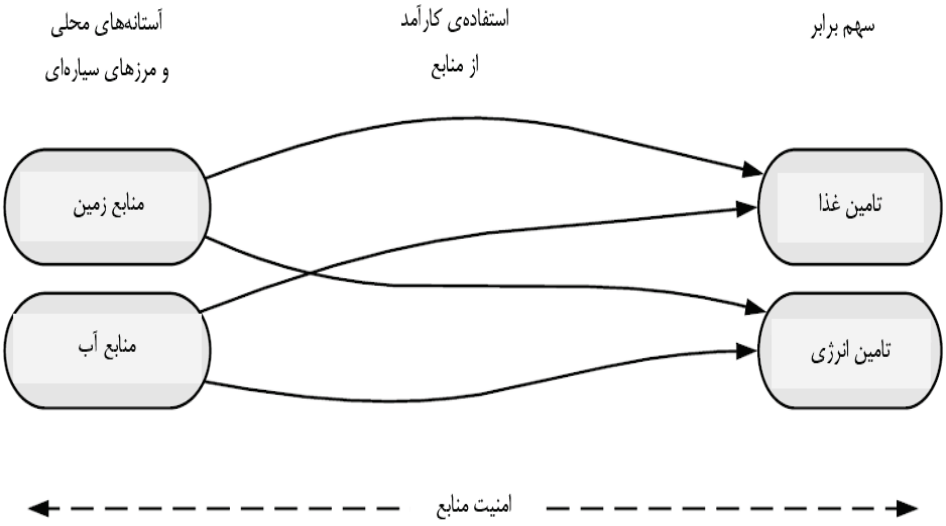
جدول ۱۴–۱. دیدگاه‌های مربوط به تخصیص آب

اقدامات سیاستی مرتبط	سوال	دیدگاه مورد بررسی
پایه گذاری سیستم اعطای مجوز ردپای آب بر اساس سطوحِ پایدار برداشت آب و بنچ مارک‌های ردپای آب در فرآیندهای تولیدی	چگونه آب بین مصرف‌کنندگان مختلفِ رقیب، تقسیم شود؟	تولید پایدار و کارآمد
هدف‌گذاری برای تخصیص حداقل مقدار معینی از منابع آبی برای تأمین بخشی از نیازهای اساسی ساکنان محلی و تأمین بخش دیگر به‌واسطه‌ی واردات کالا از مکان–هایی که آب برای تولید این کالاها به صورت پایدار مصرف می شود.	چگونه و تحت چه الگویی، کالاهای واسطه‌ی تجارت، در جهان آب به بازتوزیع شود؟	تجارت پایدار، عادلانه و قوی
پیاده‌سازی سیستم توزیع عادلانه‌ی ردپای آب	در نهایت، چگونه ردپای آب کل، بین مصرف‌کنندگان نهایی، توزیع خواهد شد؟	مصرف پایدار و عادلانه

چهار اصل توسعه برای حرکت در مسیر تخصیص عاقلانه‌ی آب

پایداری زیست‌محیطی، کارآیی منابع، برابری اجتماعی و امنیت منابع، چهار اصل مکملی هستند که به تخصیص عاقلانه‌ی آب کمک می‌کنند. هر یک از این چهار اصل، اطلاعات ارزشمند و متمایزی را ارایه می‌کنند. شکل ۱–۱۴ برخی از این موارد را به طور ساده نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که چگونه منابع آب و زمین، که اغلب در هم تنیده بوده و با هم به کار گرفته می‌شوند، برای تولید غذا و انرژی استفاده می‌شوند. اگرچه آب و زمین، علاوه بر تولید غذا و انرژی، برای تولید کالاهای بسیار دیگری نیز به استفاده می‌شوند، اما قطعاً غذا و انرژی، از مهمترین کالاهای مورد نیاز ما هستند. تولید غذا و انرژی، به عوامل دیگری به جز آب و زمین نیز نیاز دارد، اما تولید آن‌ها تا حد بسیار زیادی وابسته به آب و زمین است. همان‌گونه که در شکل ۱–۱۴ مشاهده می شود، به مسأله‌ی استفاده‌ی پایدار از منابع طبیعی در سمت چپ تصویر اشاره شده است؛ این موضوع، به صورت نسبت مقدار آب و زمینی که توسط بشر برای تولید غذا و انرژی به کار می‌رود، به مقادیر پایدارِ این ورودی ها بیان می‌شود. کارآیی (یا کارآمدی) به این معناست که منابع آب و زمین به صورت کارا برای تولید غذا و انرژی مصرف شوند (چه‌قدر غذا و انرژی به ازای هر واحد آب و زمین مصرفی به‌دست می‌آید؟). مسأله‌ی توزیع عادلانه، در سمت راست تصویر وجود دارد؛ این اصل، به این مسأله توجه می‌کند که در نهایت، چه کسی غذا و انرژی تولیدشده با منابع آب و زمینِ محدود را مصرف می‌کند. این واقعیت که ردپای آب ساکنان آمریکا،

۲/۶ برابر بیش‌تر از ساکنان چین و هند است، بحثی را پیرامون استفاده‌ی عادلانه از منابع آب شیرین باز می‌کند. در نهایت، امنیت منابع، یک مسأله‌ی سیستمی است که به میزان وابستگی جغرافیایی و خطراتِ آن اشاره دارد. مبادله‌ی کالاهای آب‌بر، امکان دسترسی که منابع آب شیرین جهان را در هر مکانی میسر می‌سازد. همه‌ی افرادی که کالاهای آب‌بر مصرف می‌کنند باید به مسایلی همچون استفاده‌ی ناکارآمد آب در سطحی وسیع، برداشت بی‌رویه و آلودگی منابع آب توجه نمایند؛ نه فقط کسانی که مستقیماً در مناطقی زندگی می‌کنند که اثرات زیست محیطی ناشی از مصرف آب برای تولید چنین کالاهایی در آن‌ها بزرگ‌تر است.



شکل ۱۴-۱. استفاده از منابع آب و زمین برای تأمین غذا و انرژی.

با توجه به این مسأله که منابع آب شیرین جهان محدود هستند، تعیین مقدار آبی که می‌تواند برای تولید مقدار معینی از کالایی خاص برای گروه مشخصی از مردم استفاده شود، اهمیت بسیاری دارد. از آنجایی که کالاهای آب‌بر می‌توانند به صورت بین‌المللی مبادله شوند، بنابراین تخصیص عاقلانه‌ی منابع آب شیرین به اهداف دیگری جز تولید این کالاها، مسأله‌ی مهمی در بعد بین‌المللی خواهد بود. اغلب بهره‌وری آب (کیلوگرم بر لیتر) در نواحی پرآب کم است، بنابراین ردپاهای آب به ازای هر واحد محصول (لیتر بر کیلوگرم) در این نواحی عدد بزرگی خواهد بود. برخی مواقع، به دلیلِ اندک بودن اثرات زیست‌محیطی ناشی از مصرف آب در یک منطقه، مسأله‌ی توجه به محیط‌زیست در سیاست‌های آبی وارد نمی‌شود (Hoekstra and Mekonnen, 2012b). یکی از مهم‌ترین راه‌کارها برای حل معضل

اضافه برداشت آب در نواحی تحت تنش آبی، ارتقای بهره‌وری آب (یعنی کاهش ردپای آب به ازای هر واحد تولید) در نواحی پرآب است. برخی محققان برای حل چالش‌های آبی صرفاً روی کاهش ردپاهای آب محصولات (بر حسب لیتر بر کیلوگرم) در حوضه‌های تحت تنش تمرکز می کنند، اما این راه‌کار، پاسخگوی مسأله‌ی استفاده‌ی کارآمد و پایدار از منابع آبی در کل جهان نخواهد بود.

کاهش ردپای آب کل در حوضه‌هایی که به لحاظ زیست محیطی تحت تنش هستند، می‌تواند در اولویت قرار بگیرد؛ لکن، با توجه به رقابتِ موجود روی منابع آب شیرین جهان، ارتقای بهره‌وری آب (یعنی کاهش ردپای آب به ازای هر واحد تولید) در نواحی فاقد تنش آبی می‌تواند ابزاری راه‌گشا برای کاهش ردپای آب کل در بُعد جهانی باشد. به‌ویژه ارتقای بهره‌وری آب سبز (یعنی کاهش ردپای آب سبز به ازای هر واحد تولید) در اراضی کشاورزی دیم در حوضه‌هایی که کمبود آب وجود ندارد، سهم به‌سزایی در حل چالش‌های آبی در دیگر نقاط جهان خواهد داشت (Aldaya *et al*., 2010a). این مسأله می‌تواند میزان تولید در نواحی پرآب را افزایش دهد و به این ترتیب، با صادر نمودن این کالاها به نواحیِ نیازمند، از برداشت بی‌رویه از منابع آبی برای تولید محصول در نواحی‌ای که منابع آبی به شدت محدود هستند، بکاهد.

اقدامات سیاستی برای تخصیص عاقلانه‌ی آب

در فصول قبل، به بحث پیرامون برخی ابزارهای سیاستی مفید پرداختیم. دولت می‌تواند برای اطمینان از مصرف پایدار آب در هر مکانی در طول سال، سقف ردپای آب را برای هر منبع آبی تعیین نماید (فصل ۱۱). برای ارتقای کارایی مصرف آب، می‌توانیم بنچ مارک‌های ردپای آب را برای فرآیندهای تولیدی و محصولات را تعیین نماییم. این بنچ مارک‌ها مقادیر قابل قبول برای مصرف و آلودگی آب تحت کاربرد بهترین تکنولوژی‌ها و فعالیت‌های مدیریتیِ موجود را به ما نشان می‌دهد (فصل ۱۲). اگر بتوانیم روی سطوح عادلانه‌ی ردپای آب به توافق برسیم، می‌توانیم به مسأله‌ی سهم آب برابر نیز دست یابیم (فصل ۱۳). امنیت آبی زمانی به‌دست می‌آید که اولاً، مقدار معینی آب متناسب با ظرفیت آبی منطقه به تولید نیازهای اساسی (مانند غذا و آب آشامیدنی) اختصاص داده شود و دوم آن‌که واردات کالا از مناطقی صورت بگیرد که در آن‌ها، آن به صورت پایدار مصرف می‌شود.

سقفی که برای حداکثر ردپای آب مجاز در یک حوضه‌ی آبریز یا آبخوان تعیین می‌شود را می‌توان به صورت حجم‌های مجاز ردپای آب برای کاربران مختلف تعریف نمود و بر اساس آن، بدان‌ها مجوزهایی اعطا نمود. اما باید توجه داشت که این مجوزها با مجوزهای برداشت آب فرق دارد، زیرا مجوزهای ردپای آب در خصوص تنظیم میزان آب مصرفی (و نه برداشتی) و میزان آلودگی آب مجاز

برای هر کاربر صحبت می‌کند؛ در حالی که مجوزهای برداشت آب، میزان برداشت ناخالص مجاز را تعیین می‌کند. با تدوین و اعطای مجوزهای ردپای آب، دولت‌ها قادر خواهند بود تا متناسب با سطوح بنچ‌مارک، مقادیر ردپای آب مجاز برای مصرف‌کنندگان آب را تعیین نمایند. همچنین، دولت‌ها مجاز خواهند بود بر اساس اولویت‌های مصرف آب در سطوح منطقه‌ای یا ملی، برای برخی از فعالیت‌های آب‌بر مجوز صادر نموده و برای برخی دیگر صادر نکنند؛ مثلاً ممکن است تأمین آب شرب اولویت بیش‌تری نسبت به تخصیص آب به صنعت داشته باشد یا مثلاً تأمین آب برای تولید غذا مقدم بر تأمین آن برای تولید علوفه یا سوخت باشد و یا تأمین آب برای تولید نیازهای داخلی مهمتر از تولید برای صادرات شمرده شود.

در بخش کشاورزی، رقابت روی مصرف آب برای تولید غذا، علوفه، سوخت، و الوار وجود دارد. همچنین گاهی، مانند آنچه در خصوص حوضه‌ی آبریز نایواشا در کنیا بحث شد، دایماً تقاضا برای مصرف آب برای پرورش گل وجود دارد. استفاده از شاخص بهره‌وری اقتصادی (دلار به ازای هر مترمکعب) که معیاری برای تخصیص آب می باشد، تنها تا حدی موثر است، زیرا مسایلی مانند امنیت غذایی وجود دارد که با تخصیص آب صرفاً بر مبنای مسایل اقتصادی حل نخواهد شد. بهره‌وری اقتصادی آب میتواند برای گیاهانی که به عنوان علوفه و یا سوخت زیستی پروش می‌یابند، مناسب باشد، اما توجه به این معیار باعث می‌شود نتوان به این سوال مهم پاسخ داد که آیا تخصیص آب به چنین اهدافی با وجودِ دیگر نیازهای اساسی (مثل تولید غلات، حبوبات، دانه‌های روغنی، سبزیجات و میوه به عنوان غذا)، عاقلانه است؟

راه اندازی سیستم اعطای مجوزهای ردپای آب به کاربران بر اساس سقف‌های محلی ردپای آب (یعنی حداکثر آبِ پایدار قابل استفاده) و سطوح بنچ مارک برای هر فرآیند تولیدی، دستیابی به الگوهای تولید پایدار و کارآمد را تضمین می‌کند. تعیین سهم‌های عادلانه‌ی ردپای آب برای کاربران، باعثِ ترویج الگوهای مصرف برابر و پایدار می شود. هدف‌گذاری برای اختصاص مقدار معینی از آب برای تأمین نیازهای اساسی داخلی و تأمین دیگر نیازها از مناطقی که آب را به صورت پایدار مصرف می‌کنند، ابزار مفیدی خواهد بود که در نهایت، منتج به توسعه‌ی الگویی پایدار، عادلانه و قوی برای تجارت خواهد شد. این ایده‌ها می‌توانند دیدگاه‌هایی را برای چگونگی تخصیص آب پیش روی ما قرار دهند؛ اما قطعاً پاسخی دقیق به سوال مذکور نخواهند داد. بدون شک، دستورالعمل جامع و معینی برای تخصیص پایدار، کارآمد و عادلانه در بین کاربران آب و مصرف‌کنندگان نهایی کالاها که همزمان منتج به سطح بالایی از امنیت آبی در آن محل نیز شود، وجود نخواهد داشت، زیرا از یک سو، هیچ یک از این چهار

اصل توسعه به طور دقیق تعریف نشده‌اند و از سوی دیگر، مناقشاتی نیز بین این اصول وجود خواهد داشت.

هم‌افزایی‌ها و مناقشات بین اصول توسعه

ما باید منابع آب و زمین محدود خود را به صورت پایدار، کارآمد و عادلانه (برابر) مصرف کنیم؛ علاوه بر این‌ها، به امنیت منابع نیز نیازمندیم. اگرچه این چهار اصل توسعه مکمل یک‌دیگر هستند، اما مناقشاتی نیز بین آنها وجود دارد. در خصوص هم‌افزایی بین این اصول به صورت مختصر صحبت خواهم کرد؛ زیرا این هم‌افزایی‌ها واضح بوده و به بحث کم‌تری نیاز دارند. وقتی روی دستیابی به اهدافی تمرکز کنیم که تعامل خوبی بین آنها برقرار بوده و اصطلاحاً هم‌افزا هستند، همه چیز خوب پیش می‌رود. مسأله زمانی دشوارتر خواهد بود که بین اصولی که همه‌ی آن‌ها مهم بوده و قابل اغماض نیستند، مناقشاتی وجود داشته باشد.

اجازه دهید ابتدا به هم‌افزاییِ موجود بین چهار اصل توسعه بپردازیم. تنها نگاهی به همپوشانی‌ای که بین راه‌کارهایی که برای مصارف پایدار (جدول ۱۱–۲)، کارآمد (جدول ۱۲–۱) و عادلانه‌ی (جدول ۱۳–۱) آب از نظر سه دیدگاه جغرافیایی، تولید و مصرف وجود دارد، هم‌افزایی بین ابعاد مختلف توسعه را شفاف می‌سازد. استفاده‌ی کارآمدتر از آب در فرآیندهای تولیدی و بهینه‌سازی الگوهای مکانی تولید با هدف کاهش مصرف و تنش آبی، منتهی به کاهش مصرف آب و در نهایت، استفاده‌ی پایدار آب خواهد شد. متقابلاً، محدود نمودن کل ردپای آب در یک حوضه‌ی آبریز یا آبخوان به مقداری معین، می‌تواند گامی به سوی ارتقای کارآیی مصرف آب (برای کاهش آب مصرفی) محسوب شود. به این ترتیب، تلاش‌هایی که برای ارتقای هریک از شاخص‌های پایداری یا کآرآمدی مصرف آب صورت بگیرد، روی دیگری اثر خواهد گذاشت. پایه‌گذاری ارزش‌گذاری صحیح آب، به نحوی که تاثیر نرخ تنش آبی در یک منطقه در قیمت آب لحاظ شده باشد، ترویج تکنولوژی‌های پاک و کارآمد از حیث مصرف آب و کاهش تلفات آب و غذا، جملگی اقداماتی هستند که می‌توانند همزمان کارآیی و پایداری مصرف آب را افزایش دهند. ارتقای کارآیی مصرف آب، به معنی تولیدِ بیش‌تر به ازای هر واحد آب مصرفی است، لذا غذای بیش‌تری برای توزیع بین مردم وجود خواهد داشت. ترویج فرهنگِ کاهش سهم گوشت در سبد غذایی باعثِ ارتقای کارآمدی کل سیستم غذایی شده و متعاقباً، کاهش نیاز آبی و توزیع عادلانه‌تر منابع آبی بین مصرف‌کنندگان را به همراه خواهد داشت. همچنین، اقداماتی که برای ارتقای پایداری و کارآمدی مصرف آب صورت می‌گیرد، مخاطرات ناشی از کمبود آب را کاهش داده و باعث ارتقای امنیت آبی خواهد شد.

حال اجازه دهید به مسأله‌ی مهم‌تر، یعنی مناقشات بین این چهار اصل توسعه بپردازیم. یکی از شناخته‌شده‌ترین مناقشات، اثر ارتجاعی است که پیش‌تر در فصل ۱۲، در خصوص بروز این اثر حینِ ارتقای کارآیی مصرف آب بحث شد؛ به عنوان مثال، استفاده از آبی که به سبب ارتقای کارآیی مصرف آب ذخیره می‌شود، برای توسعه‌ی سطح زیرکشت آبی، می‌تواند منافع زیست‌محیطی حاصل از این ارتقا را از بین ببرد. شرایط بدتر زمانی اتفاق می‌افتد که بالا بودن نسبی کارآیی مصرف آب در نواحی خشک (و کم‌آب)، باعث افزایش سرمایه‌گذاری‌ها روی توسعه‌ی کشاورزی آبی با هدف تولید بیش‌تر برای صادرات شود که این مسأله، مصارف ناپایدار به‌واسطه‌ی برداشت بی‌رویه از منابع آبی برای آبیاری در این مناطق را به همراه خواهد داشت. من این پدیده را "پارادوکسِ تنش آبی – صادرات" می‌نامم و در فصل بعد، آن را با مثال‌هایی توضیح خواهم داد. در چنین شرایطی، ارتقای کارآیی مصرف آب تاثیر منفی روی پایداری خواهد داشت.

در بسیاری از مناطقِ جهان، چالش‌های تنش آبی غالباً ناشی از آبیاری‌های شدید است. این در حالی است که آبیاری، یکی از مهم‌ترین اجزای انقلاب سبز بوده و به عنوان اقدامی مهم برای ارتقای بهره‌وری در بخش کشاورزی در نظر گرفته می‌شود. اگرچه ارتقای کارآیی مصرف آب می‌تواند گامی به سوی افزایش پایداری مصرف آب باشد، لکن در عمل، این اقدام به منتج به توسعه‌ی بی‌رویه‌ی بخش کشاورزی و متعاقباً، افزایش سطح ناپایداری خواهد شد. در حقیقت، ارتقای کارآیی مصرف آب به خودی خود خوب است، اما باید به اتفاقاتی که می‌تواند تحت این اقدام رخ دهد، بیش‌تر دقت نمود.

دومین تعارض شناخته شده‌ای که می‌تواند بین اصول توسعه وجود داشته باشد، "اثر بازدارنده‌ی انگیزه‌های سیاسی حین تخصیص منابع"[1] می‌باشد. به عنوان مثال، ممکن است سیاست کشوری ترویج پایداری، برابری و امنیت باشد. اقتصاددانان غالباً نگران مداخلات سیاسی در تخصیص منابع هستند؛ زیرا آن‌ها بر این باورند که تخصیص بر اساس منافع اقتصادی (و لذا، واگذاری این کار به بازار)، بیش‌ترین کارآیی مصرف منابع را به همراه خواهد داشت. اگرچه می‌توان با این باورِ اقتصاددانان مخالف بود و آن را زیر سوال برد، اما واقعیت آن است که عدم مداخله در کشاورزی باعث می‌شود کشاورزان به طور جدی به کسب بیش‌ترین منافع اقتصادی از منابع محدودی که در اختیار دارند، بیاندیشند. سیاست خودکفایی در تولید غذا در کشورهای بسیاری مانند چین، هند، اندونزی و مصر وجود داشته و به‌واسطه‌ی آن، اقدامات متنوعی از سوی دولت، از جمله مداخله‌ی در تخصیص آب به تولید گیاهان غذایی، صورت می‌گیرد. در این کشورها، مثلاً کشاورزان می‌توانند آب تخصیص داده شده به خود را صرف تولید گیاهان صادراتی با ارزش اقتصادی بالاتر نمایند، اما وجود سیاست خودکفایی مانع آن‌ها می‌شود. به این ترتیب،

1 The inhibitory effect of politically motivated resource allocation

هدفِ تأمین امنیت غذایی برای همه که به طور توامان به مفاهیم برابری و امنیت توجه می‌کند، الزاماً با هدف حداکثرسازی کارآیی مصرف منابع سازگار نبوده و این دو هدف، در تعارض با هم هستند.

نمونه‌ی سوم مربوط به زمانی است که آب، یک کالای اقتصادی کمیاب در نظر گرفته شده و اقداماتی برای ارزش‌گذاری صحیح آب و لحاظ نمودن شدت تنش آبی در قیمت آن صورت می‌گیرد. انتظار می‌رود که در این شرایط، کارآیی مصرف آب بیش‌تر شده و لذا با کاهش کل آب مصرفی، شدت تنش آبی کاهش یافته و آب پایدارتر مصرف شود. از زمانی که اصل تلقی آب به عنوان کالایی اقتصادی در جوامع بین‌المللی پذیرفته شد تا کنون، بحث‌های زیادی پیرامون آن صورت گرفته است (ICWE, 1992). یکی از انتقادهای اساسی آن است که آب، کالایی عمومی بوده و دسترسی نداشتن افراد فقیر به آن به دلیلِ قیمتش اصلاً عادلانه نیست. در حقیقت، ایده‌ی تخصیص آب به مکان‌هایی با بالاترین ارزش اقتصادی، مانع تخصیص آب به خانواده‌ها و کشاورزان فقیری می‌شود که توان پرداخت هزینه‌های واقعی آب را ندارند، اما ناتوانی آن‌ها برای پرداخت هزینه‌ی آب دلیل خوبی برای نبود تخصیص آب به این قشر نمی‌باشد. در عمل، بین تخصیص حجم زیادی آب به تعداد محدودی از زمین‌های کشاورزی بزرگ یا واحدهای صنعتی که در آن‌ها، آب با بهره‌وری بالا برای تولید گیاهان یا دیگر کالاهای تجاری با ارزش اقتصادی زیاد با هدف صادرات مصرف می‌شود، و تخصیص آب به افراد محلی و خرده‌مالکان برای تولید گیاهان غذایی برای تأمین نیازهای خود و یا بازارهای محلی داخلی، تنش‌هایی وجود دارد.

نمونه‌ی چهارم از تعارضات احتمالی بین اصول توسعه، بحثِ داغ کشاورزی گسترده[1] در مقابل کشاورزی فشرده[2] است. معمولاً کارآیی مصرف منابع در کشاورزی فشرده (با نهاده‌های ورودی زیاد)[3] از نظر میزان آب و زمین مصرفی به ازای هر واحد گیاه یا فرآورده‌های دامی تولیدی بالاتر است، اما وسعت و شدت کشاورزی فشرده باعثِ افزایش میزان آب مصرفی و آلودگی در واحد سطح شده و این مسأله، می‌تواند برداشت بی‌رویه از منابع آب در مقایسه با کشاورزی گسترده را افزایش دهد. از آنجایی که کارآیی مصرف منابع تحت کشاورزی گسترده (با نهاده‌های ورودی اندک)[4] کم‌تر است، برای تأمین غذای کافی تحت این روش، سطح بیش‌تری از اراضی در مقایسه با کشاورزی فشرده نیاز خواهد بود؛ مگر آن‌که سرانه مصرف، به‌ویژه مصرف گوشت کاهش یابد. بنابراین جای تعجب نیست که مدافعانِ کشاورزی گسترده، غالباً همان حامیان اصلاح الگوی مصرف هستند. طرفدارن کشاورزی فشرده بر این باورند که الگوی مصرف در آینده متمایل به مصرف گوشتِ بیش‌تر است. بررسی شواهد تاریخی نیز

1 Extensive agriculture
2 Intensive agriculture
3 Hight input
4 Low input

تحقق این فرضیه در کشورهای توسعه‌یافته را نشان می‌دهد. اینجا مسأله‌ی اصلی، انتخاب بین دو دیدگاه برای توسعه است: دیدگاه اول، تمرکز بر تولیدِ کارآمدتر و تخصصی‌تر همگام با تولید و صادرات بیش‌تر و دیدگاه دوم، تمرکز بر افزایش تنوع غذایی در بازارهای محلی (داخلی) و مصارف عادلانه‌تر در ازای پذیرش کارآیی کم‌تر و تولیدِ کم‌تر برای تأمین مایحتاج داخلی است. مدافعان دیدگاه اول عموماً دیدگاه دوم را ساده‌لوحانه و غیرقابل اجرا می‌دانند و طرفداران دیدگاه دوم، حالت اول را دیدگاهی غیرمسئولانه قلمداد می‌کنند. تحقق هر دو دیدگاه در آینده امکان‌پذیر است؛ لکن بین ارزش‌های حاصل، مناقشات احتمالی و مخاطرات پذیرفته شده تحت این دو دیدگاه، تفاوت اساسی وجود دارد. خطرِ پذیرش کشاورزی فشرده، می‌تواند بروز اثر ارتجاعی و در پی آن، بروز ناپایداری باشد. خطرِ پذیرش کشاورزی گسترده نیز تولید غذای ناکافی است. کاهش مخاطرات احتمالی تحت کشاورزی صنعتی (فشرده) باید معیاری برای تعیین نرخ رشد قابل قبول برای توسعه‌ی این شیوه کشاورزی قرار بگیرد. اقداماتی که باید برای کاهش خطرات حاصل از کشاورزی گسترده مدنظر قرار بگیرد باید حتماً شامل اتخاذ سیاست‌های جدی و سخت‌گیرانه برای تغییر رژیم غذایی به الگوهای مصرف کم‌گوشت یا بدون گوشت نیز باشد. پرواضح است که می‌توان، راهی بین این دو گزینه (یعنی کشاورزی کاملاً فشرده یا کاملاً گسترده) را نیز انتخاب نمود.

اقتصاددانان برای تخصیص منابع، به منافعی که می‌تواند در ازای مصرف منابع در بخشی دیگر به جز بخشِ منتخب به دست بیاید (یعنی به هزینه‌های فرصت) می‌اندیشند. مقدار معینی از آبی که در یک حوضه‌ی آبریز وجود دارد، (برای تبخیر یا جای‌سازی شدن در محصول) قابل مصرف است، اما سوال، چگونگیِ مصرف این آب برای کسب بیش‌ترین منافع است. این یک سوال مهم و معتبر است، اما سوال مهم‌تر درباره‌ی تخصیص آب، چگونگیِ اولویت‌بندیِ اصول توسعه‌ای است که در تعارض با هم هستند، لذا حتماً باید به چنین تعارضاتی بین اصول توسعه رسیدگی شود. حتی اگر در ظاهر، هیچ جایی برای مذاکره روی آن‌ها وجود نداشته باش تخصیص آب در اصل یک مسأله‌ی اقتصادی نیست، بلکه اساساً مسأله‌ای سیاسی می‌باشد. بنابراین، زمان آن رسیده که سیاست‌مداران، رسیدگی به موضوع تنش و آلودگی آب را بر دیگر موارد مقدم بدانند.

وارد ساختنِ دانش آبی در سایر حوزه‌های سیاستی

در عمل، روش تخصیص آب به کاربران به شفافیتِ آنچه تاکنون در این فصل پیشنهاد شده، نیست. نیاز آبی و در پی آن، تخصیص آب طیِ فرآیندهایی تعیین می‌شوند که هیچ ارتباطی به مدیریت آب ندارند. مهم‌ترین معیارهای تعیین‌کننده‌ی نیاز آبی شامل رشد جمعیت، افزایش درآمد و توسعه‌ی الگوهای

مصرفِ آب‌بر می‌باشد. برنامه‌ریزی‌های مکانی، توسعه‌ی شهرها و سرمایه‌گذاری‌ها در بخش کشاورزی در یک مکان معین، از جمله عوامل اصلی تعیین‌کننده‌ی الگوی توزیع مکانی نیاز آبی می‌باشند. مسأله‌ی تخصیص بهینه آب، تقریباً یک راه حل نهایی محسوب شده و تنها زمانی به آن توجه می‌شود که توسعه‌های عمده در ساختار کشورها، منتج به افزایش نیازهای متعدد آبی شود.

امروزه این باور در حال شکل‌گیری است که آب، نه تنها نقشی کلیدی در خدمت به اقتصاد و جوامع دارد، بلکه می‌تواند عاملی محدودکننده برای توسعه نیز محسوب شود. چنین باور روی تعریف یک حکمرانی آب خوب تاثیر می‌گذارد. یک حکمرانی خوب، تنها به معنی تأمین آب در مواقع مورد نیاز نیست، بلکه به معنی مدیریت تقاضا به نحوی که تقاضا بیش‌تر از حد آب قابل تأمین نشود نیز هست. با این حال، برای داشتن یک حکمرانی خوب، حتی تغییر رویکرد از مدیریت تأمین به تلفیقی از مدیریت تأمین و تقاضا نیز کافی نیست.

در مدیریت تقاضا، به ارتقای کارآیی مصرف آب توجه می‌شود، اما به ریشه‌های واقعیِ بالا بودن نیاز آبی توجهی نمی‌شود. بسیاری از کلان شهرها در مناطقی واقع شده‌اند که کمبود آب مانعی برای توسعه محسوب می‌شود (Varis *et al*., 2006)؛ در این شرایط، راه‌حل واقعی، توجه به چالش‌های آبی در برنامه‌ریزی‌های شهری است. به طور مشابه، بسیاری از نواحی تولید غذا در جهان در مکان‌هایی واقع شده‌اند که کمبود آب در آن‌ها، تهدیدی برای تولید پایدار است؛ مانند شمال چین (Ma *et al*., 2006). راه حل رفع این چالش‌ها نیازمند اقداماتی فراتر از مدیریت تأمین و کاهش تقاضا به‌واسطه‌ی ارتقای کارآیی مصرف آب در تولید می‌باشد. به این ترتیب، نگرانی‌ها و محدودیت‌های آبی باید علاوه بر بخش کشاورزی، در سیاست‌های مربوط به دیگر حوزه‌ها نیز لحاظ شوند.

ما باید از یکپارچگی داخلی[1] در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، به یکپارچگی بیرونی[2] برسیم. هدف یکپارچگی درونی که در قلب آنچه به عنوان مدیریت یکپارچه منابع آب شناخته می‌شود، قرار دارد، هماهنگی بین سیاست‌های مختلف آبی است؛ به عنوان مثال، هماهنگی بین مدیریت منابع آب سطحی و منابع آب زیرزمینی، بین قوانین تنظیم دبی جریان و مدیریت کیفی آب و بین سیاست‌های تأمین و تقاضای آب. یکپارچگی بیرونی به معنی توجه به چالش‌های آبی در سیاست‌های مربوط دیگر حوزه‌ها می‌باشد. درست است که بخش زیادی از چالش‌های آبی را می‌توان با یک برنامه‌ریزی مکانی خوب و اصلاح سیاست‌های کشاورزی رفع نمود، اما توجه به مسأله‌ی آب در سیاست‌های دیگر حوزه‌ها نیز اهمیت بسیاری دارد؛ به عنوان مثال، توجه به مسایل آبی در حوزه‌ی انرژی بسیار مهم است. در حوزه‌ی انرژی، سیاست‌های مشوقی که باعثِ افزایش تولید سوخت‌های زیستی می‌شوند، قطعاً منتج به

1 Internal integration
2 External integration

افزایش چالش‌های آبی خواهند شد، زیرا نیاز آبی گیاهان مورد نیاز برای تولید این سوخت‌ها خیلی زیاد است. توجه به مسایل آبی در سیاست‌های حوزه‌ی انرژی منتج به انتخاب نوع و ترکیب بهتری از سوخت‌ها در آینده (مثل سرمایه‌گذاری روی سیستم‌های حمل و نقل الکتریکی) خواهد شد. همچنین، تعیین رابطه‌ی بین تجارت و شدت کمبود آب می‌تواند به اصلاح سیاست‌های تجاری کمک نماید. علاوه بر آن، با توجه به این مهم که حدود ۳۰ درصد از ردپای آب بشر مربوط به مصرف فرآورده‌های دامی است، اصلاح رژیم غذایی نقش مهمی در صرفه‌جویی آب خواهد داشت. اگرچه این مسأله به میزان مسئولیت‌پذیری تک‌تک مصرف‌کنندگان بستگی دارد، اما دولت هم می‌تواند نقش مهمی داشته باشد؛ مثلاً می‌تواند با ارتقای آگاهی در بین مردم، شفاف‌سازی اطلاعات کالاها و سیاست‌های مالیاتی کمک بسیاری به اصلاح رژیم غذایی نماید.

یکپارچگی و انسجام بین حوزه‌های مختلف با هدف توسعه‌ی سازگار با محیط زیست نیز یکی از رویکردهای مهم در برنامه‌های ۲۰۳۰[1] مربوط به سازمان ملل (تحت عنوان اقدام برای مردم، رفاه و سیاره)[2] برای توسعه‌ی پایدار است که در مجمع عمومیِ سال ۲۰۱۵ پذیرفته شد. در این برنامه، آب نقشی کلیدی برای دستیابی به اهدافِ تدوین شده دارد، زیرا هم مستقیماً روی زندگی مردم و طبیعت اثر می‌گذارد و هم ابزاری برای دستیابی به منافع اجتماعی و اکولوژیکی متعدد می‌باشد.

اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل

برنامه‌ی ۲۰۳۰ شاملِ ۱۷ هدف اصلی توسعه‌ی پایدار (SDGs)[3] با ۱۶۹ اقدامِ مشخص است که باید تا سال ۲۰۳۰ بدان‌ها دست یافت (UN, 2015a). حکمرانیِ خوب آب، یکی از پیش‌زمینه‌های لازم برای دستیابی به بسیاری از این اهداف، از جمله اهداف شماره‌ی ۲ درباره‌ی غذا، شماره‌ی ۷ درباره‌ی انرژی، شماره‌ی ۱۰ درباره‌ی توزیع عادلانه، شماره‌ی ۱۲ درباره‌ی تولید و مصرف مسئولانه و شماره‌های ۱۴ و ۱۵ درباره‌ی تنوع زیستی می‌باشد. هدف شماره‌ی ۶ (SDG6)، مشخصاً درباره‌ی آب است. دو اقدام اول در SDG6، دنباله‌ی همان اهداف بهبود آب آشامیدنی و ایجاد شرایط بهداشتیِ بهتر است که پیش‌تر در اهداف توسعه‌ی هزاره (MDG) سازمان ملل دنبال می‌شد، می‌باشند. موارد جدیدی که به SDG6 اضافه شده است شامل اقداماتی برای بهبود کیفیت آب، کاهش آلودگی، افزایش کارآیی مصرف آب، مدیریت بهتر آب، حفاظت از اکوسیستم‌ها، تقویت تعاملات بین‌المللی و توجه به جوامع محلی در حکمرانی آب می‌باشند. یکی دیگر از جنبه‌های نوین آن است که مخاطبِ اهداف توسعه‌ی پایدار، تمام

1 2030 Agenda
2 Plan of action for people, planet and prosperity
3 Sustainable Development Goals

کشورهای جهان می‌باشند، در حالی‌که MDG فقط روی کشورهای در حال توسعه تمرکز داشت. این مسأله در هدف شماره‌ی ۶ اهمیت زیادی دارد؛ زیرا، تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان در جوامع صنعتی نیز در برداشت بی‌رویه و آلودگی منابع آب سهیم هستند.

اجازه دهید توضیح دهم که چگونه ارزیابی ردپای آب می‌تواند به تعیین میزان دستیابی به SDG6 کمک نماید (Hoekstra *et al*., 2017; Vanham *et al*., 2018). اندازه‌گیری ردپای آب می‌تواند به تعیین میزان دستیابی به زیرهـدف‌های ۳-۶ و ۴-۶ از SDG6 کمک نماید (شکل ۱۴-۲). زیرهدف ۶-۳، که در خصوص کیفیت و آلودگی آب است، این‌گونه بیان شده است: "بهبود کیفیت آب به سبب کاهش آلودگی، حذف تخلیه آب آلوده به طبیعت و به حداقل رساندن دفع مواد شمیایی و خطرناک، نصف شدنِ سهم فاضلاب تصفیه‌نشده در کل و افزایش قابل ملاحظه‌ی بازیافت و استفاده‌ی مجدد و ایمن از آب در سطح جهان". زیرهدف ۴-۶، که درباره‌ی کارآیی مصرف آب و تنش آبی است، این‌گونه بیان شده است: "افزایش قابل ملاحظه‌ی کارآیی مصرف آب در تمامی بخش‌ها و اطمینان از برداشت پایدار از منابع آبی و تأمین آب شیرین برای مقابله با کم‌آبی و کاهش چشمگیر تعداد افرادی که از کمبود آب رنج می‌برند". هر دو زیرهدف ۳-۶ و ۴-۶ دارای مولفه‌های کارآمدی و پایداری هستند. ردپای آب می‌تواند برای تحلیل کارآمدی (با پاسخ به این سوال که وضعیت مصرف یا آلودگی آب در ازای هر واحد تولید چگونه است) و پایداری (با پاسخ به این سوال که آیا مجموع آب مصرفی از آب آبی پایدار موجود فراتر است و یا کل آلودگی دفع شده به طبیعت، از ظرفیت منابع آبی برای پالایش آن بیش‌تر هستند؟) استفاده شود. ردپای آب خاکستری، شاخص مناسبی برای تعیین میزان دستیابی به زیرهدف ۳-۶ و ردپای آب آبی، شاخص مهمی برای تعیین میزان دستیابی به زیرهدف ۴-۶ می‌باشند.

شکل ۱۴-۲. استفاده از شاخص ردپای آب برای پایش میزان دستیابی به زیرهدف‌های ۳-۶ و ۴-۶ در هدف شماره‌ی ۶ از اهداف توسعه‌ی پایدار سازمان ملل (Hoekstra et al., 2017)

یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف SDG6، نادیده گرفتنِ کارآیی مصرف آب سبز می‌باشد. این اشتباه است، زیرا، مصرف کارآمد آب سبز، نقش مهمی در افزایش تولیدات دیم داشته و در پی آن، نیاز به تولید محصولات آبی در حوضه‌هایی با مصارف ناپایدار آب آبی را کاهش می‌دهد. در پژوهشی جهانی، بیان شد که رفع خلا عملکرد در اراضی دیم با رساندن مقادیر واقعی محصول به حدود پتانسیلش می‌تواند میزان کالری تولیدی در این اراضی در مقایسه با سال ۲۰۰۰ را ۸۰ درصد افزایش دهذ (Pradhan *et al.*, 2015). این پژوهشگران همچنین بیان داشتند که این تکنولوژی در اراضی آبی، مجموع کالری تولیدی را تنها ۲۴ درصد افزایش خواهد داد. به این ترتیب، پتانسیل ارتقای بهره‌وری آب سبز (آب باران) بسیار بیش‌تر از پتانسیل ارتقای بهره‌وری آب آبی (آب آبیاری) می‌باشد.

یکی از دیگر از نقاط ضعف SDG6 آن است که علی‌رغم داشتنِ زیرهدف‌های مشخصی برای کارآیی مصرف آب و پایداریِ مصرف، به مسأله‌ی توزیع عادلانه‌ی آب توجهی ننموده است. این موضوعی است که در تحقیقات نیز کم‌تر بدان توجه شده است. ساده‌ترین کار، انجام پژوهش‌های مرتبط با کارآیی مصرف آب است؛ زیرا شاخص‌های متعددی در این زمینه ثبت شده است. با این حال، توجه اصلیِ محققان و سیاست‌مداران عمدتاً روی چگونگیِ ارتقای کارآیی مصرف آب از دیدگاه تولید بوده و این مسأله از دیدگاه مصرف و تجارت خیلی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش‌های مرتبط با پایداری مصرف آب، به دلیل توسعه‌ی مفهوم حداکثر ردپای آب پایدار برای هر منبع آبی و ایده‌ی

سقف‌گذاری ردپای آب، به سرعت در حال رشد است. یکی از موانع انجام پژوهش‌های مربوط به مصارف عادلانه‌ی آب آن است که در مقایسه با کارآیی و پایداری، عدالت یک مفهوم هنجاری‌تر است. تا وقتی به اصولی که باید حین تخصیص آب به‌کار گرفته شوند، توجهی نداشته باشیم، درک درستی از چالش‌های آبی نداشته و پیشنهادات ما برای حل آن، در حد اقداماتی برای ارتقای کارآیی مصرف آب در تولید باقی خواهد ماند.

فصل پانزدهم

اخذ حق تجارت[1]

1 Getting trade rights

اخیراً، تعیین ارتباط بین کمبود آب و مبادلات بین‌المللی، برای هر دو گروه کارشناسان آب و تجارت جذاب شده است. تاکنون، کارشناسان آبی توجهی به ارتباط بین میزان آب مصرفی در یک منطقه و صادرات و واردات به آن نداشتند. معمولاً از دیدگاه آنان، میزان نیاز آبی در یک منطقه، تنها به مقدار آب موجود و نیاز آبی مصرف‌کنندگان آنجا بستگی دارد. همزمان، اقتصاددانان نیز اثرات ناشی از تجارت‌های بین‌المللی بر بخش آب را نادیده می‌گیرند. دلیلش آن است که معمولاً، هزینه‌ی ناشی از مصرف آب، به ندرت در هزینه‌ی تولید کالاهای تجاری در نظر گرفته می‌شود. بی‌توجهی به این مسایل، چنین کارشناسان و اقتصاددانانی را به این نتیجه‌گیری می‌رساند که آب نمی‌تواند مولفه‌ی اثرگذاری بر الگوی تولید و تجارت باشد، اما در این نتیجه‌گیری، این واقعیت که دولت‌ها اغلب یارانه‌های قابل توجهی برای آب پرداخت می‌کنند، نادیده گرفته شده است. علاوه بر آن، این کارشناسان، هزینه‌های ناشی از تبعات منفی قابل‌توجهی که استفاده از آب می‌تواند به همراه داشته باشد را در نظر نمی‌گیرند. همچنین، آن‌ها حتی در شرایطی که کمبود آب خیلی شدید باشد، نیز نرخی به صورت نرخ کمبود آب را در ارزش‌گذاری آب وارد نمی‌کنند. به این ترتیب، وقتی تنها هزینه‌های کالاهای تجاری در نظر گرفته شود، این تصور به وجود می‌آید که آب واقعاً نمی‌تواند عامل محدودکننده‌ای برای تجارت این کالاها باشد.

معمولاً آب منبعی جهانی در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل، اگرچه در اغلبِ کشورها، بخش انرژی شامل نهادی برای مبادلات بین‌المللی نیز هست، در بخش آب چنین نهادی وجود ندارد. ابعاد بین‌المللی آب، تنها در مورد رودخانه‌های مرزی برای دولت‌ها به رسمیت شناخته شده است، اما ارتباط بین مبادلات بین‌المللی و مدیریت آب، چیزی نیست که مسئولان بخش آب خیلی بدان واقف باشند. احتمالاً دلیلش آن است که آب، به دلیل حجیم بودن، به شکل فیزیکیِ خود به صورت بین‌المللی مبادله نمی‌شود. علاوه بر آن، آب مالک خصوصی ندارد و به همین دلیل حتی نمی‌توان آن را در بازار معامله کرد (Savenije, 2002)، اما کارشناسان آبی از این واقعیت غافل هستند که آب می‌تواند با مبادله‌ی کالاهای کشاورزی و صنعتی، به شکل مجازی در جهان مبادله شود (Hoekstra and Hung, 2005; Chapagain and Hoekstra, 2008). اگرچه آب مجازی قابل رویت نیست، اما واردات آن ابزار موثری برای حفظ منابع آب داخلی در کشورهای کم‌آب محسوب می‌شود (Allan, 2003). یکی از اصولی که غالباً در مدیریت منابع آب وجود دارد، اصل تابعیت است[1] که بر اساسِ آن، مسائل مرتبط به آب باید در کوچک‌ترین سطح مکانی ممکن حل شود (GWP, 2000). وقتی مصارف آب در بالادست، مصارف پایین‌دست را متأثر می‌سازد، باید این چالش را در سطح حوضه‌ی آبریز حل نموده و آب را یکی از منابع

1 The subsidiarity principle

متعلق به این حوضه در نظر گرفت. اینکه آب یک منبع جهانی در نظر گرفته شود، بسیار ناملموس است. شبکه مشارکت جهانی آب[1] می‌نویسد:

> "به منظور دستیابی به مدیریت کارآمد، عادلانه و پایدار آب، یک تغییر نهادی اساسی نیاز است. مشارکت تمام ذی‌نفعان از خرد تا کلان (از سطح کشور گرفته تا سطوح شهر و روستاهای آن کشور، یا از سطح حوضه‌ی آبریز گرفته تا سطح زیرحوضه‌ها) باید ارتقا یابد. اصل تابعیت، که در آن، حل چالش را در کوچک‌ترین مقیاس مکانیِ ممکن توصیه می‌کند، باید در نظر گرفته شود (GWP, 2000)."

در این جملات، هیچ اثری از ابعاد جهانی حکمرانی آب دیده نمی‌شود. این در حالی است که در نظر گرفتن ابعاد ملی یا حوضه‌ای در مدیریت منابع آب، همیشه کافی نیست. بسیاری از چالش‌های آبی ناشی از مبادلات بین‌المللی هستند (Hoekstra and Chapagain, 2008). همان‌گونه که در فصل ۷ دیدیم، بهره‌برداری بی‌رویه از آب یارانه‌ای برای تولید پنبه‌ی صادراتی صورت گرفت. فصل ۹ نشان داد که چگونه کنیا با برداشت بی‌رویه از منابع آب خود در سواحل دریاچه‌ی نایواشا، گل‌های شاخه‌بریده با هدف صادرات به اروپا را تولید می‌کند. می‌توان مثال‌های بسیاری زد؛ مثلاً تایلند، به دلیلِ مصرف آب برای تولید برنج صادراتی، با کمبود آب مواجه شده است (Chapagain and Hoekstra, 2011)؛ یا به عنوان مثالی دیگر، بسیاری از رودخانه‌های چین، به دلیل ورود فاضلاب کارخانه‌هایی که کالاهای ارزانِ صادراتی برای بازارهای غربی تولید می‌کنند، به شدت آلوده شده است (Economy, 2004). نه فقط در چالش‌های آبی، که حتی در راه‌کارهایِ حل این چالش‌ها نیز مبادلات بین‌المللی دخیل هستند؛ به عنوان مثال، کشورهای بسیاری در خاورمیانه، نیازهای غذایی خود را از طریق واردات تأمین نموده و از این طریق، منابع آب محدود خود را حفظ می‌کنند (Hoekstra and Chapagain, 2008)؛ کشورهای مدیترانه‌ای، به دلیلِ تغییر اقلیم، با افزایش شدت کمبود آب مواجه شده و مجبور خواهند شد که میزان واردات کالاهای آب‌بر را افزایش دهند. ظاهراً ارتباط بین مسائلِ به ظاهر محلی یا کشوری آب با مبادلات بین‌المللی، عمیق‌تر از چیزی است که در ابتدا به نظر می‌رسید.

در این فصل، ابتدا ارتباط بین کمبود آب و مبادلات بین‌المللی بررسی شده و به دو سوال زیر پاسخ داده می‌شود: (الف) مبادلات بین‌المللی چه تاثیری بر منابع آب داخلی دارد؟ (ب) و برعکس، میزان موجودیت آب، چگونه مبادلات بین‌المللی را متأثر می‌سازد؟ پس از آن، پارادوکسی که بین کمبود آب و صادرات در برخی کشورها وجود دارد، بررسی خواهد شد؛ یعنی این مسأله که برخی کشورها، علی‌رغمِ مواجهه با کمبود آب شدید، هم‌چنان به صادرات کالاهای آب‌بر ادامه می‌دهند. سپس، ضرورتِ رسیدن

1 Global Water Partnership

به توافقی بین‌المللی روی ارزش‌گذاری صحیحِ آب بیان می‌شود. در ادامه، در خصوص تناقضی که بین اصل شفافیتِ ویژگی‌های محصول که به مصرف‌کنندگان، امکانِ تشخیصِ محصولات پایدار و غیرپایدار را می‌دهد و اصل عدم تبعیض –که یکی از بخش‌های اصلی در موافقت‌نامه‌های بین‌المللی است بحث خواهد شد. سپس، مباحثی روی این مشکل ارایه می‌شود که به‌رغمِ وجود قراردادهای بازرگانیِ بین‌المللیِ قوی، هیچ قرارداد بین‌المللی‌ای روی استفاده‌ی پایدار از منابع آبی وجود ندارد. همین مسأله باعث می‌شود که به لحاظ قانونی نتوان تجارت‌های بین‌المللی را بر اساسِ اصول پایداری‌ای که مورد توافق طرفین باشد، محدود نمود. در ادامه، ایده‌ی برچسب بین‌المللیِ آب برای کالاهای آب‌بر مطرح می‌شود. در انتها، به بحث پیرامون مذاکرات کنونی سازمان تجارت جهانی و فرصت‌ها و تهدیدهایِ مربوط به افزایش مبادلات بین‌المللی کالاهای آب‌بر پرداخته می‌شود.

اثر تجارت بین‌المللی بر منابع آب داخلی

یکی از اثرات بارز تجارت بین‌المللی کالاهای آب‌بر، ذخیره‌ی منابع آب داخلی در کشورهای واردکننده است. این اثر از اوسط دهه‌ی ۱۹۹۰ مورد بحث قرار گرفت (Allan, 2003; Hoekstra, 2003). میزان آبی که به‌واسطه‌ی واردات ذخیره می‌شود را می‌توان از حاصل‌ضرب میزان واردات کالا در حجم آبی که برای در صورت تولیدِ این کالاها در کشورِ واردکننده لازم می‌بود، به دست آورد. یکی دیگر از جنبه‌های مبادلات بین‌المللی کالاهای آب‌بر، مصرف آب در کشورهای صادرکننده برای تولید کالاهای صادراتی و خارج شدن این میزان آب از دسترس دیگر اهداف داخلی آن کشور است. همچنین، هزینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطیِ ناشی از مصرف آب برای تولید این کالاها تنها به کشورهای صادرکننده تحمیل می‌شود. این هزینه‌ها، در تعیین قیمت محصولی که باید توسط مصرف‌کنندگان در کشورهای واردکننده پرداخت شود، لحاظ نشده است.

در بسیاری از کشورها، مبادلات بین‌المللیِ محصولات کشاورزی و صنعتی، باعثِ کاهش موثرِ نیازهای آبی داخلی می‌شود (جدول ۱–۱۵). این کشورها، کالاهای آب‌بر را وارد، و کالاهایی که در پروسه‌ی تولید به آب کم‌تری نیاز دارند را صادر می‌کنند. در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، ژاپن، که بزرگ‌ترین واردکننده‌ی خالص آب مجازی در جهان بود، به سبب مبادلات بین‌المللی، سالانه ۱۳۴ میلیارد مترمکعب آب در کشور خودش ذخیره کرد (Mekonnen and Hoekstra, 2011b). این میزان آب، بیش از سه برابرِ ردپای آبی است که سالانه داخل کشور ژاپن از منابع داخلی‌شان مصرف می‌شود (۴۲ میلیارد مترمکعب) و اگر قرار بود ژاپن، این کالاهای وارداتی را نیز خودش تولید کند، ردپای آبش به ۱۷۶ میلیارد مترمکعب در سال (۴۲+۱۳۴) می‌رسید. با منطقی مشابه، مالتا نیز به‌واسطه‌ی تجارت‌های

بین‌المللی کالاها، ۰/۹ میلیارد مترمکعب آب در سال ذخیره کرد که این میزان، ۱۰ برابر بیش‌تر ردپای آب داخلی این کشور است.

بنابراین، ساکنان مالتا، و کشورهای دیگری مانند لیبی، کویت، ژاپن، یمن و اسرائیل، به این دلیل زنده می‌مانند که بخش زیادی از ردپای آب مورد نیاز آن‌ها، در نقاط دیگری از جهان قرار دارد نه در کشور خودشان. تجارت عاقلانه می‌توان تا حدی معضل کمبود آب در این کشورها را حل کند: آن‌ها کالاها و خدماتی را صادر می‌کنند که آب کم‌تری به ازای هر واحد ارزش افزوده‌ی تولیدی مصرف می‌کنند و در عوض، محصولاتی را وارد می‌کنند به ازای هر واحد ارزش افزوده‌ی تولیدی، به حجم آب بیش‌تری نیاز خواهند داشت. بنابراین، ذخیره‌ی منابع آب داخلی در کشورهای نسبتاً کم آب به دلیل واردات کالاهای آب‌بر، موضوع بسیار جذابی به نظر می‌رسد، اما باید چند نکته‌ی مهم را در خاطر داشت. اول آن‌که، آبی که به‌واسطه‌ی واردات در کشور ذخیره می‌شود، باید به گونه‌ای مصرف شود که درآمد ارزیِ کافی برای واردات مواد غذاییِ آب‌بر ایجاد نماید، زیرا در غیراین‌صورت، آن کشور کم‌آب مجبور خواهد شد این کالاها را خودش تولید کند. برخی از کشورهای کم‌آب در دنیا، غنی از منابع نفتی بوده و با فروش آن‌ها می‌توانند هزینه‌های مربوط به واردات کالاهای آب‌بر از کشورهای دیگر را پرداخت کنند. این در حالی است که بسیاری از کشورهای کم‌آب دنیا، توانِ صادراتِ انرژی، خدمات یا کالاهای صنعتی با هدفِ تأمین ارز کافی برای وارداتِ مواد غذایی آب‌بر را ندارند. دوم آن‌که، واردات مواد غذایی، خطر کاهش خودکفایی در تولید را به همراه خواهد داشت. مسأله‌ی خودکفایی، نقش مهمی در ملاحظات سیاسی کشورهایی همچون چین، هند و مصر دارد (Roth and Warner, 2007). سوم آن‌که، افزایش واردات، بخشِ کشاورزی را متأثر ساخته و باعث افزایش نرخ شهرنشینی خواهد شد، زیرا واردات، تعداد شاغلان در بخش کشاورزی را کاهش خواهد داد. این مسأله همچنین می‌تواند منتهی به نابسامان‌تر شدن وضعیت اقتصادی و سوءمدیریت اراضی در مناطق روستایی شود. چهارم آن‌که، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه‌ی کم‌آب دنیا، وقتی واردات شامل آن دسته از مواد غذایی باشد که در آن کشور، توسط کشاورزانی تولید می‌شده که با آن امرار معاش می‌کردند، ترویج واردات مواد غذایی می‌تواند معیشت این قبیل کشاورزان را به خطر انداخته و دسترسی آن‌ها به مواد غذایی را به دلیلِ کاهش استطاعت مالی‌شان، کاهش دهد. نکته‌ی آخر آن‌که، افزایش مبادلات آب مجازی با هدف استفاده‌ی بهینه از منابع آب جهان می‌تواند بارِ زیست‌محیطی بر منابعِ آب کشورهای کم‌آب را کاهش دهد اما همزمان، این فشارِ اضافی بر منابع آب کشورهای دیگری تحمیل خواهد شد که به تولید کالاهای آب‌بر صادراتی مشغولند.

جدول ۱۵–۱. نمونه‌هایی از کشورهایی که با تبادلاتِ بین‌المللی در دوره‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، منابع آب داخلی خود را حفظ نمودند (Mekonnen and Hoekstra, 2011b)

کشور	کل ردپای آب داخلی کشور (میلیارد مترمکعب در سال)	میزان صرفه‌جویی خالص در مصرف منابع آب داخلی به‌واسطه‌ی تجارت کالاها				صرفه‌جویی خالص آب به‌واسطه‌ی تجارت به صورت درصدی از کل ردپای آب داخلی کشور
		به‌واسطه‌ی تجارت محصولات زراعی	به‌واسطه‌ی تجارت محصولات دامی	به‌واسطه‌ی تجارت کالاهای صنعتی	کل تجارت	
مالتا	۰/۰۹	۰/۶	۰/۳	۰/۰۰۵	۰/۹	۱۰۵۹
لیبی	۵/۳	۱۰	۲۹	−۰/۱	۳۹	۷۴۵
کویت	۰/۵۷	۲/۳	۰/۹۴	−۰/۰۹	۳/۲	۵۶۳
اردن	۱/۴	۶	۰/۹	۰/۱۵	۷/۱	۴۹۲
یمن	۷/۷	۱۱	۱۶	−۰/۰۳	۲۷	۳۵۴
اسرائیل	۴	۱۱	۲/۴	۰/۰۴	۱۳	۳۳۷
ژاپن	۴۲	۱۲۳	۱۴	−۲/۵	۱۳۵	۳۱۷
جمهوری کره	۲۰	۴۳	۵/۵	−۰/۵۳	۴۸	۲۴۸
قبرس	۰/۹	۱/۶	۰/۱	۰/۰۸	۱/۸	۱۸۲
لبنان	۴	۲/۳	۲/۴	۰/۲	۴/۹	۱۳۸
عربستان صعودی	۱۵	۱۷	۳/۳	−۰/۶۶	۲۰	۱۲۹
ایتالیا	۷۰	۳۵	۱۹	−۰/۳۶	۵۴	۷۶
مراکش	۳۷	۲۷	۰/۳	۰/۱	۲۷	۷۴
مکزیک	۱۴۹	۶۴	۱۹	۰/۱۳	۸۳	۵۶
پرو	۲۶	۱۱	۰/۵	۰/۰۲	۱۲	۴۶
اسپانیا	۸۲	۲۹	۰	۰/۹۱	۳۰	۳۷
یونان	۱۸	۰/۵	۵/۲	۰/۸۴	۶/۵	۳۷
عراق	۳۶	۱۳	۱/۱	−۳/۵	۱۱	۳۰
ایران	۱۱۳	۲۳	۰/۶	−۰/۲۶	۲۴	۲۱
شیلی	۱۶	۲/۹	۰/۱	−۰/۰۹	۲/۹	۱۹
مصر	۶۹	۱۲	−۰/۵	۰/۳۶	۱۲	۱۷

قطعاً صادرات کالاهای آب‌بر با افزایشِ نیاز آبی در کشور صادرکننده همراه خواهد بود. در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۵–۱۹۹۶، ۱۹ درصد از کل آب مصرفی در جهان، نه برای تأمین مصارفِ داخلیِ کشورها، که با هدف صادرات کالاها به کشورهای دیگر استفاده شد (Mekonnen and Hoekstra, 2011b). کشورهایی که بیش‌ترین میزان آب را برای تولید کالاهای صادراتی مصرف کردند اغلب در شمال و جنوب آمریکا (آمریکا، کانادا، برزیل و آرژانتین)، آسیای جنوبی (هند، پاکستان، اندونزی و تایلند) و استرالیا قرار داشتند. حتی با این فرض که به طور میانگین، تولید کالاهای صادراتی در مقایسه با تولید کالاها برای مصارف داخلی، چالش‌های آبی (مثل کاهش یا آلودگی منابع آبیِ موجود) را بیش‌تر یا کم‌تر نمی‌کند، باز هم یک‌پنجم از چالش‌های آبی در جهان به دلیلِ تولید کالاهای صادراتی می‌باشد. مصرف‌کنندگان این قبیل کالاها، به دلیلِ فاصله‌ای که با محل تولید آن‌ها دارند، از اثراتی که الگوی مصرفی‌شان بر بروز چالش‌های آبی در محل تولید کالاهای صادراتی خواهد داشت، درکی ندارند. در حقیقت، این مصرف‌کنندگان نهایی هستند که از صادرات کالاهای آب‌بر، منتفع می‌شوند، در حالی‌که به دلیلِ ارزش‌گذاری ناصحیحِ آب و کم‌برآورد نمودن قیمت واقعی‌اش، همواره فقط تولیدکنندگان متضرر می‌گردند. از دیدگاه منابع آبی، صادرکنندگان ابتدا باید میزان آب مصرفی در پروسه‌ی تولید کالاهای صادراتی را تعیین نموده و سپس با توجه به این واقعیت که منابع ارزی حاصل از صادرات معمولاً بخش زیادی از هزینه‌های مرتبط با مصارف منابع آب داخلی را تأمین نمی‌کند، بررسی نمایند که آیا صادرات آن‌ها، سیاستی مناسب است یا خیر. احداث سدها و شبکه‌های آبیاری و هزینه‌های تعمیر و نگهداری از آن‌ها، اغلب به عهده‌ی دولت‌هاست. همچنین، اثرات منفیِ تحمیل شده بر پایین‌دستِ این قبیل سدها و شبکه‌های آبیاری، و هزینه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از آن‌ها نیز در قیمتِ کالاهای صادراتی لحاظ نمی‌شود.

تجارت بین‌المللی باعثِ بروز پدیده‌ی دیگری نیز می‌شود: چرخه‌ی طبیعیِ عناصری همچون نیتروژن و فسفر، به دلایلی همچون بهره‌برداری بی‌رویه از منابع خاک، کوددهی بیش از حد، حمل و نقل مواد غذایی و علوفه‌های دامی در مسیری طولانی و دفع زباله‌های غنی از مواد مغذی در نواحی پرجمعیت جهان، بهم می‌خورد (Grote *et al*., 2005). این موضوع باعث دفع منابع مغذی خاک در برخی نواحی (Sanchez, 2002; Stocking, 2003) و بروز پدیده‌ی اتروفیکاسیون در منابعِ آبی در دیگر نواحیِ جهان (McIsaac *et al*., 2001; Tilman *et al*., 2001) شده است؛ به عنوان مثال، وجود عناصر مغذیِ اضافی در منابع آب هلند، تا حدی به دلیلِ جنگل‌زدایی، فرسایش و تخریب خاک در مکان‌هایی است که غذا و علوفه را به این کشور صادر می‌کنند؛ مانند برزیل که بخش زیادی از سویای تولیدی در کشورش را جهت تأمین خوراک خوک‌ها و مرغ‌های هلندی به این کشور صادر

می‌کنند. بنابراین، نمی‌توان گفت که عناصر مغذیِ اضافه در کشور هلند، تنها یک مسأله‌ی ملی است. آلودگی منابع آب هلند، بخشی از اقتصاد جهانی است.

تجارت بین‌المللی، تنها به دلیل به‌هم زدن چرخه‌ی طبیعی عناصر مغذی نیست که باعث تخریب کیفی منابع آب جهان می‌شود. یکی از پژوهشگران نشان داد که این تجارت، زمینه‌ی ورودِ مواد دیگری را نیز به طبیعت فراهم می‌کند که می‌تواند کیفیت رودخانه‌های جهان را تخریب کند (Meybeck, 2004). نریاگو و پاسینا، تاثیر استفاده از فلزات کمیاب در اقتصاد جهانی بر منابع آب جهان را بررسی نمودند (Nriagu and Pacyna, 1988). نگاهی به گزارشاتی که به طور منظم در خصوص آلودگی منابع آب جهان منتشر می‌شود نشان می‌دهد که آلودگی، به خودیِ خود یک بحث جدید نیست؛ لکن آنچه این روزها به تدریج در حال آشکار شدن بوده و نوین محسوب می‌شود، آن است که نمی‌توان آلودگی را یک معضل ساده‌ی جهانی قلمداد نمود، زیرا آلودگی به سرعت در حال انتشار در سطح جهان بوده و به شدت به چگونگیِ چرخش اقتصادِ جهانی بستگی دارد. به همین دلیل، آلودگی یک معضلِ جدیِ جهانی است. آلودگی آب، به حدی با نظام اقتصادی جهان در هم تنیده است که نمی‌توان آن را به صورت مستقل و بدون نگاهی به اقتصاد جهانی حل کرد. در حقیقت، شاید بتوان با اقداماتی موثر، معضلِ آلودگیِ ایجاد شده در محلی را به صورت موضعی مرتفع نمود، اما برای ریشه‌کن کردن اصولی آن، باید با رویکردی علت‌محور، به دنبال پیدا کردن ریشه‌های اصلیِ پیدایش آلودگی و مهار آن بود و برای این کار، نیاز به تبیین و اجرای قوانینی در اقتصاد جهانی با هدف حفظ چرخه‌ی طبیعیِ عناصر در حد پایدار آن‌ها می‌باشد.

تاثیر میزان آب پایدار موجود بر تجارت بین‌المللی

اگرچه مطالعات گسترده‌ای در خصوص تجارت‌های بین‌المللی صورت گرفته است، اما پژوهش‌های محدودی برای یافتنِ پاسخِ این سوال وجود دارد که تا چه حد مبادلات بین‌المللی، متأثر از میزان موجودیت و بهره‌وری آب در مناطق مختلف است. معمولاً ارتباط تجارت بین‌المللی با مولفه‌هایی همچون بهره‌وری نیروی کار، موجودیتِ زمین، یارانه‌های پرداختی در بخش کشاورزی، مالیات‌های واردات، مازادِ تولید و یارانه‌های صادرات و غیره بررسی شده است. بر اساسِ تئوریِ تجارت بین‌المللی (Ricardo, 1821)، کشورها تنها در شرایطی از تجارت منتفع می‌شوند که محصولاتی که دارای مزیت نسبی هستند، را تولید نموده و در عوض، محصولاتی که فاقد این مزیت هستند، را وارد نمایند. با بیانِ فنیِ دقیق‌تر، اقتصاددانان می‌گویند: زمانی تولیدِ محصول در یک کشور دارای مزیت نسبی است که

بهره‌وری کل عوامل[1] آن محصول بالا باشد. بهره‌وری کل عوامل، شاخصی است که ارتباط بین خروجی و تمامِ عوامل موثر ورودی روی آن (مثل نیروی کار، زمین و آب) را بررسی می‌کند. یکی از مدل‌هایی که با آن می‌توان مزیت نسبی را بررسی نمود، مدل Heckscher-Ohlin است که در اوایل قرن پیش توسعه داده شد. در این مدل، تغییراتِ مکانیِ بهره‌وری کل عوامل در کشورهای مختلف در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه فراوانی و شدت عوامل در پروسه‌ی تولید کالاها لحاظ می‌شود. بر اساس مدل Heckscher-Ohlin، کشورهایی در تولیدِ یک کالا مزیت نسبی دارند که از عواملی[2] که بیش‌ترین فراوانی را در کشورشان دارد، با بیش‌ترین شدت در تولید آن کالا استفاده کنند. هیچ مدلی جامع نیست: در تئوری مدل Heckscher-Ohlin گفته شده که کالاهایی باید در کشور تولید و صادر شود که در تولیدشان، عواملی که بیش‌ترین فراوانی در آن کشور دارد، به کار گرفته می‌شود و هیچ صحبتی از بهره‌وری این عوامل نیست، در مقابل، تئوری مدل بر این اصل استوار است که بهتر است کشورها روی تولید کالاهایی تمرکز کنند که بهره‌وری (یعنی میزان خروجی به ازای هر واحد ورودیِ مصرفی) بالایی دارند، اما ایده‌ی کلی در هر دو مدل مشخص است: تفاوت شرایطِ تولید در کشورها، فرصتِ تولید برخی کالاها را به برخی کشورها و تولیدِ برخی دیگر را به کشورهای دیگر می‌دهد و این مسأله، باعث سودِ متقابل در تجارت می‌شود. از دیدگاه آب، کشورهایی که آب بیش‌تر، یا بهره‌وری آب نسبتاً بالاتر (یعنی خروجی بیش‌تر به ازای هر واحد آب مصرفی) و یا هر دو مورد را دارند، مزیت نسبی در تولید و صادرات کالاهای آب‌بر را دارند.

ارایه‌ی یک مثال ساده می‌تواند به درک ایده‌ی مزیت نسبی کمک کند. اجازه دهید نگاهی به دو کشور و دو گیاه داشته باشیم و فرض کنیم که بهره‌وریِ این دو گیاه و همچنین مقدار آن‌ها در دو کشور، با هم فرق دارد. برای ساده‌سازی مثال، فرض کنیم که آب، تنها عامل ورودیِ موثر در تولید است. به ازای هر مترمکعب آب مصرفی، می‌توان ۰/۳ کیلوگرم پنبه در کشور "الف "، و ۰/۱ کیلوگرم از آن در کشور "ب "تولید نمود. کشت جایگزین برای پنبه در هر دو کشور، برنج است. بهره‌وری آب شلتوک در کشورهای" الف "و "ب "، به ترتیب ۰/۶ و ۰/۵ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی است. اگر اختلاف بهره‌وری‌ها مدنظر قرار بگیرد، خواهیم دید که کشور الف، بهره‌وری‌های آب بالاتری هم در کشت پنبه و هم در کشت برنج دارد، بنابراین ممکن است این‌گونه نتیجه‌گیری نمود که این کشور، برای تولید هر دو محصول، مزیت مطلق دارد، اما وقتی صحبت از تجارت می‌شود، باید مزیت نسبیِ کشورها ملاک قرار بگیرد. بنابراین باید هزینه‌های فرصت در مصرف آب را نیز در نظر بگیریم. اگر یک

1 Total factor productivity

۲ منظور عوامل ورودی است؛ مثل آب، زمین، نیروی کار و غیره.

مترمکعب آب در کشور الف مصرف شود، ۰/۳ کیلوگرم پنبه تولید خواهد شد، اما اگر همین میزان آب برای تولید برنج مصرف شود، ۰/۶ کیلوگرم محصول تولید خواهد شد. به این ترتیب، هزینه‌ی فرصت به ازای تولید یک کیلوگرم پنبه، دو کیلوگرم برنج خواهد بود (یعنی اگر یک کیلوگرم پنبه تولید نمی‌شد، با آن آب می‌شد دو کیلوگرم برنج تولید کرد). به طور مشابه، هزینه‌ی فرصت در تولید یک کیلوگرم پنبه، پنج کیلوگرم برنج است. از آنجایی که هزینه‌ی فرصت در تولید پنبه در کشور الف کم‌تر است، این کشور در تولید پنبه مزیت نسبی دارد. برعکس، کشور ب باید روی تولید برنج متمرکز شود، زیرا هزینه‌ی فرصت در تولید یک کیلوگرم برنج، تنها ۰/۲ کیلوگرم پنبه است، در حالی که این هزینه کشور الف، ۰/۵ کیلوگرم پنبه است. به این ترتیب، می‌گوییم کشور "الف"، دارای مزیت نسبی در تولید پنبه، و کشور "ب"، دارای این مزیت در تولید برنج است، اما نباید فراموش کرد که پتانسیلِ تجارت تنها به تفاوت بهره‌وری‌ها در کشورهای مختلف بستگی ندارد (در مثال بالا فقط به اختلاف بهره‌وری‌ها در تعیین مزیت نسبی توجه کردیم)، بلکه میزان موجودیت آب آبی پایدار در هر کشور نیز مهم است. علاوه بر آن، قضیه وقتی پیچیده‌تر می‌شود که بدانیم تنها با دو کشور و دو محصول و یک عامل ورودیِ اثرگذار بر بهره‌وری مواجه نیستیم، بلکه با تعداد زیادی کشور، محصولات مختلف و عواملِ گوناگونی که بهره‌وری را متأثر می‌سازند، سر و کار داریم. این‌که تا چه اندازه موجودیت آب آبی و بهره‌وری آن در تعیین اقتصادی‌ترین نوعِ تجارت معیار قرار بگیرد، به این مهم بستگی دارد که آب، چه‌قدر در مقایسه با دیگر عواملِ موثر بر بهره‌وری کل، کمیاب‌تر باشد.

شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد کمبود آب، روی تجارت بین‌المللی موثر است. یانگ و همکاران نشان دادند که واردات غلات، نقش مهمی در جبران کمبود آب در بسیاری از کشورهای کم‌آبِ جهان دارد (Yang *et al*., 2003, 2007). نتایجِ آن‌ها ثابت کرد که وقتی موجودیت آب آبی از حد آستانه‌ای کم‌تر باشد، ارتباط معکوسی بین میزان واردت غلات و سرانه‌ی آب تجدیدپذیر وجود خواهد داشت. در اوایل دهه‌ی ۱۹۸۰، این حد آستانه برابر با ۲۰۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر در سال بوده و در اواخر دهه‌ی ۱۹۹۰، به ۱۵۰۰ مترمکعب به ازای هر نفر کاهش پیدا کرد. کشورهایی که سرانه‌ی آب تجدیدپذیر آن‌ها از این حد کم‌تر باشد، نمی‌توانند بدونِ واردات، نیازهای غذایی خود را تأمین کنند. حد آستانه‌ی سرانه‌ی آب تجدیدپذیر، به دلیلِ بهبودِ بهره‌وری و در پی آن گسترش اراضی فاریاب، کاهش پیدا کرد. چوچانه و همکاران نشان دادند که با کاهش سرانه‌ی آب تجدیدپذیر به کم‌تر از حدی معین، میزان واردات مواد غذایی به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد (Chouchane *et al*., 2018). ایشان پیش‌بینی کردند که در مقایسه با دوره‌ی زمانیِ ۲۰۱۰–۲۰۰۱، تنها به سبب افزایش جمعیت در کشورهای کم‌آب، میزان مبادلات بین‌المللی گیاهانی اساسی با هدف تأمین غذاهای اصلیِ مردم در ۴۲

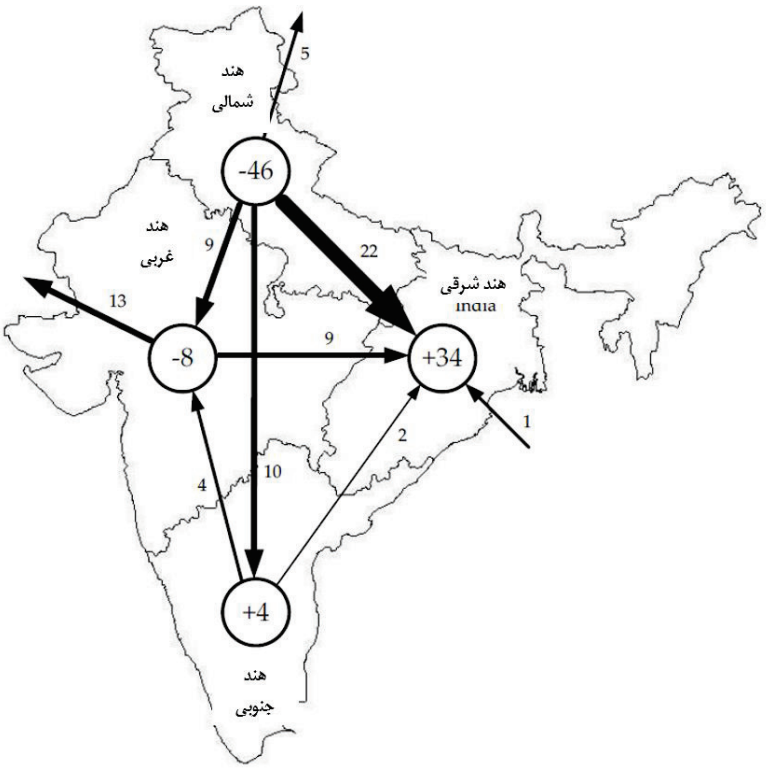
کشور کم‌آب جهان تا سال ۲۰۵۰، بین ۱/۴ تا ۱/۸ برابر افزایش دهد. لازم به ذکر است که مکانیسم‌هایی که به‌واسطه‌ی آن‌ها، تفاوت شدت کمبود آب در کشورهای مختلف جهان روی روند کنونی تجارت‌های بین‌المللی اثر می‌گذارد، مکانیسم قیمتی نیست. آب در نواحی کم‌آب، قیمت بالاتری در مقایسه با نواحی پرآب ندارد؛ آب در کل جهان غالباً یا رایگان است و یا قیمتش، بسیار کم‌تر از ارزش واقعی آن می‌باشد؛ بنابراین، کمبود آب، به عنوان عاملی در تعیین قیمت کالاهای موردِ معامله به کار گرفته نمی‌شود. بنابراین، عاملی که بازار تجارت در کشورهای کم‌آب را کنترل می‌کند،، قیمت آب نیست؛ بلکه محدودیت‌های فیزیکی است: منابع آبی در برخی کشورها، برای تولید غذای مورد نیاز مردم کافی نیست و همین محدودیتِ فیزیکی منابع آب، واردات غذا را اجتناب‌ناپذیر می‌نماید.

کمبود آب در کشورهای واردکننده می‌تواند به عنوان عامل اصلیِ واردات کالاهای آب‌بر در نظر گرفته شود، ولی در واقعیت، غالباً عوامل دیگری هستند که در این زمینه نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (Yang *et al*., 2003; De Fraiture *et al*., 2004). تجارت بین‌المللی کالاهای کشاورزی علاوه بر تفاوت میزان آب در دسترس در کشورهای مختلف، به عوامل متعدد دیگری، مانند موجودیت اراضی، نیروی کار، دانش، سرمایه و اختلاف میزان بهره‌وری‌های اقتصادی در بخش‌های مختلف نیز بستگی دارد (Wichelns, 2010). همچنین، یارانه‌های داخلی، یارانه‌های صادرات یا مالیات‌های واردات نیز می‌تواند روی الگوی تجارتِ کشورها اثر بگذارد. در نتیجه، الگوی تجارت آب مجازی نمی‌تواند (یا فقط تا حدی می‌تواند) بر اساسِ اختلاف میزان آب در دسترس و یا بهره‌وری آب تفسیر شود.

پارادوکس کمبود آب و صادرات

ارتباط بین میزان آب در دسترس و تجارت می‌تواند غیرمنطقی و دارای پارادوکس باشد؛ به عنوان مثال، سرانه‌ی آب تجدیدپذیر در چین شمالی بسیار کم‌تر از چین جنوبی است؛ با این وجود، سالانه مقدار قابل‌توجهی غذا از چین شمالی به چین جنوبی صادر می‌شود (Ma *et al*., 2006). مجموع صادرات آب مجازی از چین شمالی به جنوبی در سال ۱۹۹۹، ۵۲ میلیارد مترمکعب برآورد شد. قطعاً این مسأله، باعث تشدید چالش‌های آبی در چین شمالی شد. نمونه‌ی دیگری را می‌توان در هند مشاهده کرد. در این کشور، سرانه‌ی آب تجدیدپذیر درایالات شمالیِ پونجاب، اوتارپاردش و هاریانا نسبتاً کاهش یافته است. با این وجود، این ایالت‌ها سالانه حجم زیادی آب برای تولید غذایی مصرف می‌کنند که در نهایت، به ایالت‌های شرقیِ بیهار، جارکند و اوریسا صادر می‌شود، در حالی‌که آن‌ها آب بیش‌تری در مقایسه با ایالات شمالی دارند (Kampman *et al*., 2008; Verma *et al*., 2009). در طول سال‌های ۱۹۹۷–۲۰۰۱، صادرات خالص آب مجازی از هند شمالی به شرقی، ۲۲ میلیارد مترمکعب در سال بود

(شکل ۱۵–۱). با دلایل ساده نمی‌توان پارادوکسی که بین میزان آب موجود و الگوی تجارت در کشورهایی مثل چین و هند وجود دارد را توجیه نمود، زیرا عوامل مختلفی از جمله مسایل تاریخی، سیاسی و اقتصادی در شکل‌گیریِ این الگو دخیل هستند. یکی از عواملی که می‌تواند در شکل‌گیریِ چنین الگویی موثر باشد، انگیزه‌ی بالاترِ مردم برای ارتقای بهره‌وری آب در نواحی کم‌آب است. با سرمایه‌گذاری‌های هنگفتی که روی ارتقای بهره‌وری در این مناطق شکل می‌گیرد، تولید محصول در این نواحی برای مردم جذاب‌تر شده و در نتیجه، نرخ کمبود آب افزایش می‌یابد. این موضوع در هند مصداق دارد زیرا بهره‌وری آب در هند شمالی، بیش‌تر از هند شرقی بوده و باعث شده علی‌رغم کم‌تر بودن آب در دسترس در هند شمالی، صادرات غذا از این ایالات به هند شرقی صورت بگیرد.



شکل ۱۵–۱. جریان خالص آب مجازی بین چهار ناحیه‌ی اصلیِ هند بر حسب میلیارد مترمکعب در سال در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱–۱۹۹۷ (Kampman *et al*., 2008).

معمولاً در پیش‌بینی‌هایی که برای الگوهای تجارت بین‌المللی صورت می‌گیرد، آب یک عامل مهم محدودکننده‌ی تولید نادیده گرفته می‌شود. در نتیجه، پیش‌بینیِ برخی سناریوها آن است که میزان تولیدِ محصولات کشاورزی در مناطقی از جهان که در حال حاضر، به شدت کم‌آب بوده و یا حتی بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب در آن‌ها صورت می‌گیرد، افزایش خواهد یافت. لیائو و همکاران با بررسی اثرات آزادسازی تجارت پس از ملحق شدن چین به سازمان تجارت جهانی در سال ۲۰۰۱، این مسأله را برای کشور چین بررسی کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که پیش‌بینی‌های موجود در خصوص الگوی تولید و صادرات محصولات کشاورزی در این کشور، که در آن‌ها آب عاملی در تولید در نظر گرفته نشده است، واقعی نیست. اگر آب عامل محدودکننده‌ی تولید در نظر گرفته شود، خواهیم دید که میزان واردات غلات به چین در آینده، بیش‌تر از چیزی خواهد بود که تصور می‌شود؛ و یا در خوش‌بینانه‌ترین حالت، به دلیلِ افزایشِ صادراتِ سبزیجات، شرایط کمی بهبود خواهد یافت.

ارزش‌گذاری آب

یکی از مسایل اساسی که حین صحبت در خصوص حکمرانیِ صحیحِ آب و مبادلات بین‌المللی باید در نظر گرفته شود، این واقعیت است که قیمت‌ها در بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشاورزی به شدت غیرواقعی است. از آنجایی‌که ۹۲ درصد از کل آب مصرفی در جهان مربوط به بخش کشاورزی است (Mekonnen and Hoekstra, 2011b)، این مسأله برای آب مصداق دارد. این نابسامانیِ شرایط، به دلیلِ تمام یارانه‌هایی است که در تمامیِ کشورها به صورت مستقیم یا غیرمستقیم و به شکل‌های مختلف به بخش کشاورزی اختصاص می‌یابد. این مسأله به خوبی شناخته شده است اما، بحث‌ها اغلب پیرامونِ یارانه‌هایِ تخصیص‌یافته به کشاورزان و یارانه‌های صادرات و مالیاتِ واردات است، اما کم‌توجهی به این واقعیت باعث شده که قیمتِ واقعی آب، به عنوانِ یک عامل ورودیِ مهم در بخش کشاوری، کم‌برآورد می‌شود. نتیجه‌ی چنین واقعیتی، صادرات حجم زیادی از کالاهای آب‌بر از مناطقی خواهد بود که به شدت کم‌آب بوده و این مسأله، باعث بهره‌برداری بی‌رویه و ناپایدار آب در این مناطق می‌شود. در نتیجه، تجارت غیراصولی آب مجازی شکل می‌گیرد. اگر آب به درستی ارزش‌گذاری نشود، حتی آزادسازی تجارت نیز نمی‌تواند باعثِ تولید و تجارتِ بهینه از دیدگاه آب شود.

رسیدن به یک توافق جهانی روی تدوین ساختاری صحیح برای ارزش‌گذاری آب، به نحوی که تمامی هزینه‌های مرتبط با مصرف آب (اعم از هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر و نگهداری، نرخ کمبود آب، و هزینه‌های اثرات جانبیِ منفیِ ناشی از مصرف آب) در تعیین قیمت واقعی آن لحاظ شده باشد، ضروری است (Hoekstra and Chapagain, 2008; Hoekstra, 2011a). بدونِ داشتنِ قرارداد و

معاهده‌ای بین‌المللی در خصوص ارزش‌گذاری صحیحِ آب، نمی‌توان به دستیابی به الگوی پایدار و کارآمد مصرف آب در جهان امیدوار بود. لزومِ تخمینِ قیمت واقعی آب، از زمانِ برگزاری کنفرانس دوبلین در سال ۱۹۹۲ به رسمیت شناخته شده است (ICWE, 1992). یک مجمع جهانیِ اداری که می‌تواند فرصتی برای رسیدن به این توافق باشد، مجمع جهانی آب است که به صورت مرتب برگزار می‌شود (Marrakech 1997, The Hague 2000, Kyoto 2003, Mexico City 2006, Istanbul 2009, Marseille 2012, Daegu/Gyeongbuk 2015, Brasilia 2018)، اما تاکنون از این مجامع، برای رسیدن به توافق روی پایه‌ریزیِ ارزش‌گذاری صحیح آب که در آن، آب یک کالای اقتصادی کمیاب در نظر گرفته شود، استفاده نشده است.

مجامع جهانی آب تحت نظر سازمان ملل نیستند. مجامع دیگری که می‌توان در آن‌ها به بحث پیرامون ارزش‌گذاری جهانی آب پرداخت عبارتند از: مجمع آب سازمان ملل و مجمع سیاسیِ عالی‌رتبه‌ی سازمان ملل در خصوص توسعه‌ی پایدار.

واگذاری اجرای اصل "آب، یک کالای اقتصادی است" به کشورها بدون داشتنِ پروتکلی بین‌المللی در خصوص چگونگیِ اجرای آن نمی‌تواند کافی باشد، زیرا ممکن است اجرای یک‌جانبه‌ی این اصل، باعث شکست دولت‌ها و در نهایت، ادامه‌ی روند فعلی‌شان شود. وقتی کشوری بخواهد یک‌جانبه و بدونِ همراهیِ دیگر کشورها، ارزش واقعی کالاهای آب‌برِ خود را بر اساسِ این اصل تعیین کند، قدرت رقابت‌پذیری‌اش در بازار جهانی کاهش یافته و این مسأله، در کنار این واقعیت که مصرف‌کنندگان، همواره علاقه‌مند به تهیه‌ی محصولاتی با قیمت کم‌تر هستند، باعث می‌شود در اجرای استراتژیِ قیمت‌گذاری صحیح آب شکست خورده و به راه فعلی خودش ادامه دهد. داشتنِ پروتکلی بین‌المللی در خصوص چگونگیِ تعیین تمام هزینه‌های آبی، باعثِ استفاده‌ی پایدار از منابع آب جهان خواهد شد، زیرا مسأله‌ی کمبود آب، به صورت نرخ کمبود آب در محاسبه‌ی قیمت کالاها در نظر گرفته می‌شود و بنابراین، روی تصمیمِ مصرف‌کنندگان در انتخاب کالا اثر می‌گذارد.[1] حتی اگر این مصرف‌کنندگان در حال زندگی در فاصله‌ای بسیار دورتر از محل تولید کالاهایی که مصرف می‌کنند، باشند. علاوه بر آن، عادلانه آن است که بهایِ مصرف و آلودگی آب، توسط هر دو گروه تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان پرداخت شود، نه این‌که تمامِ این هزینه‌ها به تولیدکنندگان تحمیل شود. ارزش‌گذاری صحیحِ آب، امکانِ اجرای پروژه‌های بزرگ انتقال آب بین‌حوضه‌ای را نیز به لحاظ اقتصادی تعیین خواهد کرد، زیرا باعثِ

۱ توضیح مترجم: بدون شک مصرف‌کنندگان، همواره به دنبال انتخاب محصولی با قیمت کم‌تر هستند، بنابراین اگر هزینه‌ی مربوط به کمبود آب، به صورت نرخ کمبود آب در تعیین قیمت واقعی کالاها در نظر گرفته شود، آن‌گاه یک کالای معین که در منطقه‌ی پرآب تولید می‌شود، بهای کم‌تری در مقایسه با تولید همین محصول در منطقه‌ی کم‌آب خواهد داشت. به همین دلیل، ارزش‌گذاری صحیح بهایِ تمام شده‌ی آب، باعث اصلاح الگویِ مصرفِ مصرف‌کنندگان و انتخاب صحیحِ آن‌ها خواهد شد.

می‌شود هزینه‌های واقعیِ مربوط به اثراتِ منفی ناشی از اجرای این طرح‌ها نیز در قیمت کالاهایی که با این آب تولید می‌شوند، در نظر گرفته شود. همان‌گونه که در حال حاضر، در کنفرانس دوبلین نیز تایید شده است (ICWE, 1992)، تعیینِ بهایِ تمام شده‌ی آب باید با تعیین حقابه برای مصرف‌کنندگان همراه باشد، به گونه‌ای که این نوع ارزش‌گذاری، قشر فقیر جامعه را از تأمین نیازهای اساسی خود محروم نسازد (Gleick, 1999; Mehta and La Cour Madsen, 2005).

شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصول در مقابل عدم تبعیض در تجارت

ارزش‌گذاری صحیحِ آب، مهم است اما کافی نیست (فصل ۳ را ببینید). همان‌گونه که بعداً در فصل ۱۶ مفصل بحث خواهد شد، لازمه‌ی رفتارِ آگاهانه‌ی مصرف‌کنندگان، سیاست‌های دولتی و استراتژی‌های کمپانی‌ها، اجرای اصلِ شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول است. اجرای این اصل بدان معناست که تمامیِ اطلاعات مربوط به آن محصول در اختیار عموم قرار بگیرد؛ که شامل اطلاعاتی در خصوص آن محصول و چگونگیِ تولیدِ آن می‌باشد. در شفاف‌سازی اطلاعاتی صرفاً از دیدگاه آب، این اطلاعات باید به گونه‌ای باشد که به سوالات زیر پاسخ دهد: چه‌قدر آب در مراحل مختلف در زنجیره‌ی تولیدِ این محصول مصرف شده است؟ چه‌قدر آب در این مراحل آلوده شده است؟ چه نوع آلودگی‌هایی رخ داده است؟ آیا مصرف و آلودگی آب در محلی اتفاق افتاده که در حال حاضر کم‌آب هستند و یا میزان آلودگیِ منابع آب آن‌ها فراتر از حد مجاز است؟ آیا مصرف و آلودگی آب برای تولید این محصول، اثرات منفی بر مصرف‌کنندگانِ پایین‌دست و اکوسیستم‌ها گذاشته است؟ آیا می‌شد این آب را برای هدف دیگری با منافع اجتماعیِ بالاتر مصرف نمود؟

محصولات در نگاه اول، ممکن است شبیه به هم به نظر برسند (مثلاً از نظر رنگ، عطر، بو، مزه و کیفیت)، اما اگر شفاف‌سازیِ اطلاعاتِ محصولات صورت بگیرد، خواهیم دید که تفاوت‌های بسیاری دارند. هر محصول، تاریخچه‌ی خاص خود را دارد. محل تولید مواد اولیه‌ای که در تهیه‌ی یک محصول خاص استفاده می‌شود و همچنین شرایط تولید این مواد با هم فرق دارد؛ مثلاً شکری که در تولید یک نوشیدنی مثل نوشابه استفاده می‌شود، ممکن است از چغندر قند، نیشکر یا ذرت (شربت ذرت با درصد فراکتوز بالا) به‌دست آمده باشد. این گیاهان می‌توانند در اراضیِ فاریاب و با بهره‌برداری بی‌رویه از آبخوان اگالالا که تحت دشت‌های بزرگ در ایالات متحده‌ی آمریکا قرار دارد، تولید شده باشند و یا در اراضیِ دیم در یکی از بخش‌های پر آب اروپا پرورش یافته باشد. با بیانی دیگر، یک بطری نوشابه از این حیث، به سادگی شبیه یک بطری نوشابه‌ی دیگر نیست. ویژگی‌های محصولات می‌تواند هم بین کشورهای مختلف، و هم درون یک کشور و در مناطق مختلف آن با هم فرق داشته باشند. این تفاوت‌ها

می‌تواند بین برندهای مختلف، و حتی در یک برند خاص، بین محصولات مختلف (حتی محصولاتی که به ظاهر یکسان به نظر می‌رسند) وجود داشته باشد. از دیدگاه ردپای آب، می‌توان از حیثِ تاثیری که تولید محصولات بر منابع آبی خواهند داشت، بین آن‌ها تمایز قایل شد. در فصل ۷، این مسأله بحث شد که چگونه ردپای آب آبیِ پنبه‌ای که در انگلستان مصرف می‌شود در نقاطِ مختلفی از جهان قرار دارد نه درون کشور خودش (شکل ۷–۱). مهم‌ترین کشورهای تولیدکننده‌ی پنبه‌ی آبی (تولید شده در اراضی فاریاب) که در انگلستان مصرف می‌شود، ترکیه، هند، ایتالیا، پاکستان و مراکش هستند. در برخی از این نواحی، مثلاً در حوضه‌ی ایندوس در پاکستان، آب مصرفی بسیار فراتر از حد پایدارش است. از سویی دیگر، در یک ناحیه‌ی خاص، برخی کشاورزان بهتر از دیگران عمل می‌کنند. با این حال، تبعیض قایل شدن بین پنبه‌ای که با بهره‌برداری پایدار یا ناپایدار از منابع به دست می‌آید در تجارت، مشکل‌ساز است.

یکی از اصول مهمی که در مذاکرات تجارت بین‌المللی وجود دارد، اصلِ عدم تبعیض است. این اصل می‌گوید که نباید در سیستم تجارت بین‌المللی، تبعیض وجود داشته باشد؛ این به آن معناست که یک کشور، نباید بین شرکای تجاری خود و حتی بین محصولات خود و محصولات خارجی، تبعیض قایل شود (WTO, 2008). سوال مهمی که پیش می‌آید آن است که چه معیارهایی برای تعیین شباهت محصول‌ها استفاده می‌شود؟ بر اساس اصل عدم تبعیض، نمی‌توان بین پنبه یا مثلاً گوشت گاوی که در کشورهای مختلف تولید می‌شود، فرق قایل شد، اما اگر معلوم شود که دو محصولِ به ظاهر مشابه، به لحاظ ویژگی‌های واقعی‌شان، شباهتی به هم ندارند چه‌طور؟ آن‌گاه این اصل چه برای گفتن دارد؟ تبعیض زمانی ناعادلانه است که محصولات واقعاً مشابه باشند، در غیر این‌صورت، تبعیض امری طبیعی خواهد بود.

قوانین تجارت بین‌المللی عادلانه باید شامل مقرراتی باشد که به‌واسطه‌ی آن‌ها، مصرف‌کنندگان بتوانند دولت‌شان را مجبور به افزایش موانع اجرایی در برابر تجارت کالاهای ناپایدار نمایند. این مسأله در عمل به آن معناست که اصل عدم تبعیض باید تنها برای محصولاتی اجرا شود که حتی با در نظر گرفتن اثراتی که در چرخه‌ی حیات خود به جای می‌گذارند، باز هم مشابه باشند. در این صورت، کشورها تنها از واردات محصولاتی حمایت می‌کنند که تولیدکنندگانشان این اطمینان را بدهند که این محصولات، به بهای تأمین نکردن نیازهای زیست‌محیطی و یا تجاوز از استانداردهای کیفی منابع آب تولید نشده است. بر اساس اصل عدم تبعیض، این اولویت باید برای تمام کشورهایی که چنین تضمینی را می‌دهند در نظر گرفته شود. با این حال، چنین لطفی شامل حال کشورهایی که قادر به ارایه‌ی تضمینِ پایداریِ محصول در فرآیند تولید نیستند، نخواهد شد. بدیهی است که تضمینِ پایداری تنها در شرایطی

قابل ارایه است که اصل شفاف‌سازی اطلاعاتی محصولات اجرا شود. وقتیِ شفافیت اطلاعاتی برای محصولات مختلف در یک کشور خاص وجود داشته باشد، این نتیجه می‌تواند به دست آید که در این کشور، معیارهای پایداری در پروسه‌ی تولید برخی محصولات رعایت شده و در فرآیند تولید گروه دیگری از محصولات، رعایت نشده است. در این حالت، یک کشور واردکننده ممکن است تمایل به تجارت در خصوص وارداتِ محصولات گروه اول را داشته باشد، اما در برابر ورودِ محصولات گروه دوم به کشورش، مقاومت نموده و حاضر به تجارت آزاد نباشد. به نظر می‌رسد که لحاظ چنین آزادی‌های عملی در قوانین بازرگانی بین‌المللی، توجیه‌پذیر باشد. کشورهای جهان می‌توانند روی معیارهای پایداری با هم به توافق برسند و در این صورت، می‌توان این معیارها را در یک توافق‌نامه‌ی تجارت بین‌المللی گنجاند و همه‌ی کشورها را ملزم به رعایت آن نمود یا اینکه می‌توانند مسأله‌ی ارزیابی پایداری را به هر کشور واگذار کنند. حالت اول از این جهت ارجح است که باعثِ برقراریِ برابری و امنیت در بازارهای بین‌المللی می‌شود، اما پذیرش این حالت مستلزم آن است که حکومت‌ها، به سرعت متحول شده و شاخص‌های ارایه شده در این توافق‌نامه‌ی بین‌المللی را در ارزیابی‌های خود وارد نمایند. همچنین، کشورها ممکن است نظرات بسیار متنوعی در خصوص شاخص‌هایی که می‌تواند برای ارزیابی‌ها استفاده شود، داشته باشند. با این حال، تلاش برای رسیدن به توافق در خصوص شاخص‌های پایداری نیز خود می‌تواند بخشی از این مذاکرات بین‌المللی باشد. این مذاکره باید در چارچوب دیگری خارج از سازمان تجارت جهانی[1] صورت بگیرد، زیرا این سازمان تنها خود را به مذاکره پیرامون تجارت محدود نموده و به بحث پیرامون حفاظت از محیط‌زیست نمی‌پردازد. در خصوص حفاظت از محیط‌زیست، سازمان تجارت جهانی به توافق‌نامه‌های چندجانبه‌ی موجود که در دیگر سازمان‌های بین‌المللی تدوین شده است، استناد می‌کند. بر اساس قوانین سازمان تجارت جهانی، وقتی منشأ یک چالش تجاری که بین دو کشور ایجاد می‌شود، یک توافق‌نامه‌ی چندجانبه‌ی زیست‌محیطیِ خاصی باشد که توسط این کشورها نیز امضا شده است، آنگاه چالش مذکور باید با استفاده از همان موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی حل و فصل شود.

نبود موافقت‌نامه‌های بین‌المللی در خصوص استفاده‌ی پایدار آب

از دیدگاه سازمان تجارت جهانی، تجارت آزاد، در تضاد با تجارت سبز نیست. دولت‌ها داوطلبانه روی قوانین سازمان تجارت جهانی با هم مذاکره کردند. آن‌ها در خصوص موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطیِ بین‌المللی نیز با هم به مذاکره نشسته و به توافق رسیدند. بنابراین اگر به‌واسطه‌ی انجام یک اقدامِ تجاری خاص تحتِ موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی بین‌المللی‌ای که به امضای طرفین رسیده است،

1 World Trade Organization

مشکلی بین شرکای تجاری به وجود آید، این چالش را باید با استناد به قوانین همان موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی حل نمود. با این حال، اگر یکی از طرفینِ مناقشه، این موافقت‌نامه‌ی زیست‌محیطی را امضا نکرده باشد، آن‌گاه سازمان تجارت جهانی، تنها تریبونِ ممکن برای حل و فصل چالش مذکور خواهد بود (WTO, 2008). همچنین، دانستنِ این موضوع که آیا یک موافقت‌نامه‌ی بین‌المللی، شامل قوانین مرتبط با تجارت است یا خیر نیز اهمیت دارد. بر اساس مشاهدات نیومایر (Neumayer, 2004)، اغلبِ توافق‌نامه‌های زیست‌محیطیِ منطقه‌ای و بین‌المللی، فاقد معیارهایی برای محدود نمودن تجارت هستند. در نتیجه، این موافقت‌نامه‌های زیست‌محیطی نمی‌توانند برای رفع مناقشاتِ مذکور استفاده شوند و لذا نادیده گرفته می‌شوند. وقتی موافقت‌نامه‌ی زیست‌محیطیِ بین‌المللی وجود نداشته و موانعی برای تجارت با استناد به قوانین زیست‌محیطیِ ملی ایجاد شود، باز هم تنها سازمان تجارت جهانی است که می‌تواند به این مناقشات سر و سامان بدهد. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که قوانین تجارت آزاد بین‌المللی که تحت نظارت سازمان تجارت جهانی تدوین می‌شوند، فراتر از قوانینی هستند که برای حفاظت از محیط‌زیست، توسط سازمان‌های ملی و یا در موافقت‌نامه‌ی بین‌المللی که توسط یکی از طرفین مناقشه امضا شده است، تدوین می‌شوند. بر اساسِ گفته‌های سازمان تجارت جهانی، اگر موانع تجارت بخواهد بر اساسِ قوانین ملی تعیین شود، آن‌گاه هر کشوری می‌تواند به سادگی و صرفاً به این دلیل که سیاست‌های اجتماعی، بهداشتی و زیست‌محیطی در کشور صادرکننده با کشور خودش فرق دارد، مانع واردات کالا از آن کشور شود. این مسأله مسیری را برای کشورها باز می‌کند که به‌واسطه‌ی آن، می‌توانند به صورت یک‌جانبه محدودیت‌های تجاری خود را اعمال نموده و حتی تلاش نمایند که استانداردهای تجاری خود را به دیگر کشورها نیز تحمیل کنند (WTO, 2008).

هیچ قرارداد بین‌المللی‌ای در خصوص لزومِ استفاده‌ی پایدار از آب، و یا به طور مشخص‌تر، روی لزوم استفاده‌ی پایدار از اب در پروسه‌ی تولید کالاها و خدمات وجود ندارد. احتمالاً دلیلش آن است که آب شیرین، به عنوان کالایی محلی در نظر گرفته می‌شود که باید در سطح ملی یا حداکثر در سطح حوضه‌ی آبریز مدیریت شود. در نتیجه، سیاست‌های حکمرانیِ آب اغلب به شکل قوانین ملی بوده و با توافق‌نامه‌های بین‌المللی در خصوص رودخانه‌های فرامرزی و توافق‌نامه‌هایی که در سطح منطقه‌ای، مثل اتحادیه‌ی اروپا، شکل می‌گیرد، تکمیل می‌شود. این به آن معناست که وقتی مناقشات تجاری به دلیلِ محافظت از منابع آب شیرین شکل بگیرد، این چالش توسط سازمان تجارت جهانی حل خواهد شد و بر اساسِ اصل عدم تبعیض، نتیجه‌ی به‌دست آمده از این شیوه‌ی حل و فصل چالش، حمایت از تجارت آزاد خواهد بود نه محافظت از منابع آب شیرین.

این مسأله، یک بی توازنی اساسی در حیطه‌ی توافقات بین‌المللی است. در سازمان تجارت جهانی، الزاماً قوانین تجارت بین‌المللی در مغایرت با معاهدات زیست‌محیطی بین‌المللی نیست؛ لکن، اگر هیچ پیمانِ بین‌المللی‌ای در خصوص مسایل زیست‌محیطی وجود نداشته باشد، آنگاه، قانونِ عدم تبعیض در تجارتِ بین‌المللی به صورت معیاری در تصمیم‌گیری‌ها استفاده می‌شود. معاهدات سازمان تجارت جهانی به دو اصل مهم تاکید دارد: اول، شیوه‌ی تولیدِ یک محصول به تنهایی نمی‌تواند مانعی برای تجارتِ آن شود، دوم، یک کشور نمی‌تواند استانداردهای خود را به کشورهای دیگری که خارج از مرز خودش قرار دارند، تحمیل کند (WTO, 2008). از آنجایی‌که تولیدِ بسیاری از محصولاتِ موجود در بازارِ جهانی، در ازای تأمین نکردن نیازهای زیست‌محیطی و یا آلودگی منابع آب صورت می‌گیرد، این محصولات اثر قابل توجهی بر منابع آب شیرینِ جهان دارند، به همین دلیل، قطعاً مصرف‌کنندگان باید به صورت روزافزون، خواستارِ ارایه‌ی اطلاعاتِ شفاف در خصوص محصولات مصرفی خود بوده و در گامِ نخست، از دولت خود بخواهند که مانعِ وارداتِ محصولاتی شوند که در ازای نقض معیارهای پایداری تولید می‌شوند، اما با توجه به شرایطِ کنونیِ دنیا، خیلی بعید است که دولت‌ها، در تلاش خود برای ممانعت از وارداتِ چنین محصولاتی موفق شوند. با این وجود، شفاف‌سازی اطلاعات در خصوصِ محصولاتِ مصرفیِ مصرف‌کنندگان، امکان‌پذیر است.

برچسب‌های بین‌المللی آب برای کالاهای آب‌بر

همان‌گونه که در فصل ۱۶ بحث خواهد شد، برچسب آب می‌تواند ابزاری برای شفاف‌سازیِ اطلاعاتِ مربوط به محصولات مختلف باشد. برچسب آب، می‌تواند به صورت مجموعه‌ای از اطلاعات روی کالای مورد نظر نصب شود و یا می‌تواند به صورت بارکدی روی محصول باشد که با اسکنِ آن، به اطلاعات محصول در اینترنت، چه در فروشگاه و چه در خانه، دست یافت. یا اینکه این برچسب می‌تواند به صورت یک آرم کنترل کیفیت به صورت "بله" یا "خیر" باشد که نشان می‌دهد آیا در پروسه‌ی تولیدش، معیارهای پایداری رعایت شده است یا خیر؛ و یا در حالت پیشرفته‌تر، این برچسب می‌تواند مشتمل بر مقادیرِ تمام شاخص‌های مدنظر در تعیین پایداری باشد. استفاده از این برچسب به‌ویژه برای محصولات آب‌بر اهمیت بسیار بیش‌تری دارد. در شروع کار، می‌توان این برچسب را تنها برای محصولاتِ آب‌بری مثل پنبه، برنج و نیشکر، که تاثیر زیادی روی منابع آب دارند، تهیه نمود. با توجه به ویژگیِ بازارهای پنبه، برنج و نیشکر، تدوین و اجرایی نمودنِ مسأله‌ی برچسب‌گذاری آب نیازمند مشارکت‌های بین‌المللی است. برچسب آب، می‌تواند بخشی از کل اطلاعاتی باشد که در یک برچسب زیست‌محیطیِ کامل ارایه می‌شود و یا می‌تواند در همان برچسب مربوط به تجارت عادلانه ارایه شود، اما این موضوع، چالش

جدیدی در اجرای این سیاستِ بین‌المللی ایجاد خواهد کرد، چون این‌بار باید روی تمامِ این شاخص‌ها توافق جهانی صورت بگیرد. به همین دلیل، بهتر است در گام نخست، تمرکز روی همان ارایه‌ی برچسب آب به صورت مجزا باشد. اگر به جای کل جهان، تنها یک یا چند کشور روی شکل خاصی از برچسب‌گذاری آب توافق کنند، آنگاه هنوز مشخص نیست که در صورتِ بروزِ اختلافات، قوانینِ فعلیِ سازمان تجارت جهانی چگونه استفاده خواهد شد؛ مثلاً فرض کنید یک کشور، مانع واردات از تمام کشورهایی شود که اصلِ برچسب‌گذاری آب را رعایت نمی‌کنند. با عنایت به نحوه‌ی عملکرد سازمان تجارت جهانی در زمینه‌ی مناقشات قبلی (مانند نمونه‌ای که در خصوص ماهی تن و دلفین بین ایالات متحده‌ی آمریکا و مکزیک پیش آمد)، چنان‌چه کشوری توافق‌نامه‌ی جهانی برچسب‌گذاری را امضا و تایید نکرده باشد، بعید است که سازمان تجارتِ جهانی، به دلیلِ عدمِ درج برچسب روی کالاهای تولید شده در این کشور، مانع از واردات کالا از آن شود و در واردات کالا بین کشورهای مختلف از این حیث تبعیض قایل شود.

سازمان تجارت جهانی به صراحت اعلام کرده که یک کشور، نمی‌تواند قوانینِ زیست‌محیطیِ خود را به کشور دیگری تحمیل کند. با این وجود، برخی منتقدان معتقدند که برخی کشورهای عضو سازمان تجارت جهانی، می‌توانند قوانین زیست‌محیطیِ مورد تایید خود را به اعضای عضو این سازمان تحمیل کنند (Charnovitz, 2002). در مجموع، هنوز ابهامات زیادی در خصوص نقشی که استانداردهای زیست‌محیطیِ مربوط به فرآیندها و روش‌های تولید می‌توانند بر محدودسازیِ تجارت جهانی داشته باشند، وجود دارد. این مسأله، لزومِ رسیدنِ به توافقی بین‌المللی روی شیوه‌ی برچسب‌گذاری آب را به اثبات می‌رساند. بدون توافقی بین‌المللی، هر نوع طرحی جهت برچسب‌گذاری آب تنها برای کالاهای داخلی مناسب بوده و کاربردی برای محدودسازی تجارت ندارد. اگر کشورها روی برچسبِ بین‌المللی آب به توافق برسند، این برچسب می تواند در توافق‌نامه‌ی موانع فنی تجارت در سازمان تجارت جهانی[1] به کار گرفته شود؛ این توافق‌نامه، با هدف اطمینان از نبود پیدایش موانع غیرضروری بر سر راه تجارت جهانی به‌واسطه‌ی مقررات، استانداردها و فرآیندهای آزمایش و کنترل کیفی محصولات حاصل شده است. این به آن معناست که طرح برچسب‌گذاری آب باید به گونه‌ای باشد که شرط‌های تدوین شده توسط سازمان تجارت جهانی برای ممنوعیت تجارت را برآورده سازد.

رسیدن به طرحی معین و یکسان برای برچسب‌گذاری آب در کل جهان، بسیار دور از واقعیت است. اصل آزادسازی تجارت کالاهای آب‌بر در سازمان تجارت جهانی، اجرای ایده‌ی ممنوعیت تجارت بر اساسِ اطلاعات برچسبِ آب را اگر غیرممکن نسازد، حتماً با چالشی مضاعف روبرو می‌کند؛ این اصل،

1 WTO’s Technical Barriers to Trade (TBT) Agreement

اجازه نمی‌دهد صادرات کالاهایی که یا برچسبِ اطلاعاتی ندارند و یا بر اساس اطلاعات درج شده در برچسبِ آن‌ها، در تولیدشان اصول پایداری رعایت نشده است، متوقف شود. تحت قوانینِ موجود در سازمان تجارت جهانی، کشورها حتی نمی‌توانند مانع ورودِ کالاهایی که استانداردهای تولید را رعایت نکرده‌اند، به کشوری شوند که خودش این استانداردها را در تولید همان کالاها رعایت می‌کند. تنها راهی که باقی می‌ماند آن است که مصرف‌کنندگان خودشان حینِ خرید، محصولات پایدار را انتخاب نمایند، اما این راه‌کار نیز به دلیلِ فقدان اطلاعاتِ کافی روی کالاها در اجرا با مشکل مواجه خواهد شد زیرا نمی‌توان درج برچسب روی کالاهای وارداتی را الزامی نمود.

آینده‌ی تجارت آزاد

قوانین تجارت آزاد در سازمان تجارت جهانی روی اغلبِ محصولات اعمال می‌شوند، اما هنوز خدمات و کالاهای کشاورزی استثنا هستند و یا تنها برخی از آن‌ها مشمول این قوانین می‌شوند. از آنجایی‌که ۹۲ درصد از ردپای آب جهان مربوط به بخش کشاورزی است، نگرانی‌های مربوط به استفاده‌ی پایدارِ آب در این بخش باید بیش‌تر در مذاکرات آینده‌ی مربوط به تجارت بین‌المللی مورد توجه قرار بگیرد. در این راستا و از دیدگاهِ استفاده‌ی پایدارِ منابع آب، قوانین جدیدی که در خصوص تجارت محصولات کشاورزی تدوین می‌شود، باید مشمول مقرراتی باشد که متضمن ترویج و تشویق تلاش‌هایی صورت گرفته برای استفاده‌ی پایدارِ منابع آب در تولید کالاهای صادراتی باشند. در سال ۲۰۰۱، سازمان تجارت جهانی، دور جدیدی از مذاکرات با عنوان DDR[1] را آغاز کرد. تجارت محصولات کشاورزی، یکی از محورهای اصلیِ این مذاکرات بود. با این حال، تغییر دیدگاه‌ها درباره‌ی جهانی‌سازی تجارت و مناقشاتی که پیرامونِ مسیرهای آینده درگرفت، باعثِ تاخیر و نبود پیشرفتِ این برنامه شده و عملاً منتـج به توقـف این مذاکـرات گردید. اگـرچه این مسـأله، به نوعی شکست محسوب می‌شود، اما خوب اسـت که فرصـت را غنیمت شمرده و انتظاراتِ خود از سیستم تجارتِ جهانی را بازنگریِ اساسی نماییم.

گسترش تجارتِ کالاهای آب‌بر: تهدیدها و فرصت‌ها

سالانه، حجم زیادی از آب به صورت مجازی در جهان مبادله می‌شود و احتمال می‌رود که همگام با ادامه‌ی روند آزادسازیِ تجارت جهانی، میزان آن افزایش یابد (Ramirez-Vallejo and Rogers, 2004). افزایش تجارت در کشورهای پرآب با تهدیدها و فرصت‌هایی همراه است. یکی از آشکارترین

1 Doha Development Round (DDR)

فرصت‌هایِ به‌دست آمده به‌واسطه‌ی کاهش موانع تجارت، تبدیلِ آب مجازی به یک منبع آبی جایگزینِ ارزان در کشورهایی است که منابع آب شیرینِ آن‌ها اندک است. در این شرایط، دولت‌ها می‌توانند با واردات آب مجازی، مصرف منابع آب داخلی خودشان را کاهش دهند. واردات آب مجازی (برخلاف آب واقعی که اغلب، بسیار گران است)، باعث کاهش فشار بر منابع آبی محدود در کشور واردکننده خواهد شد. همچنین، تجارت آب مجازی در صورتی که از کشوری با بهره‌وری آب بالاتر به کشوری با بهره‌وری آب پایین‌تر صورت بگیرد، می‌تواند باعث صرفه‌جویی آب مصرفی در جهان نیز شود؛ به عنوان مثال، سالانه ۴/۱ میلیارد مترمکعب آب در کشور آمریکا، برای تولیدِ ذرت صادراتی به کشور مکزیک مصرف می‌شود. اگر قرار بود این حجم ذرت در کشور مکزیک تولید شود، ۱۲/۲ میلیارد مترمکعب آب مصرف می‌شد. به این ترتیب، از دیدگاه جهانی، می‌توان گفت که صادرات ذرت از آمریکا به مکزیک، باعث ۸/۱ میلیارد مترمکعب کاهش در میزان آب مصرفی در جهان شده است (Mekonnen and Hoekstra, 2011b). اگرچه نمونه‌هایی نیز وجود دارند که در آن، کالاهای آب‌بر در مسیری برعکس (یعنی از کشوری با بهره‌وری آب پایین به کشوری با بهره‌وری آب بالاتر) صادر می‌شوند، ولی مطالعاتِ موجود نشان می‌دهد که با لحاظ کل تجارت آب مجازی در جهان، هم‌چنان روندِ فعلی منتج به صرفه‌جویی آب مصرفی در جهان شده است.

یکی از اشکالات جدی تجارت آن است که اثرات غیرمستقیمِ الگوی مصرف در کشورهای واردکننده، بر دیگر کشورها تحمیل می‌گردد. از آنجایی که در اغلب کشورها، ارزش آب در بخش کشاورزی، هم‌چنان بسیار کم‌تر از قیمت واقعی‌اش می‌باشد، سالانه حجم زیادی آب برای تولید محصولات صادراتی مصرف می‌شود، اما هزینه‌ی مصرف آب در کشورهای صادرکننده، در قیمتِ نهاییِ محصولات صادراتی که در کشورهای واردکننده مصرف می‌شوند، لحاظ نمی‌شود. مصرف‌کنندگان غالباً اطلاعی از چالش‌های آبی در کشورهایی که کالاهای مورد نیاز آن‌ها را تولید می‌کنند نداشته و هزینه‌های رفع این چالش‌ها را نیز پرداخت نمی‌کنند. بر اساس تئوری اقتصاد، یکی از شرایطِ تجارتِ کارآمد و عادلانه، پرداخت تمامیِ هزینه‌های تولید و تبعات ناشی از آن توسط مصرف‌کنندگان است. یکی دیگر از نقاطِ ضعف مربوط به گسترش تجارت آب مجازی، وابستگیِ بسیاری از کشورها به واردات کالاهای آب‌بر از دیگر کشورهاست. واردات خالص آب مجازی در کشور اردن، سالانه ۵/۷ میلیارد مترمکعب است (Schyns *et al.*, 2015a) که این میزان، شش برابر بیش‌تر از کل منابعِ آب داخلی این کشور (۰/۹۴ میلیارد مترمکعب) می‌باشد (FAO, 2019b). وابستگی به واردات آب مجازی در دیگر کشورهای خاورمیانه و حتی اروپا نیز بسیار زیاد است. ادامه‌ی این روند باعث کاهش خودکفایی و در نتیجه، افزایش میزان آسیب‌پذیریِ کشورها و حتی مناطق اقتصادیِ مختلفی در جهان شده است. اگر

به هر دلیلی، مثلاً جنگ یا وقوع بلایای طبیعی در کشورهای صادرکننده، تولید غذا کاهش یابد، کشورهای واردکننده به شدت آسیب خواهند دید. سوال اصلی آن است که کشورها، تا چه حد حاضر به پذیرش این ریسک هستند؟ این خطر، می‌تواند با ارتقای خودکفایی در تأمین آب و غذا (مثل کاری که مصر و چین انجام می‌دهند) و یا افزایش شرکای تجاری برای واردات غذا کاهش یابد. با این حال، روندِ فعلیِ جاری در جهان که توسط سازمان تجارت جهانی نیز تسهیل شده است، کاهش موانع تجارت و تشویق تجارتِ آزاد و کاهش مداخلات دولت‌ها است. به‌علاوه، مناطق به جای حفظ تنوعِ کشت، به تولید برخی گیاهان خاص روی می‌آورند و این مسأله، میزان آسیب‌پذیریِ سیستم غذایی جهان را متأثر می‌سازد.

الگوی تجارت فعلی در جهان به شدت باعث افزایش یا کاهش مصرف آب در بسیاری از کشورهای جهان شده است. بنابراین، در پژوهش‌های بعدیِ مرتبط به سیاست‌های ملی و منطقه‌ای آب، باید اثرات تجارت بر این سیاست‌ها بررسی شود. همچنین در کشورهای کم‌آب، ارزیابی معکوس نیز باید صورت بگیرد؛ به این ترتیب که تاثیر کم‌آبی در آن کشور بر تجارت ارزیابی شود. به طور خلاصه، تجریه و تحلیل‌های استراتژیک برای سیاست‌گذاری آب باید شامل تحلیل و ارزیابی الگوهای مورد انتظار یا مطلوبِ تجارت‌های بین‌المللی یا منطقه‌ای آب مجازی باشد.

توافق‌های بین‌المللی روی آزادسازی تجارتِ محصولات کشاورزی باید مشمول مقرراتی باشد که استفاده‌ی پایدارِ آب در بخش کشاورزی را رواج دهد. هنوز مشخص نیست این مقررات چگونه باید باشند، زیرا، سازمان تجارت جهانی، به صراحت از انعقادِ توافق‌نامه‌های بین‌المللیِ زیست‌محیطی خودداری می‌کند. به محض اینکه توافق‌نامه‌های آزادسازی تجارت در جهان اجرایی شوند، نبود تعادل در مقرراتِ تجارتِ جهانی به وجود خواهد آمد. این در حالی است که هنوز هیچ توافق‌نامه‌ای برای تولید پایدار و استفاده‌ی پایدارِ آب با هدف محدودسازیِ تجارت بین‌المللی وجود ندارد. این مسأله یک خطر جدی است، زیرا هنوز نه توافق‌نامه‌ای برای تولید پایدار و استفاده‌ی پایدار آب وجود دارد و نه حتی در شرف تهیه شدن می‌باشد.

فصل شانزدهم

شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول

مباحث عمومی پیرامون ردپای آب اغلب به این سوال ختم می‌شود که آیا ما باید برچسب آب روی محصولاتمان داشته باشیم یا خیر. برخی مردم، با ایده‌ی برچسب پایداریِ مصرف آب روی کالاها موافق بوده و اصرار بر اطلاع‌رسانیِ مناسب و دادن حق انتخابی عادلانه به مصرف‌کننده هستند. گروهی دیگر، با این ایده مخالف بوده و می‌پرسند که آیا برچسب ردپای آب، اطلاعات مفید و آموزنده در اختیار آن‌ها قرار می‌دهد یا خیر؛ در حقیقت، آن‌ها روی اثربخشی این ایده شک دارند. من اغلب از خود این سوال را می‌پرسم که آیا طرفدارِ برچسب آب روی کالا هستم یا خیر و اگر پاسخم مثبت است، انتظار دارم این برچسب حاوی چه اطلاعاتی باشد؟ همان‌گونه که در ادامه‌ی این فصل خواهید دانست، من به شدت موافق شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول هستم که ایده‌ای بس فراتر از برچسب‌گذاری محصول است. همچنین، توسعه‌ی ایده‌ی برچسب آب را مفید می‌دانم؛ البته نه برچسبی که تنها میزان ردپای آب محصول را به صورت یک عدد نشان دهد. هرچند این نوع برچسب هم برای افزایش آگاهی مصرف‌کننده خوب است، اما بیش‌تر از این چیزی برای گفتن ندارد. انتظار من آن است که این برچسب، حاوی اطلاعاتی باشد که نشان دهد آیا این محصول، با مدیریتی خوب و پایدار تولید شده است یا خیر. چنین اطلاعاتی می‌تواند پایه‌ای برای انتخابِ آگاهانه‌ی مصرف‌کننده باشد.

پیش از آن‌که در خصوصِ شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول، به‌ویژه برچسب‌گذاری آن، صحبت کنیم، یک گام به عقب برداشته و در بستری گسترده‌تر مطالبی را ارایه می‌کنم. هدفِ اصلی در مباحث مربوط به تعیین ردپای آبِ کالاها یا فعالیت‌ها باید یافتنِ راهی برای کاهش ردپای آب بشر، با هدف رساندن آن به سطح پایدار در جهان، و شناساییِ مکان‌ها و زمان‌هایی باشد که باید برای کاهش ردپای آب، در اولویت قرار بگیرند. به این منظور، اولین گام، تعیینِ مقادیرِ ردپای آب پایدار برای هر محدوده‌ی آبی (آبخوان، یا حوضه‌ی آبریز) و رسیدن به توافقی برای محدود نمودنِ سقف ردپای آب به این مقادیر می‌باشد (فصل ۱۱). گام دوم، تحلیلِ کارآیی مصرف آب در فرآیند تولید و تدوین بنچ‌مارک‌های ملی یا منطقه‌ای برای ردپای آبِ فرآیندهای آب‌بر و کالاهای نهایی می‌باشد تا با قرار دادنِ آن‌ها به عنوان مرجعی در دستِ کشاورزان و شرکت‌های تولیدی، آن‌ها را وادار به کاهش ردپای آب خود به این سطوح نمود؛ این بنچ‌مارک‌ها همچنین می‌توانند مرجعی توسط دولت‌ها باشند که برای صدور مجوزهایِ ردپای آب برای مصرف‌کنندگان، به کار گرفته شود (فصل ۱۲). سومین گامِ اساسی، بحث پیرامون الگوی مصرف ما با لحاظ میزان موجودیت منابع آب شیرینِ می‌باشد. در این بحث، باید روی عادلانه بودنِ تفاوت‌های گسترده‌ای که میان ردپای آب مردم مختلف وجود دارد، تمرکز نمود (فصل ۱۳). شفاف‌سازیِ اطلاعات، با افزودن بر غنای مباحثی که پیرامونِ ردپای آب محصولات صورت می‌گیرد، به مصرف‌کنندگان نشان خواهد داد که تا چه اندازه در مصرف، آلودگی و بحران آب در نقاط مختلف جهان

سهیم هستند و شرکت‌های تولیدی نیز اطلاعات دقیق‌تری درباره‌ی مواد اولیه‌ای که تهیه می‌کنند، به دست خواهند آورد. ممکن است برخی تصور کنند که شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول، تنها از حیثِ داشتنِ اطلاعاتی در خصوص تولیدِ آن محصول مهم است، اما مهم‌تر از این مسأله، آن است که بدانیم بدونِ داشتنِ چنین اطلاعاتی، حرکت به سمت پایداری بسیار دشوار خواهد بود.

ردپای آب بشر، برابر با مجموع ردپای آب تمام کالاهای نهاییِ مصرف‌شده‌اش می‌باشد (توجه کنیم که منظور از کالای نهایی، مفهومِ گسترده‌ی آن بوده و خدمات را نیز شامل می‌شود. یک مصرف کننده هرگز نمی‌تواند بدون شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصولات (یعنی داشتن اطلاعاتی در خصوص شرایط تولید در هر مرحله از زنجیره‌ی تولیدِ آن محصول)، به سهم خود در مصارف ناپایدار و آلودگی آب پی ببرد. مصرف‌کنندگان با داشتنِ اطلاعات مرتبط، به بازیکنانی فعال تبدیل شده و نیروی محرکه‌ای برای حرکت به سمت پایداری خواهند بود.

در این فصل، ابتدا به این سوال پاسخ می‌دهم که چرا شفاف‌سازیِ اطلاعاتِ محصولات برای نیل به پایداری مهم است؟ سپس، این سوال مطرح خواهد شد که شرکت‌های تولیدی، دقیقاً چه اطلاعاتی را باید به صورت شفاف روی کالاها درج نمایند؟ در ادامه، به بحث پیرامون شفاف‌سازی اطلاعات محصول از دیدگاه‌های مختلف می‌پردازم: از دیدگاه مصرف‌کنندگان، شرکت‌ها، سرمایه‌گذاران، و دولت. پس از آن، مسأله‌ی برچسب‌گذاری کالاها را بررسی خواهم نمود. در انتها، مفهومِ مدیریت خوب آب را مطرح خواهم کرد؛ اصطلاحی که اغلب برای ارزیابیِ عملکرد کلیِ شرکت‌ها به کار گرفته می‌شود که تعیین می‌کند آیا آن‌ها در فرآیندهای آب‌بر در کل زنجیره‌ی تولیدِ کالای نهایی، به مسأله‌ی استفاده‌ی پایدار آب توجه داشته‌اند و آیا در خصوص تلاش‌هایی که به این منظور، انجام داده‌اند، اطلاعات شفافی ارایه نموده‌اند یا خیر.

چرا شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصول مهم است؟

جالب است که ما، اطلاعات اندکی در خصوص ترکیبات و منشأ تولیدِ محصولاتی که روزانه مصرف می‌کنیم، داریم. در بازارهای محلی که محصولات محلی به فروش می‌رسد، کم‌وبیش از جزئیاتی پیرامونِ محل و شرایط تولید محصولات خبر داریم. برای این قبیل محصولات، زنجیره‌های تولید نسبتاً کوتاه و یا محلی بوده و مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان یک‌دیگر را می‌شناسند، اما این مسأله در بازارهای جهانی متفاوت است. ماهیتِ صنعتی شدن و جهانی شدنِ اقتصاد به گونه‌ای است که منتج به مبهم شدنِ اطلاعاتِ تولید محصولات می‌شود. در زنجیره‌های تولیدِ پیچیده و فرامرزی، اگر به مسأله‌ی جمع‌آوری اطلاعات از مراحل ابتداییِ تولید محصول تا محل مصرف توجه نشود، به راحتی این اطلاعات از دست رفته و دیگر قابل تعیین نخواهد بود. یک کامپیوتر از فلزات مختلفی تشکیل شده که این فلزات،

از نواحی مختلفی استخراج شده‌اند (و یا از بازیافتِ کامپیوترهای قدیمی به‌دست آمده‌اند). یک شلوار جین، از پنبه‌ای تولید می‌شود که این پنبه، در یک جا با شرایطِ مشخصی تهیه شده و در جایی دیگر، با شرایطی دیگر، خشک شده است. اگر مصرف‌کنندگان بخواهند از پایداریِ محصول خریداری‌شده اطمینان حاصل کنند، باید جزئیاتی در خصوص محل و شرایط تولید و فرآوری مواد تشکیل دهنده‌ی محصول نهایی بدانند. این مسأله نه تنها برای مصرف‌کنندگان نهایی صدق می‌کند، بلکه برای خرده‌فروشان و کارخانجاتی که می‌خواهند محصولاتِ پایدار بفروشند نیز مصداق دارد. شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول در نگاه اول، به نفعِ خریدارانِ محصولات است، اما اگر برخی فروشندگان اطلاعات شفافی در خصوص محصول فرآهم نموده و این مسأله، روی رفتارِ خرید مصرف‌کنندگان تاثیر بگذارد (یعنی مصرف‌کنندگان، تمایل به خرید محصولاتی با اطلاعات شفاف داشته باشند)، آنگاه مسأله‌ی شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول به نفع فروشندگان نیز خواهد بود. هدفِ اصلی از شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصولات، توانمندسازی جوامعِ درگیر در زنجیره‌ی تأمین از دو جهت است. از یک سو، شرکت‌هایی که در رأس زنجیره‌ی تولید قرار دارند، اطلاعاتی در خصوص شرایط تولید برای شرکت‌هایی که در بخش‌های بعدیِ زنجیره‌ی تولید هستند، و در نهایت برای مصرف‌کنندگان، فرآهم می‌کنند. از سویی دیگر، شرکت‌ها و مصرف‌کنندگان می‌توانند بر اساس این اطلاعات، تصمیم به انتخابِ این محصولات، پرسیدن سوالاتی در این خصوص و یا تغییرِ انتخاب خود بگیرند. شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول انگیزه‌ای برای شرکت‌ها برای حرکت به سمت کسب‌وکار سبز را فرآهم می‌کند. وقتی تلاش‌های خوب دیده نشود، پاداشی نیز وجود نخواهد داشت.

شفافیت درباره‌ی چه؟

از دیدگاه ردپای آب، شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصول شامل چند مورد می‌شود. به این منظور، ما باید (الف) میزان و محل وقوعِ رپای آب سبز، آبی و خاکستری را برای اجزایِ مختلفِ یک محصول بدانیم (ب) میزان پایداری این ردپاهای آب را بدانیم (ج) و اقداماتی که در صورت نیاز، برای کاهش رپای آب در این مکان‌ها انجام خواهد شد را نیز بدانیم. برای دانستن نکته‌ی دوم که در خصوص پایداری است، باید دانست که این ردپاهای آب، در کدام حوضه‌های آبریز واقع شده است و آیا در آن حوضه‌ها، مصرف یا آلودگی آب از حد پایدار فراتر رفته است یا خیر (فصل ۱۱ را ببینید). همچنین باید بدانیم که آیا ردپای تولید محصول، مطابق با حد بنچ‌مارک تعیین شده برای آن می‌باشد یا خیر (فصل ۱۲ را ببینید). بزرگ‌ترین معضل در بحث شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول آن است که چگونه این اطلاعات در اختیار عموم قرار بگیرد. به منظور دانستن مقدار، محل وقوع و وضعیتِ پایداریِ ردپای آب برای یک

محصول، ممکن است نیاز به جمع‌آوری داده‌های بسیار زیادی باشد؛ به‌ویژه اگر زنجیره‌ی تأمین محصولِ موردنظر پیچیده باشد. در اختیار عموم قرار دادن تمامی این اطلاعات دشوار است، اما نکته‌ی مهم‌تر آن است که این حجم داده، به مردمی که علاقه‌مند به دانستنِ میزانِ عملکرد ردپای آب محصول هستند، چه کمکی خواهد کرد؟ شفاف‌سازی اطلاعات محصول می‌تواند به دو روش صورت بگیرد: در روش اول، می‌توان تمامی داده‌ها را با جزئیات و اطلاعاتی که حینِ ارزیابی ردپای آب به دست می‌آید، در اختیار عموم قرار داد و یا در روش دوم، می‌توان اطلاعاتی در خصوصِ عملکرد کلیِ ردپای آب به مردم داد که این اطلاعات، مجموعه‌ای از معیارهای تعیین شده خواهد بود. هر یک از این روش‌ها نقاط ضعف و قوتی دارند. مهم‌ترین فایده‌ی فرآهم نمودن اطلاعات تفصیلی آن است که شرکت‌هایی که محصولاتی را با هدف فرآوری مجددِ آن می‌خرند، اطلاعات کافی برای ارزیابیِ محصولات نهاییِ خودشان در اختیار خواهند داشت. ممکن است یک شرکت تولیدِ نوشیدنی، بخواهد ردپای آب شکری که برای تهیه‌ی نوشیدنی‌های خود از کارخانجات شکر می‌خرد را بداند. اگر آن‌ها این اطلاعات را نداشته باشند، نمی‌توانند ردپای آب نوشیدنی‌های خود را به صورت کامل محاسبه کنند که این مسأله می‌تواند از دیدگاهِ کمپانی تولیدِ نوشیدنی و یا مشتریانِ این کمپانی‌ها نامطلوب باشد. مزیتِ دومِ فرآهم نمودن اطلاعات کامل آن است که خودِ این اطلاعاتِ تفصیلی ماهیتاً به معنیِ شفافیتِ کامل هستند. این اطلاعات را می‌توان با اطلاعاتی پیرامونِ عملکرد کلی نیز همراه نمود. به این ترتیب، این واقعیت که اطلاعات تفصیلی به خودی خود، پیامِ شفافی منتقل نمی‌کند را نمی‌توان یک اشکال دانست. ایرادِ ارایه‌ی اطلاعات تفصیلی در فرآیند شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول آن است که شرکت‌ها باید کارهای زیادی برای جمع‌آوری تمامی این اطلاعات و در اختیار عموم قرار دادنشان انجام دهند و از سویی دیگر، ممکن است آن‌ها با هدف رقابت‌پذیری، بخواهند برخی از این اطلاعات را نزد خود به صورت محرمانه نگاه دارند. قطعاً ارایه‌ی اطلاعات شفاف توسط شرکت‌ها، این واقعیت که آن‌ها از کجا مواد اولیه‌ی خود را تأمین می‌کنند را فاش خواهد ساخت.

بزرگ‌ترین مزیتِ ارایه‌ی اطلاعاتی در خصوص عملکرد کلی محصول آن است که مصرف‌کنندگان، با اطلاعات جامعی که اختیارشان قرار داده می‌شود، قادر خواهند بود که به راحتی محصولات مختلف را بر اساس عملکردشان رتبه‌بندی کنند و یا حتی ساده‌تر از آن، می‌توانند بفهمند در فرآیند تولید یک محصول خاص، معیارهای پایداری رعایت شده است یا خیر، اما ایرادِ این روش آن است که دیگر اطلاعاتِ واقعی در طول زنجیره‌ی تأمین در دسترس نیست. به طور خلاصه، به نظر می‌رسد وقتی از تبادل محصول بین کسب‌وکارها صحبت می‌کنیم، ارایه‌ی اطلاعات جزیی بهتر است و زمانی که از تبادل محصول بین یک کسب‌وکار و مصرف‌کننده صحبت می‌کنیم، ارایه‌ی اطلاعاتی پیرامونِ عملکرد

کلی اهمیت بیش‌تری خواهد داشت. در هر صورت، مسأله‌ی محرمانه بودنِ اطلاعات را نمی‌توان مانعی برای ارایه اطلاعاتِ جزیی دانست، زیرا وقتی صحبت از شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول حینِ تبادل محصول بین کسب‌وکارها باشد، می‌توان در صورت لزوم، توافق‌نامه‌هایی را مبنی بر عدم افشای اطلاعات تفصیلی تهیه نمود.

تبیین سازوکاری برای اطمینان از جمع‌آوری تمامیِ اطلاعاتِ ردپای آبِ یک محصول در طول زنجیره‌ی تأمین، کار ساده‌ای نیست. این کار، نیازمند اتخاذ نوعی حسابداری در طول زنجیره‌ی تأمین است که اطلاعاتِ مربوطه را تا انتهای این زنجیره جمع‌آوری کند. برخی از شرکت‌های چندملیتی، نوعی سیستم‌های مدیریتی داخلی کاملاً پیشرفته دارند که بر اساس آن، می‌توانند با استفاده از کد یک محصول نهایی، به تمام اطلاعات آن در طول زنجیره‌ی تأمینش دسترسی داشته باشند: اینکه مثلاً اینکه چه مقدار از منبع شماره‌ی ۱ در تولید آن محصول استفاده شده است، چه مقدار از منبع شماره‌ی ۲ استفاده شده است، و الی آخر. این سیستم به آن‌ها کمک می‌کند که منشأ یک محصول نهایی را به صورت دقیق ردیابی کنند. اتخاذ چنین سیستم‌هایی مدیریتی‌ای می‌تواند فراتر از مرز یک شرکت باشد؛ به گونه‌ای که بتوان بر اساسِ کد یک محصول، کل اطلاعات در زنجیره‌ی تأمین آن را به‌دست آورد؛ لکن پرواضح است که این مسأله، نیازمند همکاریِ بین شرکت‌هاست.

شرکت‌ها می‌توانند به صورت داوطلبانه اقدام به شفاف‌سازی اطلاعاتِ محصولات تولیدی خود نمایند؛ حتی اگر مقررات، طرحِ اعطای گواهی‌نامه و امثالهم در کار نباشد. در حال حاضر، هیچ مقرراتی یا طرحی برای اعطای گواهی‌نامه‌ای در خصوص پایداریِ آب مصرفی در فرآیند تولید محصولات وجود ندارد، بنابراین تمام اطلاعاتی که مصرف‌کنندگان در خصوصِ یک محصول دریافت می‌کنند، به شرکت‌های تولیدکننده‌ی آن محصولات بستگی دارد. نبود چنین مقرراتی، نه به نفع ماست، و نه به نفع شرکت‌هایی که تمایل به حرکت به سمت پایداری دارند. همان‌گونه که گفتم، برای یک شرکت به تنهایی بسیار سخت است که بخواهد اطلاعات شفافی در خصوص محصولات تولیداش فرآهم کند؛ زیرا، بسیاری از این اطلاعات را باید از شرکت‌هایی به دست آورد که مواد اولیه برای تولید محصولات نهایی‌اش را از آن‌ها می‌خرد. بنابراین، به نوعی مقررات دولتی و طرحِ صدور گواهی‌نامه‌های دولتی یا خصوصی ضروری است. با توجه به اینکه سطح نیاز به شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول بین ذی‌نفعان مختلف فرق دارد، اجازه دهید این موضوع را از دیدگاه‌های مختلف بررسی کنم: از دیدگاه مصرف‌کنندگان نهایی، شرکت‌ها، سرمایه‌گذاران و دولت.

دیدگاه مصرف‌کننده

برای آن‌که بدانیم چه چیزی مصرف می‌کنیم، به نوعی به شفاف بودن اطلاعاتی نیاز داریم که در حال حاضر وجود ندارد. دسترسی داشتن مصرف‌کنندگان به عملکرد زیست‌محیطیِ محصولات مصرفی‌شان، امری منطقی است. یک مصرف‌کننده، تمایل چندانی به دانستنِ اطلاعات تفصیلی در خصوص ردپای آب یک محصول که مشتمل بر وضعیتِ پایداری‌اش و اقداماتی که شرکت‌ها در طول زنجیره‌ی تأمین آن محصول برای بهبودِ وضعیت انجام خواهند داد، ندارد. آنچه از دیدگاه مصرف‌کننده مهم است، داشتنِ اطلاعاتی به صورت کلی و جامع است که به اون نشان دهد آیا در فرآیند تولیدِ محصولی که مصرف می‌کند، معیارهای پایداری رعایت شده است یا خیر. این اطلاعات به مصرف‌کنندگان کمک می‌کند که بتوانند انتخابی آگاهانه بین محصولات مختلف داشته باشند. با این حال، ممکن است مصرف‌کنندگان و یا سازمان‌های زیست‌محیطی، علاقه‌مند به دانستنِ اطلاعاتی تفصیلی‌ای فراتر از خروجی‌های مربوط به یک ارزیابی کلی بر پایه‌ی برخی شاخص‌هایی معین باشند. دانستنِ جزئیات ردپای آب و اقدامات و تصمیمات شرکت‌ها برای بهبودِ وضعیت، به مصرف‌کنندگان و سازمان‌های زیست‌محیطی کمک خواهد کرد تا با تعامل با شرکت‌ها، به شناسایی اولویت‌ها و راه‌کارهایی برای بهبودِ اوضاع بپردازند. بنابراین، باید بین نیازهایِ فردیِ مصرف‌کنندگان که نیازمند اطلاعات پایه برای انتخابی آگاهانه هستند و نیازها و نگرانی‌های جامعه‌ی مدنی و سازمان‌های مردم‌نهاد که نیازمند اطلاعاتی غنی برای ایجاد تغییرات مثبت هستند، فرق قایل شد.

دیدگاه یک شرکت

در حال حاضر، چیزی به نام دیدگاه شرکت در مورد شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول وجود ندارد، به این منظور، شرکت‌ها دیدگاه‌های مختلفی دارند. به طور کلی، دو نوع شرکت وجود دارد. گروه اول، شرکت‌هایی هستند که شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول را امری ضروری می‌دانند و تلاش می‌کنند تا معنای واقعی آن را دریابند؛ راه دستیابی به این هدف، با وجودِ موانع داخلی و پیچیدگی‌های موجود در زنجیره‌ی تأمین، را پیدا کنند و بفهمند که چه‌طور این اطلاعات می‌تواند از یک‌سو منتج به تعامل با مصرف‌کنندگان، و از سوی دیگر، باعثِ حرکت به سمت پایداری شود. گروه دوم، شرکت‌هایی هستند که نسبت به شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصول، به‌ویژه در خصوص شفاف‌سازی برای بخشی از زنجیره‌ی تأمین که خارج از محدوده‌ی شرکت خودشان اتفاق می‌افتد، منتقد هستند. این دسته از شرکت‌ها، مسأله‌ی مسئول بودن در قبالِ پایداریِ محصولات تولیدشان در کل زنجیره‌ی تأمینش را نمی‌پذیرند. آن‌ها معتقدند که فقط در قبال پایداری فعالیت‌هایی که در شرکت خودشان اتفاق می‌افتد، مسئولند.

همان‌گونه که در فصل ۱۷ خواهم گفت، این دیدگاه نه تنها از دیدگاه اخلاقی ایراد دارد، بلکه در عمل نیز مانعی برای اجرای طرح شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول محسوب می‌باشد. شرکت‌هایی که نقش مثبت خود در بهبودِ کل زنجیره‌ی تأمین را می‌پذیرند، همان شرکت‌هایی هستند که در واقع باعثِ تغییراتِ مطلوب می‌شوند، اما شرکت‌هایی که خود را تنها مسول پایداری فعالیت‌های داخلی‌شان می‌دانند، مانعی برای تغییر محسوب می‌شوند، بنابراین مسئولیت‌پذیر نمودن این گروه در قبال پایداری کل زنجیره‌ی تأمین محصولاتِ تولیدی‌شان تنها با قوانین و مقررات دولتی امکان‌پذیر است.

ایجادِ شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصول به نفعِ کل جوامع کسب‌کار است، زیرا تدوین استراتژی‌هایی برای کاهش فشار بر منابعِ طبیعیِ زمین، نیازمند داشتنِ اطلاعاتی در خصوص منابع طبیعیِ مصرفی و اثرات زیست‌محیطیِ ناشی از آن در کل زنجیره‌ی تأمین می‌باشد. بنچ‌مارک‌های ردپای آب می‌توانند در تدوین استراتژی‌های دقیق برای کاهش ردپای آب موثر باشند. همچنین، شفاف‌سازی اطلاعاتی در خصوص ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم در یک کسب‌وکار، به جذب سرمایه کمک خواهد کرد، زیرا سرمایه‌گذاران اهمیتِ حیاتیِ خطراتی که کمبودِ آب بر مشاغلِ آب‌محور تحمیل خواهد کرد را درک خواهند کرد (Sarni, 2011).

همان‌گونه که در یک مطالعه‌ی موردی برای تعدادی از شرکت‌های بزرگ هلندی نشان دادیم، شفافیت آبی این شرکت‌ها هنوز هم غم‌انگیز است (Linneman *et al.*, 2015). اما این به این معنا نیست که هیچ اتفاقی در گذشته رخ نداده است. اولین باری که یک شرکت به مفهوم ردپای آب علاقه‌مند شده و خواستارِ تعیینِ ردپای آب محصولات خود شد، به سال ۲۰۰۷ برمی‌گردد (که این مورد، مربوط به کمپانی کوکاکولا بود). اکنون سال ها از آن زمان گذشته است و اگرچه سطحِ آگاهی بالاتر رفته، اما تغییرات واقعی هنوز چندان رخ نداده است. بیش‌ترین نگرانی‌های آبی مربوط به بخش‌های غذا، نوشیدنی، پوشاک، خمیر و کاغذ بود. کارخانه‌ها و شرکت‌های بسیاری آغاز به تعیین ردپای آب کسب‌وکار خود کردند که به موجب آن، برای اولین بار کل زنجیره‌ی تأمین مورد توجه قرار گرفت. هنوز در هیچ بخشی بنچ‌مارک‌های ردپای آب تدوین نشده است. کارخانه‌ها و شرکت‌های بسیاری وجود دارند که اهداف مشخصی برای کاهش برداشت آب در فعالیت‌های اجرایی خود دارند، اما به جز کمپانی کوکاکولا، هیچ کارخانه‌ای هنوز هدف دستیابی به ردپای آب صفر در تمام فعالیت‌های اجرایی خودش را مدنظر قرار نداده است.

اگر از آبی که در محصولات نهایی جای‌سازی می‌شود صرف نظر کنیم، در باقی موارد امکان دستیابی به ردپای آب صفر در این کارخانه‌ها وجود داشته (فصل ۱۲ را ببینید) و احتمالاً این رویه، به رویه‌ی جاری در بسیاری از کارخانه‌های جهان نزدیک است. تنها کاری که باید انجام داد آن است که

جلوی هرگونه مصرف آب و یا اضافه نمودن هر گونه آلاینده‌ای به منابع آبیِ اطراف به واسطه‌ی دفع فاضلاب یا نشر آلاینده‌ها گرفته شود. اگر ردپای آب در کل زنجیره‌ی تأمین برای یک شرکت در نظر گرفته شود، شرایط خیلی دشوار خواهد بود. چند شرکت تلاش کردند که ردپای آب غیرمستقیم خود و میزان پایداری‌اش را تعیین کنند، اما، هنوز شرکتی وجود ندارد که استراتژی‌هایی را (که شامل اقدامات تدوین شده‌ی هوشمندانه) برای کاهش ردپای آب در کل زنجیره‌ی تأمین محصولات تولیدی‌اش تدوین کرده باشد. از این نظر، من خیلی بدبین نیستم، زیرا هنوز زمان زیادی نگذشته و شرکت‌ها می‌توانند به این نقطه برسند؛ اما دیگر وقتش شده است که این مسأله اتفاق بیوفتد.

تفاوت زیادی بین آنچه شرکت‌های کوچک و بزرگ می‌توانند انجام دهند وجود دارد. شرکت‌های کوچک، می‌توانند تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ی خود را عاقلانه انتخاب نموده و محصولات پایدارتری را خریداری نمایند. شرکت‌های بزرگ می‌توانند کارهای بیش‌تری انجام دهند. کارخانجات بزرگ مواد غذایی و نوشیدنی می‌توانند با حمایت از کشاورزان، آن‌ها را وادار به کاهش ردپای آب و رسیدن به حدی مطلوب نمایند. این حمایت‌ها می‌تواند شامل ارتقای آگاهیِ کشاورزان، توانمندسازی ایشان و سرمایه‌گذاری برای استفاده از تکنولوژی‌های آبیاری و فعالیت‌های زراعیِ بهتر باشد. تولیدکنندگان می‌توانند با گروه‌های معینی از کشاورزان، قراردادهایی بسته و انتظار داشته باشند که به موجبِ این قراردادها، بهبودهای مشخصی اتفاق بیوفتد. شرکت‌های بزرگ پوشاک نیز می‌توانند برای بهبودِ زنجیره‌ی تأمین پنبه، کار مشابهی را با کشاورزانِ پرورش‌دهنده‌ی پنبه و کارخانجاتی که این پنبه‌ها را فرآوری می‌کنند، انجام دهند و به آن‌ها برای انجام اقدامات ضروری برای بهبودِ عملکردِ زیست‌محیطیِ فعالیت‌هایشان، کمک نمایند.

دیدگاه سرمایه‌گذار

اغلب نقش مثبتِ سرمایه‌گذار در نیل به پایداری نادیده گرفته می‌شود. دلیلش آن است که ما غالباً شاهد نقشِ معکوس سرمایه‌گذاران بوده‌ایم. برداشتِ کلی‌ای که از بازار سهام وجود دارد آن است که علاقه‌ی کوتاه‌مدتِ سهامدارن به دریافت سود، عاملِ اصلیِ رفتار ناپایدار شرکت‌های بورسی می‌باشد. برداشت مشابهی در خصوص بانک‌های تجاری، شرکت‌های بیمه و صندوق‌های بازنشستگی نیز وجود دارد که می‌گوید این‌ها نیز توجه کم‌تری به بحث پایداری در سرمایه‌گذاری‌های خود دارند. خوشبختانه در این زمینه، شاهد تغییرات تدریجی بوده‌ایم و معیارهای پایداری، کم‌کم در حال ورود به دنیای سرمایه‌گذاری است. یکی از نشانه‌های مثبت در سال ۲۰۰۸ رخ داد که در آن، شرکت مالی بین‌المللی[1]،

1 International Finance Corporation (IFC)

که بخشی از گروه بانک جهانی است، که یکی از موسسان شبکه‌ی جهانیِ ردپای آب[1] به شمار می‌آید، وارد کار شد. در سال ۲۰۱۱، زمانی که دستورالعمل ارزیابی ردپای آب منتشر شد، مونیکا وبرفاهر[2]، رهبر خط تجارت جهانی در بخش مشاوره کسب‌وکار پایدار از شرکت مالی بین‌المللی گفت:

"آب برای کسب‌وکار حیاتی است؛ کیفیتِ پایین آب و مقدارِ ناکافی از آن می‌تواند باعث کاهش و یا حتی توقف فعالیت‌های اجرایی در کسب‌وکارها و در طول زنجیره‌ی تأمین شود. روشِ موجود در دستورالعمل ارزیابی ردپای آب، پاسخگوی نیازهای نوظهور و ضروری برای تعیینِ مقادیر آب مصرفی در این فعالیت‌ها و در زنجیره‌ی تأمین، تعیین میزان پایداری‌شان، و تدوین استراتژی‌های موثر برای حرکت به سمت پایداری را می‌باشد".

در طول چند سال گذشته، شرکت مالی بین‌المللی نشان داده که چگونه ارزیابی ردپای آب می‌تواند ابزاری موثر برای ارتقای آگاهیِ شرکت‌ها و تغییر مسیر آن‌ها به سمت استفاده‌ی پایدار آب شود؛ از آن جمله می‌توان به ایجاد سیستم‌های آبیاری جِین[3] و گروه تاتا[4] در هند و فعالیت‌هایش در کارخانجات پوشاک بنگلادش اشاره نمود.

یکی دیگر از نشانه‌های افزایشِ علاقه‌ی سرمایه‌گذران به شفاف‌سازی کسب‌وکارها از منظر میزان آب مصرفی، طرح افشای آب در پروژه‌ی افشای کربن[5] است (CDP, 2009). پروژه‌ی افشای کربن، یک سازمان غیرانتفاعی مستقل و تاسیس‌شده در سال ۲۰۰۰ است که مشتمل بر بزرگ‌ترین پایگاه داده‌ی جهان از نظر در اختیار داشتنِ اطلاعات تغییرات اقلیمِ شرکت‌ها می‌باشد. این اطلاعات، توسط سرمایه‌گذران نهادی، سازمان‌های خریدار، و ارگان‌های دولتی جمع‌آوری شده است. در سال ۲۰۰۷، پروژه‌ی افشای کربن، با خرج ابتکاری در زمینه‌ی زنجیره‌ی تأمین، فعالیت خود را گسترش داد و بدین وسیله، به سازمان‌های بزرگ کمک کرد تا با تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ی خود در ارتباط باشند تا بتوانند اطلاعات با کیفیتی در زمینه‌ی تبعات تغییراقلیم بر زنجیره‌ی تأمین خود تهیه و استفاده نمایند. بسیاری از شرکت‌های تابعه، از پروژه‌ی افشای کربن خواستند تا به آنها کمک کند که با تأمین‌کنندگان خود در خصوص جمع‌آوری اطلاعات آبی در زنجیره‌ی تأمین محصولات در تعامل باشند. درکِ اهمیت مسائل مرتبط با آب، که هم بخش مهمی از چالشِ گسترده‌ترِ تغییراقلیم و هم موضوعی مستقل شمرده می شود، باعث شد تا پروژه‌ی افشای کربن در سال ۲۰۰۸، طرح افشای آب را پایه‌گذاری کند. این پروژه برای تدوین گزارش جهانی خود در سال ۲۰۱۷، از ۴۶۵۳ شرکت بزرگ در جهان خواست تا اطلاعاتی

1 Water Footprint Network
2 Monika Weber-Fahr
3 Jain Irrigation Systems
4 TATA Group
5 water disclosure initiative by the Carbon Disclosure Project

در خصوص تلاش‌های خود برای مدیریت و حکمرانی آب ارایه دهند که از این تعداد، ۲۰۲۵ شرکت پاسخ دادند (CDP, 2017).

با این وجود، اخیراً در پژوهشی دریافتیم که سرمایه‌گذران، چندان در سرمایه‌گذاری روی فعالیت‌های آبی پایدار، پیشرفتی نداشته‌اند. هرچند تصمیماتی که آن‌ها برای سرمایه‌گذاری‌هایشان می‌گیرند، نقش زیادی در وضعیتِ منابع آبیِ جهان در آینده خواهد داشت (Hogeboom *et al*., 2018a). ما در این پژوهش، با بررسی سیاست‌های عمومیِ منتشر شده از سوی سرمایه‌گذران به این منظور، بیان کردیم که چرا و چگونه سرمایه‌گذران باید معیارهای پایداری آبی را در تصمیمات خود در نظر بگیرند. به همین دلیل، چارچوبی برای ارزیابیِ پایداریِ آبی سرمایه‌گذران تدوین نموده و آن را برای ۲۰ سرمایه‌گذار بزرگ جهان در کشور هلند اعمال کردیم. نتایج این پژوهش نشان داد که به طور کلی، مسأله‌ی پایداری آب، به صورت نقطه‌ای کور برای سرمایه‌گذران باقی مانده و باعث شده که نه سیاست افشاگرانه‌ای در این راستا تعیین شود و نه چارچوبی برای اجرای آن، به‌ویژه در طول زنجیره‌ی تأمین فعالیت‌هایی که روی آن‌ها سرمایه‌گذاری شده است، تدوین شود. لذا، راه زیادی تا اطمینانِ سرمایه‌گذران از مصارف کارآمد، پایدار و عادلانه‌ی آب در فعالیت‌هایشان وجود دارد.

جالب است بدانیم که سرمایه‌گذران ، بیش‌تر علاقه‌مند به شفاف‌سازیِ کسب‌وکارها هستند تا شفاف‌سازی محصولات. برای شرکت‌هایی که پورتفولیوی کوچکی برای محصولات خود دارند، هر دوی این موارد تا حدی یکسان است. اما برای شرکت‌هایی با پورتفولیوهای بزرگ‌تر، اطلاعاتی کلی پیرامون پایداریِ کسب‌وکارها، دیدی اندکی در خصوص پایداریِ محصولات مختلفِ تولیدی در یک شرکت به ما می‌دهد.

نقش دولت

برای شفاف‌سازی اطلاعاتیِ محصول، نه تنها بازار (مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و سرمایه‌گذران) موثر هستند، بلکه مقررات دولتی نیز نقش مهمی دارد. در حال حاضر، تلاش‌هایی که شرکت‌ها برای شفاف‌سازی اطلاعاتِ محصولات خود انجام می‌دهند، داوطلبانه است. در گذشته، دولت‌ها مقررات متعددی برای تولیدکنندگان از حیثِ سلامت و ایمنی عمومی وضع کرده بودند که غالباً به شکل استانداردهای محصول ارایه می‌شد. شرکت ها باید این استانداردهایی که به نفع مصرف‌کنندگان است را رعایت کنند. انتظار می‌رود که دولت‌ها در آینده، توجه بیش‌تری به تدوین استانداردهایی از منظر پایداری محصولات نیز داشته باشند. معیارهای مربوط به استفاده‌ی پایدار آب نیز یابد بخشی از این استانداردهای پایداری باشد.

نقشِ دیگر دولت، اجباری نمودن شفاف‌سازی برخی اطلاعات مربوط به محصولات در بازار است. همان‌گونه که پیش‌تر در این فصل گفته شد، یک شرکت نمی‌تواند به تنهایی خودش اطلاعات شفافی پیرامون محصولاتی که تولید می‌کند ارایه دهد، زیرا برای این‌کار، به اطلاعات شرکت‌هایی که مواد اولیه برای تولید محصولات خود را از آن‌ها خریداری می‌کند، نیز نیاز خواهد داشت. باید نوعی اجبار برای تأمین‌کنندگان کالاها وجود داشته باشد که در صورت نیاز، آن‌ها را وادار به جمع‌آوری و ارایه‌ی داده‌های کلیدی مربوط به مصرف آب به مشتریان خود نماید. این نوع اطلاعات می‌تواند به روش‌های مختلفی تهیه شود؛ مثلاً می‌تواند در گزارش پایداری سالانه‌ی شرکت‌ها ارایه شود، می‌تواند به صورت آنلاین در اختیار مشتریان قرار بگیرد، و یا می‌تواند همراه با محصولی که به فروش می‌رسد، به مشتریان ارایه شود.

در فصل ۱۵، نمونه‌ای از یک برچسب بین‌المللی آب برای محصولات آب‌بری مثل پنبه، برنج، و چغندر قند را ارایه نموده و بیان داشتم که هیچ راهی برای تنظیم تجارت بین‌المللی بر اساس معیارهای پایداری وجود ندارد مگر آن‌که توافق‌نامه‌های بین‌المللی‌ای منعقد شود که مشتمل بر قوانینی برای محدودسازی تجارت باشد. تحت قوانین تجارتِ آزاد در سازمان تجارت بین‌المللی، یک کشور نمی‌تواند مانعِ وارداتِ کالاهای غیرپایدار شود و یا مالیاتِ وارداتِ چنین کالاهایی را در مقایسه با کالاهای پایدار افزایش دهد. این کار تنها در شرایط انعقاد توافق‌نامه‌های بین‌المللی زیست‌محیطی به جای قوانین تجارت آزاد میسر خواهد بود. به‌ویژه کشورهایی که علاقه‌مند به مسأله‌ی "مصرفِ پایدار[1]" هستند، ممکن است بخواهند این مسأله را در سیاست‌های تجاری خود لحاظ نمایند؛ مثلاً ممکن است دولت انگلیس، که ۷۵ درصد از کل ردپای آب شهروندانش در خارج از کشورش واقع شده است (Mekonnen and Hoekstra, 2011b)، برای شفاف‌سازی اطلاعات مربوط به ردپای آب کالاهایی که وارد می‌کند، بکوشد و یا حتی بخواهد موانعی در برابر واردات کالاهایی که در پروسه‌ی تولید آن‌ها، معیارهای استفاده‌ی پایدار از منابع آب رعایت نشده است، ایجاد نماید. دستیابی به چنین هدفی تنها زمانی امکان‌پذیر است که همکاری‌های بین‌المللی در این زمینه وجود داشته باشد.

آیا کالاها باید برچسب آب داشته باشند؟

اجازه دهید آزمایش فرضی ذیل را انجام دهیم. به عنوان یک مصرف‌کننده، ما می‌توانیم در یکی از پنج جهان ذیل زندگی کنیم. لطفا بر اساسِ ترجیح خود، این جهان‌ها را طبقه‌بندی کنید:

1 Sustainable consumption

۱. جهانی که در آن، تمام محصولات پایدار هستند. هرآنچه ما از قفسه‌های سوپرمارکت‌ها یا هرجایی دیگر تهیه می‌کنیم، مجموعه‌ای از معیارهای پایداری را دارند.
۲. جهانی که در آن، بسیاری از محصولات ناپایدار هستند. همه‌ی محصولات، برچسبی دارند که روی آن‌ها، استانداردهای بین‌المللی پایداری درج شده که عملکرد کلی آن محصول را از نظر بهداشت عمومی و مسایل اجتماعی و زیست‌محیطی نشان می‌دهد. مسایل مربوط به استفاده‌ی پایدار آب نیز در این برچسب وجود دارد.
۳. جهانی مشابه جهان شماره‌ی ۲، با این تفاوت که محصولات معمولاً برچسب پایداری ندارند. در عوض، برچسب‌های دیگری دارند که اطلاعات دیگری را نشان می‌دهد؛ مثلاً شامل برچسب‌های انرژی، تجارت عادلانه، وضعیت ارگانیک بودنِ مواد غذایی و برچسب‌های مربوط به محافظت از جنگل‌ها و محیط‌های دریایی هستند. این برچسب‌ها روی تمام محصولات چسبانده نمی‌شود؛ بلکه فقط روی برخی گروه‌های مشخص وجود دارد. همچنین، اطلاعات آبی نیز تنها روی برخی محصولاتِ آب‌برِ منتخب وجود دارد.
۴. جهانی مشابه جهان شماره‌ی ۳، با این تفاوت که هیچ برچسبی در خصوص آب وجود ندارد.
۵. جهانی بدون هیچ‌گونه برچسبی. هیچ‌گونه اطلاعاتی در خصوص مسایل اجتماعی و زیست‌محیطی برای محصولات وجود ندارد. بسیاری از محصولات، پایدار نیستند اما هیچ اطلاعاتی نیز وجود ندارد که نشان دهد تا چه حد یک محصول پایدار است.

من این جهان‌ها را به همان ترتیبی که ترجیح می‌دهم در بالا ارایه نمودم. تمایل دارم بدانم شما چگونه آن‌ها را مرتب می‌کنید. در حال حاضر، ما در جهان شماره‌ی ۴ زندگی می‌کنیم. جهان شماره‌ی ۳، مشابه جهان شماره‌ی ۴ است، اما تفاوتش وجودِ برچسب آب در آن است. اگر شما از افزایش تعداد برچسب‌ها متنفر هستید، آن‌گاه تمایلی به جابه‌جایی از جهان شماره‌ی ۴ به ۳ نخواهید داشت. من با این حس شما موافق هستم؛ زیرا افزایش تعداد برچسب‌ها، هزینه‌بر و بی‌تاثیر است. با این وجود، دیدگاه شخصی من آن است که این مسأله هم به نوعی تغییر محسوب می‌شود. ما هنوز برای برچسب‌گذاری موثر و جامع و بین‌المللیِ پایداری که در آن، اطلاعات مربوط به شاخص‌هایی که در توافق‌نامه‌های بین‌المللی به رسمیت شناخته شده‌اند درج می‌شود (یعنی مشابه آن‌چه در جهان شماره‌ی ۲ وجود دارد) آماده نیستیم. به اعتقاد من، برچسب‌های ملی و منطقه‌ایِ مختلفی که به صورت جداگانه برای مسایل اجتماعی و زیست‌محیطی وجود دارند، از هیچی بهتر هستند (یعنی مشابه جهان ۵ که هیچ برچسبی در آن وجود ندارد). احتمالاً وجود برچسب‌های متعدد، کم‌تر از وجود یک برچسبِ پایداریِ شفاف، قابل اعتماد و بین‌المللی می‌تواند انتخاب محصول توسط مصرف‌کننده را متأثر سازد، اما اولاً این برچسب‌ها

نیز تا حدی روی انتخاب مصرف‌کنندگان اثر خواهند داشت و نکته‌ی مهم‌تر آنکه این برچسب‌ها می‌توانند انگیزه‌ای برای شرکت‌ها جهت تلاش به منظور بهبود مسایل اجتماعی و زیست‌محیطی در پروسه‌ی تولیدِ محصولاتشان باشد. از این نظر، معلوم است که من تدوین برچسب آب برای محصولات را مفید می‌دانم؛ تدوین چنین برچسب‌هایی به‌ویژه، برای محصولات غذایی و نوشیدنی و پنبه، اهمیت بیش‌تری دارد. تدوین چنین برچسبی نیازمندِ شفاف‌سازیِ بیش‌تر در چنین بخش‌هایی است که خود، گام بزرگی رو به جلو محسوب می‌شود. شفاف‌سازی اطلاعاتیِ بیش‌تر می‌تواند به همان اندازه‌ی برچسب‌های فیزیکی، انگیزه‌ای در بازار برای ایجاد کسب‌وکارهای نوآورانه و نوین از دیدگاه زیست‌محیطی ایجاد نماید. اما برچسب فیزیکی بیش‌تر برای همراه نمودن مصرف‌کنندگان (در حرکت به سمت پایداری) می‌باشد.

در جهانِ در حال دیجیتالی شدن، ممکن است ایده‌ی برچسب‌گذاری فیزیکی منسوخ شود. به راحتی می‌توان روزی را تصور نمود که یک مصرف‌کننده، با اسکن نمودن کد یک کالا، به سطوحِ مختلف اطلاعاتِ مربوط به آن کالا دسترسی پیدا کند. در بالاترین سطح، مصرف‌کننده می‌تواند به اطلاعاتیِ نظیر قیمت کالا، ترکیباتِ تشکیل‌دهنده‌ی کالا، محل تولید آن‌ها و عملکرد آن کالا از دیدگاه‌های مختلفی مانند مسایل بهداشتی، انرژی، آب، تنوع زیستی و تجارت آزاد دست یابد. در سطحی دقیق‌تر، مصرف‌کننده می‌تواند برای هر مسأله (اجتماعی، زیست‌محیطی و غیره)، اطلاعات بیش‌تری در خصوص شاخص‌های مربوطه به دست آورد.

تا اینجا، من مرتب در خصوص برچسب مدیریت آب و نه ردپای آب صحبت کردم. برای این کار دلیل خوبی داشتم. در ابتدای این فصل، وقتی به صورت کلی در مورد شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول صحبت کردم، بین ارایه‌ی تمامی اطلاعات به صورت تفصیلی با ارایه‌ی اطلاعاتی در خصوص عملکرد کلی محصول تمایز قایل شدم. مجموعه‌ی اطلاعات مربوط به کل محاسبات ردپای آب (شامل ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ مربوط به تمام مواد تشکیل دهنده‌ی یک محصول، وضعیتِ پایداری ردپای آب هریک از این مواد، و ارایه‌ی مجموعه‌ای از تمامی اقدامات و هدف‌گذاری‌های صورت‌گرفته در یک شرکت برای بهبودِ اوضاع) فراتر از آن است که بشود آن را روی یک برچسب خلاصه نمود. این‌گونه شفاف‌سازی اطلاعاتی را باید با روش دیگری انجام داد؛ مثلاً می‌توان آن‌ها را به صورت آنلاین و یا در گزارش‌های پایداری ارایه نمود. روی برچسب یک محصول، بهتر است اطلاعاتی در خصوص عملکرد کلی آن ارایه شود که این اطلاعات، به جای ردپای آب، می‌تواند همان اطلاعات کلی در خصوص مدیریت آب باشد. این برچسب، می‌تواند یک تمبر ساده باشد که مثلاً روی آن نوشته شده: "تولیدشده با مدیریت آبی خوب"؛ یا اینکه می‌توان وضعیت مدیریت آب را به چند گروه تقسیم‌بندی کرد و روی

محصول درج کرد که با چه سطح مدیریتی‌ای تولید شده است. به این ترتیب، می‌توان از اطلاعات تفصیلی مربوط به ردپای آب محصول، وضعیت پایداری آن و اقداماتی که در صورت لزوم، برای کاهش ردپای آب صورت خواهد گرفت، برای طبقه‌بندی این سطح مدیریتی که روی کالا درج می‌شود، استفاده نمود.

برخی شرکت‌ها، تلاش‌هایی برای درج اطلاعات ردپای آب روی یک محصول انجام داده‌اند. مثلاً کمپانی Raisio، که یک شرکت مواد غذایی فنلاندی است، اولین شرکتی بود که در سال ۲۰۰۹، مقادیر ردپای آب را روی یکی از محصولات خود درج نمود. این کمپانی روی یک بسته جو دوسر پرک برچسبی اضافه کرد که روی آن نوشته بود برای تولید هر ۱۰۰ گرم جو دوسر پرک، ۱۰۱ لیتر آب مصرف شده است که از این مقدار، ۹۹/۲۷ درصد مربوط به فرآیند کشت جو، ۰/۵۷ درصد مربوط به مرحله‌ی فرآوری جو و ۰/۱۶ درصد مربوط به موادی بود که برای بسته‌بندی این محصول استفاده شده بود. با توجه به نقدی که پیش‌تر مطرح کردم، ممکن است این سوال پیش بیاید که فایده‌ی این اطلاعات در خصوص ردپای آب چیست؟ این اطلاعات به خودی خود، هیچ دیدی به مصرف‌کننده در خصوص خوب یا بد بودنِ وضعیت ردپای آب نمی‌دهد و به این ترتیب، نمی‌تواند به انتخاب آگاهانه‌ی محصول توسط مصرف‌کننده کمکی نماید. اما فایده‌ی این برچسب، که حدس می‌زنم اساساً با همین هدف هم تولید شده باشد، ارتقای آگاهی مصرف‌کنندگان در خصوص میزان آب مصرفی در پروسه‌ی تولید غذاست. اگر از این دیدگاه به موضوع نگاه کنیم، چنین برچسب‌گذاری‌ای نیز مفید خواهد بود. این کار را می‌توان زیرمجموعه‌ی بخشی از تلاش‌های شرکت‌ها و دولت‌ها برای آموزش مردم در حوزه‌ی آب دانست. به این ترتیب برای ارتقای سطح آگاهی مردم، میزان ردپای آب می‌تواند به صورت یک عدد کلی روی این قبیل برچسب‌ها ارایه شود، اما اگر هدف، کمک به انتخاب محصول توسط مصرف‌کننده باشد، ارایه‌ی میزانِ خوب بودنِ مدیریت آب در پروسه‌ی تولید آن محصول روی این برچسب، مفیدتر خواهد بود (Postle *et al*., 2011).

از دیدگاه پایداریِ زمین، ایده‌ی برچسب مدیریتیِ آب تنها زمانی موفق نامیده می‌شود که بتواند انگیره‌ای در تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان برای قرار گرفتن در مسیر تولید و مصرف پایدار ایجاد نماید. بر اساس UNEP (UNEP, 2005)، برچسب‌های زیست‌محیطی برای ترویج مصرف پایدار مهم‌ترهستند؛ اما این مسأله تنها زمانی مصداق دارد که مخاطب، مصرف‌کنندگان فردی باشد. قرار نیست برای تسهیل ارتباط بین تولیدکننده و مصرف‌کننده‌ی عام یا خاص، تمام اطلاعات مربوط به

محصول تنها با استفاده از برچسب فیزیکی ارایه شود. همچنین می‌توان به جای تعیین وضعیت مدیریت آب در پروسه‌ی تولیدِ یک محصول، این اطلاعات را در سطح یک شرکت ارایه نمود[۱].

مدیریت آبی خوب

نمی‌توان یک تعریف خوب از شرایطی که تحت آن، بتوان گفت یک شرکت یا سازمان، از دیدگاه مدیریت آبی خوب عمل می‌کند یا خیر، داشت. دلیلش آن است که مدیریت آب، مفهومی فراگیر مانند پایداری است که روی آب تمرکز دارد. ایده‌های خلاقانه‌ی زیادی در جهان برای مدیریتِ آبی خوب وجود دارد، اما مهم‌ترینِ آن‌ها، ایده‌ای با عنوان اتحاد برای مدیریت خوب آب است که در سال ۲۰۰۸، با همکاری موسسه‌ی اقیانوس آرام[۲]، سازمان جهانی حفاظت از طبیعت[۳]، سازمان ابتکار حفاظت آب استرالیا[۴]، صندوق جهانی طبیعت[۵] و WWI[۶] شکل گرفت. سازمان "اتحاد برای مدیریت خوب آب" روی طرح صدور گواهی‌نامه‌ی آب کار می‌کند تا به واسطه‌ی آن، پذیرش راهکاهایِ مصرفِ بهترِ آب در جهان برای بهبود وضعیت پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی توسط شرکت‌ها را گسترش دهد (Richter, 2009).

استاندارد بین‌المللی مدیریت آب که توسط سازمان اتحاد برای مدیریت خوب آب تدوین شده است، یک استاندارد بین‌المللی است که مجموعه‌ای از مفاهیم مدیریت آب، گام‌های آن، شاخص‌ها و معیارهایی برای مدیریت آب در محل یا ادوات تولید، و چگونگیِ درگیر شدن در زنجیره‌ی تأمین فراتر از مرز یک واحد تولیدی را به گونه‌ای تعریف می‌کند که از نظر اجتماعی عادلانه، از نظر زیست‌محیطی پایدار و از نظر اقتصادی، سودمند باشد (AWS, 2014). این استاندارد، چهار اصل اساسی را برای مدیریت آب در نظر می‌گیرد: (الف) اول، حکمرانی خوب آب، (ب) دوم، بیلان آب پایدار، (ج) سوم، کیفیت آب خوب، (د) و چهارم، وضعیت بهداشتی سالم در منابع آبی اطراف. این استاندارد در شش گام سازمان‌دهی شده است: تعهد، درک و استباطِ اهداف، برنامه‌ریزی، اجرا، ارزیابی و تعامل و شفاف‌سازی. هر گام شامل مجموعه‌ای از معیارها با شاخص‌های مربوطه است. این استاندارد در سطح یک محدوده‌ی جغرافیایی تعیین می‌شود و به جای تمرکز روی یک محصول یا یک زنجیره‌ی تأمین، در سطح یک واحد تولیدی

---

۱ توضیح مترجم: یعنی تعیین کرد که آیا وضعیت مدیریت آب در پروسه‌ی تولید محصولاتِ یک شرکت معین، پایدار است یا خیر؟ نه اینکه این اطلاعات را تک به تک برای هر محصول ارایه نمود. در واقع برچسب‌ها را می‌توان برای شرکت‌ها تهیه کرد نه برای محصولات.

2 Pacific Institute
3 The Nature Conservancy (TNC)
4 Australia's Water Stewardship Initiative
5 World Wide Fund for Nature (WWF)
6 Water Witness International

قابل کاربرد است. معیارهای زنجیره‌ی تأمین نیز تا حدی لحاظ شده و ممکن است در آینده، تکمیل هم شود.

استاندارد جهانی ردپای آب

بخشی از هر کسب‌وکار و شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول آن است که از زبان، تعاریف و روش‌های محاسباتی مشترکی در کل جهان استفاده شود. برای دستیابی به این هدف، در سال ۲۰۰۹، یعنی حدوداً هفت سال پس از اولین باری که مفهوم ردپای آب به کار برده شد، شبکه‌ی جهانی ردپای آب، اولین ویرایش از دستورالعمل ارزیابی ردپای آب خود را منتشر کرد. دو سال بعد، دومین ویرایش این دستورالعمل به چاپ رسید (Hoekstra *et al*., 2011). این دستورالعمل استاندارد که دستاورد یک پروسه‌ی مشورتی با سازمان‌ها و محققان در سرتاسر جهان بوده و از فرآیند داوری دقیق علمی گذر کرده است، تعاریف و روش‌های جامعی برای محاسبات ردپای آب دارد. در این شیوه نامه، روش محاسبه‌ی ردپای آب برای فرآیندها، محصولات، مصرف‌کنندگان، کشورها و کسب‌وکارها ارایه شده است. همچنین، روش‌هایی برای تحلیل پایداری ردپای آب و مجموعه‌ای از اقدامات مفید برای کاهش ردپای آب در آن ارایه شده است. یک چالش اساسی که در جوامع جهانی وجود دارد، رسیدن به زبان و درک مشترکی از مسأله است، زیرا همان‌گونه که برای دیگر شاخه‌های محاسبات زیست‌محیطی به اثبات رسیده است، سردرگمی‌هایی که در تعاریف و روش‌ها به‌وجود می‌آید، مانعِ دستیابیِ جوامع به پایداری می‌شود.

فصل هفدهم

چه کسانی قهرمانانِ تغییر هستند؟

مسئولیتِ حکمرانیِ عاقلانه به عهده‌ی مصرف‌کنندگان، دولت‌ها، کسب‌وکارها، و سرمایه‌گذران است. هریک از این گروه‌ها، نقش‌های متفاوتی در این زمینه دارند. لکن، این تعاملِ گروه‌ها با هم است که باعثِ ایجادِ تحولات می‌شود. این گروه‌ها، می‌توانند باعثِ دلسردیِ دیگری برای حرکت در مسیر صحیح شوند (چیزی که غالباً اتفاق می‌افتد) و یا یک‌دیگر را تشویق نمایند. اجازه دهید ابتدا توضیح دهم که ما چگونه می‌توانیم یک‌دیگر را دلسرد نماییم.

بسیاری از مصرف‌کنندگان ترجیح می‌دهند که غذاها، لباس‌ها و دیگر چیزها را ارزان بخرند و ظاهراً به منشأ تولید این محصولات نیز توجهی نمی‌کنند. همچنین، بسیاری از اقلام خریداری‌شده‌ی ما در نهایت قابل مصرف نبوده و یا دور انداخته می‌شود. بر اساس یافته‌های پژوهشی که توسط سازمان خواروبار جهانیِ فائو انجام شده است، میزان دورریز سالانه‌ی غذا در کشورهای ثروتمند (۲۲۲ میلیون تن در سال)، تقریباً به اندازه‌ی کل غذایی است که سالانه در جنوبِ صحرای آفریقا مصرف می‌شود (۲۳ میلیون تن در سال) (Gustavsson *et al*., 2011). این واقعیت که مصرف‌کنندگان، به محل تولید و یا سرنوشتِ محصولات مصرفی خود توجهی نمی‌کنند، پیام آشکاری را روانه‌ی بازار می‌کند و آن اینکه مسأله‌ی پایداری، عامل مهمی است که حین تولید انبوه کالاها برای مردم در نظر گرفته نمی‌شود. اگرچه مردم به ظاهر طرفدار پایداری هستند، اما در عمل به گونه‌ای دیگر عمل می‌کنند (Vermeir and Verbeke, 2006). تحتِ چنین شرایطی، تولیدکنندگان چندان تمایلی به تلاش جهتِ پایدار ساختنِ فعالیت‌ها و زنجیره‌ی تأمین خود نخواهند داشت. به جز برخی موارد اندک، کاهش مصرف و آلودگیِ آب در طول زنجیره‌ی تأمین کالاها، غالباً نیازمند سرمایه‌گذاری‌هایی است که تنها با حمایتِ مصرف‌کنندگان از این رویه امکان‌پذیر خواهد بود. اگر مصرف‌کنندگانِ نهاییِ محصولات، تمایل به انتخاب کالاهای ارزان‌تر داشته باشند، آن‌گاه قرار گرفتنِ در مسیرِ صحیحِ تولید از دیدگاه پایداری، امری دشوار خواهد بود؛ به همین ترتیب اگر در ادامه، دولت‌ها نیز انگیزه‌های کافی برای شرکت‌ها برای پایدار نمودن فعالیت‌ها و خریدهایشان ایجاد نکنند و همچنین اهدافِ کوتاه‌مدتِ سرمایه‌گذران بر اهدافِ بلندمدتِ پایداری غالب شود، دیگر کدام شرکت تمایل خواهد داشت و یا حتی خواهد توانست که معیارهای صحیحِ پایداری را در فرآیند تولید محصولات خود در نظر بگیرد؟ وجود چنین مسایلی، یک حلقه‌ی مارپیچ منفی ایجاد نموده و الگوی مصرفِ مردم را متأثر می‌سازد، زیرا یکی از مهم‌ترین دلایلی که باعث می‌شود حرف و عمل مردم در مواجهه با مسأله‌ی پایداری با هم مطابقت نداشته باشد، وجودِ

این باورِ قوی در آن‌هاست که اغلبِ محصولاتی که تولید می‌شوند ناپایدار هستند[۱]. در حقیقت، همان‌گونه که ورمیر و وربرک بیان داشتند، عدم مطالبه و خرید محصولات پایدار توسط مصرف‌کنندگان، به دلیلِ عدمِ اطلاعِ کافیِ آن‌ها از وجود چنین محصولاتی می‌باشد (Vermeir and Verbeke, 2006).

اگر هر یک از عوامل، مسئولیت خود را در نیل به پایداری پذیرفته و به آن عمل نمایند، این حلقه‌ی مارپیچِ منفی، به حلقه‌ای مثبت تبدیل خواهد شد. شواهد کافی از این مهم وجود دارد که اگر مصرف‌کنندگان، محصولات برچسب‌دار را از میان قفسه‌های فروشگاه‌ها انتخاب نمایند (برچسب‌هایی مثل "تجارت عادلانه"، "محصول ارگانیک" و غیره)، فروش آن محصولات در مقایسه با محصولاتِ بدون برچسب افزایش خواهد یافت. نگاهی به آمار دهه‌های گذشته نشان می‌دهد که نرخ فروشِ محصولاتی با برچسب‌هایی همچون "تجارت عادلانه" و "محصول ارگانیک"، زمانی افزایش یافت که مصرف‌کنندگان حاضر شدند بهای بیش‌تری برای خرید چنین کالاهایی پرداخت نمایند (به عنوان مثال، مواردی که توسط هووارد و آلن در سال ۲۰۰۸ مطرح شده است را ببینید (Howard and Allen, 2008)). ما افزایش تعداد برچسب‌ها و صدور گواهی‌نامه‌ها را مدیون ابتکاراتِ دولت‌ها و کسب‌وکارها هستیم. هرچند مردم از تعدد برچسب‌ها و گواهی‌نامه‌ها و نبود شفافیتِ اطلاعاتیِ کافی در خصوصِ محصولات تولیدی شکایت دارند، و اگرچه اصالت برخی از این برچسب‌ها زیرسوال رفته است، اما سوال آنجاست که اگر مشوق‌هایی که برای برچسب‌گذاری و دریافت گواهی‌نامه‌ها اعطا شد، وجود نمی‌داشت، آیا می‌توانستیم شاهد بهبودهایِ واقعی که در واحدهای تولیدی صورت گرفت، باشیم؟ متأسفانه در برچسب‌ها و گواهی‌نامه‌های موجود، معیارهایی از حیثِ مصرف پایدار آب وجود ندارد. تاکنون بیش‌ترین تمرکز، روی مسایل رعایت بهداشت عمومی، شرایط کاری مطلوب، حقوق حیوانات، کاهش انرژی مصرفی، جنگل‌داری پایدار و صید پایدار بوده است. هنوز مسأله‌ی مدیریتِ مطلوبِ مصرف آب در صدور این برچسب‌ها و گواهی‌نامه‌ها جایی ندارد.

اما دیگر صحبت در خصوص برچسب‌ها کافی است؛ زیرا، برچسب تنها یکی از ابزار موثر (در نیل به پایداری) بوده و به خودیِ خود، عامل تعیین کننده‌ای نیست. اصل مهم آن است که مصرف‌کنندگان، تمایلِ خود برای خریدِ محصولات پایدار را با الگوی رفتاری واقعی خود در خریدهایشان نشان می‌دهند. حال چه این اطلاعات با برچسب به اطلاع آن‌ها رسانده شده یا نشده باشد. دولت‌ها می‌توانند، و باید با ایجاد انگیزه‌هایی در مصرف‌کنندگان برای خرید محصولات پایدار و در شرکت‌ها برای تولیدِ چنین

---

۱ . در حقیقت، وقتی چنین باوری بین مصرف‌کنندگان شکل بگیرد که در تولید اغلبِ محصولات، معیارهای پایداری رعایت نمی‌شود، چگونه می‌توان از آن‌ها انتظار داشت که به پایداری الگوی مصرف خود توجه داشته باشند و مثلاً به جای قیمتِ کالا، معیارهای پایداری را مطالبه کرده و آن‌ها را معیار انتخاب‌های خود قرار دهند؟

محصولاتی، به این منظور، نقش مهمی ایفا نمایند؛ به عنوان مثال، این کار می‌تواند به سادگی با روش‌هایی همچون کاهش مالیات روی کالاهای پایدار در مقایسه با کالاهای مشابه ناپایدار، اعطای گواهی‌نامه‌های مهم و موثر، و تدوینِ تدریجیِ قوانینی که در گذر زمان، باعثِ حرکت تولیدکنندگان به سمت پایداری شود، صورت بگیرد. در نهایت، سرمایه‌گذران می‌توانند و باید معیارهای پایداری اجتماعی و زیست‌محیطی را حینِ سرمایه‌گذاری‌هایشان در نظر بگیرند. خوشبختانه، این انگیزه در میان سرمایه‌گذران در حال افزایش است. مصرف‌کنندگان، در حقیقت همان کارگران، رای‌دهندگان و سرمایه‌گذران پس‌اندازهای خود هستند که نه‌تنها می‌توانند با الگویِ رفتاری خود حین خرید به عنوان یک خریدار، بلکه به سبب اقداماتی همچون متأثر ساختنِ برنامه‌های احزاب سیاسی، انتخاب دولتِ مطلوبِ خود و سپردن سرمایه‌های خود به بانک‌هایی که معیارهای سخت‌گیرانه‌ی پایداری را در فعالیت‌های خود لحاظ می‌کند، نقش مهمی را در حرکت به سمت پایداری ایفا نمایند. در واقع، شروع و خاتمه‌ی داستان پایداری، با تک تک افرادی است که تمامِ توان و ظرفیت خود را برای پذیرش مسئولیت خود به کار می‌گیرند.

اجازه دهید نمونه‌هایی از مواردی که در این کتاب، در خصوص نقش مثبت بازیگرانِ مختلف در نیل به سمت استفاده‌ی پایدار از منابع آب در جهان ارایه شده است را مرور کنم. در فصل ۴، که درباره‌ی ردپای آب نوشیدنی‌های بدون الکل بود، بیان شد که برای تولیدِ نوشیدنی‌های پایدار، کارخانجاتِ تولید نوشیدنی نه تنها باید روی پایداریِ فعالیت‌هایی که در شرکتِ خودشان رخ می‌دهد، بلکه باید روی پایداریِ کل زنجیره‌ی تأمین خود نیز سرمایه‌گذاری نمایند. این مسأله، برای دیگر کارخانه‌ها نیز مصداق دارد؛ به‌ویژه برای کارخانجاتی که از نهاده‌های کشاورزی برای تولید محصولات خود استفاده می‌کنند. در فصل ۶ که درباره‌ی گوشت بود، این‌گونه بیان شد که مصرف‌کنندگان می‌توانند با کاهش مصرف گوشت، و یا توجه نمودن به محل تولیدِ گوشت به جای تمرکز بر نصب ادوات صرفه‌جویی کننده‌ی آب آشامیدنی در منازل خود، نقش مهمی در کاهش مصرف و آلودگی آب در جهان بازی نمایند. در فصل ۸ که پیرامون ردپای آب سوخت‌های زیستی بود، این‌گونه بیان شد که دولت‌ها حتماً باید در اهدافِ حفاظت از منابعِ آبیِ خود، سیاست‌های استفاده‌ی هوشمندانه از منابع انرژی با لحاظ تبعاتی که بر میزان مصرف آب می‌گذارد را نیز وارد نمایند. در فصل ۹ پیرامون گل‌های شاخه‌بریده، بیان شد که مصرف‌کنندگان در کشورهای غربی می‌توانند به ازای هر گلی که خریداری می‌کنند، یک حق بیمه‌ی معینی را پرداخت نمایند تا از آن پول، برای کاهش ردپای آب در فرآیند تولید این گل‌ها در کشورهای در حال توسعه استفاده شود؛ این‌گونه می‌توانند در زنجیره‌ی تولید پایدار گل‌ها مشارکت نمایند. در فصل ۱۵، بیان شد

که دولت‌ها باید اهداف مربوط به حفاظت منابع آب خود را در تدوین سیاست‌های تجاری خود نیز در نظر بگیرند.

مصرف‌کنندگان: ایجاد اهرمی برای تغییر

وقتی مصرف‌کنندگان (یا مصرف‌کنندگان و سازمان‌های زیست‌محیطی) خواستارِ شفافیتِ بیش‌تر درباره‌ی اطلاعات درونیِ مربوط به ردپای آب محصولات شوند، این رویه کمک خواهد کرد تا بیشتر و بهتر در خصوص منابع آبِ مصرفی حینِ تولیدِ این محصولات و اثرات ناشی از این مصارف آگاه شویم. این مسأله می‌تواند مصرف گروه مشخصی از کالاها را کاهش داده و یا به طور کلی، متوقف سازد. ارایه چنین اطلاعاتی، به مصرف‌کنندگان برای انتخاب بین پنبه‌ای با ردپای آب نسبتاً کم و پنبه‌ای با ردپای آب نسبتاً پایین، یا بین گل‌هایی با ردپای آب کم و گل‌هایی با ردپای آب زیاد، کمک خواهد کرد. اگرچه ردپای آب، تنها یکی از معیارهای انتخاب محصول از بین گزینه‌های مختلف است، اما از آنجایی‌که تمایلِ مصرف‌کنندگان برای استفاده از محصولات پایدار در حال افزایش است، داشتنِ حق انتخاب با داشتنِ چنین اطلاعاتی قطعاً بهتر از نداشتن چنین حقی در شرایط نبود اطلاعات مربوطه است. مزیتِ مشارکت دادنِ مصرف‌کنندگان در مسأله‌ی پایداری آن است که آن‌ها می‌توانند اهرم قدرتمندی برای ایجاد تحولاتی عظیم در زنجیره‌ی تأمین باشند. بهترین مثال برای این موضوع، همان مشارکتِ مصرف‌کنندگان در خصوص گل‌های شاخه‌بریده است که در فصل ۹ ارایه شد.

اگر همه‌ی مصرف‌کنندگان حاضر به خرید گل‌هایی بدونِ خسارت‌های زیست‌محیط باشند (یعنی حاضر باشند بهایی را برای ممانعت از خسارت‌های زیست‌محیطی در پروسه‌ی تولیدِ این گل‌ها بپردازند)، این گل‌ها می‌توانند با هزینه‌ی کمی به دست آن‌ها برسد. در واقع از محل تولیدِ گل در مزرعه تا دستِ مصرف‌کننده، ارزش افزوده‌ی زیادی حاصل شده و بهایی که مصرف‌کننده برای خرید گل می‌پردازد، بسیار بیش‌تر از سودی است که به‌دست کشاورز برای تولید و فروش همان گل می‌رسد. به این ترتیب، اگر هر مصرف‌کننده، تنها مقدار کمی به عنوان بیمه‌ی آب برای خرید هر گل بپردازد، همین مقادیر کم به راحتی می‌تواند هزینه‌ی سرمایه‌گذاری برای استفاده‌ی پایدار از منابع آب در پروسه‌ی تولید این گل‌ها (مثلاً برای احداث سیستم‌های آبیاری تحت‌فشار در مزراع و یا سیستم بازچرخانی آب در گلخانه‌ها) را فرآهم نماید. همین داستان برای دیگر محصولاتی که ارزش افزوده‌ی زیادی در زنجیره‌ی تأمین آن‌ها ایجاد می‌شود نیز مصداق دارد؛ مانند آنچه امروزه در کارخانجات مواد غذایی و نوشیدنی شاهد آن هستیم. بی‌شک از دیدگاه کشاورزان، هزینه‌ی لازم برای کاهش ردپای آب در مزراع بسیار زیاد است، اما وقتی از دیدگاه مصرف‌کننده به آن بنگریم، بسیار اندک خواهد بود. چالش اصلی آن است که زنجیره‌ی ارزش

را به گونه‌ای تغییر دهیم که کشاورزانی که که در ابتدای این زنجیره قرار دارند، ارزش افزوده‌ی حاصل از تولید محصولات خود را با اعمال تکنولوژی‌های صرفه‌جویی‌کننده‌ی آب به دست آورند (نه بدون اعمال آن‌ها و با روش‌های ناکارآمد و ناپایدار فعلی). این کار تنها زمانی میسر است که تعامل خوبی بینِ تمامِ گروه‌های درگیر در زنجیره‌ی تولیدِ یک محصول وجود داشته باشد، به گونه‌ای که همه‌ی آن‌ها، حتی مصرف‌کنندگان نهایی نیز، در ایجاد چنین ارزشِ ارزش افزوده‌ای سهیم باشند.

لازمه‌ی تغییر، آگاه‌سازیِ مصرف‌کنندگان است. در این راستا، شرکت‌ها می‌توانند با دادن اطلاعاتی به مصرف‌کنندگان در خصوص دلیلِ پایدارتر بودن برخی محصولات نسبت به برخی دیگر، نقش مهمی را بازی کنند، اما مشکل آن است که مصرف‌کننده نمی‌تواند فرق بین واقعیت و تبلیغاتِ ظاهری این شرکت‌ها را متوجه شود. در این زمینه، مقررات دولتی بسیار چاره‌ساز خواهد بود. لکن، این همان حیطه‌ای است که دولت‌ها در آن به شدت ضعف دارند. این موضوع را مثلاً می‌توان در مورد ادعاهایی که شرکت‌ها در حیطه‌ی مصرف انرژی دارند به وضوح دید. ادعای بسیاری از شرکت‌ها در خصوصِ کارابودنِ و یا کربن‌خنثی بودنِ مصرف انرژی در پروسه‌ی تولید کالاهایشان واقعیت ندارد و این تبلیغاتِ کاذب، به شدت به ضرر شرکت‌هایی است که در این زمینه اصالت بیش‌تری داشته و در تبلیغاتِ خود برای مصرف‌کنندگان، صادقانه‌تر عمل می‌کنند. در چنین شرایطی، بزرگ‌ترین چالش برای یک مصرف‌کننده‌ی مدرن آن است که چه چیزی را باید باور کند؟ آن هم در شرایطی که تبلیغاتِ دروغ، آزاد و بدونِ هزینه است.

شرکت‌ها: مسئولیت‌پذیری در قبال کل زنجیره‌ی تأمین

شرکت‌ها و متخصصین مدیریت، برای درکِ نقشِ گسترده‌تر خود در جامعه و چگونگیِ داشتنِ عملکردی مسئولانه، مفاهیم، ابزارها و استراتژی‌های بسیاری را توسعه داده‌اند. بسیاری از شرکت‌ها، تحتِ عنوان "مسئولیت‌پذیری اجتماعیِ شرکت" تلاش می‌کنند که اهداف اجتماعی و زیست‌محیطی را به بخشِ لاینفکی از مدلِ کسب‌وکار خود تبدیل کنند. شاخص‌های کلیدیِ عملکردِ اجتماعی و زیست‌محیطیِ هوشمند، ابزاری برای ارزیابیِ عملکرد شرکت‌ها در نظر گرفته شده است. بسیاری از شرکت‌ها، پرچمی با عنوان انسان–زمین–زفاه[1] یا خط‌پایین سه‌گانه[2] برافراشتند که ثابت کنند که مدل کسب‌وکار آن‌ها شامل سه رکن ذیل است: ارکان اقتصادی، اجتماعی و سرمایه‌های طبیعی. نگرانی‌های مربوط به پایداری در زنجیره‌ی تأمین، با عنوان "تدارکات پایدار[3]" بیان شده و معنی‌اش آن است که نه

1 People-Planet-Profit
2 Triple bottom line
3 Sustainable procurement

فقط معیار اقتصادی، که معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی نیز حینِ خرید مواد اولیه و خدمات برای تولیدِ محصولاتِ نهایی در نظر گرفته شده‌اند. به منظور تاکید بر پیامدهای اقتصادیِ ناشی از کسب‌کارهای غیرمسئولانه و استفاده‌ی ناپایدار از منابع، مباحث روزافزونی پیرامون مخاطراتی که متوجه آن مدل از کسب‌کارهایی است که به مسایل اجتماعی و زیست‌محیطی توجهی ندارند، صورت می‌گیرد. شرکت‌ها به طور فزاینده‌ای، در حال درک این واقعیت هستند که علاوه بر رعایت الزامات قانونی، برای ادامه‌ی فعالیت‌های خود، نیاز به یک مجوز اجتماعی دارند. یکی از ابزارهای مهم برای اطمینان از اینکه مصرف‌کنندگان، به خوبی از این قبیل اقداماتِ صورت‌گرفته توسط کسب‌وکارها استقبال می‌کنند (و همچنین در بهترین شرایط، بهترین ابزار برای یادگیری و بهبودِ اوضاع)، مشارکت جامعه[1] است؛ و این مشارکت، به معنیِ مشارکتِ سهامداران و دیگر اقشارِ مربوطه در طرح‌ریزی و پیاده‌سازیِ تصمیماتِ بزرگ شرکت‌هاست. در حقیقت، دنیای تجارت، مملو از ادبیات مدیریتی است. فلسفه‌ها اگرچه در کل خوبند، اما بیایید با تمرکز بر موضوع آب، به آنچه تحتِ این کلماتِ زیبا وجود ندارد، نگاهی بیندازیم.

این انتظار وجود دارد که شرکتی که مدعیِ پایداری است، استراتژی‌هایی برای کاهش ردپایِ آب محصولات خود داشته باشد. با این وجود، در حال حاضر، به ندرت می‌توان شرکتی را در جهان یافت که مسأله‌ی مدیریتِ مطلوب مصرف آب را در مدل کسب‌وکار خود گنجانده باشد. تمرکزِ بسیاری از شرکت‌ها، تنها معطوف به ردپای آب فعالیت‌های صورت گرفته درون مرز خود بوده و هیچ توجهی به ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین کالاهای خود ندارند.

در بسیاری از شرکت‌ها، از جمله تمام کارخانجات مواد غذایی و نوشیدنی و پوشاک، ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین، بسیار بزرگ‌تر از ردپای آب فرآیندهایی است که در این کارخانجات رخ می‌دهد. نتایج پژوهش‌هایی که برای شرکت‌هایی همچون کمپانی کوکاکولا[2]، پپسی[3]، ساب‌میلر[4] و هاینیکن[5] صورت گرفته نشان می‌دهد که ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین نوشیدنی‌ها، بیش از ۹۹ درصد از کل ردپای آب آن‌ها را تشکیل می‌دهد. با این وجود، شاخص کلیدی عملکرد که در تمام این کارخانه‌ها برای آب در نظر گرفته می‌شود، تنها میزان آبی است که در فرآیندهای درونی آن‌ها مصرف می‌شود. به این ترتیب، تمامِ سرمایه‌گذاری‌ها برای بهبودِ عملکرد آبی، تنها روی بهبودِ فعالیت‌های درونیِ شرکت‌ها صورت می‌گیرد. این به آن معناست که وقتی مسأله‌ی پایداری مطرح می‌شود، همه‌ی سرمایه‌گذاری‌ها، برای کاهش ردپای آبی صورت می‌گیرد که تنها یک درصد از کل ردپای آبِ آن شرکت را شامل می‌شود

1 Community engagement
2 Coca-Cola
3 PepsiCo
4 SABMiller
5 Heineken

(باقی مربوط به زنجیره‌ی تأمین است که اصلاً به آن توجه نمی‌شود). بنابراین وقتی پایداریِ واقعی مدنظر باشد، چنین سرمایه‌گذاری‌هایی را نمی‌توان مقرون به صرفه دانست؛ به عنوان مثال، کسی مانعِ تلاشِ شرکت‌ها برای کاهشِ ردپای آب فعالیت‌های درونی خود از ۵ به ۳/۵ لیتر به ازای هر لیتر نوشیدنیِ تولید شده نیست، اما باید توجه داشت که بدون در نظر گرفتن آن ۱۰۰ یا حتی ۳۰۰ لیتر آبی که در زنجیره‌ی تأمین همین نوشیدنی مصرف می‌شود، دستاوردهای زیست‌محیطیِ ناشی از این قبیل تلاش‌ها، بسیار اندک خواهد بود. این مسأله به‌ویژه زمانی مصداق دارد که بدانیم بخش زیادی از این ۵ لیتر آبی که برای تولیدِ یک لیتر نوشیدنی، برداشت می‌شود، دوباره (به‌واسطه‌ی پساب) به طبیعت بازمی‌گردد. تنها بخشی از این ۵ لیتر آب که به طبیعت باز نمی‌گردد، به عنوان ردپای آب آبی در نظر گرفته می‌شود (زیرا ردپای آب، به مصرف آب توجه دارد نه حجم آب ناخالصی که برداشت می‌شود). به این ترتیب، کاهش میزان آب برداشتی به ازای تولید هر لیتر نوشیدنی از ۵ به ۳/۵ لیتر، تنها زمانی باعثِ کاهش ردپای آب می‌شود که کاهش برداشت، باعثِ کاهش مصرف نیز شود که البته این مسأله، اغلب رخ نمی‌دهد. به طور خلاصه، شرکت‌ها روی کاهشِ شاخصِ اشتباهی تمرکز کرده‌اند.

وقتی بحثِ کاهش ردپای آب مطرح باشد، بهتر است شرکت‌ها به جای ردپای آبِ مربوط به فعالیت‌های درونی خود، به ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین توجه کنند. این ایده بسیار پرزحمت خواهد بود، زیرا شرکت‌ها، اغلب هیچ درکی از زنجیره‌ی تأمین محصولات تولیدی خود ندارند. من از مدیر اجرایی یکی از برندهای معروف پوشاک پرسیدم که آیا می‌تواند در کل جهان، محل تولید تمام پنبه‌هایی که توسط شرکتش برای تولید لباس استفاده می‌شود را ردیابی کند؟ درست این، پس از همان زمانی بود که او یک سخنرانیِ پرشور درباری تلاش‌های صنعت برای سبز نمودن زنجیره‌ی تأمین ایراد کرد، اما در همان زمان باید اعتراف می‌کرد که هنوز حتی شرکت خودش نیز در این مسیر قرار ندارد. مسلماً زنجیره‌ی تأمین پنبه بسیار پیچیده است (Rivoli, 2005)، اما چگونه یک شرکت می‌تواند بدونِ دانستنِ محل و چگونگیِ تولید پنبه، لباس‌های پایدار تولید نموده و بفروشد؟ این مسأله برای دیگر بخش‌ها، مثل کارخانجات مواد غذایی و نوشیدنی و گل‌های شاخه‌بریده، نیز مصداق دارد. با این حال، شفاف‌سازی زنجیره‌ی تأمین دشوار است. در تجربه‌ای که خودم حینِ کار و صحبت با بسیاری از شرکت‌ها به‌دست آوردم، بارها و بارها دریافتم که اگر هدف، تعیینِ محل وقوع ردپای آب باشد، ارزیابی کل زنجیره‌ی تأمین، کاری بسیار دشوار خواهد بود. تعیینِ محلِ دقیق تولید محصولات کشاورزی اهمیت بسیاری دارد، زیرا مقدار ردپای آب و اثراتی که این ردپا در محل وقوعش برجای می‌گذارد، به تمام ویژگی‌های آن محل همچون شرایط آب‌وهوایی، فعالیت‌های آبیاری و شدت کمبود آب بستگی دارد.

صنایع تبدیلی بزرگ، خرده‌فروشان و سازمان‌های بخشی می‌توانند از قدرت خود برای شفاف‌سازیِ زنجیره‌ی تأمین استفاده نمایند. اگر بخواهند، این امر میسر خواهد بود. وجود برخی مقررات دولتی، بسیار به تحقق این امر کمک خواهد کرد. تجربیات موجود در خصوص برچسب‌های ارگانیک و تجارت عادلانه نشان داد که ردیابیِ زنجیره‌ی تأمین، حتی در صورت طولانی بودنِ فاصله‌ها و وجودِ کشورهای در حال توسعه در این زنجیره، امکان‌پذیر است. شرکت‌های بزرگ می‌توانند با انعقاد قراردادهایی با تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ی مورد نیاز خود، آن‌ها را ملزم به تهیه‌ی موادی با ردپای آب کم‌تر نمایند، اما شرکت‌های کوچک، تنها کاری که می‌توانند انجام دهند، انتخاب عاقلانه‌ی تأمین‌کنندگان مواد اولیه‌ی مورد نیاز خود برای تولید محصولات شرکتشان می‌باشد.

سرمایه‌گذاری در بلندمدت

سرمایه‌گذران می‌توانند نقش مهمی در تشویق نمودنِ شرکت‌ها برای لحاظ مخاطرات آبی و مدیریت خوبِ آب در دستور کارشان داشته باشند. از حوالی سال ۲۰۰۸، تمایل جامعه‌ی سرمایه‌گذران به توجه به مخاطرات ناشی از کمبود آب افزایش یافته است (Levinson *et al*., 2008; Morrison *et al*., 2009, 2010a, 2010b; Barton, 2010). اگرچه این مسأله به نوبه‌ی خود خوب است، اما بهتر آن است که ببینیم چه‌طور این جامعه‌ی سرمایه‌گذرا باعثِ تغییرِ مباحثی که پیرامون مسئولیت‌پذیری‌های آبی شرکت‌ها صورت می‌گیرد، شده‌اند. تا حوالی سال ۲۰۱۰، تمامی دغدغه‌های آبی کسب‌وکارها، محدود به اصطلاح مسئولیت‌پذیری اجتماعیِ شرکتی[1] شد، اما در این فصل، منظور من از اصطلاح مسئولیت‌پذیری اجتماعیِ شرکتی، لحاظِ اصول پایداری در مدل کسب‌وکارهاست و به مفهومِ بشردوستانه‌ی این اصطلاح کاری ندارم (مطال کرانی و همکاران را ببینید (Crane *et al*., 2008). بحث اصلی در آن سال، در خصوص وارد نمودنِ مسأله‌ی مدیریت آب در کسب‌وکارها بود. تقریباً در سال ۲۰۱۰، شاهد یک تغییر ناگهانی و پذیرش سریع چارچوب دیگری تحت عنوان "ریسک آب[2]" بودیم. همان‌گونه که می‌دانیم، چگونگیِ شکل‌گیری و چارچوب‌بندی یک بحث، خروجی‌های آن بحث را متأثر خواهد ساخت (Tversky and Kahneman, 1981). وقتی دغدعه‌های آبی، بخشی از یک مدیریت خوب آبی در نظر گرفته شود، آنگاه تمرکز روی پایداری خواهد بود. حال اگر مسأله‌ی استفاده‌ی پایدار از آب به صورت چالشی برای مدیریت "ریسک آب" مطرح شود، توجه‌ها به جنبه‌ی اقتصادیِ مربوط به اجرای آن کسب‌وکار معطوف خواهد شد (نه به موضوع پایداری). متأسفانه، مدیریت ریسک

1 Corporate social responsibility
2 Water risk

آب با مدیریت آبی خوب اشتباه گرفته شده است (Hoekstra, 2014c) مدیریت ریسک آب، می‌تواند بخشی از مدیریت خوب آبی باشد، اما مدیریتِ خوب آبی خیلی فراتر از مدیریت ریسک آب است. تا حدودی اقداماتی که برای کاهش ریسک آب در یک کسب‌وکار صورت می‌گیرد، با اقداماتِ لازم برای افزایشِ پایداری در مصرف آب مطابقت دارد، اما برداشت بی‌رویه و آلودگیِ منابع آبی، همواره خطراتِ فوری برای کسب‌وکارها ایجاد نخواهد نمود (زیرا پایداری در بلندمدت مدنظر قرار داده می‌شود) و یا اگر خطری هم ایجاد شود، این خطراتِ متوجهِ جوامع خاصی بوده که این جوامع، الزاماً همان گروهی که با مصارف ناپایدار خود، باعثِ پیدایش چنین مخاطراتی شدند، نیستند. به‌علاوه شرکت‌های جهانی، وقتی منابع آبی در محلی که مواد اولیه‌ی خود را از آنجا تأمین می‌کنند خشک شوند، به راحتی قادر خواهند بود تا مکانِ تأمین مواد اولیه‌ی خود را تغییر دهند. به طور خلاصه، کاهش ریسک آب برای کسب‌وکارها، به معنیِ استفاده‌ی پایدار آب توسط این کسب‌وکارها نیست. با این وجود، می‌بینیم که این اصطلاح، به طور گسترده، توسط جوامع، که شاملِ سازمان‌های محیط‌زیست نیز می‌باشد، پذیرفته شده است (Pegram *et al*., 2009; Orr *et al*., 2009, 2011).

سرمایه‌گذران می‌توانند نقشی کلیدی در استفاده‌ی بهتر از منابع آبی محدود جهان داشته باشند. در نظر گرفتنِ کمبود آب شیرین که خطری برای تداوم کسب‌وکارها محسوب می شود، خوب است، اما کافی نیست؛ به عنوان مثال، وقتی به دلیلِ برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب، دیگر امکانِ تأمین محصول از یک منطقه‌ی خاص وجود نداشته باشد، یک کارخانه‌ی نوشیدنی می‌تواند به راحتی جو یا شکر مورد نیاز برای تولید فرآورده‌های خودش را از منطقه‌ی دیگری تأمین کند. به این ترتیب، کاهش خطراتِ تداوم کسب‌وکار، بسیار ساده‌تر از مسئولیت‌پذیریِ اجتماعی است. بنابراین، سرمایه‌گذران باید برنامه‌هایی را دنبال کنند که باعثِ ترویجِ توسعه‌ی پایدار در بلندمدت شود؛ مثلاً می‌توانند با به‌کارگیری شاخص‌های مدیریتِ خوب آبی در سرمایه‌گذاری‌های خود و یا با درخواستِ شفافیتِ آبی از مشتریان خود، باعث ترویج این امر شوند.

سیاست منسجم دولتی

آب یک کالای عمومی است، بنابراین، دولت‌ها نمی‌توانند از مسئولیتِ خود برای وضع قوانینِ مناسب و ایجاد مشوق‌هایی برای اطمینان از الگوی تولید و مصرف پایدار و محافظت از اکوسیستم‌های آبی شانه خالی کنند. دولت‌ها باید از تلاش‌های مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و سرمایه‌گذران برای اتخاذ مدیریت خوب آبی، حمایت کنند؛ به عنوان مثال، می‌توانند این کار را با ترویج کشاورزی دیم، ارگانیک و دقیق، گسترشِ تکنولوژی‌های پیشرفته‌تر آبیاری و استراتژی‌های صرفه‌جویی آب، ارایه‌ی طرح‌های

ارزش‌گذاری صحیح آب، تعیینِ سقف ردپای آب در آبخوان‌ها و حوضه‌های آبریز، کمک به بخش‌های مختلف برای تدوین بنچ‌مارک‌های ردپای آب و با آموزش انجام دهند، اما علاوه بر آن، دولت باید مسأله‌ی حکمرانیِ صحیح آبی را در تمام سیاست‌های خود، مثل سیاست‌های مربوط به بخش‌های کشاورزی، انرژی، تجارت و مالیات، نیز وارد نماید. از این حیث، اعطای یارانه به کشاورزانی که در مناطق کم‌آب، مشغول به کشاورزی آبی هستند، بی‌معنی خواهد بود، چیزی که در بخش زیادی از دنیا شاهدش هستیم. به طور مشابه، اتخاذ سیاست‌هایی در بخش انرژی که باعث تشدید کمبود آب می‌شوند، بی‌معناست. حکمرانی صحیح آبی، به معنی اعمال سیاست‌های کشاورزی و انرژی خوب است. همچنین به معنیِ همکاری با دیگر دولت‌ها جهتِ رسیدن به توافقی بین‌المللی روی اتخاذ اقداماتِ مناسب توسط کشورها برای کاهش ردپای آب خود نیز است (فصل ۱۳). در ابعاد بین‌المللی، دولت‌ها همچنین می‌توانند به گونه‌ای روی الزام‌آور بودن استفاده‌ی پایدار آب با هم توافق نمایند که به آن‌ها این اختیار را بدهد که بتوانند که جلوی تجارتِ بین‌المللی محصولاتی که در پروسه‌ی تولیدشان، قوانین مندرج در این توافق‌نامه رعایت نشده باشد، را بگیرند (فصل ۱۵). به‌علاوه، دولت‌ها (ترجیحاً در ابعاد بین‌المللی) می‌توانند قوانینی را وضع نمایند که کسب‌وکارها را وادار به همکاری جهت شفاف‌سازی اطلاعاتی در خصوص محصولات تولیدی و ارایه‌ی اطلاعات مربوط به آب مصرفی در زنجیره‌ی تأمین آن‌ها نماید (فصل ۱۶). در نهایت، سیاستِ خوب آبی سیاستی است که در سیاست‌های مالیاتی‌اش، بین محصولات پایدار و ناپایدار تمایز قایل شده باشد، این‌کار می‌تواند با تعریف نرخ‌های مالیاتی برای محصولات مختلف از این حیث انجام شود.

مسئولیت‌پذیری: آیا می‌توانیم آن را بین ذینفعان مختلف تقسیم کنیم؟

دیدگاه رایج آن است که مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان تنها در قبال بخشی از منابع طبیعی که به صورت مستقیم در فعالیت‌های خود مصرف می‌کنند و اثراتی که مستقیماً به‌واسطه ی این فعالیت‌ها روی منابع مذکور باقی می‌گذارند، مسئول هستند. در این دیدگاه، وظیفه‌ی مصرف‌کنندگان، فقط کاهش ردپای آب مستقیم‌شان (یعنی مصارف خانگی آن‌ها) می‌باشد. این در حالی است که ایشان، وظیفه‌ای در قبال کاهش ردپای آب غیرمستقیم خود، که همان آب نهان در کالاهای مصرفی‌شان و خدمات ارایه شده به ایشان می‌باشد، ندارند و این مسئولیت، به عهده ی تولیدکنندگان این کالاها و ارایه‌دهندگان خدمات مذکور می‌باشد. به طور مشابه، شرکت‌ها نیز تنها مسئول ردپای آب مستقیم خود بوده و نگرانی‌ای در خصوص آب مصرفی غیرمستقیم خود نخواهند داشت. در گزارش‌های پایداریِ شرکت‌ها، معمولاً تنها آب مصرفی در فعالیت‌های درون آن‌ها گزارش می‌شود و اطلاعاتی در خصوص مسایل آبی

در زنجیره‌ی تأمین این شرکت‌ها وجود ندارد. وجود همین دیدگاه در دولت باعث می‌شود که آنها نیز تنها خود را مسئول بخشی از مسایل آبی بدانند که در قلمروی آنها اتفاق می‌افتد. معمولاً دولت ها تنها در قبال کاربرد عاقلانه و حفاظت از منابع آبیِ درون کشور خود احساس مسئولیت می‌کنند. تحت چنین دیدگاهی، دولت‌ها خود را حتی در قبال واردات کالاهایی که از مصارف آبی ناپایدار حین تولیدشان اطمینان دارند، مسئول نمی‌دانند. بنابراین، تعدیل و کاهش مصارف ناپایدار آب در هر ناحیه‌ای خارج از این کشورها، به عهده‌ی دیگران خواهد بود و دولت هیچ‌گونه مسئولیتی را تقبل نخواهد کرد.

بنابراین، چنین دیدگاهی در خصوص مسئولیت‌های مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و دولت‌ها، دیدگاه بسیار محدودی بوده و صحیح نیست. از نظر حقوقی، داشتن نگاهی فراتر از این دیدگاه به مسایل، اندکی دشوار به نظر می رسد، اما از نظر اخلاقی، صحیح نیست که مصرف‌کنندگان، به هیچ وجه خود را در قبال مصرف محصولات ناپایدار مسئول ندانند. تولیدکنندکان، مسئولیتی در قبال خرید مواد ی که به‌واسطه‌ی مصارف ناپایدار منابع طبیعی تولید می‌شوند، نداشته باشند و دولت‌ها نیز تلاشی در راستای تعدیل واردات کالاهای ناپایدار از دیگر کشورها انجام ندهند. این دیدگاه اخلاقی در خصوص مسایل آبی که "هرکس تنها در قبال آبی که به صورت مستقیم مصرف و آلوده می- کند مسئول است" با دیدگاهی که برای مسئولیت‌پذیری ما در دیگر موارد مشابه وجود دارد، سازگار نیست؛ به عنوان مثال، دیدگاه اخلاقی رایج در خصوص خریدِ دوچرخه‌های دزدی را در نظر بگیرید (Hoekstra and Chapagain, 2008). در ضرب المثلی گفته می‌شود که "خریدار مالِ دزدی، به بدی همان کسی است که آن را دزدیده است". این ضرب المثل بدان معناست که عمل دزدی، فی‌نفسه بد است، اما خریدنِ مال دزدی نیز بد است. اگرچه نمی‌توان خریدار را دزد قلمداد نمود، اما از این جهت که او نیز بخشی از زنجیره‌ی دزدی و باعث تداوم آن می‌شود، مقصر است؛ مثال دیگر، خریدن کالاهایی است که مبتنی بر کاری است که بردگان انجام می‌دهند. ما با نظام برده‌داری مخالف هستیم، اما گمان می‌کنم امروزه، باید با خرید کالاهایی که به‌واسطه‌ی فعالیت بردگان تولید شده است نیز مخالف باشیم. در کل به اعتقاد من، عادلانه است که بگوییم وقتی تولید کالای X بد باشد، خرید آن هم بد است. اجازه دهید در این مرحله از این بحث بگذریم کنیم که آیا هر دو (تولیدکننده و خریدار کالای نامطلوب) به یک اندازه بد هستند یا یکی بدتر از دیگری است، اما سوالی که باید به آن پاسخ داده شود، آن است که آیا کالایی که به‌واسطه ی مصارف ناپایدار آب یا آلودگی آن تولید می‌شود، بد است یا خیر. اگر پاسخ مثبت باشد، در این صورت قطعاً خرید چنین کالایی نیز بد است. البته تعیین تعریفی صحیح برای ناپایداری مستلزم مباحثه‌های اجتماعی است، اما نتیجه‌ی این مذاکرات برای تعریف پایداری (خوب) و ناپایداری (بد) هرچه باشد، در هر صورت پرهیز از کالاهای بد، هم وظیفه‌ی تولیدکننده است و هم مصرف‌کننده. قبول داشتن

این اصل مهم، گام بزرگی برای تغییر به سمت مدیریت عاقلانه‌ی آب است. البته نباید فراموش کرد که این بحث، تنها در خصوص مصرف منابع آب شیرین نیست. لنزن و همکاران (۲۰۰۷) نشان دادند که چگونه مسئولیت‌پذیری تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و چگونگی تخصیص زمین برای فعالیت های انسان نهاد را متأثر– می‌سازد (Lenzen et al.,, ۲۰۰۷).

اگرچه به لحاظ اخلاقی، مسئولیت‌های مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان فراتر از تقش مستقیم آن‌ها در مصرف و آلودگی آب است، اما باید گفت که در عمل، اجرایی‌ترین راه برای نیل به پایداری آن است که تنها روی مسئولیت‌پذیری کاربران آب نسبت به سهمی که خود مستقیماً روی ردپای آب دارند، حساب کنیم. اگر دزدها دست از دزدیدن دوچرخه بکشند، دیگر هیچ دوچرخه‌ی دزدی‌ای برای فروش وجود نخواهد داشت. به طور مشابه، اگر کشاورزان آب را با الگویی پایدار مصرف کنند، اگر کارخانه‌ها محصولات خود را بر اساس فرآیندهای پایدار تولید نمایند و اگر مصرف‌کنندگان، آب را در خانه‌های خود با الگویی پایدار مصرف کنند، همه مشکلات آبی حل خواهد شد. اینکه چه الگویی پایدار است و تدوین مقرراتی الزام‌آور برای رعایت معیارهای پایداری در فعالیت‌های مختلف، وظیفه‌ی دولت است، اما ثابت شده دیدگاهی که در آن، تنها وظیفه‌ی دولت که تنظیم‌گر می باشد، وضع حدود مشخصی برای کابران و آلوده‌کنندگان آب و ملزم نمودن آنها به کاهش مصارف و آلودگی آب به مقادیری کمتر از این حدود است، در عمل قابل اجرا نیست. در حقیقت، اینجا اساساً جهانی است که ما انسان ها در آن زندگی می‌کنیم. با نگاهی به کاهش واقعی در سطح آب دریاچه ها و آبخوان‌ها، کاهش شدت جریان رودخانه‌ها و آلودگی منابع آبی فراتر از ظرفیت پذیرش آنها در بسیاری از نقاط جهان حتی در تعداد زیادی از کشورهای توسعه یافته، می‌توان فهمید که این دیدگاه در عمل تاثیری روی پایدار نمودن فعالیت‌های ما نداشته است. مردم ممکن است دولت را به دلیل عدم وضع قوانین صحیح، یا شرکت ها را به دلیل تعدی از قوانین پایداری مقصر بدانند، اما مسأله فراتر از این حرف هاست. همان‌گونه که در ابتدای این فصل گفتم، تنها با مشارکت تمام کاربران در زنجیره‌ی تولید است که چیزها بهبود می یابد. مصرف‌کنندگانی که هم دولت و هم شرکت‌ها را تحت فشار قرار می‌دهند، باعث تغییر سیستم حاکم خواهند شد. شرکت‌هایی که تأمین‌کنندگان کالاهای ورودی خود را تحت فشار قرار می‌دهند نیز به این تغییر کمک می‌کنند. قهرمانان اصلی ایجاد تغییرات اساسی، مصرف‌کنندگان و شرکت‌هایی هستند که مسئولیت کاهش ردپای آب در زنجیره تأمین کالاهای مصرفی خود را به عهده می‌گیرند.

منابع

منابع

Abdelkader, A., Elshorbagy, A., Tuninetti, M., Laio, F., Ridolfi, L., Fahmy, H., Hoekstra, A.Y. (2018) National water, food, and trade modeling framework: The case of Egypt, *Science of the Total Environment*, 639: 485–496.

Abdullaev, I., De Fraiture, C., Giordano, M., Yakubov, M., Rasulov, A. (2009) Agricultural water use and trade in Uzbekistan: Situation and potential impacts of market liberalization, *Water Resources Development*, 25(1): 47–63.

Akbar, N.M., Khwaja, M.A. (2006) *Study on effluents from selected sugar mills in Pakistan: Potential environmental, health, and economic consequences of an excessive pollution load*, Sustainable Development Policy Institute, Islamabad, Pakistan.

Alcamo, J., Döll, P., Henrichs, T., Kaspar, F., Lehner, B., Rösch, T., Siebert, S. (2003) Global estimation of water withdrawals and availability under current and business as usual conditions, *Hydrological Sciences*, 48(3): 339–348.

Aldaya, M.M., Allan, J.A., Hoekstra, A.Y. (2010a) Strategic importance of green water in international crop trade, *Ecological Economics*, 69(4): 887–894.

Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y. (2010) The water needed for Italians to eat pasta and pizza, *Agricultural Systems*, 103(6): 351–360.

Aldaya, M.M., Llamas, M.R. (2008) *Water footprint analysis for the Guadiana River Basin*, Value of Water Research Report Series No. 35, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands

Aldaya, M.M., Muñoz, G., Hoekstra, A.Y. (2010b) *Water footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia*, Value of Water Research Report Series No. 41, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Allan, J.A. (2001) *The Middle East water question: Hydropolitics and the global economy*, I.B. Tauris, London, UK.

Allan, J.A. (2003) Virtual water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor? *Water International*, 28(1): 106–113.

Allan, T. (2011) *Virtual water: Tackling the threat to our planet's most precious resource*, I.B. Tauris, London, UK.

Allen, M.R., Frame, D.J., Huntingford, C., Jones, C.D., Lowe, J.A., Meinshausen, M., Meinshausen, N. (2009) Warming caused by cumulative carbon emissions towards the trillionth tonne, *Nature*, 458(7242): 1163-1166.

Alwahti, A.Y. (2003) *A taste of vanilla, TED Case Studies No. 686, Trade Environment Database*, American University, Washington, DC, USA.

Antonelli, M., Ruini, L.F. (2015) Business engagement with sustainable water resource management through water footprint accounting: The case of the Barilla Company, *Sustainability*, 7: 6742-6758.

Ariga, J., Jayne, T.S., Nyoro, J. (2006) *Factors driving the growth in fertilizer consumption in Kenya, 1990–2005: Sustaining the momentum in Kenya and lessons for broader replicability in Sub-Saharan Africa*, Tegemeo Working paper 24/2006, Tegemeo Institute of Agricultural Policy and Development, Egerton University, Nairobi, Kenya.

AWS (2014) *The AWS International Water Stewardship Standard*, Version 1.0, Alliance for Water Stewardship, North Berwick, Scotland, UK.

Baille, M., Baille, A., Delmon, D. (1994) Microclimate and transpiration of greenhouse rose crops, *Agricultural and Forest Meteorology*, 71(1–2): 83–97.

Baillie, J., Zhang, Y.P. (2018) Space for nature, *Science*, 361(6407): 1051.

Banerji, R., Chowdhury, A.R., Misra, G., Sudarsanam, G., Verma, S.C., Srivastava, G.S. (1985) Jatropha seed oils for energy, *Biomass*, 8(4): 277–282.

Bartolini F., Bazzani G.M., Gallerani, V., Raggi, M., Viaggi, D. (2007) The impact of water and agriculture policy scenarios on irrigated farming systems in Italy: An analysis based on farm level multi-attribute linear programming models, *Agricultural Systems*, 93(1–3): 90–114.

Barton, B. (2010) *Murky waters? Corporate reporting on water risk: A benchmarking study of 100 companies*, Ceres, Boston, MA, USA.

Bauer, C.J. (1997) Bringing water markets down to earth: The political economy of water rights in Chile, 1976–95, *World Development*, 25(5): 639–656.

Becht, R. (2007) *Environmental effects of the floricultural industry on the Lake Naivasha basin*, ITC Naivasha Database, Enschede, the Netherlands.

Becht, R., Harper, D.M. (2002) Towards an understanding of human impact upon the hydrology of Lake Naivasha, Kenya, *Hydrobiologia*, 488: 1–11.

Becht, R., Nyaoro, J.R. (2006) The influence of groundwater on lake-water management: The Naivasha case. In: Odada, E.O., Olago, D.O., Ochola, W., Ntiba, M., Wandiga, S., Gichuki, N., Oyieke, H. (eds) *Proceedings of the 11th World Lakes Conference, 31 October – 4 November 2005*, Nairobi, Kenya, Ministry of Water and Irrigation; International Lake Environment Committee (ILEC), Vol. II, pp. 384–388.

Becht, R., Odada, O., Higgins, S. (2005) Lake Naivasha: Experience and lessons learned brief. In: ILEC (ed.) *Managing lakes and their basins for sustainable use: A report for lake basin managers and stakeholders*, International Lake Environment Committee Foundation, Kusatsu, Japan, pp. 277-298.

Berbel, J., Gutiérrez-Martín, C., Rodríguez-Díaz, J.A., Camacho, E., Montesinos, P. (2015) Literature review on rebound effect of water saving measures and analysis of a Spanish case study, *Water Resources Management*, 29(3): 663-678.

Berndes, G. (2002) Bioenergy and water: The implications of large-scale bioenergy production for water use and supply, *Global Environmental Change*, 12(4): 253–271.

Bevilacqua, M., Braglia, M., Carmignani, G., Zammori, F.A. (2007) Life cycle assessment of pasta production in Italy, *Journal of Food Quality*, 30(6): 932–952.

Bianchi, A. (1995) Durum wheat crop in Italy. In: Di Fonzo, N., Kaan, F., Nachit, M. (eds) *Durum wheat quality in the Mediterranean region*, International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies (CIHEAM-IAMZ), Zaragoza, Spain, pp. 103–108.

BIER (2011) *A practical perspective on water accounting in the beverage sector*, Beverage Industry Environmental Roundtable, St. Paul, MN, USA.

Binswanger, M. (2001) Technological progress and sustainable development: What about the rebound effect? *Ecological Economics*, 36(1): 119–132.

Bjørn, A., Diamond, M., Birkved, M., Hauschild, M.Z. (2014) Chemical footprint method for improved communication of freshwater ecotoxicity impacts in the context of ecological limits, *Environmental Science and Technology*, 48(22): 13253-13262.

Bjornlund, H., McKay, J. (2002) Aspects of water markets for developing countries: Experiences from Australia, Chile, and the US, *Environment and Development Economics*, 7: 769–795.

Boden, T.A., Marland, G., Andres, R.J. (2010) *Global, regional, and national fossil-fuel CO_2 emissions*, Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department of Energy, Oak Ridge, TN, USA.

Boulay, A.M., Hoekstra, A.Y., Vionnet, S. (2013) Complementarities of water-focused Life Cycle Assessment and Water Footprint Assessment, *Environmental Science and Technology*, 47(21): 11926-11927.

Bringezu, S. (2015) Possible target corridor for sustainable use of global material resources, *Resources*, 4(1): 25-54.

Brouwer, C., Prins, K., Heibloem, M. (1989) *Irrigation scheduling*, Irrigation Water Management Training Manual No. 4, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Brouwer, F., Heinz, I., Zabel, T. (eds) (2003) *Governance of water-related conflicts in agriculture: New directions in agri-environmental and water policies in the EU*, Environmental and Policy Series, Vol. 37, Kluwer Academic Press, Dordrecht, the Netherlands.

Carter, N.T., Campbell, R.J. (2009) *Water issues of Concentrating Solar Power (CSP) electricity in the U.S. Southwest*, Congressional Research Service, Washington, DC, USA.

CAWater (2012) *Database Aral Sea*, CAWater-Info, Portal of Knowledge for Water and Environmental Issues in Central Asia, www.cawater-info.net.

Cazcarro, I., Hoekstra, A.Y., Sánchez Chóliz, J. (2014) The water footprint of tourism in Spain, *Tourism Management*, 40: 90-101.

CBD (2010) *Strategic plan for biodiversity 2011-2020*, Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada.

CDP (2009) *CDP water disclosure: The case for water disclosure*, Carbon Disclosure Project, London, UK.

CDP (2017) *CDP global water report 2017 – A turning tide: Tracking corporate action on water security*, Carbon Disclosure Project, London, UK.

Chakravarty, D., Dasgupta, S., Roy, J. (2013) Rebound effect: how much to worry? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5: 216-228.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2003) *Virtual water flows between nations in relation to international trade in livestock and livestock products*, Value of Water Research Report Series No.13, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2008) The global component of freshwater demand and supply: An assessment of virtual water flows between nations as a result of trade in agricultural and industrial products, *Water International*, 33(1): 19–32.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y. (2011) The blue, green and grey water footprint of rice from production and consumption perspectives, *Ecological Economics*, 70(4): 749–758.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G. (2006a) Water saving through international trade of agricultural products, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3): 455–468.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Savenije, H.H.G., Gautam, R. (2006b) The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries, *Ecological Economics*, 60(1): 186–203.

Charnovitz, S. (2002) The law of environmental 'PPMs' in the WTO: Debunking the myth of illegality, *The Yale Journal of International Law*, 27(1): 59–110.

Chen, Z.M., Chen, G.Q. (2013) Virtual water accounting for the globalized world economy: national water footprint and international virtual water trade, *Ecological Indicators*, 28:142-149.

Chico, D., Aldaya, M.M., Garrido, A. (2013) A water footprint assessment of a pair of jeans: The influence of agricultural policies on the sustainability of consumer products, *Journal of Cleaner Production*, 57: 238-248.

Chouchane, H., Krol, M.S., Hoekstra, A.Y. (2018) Expected increase in staple crop imports in water-scarce countries in 2050, *Water Research X*, 1: 100001.

Chukalla, A.D., Krol , M.S., Hoekstra, A.Y. (2015) Green and blue water footprint reduction in irrigated agriculture: Effect of irrigation techniques, irrigation

strategies and mulching, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(12): 4877–4891.

Chukalla, A.D., Krol , M.S., Hoekstra, A.Y. (2017) Marginal cost curves for water footprint reduction in irrigated agriculture: Guiding a cost-effective reduction of crop water consumption to a permit or benchmark level, *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(7): 3507-3524.

Chukalla, A.D., Krol , M.S., Hoekstra, A.Y. (2018a) Grey water footprint reduction in irrigated crop production: effect of nitrogen application rate, nitrogen form, tillage practice and irrigation strategy, *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(6): 3245-3259.

Chukalla, A.D., Krol , M.S., Hoekstra, A.Y. (2018b) Trade-off between blue and grey water footprint of crop production at different nitrogen application rates under various field management practices, *Science of the Total Environment*, 626: 962-970.

CIA (2019) *The World Factbook*, Central Intelligence Agency, Washington, DC, USA.

CIESIN (2005) *Gridded population of the world, version 3*, Socioeconomic Data and Applications Center, Center for International Earth Science Information Network, Columbia University, New York, USA.

Cooley, H., Donnelly, K. (2012) *Hydraulic fracturing and water resources: Separating the frack from the fiction*, Pacific Institute, Oakland, CA, USA.

Cornish, G., Bosworth, B., Perry, C., Burke, J. (2004) *Water charging in irrigated agriculture: An analysis of international experience*, FAO Waters Reports 28, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Costanza, R., d'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, B., Limburg, K., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., Van den Belt, M. (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital, *Nature*, 387(6630): 253–260.

Crane, A.G., McWilliams, A., Matten, D., Moon, J., Siegel, D.S. (eds) (2008) *The Oxford handbook of corporate social responsibility*, Oxford University Press, Oxford, UK.

Crase, L., O'Keefe, S. (2009) The paradox of national water savings: A critique of 'Water for the Future', *Agenda: A Journal of Policy Analysis and Reform*, 16(1): 45–60.

Čuček, L., Klemeš, J.J., Kravanja, Z. (2011) Overview of footprints and relations between carbon and nitrogen footprints, *Chemical Engineering Transactions*, 25: 923- 928.

Čuček, L., Klemeš, J.J., Kravanja, Z. (2012) A review of footprint analysis tools for monitoring impacts on sustainability, *Journal of Cleaner Production*, 34: 9-20.

Dalin, C., Konar, M., Hanasaki, N., Rinaldo, A., Rodriguez-Iturbe, I. (2012) Evolution of the global virtual water trade network, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(16): 5989-5994.

Dalin, C., Wada, Y., Kastner, T., Puma, M.J. (2017) Groundwater depletion embedded in international food trade, *Nature*, 543(7647): 700-704.

Davis, K., Seveso, A., Rulli, M., D'Odorico, P. (2017a) Water savings of crop redistribution in the United States, *Water*, 9: 83.

Davis, K.F., Rulli, M.C., Seveso, A., D'Odorico, P. (2017b) Increased food production and reduced water use through optimized crop distribution, *Nature Geoscience*, 10: 919-924.

De Fraiture, C., Cai, X., Amarasinghe, U., Rosegrant, M., Molden, D. (2004) *Does international cereal trade save water? The impact of virtual water trade on global water use*, Comprehensive Assessment Research Report 4, International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka.

Dellapenna, J.W. (2000) The importance of getting names right: The myth of markets for water, *William and Mary Environmental Law and Policy Review*, 25: 317–377.

Dennehy, K.F. (2000) *High Plains regional ground-water study*, USGS Fact Sheet FS-091-00, United States Geological Survey, Denver, CO, USA.

Didier, T., Lucie, S. (2008) Measuring consumer's willingness to pay for organic and fair trade products, *International Journal of Consumer Studies*, 32(5): 479–490.

Dittrich, M., Giljum, S., Lutter, S., Polzin, C. (2012) *Green economies around the world? Implications of resource use for development and the environment*, Sustainable Europe Research Institute, Vienna, Austria.

Dixon, J., Braun, H.-J., Kosina, P., Crouch, J. (eds) (2009) *Wheat facts and futures 2009*, International Maize and Wheat Improvement Center, Mexico City, Mexico.

Dominguez-Faus, R., Powers, S.E., Burken, J.G., Alvarez, P.J. (2009) The water footprint of biofuels: A drink or drive issue? *Environmental Science and Technology*, 43(9): 3005-3010.

Dubcovsky, J., Dvorak, J. (2007) Genome plasticity a key factor in the success of polyploid wheat under domestication, *Science*, 316(5833): 1862–1866.

EC (2009) *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC*, European Commission, Brussels, Belgium.

EC (2010) *Water Framework Directive Implementation Reports*, European Commission, Brussels, Belgium.

EC (2011) *A resource-efficient Europe: Flagship initiative under the Europe 2020 strategy*, European Commission, Brussels, Belgium.

EC, PBL (2011) *EU resource efficiency perspectives in a global context*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, the Netherlands, and European Commission, Brussels, Belgium.

Economy, E.C. (2004) *The river runs black: The environmental challenge to China's future*, Cornell University Press, Ithaca, NY, USA.

Edelstein, M.R., Cerny, A., Gadaev, A. (2012) *Disaster by design: the Aral Sea and its lessons for sustainability*, Emerald, Bingley, UK.

EPA (2009) *National primary drinking water regulations*, Environmental Protection Agency, Washington, DC, USA.

Ercin, A.E., Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y. (2011) Corporate water footprint accounting and impact assessment: The case of the water footprint of a sugar-containing carbonated beverage, *Water Resources Management*, 25(2): 721–741.

Ercin, A.E., Aldaya, M.M., Hoekstra, A.Y. (2012) The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products, *Ecological Indicators*, 18: 392–402.

Ercin, A.E., Hoekstra, A.Y. (2012) *Carbon and water footprints: Concepts, methodologies and policy responses*, United Nations World Water Assessment Programme, Side Publications Series No. 4, UNESCO, Paris, France.

Ercin, A.E., Hoekstra, A.Y. (2014) Water footprint scenarios for 2050: A global analysis, *Environment International*, 64: 71-82.

Ercin, A.E., Hoekstra, A.Y. (2016) European water footprint scenarios for 2050, *Water*, 8(6): 226.

Ercin, A.E., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2013) Sustainability of national consumption from a water resources perspective: The case study for France, *Ecological Economics*, 88: 133-147.

Everard, M., Harper, D.M. (2002) Towards the sustainability of the Lake Naivasha Ramsar site and its catchment, *Hydrobiologia*, 488: 191–202.

Ewing, B.R., Hawkins, T.R., Wiedmann, T.O., Galli, A., Ercin, A.E., Weinzettel, J., Steen-Olsen, K. (2012) Integrating ecological and water footprint accounting in a multi-regional input–output framework, *Ecological Indicators*, 23: 1–8.

Fader, M., Gerten, D., Thammer, M., Heinke, J., Lotze-Campen, H., Lucht, W., Cramer, W. (2011) Internal and external green-blue agricultural water footprints of nations, and related water and land savings through trade, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1641-1660.

Falkenmark, M. (2000) Competing freshwater and ecological services in the river basin perspective: An expanded conceptual framework, *Water International*, 25(2): 172-177.

Falkenmark, M., Rockström, J. (2004) *Balancing water for humans and nature: The new approach in ecohydrology*, Earthscan, London, UK.

Fang, K., Heijungs, R. (2015) Investigating the inventory and characterization aspects of footprinting methods: Lessons for the classification and integration of footprints, *Journal of Cleaner Production*, 108: 1028-1036.

Fang, K., Heijungs, R., De Snoo, G.R. (2014) Theoretical exploration for the combination of the ecological, energy, carbon, and water footprints: Overview of a footprint family, *Ecological Indicators*, 36: 508-518.

Fang, K., Heijungs, R., Duan, Z., De Snoo, G.R. (2015) The environmental sustainability of nations: Benchmarking the carbon, water and land footprints against allocated planetary boundaries, *Sustainability*, 7(8): 11285-11305.

FAO (2001) *The world's forests 2000*, GeoNetwork, Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO (2006) *Global forest resources assessment 2005: Progress towards sustainable forest management*, FAO Forestry Paper 147, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO (2009) *Global map of yearly actual evapotranspiration: Resolution 5 arc minutes, for the period 1961–1990*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO (2011) *The state of the world's land and water resources for food and agriculture: Managing systems at risk*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, and Earthscan, London, UK.

FAO (2012) *FAOSTAT*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, http://faostat.fao.org.

FAO (2013) *Food wastage footprint: Impacts on natural resources*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO (2016) *Global forest resources assessment 2015: How are the world's forests changing? Second edition*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

FAO (2019a) *FAOSTAT*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, http://faostat.fao.org.

FAO (2019b) *AQUASTAT*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, www.fao.org/nr/water/aquastat/main/.

FAO, CEPI (2007) *Recovered paper data 2006*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, and Confederation of European Paper Industries, Brussels, Belgium.

FAO, UNESCO, IAH, World Bank Group, GEF (2016) *Global diagnostic on groundwater governance*, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

Fereres, E., Soriano, M.A. (2007) Deficit irrigation for reducing agricultural water use, *Journal of Experimental Botany*, 58(2): 147–159.

Ferrara, V., Pappalardo, G. (2004) Intensive exploitation effects on alluvial aquifer of the Catania plain, eastern Sicily, Italy, *Geofísica Internacional*, 43(4): 671–681.

Foley, J.A. *et al*. (2011) Solutions for a cultivated planet, *Nature*, 478: 337-342.

Franke, N.A., Boyacioglu, H., Hoekstra, A.Y. (2013) *Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines*, Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands.

Galli, A., Wiedmann, T., Ercin, E., Knoblauch, D., Ewing, B., Giljum, S. (2011) Integrating ecological, carbon and water footprint into a 'footprint family' of indicators: Definition and role in tracking human pressure on the planet, *Ecological Indicators*, 16: 100–112.

Galloway, J.N., Burke, M., Bradford, G.E., Naylor, R., Falcon, W., Chapagain, A.K., Gaskell, J.C., McCullough, E., Mooney, H.A., Oleson, K.L.L., Steinfeld, H., Wassenaar, T., Smil, V. (2007) International trade in meat: The tip of the pork chop, *Ambio*, 36(8): 622–629.

Geerts, S., Raes, D. (2009) Deficit irrigation as an on-farm strategy to maximize crop water productivity in dry areas, *Agricultural Water Management*, 96(9): 1275–1284.

Gephart, J.A., Davis, K.F., Emery, K.A., Leach, A.M., Galloway, J.N., Pace, M.L. (2016) The environmental cost of subsistence: Optimizing diets to minimize footprints, *Science of the Total Environment*, 553: 120-127.

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y. (2011) The water footprint of biofuel-based transport, *Energy & Environmental Science*, 4(8): 2658–2668.

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y. (2012) The water footprint of sweeteners and bioethanol, *Environment International*, 40(1): 202–211.

Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y., Bosman, R. (2018) The blue and grey water footprint of construction materials: Steel, cement and glass, *Water Resources and Industry*, 19: 1-12.

Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y., Van der Meer, T.H. (2009a) The water footprint of energy from biomass: A quantitative assessment and consequences of an increasing share of bio-energy in energy supply, *Ecological Economics*, 68(4): 1052–1060.

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y., Van der Meer, T.H. (2009b) The water footprint of bioenergy, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(25): 10219–10223.

Gerbens-Leenes, W., Hoekstra, A.Y., Van der Meer, T.H. (2009c) A global estimate of the water footprint of Jatropha curcas under limited data availability, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(40): E113.

Gerbens-Leenes, P.W., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2013) The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems, *Water Resources and Industry*, 1-2: 25-36.

Gerbens-Leenes, P.W., Van Lienden, A.R., Hoekstra, A.Y., Van der Meer, T.H. (2012) Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030, *Global Environmental Change*, 22(3): 764–775.

Gerbens-Leenes, P.W., Xu, L., De Vries, G.J., Hoekstra, A.Y. (2014) The blue water footprint and land use of biofuels from algae, *Water Resources Research*, 50(11): 8549-8563.

Gerten, D., Hoff, H., Rockström, J., Jägermeyr, J., Kummu, M., Pastor, A.V. (2013) Towards a revised planetary boundary for consumptive freshwater use: role of environmental flow requirements, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5: 551-558.

GFN (2018) *National footprint accounts 2018 edition*, Global Footprint Network, Oakland, USA.

Giljum, S., Burger, E., Hinterberger, F., Lutter, S., Bruckner, M. (2011) A comprehensive set of resource use indicators from the micro to the macro level, *Resources, Conservation and Recycling*, 55(3): 300-308.

Gleeson, T., Richter, B. (2018) How much groundwater can we pump and protect environmental flows through time? Presumptive standards for conjunctive management of aquifers and rivers, *River Research and Applications*, 34(1): 83-92.

Gleeson, T., Wada, Y., Bierkens, M.F.P., *et al*. (2012) Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint, *Nature*, 488(7410): 197-200.

Gleick, P.H. (ed.) (1993) *Water in crisis: A guide to the world's fresh water resources*, Oxford University Press, Oxford, UK.

Gleick, P.H. (1994) Water and energy, *Annual Review of Energy and the Environment*, 19: 267–299.

Gleick, P.H. (1999) The human right to water, *Water Policy*, 1(5): 487–503.

Gleick, P.H. (2010) *Bottled and sold: The story behind our obsession with bottled water*, Island Press, Washington, DC, USA.

Gleick, P.H., Wolff, G., Chalecki, E.L., Reyes, R. (2002) Globalization and international trade of water. In: Gleick *et al*. (eds) *The world's water 2002–2003, The biennial report on freshwater resources*, Island Press, Washington, DC, USA, pp. 33–56.

GoI (2018) *National policy on biofuels 2018*, Government of India, Ministry of Petroleum and Natural Gas, New Delhi, India.

Gonzalez-Garcia, S., Berg, S., Feijoo, G., Moreira, M.T. (2009) Environmental impacts of forest production and supply of pulpwood: Spanish and Swedish case studies, *International Journal of Life Cycle Assessment*, 14(4): 340–353.

Goodland, R., Anhang, J. (2009) Livestock and climate change: What if the key actors in climate change are cows, pigs, and chickens? *World Watch Magazine*, Nov/Dec 2009, pp. 10–19.

Goria, A., Lugaresi, N. (2002) *The evolution of the national water regime in Italy*, Euwareness Project, Istituto per la Ricerca Sociale, Milan, Italy.

Grafton, R.Q., Williams, J., Perry, C.J., Molle, F., Ringler, C., Steduto, P., Udall, B., Wheeler, S.A., Wang, Y., Garrick, D., Allen, R.G. (2018) The paradox of irrigation efficiency, *Science*, 361(6404): 748-750.

Grote, U., Craswell, E., Vlek, P. (2005) Nutrient flows in international trade: Ecology and policy issues, *Environmental Science and Policy*, 8(5): 439–451.

Gunkel, G., Kosmol, J., Sobral, M., Rohn, H., Montenegro, S., Aureliano, J. (2006) Sugar cane industry as a source of water pollution: Case study on the situation in Ipojuca River, Pernambuco, Brazil, *Journal of Water, Air, and Soil Pollution*, 180(1–4): 261–269.

Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck, A. (2011) *Global food losses and food waste: Extent, causes and prevention*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

GWP (2000) *Integrated water resources management*, TAC Background Paper No. 4, Global Water Partnership, Stockholm, Sweden.

Hanasaki, N., Inuzuka, T., Kanae, S., Oki, T. (2010) An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model, *Journal of Hydrology*, 384: 232-244.

Hardin, G. (1968) The tragedy of the commons, *Science*, 162(3859): 1243–1248.

Harper, D., Mavuti, K. (2004) Lake Naivasha, Kenya: Ecohydrology to guide the management of a tropical protected area, *Ecohydrology and Hydrobiology*, 4(3): 287–305.

Harvey, M., Pilgrim, S. (2011) The new competition for land: Food, energy, and climate change, *Food Policy*, 36, Supplement 1: S40-S51.

Häyhä, T., Lucas, P.L., van Vuuren, D.P., Cornell, S.E., Hoff, H. (2016) From Planetary Boundaries to national fair shares of the global safe operating space: How can the scales be bridged? *Global Environmental Change*, 40: 60-72.

Hendy, C.R.C, Kleih, U., Crawshaw, R., Phillips, M. (1995) *Livestock and the environment finding a balance: Interactions between livestock production systems and the environment, Impact Domain: Concentrate feed demand*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Herrero, M., Gerber, P., Vellinga, T., Garnett, T., Leip, A., Opio, C., Westhoek, H.J., Thornton, P.K., Olesen, J., Hutchings, N., Montgomery, H., Soussana, J.-F., Steinfeld, H., McAllister, T.A. (2011) Livestock and greenhouse gas

emissions: The importance of getting the numbers right, *Animal Feed Science and Technology*, 166–67: 779–782.

Hertwich, E.G., Peters, G.P. (2009) Carbon footprint of nations: A global, trade-linked analysis, *Environmental Science and Technology*, 43: 6414–6420.

Herva, M., Franco, A., Carrasco, E.F., Roca, E. (2011) Review of corporate environmental indicators, *Journal of Cleaner Production*, 19: 1687-1699.

HLPE (2015) *Water for food security and nutrition*, High Level Panel of Experts on Food Security and Nutrition, Committee on World Food Security, Rome, Italy.

Hoekstra, A.Y. (ed.) (2003) *Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade*, Delft, the Netherlands, 12–13 December 2002, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Hoekstra, A.Y. (2008) The relation between international trade and water resources management. In: K.P. Gallagher (ed.) *Handbook on trade and the environment*, Edward Elgar Publishing, Cheltenham, UK, pp. 116–125.

Hoekstra, A.Y. (2009) Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis, *Ecological Economics*, 68(7): 1963–1974.

Hoekstra, A.Y. (2010a) The water footprint of animal products. In: D'Silva, J., Webster, J. (eds) *The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption*, Earthscan, London, UK, pp. 22–33.

Hoekstra, A.Y. (2010b) *The relation between international trade and freshwater scarcity*, Working Paper ERSD-2010-05, January 2010, World Trade Organization, Geneva, Switzerland.

Hoekstra, A.Y. (2011a) The global dimension of water governance: Why the river basin approach is no longer sufficient and why cooperative action at global level is needed, *Water*, 3(1): 21–46.

Hoekstra, A.Y. (2011b) The relation between international trade and freshwater scarcity. In: Hoekstra, A.Y., Aldaya, M.M., Avril, B. (eds) *Proceedings of the ESF Strategic Workshop on accounting for water scarcity and pollution in the rules of international trade*, Amsterdam, 25–26 November 2010, Value of Water Research Report Series No. 54, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, pp. 9–29.

Hoekstra, A.Y. (2012a) The hidden water resource use behind meat and dairy, *Animal Frontiers*, 2(2): 3–8.

Hoekstra, A.Y. (2014a) Sustainable, efficient and equitable water use: The three pillars under wise freshwater allocation, *WIREs Water*, 1(1): 31-40.

Hoekstra, A.Y. (2014b) Water for animal products: a blind spot in water policy, *Environmental Research Letters*, 9(9): 091003.

Hoekstra, A.Y. (2014c) Water scarcity challenges to business, *Nature Climate Change*, 4(5): 318-320.

Hoekstra, A.Y. (2015a) The sustainability of a single process, production process or product, *Ecological Indicators*, 57: 82–84.

Hoekstra, A.Y. (2015c) The water footprint of industry. In: Klemeš, J.J. (ed.) *Assessing and measuring environmental impact and sustainability*, Butterworth-Heinemann, Oxford, UK, pp. 221-254.

Hoekstra, A.Y. (2016) A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA, *Ecological Indicators*, 66: 564-573.

Hoekstra, A.Y. (2017a) Water footprint assessment: Evolvement of a new research field, *Water Resources Management*, 31(10): 3061–3081.

Hoekstra, A.Y. (2017b) The water footprint of animal products. In: D'Silva, J., Webster, J. (eds) *The meat crisis: Developing more sustainable and ethical production and consumption, Second edition*, Routledge, London, UK, pp. 21-30.

Hoekstra, A.Y. (2018b) Global food and trade dimensions of groundwater governance. In: Villholth, K.G., López-Gunn, E., Conti, K.I., Garrido, A., Van der Gun, J. (eds) *Advances in groundwater governance*, CRC Press, Leiden, the Netherlands, pp. 353-366.

Hoekstra, A.Y. (2018c) How to reduce our water footprint to a sustainable level? *UN Chronicle*, Vol. LV No. 1, pp. 52-54.

Hoekstra, A.Y., Buurman, J., Van Ginkel, K.C.H. (2018b) Urban water security: A review, *Environmental Research Letters*, 13(5): 053002.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. (2007) Water footprints of nations: Water use by people as a function of their consumption pattern, *Water Resources Management*, 21(1): 35–48.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K. (2008) *Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources*, Blackwell Publishing, Oxford, UK.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M. (2011) *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Earthscan, London, UK.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Van Oel, P.R. (2017) Advancing water footprint assessment research: Challenges in monitoring progress towards Sustainable Development Goal 6, *Water*, 9(6): 438.

Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Zhang, G.P. (2016) Water footprints and sustainable water allocation, *Sustainability*, 8(1): 20.

Hoekstra, A.Y., Gerbens-Leenes, W., Van der Meer, T.H. (2009) The water footprint of Jatropha curcas under poor growing conditions, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(42): E119.

Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. (2002) *Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade*, Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Hoekstra, A.Y., Hung, P.Q. (2005) Globalisation of water resources: International virtual water flows in relation to crop trade, *Global Environmental Change*, 15(1): 45–56.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M. (2011) *Global water scarcity: Monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins*, Value of Water Research Report Series No. 53, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M. (2012a) The water footprint of humanity, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(9): 3232–3237.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M. (2012b) From water footprint assessment to policy, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22): E1425.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M. (2016) Imported water risk: the case of the UK, *Environmental Research Letters*, 11(5): 055002.

Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E., Richter, B.D. (2012) Global monthly water scarcity: Blue water footprints versus blue water availability, *PLoS ONE*, 7(2): e32688.

Hoekstra, A.Y., Wiedmann, T.O. (2014) Humanity's unsustainable environmental footprint, *Science*, 344(6188): 1114-1117.

Hogeboom, R.J., Hoekstra, A.Y. (2017) Water and land footprints and economic productivity as factors in local crop choice: The case of silk in Malawi, *Water*, *9*(10): 802.

Hogeboom, R.J., Kamphuis, I., Hoekstra, A.Y. (2018a) Water sustainability of investors: Development and application of an assessment framework, *Journal of Cleaner Production*, 202: 642-648

Hogeboom, R.J., Knook, L., Hoekstra, A.Y. (2018b) The blue water footprint of the world's artificial reservoirs for hydroelectricity, irrigation, residential and industrial water supply, flood protection, fishing and recreation, *Advances in Water Resources*, 113: 285–294.

Holmatov, B., Hoekstra, A.Y., Krol, M.S. (2019) Land, water and carbon footprints of circular bioenergy production systems, *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, forthcoming.

Howard, P.H., Allen, P. (2008) Consumer willingness to pay for domestic 'fair trade': Evidence from the United States, *Renewable Agriculture and Food Systems*, 23(3): 235–242.

Huang, Y.A., Weber, C.L., Matthews, H.S. (2009) Categorization of scope 3 emissions for streamlined enterprise carbon footprinting, *Environmental Science and Technology*, 43: 8509-8515.

ICID (2006) *Experiences with inter basin water transfers for irrigation, drainage and flood management*, Revised draft report of the ICID Task Force on Inter Basin Water Transfers, International Commission on Irrigation and Drainage, New Delhi, India.

ICWE (1992) *The Dublin statement on water and sustainable development*, International Conference on Water and the Environment, Dublin, Ireland.

IEA (2017) *World energy outlook 2017*, International Energy Agency, Paris, France.

IEA (2018) *World energy outlook 2018*, International Energy Agency, Paris, France.

IPCC (2014) *Climate change 2014: Synthesis report*, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland.

ISO (2014) *ISO 14046: Environmental Management – Water Footprint – Principles, Requirements and Guidelines*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

ISTAT (2008) *Annual crop data*, Italian National Institute of Statistics, Rome, Italy, www.istat.it.

ITC (2006) *PC-TAS version 2000–2004 in HS or SITC*, International Trade Centre, Geneva, Switzerland.

Jackson, N., Konar, M., Hoekstra, A.Y. (2015) The water footprint of food aid, *Sustainability*, 7(6): 6435-6456.

Jackson, T. (2009) *Prosperity without growth: Economics for a finite planet*, Earthscan, London, UK.

Jackson, T., Papathanasopoulou, E. (2008) Luxury or 'lock-in'? An exploration of unsustainable consumption in the UK: 1968 to 2000, *Ecological Economics*, 68: 80-95.

Jalava, M., Kummu, M., Pokka, M., Siebert, S., Varis, O. (2014) Diet change: A solution to reduce water use? *Environmental Research Letters*, 9: 074016.

Jalota, S.K., Prihar, S.S. (1998) *Reducing soil water evaporation with tillage and straw mulching*, Iowa State University Press, Ames, IA, USA.

Jefferies, D., Muñoz, I., Hodges, J., King, V.J., Aldaya, M., Ercin, A.E. Milà-i-Canals, L., Hoekstra, A.Y. (2012) Water footprint and life cycle assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption: Key learning points from pilot studies on tea and margarine, *Journal of Cleaner Production*, 33: 155-166.

Jenkinson, D.S. (2001) The impact of humans on the nitrogen cycle, with focus on temperate arable agriculture, *Plant and Soil*, 228(1): 3–15.

Jones, C.M., Kammen, D.M. (2011) Quantifying carbon footprint reduction opportunities for U.S. households and communities, *Environmental Science and Technology*, 45: 4088-4095.

Jongschaap, R.E.E., Blesgraaf, R.A.R., Bogaard, T.A., Van Loo, E.N., Savenije, H.H.G. (2009) The water footprint of bioenergy from Jatropha curcas L., *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(35): E92.

Jongschaap, R.E.E., Corré, W.J., Bindraban, P.S., Brandenburg, W.A. (2007) *Claims and facts on Jatropha curcas L.: Global Jatropha curcas evaluation, breeding and propagation programme*, Report 158, Plant Research International, Wageningen, the Netherlands and Stichting Het Groene Woudt, Laren, the Netherlands.

Kampman, D.A., Hoekstra, A.Y., Krol, M.S. (2008) *The water footprint of India*, Value of Water Research Report Series No. 32, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Karandish, F., Hoekstra, A.Y. (2017) Informing national food and water security policy through water footprint assessment: The case of Iran, *Water*, 9(11): 831

Karandish, F., Hoekstra, A.Y., Hogeboom, R.J. (2018) Groundwater saving and quality improvement by reducing water footprints of crops to benchmarks levels, *Advances in Water Resources*, 121: 480-491.

Katyaini, S., Barua, A. (2017) Assessment of interstate virtual water flows embedded in agriculture to mitigate water scarcity in India (1996–2014), *Water Resources Research*, 53(8): 7382-7400.

Kitaka, N., Harper, D.M., Mavuti, K.M. (2002) Phosphorus inputs to Lake Naivasha,Kenya, from its catchments and the trophic state of the lake, *Hydrobiologia*, 488: 73–80.

Kummu, M., De Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., Ward, P.J. (2012) Lost food, wasted resources: Global food supply chain losses and their impacts on freshwater, cropland, and fertiliser use, *Science of the Total Environment*, 438: 477-489.

Lamers, P., Hamelinck, C., Junginger, M., Faaij, A. (2011) International bioenergy trade: A review of past developments in the liquid biofuel market, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15: 2655-2676.

Larijani, K.M (2005) *Iran's water crisis: Inducers, challenges and counter-measures*, 45th Congress of the European Regional Science Association, VU University Amsterdam, Amsterdam, the Netherlands.

Leach, A.M., Galloway, J.N., Bleeker, A., Erisman, J.W., Kohn, R., Kitzes, J. (2012) A nitrogen footprint model to help consumers understand their role in nitrogen losses to the environment, *Environmental Development*, 1: 40-66.

Lenzen, M., Moran, D., Bhaduri, A., Kanemoto, K., Bekchanov, M., Geschke, A., Foran, B. (2013) International trade of scarce water, *Ecological Economics*, 94: 78-85.

Lenzen, M., Murray, J., Sack, F., Wiedmann, T. (2007) Shared producer and consumer responsibility: Theory and practice, *Ecological Economics*, 61(1): 27–42.

León, L.M., Parise, M. (2008) Managing environmental problems in Cuban karstic aquifers, *Environmental Geology*, 58(2): 275–283.

Lenzen, M., Moran, D., Bhaduri, A., Kanemoto, K., Bekchanov, M., Geschke, A., Foran, B. (2013) International trade of scarce water, *Ecological Economics*, 94: 78-85.

Lerman, Z., Stanchin, I. (2006) Agrarian reforms in Turkmenistan. In: Babu, S.C., Djalalov, S. (eds) *Policy reform and agriculture development in Central Asia*, Springer, New York, USA, pp. 222–223.

Lettenmeier, M., Rohn, H., Liedtke, C., Schmidt-Bleek, F. (2009) *Resource productivity in 7 steps: How to develop eco-innovative products and services and improve their material footprint*, Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy, Wuppertal, Germany.

Levinson, M., Lee, E., Chung, J., Huttner, M., Danely, C., McKnight, C., Langlois, A. (2008) *Watching water: A guide to evaluating corporate risks in a thirsty world*, J. P. Morgan, New York, USA.

Liao, Y., De Fraiture, C., Giordano, M. (2008) Global trade and water: Lessons from China and the WTO, *Global Governance*, 14(4): 503–521.

Lin, D., Hanscom, L., Murthy, A., Galli, A., Evans, M., Neill, E., Mancini, M.S., Martindill, J., Medouar, F.Z., Huang, S., Wackernagel, M. (2018) Ecological footprint accounting for countries: Updates and results of the national footprint accounts, 2012–2018, *Resources*, 7(3): 58.

Linneman, M.H., Hoekstra, A.Y., Berkhout, W. (2015) Ranking water transparency of Dutch stock-listed companies, *Sustainability*, 7(4): 4341-4359.

Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A.Y., Gerbens-Leenes, W. (2012) Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers, *Ecological Indicators*, 18: 42–49.

Liu, J., Lundqvist, J., Weinberg, J., Gustafsson, J. (2013) Food losses and waste in China and their implication for water and land, *Environmental Science and Technology*, 47: 10137−10144.

Liu, J., Williams, J.R., Zehnder, A.J.B., Yang, H. (2007) GEPIC - modelling wheat yield and crop water productivity with high resolution on a global scale, *Agricultural Systems*, 94(2): 478-493.

Lundqvist, J., De Fraiture, C., Molden, D. (2008) *Saving water: From field to fork – curbing losses and wastage in the food chain*, SIWI Policy Brief, Stockholm International Water Institute, Stockholm, Sweden.

Ma, J., Hoekstra, A.Y., Wang, H., Chapagain, A.K., Wang, D. (2006) Virtual versus real water transfers within China, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 361(1469): 835–842.

Maheu, A. (2009) *Energy choices and their impacts on demand for water resources: An assessment of current and projected water consumption in global energy production*, McGill University, Montreal, Canada.

Malthus, T.R. (1798) *An essay on the principle of population*, J. Johnson, London, England.

Margat, J., Van der Gun, J. (2013) *Groundwater around the world: A geographic synopsis*, CRC Press, Leiden, the Netherlands.

Marston, L., Konar, M., Cai, X., Troy, T.J. (2015) Virtual groundwater transfers from overexploited aquifers in the United States, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(28): 8561–8566.

Mathioudakis, V., Gerbens-Leenes, P.W., Van der Meer, T.H., Hoekstra, A.Y. (2017) The water footprint of second-generation bioenergy: A comparison of biomass feedstocks and conversion techniques, *Journal of Cleaner Production*, 148: 571-582.

Matthews, H.S., Hendrickson, C.T., Weber, C.L. (2008) The importance of carbon footprint estimation boundaries, *Environmental Science and Technology*, 42: 5839-5842.

Mavuti, K.M., Harper, D.M. (2006) The ecological state of Lake Naivasha, Kenya, 2005: Turning 25 years research into an effective Ramsar monitoring programme. In: Odada, E.O., *et al*. (eds) *Proceedings of the 11th World Lakes Conference, 31 October – 4 November 2005, Nairobi, Kenya*, International Lake Environment Committee, Shiga, Japan, Vol. II, pp. 30–34.

McGuire, V.L. (2007) *Water-level changes in the High Plains Aquifer, predevelopment to 2005 and 2003 to 2005*, Scientific Investigations Report 2006–5324, United States Geological Survey, Reston, VA, USA.

McIsaac, G.F., David, M.B., Gertner, G.Z., Goolsby, D.A. (2001) Eutrophication: Nitrate flux in the Mississippi river, *Nature*, 414(6860): 166–167.

MDBC (2004) *The cap: Providing security for water users and sustainable rivers*, Murray-Darling Basin Commission, Canberra, Australia.

Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., Behrens, W.W. (1972) *The limits to growth*, Universe Books, New York, USA.

Mehta, L., La Cour Madsen, B. (2005) Is the WTO after your water? The General Agreement on Trade in Services (GATS) and poor people's right to water, *Natural Resources Forum*, 29(2): 154–164.

Meinshausen, M., Meinshausen, N., Hare, W., Raper, S.C.B., Frieler, K., Knutti, R., Frame, D.J., Allen M.R. (2009) Greenhouse-gas emission targets for limiting global warming to 2ºC, *Nature*, 458: 1158-1162.

Mekonnen, M.M., Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. (2015a) The consumptive water footprint of electricity and heat: A global assessment, *Environmental Science: Water Research and Technology*, 1(3): 285-297.

Mekonnen, M.M., Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. (2016) Future electricity: The challenge of reducing both carbon and water footprint, *Science of the Total Environment*, 569–570: 1282–1288.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2010) A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(7): 1259–1276.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2011a) The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(5): 1577–1600.

Mekonnen, M.M., A.Y. Hoekstra (2011b) *National water footprint accounts: The green, blue and grey water footprint of production and consumption*, Value of Water Research Report Series No. 50, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2012a) A global assessment of the water footprint of farm animal products, *Ecosystems*, 15(3): 401–415.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2012b) The blue water footprint of electricity from hydropower, *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(1): 179–187.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2014a) Water footprint benchmarks for crop production: A first global assessment, *Ecological Indicators*, 46: 214-223.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2014b) Water conservation through trade: The case of Kenya, *Water International*, 39(4): 451-468.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2015) Global gray water footprint and water pollution levels related to anthropogenic nitrogen loads to fresh water, *Environmental Science and Technology*, 49(21): 12860−12868.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2016) Four billion people facing severe water scarcity, *Science Advances*, 2(2): e1500323.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2018) Global anthropogenic phosphorus loads to fresh water and associated grey water footprints and water pollution levels: A high-resolution global study, *Water Resources Research*, 54(1): 345–358.

Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., Becht, R. (2012) Mitigating the water footprint of export cut flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya, *Water Resources Management*, 26(13): 3725–3742.

Mekonnen, M.M., Romanelli, T.L., Ray, C., Hoekstra, A.Y., Liska, A.J., Neale, C.M.U. (2018) Water, energy, and carbon footprints of bio-ethanol from the U.S. and Brazil, *Environmental Science and Technology*, 52(24): 14508–14518

Meybeck, M. (2003) Global analysis of river systems: From Earth system controls to Anthropocene syndromes, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 358(1440): 1935–1955.

Meybeck, M. (2004) The global change of continental aquatic systems: Dominant impacts of human activities, *Water Science and Technology*, 49(7): 73–83.

Meyer, K., Newman, P. (2018) The Planetary Accounting Framework: a novel, quota-based approach to understanding the impacts of any scale of human activity in the context of the Planetary Boundaries, *Sustainable Earth*, 1: 4.

Micklin, P. (2016) The future Aral Sea: hope and despair, *Environmental Earth Sciences*, 75(9): 844.

Micklin, P., Aladin, N.V., Plotnikov, I. (eds) (2014) *The Aral Sea: The devastation and partial rehabilitation of a great lake*, Springer, Heidelberg, Germany.

Millstone, E., Lang, T. (2003) *The atlas of food*, Earthscan, London, UK.

Minx, J., Baiocchi, G., Wiedmann, T., Barrett, J., Creutzig, F., Feng, K., Förster, M., Pichler, P.P., Weisz, H., Hubacek, K. (2013) Carbon footprints of cities and other human settlements in the UK, *Environmental Research Letters*, 8(3): 035039.

Mitchell, D. (2008) *A note on rising food prices*, Policy Research Working Paper 4682, Development Prospects Group, The World Bank, Washington, DC, USA.

Mitchell, R.B. (2010) *International politics and the environment*, SAGE Publications, London, UK.

Miura, A. (2001) *Coffee market and Colombia*, TED Case Studies No. 637, Trade Environment Database, Vol. 11, No. 2, American University, Washington, DC, USA.

Molden, D. (ed.) (2007) *Water for food, water for life: A comprehensive assessment of water management in agriculture*, Earthscan, London, UK.

Molle, F., Berkoff, J. (2007) Water pricing in irrigation: The lifetime of an idea. In: Molle, F., Berkoff, J. (eds) *Irrigation water pricing: The gap between theory and practice*, Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture Series No. 4, CAB International Publication, Wallingford, UK, pp. 1–20.

Monzote, R.F. (2008) *From rainforest to cane field in Cuba: An environmental history since 1492*, University of North Carolina Press, Chapel Hill, NC, USA.

Moore, D., Cranston, G., Reed, A., Galli, A. (2012) Projecting future human demand on the Earth's regenerative capacity, *Ecological Indicators*, 16: 3-10.

Morrison, J., Morkawa, M., Murphy, M., Schulte, P. (2009) *Water scarcity and climate change: Growing risks for business and investors*, CERES, Boston, MA, USA.

Morrison, J., Schulte, P., Christian-Smith, J., Orr, S., Hepworth, N., Pegram, G. (2010b) *Guide to responsible business engagement with water policy*, Pacific Institute, Oakland, CA, USA.

Morrison, J., Schulte, P., Schenck, R. (2010a) *Corporate water accounting: An analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts*, United Nations Global Compact, New York, USA.

Mpusia, P.T.O. (2006) *Comparison of water consumption between greenhouse and outdoor cultivation*, M.Sc. thesis, ITC, Enschede, the Netherlands.

Musota, R. (2008) *Using WEAP and scenarios to assess sustainability of water resources in a basin: Case study for Lake Naivasha catchment, Kenya*, M.Sc. thesis, ITC, Enschede, the Netherlands.

Nandalal, K.D.W., Hipel, K.W. (2007) Strategic decision support for resolving conflict over water sharing among countries along the Syr Darya river in the Aral Sea Basin, *Journal of Water Resources Planning and Management*, 133(4): 289–299.

Naylor, R.L., Hardy, R.W., Bureau, D.P., Chiu, A., Elliott, M., Farrell, A.P., Forster, I., Gatlin, D.M., Goldburg, R.J., Hua, K., Nichols, P.D. (2009) Feeding aquaculture in an era of finite resources, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(36): 15103-15110.

Naylor, R., Steinfeld, H., Falcon, W., Galloway, J., Smil, V., Bradford, E., Alder, J., Mooney, H. (2005) Losing the links between livestock and land, *Science*, 310(5754): 1621–1622.

NCASI (2009) *Water profile of the United States forest products industry*, National Council for Air and Stream Improvement, Research Triangle Park, NC, USA.

NCC (2019) *Cotton crop databases*, National Cotton Council of America, Cordova, TN, USA, www.cotton.org.

NDRC (2007) *Medium and long-term development plan for renewable energy in China*, National Development and Reform Commission, People's Republic of China, Beijing, China.

Neumayer, E. (2004) The WTO and the environment: Its past record is better than critics believe, but the future outlook is bleak, *Global Environmental Politics*, 4(3): 1–8.

Niccolucci, V., Tiezzi, E., Pulselli, F.M., Capineri, C. (2012) Biocapacity vs ecological footprint of world regions: A geopolitical interpretation, *Ecological Indicators*, 16: 23-30.

Nilsson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M., Revenga, C. (2005) Fragmentation and flow regulation of the world's large river systems, *Science*, 308(5720): 405–408.

Nogueira Junior, E., Kumar, M., Pankratz, S., Oyedun, A.O., Kumar, A. (2018) Development of life cycle water footprints for the production of fuels and chemicals from algae biomass, *Water Research*, 140: 311-322.

Norse, D. (2005) Non-point pollution from crop production: Global, regional and national issues, *Pedosphere*, 15(4): 499–508.

Noss, R.F., Cooperrider, A.Y. (1994) *Saving nature's legacy: Protecting and restoring biodiversity*, Island Press, Washington, DC, USA.

Nouri, H., Stokvis, B., Galindo, A., Blatchford, M., Hoekstra, A.Y. (2019) Water scarcity alleviation through water footprint reduction in agriculture: The effect of soil mulching and drip irrigation, *Science of the Total Environment*, 653: 241–252.

Nriagu, J.O., Pacyna, J.M. (1988) Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals, *Nature*, 333(6169): 134–139.

OECD (2006) *Water and agriculture: Sustainability, markets and policies*, Organisation for Economic Cooperation and Development, Paris, France.

Oki, T., Kanae, S. (2004) Virtual water trade and world water resources, *Water Science and Technology*, 49(7): 203–209.

Olivier, J.G.J., Peters, J.A.H.W. (2018) *Trends in global CO_2 and total greenhouse gas emissions: 2018 Report*, PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, The Hague, The Netherlands.

Olsson, G. (2012) *Water and energy: Threats and opportunities*, IWA Publishing, London, UK.

O'Mara, F.P. (2011) The significance of livestock as a contributor to global greenhouse gas emissions today and in the near future, *Animal Feed Science and Technology*, 166–167:7–15.

O'Neill, D.W., Fanning, A.L., Lamb, W.F., Steinberger, J.K. (2018) A good life for all within planetary boundaries, *Nature Sustainability*, 1: 88-95.

Orgaz, F., Fernández, M.D., Bonachela, S., Gallardo, M., Fereres, E. (2005) Evapotranspiration of horticultural crops in an unheated plastic greenhouse, *Agricultural Water Management*, 72(2): 81–96.

Orlowsky, B., Hoekstra, A.Y., Gudmundsson, L., Seneviratne, S.I. (2014) Today's virtual water consumption and trade under future water scarcity, *Environmental Research Letters*, 9(7): 074007.

Orr, S., Cartwright, A., Tickner, D. (2009) *Understanding water risks: A primer on the consequences of water scarcity for government and business*, WWF, Godalming, UK and HSBC, London, UK.

Orr, S., Sánchez-Navarro, R., Schmidt, G., Seiz-Puyuelo, R., Smith, K., Verberne, J. (2011) *Assessing water risk: A practical approach for financial institutions*, WWF, Berlin, Germany and DEG, KFW Bankengruppe, Germany.

Ostrom, E. (1990) *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Ostrom, E., Burger, J., Field, C.B., Norgaard, R.B., Policansky, D. (1999) Revisiting the commons: Local lessons, global challenges, *Science*, 284(5412): 278–282.

Oweis, T., Hachum, A. (2012) *Supplemental irrigation: A highly efficient water-use practice*, 2nd edition, International Center for Agricultural Research in the Dry Areas, Aleppo, Syria.

Pahlow, M., Van Oel, P.R., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2015) Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production, *Science of the Total Environment*, 536: 847–857.

Peck, J.C. (2007) Groundwater management in the High Plains Aquifer in the USA: Legal problems and innovations. In: Giordano, M., Villholth, K.G. (eds) *The agricultural groundwater revolution: Opportunities and threats to development*, CAB International, Wallingford, UK.

Pegram, G., Orr, S., Williams, C. (2009) *Investigating shared risk in water: Corporate engagement with the public policy process*, WWF, Godalming, UK.

Pereira, L.S., Oweis, T., Zairi, A. (2002) Irrigation management under water scarcity, *Agricultural Water Management*, 57(3): 175–206.

Perry, C. (2003) *Water pricing: Some important definitions and assumptions*, Occasional Paper No. 59, SOAS Water Issues Study Group, School of Oriental and African Studies/King's College London, University of London, London, UK.

Perry, C. (2007) Efficient irrigation; Inefficient communication; Flawed recommendations, *Irrigation and Drainage*, 56(4): 367–378.

Peters, G.P., Hertwich, E.G. (2008) Post-Kyoto greenhouse gas inventories: production versus consumption, *Climatic Change*, 86: 51-66.

Peters, G.P., Marland, G., Le Quéré, C., Boden, T., Canadell, J.G., Raupach, M.R. (2012) Rapid growth in CO_2 emissions after the 2008-2009 global financial crisis, *Nature Climate Change*, 2: 2-4.

Peters, G.P., Minx, J.C., Weber, C.L., Edenhofer, O. (2011) Growth in emission transfers via international trade from 1990 to 2008, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(21): 8903-8908.

Peterson, J., Bernardo, D. (2003) High Plains regional aquifer study revisited: A 20 year retrospective for Western Kansas, *Great Plains Research*, 13(2): 179–197.

Pimentel, D., Marklein, A., Toth, M.A., Karpoff, M.N., Paul, G.S., McCormack, R., Kyriazis, J., Krueger, T. (2009) Food versus biofuels: Environmental and economic costs, *Human Ecology*, 37(1): 1–12.

Pimentel, D., Patzek, T.W. (2005) Ethanol production using corn, switch grass, and wood: Biodiesel production using soybean and sunflower, *Natural Resources Research*, 14(1): 65–76.

Pimentel, D., Pimentel, M.H. (2008) *Food, energy, and society*, 3rd edition, CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Pitesky, M.E., Stackhouse, K.R., Mitloehner, F.M. (2009) Clearing the air: Livestock's contribution to climate change, *Advances in Agronomy*, 103: 1–40.

Poff, N.L., Zimmerman, J.K.H. (2010) Ecological responses to altered flow regimes: A literature review to inform the science and management of environmental flows, *Freshwater Biology*, 55(1): 194–205.

Polimeni, J.M., Mayumi, K., Giampietro, M., Alcott, B. (2008) *The Jevons paradox and the myth of resource efficiency improvements*, Earthscan, London, UK.

Postel, S.L., Daily, G.C., Ehrlich, P.R. (1996) Human appropriation of renewable freshwater, *Science*, 271(5250): 785–788.

Postle, M., George, C., Upson, S., Hess, T., Morris, J. (2011) *Assessment of the efficiency of the water footprinting approach and of the agricultural products and foodstuff labelling and certification schemes*, Risk and Policy Analysts Limited, Loddon, Norfolk, UK and Cranfield University, Cranfield, Bedfordshire, UK.

Pouzols, F.M., *et al*. (2014) Global protected area expansion is compromised by projected land-use and parochialism, *Nature*, 516(7531): 383-386.

Pradhan, P., Fischer, G., Van Velthuizen, H., Reusser, D.E., Kropp, J.P. (2015) Closing yield gaps: How sustainable can we be? *PLoS ONE*, 10: e0129487.

Ramirez-Vallejo, J., Rogers, P. (2004) Virtual water flows and trade liberalization, *Water Science and Technology*, 49(7): 25–32.

Raworth, K. (2017) *Doughnut economics: Seven ways to think like a 21st-century economist*, Random House Business Books, London, UK.

Rep, J. (2011) *From forest to paper, the story of our water footprint*, UPM-Kymmene, Helsinki, Finland.

Renner, A., Zelt, T., Gerteiser, S. (2008) *Global market study on jatropha*, Final report prepared for the World Wildlife Fund for Nature (WWF), GEXSI London, UK and Berlin, Germany.

Ricardo, D. (1821) *On the principles of political economy and taxation*, 3rd edition, John Murray, London, UK.

Richter, B. (2009) Sustainable water use: Can certification show the way? *Innovations*, 4(3): 119–139.

Richter, B.D., Davis, M.M., Apse, C., Konrad, C. (2012) A presumptive standard for environmental flow protection, *River Research and Applications*, 28(8): 1312–1321

Ridoutt, B.G., Huang, J. (2012) Environmental relevance: The key to understanding water footprints, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(22): E1424.

Ridoutt, B.G., Pfister, S. (2010) A revised approach to water footprinting to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity, *Global Environmental Change*, 20: 113–120.

Rivoli, P. (2005) *The travels of a T-shirt in the global economy: An economist examines the markets, power, and politics of world trade*, John Wiley, Hoboken, NJ, USA.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., *et al*. (2009a) A safe operating space for humanity, *Nature*, 461: 472-475.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., *et al*. (2009b) Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity, *Ecology and Society*, 14(2): 32.

Rogers, P., De Silva, R., Bhatia, R. (2002) Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability, *Water Policy*, 4(1): 1–17.

Romaguera, M., Hoekstra, A.Y., Su, Z., Krol, M.S., Salama, M.S. (2010) Potential of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops, *Remote Sensing*, 2(4):1177-1196.

Romaguera, M., Krol, M.S., Salama, M.S., Hoekstra, A.Y., Su, Z. (2012) Determining irrigated areas and quantifying blue water use in Europe using remote sensing Meteosat Second Generation (MSG) products and Global Land Data Assimilation System (GLDAS) data, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(8): 861-873.

Romaguera, M., Krol, M.S., Salama, M.S., Su, Z., Hoekstra A.Y. (2014a) Application of a remote sensing method for estimating monthly blue water evapotranspiration in irrigated agriculture, *Remote Sensing*, 6(10): 10033-10050.

Romaguera, M., Salama, M.S., Krol, M.S., Hoekstra A.Y., Su, Z. (2014b) Towards the improvement of blue water evapotranspiration estimates by combining remote sensing and model simulation, *Remote Sensing*, 6(8): 7026-7049.

Rosegrant, M.W., Cline, S. (2002) The politics and economics of water pricing in developing countries, *Water Resources Impact*, 4(1): 6–8.

Roth, D., Warner, J. (2007) Virtual water: Virtuous impact? The unsteady state of virtual water, *Agriculture and Human Values*, 25(2): 257–270.

Ruini, L., Marino, M., Pignatelli, S., Laio, F., Ridolfi, L. (2013) Water footprint of a large-sized food company: The case of Barilla pasta production, *Water Resources and Industry*, 1-2: 7-24.

Rulli, M.C., Saviori, A., D'Odorico, P. (2013) Global land and water grabbing, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(3): 892-897.

SABMiller, GTZ, WWF (2010) *Water futures: Working together for a secure water future*, SABMiller, Woking, UK and WWF-UK, Goldalming, UK.

SABMiller, WWF-UK (2009) *Water footprinting: Identifying and addressing water risks in the value chain*, SABMiller, Woking, UK and WWF-UK, Goldalming, UK.

Sala, S., Goralczyk, M. (2013) Chemical footprint: A methodological framework for bridging life cycle assessment and planetary boundaries for chemical pollution, *Integrated Environmental Assessment and Management*, 9(4): 623-632.

Sanchez, P.A. (2002) Soil fertility and hunger in Africa, *Science*, 295(5562): 2019–2020.

Sarni, W. (2011) *Corporate water strategies*, Earthscan, London, UK.

Savenije, H.H.G. (2002) Why water is not an ordinary economic good, or why the girl is special, *Physics and Chemistry of the Earth*, 27(11–22): 741–744.

Savenije, H.H.G., Hoekstra, A.Y., Van der Zaag, P. (2014) Evolving water science in the Anthropocene, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(1): 319-332.

Schindler, D. (2010) Tar sands need solid science, *Nature*, 468(7323): 499–501.

Schyns, J.F., Booij, M.J., Hoekstra, A.Y. (2017) The water footprint of wood for lumber, pulp, paper, fuel and firewood, *Advances in Water Resources*, 107: 490-501.

Schyns, J.F., Hamaideh, A., Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Schyns, M. (2015a) Mitigating the risk of extreme water scarcity and dependency: The case of Jordan, *Water*, 7(10): 5705-5730.

Schyns, J.F., Hoekstra, A.Y. (2014) The added value of Water Footprint Assessment for national water policy: A case study for Morocco, *PLOS ONE*, 9(6): e99705.

Schyns, J.F., Hoekstra, A.Y., Booij, M.J. (2015b) Review and classification of indicators of green water availability and scarcity, *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(11): 4581-4608.

Schyns, J.F., Hoekstra, A.Y., Booij, M.J., Hogeboom R.J., Mekonnen, M.M. (2019) Limits to the world's green water resources for food, feed, fibre, timber and bio-energy, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 116(11): 4893–4898.

Schyns, J.F., Vanham, D. (2019) The water footprint of wood for energy consumed in the European Union, *Water*, 11(2): 206.

Scott, C.A., Vicuña, S., Blanco-Gutiérrez, I., Meza, F., Varela-Ortega, C. (2014) Irrigation efficiency and water-policy implications for river basin resilience, *Hydrology and Earth System Sciences*, 18(4): 1339.

Sears, L., Caparelli, J., Lee, C., Pan, D., Strandberg, G., Vuu, L., Lawell, C.Y.C.L. (2018) Jevons' Paradox and efficient irrigation technology, *Sustainability*, 10(5): 1590.

Seekell, D.A. (2011) Does the global trade of virtual water reduce inequality in freshwater resource allocation? *Society and Natural Resources*, 24(11): 1205-1215.

Seekell, D.A., D'Odorico, P., Pace, M.L. (2011) Virtual water transfers unlikely to redress inequality in global water use, *Environmental Research Letters*, 6(2): 024017.

Shiklomanov, I.A., Rodda, J.C. (2004) *World water resources at the beginning of the twenty-first century*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Siebert, S., Burke, J., Faures, J.M., Frenken, K., Hoogeveen, J., Döll, P., Portmann, F.T. (2010) Groundwater use for irrigation: A global inventory, *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 1863–1880.

Smil, V. (2013) *Should we eat meat? Evolution and consequences of modern carnivory*, Wiley-Blackwell Chichester, UK.

Smit, R., Whitehead, J., Washington, S. (2018) Where are we heading with electric vehicles? *Air Quality and Climate Change*, 52(3): 18-27.

Solomon, S.K. (2005) Environmental pollution and its management in the sugar industry in India: An appraisal, *Journal of Sugar Tech*, 7(1): 77–81.

Sorrell, S., Dimitropoulos, J., Sommerville, M. (2009) Empirical estimates of the direct rebound effect: A review, *Energy Policy*, 37(4): 1356–1371.

Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., *et al*. (2018) Options for keeping the food system within environmental limits, *Nature*, 562(7728): 519-525.

Steinfeld, H., Gerber, P., Wassenaar, T., Castel, V., Rosales, M., De Haan, C. (2006) *Livestock's long shadow: Environmental issues and options*, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

Stocking, M.A. (2003) Tropical soils and food security: The next 50 years, *Science*, 302(5649): 1356–1359.

Suweis, S., Konar, M., Dalin, C., Hanasaki, N., Rinaldo, A., Rodriguez-Iturbe, I. (2011) Structure and controls of the global virtual water trade network, *Geophysical Research Letters*, 38(10): L10403.

Suweis, S., Rinaldo, A., Maritan, A., D'Odorico, P. (2013) Water-controlled wealth of nations, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(11): 4230-4233.

Svancara, L.K., Brannon, R., Scott, J M., Groves, C.R., Noss, R.F., Pressey, R.L. (2005) Policy-driven versus evidence-based conservation: A review of political targets and biological needs, *BioScience*, 55(11): 989–995.

Tang, S.Y. (1992). *Institutions and collective action: Self governance in irrigation systems*, ICS Press, San Francisco, CA, USA.

TCCC, TNC (2010) *Product water footprint assessments: Practical application in corporate water stewardship*, The Coca-Cola Company, Atlanta, GA, USA and The Nature Conservancy, Arlington, VA, USA.

T&E (2017) *Roadmap to climate-friendly land freight and buses in Europe*, Transport & Environment, Brussels, Belgium.

Terry, B., Athanasios, D., Jonathan, R. (2009) The macroeconomic rebound effect and the world economy, *Energy Efficiency*, 2(4): 411–427.

Thenkabail, P.S., Schull, M., Turral, H. (2005) Ganges and Indus river basin land use/land cover (LULC) and irrigated area mapping using continuous streams of MODIS data, *Remote Sensing of Environment*, 95(3): 317–341.

Tilman, D., Fargione, J., Wolff, B., D'Antonio, C., Dobson, A., Howarth, R., Schindler, D., Schlesinger, W.H., Simberloff, D., Swackhamer, D. (2001) Forecasting agriculturally driven global environmental change, *Science*, 292(5515): 281–284.

Tiruneh, B.A. (2004) *Modelling water quality using soil and water assessment tool SWAT: A case study in Lake Naivasha basin, Kenya*, M.Sc. thesis, ITC, Enschede, the Netherlands.

Tversky, A., Kahneman, D. (1981) The framing of decisions and the psychology of choice, *Science*, 211(4481): 453–458.

UN (1948) Universal Declaration of Human Rights, United Nations, New York, USA.

UN (1992) *Agenda 21: The United Nations programme of action from Rio*, United Nations, New York, USA.

UN (1998) *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*, United Nations, Kyoto, Japan.

UN (2015a) *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*, United Nations, New York, USA.

UN (2015b) *Adoption of the Paris agreement*, Framework Convention on Climate Change, United Nations, Paris, France.

UN (2017) *World population prospects: The 2017 revision*, Population Division, Department of Economic and Social Affairs, United Nations, New York, USA.

UNCESCR (2002) *General Comment No. 15: The right to water*, UN Committee on Economic, Social and Cultural Rights, United Nations, New York, USA.

UNECE, FAO (2010) *Forest product conversion factors for the UNECE region*, Geneva Timber and Forest Discussion Paper 49, United Nations Economic Commission for Europe, Geneva, Switzerland and Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy.

UNEP (2005) *The trade and environmental effects of ecolabels: Assessment and response*, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNEP (2012) *The emissions gap report 2012*, United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya.

UNESCO (1998) *UNESCO's initiative for the Aral Sea Basin*, Information document, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Tashkent, Uzbekistan.

UNESCO (2000) *Water-related vision for the Aral sea basin for the year 2025*, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, Paris, France.

UNESCO (2003) *Water for people, water for life*, United Nations World Water Development Report, Part: Case Studies, Chapter 19, UNESCO Publishing, Paris, France and Berghahn Books, Oxford, UK.

Vanham, D., Hoekstra, A.Y., Bidoglio, G. (2013b) Potential water saving through changes in European diets, *Environment International*, 61: 45-56.

Vanham, D., Hoekstra, A.Y., Wada, Y., *et al*. (2018) Physical water scarcity metrics for monitoring progress towards SDG target 6.4: An evaluation of indicator 6.4.2 "Level of water stress", *Science of the Total Environment*, 613-614: 218–232.

Vanham, D., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2013a) The water footprint of the EU for different diets, *Ecological Indicators*, 32: 1-8.

Van Oel, P.R., Hoekstra, A.Y. (2012) Towards quantification of the water footprint of paper: A first estimate of its consumptive component, *Water Resources Management*, 26(3): 733–749.

Van Oel, P.R., Krol, M.S., Hoekstra, A.Y. (2009a) A river basin as a common-pool resource: A case study for the Jaguaribe basin in the semi-arid Northeast of Brazil, *International Journal of River Basin Management*, 7(4): 345–353.

Van Oel, P.R., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2009b) The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment, *Ecological Economics*, 69(1): 82-92.

Van Wyk, B.E. (2005) *Food plants of the world: An illustrated guide*, Timber Press, Portland, OR, USA.

Varis, O., Biswas, A.K., Tortajada, C., Lundqvist, J. (2006) Megacities and water management, *International Journal of Water Resources Development*, 22: 377–394.

Verdegem, M.C.J., Bosma, R.H., Verreth, J.A.V. (2006) Reducing water use for animal production through aquaculture, *Water Resources Development*, 22(1): 101-113.

Verma, S., Kampman, D.A., Van der Zaag, P., Hoekstra, A.Y. (2009) Going against the flow: A critical analysis of inter-state virtual water trade in the context of India's National River Linking Programme, *Physics and Chemistry of the Earth*, 34(4–5): 261–269.

Vermeir, I., Verbeke, W. (2006) Sustainable food consumption: Exploring the consumer 'attitude – behavioral intention' gap, *Journal of Agricultural & Environmental Ethics*, 19(2): 169–194.

Vörösmarty, C.J., Hoekstra, A.Y. , Bunn, S.E., Conway, D., Gupta, J. (2015) Fresh water goes global, *Science*, 349 (6247): 478-479.

Wackernagel, M., Rees, W.E. (1996) *Our Ecological Footprint - Reducing Human Impact on the Earth,* New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.

Wada, Y., Van Beek, L.P.H., Bierkens M.F.P. (2012) Nonsustainable groundwater sustaining irrigation: A global assessment, *Water Resources Research*, 48: W00L06.

Wada, Y., Van Beek, L.P.H., Van Kempen, C.M., Reckman, J.W.T.M., Vasak, S., Bierkens, M.F.P. (2010) Global depletion of groundwater resources, *Geophysical Research Letters*, 37: L20402.

Wada, Y., Wisser, D., Bierkens, M.F.P. (2014) Global modeling of withdrawal, allocation and consumptive use of surface water and groundwater resources, *Earth System Dynamics*, 5: 15–40.

Wallace, J.S., Gregory, P.J. (2002) Water resources and their use in food production systems, *Aquatic Sciences*, 64(4): 363–375.

Wang, F., Sims, J.T., Ma, L., Ma, W., Dou, Z., Zhang, F. (2011) The phosphorus footprint of China's food chain: Implications for food security, natural resource management, and environmental quality, *Journal of Environmental Quality*, 40: 1081-1089.

Wang, R., Zimmerman, J. (2016) Hybrid analysis of blue water consumption and water scarcity implications at the global, national, and basin levels in an increasingly globalized world, *Environmental Science and Technology*, 50(10): 5143-5153.

Wang, Y.B., Wu, P.T., Engel, B.A., Sun, S.K. (2014) Application of water footprint combined with a unified virtual crop pattern to evaluate crop water productivity in grain production in China, *Science of the Total Environment*, 497-498: 1-9.

Ward, F.A., Pulido-Velazquez, M. (2008) Water conservation in irrigation can increase water use, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(47): 18215–18220.

WCD (2000) *Dams and development: A new framework for decision-making*, The report of the World Commission on Dams, Earthscan, London, UK.

WEF (2019) *The global risks report 2019*, World Economic Forum, Geneva, Switzerland.

Weinzettel, J., Hertwich, E.G., Peters, G.P., Steen-Olsen, K., Galli, A. (2013) Affluence drives the global displacement of land use, *Global Environmental Change*, 23(2): 433-438.

Wichelns, D. (2010) Virtual water: A helpful perspective, but not a sufficient policy criterion, *Water Resources Management*, 24(10): 2203–2219.

Wiedmann, T.O., Lenzen, M., Barrett, J.R. (2009) Companies on the scale: Comparing and benchmarking the sustainability performance of businesses, *Journal of Industrial Ecology*, 13: 361-383.

Wiedmann, T., Minx, J. (2008) A definition of 'carbon footprint', In: Pertsova, C.C. (ed.) *Ecological economics research trends,* Nova Science Publishers, Hauppauge, NY, USA, pp. 1-11.

Wiedmann, T.O., Schandl, H., Lenzen, M., Moran, D., Suh, S., West, J., Kanemoto, K. (2015) The material footprint of nations, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(20): 6271-6276.

Willett, W., *et al*. (2019) Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems, *The Lancet*, 393: 447-92.

Wilson, E.O. (2016) Half-Earth: Our planet's fight for life, W.W. Norton & Company, New York, USA.

Wisser, D., Fekete, B.M., Vörösmarty, C.J., Schumann, A.H. (2010) Reconstructing 20th century global hydrography: A contribution to the Global Terrestrial Network- Hydrology (GTN-H), *Hydrology and Earth System Sciences*, 14(1): 1–24.

Wisser, D., Frolking, S., Hagen, S., Bierkens, M.F.P. (2013) Beyond peak reservoir storage? A global estimate of declining water storage capacity in large reservoirs, *Water Resources Research*, 49(9): 5732-5739.

World Bank (2004) *Water resources sector strategy: Strategic directions for World Bank engagement*, World Bank, Washington, DC, USA.

World Water Commission (2000) *A water secure world: Vision for water, life, and the environment*, World Water Vision Commission Report, World Water Commission, The Hague, the Netherlands.

WRI, WBCSD (2011) *Greenhouse gas protocol corporate value chain (scope 3) accounting and reporting standard*, World Resources Institute, Washington, DC, USA, and World Business Council for Sustainable Development, Conches-Geneva, Switzerland.

WTO (2008) *Understanding the WTO*, 4th edition, World Trade Organization, Geneva, Switzerland.

WWF (2004) *Sugar and the environment: Encouraging better management practices in sugar production*, WWF Global Freshwater Programme, WWF, Zeist, the Netherlands.

WWF (2006) *Drought in the Mediterranean: WWF policy proposals*, WWF/Adena, Madrid, Spain and WWF Mediterranean Programme, Rome, Italy.

Xu, T.Z. (1999) *Water quality assessment and pesticide fate modelling in the Lake Naivasha area, Kenya*, M.Sc. thesis, ITC, Enschede, the Netherlands.

Yang, H., Reichert, P., Abbaspour, K.C., Zehnder, A.J.B. (2003) A water resources threshold and its implications for food security, *Environmental Science and Technology*, 37(14): 3048–3054.

Yang, H., Wang, L., Abbaspour, K.C., Zehnder, A.J.B. (2006) Virtual water trade: An assessment of water use efficiency in the international food trade, *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(3): 443–454.

Yang, H., Wang, L., Zehnder, A. (2007) Water scarcity and food trade in the Southern and Eastern Mediterranean countries, *Food Policy*, 32(5–6): 585–605.

Yuan, Q., Song, G., Fullana-i-Palmer, P., Wang, Y., Semakula, H.M., Mekonnen, M.M., Zhang, S. (2017) Water footprint of feed required by farmed fish in China based on a Monte Carlo-supported von Bertalanffy growth model: A policy implication, *Journal of Cleaner Production*, 153: 41-50.

Zhuo, L., Hoekstra, A.Y. (2017) The effect of different agricultural management practices on irrigation efficiency, water use efficiency and green and blue water footprint, *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 4(2): 185-194.

Zhuo, L., Hoekstra, A.Y., Wu, P., Zhao, X. (2019) Monthly blue water footprint caps in a river basin to achieve sustainable water consumption: The role of reservoirs, *Science of the Total Environment*, 650: 891-899.

Zhuo, L., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2016a) The effect of inter-annual variability of consumption, production, trade and climate on crop-related green and blue water footprints and inter-regional virtual water trade: A study for China (1978-2008), *Water Research*, 94: 73–85.

Zhuo, L., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2016b) Consumptive water footprint and virtual water trade scenarios for China – with a focus on crop production, consumption and trade, *Environment International*, 94: 211–223.

Zhuo, L., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y. (2016c) Benchmark levels for the consumptive water footprint of crop production for different environmental conditions: A case study for winter wheat in China, *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(11): 4547–4559.

Zhuo, L., Mekonnen, M.M., Hoekstra, A.Y., Wada, Y. (2016d) Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River Basin (1961-2009), *Advances in Water Resources*, 87: 21-41.

Zijp, M.C., Posthuma, L., Van De Meent, D. (2014) Definition and applications of a versatile chemical pollution footprint methodology, *Environmental Science and Technology*, 48(18): 10588-10597.

Zonn, I., Glantz, M., Kostianoy, A., Kosarev. A. (2009) *The Aral Sea encyclopedia*, Springer, Heidelberg, Germany.

Zwart, S.J., Bastiaanssen, W.G.M., De Fraiture, C., Molden, D.J. (2010) A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat, *Agricultural Water Management*, 97(10): 1617–1627.

واژه‌نامه

INDEX **شاخص**

A

abaca fibre	الیاف آباکا
agave fibre	الیاف آگاو
agricultural policy	سیاست کشاورزی
alfalfa	یونجه
algae for biofuel	جلبک برای سوخت‌زیستی
Algeria	الجزایر
Alliance for Water Stewardship	
almond	بادام
Amu Darya	دریای آمو
Amur River	رودخانه‌ی آمور
Andalucía	اندلس
animal welfare	رفاه حیوانات
apparel sector	بخش پوشاک
apple juice	آب سیب
aquaculture	آبزی‌پروری
Aral Sea	دریای آرال
Argentina	آرژانتین
Aruba	آروبا
asparagus	مارچوبه
Australia	استرالیا
Austria	اتریش
avocado	آووکادو

B

baby corn	بچه‌ذرت
Bangladesh	بنگلادش
Barcelona	بارسلون
barley	جو
baseflow	جریان پایه

beans	حبوبات
beef	گوشت
beef cattle	گاو گوشتی
beer	آب جو
Beijing	پکن
Belgium	بلژیک
benchmark	بنچ‌مارک
best available technology	بهترین تکنولوژیِ موجود
beverage sector	بخش نوشیدنی
Bihar	بیهار
biodiesel	بیودیزل
bioelectricity	بیوالکتریسیته
bioethanol	بیواتانول
biofuels	سوخت زیستی
Black Sea	دریای سیاه
blue water availability	آب آبی در دسترس
blue water footprint; cap; definition; maximum sustainable; reduction	ردپای آب آبی؛ سقف؛ تعریف؛ حداکثر مقدار پایدار؛ کاهش
blue water productivity	بهره‌ری آب آبی
blue water scarcity	کمبود آب آبی
bottled water	آب بسته‌بندی شده (بطری‌شده)
Brahmaputra River	رودخانه‌ی براهماپوترا
Brazil	برزیل
bread	نان
bread wheat	گندم نان
broadleaves	پهن‌برگ
Bulgaria	بلغارستان
bulgur	بلغور
butter	
C	
cabbage	کلم

caffeine	کافئین
Calabria	کالابریا
California	کالیفرنیا
Cambodia	کامبوج
Campania	کامپانیا
Canada	کانادا
Canary Islands	جزایر قناری
Carbon Disclosure Project	پروژه‌ی افشای کربن
carbon footprint	ردپای کربن
carbon footprint cap	سقف ردپای کربن
carbon neutral	کربن‌خنثی
carbon offsetting	جبران کربن
cashew nut	بادام هندی
cassava	کاساوا
Cauvery River	رودخانه‌ی کاوری
cereals	غلات
certification	مجوز
charcoal	زغال‌چوب
chemical footprint	ردپای شیمیایی
chicken	مرغ
Chile	شیلی
China	چین
chocolate	شکلات
chlorine-free bleaching	سفیدسازی بدون کلر
circular economy	اقتصاد چرخشی
climate change	تغییراقلیم
coal	زغال‌سنگ
Coca-Cola	کوکاکولا
cocoa	کاکائو
coconut	نارگیل

coffee	قهوه
cola	نوشابه
Colombia	کلمبیا
Colorado River	رودخانه‌ی کلرادو
Colorado State	ایالت کلرادو
Columbia River	رودخانه‌ی کلمبیا
common-pool resources	منابع عمومی
community engagement	مشارکت جامعه
Common Agricultural Policy	سیاست کشاورزی مشترک
comparative advantage	مزیت نسبی
concrete	بتن
consumptive water footprint	ردپای آب مصرفی
contraction and convergence	کاهش و همگرایی
cooling	خنک‌سازی
corporate social responsibility	مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت
cotton	پنبه
couscous	دانه‌های کوسکوس
critical load	دفع بحرانی
cropping pattern	الگوی کشت
Cuba	کوبا
cut flowers	گل‌های شاخه‌بریده
Cyprus	قبرس
Czech Republic	جمهوری چک
D	
dairy	لبنیات
Danube River	رودخانه‌ی دانوب
Dead Sea	دریای مرده
deficit irrigation	کم‌آبیاری
degradative water footprint	ردپای اب تخریب‌کننده
Denmark	دانمارک

desalination	شوری‌زدایی
diet	رژیم غذایی
Dnieper River	رودخانه‌ی دنیپر
Doha Development Round	دور مذاکرات دوحه
Don River	رودخانه‌ی دان
drip irrigation	آبیاری قطره‌ای
Dublin Conference	کنفرانس دوبلین
durum wheat	گندم دوروم
E	
eco-efficiency	کارآیی اکولوژیکی
ecological footprint	ردپای اکولوژیکی
economic water productivity	بهره‌وری اقتصادی آب
Ecuador	اکوآدور
eggs	تخم‌مرغ
Egypt	مصر
electricity; bioelectricity; hydroelectricity	الکتریسیته، بیوالکتریسیته، برقابی
Emilia Romagna	امیلیا رومانا
energy crops	گیاهان مولد انرژی
energy policy	سیاست انرژی
environmental flow requirements	جریان زیست‌محیطی موردنیاز
environmental sustainability	پایداری زیست‌محیطی
equitability in water use	برابری در کاربرد آب
Estonia	استونی
Ethiopia	اتیوپی
eucalyptus	اکالیپتوس
Euphrates River	رودخانه‌ی فرات
European Commission (EC)	کمیسیون اروپا
European Union (EU)	اتحادیه‌ی اروپا
extensive farming	کشاورزی گسترده
externalities	اثرات خارجی

eutrophication	تغذیه‌گرایی
F	
fair trade	تجارت عادلانه
feed	علوفه
feed conversion efficiency	راندمان تبدیل غذا
fertilizer	کود
Finland	فنلاند
firewood	هیزم
fish	ماهی
flax fibre	الیاف کتان
flowers	گل‌ها
fodder	علوفه
Food and Agriculture Organization	سازمان غذا و کشاورزی (فائو)
food and beverage sector	بخش غذا و نوشیدنی
food security	امنیت غذایی
food waste	تلفات غذا
forestry	جنگل‌داری
fossil energy	انرژی فسیلی
fossil groundwater	آب زیرزمینی فسیلی
fracking	فرکینگ
framing	چارچوب‌بندی
France	فرانسه
free-rider behaviour	
free trade	تجارت آزاد
fruits	میوه‌ها
furrow irrigation	آبیاری فارو
G	
Ganges River	رودخانه‌ی گنگ
gas	گاز
geothermal energy	انرژی زمین‌گرمایی

Germany	آلمان
Ghana	قانا
gnocchi	ناکی (نوعی غذای ایتالیایی)
goat meat	گوشت بز
globalization	جهانی‌سازی
global warming potential	پتانسیل گرمایش جهانی
Global Water Partnership	مشارکت جهانی آب
good agricultural practices	اقدامات خوب کشاورزی
grapefruit juice	آب گریپ‌فروت
Great Plains	دشت‌های بزرگ
Greece	یونان
green growth	رشد سبز
greenhouse gases	گازهای گلخانه‌ای
greenhouses	گلخانه‌ها
green water availability	موجویت آب سبز
green water footprint; cap; definition; maximum sustainable; reduction	ردپای آب سبز؛ سقف؛ تعریف؛ حداکثر مقدار پایدار؛ کاهش
green water productivity	بهره‌وری آب سبز
grey water footprint; cap; definition; maximum sustainable; reduction	ردپای آب خاکستری؛ سقف؛ تعریف؛
green water scarcity	کمبود آب سبز
Groot-Kei River	رودخانه‌ی گروت‌کی
groundnut	بادام زمینی
Guadalquivir River	رودخانه‌ی گوآدال‌کوویر

H

Haryana	هاریانا
heat pump	پمپ حرارتی
heavy metals	فلزات سنگین
Heckscher-Ohlin	مدل Heckscher-Ohlin
Heineken	کمپانی هاینکن
hemp fibre	الیاف کنفی

high fructose maize syrup (HFMS)	شربت ذرتی با غلظت بالای فروکتوز
High Plains Aquifer	آبخوان دشت‌های بلند
Himalayas	هیمالیا
hot chocolate	شکلات داغ
Hungary	مجارستان
hydroelectricity	برقابی
hydrogen fuel cells	سلول‌های سوخت هیدروژنی
I	
illegal water use	مصرف غیرقانونی آب
imported water risk	خطر واردات آب
India	هند
Indonesia	اندونزی
Indus River	رودخانه‌ی ایندوس
inhibitory effect	اثر بازدارنده
integrated water resources management	مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب
intensive farming	کشاورزی فشرده
inter-basin water transfer	انتقال آب بین‌حوضه‌ای
International Finance Corporation	شرکت مالی بین‌المللی
investors	سرمایه‌گذران
Iran	ایران
Iraq	عراق
irrigated agriculture	کشاورزی آبی
irrigation efficiency	کارآیی (راندمان) آبیاری
irrigation efficiency paradox	پارادوکس کارآیی آبیاری
Israel	اسرائیل
Italy	ایتالیا
J	
Jain Irrigation Systems	سیستم‌های آبیاری جِین
Japan	ژاپن
jatropha	جاتروفا

jeans	شلوار جین
Jevons paradox	پارادوکس یووِنز
Jharkhand	ایالت جارکند
Jordan	اردن
Jordan River	رودخانه‌ی اردن
jute fibre	الیاف جوت
K	
Kansas	کانزاس
Kazakhstan	قزاقزستان
Kenya	کنیا
key performance indicators	معیارهای اصلی عملکرد
Korea, Republic	جمهوری کره
Kuwait	کویت
Kyoto Protocol	پروتکل کیوتو
Kyrgyzstan	قرقیزستان
L	
labelling products	برچسب‌گذاری محصولات
Lake Chad	دریاچه‌ی چاد
Lake Eyre	دریاچه‌ی ایر
Lake Naivasha	دریاچه‌ی نایواشا
land footprint	ردپای زمین
land grabbing	زمین‌خواری
land productivity	بهره‌وری زمین (عملکرد)
La Plata River	رودخانه‌ی لاپلاتا
Latvia	لتونی
Lebanon	لبنان
lemon oil	روغن لیمو
Libya	لیبی
Lithuania	لیتوآنی
macadamia	ماکادامیا

Madagascar	ماداگاسکار
Madhya Pradesh	مادهیه پراداش (در هند)
Maharashtra	ایالت ماهاراشترا
maize	ذرت
Malaysia	مالزی
Malta	مالتا
Marche	مارشی (در ایتالیا)
marginal cost curve	
material footprint	ردپای مواد
maximum sustainable water footprint	حداکثر ردپای آب پایدار
maximum sustainable wood yield	حداکثر عملکرد چوب پایدار
meat	گوشت
meat tax	مالیاتِ گوشت
Meghna River	رودخانه‌ی مغنا
Mexico	مکزیک
Middle East	خاورمیانه
milk	شیر
mining	استخراج معدن
miscanthus	درخت میسکانتوس
Mississippi River	رودخانه‌ی میسی‌سیپی
Morocco	مراکش
mulching	مالچ‌پاشی
Murray-Darling River	رودخانه‌ی مورای‌دارلینگ
N	
Nairobi	نایروبی
Nauru	نائورو
Nebraska	نبراسکا
Nelson River	رودخانه‌ی نلسون
Netherlands	هلند
New Mexico	نیومکزیکو

New Zealand	نیوزیلند
nitrogen	نیتروژن
nitrogen footprint	ردپای نیتروژن
non-discrimination in trade	عدم تبعیض در تجارت
noodles	نودل (رشته‌فرنگی)
North Africa	آفریقای شمالی
North Dakota	داکوتای شمالی
Norway	نروژ
nuclear energy	انرژی هسته‌ای
nuts	آجیل
O	
oat flakes	جو دوسر پرک
Ob River	رودخانه‌ی اوب
Ogallala aquifer	آبخوان اوگالالا
oil	روغن
oil crops	گیاهان روغنی
oil palm	نخل روغنی
Oklahoma	اوکلاهاما
onion	پیاز
operational water footprint	ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی
opportunity costs	هزینه‌های فرصت
orange juice	آب پرتقال
orange oil	روغن پرتقال
organic farming	کشاورزی ارگانیک
Orissa	اوریسا
P	
Pakistan	پاکستان
palm oil	روغن نخل
paper	کاغذ
pasta	پاستا

people-planet-profit	انسان–سیاره–رفاه
Penner River	رودخانه‌ی پنر
Pepsico	کمپانی پپسی
Peru	پرو
pesticides	آفت‌کش‌ها
PET-bottle	بطری پلی‌اتیلن
pharmaceuticals	داروها
philanthropy	بشر دوستی
Philippines	فیلیپین
phosphoric acid	اسید فسفریک
phosphorus	فسفر
phosphorus footprint	ردپای فسفر
pig meat	گوشت خوک
pineapple juice	آب آناناس
pine tree	درخت کاج
pizza	پیتزا
planetary boundaries	مرزهای سیاره‌ای
Platte River	رودخانه‌های پلات
Poland	لهستان
population growth	رشد جمعیت
Po River	رودخانه‌ی پو
Portugal	پرتغال
potato	سیب‌زمینی
precision farming	کشاورزی دقیق
pricing of water	ارزش‌گذاری آب
procurement	تدارکات
product labelling	برچسب‌گذاری محصول
product transparency	شفاف‌سازی اطلاعاتی محصول
Puglia	جزیره پوگلیا
pulp	خمیر

pulp and paper industry	صنعت خمیر و کاغذ
pulses	حبوبات
Punjab	پونجاب
R	
rain-fed agriculture	کشاورزی دیم
rainwater harvesting	استحصال آب باران
ramie fibre	الیاف رامی
rapeseed	کلزا
rebound effect	اثر ارتجاعی
recovered paper	کاغذ بازیافتی
recycling; paper; plastic; resources; water	بازچرخانی/بازیافت؛ کاغذ؛ پلاستیک؛ منابع؛
renewable resources	منابع تجدیدپذیر
resource efficiency	کارآیی/راندمان منابع
retailer	خرده‌فروش
Ricardo	ریکاردو
rice	برنج
Rift Valley	دره ریفت
right to water for food	حقابه برای غذا
river dolphin	دلفینِ رودخانه‌ای
river fragmentation	خردشدن رودخانه
Romania	رومانی
roses	گل رز
roundwood	چوب گرد
Russia	روسیه
rye	چاودار
S	
SABMiller	کارخانه‌ی سب‌میلیر
Salinas River	رودخانه‌ی سالیناس
salt intrusion	نفوذ نمک
San Antonio River	رودخانه‌ی سن‌آنتونیو

Sardinia	ساردینیا
Saskatchewan Province	استان ساسکچوآن
Saskatchewan River	رودخانه‌ی ساسکچوآن
Saudi Arabia	عربستان صعودی
scarcity rent	هزینه‌ی کمبود
Seine-Normandy River	رودخانه‌ی زینه‌نورماندی
semolina	سمولینا
sericulture	پرورش کرم ابریشم
shale gas	گاز شیل
sheep meat	گوشت گوسفند
Sicily	سیسیلی
silk	ابریشم
Sindh	سیند
sisal fibre	الیاف سیزال
Smurfit Kappa	اسمورفیت‌کاپا
social equity	برابری اجتماعی
social licence to operate	مجوز اجتماعی برای بهره‌برداری
solar energy	انرژی خورشیدی
sorghum	سورگوم
South Africa	آفریقای جنوبی
South Dakota	داکوتای جنوبی
Soviet Union	اتحادیه‌ی جماهیر شوروی
soya bean	سویا
soya burger	همبرگر سویا
soya milk	شیرسویا
Spain	اسپانیا
sprinkler irrigation	آبیاری بارانی
spruce	صنوبر
starch	نشاسته
starch crops	گیاهان نشاسته‌ای

starchy roots	ریشه‌های نشاسته‌دار
steel	فولاد
Stora Enso	استورا انسو
subsidiarity principle	اصل تابعیت
sugar beet	چغندر قند
sugar cane	نیشکر
sugar crops	گیاهان قندی
sunflower	آفتابگردان
supplemental irrigation	آبیاری تکمیلی
supply-chain water footprint	ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین
sustainable consumption	مصرف پایدار
Sustainable Development Goals	اهداف توسعه‌ی پایدار
sustainable procurement	تدارکات پایدار
Sweden	سوئد
switchgrass	سوئیچ‌گراس
Switzerland	سوئیس
Syr Darya	سیردریا
Syria	سوریه
Tajikistan	تاجیکستان
Taklamakan Desert	کویر تاکلاماکان
Tanzania	تانزانیا
Tarim River	رودخانه‌ی تاریم
tar sands	ماسه‌های قیر
TATA Group	گروه تاتا
tax policy	سیاست مالیاتی
tea	چای
Texas	تگزاس
Thailand	تایلند
thermal pollution	آلودگی حرارتی

thermal power plant	نیروگاه حرارتی
Three Gorges Dam	سد سه‌دره
Tiber River	رودخانه‌ی تیبر
Tibetan plateau	فلات تبت
Tigris River	رودخانه‌ی دجله
timber	الوار
tomato juice	آب گوجه
Tonga	تونگا
Toscana	توسکانی
trade liberalization	آزادسازی تجارت
trade policy	سیاست تجارت
trans-boundary rivers	رودخانه‌های مرزی
transparency	شفافیت
transport	حمل‌ونقل
triple bottom line	خط پایین سه‌گانه
tubers	گیاهان غده‌ای
Turkey	ترکیه
Turkmenistan	ترکمنستان
Uganda	اوگاندا
UK	انگلستان
Ukraine	اوکراین
Unilever	شرکت یونیلیور
United Arab Emirates	ایالات متحده‌ی عربی (امارات)
UN-Water	بخش آبِ سازمان ملل متحد
UPM-Kymmene	کمپانی یوپی‌ام–کیمن
UPS	کمپانی یوپی‌اس
Ural River	رودخانه‌ی اورال
urbanization	شهرنشینی
urban planning	برنامه‌ریزی شهری

Uruguay	اوروگوئه
USA	ایالات متحده‌ی آمریکا
Uttar Pradesh	ایالت اوتارپرادش
Uzbekistan	ازبکستان
vanilla	وانیل
vegan	وگان
vegetables	سبزیجات
vegetarian	گیاه‌خوار
Vietnam	ویتنام
virtual water content	محتوی آب مجازی
virtual water storage	ذخیره‌ی آب مجازی
virtual water trade	تجارت آب مجازی
Volga River	رودخانه‌ی ولگا
waste assimilation capacity	ظرفیت جذب زباله
water allocation	تخصیص آب
water demand management	مدیریت تقاضای آب
water dependency	وابستگی آبی
water disclosure	افشای آب
water footprint; allowance; assessment; benchmark; cap; fair share; permit; reduction; standard	ردپای آب؛ کمک‌هزینه؛ ارزیابی؛ بنچ‌مارک؛ سقف؛ توزیع عادلانه؛ کاهش؛ استاندارد
Water Footprint Network	شبکه‌ی ردپای آب
Water Framework Directive	دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه‌ی اروپا
water governance	حکمرانی آب
water grabbing	آب‌خواری (منظور برداشت بی‌رویه و
water offsetting	جبران آب
water policy	سیاست آب
water pollution	آلودگی آب
water pricing	ارزش‌گذاری آب

water productivity	بهره‌وری آب
water risk	مخاطره‌ی آبی
water saving through trade	صرفه‌جویی آب به‌واسطه‌ی تجارت
water scarcity	کمبود آب
water scarcity–export paradox	پارادوکس کمبود آب–صادرات
water stewardship	
water-use efficiency	کارآیی مصرف آب
wheat	گندم
wheat flour	آرد گندم
wind energy	انرژی بادی
wine	شراب
wood	چوب
wool	نخ پشمی
World Commission on Dams	کمیته‌ی جهانی سدها
World Trade Organization	سازمان تجارت جهانی
World Water Commission	
World Water Forum	مجمع جهانی آب
Wyoming	وایومینگ
Yangtze River	رودخانه‌ی یانگ‌تسه
Yellow River	رودخانه‌ی زرد
Yemen	یمن
Yongding River	رودخانه‌ی یانگ‌دینگ
yields in agriculture	عملکردها در کشاورزی
yields in forestry	عملکردها در جنگل‌داری
Zambia	زیمباوه
zero water footprint	ردپای آب صفر

The Water Footprint of Modern Consumer Society, Second Edition
Published by: Routledge, Earthscan
©Arjen Y. Hoekstra 2020

با استفاده از مفهوم ردپای آب، این کتاب اثرگذار به درک چگونگی کاهش مصرف و آلودگی آب به سطوح پایدار می پردازد. از زمان انتشار نسخه اول تا کنون، اهمیت این سؤال که چگونه می توان ردپای آب بشر را کاهش داد، به طور فزایندهای بیشتر شده است. معضل کمبود آب شیرین و مصارف بیرویه ی آب، به یک مخاطره ی سیستماتیک جهانی و گسترده تبدیل شده است. ردپای آب، مفهومی که توسط نویسنده ی این کتاب پایه گذاری شده است، شاخصی است که برای سامان دادن به مصارف مستقیم و غیرمستقیم آب توسط مصرف کننده یا تولیدکننده، و همچنین برای تحلیل پایداری، کارآمدی و عدالت در این مصارف استفاده می شود. نسخه ی جدید کتاب به طور کامل بازنگری و بروزرسانی شده است تا منعکس کننده ی توسعه ی مستمر و رشد سریع دانش در این زمینه باشد. فصل های جدیدی به این کتاب اضافه شده اند که در آن ها، تاریخچه ی مفهوم ردپای آب، ردپای زیست محیطی بشر در مقایسه با سطوح مرزهای سیاره ای و حقابه عادلانه ی بشر ارائه شده است. باقی فصل ها نیز به صورت کامل با استفاده از یافته های جدید، کاربردها و مراجع مختلف بروزرسانی شده اند؛ که این یافته ها شامل نتایج حاصل از پژوهش های جدید در زمینه ی انرژی، رژیم های گیاهی و تخصیص هوشمند آب حینِ افرایش تقاضا می باشند.

کتاب ردپای آب در جوامع مصرف کننده ی نوین، یک مرجع درسی کلیدی برای دانشجویانی است که در زمینه ی مطالعات بین رشته ای آب و یا سایر علوم محیطی تحصیل می کنند. همچنین این کتاب برای کسانی که در بخش های دولتی، سازمان های زیست محیطی و مرتبط با مصرف کنندگان، بخش های تجاری و مؤسسه های سازمان ملل کار می کنند و یا تمام کسانی که به کاربرد مفهوم ردپای آب علاقمند هستند، نیز مفید است.

آرین هوکسترا، پروفسوری در گروه مدیریت آب در دانشگاه توئنته در هلند و از بنیان گذاران شبکه ی ردپای آب بود. وی، دانشمندی بود که مفهوم ردپای آب و به کارگیری زنجیره ی تأمین در مدیریت آب را پایه گذاری نمود و اولین کسی بود که به بعدِ جهانیِ حکمرانی خردمندانه ی آب اشاره نمود.

انتشارات سیزان
ISBN: 9786001177361
9 786001 177361
مرکز ملی مطالعات راهبردی کشاورزی و آب اتاق ایران