بسم الله
الرحمن الرحیم

راهنمای ارزیابی ردپای آب

تدوین استاندارد جهانی

مترجمان:

دکتـر فاطمـه کـارانـدیش
عضـو هیـأت علمـی دانشگاه زابـل

دکتر عباس اسماعیلی ساری
عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس

دکتـر عبـداله درزی نفت‌چالی
عضـو هیأت علمـی دانشگاه علـوم کشـاورزی و منـابع طبیعی سـاری

عنوان و نام پدیدآور : راهنمای ارزیابی ردپای آب : تدوین استاندارد جهانی / [نویسندگان آرین‌و ای هوکسترا...[ودیگران]]؛ مترجمان فاطمه کاراندیش، عباس اسماعیلی‌ساری، عبداله درزی‌نفت‌چالی.
مشخصات نشر : ساری: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۳۹۹
مشخصات ظاهری : ۲۳۰ ص.: مصور، جدول.
شابک : 978-622-6860-14-7
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : عنوان اصلی: The water footprint assessment manual : setting the global standard,c2011.
موضوع : آب -- مصرف – اندازه‌گیری
موضوع : Water consumption -- Measurement
موضوع : آب -- مصرف -- جنبه های زیست محیطی
موضوع : Water consumption-- Environmental aspects
موضوع : آب ، منابع -- حسابداری
موضوع : Water -- supply -- Accounting
شناسه افزوده : هوکسترا، آرین و ای. ، ۱۹٦۷- م.
شناسه افزوده : Hoekstra, Arjen Y.
شناسه افزوده : کاراندیش، فاطمه، ۱۳۵۹ - ، مترجم
شناسه افزوده : اسماعیلی ساری ، عباس، ۱۳۳٤ - ، مترجم
شناسه افزوده : درزی نفت‌چالی،عبدالله، ۱۳۵۹ - ، مترجم
شناسه افزوده : دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
رده بندی کنگره : TD٤۹۹
رده بندی دیویی : ۳۳۳/۹۱۱۳
شماره کتابشناسی ملی : ٦۱۹۲۱۵٦

داوری علمی و تأیید شده در معاونت پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

راهنمای ارزیابی ردپای آب- تدوین استاندارد جهانی

مترجمان : فاطمه کاراندیش، عباس اسماعیلی ساری، عبداله درزی نفت‌چالی
ناشـــر : دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
ویراستار ادبی : دکتر محمدرضا دیری
تیـــراژ : ۱۰۰۰ نسخه
سال انتشار : ۱۳۹۹

هر گونه چاپ و تصویربرداری به هر شکل و تکثیر صفحات کتاب ممنوع می‌باشد.
مرکز نشرو پخش: تلفن :۰۱۱۳۳٦۸۷٤۳۷ فاکس : ۰۱۱۳۳٦۸۷٤٤۲

water footprint network

fair & smart use of the world's fresh water

date
20 February 2020

To Whom It May Concern

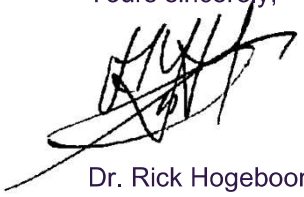
The Water Footprint Network (WFN) is an international partner organization with a mission to promote fair and smart use of freshwater worldwide, using the water footprint concept. I am writing on behalf of Dr. Fatemeh Karandish, who is a highly valued professional member of Water Footprint Network (WFN), responsible for the Iranian water hub within the WFN.

Dr. Karandish has a long-standing research relation with both the WFN and the research group of the late Prof. Dr. Hoekstra, whose lab she recently joined. Some of her papers that are jointly written with Prof. Dr. Hoekstra and other WFN professionals may be found at her personal webpage on WFN's website: https://waterfootprint.org/en/network/professionals/karandish-fatemeh/.

The WFN maintains the Global Standard on Water Footprint Assessment, which was published as Hoekstra et al (2011) – The Water Footprint Assessment Manual. Last year, the WFN and Prof. Dr. Hoekstra jointly decided to have this manual, which originally is written in English, translated into Persian. Because of her expertise in this topic, we approached Dr. Karandish – and her only – to make this Persian translation. Fortunately, she willingly took up this substantial endeavor.

While the final oversight and quality control was with Prof. Dr. Hoekstra, I personally know there were many interactions between Dr. Karandish and Prof. Dr. Hoekstra on the progress of the translation work. I am therefore confident the Persian version by her hand is the of the highest quality possible. While Prof. Dr. Hoekstra is no longer among us to see and judge the end result, the idea was and is to share the e-version of the translated manual WFN's website, alongside its original English version, for public access. We expect to hereby service the Persian speaking water footprint community greatly.

Yours sincerely,



Dr. Rick Hogeboom
Executive Director

فهرست مطالب

فهرست اشکال، جداول و کادرها	
تشکر و قدردانی	
پیش‌گفتار	
علائم اختصاری	
فصل اول: مقدمــه	
۱-۱ پیش‌زمینه	۲
۱-۲ مفهوم ردپای آب	۳
۱-۳ ارزیابی ردپای آب	۵
۱-٤ راهنمایی برای خواننده	۷
فصل دوم: اهداف و حوزه‌های ارزیابی ردپای آب	
۲-۱ اهداف ارزیابی ردپای آب	۱۰
۲-۲ دامنه محاسبه‌ی ردپای آب	۱۳
۲-۳ حوزه‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب	۱۹
۲-٤ حوزه‌ی تدوین عکس‌العمل به ردپای آب	۲۱
فصل سوم: محاسبه‌ی ردپای آب	
۳-۱ سهم بشر از آب شیرین: چه چیزی را اندازه‌گیری می‌کنیم و چرا؟	۲٤
۳-۲ ارتباط بین محاسبات انواع مختلف ردپای آب	۲۷
۳-۳ ردپای آب برای یک مرحله از یک فرآیند	۳۰
۳-۳-۱ ردپای آب آبی	۳۰
۳-۳-۲ ردپای آب سبز	۳۷
۳-۳-۳ ردپای آب خاکستری	۳۸
۳-۳-٤ محاسبه‌ی ردپای آب سبز، آبی و خاکستری برای رشد یک گیاه و...	٤۹
۳-٤ ردپای آب یک محصول	۵۵
۳-٤-۱ تعریف	۵۵

۳-٤-۲ ترسیم دیاگرام یک سیستم تولید به‌صورت یک فرایند	٥٦
۳-٤-۳ محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول	٥٨
۳-٥ ردپای آب یک مصرف‌کننده یا گروهی از مصرف‌کنندگان	٦۳
۳-٥-۱ تعریف	٦۳
۳-٥-۱ محاسبه	٦۳
۳-٦ ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی معین	٦٤
۳-٦-۱ تعریف	٦٤
۳-۷ محاسبه‌ی ردپای آب ملی	٦٥
۳-۷-۱ شمای محاسبه‌ی ردپای آب ملی	٦٥
۳-۷-۲ محاسبه‌ی ردپای آب داخل یک کشور	٦۷
۳-۷-۳ محاسبه‌ی ردپای آب مصرف ملی	٦۸
۳-۷-٤ صرفه‌جویی آب به واسطه‌ی تجارت	۷۳
۳-۷-٥ وابستگی ملی آب در مقابل خودکفایی آبی	۷۳
۳-۸ محاسبه‌ی ردپای آب در سطح حوضه	۷٤
۳-۹ محاسبات ردپای آب برای شهرها، روستاها و یا دیگر واحدهای اداری	۷٦
۳-۱۰ ردپای آب یک فعالیت	۷٦
۳-۱۰-۱ تعریف	۷٦
۳-۱۰-۲ انتخاب مرزهای سازمانی یک فعالی	۷۹
۳-۱۰-۳ محاسبه‌ی ردپای آب فعالیت	۸۲
فصل چهارم: ارزیابی پایداری ردپای آب	
٤-۱ مقدمـه	۸٦
٤-۲ پایداری جغرافیایی: پایداری ردپای آب یک حوضه	۸۹
٤-۲-۱ مقدمه	۸۹
٤-۲-۲ معیارهای پایداری زیست‌محیطی برای تعیین نقاط کانونی زیست محیطی	۹۱
٤-۲-۳ شاخص پایداری اجتماعی برای تعیین نقاط کانونی اجتماعی	۱۰۰
٤-۲-٤ شاخص پایداری اقتصادی برای تعیین نقاط کانونی اقتصادی	۱۰۱

٤-٢-٥ ارزیابی اثرات اولیه و ثانویه در نقاط کانونیِ شناسایی شده	۱۰۲
٤-٣ پایداری ردپای آب یک فرآیند	۱۰۳
٤-٤ پایداری ردپای آب یک محصول	۱۰۵
٤-٤-١ تعیین اجزای ناپایدار در ردپای آب یک محصول	۱۰۵
٤-٤-٢ شاخص‌ای منعکس‌کننده‌ی اثرات زیست‌محیطی محلی ردپای آب	۱۰۷
٤-٥ پایداری ردپای آب یک فعالیت	۱۱۱
٤-٦ پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده	۱۱۲
فصل پنجم: کتابخانه‌ای از گزینه‌های پاسخ (به) ردپای آب	
٥-١ مسوولیت مشترک	۱۱٦
٥-٢ کاهش ردپای آب بشر: چه چیزی میسر است؟	۱۱٦
٥-٣ مصرف‌کنندگان	۱۲۳
٥-٤ شرکت‌ها	۱۲۳
٥-٥ کشاورزان	۱۲٦
٥-٦ سرمایه‌گذاران	۱۲۸
٥-٧ دولت‌ها	۱۲۹
فصل ششم: محدودیت‌ها	
فصل هفتم: چالش‌های آینـده	
٧-١ داده‌ها و روش ارزیابی ردپای آب	۱٤۲
٧-٢ به‌کارگیری ردپای آب در زمینه‌های مختلف	۱٤٥
٧-٣ لحاظ ردپای آب در گزارش‌ها و آمار موجود مربوط آب و محیط زیست	۱٤۷
٧-٤ پیوند با روش‌های ردپای اکولوژیک، ردپای انرژی و ردپای کربن	۱٤۸
٧-٥ پیوند با تحلیل جریان مواد، مدل‌سازی ورودی-خروجی و ارزیابی ...	۱٤۹
فصل هشتم: نتیجه‌گیـری	
پیوست‌ها	
پیوست الف: محاسبه‌ی تبخیر-تعرق سبز و آبی با استفاده از مدل CROPWAT	۱٥۷
پیوست ب: محاسبه‌ی ردپای آب فرآیند رشد یک گیاه	۱٦۲

پیوست ج: محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول	۱۷۲
پیوست د: مثال‌هایی از محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری	۱۷٦
پیوست ه: جریان‌های زیست‌محیطی مورد نیاز	۱۸۰
پیوست و: سوال‌های رایج	۱۸٤
سوال‌های فنی	۱۹۳
منـابع	۲۰۱
فهرست نمادها	۲۱۷
واژه‌نامـه	۲۲۱

فهرست اشکال

شکل ۱–۱ نمایش شماتیکیِ اجزای ردپای آب	٤
شکل ۱–۲ چهار مرحله‌ی متمایز در ارزیابی ردپای آب	٦
شکل ۳–۱ ردپای آب سبز و آبیِ مربوط به بیلان آب یک حوضه‌ی آبریز	۲٦
شکل ۳–۲ ردپاهای آبِ فرآیند، پایه‌ای برای تمامی ردپاهای آب دیگر	۲۷
شکل ۳–۳ ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم در هر مرحله از زنجیره‌ی تأمین یک محصول دامی	۲۹
شکل ۳–۴ ارتباط بین ردپای آب مصارف ملی و ردپای آب درون یک کشور در یک نمونه‌ی ساده ...	۳۰
شکل ۳–۵ محاسبه‌ی ردپای آب آبی در شرایط بازیافت و استفاده‌ی مجدد از آب	۳۵
شکل ۳–۶ فرآیندهای متوالی در آبیاری: ذخیره‌سازی آب، انتقال آب، آبیاری در مزراع. هر فرآیند ...	۵۵
شکل ۳–۷ ترسیم دیاگرام سیستم تولید محصول p با k تا فرآیند	۵۸
شکل ۳–۸ ترسیم دیاگرام آخرین فرآیند در سیستم تولید که منتهی به تولید محصول p شد.	٦۰
شکل ۳–۹ شمای محاسبه‌ی ردپای آب ملی	٦۷
شکل ۳–۱۰ شمای محاسبات ردپای آب حوضه	۷۵
شکل ۳–۱۱ اجزای ردپای آب یک فعالیت	۷۷
شکل ۳–۱۲ فعالیتی که متشکل از سه واحد کاری است و محصول‌های الف تا ج را تولید می‌کند	۸۱
شکل ۴–۱ ارزیابی پایداری ردپای آب یک حوضه در چهار مرحله	۹۰
شکل ۴–۲ ردپای آب آبی در یک سال در مقایسه با آب آبی دسترس	۹٦
شکل ب–۱ ایستگاه اقلیمی در والادولید (اسپانیا)	۱٦۳
شکل ج–۱ دیاگرام تولید شکر تصفیه‌شده اسپانیایی (از چغندرقند) به همراه کسرهای تولید	۱۷۳

فهرست جداول

جدول ۲-۱ تفسیرهای مکانی-زمانی در محاسبه‌ی ردپای آب	۱۷
جدول ۳-۱ مثال‌هایی از مؤلفه‌های ردپای آب یک فعالیت	۷۸
جدول ۴-۱ نحوه تعیین حد پایداری ردپای آب یک محصول بر اساس دو معیار پایداری جغرافیایی ردپاهای آب در حوضه‌ای که فرآیندها در آن رخ می‌دهند و پایداری ماهیت خودِ فرآیندها	۱۰۶
جدول ۵-۱ روش‌های محتمل برای کاهش مؤلفه‌های مختلف ردپای آب برای هر بخش	۱۱۸
جدول ۵-۲ اولویت‌های کاهش ردپای آب	۱۲۰
جدول ۵-۳ گزینه‌های عکس‌العمل برای ردپای آب شرکت	۱۲۵
جدول ۵-۴ راهکارهایی برای کشاورزان برای کاهش ردپای آب خود	۱۲۷
جدول ۵-۵ گزینه‌هایی موجود برای دولت برای کاهش ردپای آب و اثرات متعاقب آن	۱۳۱
جدول ۷-۱ مروری اجمالی بر پژوهش‌های ردپای آب	۱۴۶
جدول ۷-۲ چگونه می‌توان از ارزیابی ردپای آب در LCA استفاده نمود؟	۱۵۱
جدول ب-۱ تاریخ کشت و برداشت و میزان عمل‌کرد محصولِ چغندرقند در والادولید (اسپانیا)	۱۶۳
جدول ب-۲ مجموع تبخیر-تعرق سبز-آبی بر اساس خروجی‌های به‌دست آمده	۱۶۴
جدول ب-۳. جدول خروجیِ مدل CROPWAT برای گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط دیم	۱۶۷
جدول ب-۴. جدول خروجیِ مدل CROPWAT برای گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط آبیاری	۱۶۸
جدول ب-۵. محاسبه‌ی مؤلفه‌های سبز و آبی ردپای آب فرآیند رشد گیاه برای چغندرقند در والادولید	۱۷۰
جدول ب-۶ محاسبه‌ی مؤلفه‌ی خاکستری ردپای آب فرآیند رشد چغندرقند در منطقه‌ی والادولید	۱۷۱
جدول ج. ۱ ردپای آب سبز، آبی و خاکستری برای چغندرقند در منطقهی والادولید اسپانیا	۱۷۵

فهرست کادرها

کادر ۲-۱ اهداف ارزیابی ردپای آب	۱۲
کادر ۲-۲ آیا حوزه‌هایی در محاسبه‌ی ردپای آب وجود دارد که شبیه محاسبه‌ی ردپای کربن باشد؟	۱۸
کادر ۳-۱. رابطه‌ی بین انواع ردپاهای آب	۲۸
کادر ۳-۲ واحدهای ردپای آب	۳۰
کادر ۳-۳ منابع داده‌های مورد نیاز برای محاسبه‌ی ردپای آب آبی	۳٤
کادر ۳-۴ تاریخچه‌ی مفهوم ردپای آب خاکستری	۳۸
کادر ۳-۵ مفهوم بار بحرانی	٤۲
کادر ۳-۶ ردپای آب خاکستری در موارد مختلفی از آلودگی‌های نقطه‌ای	٤٤
کادر ۳-۷ روش سه سطحی در تخمین بار آلودگی از منابع غیرمتمرکز	٤٦
کادر ۳-۸ منابع داده برای محاسبه‌ی ردپای آب در فرآیند رشد یک گیاه	۵۲
کادر ۳-۹ واژه‌شناسی: ردپای آب، محتوای آب مجازی، آب تعبیه شده	۵٦
کادر ۳-۱۰ چه چیز جدیدی به دانسته‌های شرکت‌هایی که خواهان اطلاع از ردپای آب فعالیت خود هستند، اضافه خواهد شد؟	۷۹
کادر ۴-۱ تاریخچه‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب	۸۷
کادر ۴-۲ شاخص‌های پایداری برای استفاده و تخصیص آب در یک حوضه	۸۹
کادر ۴-۳ نیاز زیست‌محیطیِ آب سبز	۹۳
کادر ۴-۴ تأثیر ردپای آب سبز بر موجودیت آب آبی	۹۵
کادر ۴-۵. پایداری ردپای آب آبی، چگونه تأثیر این ردپا بر جریان‌ها و ذخایر آب آبی بستگی دارد؟	۹۷
کادر ۴-۶ چگونه شاخص کمبود آب آبی، با شاخص‌های قدیمیِ کمبود آب آبی فرق دارد؟	۹۹
کادر ۵-۱ خنثایی آب	۱۲۱
کادر ۵-۲ جبران ردپای آب	۱۲۲

تشکر و قدردانی

این کتابچه‌ی راهنما، با کمک‌های زیادِ سازمان‌ها و افراد بسیاری نوشته شده است. ابتدا، از تمامی شرکای شبکه‌ی ردپای آب، که به طرق مختلف، به رشد و تکمیل مفاهیم ردپای آب کمک نمودند، قدردانی به عمل می‌آید. از ۱۳۰ سازمان زیر که (تا تاریخ ۱۶ اکتبر ۲۰۱۰)، جملگی از شرکای شبکه‌ی ردپای آب بودند، سپاس‌گزاری می شود:

کمپانی ADAS (بریتانیا)، سازمان ADECAGUA (اسپانیا)، کمپانی مشاوران آلنار[۱] (مکزیک)، اتحادیه نظارت بر آب[۲] (ایالات متحده آمریکا/ استرالیا)، کمپانی AmBev[۳] (برزیل)، کمپانی APESA (فرانسه)، گروه جهانی Arup (انگلستان)، انجمن FV[۴] (فرانسه)، کمپانی ATA[۵] (برزیل)، مؤسسه‌ی فناوری استرالیا[۶] (استرالیا)، کمپانی Barilla (ایتالیا)، دانشگاه جنگلداری پکن[۷] (چین)، شرکت Bianconi (انگلستان)، کمپانی Bionova (فنلاند)، شرکت BMA[۸] (هلند)، شرکت C&A (آلمان)، مرکز تحیقات مدیریت مخاطرات کشاورزی و زیست‌محیطی CEIGRAM[۹]، دانشگاه فنی مادرید (اسپانیا)، مرکز تحقیقات استراتژیک برای توسعه‌ی پایدار[۱۰] (پرتغال)، کمیته‌ی تغییراقلیم[۱۱] (فیلیپین)، کمپانی کوکاکولا[۱۲] (یونان)، کنفدراسیون صنایع کاغذ اروپا[۱۳] (بلژیک)، شورای مشاوره‌ی آب[۱۴] (مکزیک)، کانزرویشن اینترنشنال[۱۵] (آمریکا)، شرکت CREM (هلند)، مرکز CSE[۱۶] (یونان)، مرکز CSQA[۱۷] (ایتالیا)، دانشگاه صنعتی قبرس[۱۸] (قبرس)، شرکت DSE[۱۹] (مکزیک)، شرکت

1 . Allenare Consultores
2 . Alliance for Water Stewardship
3 . AmBev – Companhia de Bebidas das Americas
4 . du Flocon à la Vague
5 . Ativos Técnicos e Ambientais
6 . Austrian Institute of Technology
7 . Beijing Forestry University
8 . Blonk Milieu Advies
9 . Research Centre for the Management of Agricultural and Environmental Risks
10 . CESTRAS – Centro de Estudos e Estratégias para a Sustentabilidade
11 . Climate Change Commission
12 . Coca-Cola Hellenic
13 . Confederation of European Paper Industries
14 . Consejo Consultivo del Agua
15 . Conservation International
16 . Centre for Sustainability and Excellence (CSE)
17 . CSQA Certificazioni
18 . Cyprus University of Technology
19 . Decide Soluciones Estratégicas (DSE)

Denkstatt (استرالیا)، شرکت DHV (هلند)، اداره‌ی کل امور آب[۱] (هلند)، کمپانی مواد غذایی دال[۲] (آمریکا)، مؤسسه‌ی EWAGE[۳] (سوئیس)، کمپانی Ecolife (بلژیک)، مؤسسه‌ی سیاست‌های بین-المللی و اروپاییِ محیط‌زیست[۴] (آلمان)، انجمن زیست‌شناسی آفریقای شرقی[۵] (کنیا)، کمپانی Ecometrica (انگلستان)، کمپانی ESS[۶] (برزیل)، کمپانی EMWIS[۷] (فرانسه)، (انگلستان)، کمپانی آب Enzen (انگلستان)، شرکت آب و فاضلاب EPAL[۸] (پرتغال)، کمپانی Fibria-Celulose (برزیل)، شرکت First-Climate (آلمان)، کمپانی FloraHolland (هلند)، فدراسیون غذا و نوشیدنی[۹] (انگلستان)، مرکز CENTA[۱۰] (اسپانیا)، بنیاد شیلی[۱۱] (شیلی)، شرکت Geoklock[۱۲] (برزیل)، شبکه‌ی جهانی ردپا[۱۳] (آمریکا)، شرکت GRACE (آمریکا)، شرکت GS[۱۴] (شیلی)، شرکت Grontmij (هلند)، شرکت Heineken (هلند)، بنیاد آب iMeda[۱۵] (اسپانیا)، مؤسسه‌ی مدیریت پایدار زمین[۱۶] (آلمان)، مؤسسه‌ی مالی بین‌المللی[۱۷] (آمریکا)، مؤسسه‌ی بین‌المللی مدیریت آب[۱۸] (سریلانکا)، سازمان سیستم‌های آبیاری Jain[۱۹] (هند)، شرکت Jutexpo (انگلستان)، دانشگاه Kingston (انگلستان)، مؤسسه‌ی تحقیقات KWR[۲۰] (هلند)، شرکت Lafarge (فرانسه)، مؤسسه‌ی Leibniz[۲۱] (آلمان)، شرکت LimnoTech (آمریکا)، شرکت Live Earth (آمریکا)، بنیاد(اسپانیا)، بنیاد Marcelino Botín[۲۲] (اسپانیا)، دانشگاه Massy، گروه علوم خاک و زمین[۲۳] (نیوزیلند)، شرکت

1 . Directorate-General for Water Affairs
2 . Dole Food Company
3 . Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology
4 . Ecologic – Institute for International and European Environmental Policy
5 . Ecological Society for Eastern Africa
6 . EcosSistemas Sustainable Solutions
7 . EMWIS - Euro-Mediterranean Information System on know-how in the Water sector
8 . Empresa Portuguesa de Aguas Livres
9 . Food and Drink Federation
10 . Fundación Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua (CENTA)
11 . Fundación Chile
12 . Geoklock – Consultoria e engenharia ambiental
13 . Global Footprint Network
14 . Green Solutions
15 . iMdea Water Foundation
16 . Institut für Nachhaltige Landbewirtschaftung
17 . International Finance Corporation
18 . International Water Management Institute
19 . Jain Irrigation Systems
20 . KWR – Watercycle Research Institute
21 . Leibniz Institute for Agricultural Engineering Potsdam-Bornim
22 . Marcelino Botín Foundation – The Water Observatory
23 . Massey University - Soil and Earth Sciences Group

موادغذایی McCain[1] (فرانسه)، دانشگاه فنی Michigan، مرکز آب و جامعه[2] (آمریکا)، انجمن ملی آب زیرزمینی[3] (آمریکا)، دانشگاه ملی Cordoba[4] (آرژانتین)، شرکت Natura Cosméticos (برزیل)، شرکت Nestlé (سوئیس)، شبکه‌ی NWP[5] (هلند)، سازمان Next-Planet-ASBL (بلژیک)، شرکت Oranjewoud (هلند)، مؤسسه‌ی PISDES[6] (آمریکا)، شرکت Partenet-for-Innovation (هلند)، گروه بین‌المللی PE[7] (آلمان)، سازمان People 4 Earth (هلند)، کمپانی PepsiCo (آمریکا)، مرکز Plant & Food Research (نیوزیلند)، شرکت PRé-Consultants (هلند)، شرکت PricewaterhouseCoopers[8] (هلند)، کمپانی PTS[9] (آلمان)، شرکت PSRD[10] (استرالیا)، شرکت Quantis (سوئیس)، کمپانی Química del Campo (شیلی)، شرکت Raisio (فنلاند)، شرکت Redevco (هلند)، کمپانی Renault (فرانسه)، شرکت RodaxAgro (یونان)، شرکت Royal Haskoning (هلند)، کمپانی SABMiller (انگلستان)، بنیاد آب آشامیدنی سالم[11] (کانادا)، مؤسسه‌ی تحقیقاتی SERI[12] (استرالیا)، سازمان Smart Approved WaterMark (استرالیا)، شرکت Soil & More International (هلند)، شرکت Source-44 (آمریکا)، شرکت Stora Enso (سوئد)، شرکت SET[13] (اکوآدور)، آژانس توسعه‌ی سوئیس[14] (سوئیس)، کمپانی Coca-Cola (آمریکا)، سازمان حفاظت طبیعت[15] (آمریکا)، شرکت Tobco (بلژیک)، برنامه‌ی محیط زیست سازمان ملل متحد[16] (فرانسه)، مؤسسه‌ی دانش آب UNESCO-IHE[17] (هلند)، شرکت Unilever (انگلستان)، دانشگاه شیلی[18] (شیلی)، دانشگاه NRALSU[19] (اتریش)، دانشگاه São Paulo، دانشکده‌ی مهندسی[20] de São Carlos (برزیل)، دانشگاه São Paulo – GovÁgua (برزیل)، دانشگاه Siena (ایتالیا)،

1 . McCain Alimentaire
2 . Michigan Technological University - Center for Water and Society
3 . National Ground Water Association
4 . National University of Cordoba
5 . Netherlands Water Partnership
6 . Pacific Institute for Studies in Development, Environment, and Security
7 . PE International
8 . PricewaterhouseCoopers, Province of Overijssel
9 . PTS – Papiertechnische Stiftung
10 . Pyramid Sustainable Resource Developers
11 . Safe Drinking Water Foundation
12 . SERI – Sustainable Europe Research Institute
13 . Summa Environmental Technologies
14 . Swiss Development Agency
15 . The Nature Conservancy
16 . United Nations Environment Program (UNEP)
17 . UNESCO-IHE Institute for Water Education
18 . University of Chile
19 . University of Natural Resources and Applied Life Sciences
20 . University of São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos

دانشگاه توکیو[1] (ژاپن)، دانشگاه Twente (هلند)، دانشگاه Zaragoza (اسپانیا)، شرکت UPM-Kymmene (فنلاند)، شرکت URS (انگلستان)، آژانس USAID[2] (آمریکا)، انجمن Vewin[3] (هلند)، شرکت Viña Concha y Toro (شیلی)، کارخانه‌ی Viña De Martino (شیلی)، کارخانه‌ی Viña Errazuriz (شیلی)، بنیاد آب خنثی[4] (آفریقای جنوبی)، شرکت Water-Strategies (انگلستان)، سازمان Wildlife Trust (آمریکا)، شورای WBCSD[5] (سوئیس)، سازمان WWF[6] (سوئیس) و شرکت ZET[7] (اسپانیا).

از اعضای کارگروه ردپای آب خاکستری شبکه‌ی ردپای آب که به دقت، مفهوم ردپای آب خاکستری را بررسی نموده و نظرات ارزشمندی برای بهبود تعریف و رهنمودهای مربوط به آن فراهم آوردند، کمال تشکر به عمل می‌آید (اسامی تمام افراد این کارگروه، زیرنویس شده‌است)[8].

کارگروه دومی نیز در شبکه ردپای آب، به دقت مفاهیم و روش ارزیابی پایداری ردپای آب را بررسی نموده و پیشنهادهای ارزنده‌ای را ارائه نمودند که از تمام اعضای این کارگروه نیز قدردانی می‌شود (اسامی تمامی افراد و سمت آن‌ها زیرنویس شده است)[9].

هم‌چنین، از اعضای کمیته‌ی داوران علمی، که پیش‌نویس این کتابچه‌ی راهنما را نقد و بررسی نمودند(اسامی تمامی داوران و سمت آن‌ها، زیرنویس شده است)[1]، و نیز از برایان ریشتر[2] ، که پیش‌نویس مربوط به فصل ارزیابی پایداری را داوری نموده‌اند، سپاس‌گزاری ویژه می‌شود.

---

1 . University of Tokyo
2 . USAID – United States Agency for International Development
3 . Vewin – the Dutch Association of Drinking Water Companies
4 . Water Neutral Foundation
5 . World Business Council for Sustainable Development
6 . WWF – the global conservation organization
7 . Zero Emissions Technologies
8. Jose Albiac (CITA, Spain), Maite Aldaya (University of Twente, the Netherlands), Brent Clothier (Plant and Food Research, New Zealand), James Dabrowski (CSIRO, South Africa), Liese Dallbauman (Pepsi, UK), Axel Dourojeanni (Fundación Chile, Chile), Piet Filet (WWF, Australia), Arjen Hoekstra (University of Twente, the Netherlands), Mark Huijbregts (Radboud University, the Netherlands), Marianela Jiménez (Nestlé, Switzerland), Greg Koch (The Coca Cola Company, USA), Marco Mensink (CEPI, Belgium), Angel de Miguel García (IMDEA Agua, Spain), Jason Morrison (Pacific Institute, USA), Juan Ramon Candia (Fundación Chile, Chile), Todd Redder (Limnotech, USA), Jens Rupp (Coke Hellenic, Greece), Ranvir Singh (Massey University, New Zealand), Alistair Wyness (URS Corporation, UK), Erika Zarate (WFN, the Netherlands), Matthias Zessner (Vienna University of Technology, Austria) and Guoping Zhang (WFN, the Netherlands)
9 . Maite Aldaya (University of Twente, the Netherlands), Upali Amarasinghe (IWMI, Sri Lanka), Fatima Bertran (Denkstatt, Austria), Sabrina Birner (IFC, USA), Anne-Leonore Boffi (WBCSD, Switzerland), Emma Clarke (Pepsi, UK), Joe DePinto (Limnotech, USA), Roland Fehringer (Denkstatt, Austria), Carlo Galli (Nestlé, Switzerland), Alberto Garrido (Technical University of Madrid, Spain), Arjen Hoekstra (University of Twente, the Netherlands), Denise Knight (Coca Cola, USA), Junguo Liu (Beijing Forestry University, China), Michael McClain (UNESCO-IHE, the Netherlands), Marco Mensink (CEPI, Belgium), Jay O'Keeffe (UNESCO-IHE, the Netherlands), Stuart Orr (WWF, Switzerland), Brian Richter (TNC, USA), Hong Yang (EAWAG, Switzerland) and Erika Zarate (WFN, the Netherlands).

پیشنهادهای ارزنده‌ی فراوانی به ما رسیده است که متاسفانه، در این‌جا، نمی‌توان از صدها فرد و سازمانی که نظرات خود را در زمینه‌ی مفاهیم و کاربرد ردپای آب، از طریق ایمیل یا تماس‌های شخصی به دست ما رسانده‌اند، نام برد، اما دست‌کم، سعی می‌شود به نام برخی از آن‌ها اشاره شود: سازمان خواروبار جهانی (فائو)[۳] به‌ویژه از Giovanni Muñoz، به خاطر راهنمایی‌های ارزنده‌اش برای مدل CROPWAT؛ مؤسسه‌ی بانک جهانی (WBI)[۴]، به‌ویژه از Mei Xie، برای همراهی‌هایش در تدوین مطالب آموزشی مختلف در زمینه‌ی ردپای آب؛ شورای جهانی کسب و کار برای توسعه‌ی پایدار (WBCSD)[۵] به‌خاطر برگزاری کارگاهی ارزشمند درباره‌ی رپای آب در منترو، سوئیس، مارچ ۲۰۱۰؛ از BIER [۶] برای یافتن پیامدهای خاصِ کاربرد ردپای آب در بخش نوشیدنی؛ و شرکت Soil & More International برای ارائه‌ی نظرات ارزشمند درخصوص تأثیر مدیریت خاک بر ردپای آب یک محصول‌گیاهی. از کارفرمایانِ نویسندگان این کتابچه‌ی راهنما، که به آن‌ها فرصت کافی برای تهیه و نگارش این کتابچه‌ی راهنما را دادند،سپاس‌گزاری می‌شود: از دانشگاه Twente[۷]، کارفرمای آرین هوکسترا[۸] و مسفین مکونن[۹]، و کارفرمای سابق میت‌آلدایا[۱۰]؛ از WWF-UK، کارفرمای آشوک چاپاگین؛ از مرکز تحقیقاتی CEIGRAM در دانشگاه مادرید[۱۱]، کارفرمای اسبق میت‌آلدایا؛ و از [۱۲] UNEP کارفرمای فعلیِ میت‌آلدایا. در نهایت، از کارکنان شبکه‌ی ردپای آب، به‌خاطر تعهد همیشگی، مشارکت در توسعه‌ی ایده‌ی ردپای آب، کاربرد و انتشار این مفهوم و دوستی صمیمان‌شان، کمال تشکر به عمل می‌آید (Derk Kuiper, Erika Zarate & Guoping Zhang). از جاشوآ واورو[۱۳] و یوکه میجر–لنتلینک[۱۴] نیز برای انجام امور دفتری، و از رئنه بایسروخه[۱۵] برای کمک‌هایش در بخش وبسایت رد پای آب سپاس‌گزاری می‌شود.

---

1 . Huub Savenije (Delft University of Technology, the Netherlands), Alberto Garrido (Technical University of Madrid, Spain), Junguo Liu (Beijing Forestry University, China), Johan Rockström (Stockholm University & Stockholm Environment Institute, Sweden), Pasquale Steduto (FAO, Italy), and Mathis Wackernagel (Global Footprint Network, USA).
2 . Brian Richter (TNC, USA)
3 . Food and Agriculture Organization of the United Nations, in particular Giovanni Muñoz
4 . World Bank Institute
5 . World Business Council for Sustainable Development
6 . Beverage Industry Environmental Roundtable (BIER)
7 . University of Twente
8 . Arjen Hoekstra
9 . Mesfin Mekonnen
10 . Maite Aldaya
11 . University of Madrid
12 . United Nations Environment Programme (UNEP)
13 . Joshua Waweru
14 . Joke Meijer-Lentelink
15 . René Buijsrogge

پیش‌گفتار

این کتاب، حاوی استاندارد جهانی **ارزیابی ردپای آب** است و مسوولیت توسعه و نگه‌داری آن با شبکه‌ی ردپای آب[1] می‌باشد. این کتاب، مشتمل بر مجموعه‌ی جامعی از تعاریف و روش‌های محاسبه‌ی ردپای آب می‌باشد و نحوه‌ی محاسبه‌ی ردپای آب برای یک فرآیند و برای محصول‌ها و هم‌چنین برای مصرف‌کنندگان، کشورها و فعالیت‌ها به‌همراه روش‌های ارزیابی پایداری ردپای آب و مجموعه‌ای از گزینه‌های عکس‌العمل به ردپای آب در آن ارایه شد.

با توجه به آن‌که تمایل کمپانی‌ها و دولت‌ها، برای استفاده از محاسبه‌های ردپای آب –که مبنایی برای تدوین استراتژی‌ها و سیاست‌های پایدار است،–به طور روزافزونی در حال گسترش است، وجود تعاریف و روش‌های محاسباتی استاندارد و یکسان، امری ضروری خواهد بود.

این راهنما، بنا به درخواست شبکه‌ی ردپای آب، از سوی نویسندگان تهیه شده است و نسخه‌ی جدید، بازنگری‌شده و توسعه‌یافته‌ی نسخه‌ی اول آن است که در نوامبر ۲۰۰۹، توسط شبکه‌ی ردپای آب، به چاپ رسیده بود (Hoekstra *et al*., 2009a). نسخه‌ی جدید پس از رایزنی‌های بسیار با شرکا و محققان در سراسر جهان تهیه شد. پس از چاپ اولین نسخه از کتابچه‌ی راهنمای ارزیابی ردپای آب، از تمامی شرکای شبکه‌ی ردپای آب خواسته شد تا نظرات خود را روی نسخه‌ی اول این کتابچه بیان دارند. هم‌چنین، دو کارگروه شکل گرفت که این کارگروه‌ها، متشکل از افرادی از شرکای شبکه‌ی ردپای آب و دانشمندان مدعو بودند. کارگروه اول، سوال‌هایی که پیرامون آب خاکستری وجود داشت، را بررسی و پاسخ دادند (Zarate, 2010a)؛ کارگروه دوم، مسایل مربوط به ارزیابی پایداری ردپای آب را مطالعه نمودند (Zarate, 2010b). علاوه بر این، تعدادی از شرکا، پایلوت‌هایی را با همکاری شبکه‌ی ردپای آب پایه‌گزاری نمودند که هدف آن‌ها، بررسی پیامدهای عملیِ کاربرد ردپای آب برای تدوین راهبرد یا سیاست آبی در یک بستر جغرافیایی معین بود.

بر اساسِ نظرات دریافتی که مشتمل بر انتشارات علمی جدید، نتایج و تجارب کاربرد عملی ردپای آب در پایلوت‌های آزمایشی، و گزارش‌های کارگروه‌ها بود، شبکه‌ی ردپای آب، پیش‌نویس نسخه‌ی حاضر را تهیه نمود. کمیته‌ی علمی داوران شبکه‌ی ردپای آب، پیش‌نویسِ نسخه‌ی دوم را بررسی نموده و بر اساسِ نتایجِ داوری، پیش‌نهادهای خاصی ارائه نمودند. نسخه‌ی دوم، با لحاظ این توصیه‌ها، به شکل فعلی تهیه شد.

1 . Water Footprint Network

این نسخه نیز نیازمند بازنگری در زمان مقتضی خواهد بود. تحقیق‌ها در این زمینه در سرتاسر جهان در حال گسترش بوده و پژوهش‌های آزمایشی بیش‌تر و بیش‌تری، در میان تمامیِ بخش‌های اقتصادی و در تمامیِ قاره‌ها، آغاز شده است. به منظور کسب یافته‌های جدید از پروژه‌های در حال انجامِ ردپای آب و انتشارات علمی‌ای که انتظار می‌رود به چاپ برسند، شبکه‌ی ردپای آب، هم از شرکای خود و هم کسانی که در زمره‌ی شرکای وی نیستند، دعوت به عمل می‌آورد که نظرات خود را درباره‌ی نسخه‌ی پیش‌رو به ما ارائه نمایند. از این‌رو، امیدواریم از تجارب متنوعی که افراد و سازمان‌ها، حین تحلیلِ ردپای آب در زمینه‌ها و اهداف مختلف، کسب می‌کنند، بهترین استفاده را ببریم. هدفِ ما، بهبودِ بیش‌ترِ متدولوژی ردپای آب می‌باشد؛ بنابراین، این متدولوژی می‌تواند تناسب بیش‌تری با اهداف مختلفی که بخش‌های مختلف جامعه با آن مواجه هستند، داشته باشد و در آن‌ها به کار گرفته شود و همزمان تلاش می‌کنیم تا متدولوژی‌ای سازگار، پیوسته و باثبات علمی ارائه نماییم.

یوپ دیسختر[1]
رئیس شورای نظارت بر شبکه‌ی ردپای آب[2]

1 . Joop de Schutter
2 . Supervisory Council of the Water Footprint Network

پیش‌گفتار مترجمـــان

آب، جان‌مایه‌ی حیات هر موجود زنده‌ای بر کره‌ی زمین بوده و حق طبیعی هر ذره‌ی جانداری در جهان است. پر واضح است که هرگونه بی‌عدالتی در مصرف آب توسط گونه‌ای، باعث پایمال گشتن حق دیگر موجودات و تأمین نشدن نیاز طبیعی آن‌ها خواهد شد. بشر امروز را می‌توان بی‌رحم‌ترین و خطرناک‌ترین گونه‌ی جاندار روی زمین از این حیث قلمداد نمود؛ چرا که او، این کالای عمومی را حق مسلم خود دانسته و در بسیاری از مواقع، بی‌توجه به نیاز دیگر موجودات، مصرفی فراتر از حد مجاز خود داشته و با برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب محدود، زمینه‌های تخریب زیست‌بوم اطراف را فرآهم می‌آورد. این در حالی است که انسان نیز، جدای از طبیعت نبوده و بخشی از آن است و در حقیقت، با تخریب زیستگاه پیرامون خود، زمینه‌های نابودی خود را تسهیل می‌نماید. در چنین شرایطی، افزایش سطح آگاهی درباره‌ی سقف مجاز برداشت از این منابع آب کمیاب، می‌تواند به افزایش سطح پایداری زیست‌محیطی و دوام بشر کمک فراوانی نماید.

اغلب انسان‌ها، مصرف آب خود را به مصارف مستقیم آب نسبت داده و اطلاعی از آبی که روزانه، به صورت غیرمستقیم مصرف می‌نمایند، ندارند. هر غذایی که خورده می‌شود، هر لباسی که پوشیده می‌شود و هر کالایی که در طول روز استفاده می‌شود، در زنجیره‌ی تامین خود، آبی فراتر از تصور بشر، مصرف نموده است. آبی که هر فردی به صورت مستقیم مصرف می‌کند، کم‌تر از سه درصد از کل آب مصرفی وی را در طول شبانه‌روز شامل می‌شود. بر اساس میانگین جهانی، هر فردی، روزانه ۱۵۰ لیتر آب به صورت مستقیم و از طریق فعالیت‌های روزمره‌ی خود، مصرف می‌نماید. در حالی‌که آب مصرفی وی به صورت غیرمستقیم و به واسطه‌ی مصرف کالاها، حدود ۵۰۰۰ لیتر در روز است. در حقیقت، آبی که در فرآیند تولید این کالاها استفاده شده است، را نیز باید در زمره‌ی آب مصرفی وی قلمداد نمود؛ برای مثال، هر یک پیراهن تهیه شده از کتان، حدود ۲۷۰۰ لیتر آب در پروسه‌ی تولید خود مصرف می‌کند. مصرف هر کیلوگرم گوشت، به مثابه‌ی مصرف ۱۵۰۰۰ لیتر آب می‌باشد. خوردن هر ساندویچ همبرگر، معادل مصرف ۲۷۰۰ لیتر آب خواهد بود. نوشیدن هر فنجان قهوه، معادل مصرف ۱۴۰ لیتر آب می‌باشد. به این ترتیب، افزایش سطح آگاهی از میزان آب مصرف شده در تولید کالاهای مصرفی، می‌تواند به انتخاب آگاهانه‌ی انسان در مصرف کالاهای روزمره‌اش کمک نموده و همگام با کاهش آب مصرفی، از میزان فشار بر منابع آبی محدود جهان بکاهد.

ردپای آب، از شاخص‌های جامع و نوینی است که با هدف تعیین سهم واقعی بشر در مصرف و آلوده نمودن منابع آب موجود در جهان، از سوی هوکسترا در سال ۲۰۰۳ ارائه شد. این شاخص، علاوه

برداشتن بعدهای زمانی و مکانی، قادر است زنجیره‌ی تولید و مصرف را در فرآیندهای متعدد بشری به صورت جامع در نظر گرفته و پایداری منابع آب را از دیدگاه‌های مختلفی هم‌چون دیدگاه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، عدالت اجتماعی و کارآمدی سیستم عرضه و مصرف منابع آبی ارزیابی نماید. این در حالی است که اغلبِ شاخص‌های موجود قادر به تعیینِ تقاضای واقعی متناسب با الگویِ تولید و مصرف در یک منطقه نیستند. کتاب حاضر، ترجمه‌ی دستورالعمل استاندارد ارزیابی ردپای آب است که در آن، چگونگی محاسبه‌های مربوط به مراحل ارزیابی ردپای آب، به طور شفاف و در اغلب موارد، با ارائه‌ی مثال‌هایی در پیوست‌های آن، بیان شده است. با خواندن این کتاب، هر فردی قادر خواهد بود تا محاسبه‌های ردپای آب آبی، سبز و خاکستری برای یک فرآیند، یک کالا، یک فرد، و یک جامعه را محاسبه نماید.

این ترجمه، تنها نسخه‌ای است که با نظارت مستقیم پروفسور آرین هوکسترا بر محتوای آن، در طول اقامت دکتر فاطمه کاراندیش در گروه مهندسی و مدیریت آب دانشگاه توئنته در هلند، انجام شده و انطباق آن با محتوای اصلی کتاب، از طرف ایشان بررسی شده است. هم‌چنین، با تأیید پروفسور آرین هوکسترا، نسخه‌ی آنلاین این کتاب، در کنار نسخه‌ی اصلی آن، در وبگاه شبکه‌ی ردپای آب به آدرس:

https://waterfootprint.org/en/resources/publications/water-footprint-assessment-manual

قرار گرفته و دسترسی برای عموم به صورت رایگان مقدور است. هدف از این کار، دسترسی آسان محققان علاقمند به پژوهش‌های ردپای آب به این دستورالعمل و تسهیل فرآیند پژوهش ایشان بوده است. امید است که گسترش چنین گام‌های پیشرویی در انتشار نسخه‌های علمی، زمینه‌های تحقیق‌های جامع‌تر و ارزشمند برای کشور عزیزمان ایران را فراهم آورده و باعث آبادانی روزافزون آن گردد. مترجمان این کتاب، آماده پاسخ‌گویی به هر ابهامی که حین مطالعه‌ی آن توسط علاقه‌مندان پیش می‌آید، خواهند بود.

علایم اختصاری

کنوانسیون تنوع زیستی	Convention on Biological Diversity	CBD
نیاز آبی گیاه	Crop water requirements	CWR
آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا	Environmental Protection Agency	EPA
سازمان خواروبار و کشاورزی (ملل متحد)	Food and Agriculture Organization (UN)	FAO
گازهای گلخانه‌ای	Greenhouse gas	GHG
اطلاعات عمومی و سیستم هشدار زودهنگام	Global Information and Early Warning System	GIEWS
سیستم اطلاعات جغرافیایی	Geographic information system	GIS
نقشه‌ی جهانی اراضی فاریاب	Global Map of Irrigation Areas	GMIA
هیات بین‌الدول تغییراقلیم	Intergovernmental Panel on Climate Change	IPCC
مدیریت یکپارچه حوضه‌ی آبریز رودخانه	Integrated river basin management	IRBM
مدیریت یکپارچه منابع آب	integrated water resources management	IWRM
ارزیابی چرخه حیات	Life cycle assessment	LCA
تحلیل جریان مواد	Material flow analysis	MFA
حداکثر افزایش مجاز	Maximum permissible addition	MPA
حداکثر غلظت مجاز	Maximum permissible concentration	MPC
حداکثر بار روزانه‌ی کل	Total maximum daily load	TMDL
کنفرانس سازمان ملل متحد درباره‌ی تجارت وتوسعه	United Nations Conference on Trade and Development	UNCTAD
برنامه توسعه سازمان ملل متحد	United Nations Development Programme	UNDP
برنامه محیط زیست ملل متحد	United Nations Environment Programme	UNEP
کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه	World Commission on Environment and Development	WCED
شبکه ردپای آب	Water Footprint Network	WFN

فصل اول

مقدمـــه

۱-۱ پیش‌زمینه

حجم زیادی از آب از راهِ فعالیت‌های انسانی مصرف یا آلوده می‌شود. در مقیاس جهانی، بیش‌ترین میزان آب برای تولید محصولات کشاورزی مصرف می‌شود ولی، حجم قابل توجهی از آب نیز در بخش‌های صنعت و شرب، مصرف و آلوده می‌شود (WWAP, 2009). مصرف و آلوده شدن آب می‌تواند مربوط به فعالیت‌های خاصی مانند آبیاری، استحمام، شست‌وشو، تمیزکاری، خنک‌نمودن و فرآوری باشد. به طور کلی، کل آب مصرفی و آلوده شده را می‌توان از حاصل‌جمع مقدار متناظر در فعالیت‌های مختلف آب‌بر، محاسبه کرد. به این واقعیت که در مجموع، میزان مصرف و آلودگی آب، وابسته به نوع و تعداد جوامعی که آب مصرف می‌کنند و به ساختار اقتصادیِ جهانی که کالاها و خدمات مورد نیاز مصرف کنندگان را فراهم می‌کند، است، توجه اندکی شده است.

تا سال‌های اخیر، در عرصه‌های علمی و عملیِ مدیریت آب، کم‌تر به مصرف و آلودگی آب در کل زنجیره‌ی تولید و تأمین[1] توجه شده است. در نتیجه، آگاهی چندانی در ارتباط با این مسأله وجود ندارد که میزان مصرف و آلودگیِ آب برای محصولی که در نهایت توسط مصرف‌کننده[2]، مصرف می‌شود، به شدت متأثر از ویژگی‌های محصول و زنجیره‌ی تأمین آن می‌باشد. هوکسترا و چاپاگین (Hoekstra and Chapagain, 2008) نشان دادند که به تصویرکشیدن آب پنهانی که در پسِ محصولات به کار رفته است، می‌تواند به درک وجهه‌ی جهانیِ آب شیرین و کمی‌سازی آثار مصرف و تجارت آب بر میزان استفاده از منابع آب کمک نماید. بهبود این دانش می‌تواند زمینه‌ای را برای مدیریت بهتر منابع آب شیرین در جهان فراهم آورد.

با افزایش مبادله‌های بین‌المللی کالاهای آب‌بر، آب شیرین به سرعت در حال تبدیل شدن به یک منبع جهانی است. علاوه بر بازارهای منطقه‌ای، بازارهای جهانی نیز برای کالاهای آب‌بر، هم‌چون گیاهان و فرآورده‌های دامی، الیاف طبیعی و انرژی‌های زیستی، وجود دارد. در نتیجه، استفاده از منابع آب برای تولید این کالاها، می‌تواند در مکانی غیر از جایی که مصرف‌کننده وجود دارد، صورت بگیرد. این مسأله را می‌توان برای پنبه نشان داد؛ از زمان کاشت گیاه در مزرعه تا زمان تولید محصول نهایی، پنبه از مراحل تولید مختلفی عبور می‌کند که این مراحل، اثرات متفاوتی بر منابع آب دارند. این مراحل تولید، اغلب در مکان‌های مختلفی رخ می‌دهند و حتی مصرف نهایی محصول نیز می‌تواند در مکان دیگری صورت بگیرد؛ به‌عنوان مثال، کشور مالزی پنبه تولید نمی‌کند ولی پنبه‌ی خام را از کشورهای چین، هند و پاکستان وارد نموده و پس از فرآوری آن در صنایع نساجی، لباس‌های پنبه‌ای را به

1. Production and supply chain
2 . Final consumer product

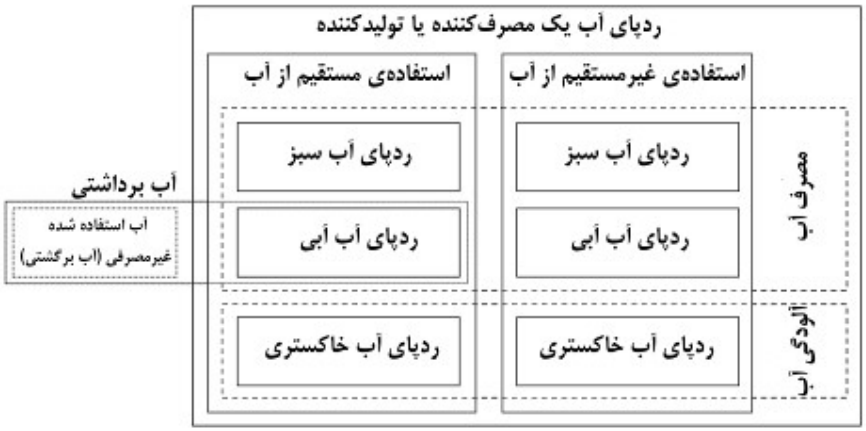
بازارهای اروپایی صادر می‌کند (Chapagain *et al*., 2006b). در نتیجه، تنها با در نظر گرفتن کل زنجیره‌ی تأمین و ردیابی منشا محصولات، می‌توان اثرات مصرف محصول نهایی پنبه بر منابع آبی جهان را دانست. کشف ارتباط نهانیِ بین مصرف محصول و استفاده از آب می‌تواند زمینه‌ای را برای تدوین استراتژی‌های جدید مربوط به حکم‌رانی آب[۱] فراهم سازد؛ زیرا با کشف این ارتباط، محرک‌های جدید برای تغییر، قابل شناسایی می‌شوند. وقتی افرادی که مسئول حکم‌رانی مطلوب آب یا مطالعه آن هستند به‌طور معمول، مصرف‌کنندگان نهایی، خرده‌فروشان، صنایع غذایی و تاجران محصول‌های آب‌بر را نادیده می‌گیرند، این افراد، خود عامل بالقوه‌ای برای تغییر می‌شوند. در این شرایط، آن‌ها نه‌تنها مصرف‌کنندگان مستقیم آب[۲] هستند، بلکه می‌توانند، مصرف‌کننده‌ی غیرمستقیم[۳] آب نیز در نظر گرفته شوند.

۱-۲ مفهوم ردپای آب[۴]

پس از معرفی مفهوم **ردپای آب** از سوی هوکسترا در سال ۲۰۰۲، ایده‌ی مربوط به لحاظ نمودن آب مصرفی در کل زنجیره‌های تأمین مورد توجه قرار گرفت (Hoekstra, 2003). ردپای آب معیاری برای آب شیرین مصرفی است که نه تنها به مصرف مستقیم آب توسط یک مصرف‌کننده یا تولید کننده توجه می‌کند، بلکه آب مصرفی غیرمستقیم را نیز در نظر می‌گیرد. در کنار شاخص مرسوم و محدودِ آب برداشت شده[۵]، ردپای آب می‌تواند شاخص جامعی برای چگونگی تخصیص منابع آب شیرین[۶] در نظر گرفته شود. ردپای آبِ مربوط به یک محصول، حجم آب شیرینی است که برای تولید واحد آن محصول به کار برده می‌شود که در کل زنجیره‌ی تهیه آن محصول اندازه‌گیری می‌شود. ردپای آب یک شاخص چندبعدی است که حجم آب مصرفی را به تفکیک نوع منبع آب مصرفی و حجم آب آلوده شده را به تفکیک نوع آلاینده نشان می‌دهد؛ تمام اجزای ردپای آب کل، به تفکیک زمان و مکان مشخص می‌شوند. ردپای آب آبی[۷] به مصرف منابع آب آبی (آب سطحی و زیرزمینی) در کل زنجیره‌ی تأمین یک محصول اشاره می‌کند. واژه‌ی مصرف[۸] مربوط به تلفات آب از پیکره‌های آب سطحی و زیرزمینیِ موجود در محدوده‌ی یک حوضه‌ی آبریز می‌باشد. تلفات وقتی اتفاق می‌افتد که

1 . Water governance
2 . Direct water user
3 . Indirect water user
4 . Water footprint
5 . Water withdrawal
6 . Freshwater appropriation
7 . Blue water footprint
8 . Consumption

آب تبخیر می‌شود و به یک حوضه‌ی آبریز دیگر یا به دریا بازمی‌گردد و یا در بطن محصول گنجانده می‌شود. ردپای آب سبز[1] به مصرف منابع آب سبز–یعنی بخشی از آب باران که تبدیل به رواناب شود–، اشاره می‌کند. ردپای آب خاکستری[2]، به آلودگی آب توجه داشته و حجم آب شیرین مورد نیاز برای پذیرش بار آلاینده‌ها در منبع آبی است که در آن، مقادیر معینی –که غلظت‌های طبیعی[3] و مجاز[4] آن آلاینده‌ها محسوب می شوند،– تعریف شده‌اند.



شکل ۱–۱ نمایش شماتیکی اجزای ردپای آب. این شکل نشان می‌دهد که بخش غیرمصرفی آب برداشت شده (جریان برگشتی)، جزئی از ردپای آب نیست. هم‌چنین این شکل نشان می‌دهد که، بر خلاف شاخص آب برداشتی، ردپای آب شامل آب سبز، آبی و خاکستری و هم‌چنین شامل مؤلفه‌ی آب مصرفی غیرمستقیم می‌باشد.

ردپای آب، که شاخصی برای مصرف آب[5]،در نظر گرفته می شود، از سه نظر با شاخص کلاسیک آب برداشتی تفاوت دارد (شکل ۱–۱):

- ردپای آب، بخشی از آب آبی که دوباره به محل برداشتِ خود بازمی‌گردد، را شامل نمی‌شود.
- ردپای آب، فقط محدود به مصرف آب آبی نبوده و شامل آب سبز و خاکستری نیز می‌شود.
- ردپای آب، محدود به استفاده‌ی مستقیم از آب نبوده و آب مصرفیِ غیرمستقیم را نیز شامل می‌شود.

1 . Green water footprint
2 . Grey water footprint
3 . Natural concentration
4 . Maximum acceptable concentration
5 . Water use

بنابراین، ردپای آب، دیدگاه بهتر و جامع‌تری از چگونگی ارتباط بین یک مصرف‌کننده یا تولیدکننده با مصرف منابع آب شیرین ارایه می‌کند. ردپای آب، یک شاخص حجمی از مصرف و آلودگی آب است. اما این اصطلاح نمی‌تواند معیاری برای شدت اثرات زیست‌محیطی محلیِ ناشی از مصرف و آلودگی آب باشد. اثرات زیست‌محیطی محلیِ ناشی از مصرف و آلودگیِ مقدار معینی از آب، به میزان آسیب‌پذیری منابع آب آن محل و تعداد مصرف‌کنندگان و آلوده‌کنندگانی که از آن منابع استفاده می‌کنند، بستگی دارد. محاسبات ردپای آب، اطلاعات مکانی و زمانی صریحی از چگونگی تخصیص آب برای اهداف مختلف بشر ارایه می‌کند. این اطلاعات می‌توانند زمینه‌ای برای بحث‌های مرتبط با استفاده و تخصیص پایدار و عادلانه‌ی آب فراهم آورده و هم‌چنین، مبنای مناسبی را برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی محلی، اجتماعی و اقتصادی تدوین کند.

۱-۳ ارزیابی ردپای آب[1]

ارزیابی ردپای آب، شامل طیف وسیعی از فعالیت‌هایی است که با اهداف ذیل صورت می‌گیرد:

(۱) تعیین مقدار و محل وقوع ردپای آب یک فرآیند، یک محصول، یک تولیدکننده یا یک مصرف‌کننده یا کمی‌سازی مکانی و زمانی ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین،

(۲) ارزیابی وضعیت پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی این ردپای آب،

(۳) تدوین و تنظیم استراتژی پاسخ. به طور کلی، هدف از ارزیابی ردپای آب، تحلیلِ این موضوع است که چگونه می‌توان مسأله‌ی کمبود و آلودگی آب را به فعالیت‌های بشر یا یک محصول خاص منسوب نمود و هم‌چنین، بررسی این مسأله که چگونه این فعالیت‌ها و محصول‌ها می‌توانند از دیدگاه آب پایدارتر باشند.

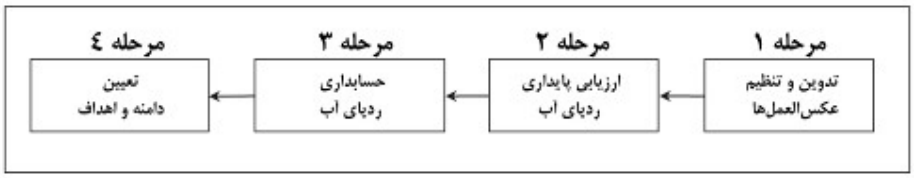
نتایج ارزیابی ردپای آب تا حد زیادی به مسأله مورد ارزیابی بستگی دارد. ممکن است فردی تنها به دانستن ردپای آب یک فرآیند در کل یک زنجیره‌ی تولید علاقه‌مند باشد یا این‌که بخواهد میزان ردپای آب محصول نهایی را بداند. از سوی دیگر، ممکن است فردی به تعیین ردپای آب یک مصرف‌کننده یا گروهی از مصرف‌کنندگان و یا ردپای آب یک تولیدکننده یا کل بخش اقتصادی علاقه‌مند باشد؛ در نهایت، ممکن است فردی از جنبه‌ی جغرافیایی وارد شده و بخواهد کل ردپای آب داخل یک محدوده‌ی معین، مانند شهر، استان، ایالت، حوضه‌ی آبریز یا کل حوضه‌ی یک رودخانه را بداند. در چنین حالتی، ردپای آب، مجموعِ ردپاهای آب تعداد زیادی از فرآیندهای جداگانه‌ای است که جملگی در آن محدوده، رخ می‌دهند.

1 . Water footprint assessment

ارزیابی ردپای آب یک ابزار تحلیلی برای کمک به درک ارتباط بین فعالیت‌ها و محصول‌ها با کمبود و آلودگی آب و اثرات مرتبط و فهم این‌که چه باید انجام داد تا اطمینان حاصل نمود، که این فعالیت‌ها و محصول‌ها سهمی در مصرف ناپایدار آب ندارند، می‌باشد. به‌عنوان یک ابزار، نتایج ارزیابی ردپای آب، در نهایت نمی‌گوید که **چه کاری انجام دهید،** بلکه بینشی ایجاد می‌کند که این بینش، کمک می‌کند تا بدانیم که چه کارهایی را می‌توان انجام داد.

یک پروسه‌ی کامل از ارزیابی ردپای آب، شامل چهار مرحله‌ی زیر است (شکل ۱-۲):

- تعیین اهداف و دامنه‌ی بررسی[1]
- محاسبه‌ی ردپای آب[2]
- ارزیابی پایداری ردپای آب[3]
- تدوین و تنظیم عکس‌العمل‌ها نسبت به ردپای آب[4]



شکل ۱-۲ چهار مرحله‌ی متمایز در ارزیابی ردپای آب: (۱) تعیین اهداف و دامنه‌ی بررسی، (۲) محاسبه‌ی ردپای آب، (۳) ارزیابی پایداری ردپای آب، (۴) تدوین و تنظیم عکس‌العمل‌ها.

برای تعیینِ این مسأله که قرار است کدام یک از مراحل ارزیابی ردپای آب انجام شود، در همان آغاز باید اهداف و دامنه‌ی بررسی، به طور شفاف مشخص شود. یک پژوهش ردپای آب می‌تواند به دلایل متعددی صورت بگیرد؛ به‌عنوان مثال، در یک کشور ممکن است دولت بخواهد میزان وابستگی خود به منابع آبی دیگر کشورها را بداند یا این‌که بخواهد وضعیتِ پایداریِ استفاده از آب در مناطقی که محصول‌های وارداتی آب‌بر، از آن‌جا وارد کشورش می‌شوند را بداند. مقامِ مسئول یک حوضه‌ی آبریز، ممکن است بخواهد بداند که آیا مجموع ردپای آب مربوط به فعالیت‌های انسانی، زمانی مانع تأمین جریان زیست‌محیطی مورد نیاز و یا باعث نقص استانداردهای کیفیت آب در آن حوضه خواهد شد یا خیر. هم‌چنین، این مقام مسئول ممکن است بخواهد بداند چه مقدار از منابع آبی محدودِ حوضه، به تولید محصول‌های گیاهی صادراتی با ارزش اقتصادی کم اختصاص داده شده است. یک شرکت، ممکن است بخواهد میزان وابستگی کل زنجیره‌ی تأمین خود را به منابع آبی محدود بداند و یا این‌که

1 . Setting goals and scope
2 . Water footprint accounting
3 . Water footprint sustainability assessment
4 . Water footprint response formulation

چگونه می‌تواند، در کل فعالیت‌ها و زنجیره‌ی تأمین خود، کاری کند که میزان اثرات منفی بر منابع آبی را کاهش دهد.

مرحله‌ی محاسبه‌ی ردپای آب، اقداماتی است که حین آن، داده‌ها جمع‌آوری می‌شوند و محاسبات انجام می‌شوند. دامنه و گستره‌ی محاسبات و میزان لحاظ جزئیات در این محاسبات، به تصمیماتی که در مرحله‌ی قبل، یعنی در مرحله‌ی تعیین اهداف و دامنه‌ی بررسی اتخاذ شده، بستگی دارد. بعد از این مرحله، مرحله‌یِ تحلیل پایداری آغاز می‌شود که در آن، ردپای آب از دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی ارزیابی می‌شود. در مرحله‌ی آخر، بر اساس نتایج به دست آمده در گام‌های قبل، گزینه‌هایی در پاسخ و عکس‌العمل به ردپای آب تعیین و تدوین شده و سپس، استراتژی‌ها و یا سیاست‌ها تدوین می‌شوند. ضرورتی ندارد که تمامی مراحل ارزیابی ردپای آب را به صورت یک‌جا، تنها در یک پژوهش گنجاند. در همان مرحله‌ی نخست–که حین آن دامنه‌ی پژوهش و اهدافِ آن تعیین می‌شوند–، می‌توان تصمیم گرفت که تنها محاسبه‌ی ردپای آب صورت بگیرد یا این‌که پژوهش، پس از انجام مرحله‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب به اتمام برسد و بحث در زمینه‌ی عکس‌العمل‌ها به زمانی دیگر موکول شود. علاوه بر آن، مدلی که در این کتابچه‌ی راهنما، به صورت چهار گام متوالی برای ارزیابی ردپای آب ارایه شده است، بیش‌تر شبیه به یک راهنما است تا به یک دستورالعمل دقیق و سخت‌گیرانه. ممکن است در طول انجام پژوهش، اغلب نیاز باشد که به مراحل قبل بازگشت و آن گام‌ها را تکرار نمود. در گام نخست، ممکن است یک شرکت با هدف شناسایی مؤلفه‌های بحرانیِ ردپای آب و تعیین اولویت‌ها برای تدوین عکس‌العمل، تصمیم بگیرد که تمامیِ چهار مرحله را به طور اجمالی انجام دهد؛ در حالی‌که ممکن است پس از مشخص شدن نتایج اولیه حین این پژوهش، بخواهد برای موارد خاصی، به دنبال اطلاعات جزیی‌تری در مورد محاسبه‌ها و ارزیابی پایداری باشد.

۱-٤ راهنمایی برای خواننده

در فصل‌های بعدی، چهار گامِ ارزیابی ردپای آب ارایه می‌شوند. فصل دوم، مسائل مهمی که باید در مرحله‌ی تعیین دامنه‌ی پژوهش و اهداف در ارزیابی ردپای آب لحاظ شود، را نشان می‌دهد. فصل سوم، شامل تعاریف و روش‌های محاسبه‌ی ردپای آب می‌باشد. فصل چهارم، دستورالعمل‌هایی را برای ارزیابی پایداری ردپای آب ارایه می‌کند. فصل پنجم، خلاصه‌ای از گزینه‌های عکس‌العملی که باید در مرحله‌ی تدوین سیاست‌ها درنظر گرفته شود، را ارایه می‌کند. فصل ششم، ارزیابی ردپای آب را در یک چارچوب وسیع‌تر در نظر گرفته و محدودیت‌های آن را مورد بحث قرار می‌دهد. فصل هفتم،

به تعیین چالش‌های مهمی –که باید در آینده مورد توجه قرار بگیرد –و بحث پیرامون آن‌ها، می‌پرازد. فصل هشتم، فصل نتیجه‌گیری است. بسته به نوع علاقه، هر خواننده می‌تواند روی بخش‌های مختلفی از این کتاب متمرکز شود. به ویژه در فصل سوم که در مورد محاسبه‌ی ردپای آب است، خواننده می‌تواند بسته به این‌که آیا می‌خواهد از دیدگاه یک مصرف‌کننده، مقام مسوولِ یک حوضه‌ی آبریز، دولت یا فعالیت، به ارزیابی ردپای آب بپردازد، بخش مورد نظر خود را انتخاب و مطالعه کند. با مطالعه‌ی این کتابچه‌ی راهنما، معلوم می‌شود که اصول محاسبه‌ی ردپای آب، یعنی محاسبه‌های ردپای آب فرآیندها و محصول‌ها، برای تمامی کاربردان ردپای آب کاربرد دارد.

در متن پیشِ رو، مفاهیم مختلفی تعریف خواهند شد. به منظور درک بهترِ واژه‌های کلیدی ارایه شده، یک واژه‌نامه در انتهای کتاب ارایه شده است. یکی دیگر از بخش‌های مفید کتاب، پیوست (و) می‌باشد که در آن، رایج‌ترین سوال‌ها در زمینه‌ی ارزیابی ردپای آب بررسی شده است.

فصل دوم

اهداف و حوزه‌های ارزیابی ردپای آب

۲-۱ اهداف ارزیابی ردپای آب

پژوهش‌های ردپای آب می‌تواند اهداف مختلفی داشته و در زمینه‌های مختلف به‌کار گرفته شود. هر هدف، نیازمند طیفی از تحلیل‌های مربوط به خود بوده و هنگام تعیین فرضیه‌های پژوهش، این هدف می‌تواند امکان انتخاب گزینه‌های مختلف را فراهم سازد. ردپای آب را می‌توان از جهات مختلفی بررسی نمود؛ بنابراین، مشخص نمودن این مسأله در شروع کار که بررسی ردپای آب از کدام جنبه، مدنظر است اهمیت بسیاری دارد؛ به‌عنوان مثال، یک محقق می‌تواند به موارد زیر بپردازد:

- ردپای آبِ یک فرآیند[۱]
- ردپای آب یک محصول[۲]
- ردپای آب یک مصرف‌کننده[۳]
- ردپای آب گروهی از مصرف‌کنندگان
  - ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک کشور
  - ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک شهر، یک استان و یا سایر واحدهای اجرایی[۴]
  - ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک زیرحوضه و یا حوضه‌ی یک رودخانه
- ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین[۵]
  - ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک کشور
  - ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک شهر، یک استان، و یا دیگر واحدهای اداری
  - ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک زیرحوضه و یا حوضه‌ی آبریز یک رودخانه
- ردپای آب یک فعالیت[۶]
- ردپای آب یک واحد کاری[۷]
- ردپای آب بشر به صورت کلی[۸]

یک چک‌لیست برای تعریف هدف ارزیابی ردپای آب در کادر ۲-۱ ارایه شد. اگرچه این چک‌لیست جامع نیست ولی برخی از مواردی که می‌تواند تعیین شود را نشان می‌دهد. احتمالاً مهم‌ترین سوال آن است که چه سطحی از جزئیات مورد نیاز است؟ اگر هدفِ بررسی، افزایش سطح

1 . Water footprint of a process step
2 . Water footprint of a product
3 . Water footprint of a consumer
4 . Administrative unit
5 . Water footprint within a geographically delineated area
6 . Water footprint of a business
7 . Water footprint of a business unit
8 . Water footprint of humanity as a whole

آگاهی عمومی باشد، دانستن مقدار میانگینِ کشوری یا جهانی برای ردپای آب محصول‌ها کفایت‌می‌کند. وقتی هدف، شناسایی نقاط کانونی[1] باشد، باید جزئیات بیش‌تری را در اهداف و در پی آن، در محاسبه و ارزیابی ردپای آب وارد نمود؛ در این‌صورت، می‌توان دقیقاً مشخص نمود که آن ردپای آب، در چه زمان و مکانی، بیش‌ترین پیامدهای منفیِ محلیِ زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را دارد. اگر هدف، تدوین سیاست‌ها و پایه‌گزاری اهدافی برای کاهشِ مقدار ردپای آب باشد، جزئیاتِ مکانی و زمانیِ بسیار بیش‌تری مدنظر خواهد بود. علاوه بر آن، ممکن است لازم باشد ارزیابی ردپای آب را در سطحی فراتر پی‌گیر بود و علاوه بر عامل آب، عوامل دیگری را نیز در تحلیل‌ها دخیل نمود (فصل ۶ را ببینید).

1 . Hotspot

کادر ۲-۱ اهداف ارزیابی ردپای آب

موارد عمومی

- هدف نهایی چیست؟ افزایش آگاهی، شناسایی نقاط کانونی، تدوین سیاست یا تدوین اهدافِ کمی؟
- آیا روی مرحله‌ی خاصی تمرکز می‌شود؟ تمرکز روی محاسبه، تحلیل پایداری یا تدوین عکس‌العمل؟
- زمینه‌ی مورد علاقه چیست؟ ردپای آب مستقیم و/یا غیرمستقیم، ردپای آب سبز، آبی و/یا خاکستری؟
- بازه‌ی زمانیِ ارزیابی چگونه در نظر گرفته شود؟ آیا هدف، ارزیابی برای یک سال خاص، و یا تعیین میانگین نتایج در طول چند سال و یا تحلیل روند است؟

ارزیابی ردپای آبِ فرآیند

- چه فرآیندی باید لحاظ شود؟ یک فرآیند خاص یا فرآیندهای قابل جایگزین (با هدف مقایسه‌ی ردپای آبِ فرآیندهای متفاوت)؟
- در چه مقیاسی؟ یک فرآیند خاص در یک موقعیت مکانیِ معلوم یا همان فرآیند در مکان‌های مختلف؟

ارزیابی ردپای آب محصول

- چه محصولی باید درنظر لحاظ شود؟ یک محصول از یک برند خاص، یک نوع خاصی از محصول یا یک گروه محصول؟
- چه مقیاسی؟ شامل محصول(های) یک مزرعه یا کارخانه، یک یا چند شرکت، یک یا چند منطقه‌ی تولیدی؟

ارزیابی ردپای آب مصرف‌کننده یا جامعه

- کدام جامعه؟ یک مصرف‌کننده یا تمامی مصرف‌کنندگان در داخل یک شهر، استان یا ایالت؟

ارزیابی ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین

- مرزهای محدوده‌ی منتخب کجاست؟ یک زیرحوضه، حوضه یک رودخانه، شهر، استان، ایالت یا کشور؟
- زمینه‌ی مورد علاقه چیست؟ بررسی این مسأله که چگونه ردپای آب داخل یک ناحیه از طریق وارد نمودن آب مجازی کاهش می‌یابد و این‌که چگونه ردپای آبِ آن ناحیه با تولید محصول‌های صادراتی افزایش می‌یابد؛ تحلیل این موضوع که چگونه منابع آبی یک ناحیه به اهداف مختلف اختصاص داده می‌شود و/یا بررسی این مسأله که آیا ردپای آب داخل یک ناحیه، مانع تأمین جریان زیست‌محیطی مورد نیاز شده و استانداردهای کیفیت آب پیرامون را نقض می‌کند یا خیر؟

ارزیابی ردپای آب کشور (ردپای آب داخل یک کشور و ردپای آب مصارف ملی)

- حوزه‌ی مورد علاقه چیست؟ تحلیل ردپای آب داخل یک کشور و/یا ردپای آب مصارف ملی؟ تحلیل ردپای آب داخلی و/یا ردپای آب خارجی مربوط به مصارف ملی؟
- زمینه‌ی مورد علاقه چیست؟ ارزیابی کمبود منابع آب ملی، پایداری تولیدات ملی، صادرات منابع آبی محدود به صورت مجازی، صرفه‌جویی ملی آب از طریق واردات آب مجازی، پایداری مصارف ملی، اثرات منفیِ ردپای آبِ مصارف ملی بر دیگر کشورها و/یا وابستگی به منابع آب خارجی؟

ارزیابی ردپای آبِ فعالیت‌ها

- مقیاس مطالعه چیست؟ یک واحد از شرکت، کل شرکت یا کل بخش؟ (اگر مقیاس منتخب در حد محصول است، مطالب فوق که در ذیل بند ارزیابی ردپای آب محصول درج شده است را ببینید)
- حوزه‌ی منتخب چیست؟ ارزیابی ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی و/یا زنجیره‌ی تأمین؟
- زمینه‌ی مورد علاقه چیست؟ خطرپذیری یک فعالیت، شفاف‌نمایی محصول، گزارش‌دهیِ زیست‌محیطیِ سازمانی، برچسب‌گزاری محصول، تدوین بنچ‌مارک‌ها، گواهینامه‌ی کسب‌وکار، تعیین مؤلفه‌های بحرانی ردپای آب، تدوین اهداف کمی‌شده‌ی کاهشِ ردپای آب؟

۲-۲ دامنه محاسبه‌ی ردپای آب

هنگام شروعِ محاسبه‌ی ردپای آب، **مرزهای موجود**[1] باید به صورت دقیق و شفاف مشخص شوند. این مرزها تعیین می‌کنند که در محاسبه‌ها، **چه چیزهایی باید لحاظ شوند** و **چه چیزهایی نباید لحاظ شوند**؛ این مرزها باید بر اساس هدف محاسبات تعیین شود. هنگام محاسبه‌ی ردپای آب، حداقل باید چک‌لیست ذیل مورد استفاده قرار گیرد:

- ردپای آب آبی، سبز و/یا خاکستری لحاظ شود؟
- تحلیل‌ها تا کجایِ یک زنجیره‌ی تأمین انجام شود؟
- تفسیرهای مکانی و زمانی تا چه سطحی صورت گیرد؟
- کدام دوره‌ی زمانی برای داده‌ها لحاظ شود؟
- برای مصرف‌کنندگان و فعالیت‌ها، ردپای آب مستقیم و/یا غیر مستقیم لحاظ شود؟
- برای کشورها، ردپای آب درون آن کشور و/یا ردپای آب مصارف ملی لحاظ شود؟ ردپای آب داخلی و/یا خارجی مصارف ملی لحاظ شود؟

ردپای آب آبی، سبز و/یا خاکستری؟

منابع آب آبی، معمولاً کمیاب‌تر بوده و استفاده از آن‌ها، نیازمند هزینه‌های بیش‌تری در مقایسه با آب سبز است، بنابراین، این مسأله می‌تواند دلیلی بر تمرکز روی ردپای آب آبی شود. با این وجود، منابع آب سبز نیز محدود بوده؛ بنابراین، کمیاب هستند. این مهم، دلیل محکمی برای محاسبه‌ی ردپای آب سبز علاوه بر ردپای آب آبی، خواهد بود. علاوه بر آن، آب سبز (در موارد بسیاری) می‌تواند جایگزین آب آبی شود و در کشاورزی، برعکس آن نیز ممکن است اتفاق بیفتد. به این ترتیب، یک تصویر کامل تنها زمانی به‌دست می‌آید که هر دو مؤلفه مورد محاسبه قرار بگیرند. این‌که تمرکز تاریخی مهندسی بر آب آبی، منتهی به کم‌توجهی به آب سبز که یک عامل مهم برای تولید شده است، استدلالی برای لحاظ آب سبز می‌باشد (Falkenmark, 2003; Rockström, 2001). نظریه‌ی ردپای آب خاکستری به‌این دلیل مطرح شد که بتوان آلودگی آب را بر حسب حجم آب آلوده شده بیان نمود، به طوری که می‌توان آن را با مصرف آب، که آن هم بر حسب حجم آب ارایه می‌شود، مقایسه نمود (Chapagain *et al*., 2006b; Hoekstra and Chapagain, 2008). اگر

1 . Inventory boundaries

فردی علاقه‌مند به دانستن میزان آلودگی آب و مقایسه‌ی نسبیِ فشار ناشی از مصرف و آلودگی آب بر منابع آبی در دسترس[1] باشد، باید علاوه بر ردپای آب آبی، ردپای آب خاکستری را نیز محاسبه نماید.

تحلیل‌ها تا کجایِ یک زنجیره‌ی تأمین ادامه یابد؟

تعیین حد مناسب تحلیل‌ها، یک سوال اساسی در محاسبه‌ی ردپای آب است. این موضوع به طور مشابه در مورد ردپای کربن[2] و ردپای اکولوژیکی[3]، تحلیل انرژی و ارزیابی چرخه‌ی حیات[4] نیز وجود دارد. اگرچه تاکنون دستورالعمل‌های کلی برای این مسأله در زمینه‌ی ارزیابی ردپای آب توسعه داده نشده‌اند، اما، قاعده‌ی کلی آن است که باید ردپای آب تمامی فرآیندهای مربوط به یک سیستم تولید (درخت تولید)[5]، که در حد معنی‌داری روی مقدار کلی ردپای آب تأثیر می‌گذارد، در نظر گرفته شود. سوالی که اینجا مطرح می‌شود این است که داشتن چه سهمی در مقدار کل ردپای آب، معنی‌دار خواهد بود؟ به‌عنوان مثال، ممکن است مقادیر بزرگ‌تر از یک درصد و یا مقادیر بالاتر از ده درصد– در زمانی که فقط بزرگ‌ترین اجزا مدنظر است–، معنی‌دار تفسیر شوند. اگر فردی، به دنبال منشاء یک محصول مشخص باشد، متوجه خواهد شد که زنجیره‌ی تأمین آن محصول به دلیل تنوع نهاده‌های استفاده شده در هریک از فرآیندها، بی‌انتها و به شدت واگرا خواهد بود. این در حالی است که عملاً، تنها تعداد کمی از این فرآیندها به طور اساسی، در ردپای آب محصول نهایی سهم دارند. به‌عنوان یک قانون سرانگشتی، می‌توان بیان داشت که اگر محصولی متشکل از اجزایی باشد که منشا آن‌ها به بخش کشاورزی برمی‌گردد، آن اجزا غالباً بیش‌ترین سهم را در ردپای آب کل آن محصول خواهند داشت. چنین چیزی دور از انتظار نیست زیرا، بر اساس تخمین‌های صورت گرفته، ۸۶ درصد از ردپای آب انسان مربوط به بخش کشاورزی است (Hoekstra and Chapagain, 2008). عناصر صنعتی زمانی سهم برجسته‌ای خواهند داشت که بحث آلودگی آب ناشی از آن‌ها مطرح باشد (بنابراین، آن‌ها بیش‌تر در ردپای آب خاکستری سهیم خواهند بود).

سوال ویژه‌ای که در خصوص محل متوقف نمودن محاسبه‌ها پیش می‌آید، آن است که آیا باید ردپای آب نیروی کار[6] –که تقریباً در تمامیِ فرآیندها وجود دارد– نیز محاسبه شود؟ این‌گونه می‌توان استدلال نمود که کارکنان، عوامل ورودی‌ای هستند که به غذا، پوشاک و آب آشامیدنی نیاز دارند؛

1 . Available water resources
2 . Carbon footprint
3 . Ecological footprint
4 . Life Cycle Assessment (LCA)
5 . Production tree
6. Water footprint of labour

بنابراین، تمام نیازهای آبی مستقیم و غیرمستقیم کارکنان باید ردپای آب غیرمستقیم یک محصول درنظر گرفته شود. با این وجود، این انتظار می‌تواند مشکلی بسیار جدی برای محاسبات به‌وجود بیاورد که این مشکل، یک چالش شناخته شده در زمینه‌ی ارزیابی چرخه‌ی حیات نیز می‌باشد. مشکل آنجاست که در این صورت، محاسبات مضاعف صورت خواهد گرفت. ایده‌ی اصلیِ محاسبه‌ی منابع طبیعی مورد نیاز برای تولید محصول‌ها آن است که تمامی این منابع طبیعی، به‌خاطر محصول‌های نهایی کاربردی توسط مصرف‌کنندگان، مصرف شده است و این منابع مصرفی را باید به گونه‌ای، براساس اطلاعات مربوط به الگوی مصرف مصرف‌کنندگان به آن‌ها منسوب نمود. به عبارتی دیگر، تمامی این منابع طبیعی تنها به‌خاطر مصرف‌کنندگان استفاده شده است. با این حال، نباید فراموش نمود که کارکنان (یعنی نیروی کار)، همان مصرف‌کنندگان هستند.

وقتی منابع‌طبیعی استفاده‌شده‌ای که به مصرف‌کنندگان نسبت داده شده است، مجددا منابع طبیعی‌ای در نظر گرفته می‌شود که ورودیِ نیروی کار محسوب شده و در فرآیند تولید محصول مصرف می‌شوند، در این‌صورت یک حلقه‌ی بی‌انتها از محاسبه‌های دوباره، سه‌باره و چندین‌باره به‌وجود خواهد آمد. به طور خلاصه، حذف نیروی کار که عاملی است که غیرمستقیم از منابع استفاده می‌کند، امری رایج است.

سوال خاص دیگری که اغلب،- به‌ویژه توسط تحلیل‌گرانی که با ارزیابی ردپای کربن آشنا هستند-، مطرح می‌شود آن است که آیا ردپای آب مربوط به حمل و نقل باید محاسبه شود؟ حمل و نقل، انرژی زیادی مصرف می‌کند که مقدار آن، می‌تواند بخش قابل‌توجهی از کل انرژی مصرف شده برای تولید یک محصول و رساندن آن به مقصد نهایی را به خود اختصاص دهد. در مقایسه با کل آب مصرف شده برای تولید و حمل‌ونقل یک محصول، حمل و نقل غالباً حجم آب شیرین قابل توجهی را مصرف نمی‌کند. این مسأله، به نوع محصول و نوع انرژی مصرفی نیز بستگی دارد. به طور کلی، این که ردپای آب حمل و نقل باید در تحلیل‌ها لحاظ شود یا خیر، بستگی به قانونِ منتخب درباره‌ی محل متوقف نمودن محاسبه‌ها در زنجیره‌ی تأمین بستگی دارد. وقتی انتظار می‌رود که حمل‌ونقل، سهم اندکی در مجموع ردپای آب یک محصول داشته باشد، می‌توان در تحلیل‌ها از آن صرف‌نظر نمود. توصیه این است که وقتی منابع انرژی، سوخت‌های فسیلی و یا برقابی هستند، ردپای آب حمل و نقل در نظر گرفته شود زیرا ثابت شده است که این شکل‌های انرژی، ردپای آب بالایی به ازای هر واحد انرژی دارند. به طور کلی، ممکن است این سوال پیش بیاید که آیا باید ردپای آب انرژی مصرفی در یک سیستم تولید در تعیین ردپای آب محصول نهایی لحاظ شود؟ باید توجه نمود که در اغلب موارد، سهم عامل انرژی درصد کمی از کل ردپای آب یک محصول خواهد بود. تنها استثنا برای مطلب فوق

وقتی است که منبع انرژی، سوخت‌های فسیلی، و یا الکتریسته‌ی حاصل از احتراق زیست‌توده و یا برقابی است زیرا، این شکل‌های انرژی، ردپای آب بالایی به ازای هر واحد انرژی دارند (Gerbens-Leenes *et al.*., 2009a,b; Yang *et al.*., 2009; Dominguez-Faus *et al.*, 2009).

تفسیرهای مکانی و زمانی تا چه سطحی صورت بگیرد؟

ردپای آب را می‌توان در مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوتی ارزیابی نمود (جدول ۲–۱). در سطح الف (سطح جهانی)، که پایین‌ترین سطح جزئیات را شامل می‌شود، ارزیابی ردپای آب بر اساس داده‌های میانگین جهانی ردپای آب در یکی از پایگاه‌های داده‌ای موجود، صورت می‌گیرد. این داده‌ها، به صورت میانگین‌های چند ساله هستند. اگر هدف افزایش سطح آگاهی باشد، این سطح از جزئیات کافی برخوردار بوده و بسیار کاربردی خواهد بود. حتی اگر هدف شناسایی محصول‌ها و ترکیباتی که بیش‌ترین سهم را در ردپای آب کل دارند باشد نیز این سطح کفایت می‌کند. داده‌های میانگین جهانی ردپای آب هم‌چنین می‌تواند برای پیش‌بینیِ تقریبی مصارف جهانی آب، تحت شرایطی که یک تغییر اساسی در شیوه‌ی مصرف داده می‌شود–مثلاً تحت شرایط استفاده‌ی بیش‌تر از گوشت و یا انرژی‌های زیستی–، مفید باشند. در سطح ب (سطح ملی و منطقه‌ای)، ارزیابی ردپای آب بر اساس میانگین‌های کشوری، منطقه‌ای و یا حوضه‌ای داده‌های ردپای آب انجام می‌شود. در این حالت، ردپاهای آب ترجیحاً به صورت ماهانه مشخص می‌شوند (میانگین ماهانه سال‌های مختلف). این سطح از محاسبات، برای فراهم آوردن زمینه‌ی لازم برای بررسی امکان وجود نقاط کانونی در یک حوضه‌ی آبریز و برای تصمیم‌گیری‌های مربوط به تخصیص منابع آب مناسب است. در سطح ج (سطح‌های کوچک‌تر مثل حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها و غیره)، محاسبات ردپای آب از نظر جغرافیایی و زمانی کاملاً صریح بوده و بر اساس داده‌های ورودی دقیق و موجود بودن منابعی دقیق برای این ورودی‌ها صورت می‌گیرد. در این سطح، حداقل دقت مکانی معادلِ سطح کوچک‌ترین زیرحوضه‌ها (تقریباً ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلومترمربع) خواهد بود. در صورت لزوم و نبود محدودیت داده، می‌توان مقیاس مکانی برای محاسبات را سطح مزرعه در نظر گرفت. در این حالت، صحبت در مورد محاسبه‌هایی است که ردپای آب را در هر مزرعه، محله و یا هر واحد صنعتی نشان دهد. حداقل دقت زمانی، ماهانه بوده و می‌توان تغییرات ردپای آب در یک سال را تحلیل نمود. در این حالت، محاسبه‌ها بر اساس بهترین تخمین‌ها از مقادیر واقعی مصرف و آلودگی آب که ترجیحاً صحت آن‌ها تأیید شده باشد، خواهد بود. چنین سطح بالایی از جزئیات مکانی و زمانی، برای تدوین استراتژی‌های محلی با هدف کاهش ردپای آب در آن محل مناسب خواهد بود.

کدام دوره‌ی زمانی برای داده‌ها لحاظ شود؟

موجودیت آب در طول یک سال و هم‌چنین در سال‌های مختلف تغییر می‌کند. در نتیجه تغییر موجودیت آب، میزان تقاضا برای آب نیز با زمان تغییر می‌کند؛ بنابراین، باید در مورد ادعاهایی که برای تغییرات زمانی ردپای آب مطرح می‌شود بسیار محتاط بود. به‌دلیل تأثیر دوره زمانی داده‌های مورد استفاده بر نتایج محاسبات، در زمان انجام مطالعات ردپای آب، باید این دوره، به صراحت مشخص شود. در سال‌های خشک، ردپای آب آبی یک محصول زراعی، بسیار بیش‌تر از مقدار آن در سال‌های مرطوب خواهد بود زیرا، نیاز آبیاری بیش‌تر خواهد بود. ممکن است ردپای آب برای یک سال خاص و یا برای تعداد معینی از سال‌ها محاسبه شود اما از سوی دیگر، ممکن است ردپای آب به صورت یک میانگین سالانه، که مبین شرایط آب و هوایی موجود باشد، محاسبه شود (این مقدار، معمولاً به صورت مقادیر میانگین در طول ۳۰ سال متوالی تعریف می‌شود). در مورد اخیر، ممکن است بازه‌های زمانی مختلفی در یک تحلیل استفاده شود؛ به‌عنوان مثال، می‌توان داده‌های عمل‌کرد و تولیدِ مربوط به پنج سال اخیر را در نظر گرفت، اما داده‌های اقلیمی (دما و بارش) به صورت میانگین در طول ۳۰ سال گذشته در نظر گرفته شود.

جدول ۲-۱ تفسیرهای مکانی-زمانی در محاسبه‌ی ردپای آب

	تفسیر مکانی	تفسیر زمانی	منابع داده‌های مورد نیاز برای مصارف آب	استفاده‌های رایج از نتایج محاسبه‌ها
سطح الف	میانگین جهانی	سالانه	منابع و پایگاه داده‌ی موجود برای مقادیر معمول مصرف و آلودگی آب برای یک محصول یا فرآیند	ارتقای آگاهی، شناسایی مؤلفه‌های دارای بیش‌ترین سهم در ردپای آب کل، پیش‌بینی میزان مصرف آب در جهان
سطح ب	ملی، منطقه‌ای یا حوضه‌ای	سالانه یا ماهانه	همانند بالا، اما با استفاده از داده‌های موجود در مقیاس کشوری، منطقه‌ای یا حوضه‌ای	شناسایی تقریبی وسعت و تغییرات مکانی؛ دانش پایه برای شناسایی نقاط کانونی و تصمیم‌گیری‌های تخصیص آب
سطح ج	حوضه کوچک یا مزرعه	ماهانه یا روزانه	داده‌های تجربی (اگر مستقیماً قابل اندازه‌گیری نباشد) مصرف و آلودگی آب که برای مناطق مختلف در طول یک سال مشخص باشد	دانش پایه برای انجام ارزیابی پایداری ردپای آب، تدوین استراتژی کاهش ردپای آب و پیامدهای محلی مرتبط

نکته: برای همه‌ی شکل‌های محاسبه‌ی ردپای آب، سه مرحله قابل تمایز است (برای مثال، برای محاسبه‌های مربوط به محصول، کشور و شرکت).

ردپای آب مستقیم و/یا غیر مستقیم؟

توصیه‌ی کلی آن است که هر دو ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم در محاسبه‌ها لحاظ شود. با این‌که تمرکز مصرف‌کنندگان و شرکت‌ها به‌طور معمول بر ردپای آب مستقیم است ولی ردپای آب غیرمستقیم معمولاً مقادیر بزرگ‌تری را به خود اختصاص می‌دهد. وقتی تنها ردپای آب مستقیم در نظر گرفته می‌شود، مصرف‌کنندگان از این واقعیت غافل می‌شوند که بزرگ‌ترین بخش ردپای آب، مربوط به محصول‌هایی است که آن‌ها از فروشگاه‌ها و دیگر جاها خریداری می‌کنند و نه مربوط به آبی که آن‌ها به صورت مستقیم در منزل مصرف می‌کنند. برای اغلب فعالیت‌ها، ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین‌شان[۱]، بسیار بزرگ‌تر از ردپای آب مربوط به فرایندهای خاص آن فعالیت است؛ نادیده گرفتن ردپای آب مربوط به زنجیره‌ی تأمین ممکن است منتج به سرمایه‌گذاری برای بهبود مصرف آب تنها در فرایندهای خاص آن فعالیت شود، غافل از آن که سرمایه‌گذاری در بهبود زنجیره‌ی تأمین می‌تواند مقرون‌به‌صرفه‌تر باشد. با این حال، متناسب با هدف هر پژوهش، قطعاً می‌توان تصمیم گرفت که تنها ردپای آب مستقیم و یا ردپای آب غیر مستقیم را نیز در تحلیل‌ها دخیل نمود. در اینجا، با برخی از حوزه‌هایی که در ارزیابی ردپای کربن متمایز شده‌اند، شباهت‌هایی وجود دارد (کادر ۲-۲ را ببینید).

کادر ۲-۲ آیا حوزه‌هایی در محاسبه‌ی ردپای آب وجود دارد که شبیه به محاسبه‌ی ردپای کربن باشد؟

ردپای کربن، کل انتشارات گازهای گلخانه‌ای (GHG) است که به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم، توسط یک فرد، یک سازمان، یک رویداد و یا یک محصول به‌وجود می‌آید. در زمینه‌ی محاسبه‌ی ردپای کربن یک شرکت، سه حوزه تعریف شد (WRI and WBCSD, 2004). حوزه‌ی اول، مربوط به محاسبه‌ی انتشارات مستقیم گازهای گلخانه‌ای است که از منابع تحت مالکیت و یا تحت کنترل آن شرکت ایجاد می‌شود؛ مثال: احتراق در دیگ‌های بخار، کوره‌ها، وسایل نقلیه، و سایر موارد تحت مالکیت و یا کنترل آن شرکت. حوزه‌ی دوم، مربوط به محاسبه‌ی انتشارات غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای ناشی از الکتریسته‌ی خریداری شده برای مصارف شرکت می‌باشد. حوزه‌ی سوم، مربوط به دیگر انتشارات غیرمستقیم گازهای گلخانه‌ای است که در نتیجه‌ی فعالیت‌های آن شرکت ایجاد می‌شود اما این انتشارات، از منابعی صورت می‌گیرد که تحت مالکیت و یا کنترل آن شرکت نیستند. نمونه‌هایی از فعالیت‌های مربوط به حوزه¬ی سوم عبارت‌اند از: انتشارات ناشی از استخراج و تولید مواد خریداری شده، حمل و نقل سوختِ خریداری شده و استفاده از محصول‌ها و خدمات فروخته شده. در محاسبه‌ی ردپای آب نیز می‌توان بین مولفه‌های **مستقیم** و **غیرمستقیم** ردپای آب تمایز قائل شد. بر اساس تعریف، کل ردپای آب یک مصرف‌کننده و یا تولیدکننده، کل آب‌هایی است که به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم توسط این مصرف‌کننده و یا تولیدکننده مصرف می‌شود. این بدان معنی است که اگر چیزی به صراحت بیان نشده باشد، اصطلاح ردپای آب شامل مجموع ردپاهای آب مستقیم و غیرمستقیم می‌شود.

در مورد محاسبه‌ی ردپای آب، تمایز قایل شدن بین حوزه‌های دوم و سوم، بدان شیوه که در محاسبه‌ی ردپای کربن بیان شد، مفید نخواهد بود. به این ترتیب، در محاسبه‌ی ردپای آب، تنها دو حوزه‌ی ردپای آب مستقیم و ردپای آب غیرمستقیم وجود خواهد داشت.

۱. منظور، ردپای آب در کل زنجیره‌ی تأمین کالاها و خدمات مورد نیاز برای آن فعالیت است.

باید تنها ردپای آب داخل یک کشور را لحاظ نمود یا ردپای آب مصارف ملی؟

منظور از ردپای آب داخل یک کشور[1]، کل حجم آب شیرینی است که درون مرزهای یک کشور مصرف و یا آلوده می‌شود. این مقدار، شامل حجم آب مصرفی برای تولید محصول‌های مصرف شده در داخل کشور و هم‌چنین تولید محصول‌های صادراتی کشور، می‌باشد. "ردپای آب یک کشور" با "ردپای آبِ مصارف ملی"[2] که معرف کل آب مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات مصرفی توسط ساکنان آن کشور می‌باشد، متفاوت است. ردپای آبِ مصارف ملی هم به آب مصرف شده درون یک کشور و هم به آبی که در خارج از مرزهای این کشور، منحصراً برای برای تولید محصول‌های مصرفیِ ساکنان کشور مورد نظر استفاده می‌شود، دلالت دارد. بنابراین، ردپای آبِ مصارف ملی، شامل مؤلفه‌های داخلی و خارجی می‌باشد. در نظر گرفتن ردپای آب خارجی در تحلیل‌ها، عاملی کلیدی برای داشتن تصویر کاملی از این‌که چگونه می‌توان مصارف ملی را نه تنها به مصرف آب در داخل آن کشور، بلکه به مصرف آب در خارج از آن کشور منسوب نمود و هم‌چنین برای تحلیل میزان وابستگی آبی[3] و پایداری واردات، می‌باشد. در صورتی‌که تنها مصارف منابع آب درون یک کشور مهم باشد، در نظر گرفتن ردپای آب داخل یک کشور کفایت می‌کند.

۲-۳ حوزه‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب

اولین سوال در مرحله‌ی تحلیل پایداری ردپای آب آن است که آیا قرار است این پایداری، از منظر جغرافیایی تحلیل شود و یا از منظر یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولیدکننده. از منظر جغرافیایی، باید پایداری ردپای آب کل در یک ناحیه‌ی مشخص بررسی گردد و ترجیحاً بهتر است که این محدوده‌ی جغرافیایی، یک حوضه‌ی کوچک و یا کل حوضه‌ی یک رودخانه باشد، زیرا این موارد، واحدهای طبیعی‌ای هستند که به راحتی می‌توان در آن‌ها، ردپای آب را با آب در دسترس مقایسه و دریافت که تخصیص منابع آب و یا درگیری‌های احتمالی در کجا صورت می‌گیرد. در تحلیلِ پایداری از دیدگاه یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولیدکننده، مجموع ردپای درون یک محدوده‌ی جغرافیایی مهم نیست، بلکه تمرکز اصلی روی سهمِ آن فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولیدکننده در مجموع ردپای آب می‌باشد. سوال مربوط به تعیین این سهم‌ها مشتمل بر دو بخش است:

(۱) سهم ردپای آب یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده یا تولیدکننده‌ی خاص در ردپای آب جهانی انسان چیست؟

(۲) سهم این‌ها در مجموع ردپاهای آب در نواحی جغرافیایی معین چیست؟

1 . Water footprint within a nation
2 . Water footprint of national consumption
3 . Water dependency

در تحلیل پایداری، تعیین سهم در مجموع ردپای آب جهان به این دلیل جالب است که منابع آب شیرین جهان، محدود هستند، بنابراین، باید به هر سهمی که از نظر فنی و اجتماعی، فراتر از حداکثر نیاز منطقی خود است توجه نمود. تعیین این سهم‌ها در مجموع ردپاهای آب در یک حوضه‌ی کوچک خاص و یا کل حوضه‌ی یک رودخانه از این حیث مهم است که باید به سهم‌هایی که منتج به تأمین نشدن نیازهای زیست‌محیطیِ پایه و یا تخصیصِ ناپایدار آب از نظر اجتماعی و یا اقتصادی شده‌اند، توجه نمود.

بنابراین، در درجه‌ی اول، حوزه‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب، بستگی به دیدگاه منتخب برای ارزیابی دارد. در تمام موارد، باید بسته به اهداف مورد نظر، دامنه‌ی ارزیابی به‌طور شفاف تعیین نمود. برای ارزیابی پایداری از دیدگاه جغرافیایی، می‌توان چک‌لیست زیر را به کار برد:

- آیا پایداری ردپای آب سبز، آبی و خاکستری بررسی می‌شود؟
- آیا ابعاد زیست‌محیطی، اجتماعی و/یا اقتصادیِ پایداری در نظر گرفته می‌شود؟
- آیا تنها شناسایی نقاط کانونی مدنظر است و یا اثرات اولیه و/یا ثانویه‌ی این نقاط کانونی نیز تحلیل می‌شود؟

پاسخی که به آخرین سوال داده می‌شود، سطح جزئیاتی که باید در تحلیل‌ها به‌کار گرفته شود، را تعیین می‌کند. برای شناسایی نقاط کانونی – یعنی یافتن (زیر)حوضه‌های کوچکی که در آن‌ها، ردپای آب، در طول یک دوره‌ی معینی از یک سال خاص، ناپایدار است- باید ردپاهای آب سبز و آبی با موجودیت آب‌های سبز و آبی و ردپاهای آب خاکستری را با ظرفیت موجود برای جذب آلاینده‌ها[1]، مقایسه نمود. در تعیین نقاط کانونی، نیاز به تحلیل و تفسیر پیامدهای منفیِ اولیه و ثانویه‌یِ حاصل از کمبود[2] و یا آلودگی آب[3] با جزئیات بالا نخواهد بود. افزایش دقت مکانی و زمانی در هنگام مقایسه‌ی ردپاهای آب با آب در دسترس منجر به شناخت بهتر نقاط کانونی می‌شود. استفاده از مقادیر سالانه ردپاهای آب در سطح کل حوضه‌ی آبریز، منتج به شناخت غیر دقیق نقاط کانونی خواهد شد. اگر دقت بیش‌تری در تعیین این نقاط لازم باشد، باید مقادیر ماهانه ردپاهای آب و مقادیر آن‌ها در سطوح حوضه‌های کوچک‌تر، مدنظر قرار بگیرد. اگر هدف، فراتر از شناسایی نقاط کانونی بوده و مشتمل بر درک بهتری از آن‌چه واقعاً ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی تداعی می‌کند باشد، باید به تفسیر این مسأله با جزئیات بالا پرداخت که چگونه ردپای آب درون یک حوضه‌ی کوچک، جریان و کیفیت

1 . Available waste assimilation capacity
2 . Water scarcity
3 . Water pollution

آب در آن محدوده را متأثر می‌سازد (اثرات اولیه) و چگونه این مسأله، در نهایت، شاخص‌های نهایی مانند رفاه، عدالت اجتماعی، سلامت بشر و تنوع زیستی را متأثر می‌سازد (اثرات ثانویه).
اگر تحلیل ارزیابی ردپای آب یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولیدکننده مدنظر باشد، می‌توان به این موارد پرداخت:

(۱) آیا ردپای آب این موارد، سهمی بی‌رویه و غیرضروری در ردپای آب جهانی بشر دارد و
(۲) آیا ردپای آب آن‌ها، در نقاط کانونی مشخصی رخ می‌دهند؟

برای نیل به هدف اول، لازم است ردپای آب هر فرآیند یا محصول با بنچ‌مارک جهانی مرتبط مقایسه شود، به شرطی‌که چنین بنچ‌مارک‌هایی وجود داشته باشند. در صورت نبود این بنچ‌مارک‌ها، باید دامنه‌ی این ارزیابی را تا حد تعیین این بنچ‌مارک‌ها توسعه داد. برای دانستن این مطلب که آیا ردپای آب یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولیدکننده، در نقطه‌ی کانونی خاصی رخ می‌دهد یا خیر، تنها باید تعیین نمود که آیا این ردپاهای آب در آن نقاط اتفاق می‌افتند یا خیر. این مسأله، مستلزم موجودیت پایگاه داده نقاط کانونی جهان با دقتِ مکانی و زمانیِ موردنیاز می‌باشد. اگر چنین پایگاه داده‌ای وجود نداشته باشد، باید مطالعات حوضه‌ای را برای حوضه‌های آبریزی که بخش (اعظم) ردپاهای آب فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولیدکننده‌ی موردنظر در آن قرار دارد، انجام داد.

۲-٤ حوزه‌ی تدوین عکس‌العمل به ردپای آب

مرحله‌ی تدوین عکس‌العمل‌ها نیز به نوع ردپای آبی که مدنظر است، بستگی دارد. برای بررسی ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین، سوال این است که چه چیزی و توسط چه کسی می‌تواند انجام شود که سبب کاهش ردپای آب درون آن محدوده‌ی جغرافیایی شود و این کاهش، تا چه حد و در چه بازه زمانی اتفاق می‌افتد؟ در زمان تدوین دامنه‌ی عکس‌العمل‌ها، دقیقاً باید مشخص نمود که **پاسخگو کیست؟** می‌توان نگاهی –به آنچه دولت می‌تواند انجام دهد–، داشت؛ این، احتمالاً اولین چیزی است که وقتی درباره‌ی ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی صحبت می‌شود، مردم بدان فکر می‌کنند، اما؛ به عنوان مثال، هم‌چنین می‌توان به آن‌چه مصرف‌کنندگان، کشاورزان، شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران توانایی انجام آن ها را دارند و آنچه باید از طریق همکاری‌های بین دولت‌ها صورت بگیرد، نیز فکر نمود.

در باره‌یِ مشارکت دولت، باید بین سطوح مختلف دولت و سازمان‌های دولتی مختلف در هر سطح، تمایز قایل شد؛ برای مثال، در سطح کشوری، عکس‌العمل‌های مورد نیاز را می‌توان همان

اقدامات صورت‌گرفته در وزارت‌خانه‌های مختلف، اعم از وزارت‌خانه‌های آب، محیط‌زیست، کشاورزی، انرژی و برنامه‌ریزی تا وزارت‌خانه‌های اقتصادی، تجارت و امور خارجه، قلمداد نمود. در زمان تدوین دامنه‌ای برای شناسایی عکس‌العمل‌ها، تعیین دقیق این مسأله که این اقدام‌ها قرار است از چه زاویه‌ای تعیین شوند، اهمیت بسیاری خواهد داشت.

در مورد ردپای آب یک مصرف‌کننده یا جمعی از مصرف‌کنندگان، تنها می‌توان به آنچه از سوی مصرف‌کننده انجام می‌شود، توجه نمود، اما حتی در این زمان هم، می‌توان کاری که توسط دیگر افراد، هم‌چون شرکت‌ها و دولت قابل انجام است، را مدنظر قرار داد. در صورتی‌که بحث تدوین عکس‌العمل‌ها در زمینه ارزیابی ردپای آب یک شرکت مدنظر باشد، بهتر است دست‌کم به مواردی که توسط خود شرکت در این باره، قابل انجام است توجه نمود، اما می‌توان حوزه‌ی ارزیابی را وسعت بخشید و با دید فراتری به این موضوع پرداخت.

فصل سوم

محاسبه‌ی ردپای آب

۳-۱ سهم بشر از آب شیرین: چه چیزی را اندازه‌گیری می‌کنیم و چرا؟

آب در سطح زمین پیوسته در حرکت است. انرژی خورشیدی و باد باعث تبخیر آب از سطح خاک و آب آزاد می‌شود. علاوه بر آن، گیاهان، آب را از خاک جذب نموده و از راهِ فرآیندی به نام تعرق، از طریق روزنه‌هایی که در سطح برگ‌هایشان قرار دارند، به اتمسفر بازمی‌گردانند. مجموع فرآیندهای تبخیر و تعرق، تبخیر-تعرق[1] نامیده می‌شود (هرچند در زبان عامیانه، این واژه به اختصار به صورت تبخیر[2] به کار برده شده، و شامل فرآیند تعرق نیز می‌باشد). میزان آب موجود در اتمسفر، از طریقِ تبخیر-تعرق افزایش یافته و حین بارش کاهش می‌یابد. بخار آب موجود در جو، با الگوهای پیچیده‌ای در اطراف جهان حرکت می‌کند. بنابراین، مقدار آبی که به واسطه‌ی تبخیر از مکانی خارج می‌شود، الزاماً به واسطه‌ی بارش به همان مکان باز نمی‌گردد. بارش، باعثِ افزایش میزان آب در سطح زمین می‌شود و تبخیر-تعرق از میزان آن می‌کاهد. زمانی که میزان بارش از میزان تبخیر-تعرق بیش‌تر شود (البته نه در مقیاس زمانی روزانه، بلکه در دوره‌های زمانی بلندمدت)، آب مازادی در سطح زمین وجود خواهد داشت که این آب مازاد، تبدیل به رواناب می‌شود. رواناب در نهایت، به اقیانوس بازمی‌گردد. وجود آب مازاد در یک مکان، می‌تواند به معنیِ تبخیر مازاد از اقیانوس‌ها باشد. در یک نگاه کلی، می‌توان بیان داشت که اتمسفر، باعث برقراری جریان خالصی از آب از سمت اقیانوس‌ها به سمت سطح زمین شده، و رواناب، دوباره این جریان را از سطح زمین به اقیانوس‌ها بازمی‌گرداند. بخشی از رواناب، به صورت جریان‌های سطحی شکل می‌گیرد (رودخانه‌ها و رودها) و بخشی به صورت جریان زیرزمینی حادث می‌شود. به این ترتیب- به واسطه‌ی چرخه‌ی طبیعیِ آب - حجم آبی که در نهایت، در سطح زمین باقی می‌ماند، تقریباً ثابت خواهد بود.

انسان برای تمام اهداف خود به آب شیرین نیاز خواهد داشت. آب‌های شورِ اقیانوس‌ها برای نوشیدن، شست‌وشو، خنک‌نمودن، آبیاری مزارع و یا بسیاری از فعالیت‌های صنعتی مناسب نیستند. اگرچه آب‌های شور را می‌توان برای چنین مصارفی، شوری‌زدایی نمود ولی این فرآیند، مستلزم صرف هزینه و انرژی بوده و کاربرد چنین آبی، تنها برای تعداد محدودی از فعالیت‌ها امکان‌پذیر خواهد بود. علاوه بر این، آب‌های شور تنها در نواحی ساحلی موجود است، در حالی که بخش اعظمی از نیازهای آبی بشر، در نواحی‌ای بسیار دورتر از ساحل رخ می‌دهد. بنابراین، مسأله‌ی حمل و نقل آب نیز معضل دیگری خواهد بود. به طور خلاصه، انسان عمدتاً نیازمند آب شیرینی است که در سطح زمین قرار دارد. اگرچه از طریقِ چرخه‌ی طبیعی آب، آب‌های شیرین دوباره در سطح زمین تجدید می‌شوند، لکن

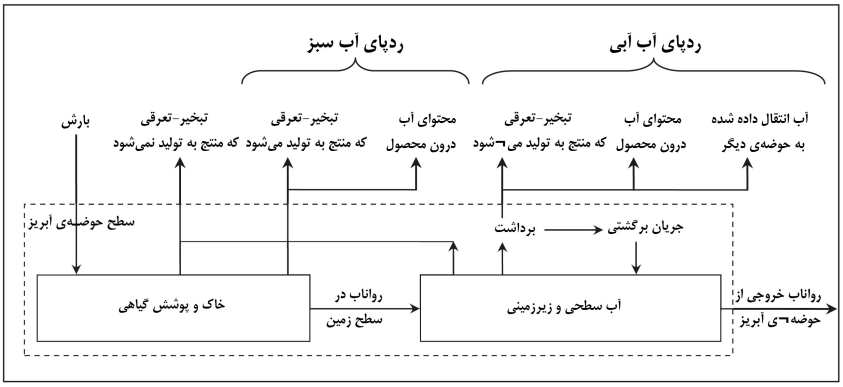
1 . Evapotranspiration

۲. توجه شود در سراسر این کتاب، واژه تبخیر، به هر دو ترم تبخیر و تعرق اشاره دارد که به اختصار به صورت تبخیر ذکر شده است.

موجودیت آب‌های شیرین نامحدود نیست. در طول یک سال، مردم به حجم معینی از آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعت نیاز دارند که این مقدار، نباید فراتر از میزان آب تجدیدپذیری سالانه باشد. بنابراین، سوال اصلی آن است که: چه مقدار آب شیرین در یک بازه‌ی زمانی معین وجود دارد و سهم واقعی بشر از آن چقدر است؟ محاسبه‌ی ردپای آب، داده‌هایی را فراهم می‌آورد که به وسیله‌ی آن می‌توان پاسخی برای بخش دوم سوال فوق به‌دست آورد. ردپای آب اساساً، سهم واقعی بشر از منابع آب شیرین را به صورت حجمی آب بیان می‌کند. مقایسه‌ی ردپای آب بشر با میزان آب شیرین واقعیِ در دسترس، بخشی از ارزیابی ردپای آب است که در فصل بعدی به‌آن پرداخته شده‌است.

برای درک سهم بشر از آب شیرین در ارتباط با چرخه‌ی هیدرولوژیکی، می‌توان حوضه‌ی یک رودخانه را درنظر گرفت. این حوضه کل محدوده‌ی جغرافیایی‌ای است که به وسیله‌ی یک رودخانه‌ی اصلی و انشعابات آن زهکشی می‌شود. تمامیِ رواناب‌های این حوضه‌ی رودخانه، به یک خروجی واحد منتهی می‌شوند. واژگان دیگری که اغلب برای حوضه‌ی رودخانه به کار می‌روند، شامل محدوده‌ی آبریز، حوضه‌ی زهکشی، محدوده‌ی زهکشی و آبخیز هستند. مقدار سالانه‌ی کل آب در دسترس در یک حوضه بر اساس حجم بارش سالانه تعیین می‌شود. وقتی تغییرات محتمل اما ناچیز مقدار ذخیره‌ی آب در یک حوضه نادیده گرفته می‌شود، از جریان بارش سالانه‌ی کل، بخشی به صورت تبخیر و بخشی به واسطه‌ی رواناب، از حوضه خارج می‌شوند. هم تبخیر و هم رواناب می‌تواند صرف مصارف انسانی شود. ردپای آب سبز، میزان تبخیر[۱] صورت گرفته از سطح زمین برای مصارف انسانی است که اغلب برای پرورش گیاهان و یا جنگل‌کاری استفاده می‌شود (شکل ۳-۱). ردپای آب آبی، مبین میزان رواناب مصرفی است؛ یعنی بخشی از آب برداشت شده از حوضه که مجدداً به شکل جریان‌های برگشتی به آن حوضه باز نمی‌گردد.

۱. اینجا منظور از تبخیر، مجموع تبخیر-تعرق می‌باشد.



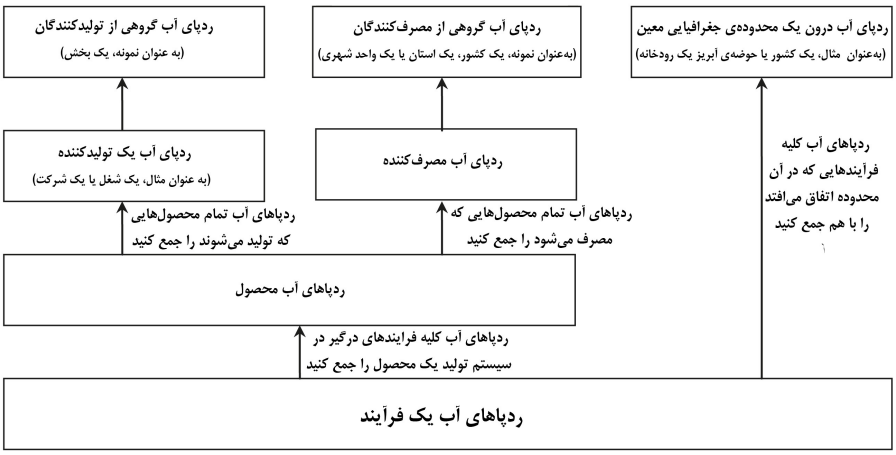
شکل ۳-۱ ردپای آب سبز و آبیِ مربوط به بیلان آب یک حوضه‌ی آبریز.

در طول تاریخ، جریان رواناب منبع آب شیرین و تخلیه‌ی پسماندها در نظر گرفته می‌شد. پرواضح است، استفاده از رواناب که منبع یا مخزن محسوب می‌شود، با محدودیت‌هایی همراه است. حجم محدودی از رواناب قابل برداشت است و هم‌چنین این رواناب، ظرفیت محدودی برای جذب پسماند دارد. ردپای آب آبی، حجم آب مؤثری است که از جریان رواناب کل برداشت شده و نشان‌دهنده‌ی ظرفیت شیر اختصاصی[1] است. ردپای آب خاکستری، ظرفیت پذیرش پسماند[2] را نشان می‌دهد. ردپای آب خاکستری، با عنوان حجم آب مورد نیاز برای جذب پسماندها، تعریف شده و به صورت حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها -تا حدی که کیفیت آب در آن محیط، به حد مجاز استانداردهای کیفی آب برسد-، محاسبه می‌شود. فایده‌ی اندازه‌گیری شدت آلودگی آب بر حسب حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها آن است که تمام شکل‌های مختلف آلودگی را با بعدی یکسان، یعنی به صورت حجم آب اختصاص داده شده برای جذب پسماند، بیان می‌کند. علاوه بر آن، وقتی شیوه‌ی بیان آلودگی آب به همان شکلی باشد که مصرف آب بیان می‌شود، می‌توان استفاده از رواناب -که منبع (ردپای آب آبی) در نظر گرفته می‌شود-، را با استفاده‌کردن از آن، با مخزن (ردپای آب خاکستری) مقایسه نمود.

1 . Appropriated tap capacity
2 . Appropriated waste assimilation capacity

۳-۲ ارتباط بین محاسبات انواع مختلف ردپای آب

ردپای آب یک مرحله از یک فرآیند، زیربنای تمامی محاسبات ردپای آب است (شکل ۳-۲ و کادر ۳-۱ را ببینید). ردپای آب یک محصول میانی یا نهایی[۱] (کالا یا خدمات)، از حاصل جمع ردپاهای آب فرآیندهای مختلفی که برای تولید آن محصول رخ می‌دهد، به‌دست می‌آید. ردپای آب یک مصرف‌کننده، تابعی از ردپای آب محصول‌های مختلفی است که توسط آن مصرف‌کننده، مصرف می‌شود؛ به عنوان مثال ردپای آب یک گروه از مصرف‌کنندگانِ –ساکنان یک شهر، یک روستا، یک ایالت یا یک کشور – از حاصل جمع ردپاهای آب تک تک اعضای آن جامعه به‌دست می‌آید. ردپای آب یک تولیدکننده و یا هر نوع تجارت یا فعالیت، برابر با حاصل جمع ردپاهای آب محصول‌هایی است که آن تولیدکننده و یا تجارت، ارائه می‌کند. ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی معین– که می‌تواند یک استان، یک کشور، یک زیرحوضه و یا حوضه باشد– برابر با حاصل جمع ردپای آب تمامی فرآیندهایی است که در آن محدوده اتفاق می‌افتد.



شکل ۳-۲ ردپای آبِ فرآیند، پایه‌ای برای تمامی ردپاهای آب دیگر.

۱. منظور از محصول میانی (Intermediate product)، محصولی است در حین یک فرآیند و یا مجموعه‌ای از فرآیندها، یعنی در میانه‌ی راه، به‌دست آمده و محصول خروجی در پایان کار نیست و منظور از محصول نهایی (Final product)، محصولی است که در انتهای آن فرآیند و یا مجموعه‌ای از فرآیندها به‌دست می‌آید.

کل ردپای آب بشر، برابر حاصل جمع ردپاهای آب تمامیِ مصرف‌کنندگان در جهان است که خود برابر مجموع ردپاهای آب تمامی مصرف‌کنندگانِ نهاییِ کالاها و خدمات و مجموع تمام فرآیندهای مصرف‌کننده و یا آلوده‌کننده‌ی آب در جهان است.

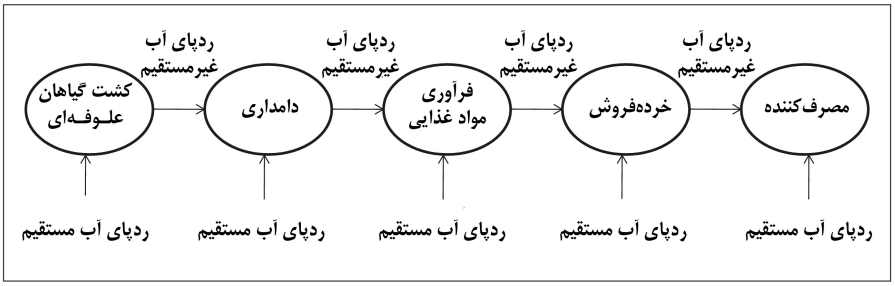
کادر ۳-۱. رابطه‌ی بین انواع ردپاهای آب

- ردپای آب یک محصول = مجموع ردپاهای آب فرآیندهای مرتبط با تولید آن محصول (با لحاظ کل محصول و زنجیره‌ی تأمین)
- ردپای آب یک مصرف‌کننده = مجموع ردپاهای آب تمامی محصول‌هایی که توسط مصرف‌کننده، مصرف می‌شود.
- ردپای آب یک جامعه = مجموع ردپاهای آب اعضای آن جامعه.
- ردپای آب مصارف ملی = مجموع ردپاهای آب ساکنان آن.
- ردپای آب یک فعالیت = مجموع ردپاهای آب محصول‌های نهایی آن فعالیت
- ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی (به‌عنوان نمونه یک شهر، یک استان، یک ایالت، یک کشور، یک زیرحوضه و یا حوضه) = مجموع ردپاهای آب فرآیندهایی که در آن محدوده‌ی جغرافیایی رخ می‌دهد.

ردپای آب محصول‌های نهایی -که توسط مصرف‌کنندگان، مصرف می‌شوند- را می‌توان با رعایت اصل جلوگیری از انجام محاسبات مضاعف، با هم جمع نمود. این مسأله، به‌خاطر این واقعیت است که ردپاهای آب فرآیند همیشه یا منحصراً به یک محصول نهایی اختصاص داده می‌شود و یا، وقتی یک فرآیند، منتج به تولید بیش از یک محصول نهایی می‌شود، ردپای آب آن فرآیند بین محصول‌های نهایی مختلف تقسیم می‌شود. جمع کردن ردپاهای آب محصول‌های میانی مفهوم ندارد زیرا در این صورت، محاسبات مضاعف وجود خواهد داشت؛ به‌عنوان مثال، اگر ردپای آب پارچه‌ای که از پنبه تولید شده با ردپای آب پنبه‌ی جمع شود، محاسبات مضاعف به این دلیل رخ می‌دهد که ردپای آب آن پارچه محتوی ردپای آب پنبه‌ی نیز می‌باشد. به طور مشابه، ردپای آب هر مصرف‌کننده را می‌توان با اطمینان از نبود وقوع محاسبات مضاعف، با هم جمع نمود اما، باید توجه داشت که ردپاهای آب تولیدکنندگان مختلف را نمی‌توان با هم جمع نمود، زیرا این کار، قطعاً منتج به انجام محاسبات مضاعف خواهد شد.

ردپای آب مصرف‌کنندگان وابسته به ردپاهای آب تولیدکنندگان در زنجیره‌ی تأمین است. شکل ۳-۳، نمونه ساده‌شده‌ای از زنجیره‌ی تأمین یک محصول دامی را نشان می‌دهد. ردپای آب کل یک مصرف‌کننده، مجموع ردپاهای آب مستقیم و غیرمستقیم آن مصرف‌کننده می‌باشد. وقتی که

مصرف‌کنندگان گوشت را مدنظر قرار می‌دهیم، منظور از ردپای آب مستقیم مصرف‌کننده، حجم آبی است که از طریقِ تهیه و پخت گوشت، مصرف یا آلوده می‌شود.

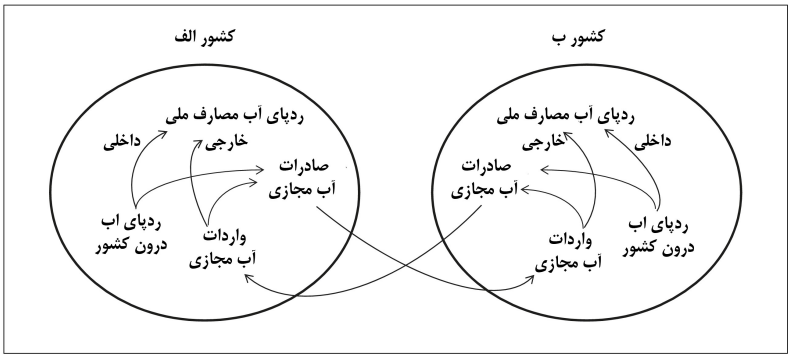


شکل ۳-۳ ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم در هر مرحله از زنجیره‌ی تأمین یک محصول دامی.

ردپای آب غیرمستقیم مصرف‌کننده‌ی گوشت، به ردپای آب مستقیم خرده‌فروشی که گوشت را می‌فروشد، فرآورنده‌ی مواد غذایی‌ای که گوشت را برای فروش آماده می‌سازد، واحد دامداری که دام‌ها را پرورش می‌دهد و مزرعه‌ی گیاهانی که غذای دام را تولید می‌کند، بستگی دارد. ردپای آب غیرمستقیم خرده‌فروش به ردپای آب مستقیم فرآوردنده‌ی مواد غذایی، واحد دامداری، مزرعه‌ی تولید گیاه و غیره بستگی دارد.

ردپای آب مصرف کنندگان یک محدوده[1]، برابر با ردپای آب درون یک محدوده[2] نیست، اما، آن‌ها به هم وابسته‌اند. شکل ۳-۴ ارتباط بین ردپای آب مصارف ملی و ردپای آب کشور[3] را به صورت یک مثال ساده شده برای دو کشوری که در تعامل تجاری با هم هستند، نشان می‌دهد. ردپای آب داخلی[4] مصارف ملی، معادل بخشی از ردپای آب درون یک کشور است که در آن، ردپای آب مربوط به تولید محصولات صادراتی لحاظ نشده است. "ردپای آب داخلی"[5] مصارف ملی را می‌توان با توجه به میزان محصول‌های وارداتی (و بنابراین، آبی که به صورت مجازی وارد می‌شود) و ردپای آب آن محصول‌ها در کشور صادرکننده تعیین نمود.

1 . Water footprint of the consumers in an area
2 . Water footprint within an area
3 . Water footprint within a nation
4 . Internal water footprint
5 . Internal water footprint



شکل ۳-۴ ارتباط بین ردپای آب مصارف ملی و ردپای آب درون یک کشور در یک نمونه‌ی ساده شده برای دو کشور در تعامل با یکدیگر.

ردپای آب، به صورت حجم آب هر محصول یا حجم آب در واحد زمان بیان می‌شود (کادر ۳-۲). ردپای آب یک فرآیند، به صورت حجم آب در واحد زمان بیان می‌شود. اگر مقدار ردپای آب یک فرآیند بر مقدار محصولِ خروجیِ آن فرآیند تقسیم شود، می‌توان آن را بر حسب حجم آب در واحد تولید محصول نیز بیان نمود. ردپای آبِ یک محصول، همیشه به صورت حجم آب در واحد تولید محصول (معمولاً مترمکعب بر تن یا لیتر بر کیلوگرم) بیان می‌شود. ردپای آب یک مصرف‌کننده و یا یک تولیدکننده در یک محدوده، همیشه به صورت حجم آب در واحد زمان بیان می‌شود. بسته به سطح جزئیات مدنظر، ردپای آب می‌تواند در واحد روز، ماه و یا سال بیان شود.

۳-۳ ردپای آب برای یک مرحله از یک فرآیند

۳-۳-۱ ردپای آب آبی

ردپای آب آبی، معیاری از میزان آب آبی مصرفی است که شامل آب‌های شیرین سطحی و یا زیرزمینی می‌باشد. واژه‌ی " آب مصرفی"[1] به یکی از چهار مورد زیر اشاره می‌کند:

- آبی که تبخیر می‌شود؛
- آبی که در داخل یک محصول جای می‌گیرد[2]؛
- آبی که از یک حوضه برداشت می‌شود، اما دوباره به همان حوضه باز نمی‌گردد؛ به‌عنوان مثال، به حوضه‌ی دیگر و یا به دریا بازمی‌گردد؛

1 . Consumptive water use
2 . Incorporated water into a product

- آبی که در یک دوره‌ی زمانی مشخص از حوضه‌ای برداشت می‌شود، اما در همان دوره‌ی زمانی به آن حوضه باز نمی‌گردد؛ به‌عنوان مثال، آبی که در یک دوره‌ی خشک برداشت می‌شود و در دوره‌ی مرطوب بازمی‌گردد.

کادر ۳-۲ واحدهای ردپای آب

- ردپای آب یک فرآیند، به صورت حجم آب در واحد زمان بیان می‌شود. اگر این حجم آب، بر مقدار محصولی که طی آن فرآیند به‌دست می‌آید، تقسیم شود (میزان محصول در واحد زمان)، ردپای آب یک فرآیند را می‌توان بر حسب حجم آب به ازای هر واحد تولید نیز بیان نمود.
- ردپای آب یک محصول، همیشه بر حسب حجم آب به ازای واحد تولید بیان می‌شود؛ برای مثال:
  - حجم آب به ازای واحد جرم (زمانی که واحد جرم، معیار مناسبی برای توصیف مقدار محصول است)
  - حجم آب به ازای واحد پول (برای محصول‌هایی که استفاده از واحد پول برای آن‌ها، اطلاعات بیش‌تری در مقایسه با واحد وزن به‌دست می‌دهد)
  - حجم آب به ازای هر قطعه (برای محصول‌هایی به جای وزن، بر حسب تعداد آن‌ها شمرده می‌شوند)
  - حجم آب به ازای واحد انرژی (به ازای هر کیلوکالری برای محصولات غذایی و یا به ازای هر ژول برای الکتریسیته و یا سوخت‌ها)
- ردپای آب یک مصرف‌کننده و یا یک فعالیت، به صورت حجم آب بر واحد زمان بیان می‌شود. هم‌چنین، اگر ردپای آب بر واحد زمان بر میزان درآمد (برای مصرف‌کننده) و یا بازگشت سرمایه (برای فعالیت‌ها) تقسیم شود، می‌توان آن را بر حسب حجم آب بر واحد پول نیز بیان نمود. ردپای آب گروهی از مصرف‌کنندگان می‌تواند بر حسب حجم آب در واحد زمان به ازای هر نفر بیان شود.
- ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی به صورت حجم آب در واحد زمان بیان می‌شود. اگر این مقدار بر درآمد آن محدوده تقسیم شود، می‌تواند بر حسب حجم آب در واحد پول نیز بیان شود.

تبخیر، بخش عمده‌ی ردپای آب آبی را تشکیل می‌دهد. به همین دلیل، اغلب آب مصرفی را معادل تبخیر می‌پندارند، ولی در صورت لزوم، باید سه مؤلفه‌ی دیگر را نیز در محاسبات وارد نمود. تمامی تبخیری که در حین تولید رخ می‌دهد، باید درنظر گرفته شود. این تبخیر، شامل تبخیر حینِ ذخیره‌سازی آب (به‌عنوان مثال، از مخازن مصنوعی آب)، حین انتقال (به‌عنوان مثال، از کانال‌های روباز)، حین فرآوری (به‌عنوان مثال، تبخیر از آب گرم که دوباره جمع‌آوری نمی‌شود) و حین جمع‌آوری و دفع (به‌عنوان مثال، تبخیر از کانال‌های زهکشی و از ایستگاه‌های تصفیه‌ی فاضلاب)، می‌باشد.

مصرف آب، به این معنی نیست که آب از بین می‌رود، زیرا این آب دوباره طی چرخه‌ی آب در زمین باقی می‌ماند و همیشه به مکان دیگری بازمی‌گردد. آب، یک منبع تجدیدپذیر است اما، این بدان معنی نیست که همیشه در دسترس است. در یک بازه‌ی زمانی معین، مقدار تغذیه‌ی سفره‌های آب زیرزمینی و میزان ورودی به جریان‌های آب سطحی مقدار معینی است. آب موجود در رودخانه‌ها و

آبخوان‌ها می‌تواند برای آبیاری، صنعت و یا شرب مصرف شود. اما در یک بازه‌ی زمانی معین، نمی‌توان آبی بیش‌تر از آنچه در دسترس است را مصرف نمود. ردپای آب آبی، بخشی از آب آبی در دسترس در یک بازه‌ی زمانی معین که به مصرف می‌رسد را اندازه‌گیری می‌کند (باید توجه داشت که این آب، بلافاصله به همان حوضه برنمی‌گردد). به این ترتیب، ردپای آب آبی، شاخصی برای اندازه‌گیری بخشی از آب آبی در دسترس است که به وسیله‌ی مردم مصرف می‌شود. باقی مانده‌ی آب، یعنی بخشی از آب‌های زیرزمینی و سطحی که به وسیله‌ی انسان‌ها مصرف نمی‌شود، برای حفظ اکوسیستمی که متکی بر جریان‌های سطحی و زیرزمینی است، در محل باقی می‌ماند.
ردپای آب یک فرآیند به صورت زیر[۱] محاسبه می‌شود:

(۱) $WF_{proc,blue} =$ **جریان آب برگشتی از دست رفته + آب آبی جاسازی شده + آب آبی تبخیر شده** (زمان/حجم)

منظور از ترم آخر در این معادله (یعنی جریان آب برگشتی از دست‌رفته)، بخشی از جریان آب برگشتی در یک حوضه است که برای مصارف مجدد در همان حوضه و در همان زمانِ برداشت، در دسترس نیست. این مسأله، یا به دلیل آن است که این جریان، به حوضه‌ی آبریز دیگری وارد می‌شود (و یا به دریا می‌پیوندد) و یا به آن دلیل است که این جریان، در زمان دیگری به حوضه‌ای که آب از آن برداشت شده است، بازمی‌گردد.

در تحلیل ردپای آب آبی یک فرآیند (بسته به تعریف محدوده مطالعه)، بهتر است انواع منابع آب آبی تفکیک شوند. مناسب‌ترین نوع تفکیک، تعیین سهم منابع آب سطحی، جریان آب زیرزمینی (تجدیدپذیر) و آب‌های زیرزمینی فسیلی از یکدیگر می‌باشد. پس می‌توان، ردپای آب آبی سطحی، ردپای آب آبی زیرزمینی تجدیدپذیر و ردپای آب آبی زیرزمینی فسیلی، را از یکدیگر تفکیک نمود (و یا اگر فردی علاقمند به استفاده از رنگ‌ها برای این ردپاها باشد، می‌تواند آن‌ها را به صورت ردپای آب آبی کمرنگ، ردپای آب آبی پررنگ، و ردپای آب آبی سیاه از هم تفکیک نماید). در عمل، انجام چنین تفکیکی، به دلیل محدودیت داده‌های مورد نیاز، کار دشواری است و به همین دلیل است که اغلب چنین تفکیکی صورت نمی‌گیرد. با این وجود، اگر داده‌ها کافی باشند، تفکیک ردپای آب بر اساس نوع منبع آب آبی امکان‌پذیر خواهد بود؛ به‌عنوان نمونه، این منابع را ببینید:
Aldaya and Llamas, 2008; Aldaya and Hoekstra, 2010; Mekonnen and Hoekstra, 2010b

۱. در این باره، منظور از آب جاسازی شده (Incorporation water)، آبی است که تبخیر نمی‌شود، بلکه در داخل محصول قرار دارد؛ به عنوان نمونه، یک گیاه علاوه بر تعرق، بخشی از آبی که جذب می‌کند را در سلول‌های خود نگاه می‌دارد که این آب، همان آب جاسازی شده می‌باشد.

در زمان تفکیک ردپای آب آبی کل بر حسب نوع منابع آب آبی مورد استفاده، ممکن است بخواهیم میزان مصرف از منابع آب باران استحصال شده را نیز به صراحت مشخص نماییم. استحصال آب باران یک مورد خاص است زیرا، ممکن است این سوال پیش بیاید که آیا این منابع آب، در زمره‌ی منابع آب سبز محسوب می‌شود یا آب آبی؟ غالباً منظور از استحصال آب باران، جمع‌آوری آب بارانی است که در صورت نبود جمع‌آوری، تبدیل به رواناب خواهد شد. از آنجایی که استحصال آب باران، باعث کاهش رواناب می‌شود، پیشنهاد ما آن است که این نوع منبع آب را در زمره‌ی منابع آب آبی قلمداد نماییم. استحصال آب باران برای فراهم نمودن آب آشامیدنی، تأمین آب برای مصارف دام و یا آب برای آبیاری گیاهان و یا باغچه‌ها کاربرد دارد. تا زمانی که جمع‌آوری موضعی رواناب مدنظر باشد – مانند مواقعی که استحصال آب باران از پشت‌بام‌ها یا دیگر سطوح سخت صورت می‌گیرد، و یا مواقعی که آب باران به سمت استخرهای کوچک هدایت می‌شود – می‌توان استفاده از این منابع را در محاسبه‌ی ردپای آب آبی لحاظ نمود. برعکس، اگر صحبت درباره‌ی استحصال آب باران از طریق افزایش قابلیت نگهداشت آب در خاک و یا نگهداشت آب باران در سقف‌های سبز باشد، استفاده از این آب برای تولید گیاه در محاسبه‌ی ردپای آب سبز لحاظ خواهد شد.

ردپای آب یک فرآیند، بر حسب واحد آب بر واحد زمان، مانند روز، ماه یا سال، بیان می‌شود. وقتی میزان آب مصرفی، بر مقدار محصولی که در نتیجه‌ی آن فرآیند به‌دست می‌آید، تقسیم می‌شود، می‌توان ردپای آب آن فرآیند را بر حسب واحد آب بر واحد محصول نیز بیان نمود. در کادر ۳-۳ مشخص شد که از کجا باید داده‌های مورد نیاز برای محاسبه‌ی ردپای آب آبی را به‌دست آورد.

این بخش را با بررسی دو مورد خاص -که ممکن است چگونگی محاسبه صحیح برای آن‌ها، به راحتی برای خواننده قابل درک نباشد-، به پایان می‌بریم. مورد اول، مسأله‌ی بازیافت و استفاده‌ی مجدد از آب است. مورد دوم، پاسخ به این سوال است که چگونه باید محاسبه‌ها را در شرایطی که انتقال آب بین‌حوضه‌ای وجود دارد، انجام داد.

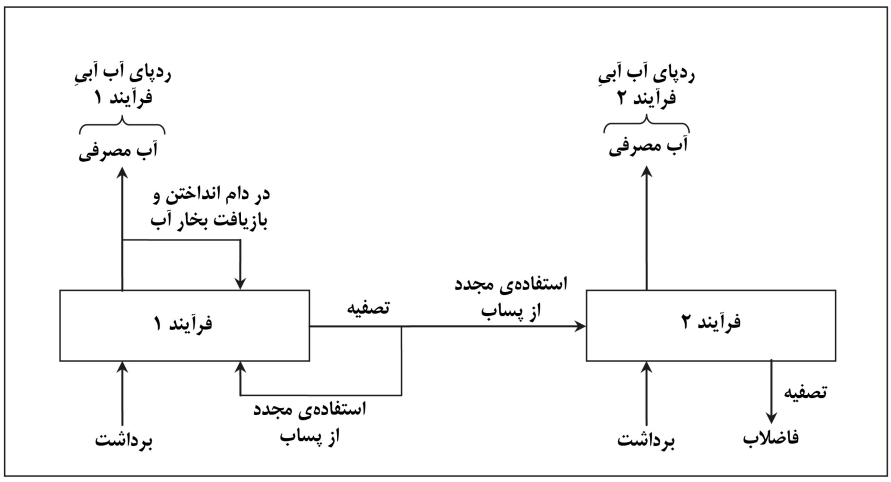
کادر ۳-۳ منابع داده‌های مورد نیاز برای محاسبه‌ی ردپای آب آبی

فرآیندهای صنعتی. هریک از اجزای ردپای آب آبی یک فرآیند را می‌توان به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم اندازه‌گیری نمود. به طور کلی، مقدار آبی که به صورت مستقیم، در پروسه‌ی(=فرایند) تولید محصول اضافه شده و جزئی از آن محصول می‌شود، مشخص است. مقدار آبی که در طول فرآیندهای ذخیره‌سازی آب، انتقال، فرآوری محصول و دفع، تبخیر می‌شود، معمولاً به صورت مستقیم قابل اندازه‌گیری نیست، اما، می‌توان آن‌ها را از تفاضل مقدار آب برداشت شده و مقدار آبی که در نهایت دفع می‌شود، به‌دست آورد. در حالت ایده‌آل، می‌توان به بانک‌های داده‌ای که شامل مقادیر معمولِ مصارف آب برای انواع مختلف فرآیندهای ساخت می‌باشد، اکتفا نمود. با این وجود، چنین بانک‌های داده‌ای، به ندرت وجود دارند، و یا اگر هم موجود باشند، اغلب شامل داده‌های برداشت آب هستند و نه مصرف آب. علاوه بر آن، این داده‌ها اغلب فاقد جزئیات لازم بوده و به جای آن‌که مشتمل بر داده‌هایی برای مصرف آب به ازای هر فرآیند صنعتی باشند، تنها شامل داده‌هایی مصرف آب هر واحد صنعتی (به‌عنوان مثال، پالایشگاه‌های شکر، کارخانه‌های نساجی و کارخانه‌های کاغذ و غیره) هستند. دو مجموعه‌ی غنی برای این داده‌ها، در پژوهش‌های گلریک (Gleick, 1993) و ون‌لیدن و همکاران (Van der Leeden *et al*., 1990) وجود دارد ولی هر دوی آن‌ها، تنها برای آمریکا بوده و غالباً داده‌های برداشت آب را شامل می‌شوند. هم‌چنین، می‌توان داده‌های مورد نیاز را از بانک‌های داده‌ی اختصاصی، مانند آنچه در ایکواینت‌وان (Ecoinvent, 2010) وجود دارد استخراج نمود، اما این داده‌ها نیز اغلب مشتمل بر داده‌های آب برداشتی است و نه آب مصرفی. بهترین منبع برای تأمین داده‌های آب آبی مصرفی در فرآیندهای ساخت، همان کارخانه‌های مربوطه و یا سازمان‌های منطقه‌ای و یا جهانی می‌باشند.

فرآیندهای کشاورزی. به طور معمول، داده‌هایی که برای آب آبیِ مصرفی در کشاورزی وجود دارد، تنها حجم آب آبی که برای آبیاری برداشت شده، را نشان می‌دهد نه حجم آب آبی مصرفی را. اندازه‌گیریِ میزان تبخیر- تعرق در یک مزرعه، کاری دشوار است. حتی در صورتی‌که مقدار کل تبخیر-تعرق اندازه‌گیری شده باشد، باید مشخص نمود که چه بخشی از آن مربوط به آب آبی است. بنابراین، می‌توان از مدل‌های بیلان آب که ورودی‌های آنها داده‌های اقلیمی، خاک، گیاه و آبیاری واقعی هستند، استفاده نمود. بخش ۳-۳-۴، با جزئیات بیش‌تری چگونگی تخمین ردپای آب آبی در فرآیند رشد گیاه را با استفاده از این مدل‌های بیلان آب نشان می‌دهد. گروه‌های معدودی از محققان در جهان، با استفاده از نقشه‌هایی جهانی که محل رشد گیاهان مختلف را نشان می‌دهند و نقشه‌های جهانی که برای اقلیم، خاک و آبیاری وجود دارند، شروع به تخمینِ مقادیر مکانیِ ردپای آب آبی (وسبز) گیاهان نموده‌اند؛ برای مثال، چهار منبع برای داده‌های جهانی روی گندم وجود دارد: لیو و همکاران (Liu *et al*., 2007, 2009; Siebert and Döll, 2010; Mekonnen and Hoekstra, 2010; Zwart *et al*., 2010)، در سایت شبکه‌ی ردپای آب - www.waterfootprint.org – داده‌های مکانی ردپای آب برای غالب گیاهان تحت کشت در جهان گزارش شد. این داده‌ها می‌توانند برای محاسبه‌ی ردپای آب در سطح "ب" مورد استفاده قرار بگیرند (جدول ۲-۱ را ببینید). برای انجام محاسبات در سطح "ج"، باید حتماً از یک مدل بیلان آب مناسب، همراه با داده‌های ورودی محلی استفاده نمود.

بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد از آب

بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد از آب، اغلب، دو گزینه‌ی جایگزین برای یکدیگر به شمار می‌روند. در این بخش، منظور از بازچرخانی آب[1]، به طور مشخص، استفاده‌ی مجدد از آب در همان محل برای همان کاربرد قبلی‌اش بوده و منظور از استفاده‌ی مجدد از آب[2]، استفاده‌ی مجدد از آب در مکانی دیگر و احتمالاً، برای کاربردی دیگر است. در مورد بازچرخانی آب، می‌توان بین بازیافت آب فاضلاب (به وسیله‌ی تصفیه آن برای استفاده‌ی مجدد) و بازیافت آب تبخیرشده (با متراکم نمودن بخار آب برای استفاده‌ی مجدد)، تمایز قابل شد. انواع مختلف بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد آب به صورت ساده در شکل ۳-۵ نشان داده شد. این شکل، دو فرآیند را نشان می‌دهد که دومین فرآیند، از فاضلاب خروجی فرآیند اول که تصفیه شده است، استفاده می‌کند. این تصویر شماتیک نشان می‌دهد که برای محاسبه‌ی ردپای آب آبی در هر دو فرآیند، باید مقدار آب مصرفی (یعنی آب تبخیر شده و آب جاسازی‌شده در محصول‌ها) محاسبه شود. بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد از آب تنها زمانی می‌تواند باعث کاهش ردپای آب آبی شود که میزان آب مصرفی را کاهش دهد. بازچرخانی و استفاده‌ی مجدد از آب هم‌چنین، می‌تواند ابزاری برای کاهش ردپای آب خاکستریِ کاربران آب باشد. این مسأله در بخش بعدی که مربوط به ردپای آب خاکستری است، بحث خواهد شد.



شکل ۳-۵ محاسبه‌ی ردپای آب آبی در شرایط بازیافت و استفاده‌ی مجدد از آب.

1 . Water recycling
2 . Water reuse

انتقال آب بین حوضه‌ای

انتقال آب بین‌حوضه‌ای، به معنی برداشت از حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی الف و انتقال آن – به وسیله‌ی خطوط لوله، کانال‌ها و یا حمل فله‌ای آن (به وسیله‌ی کامیون یا کشتی) – به حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی ب، می‌باشد. بر اساس تعریف ردپای آب آبی، مقدار آبی که از یک حوضه به جایی دیگر منتقل می‌شود، را باید در محاسبه‌ی ردپای آب آبی همان حوضه‌ای که آب از آن برداشت شد، در نظر گرفت، زیرا بخشی از آب مصرفی آن حوضه می‌باشد، نه حوضه‌ی مقصد. بنابراین، ردپای آب آن دسته از فرآیندهایی که در حوضه‌ی ب اتفاق می‌افتد و از آبی که از حوضه‌ی الف وارد شد استفاده می‌کند، در حوضه‌ی الف قرار دارد و مقدار آن، برابر با مقدار آب دریافت شده در حوضه‌ی ب، به اضافه‌ی آبی که حین انتقال آب بین‌حوضه‌ای تلف شده است، خواهد بود. اگر مصرف‌کنندگان آب در حوضه‌ی ب، بخشی از آب استفاده شده را به حوضه‌ی خود برگردانند[1]، در حقیقت، منابع آب در حوضه‌ی ب افزایش یافت. این آب اضافه شده، می‌تواند ردپای آب دیگر کاربرانی که آب را در حوضه‌ی ب مصرف می‌کنند، جبران نماید. در این حالت، ممکن است اینگونه استدلال شود که انتقال آب بین‌حوضه‌ای باعثِ ایجاد مقادیر منفی برای ردپای آب آبی در حوضه‌ی آبریز گیرنده شده است (به شرطی که آب تبخیر نشود و در حقیقت، به منابع آبیِ موجود در حوضه‌ی آبریز پذیرنده اضافه شود). ردپای آب آبیِ منفی در حوضه‌ی ب می‌تواند بخشی از ردپای آب مثبت دیگر کاربران آب در حوضه‌ی ب را جبران نماید. باید توجه شود که این مورد به معنی جبران ردپای آب آبی در حوضه‌ی الف نیست! وقتی هدف، ارزیابی کل ردپای آب بشر در حوضه‌ی ب باشد، توصیه می‌کنیم که مقادیر احتمالی ردپای آب آبی منفی که به واسطه‌ی مقدار واقعیِ آبی که به آن حوضه منتقل شده ایجاد می‌شود، در نظر گرفته شود (به شرطی که این مقادیر منفی، واقعاً باعث جبران مقادیر مثبت ردپای آبی که در همان زمان در آن حوضه رخ می‌دهد، شود).

وقتی ردپای آب به صورت جداگانه برای فرآیندها، محصول‌ها، مصرف‌کنندگان و یا تولیدکنندگان محاسبه می‌شود، باید در محاسبات، از مقادیر منفیِ محاسبه شده برای ردپای آب صرف‌نظر نمود تا بتوان بحث واضحی روی مقادیر ناخالص ردپای آب یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده و یا تولید کننده و هم‌چنین روی جبران‌های احتمالی داشت. مسأله‌ی جبران خسارت، جای بحث داشته و باید جدای از فاز محاسبه‌ی ردپای آب، مورد بررسی قرار بگیرد. این مسأله مطرح است که عمل‌کرد خوب در یک حوضه (به‌عنوان مثال، به واسطه‌ی ایجاد ردپای آب آبی منفی در آن حوضه)، نمی‌تواند ردپای

---

۱. منظور آن است که بخشی از این آبی که از حوضه‌ی الف به حوضه‌ی ب انتقال داده شده است، از سویِ مصرف‌کنندگان حوضه‌ی ب مصرف نشود و در آن حوضه ب باقی بماند.

آب آبی مثبتی که در حوضه‌ای دیگر ایجاد می‌شود، را جبران نماید، زیرا معضل تخلیه‌ی آب و پیامدهای پس از آن در یک محل، از طریقِ اضافه نمودن آب – از طریق عمل‌کرد مطلوب – در محلی دیگر، حل نمی‌شود. در این حالت، اضافه نمودن مقادیر منفی ردپای آب آبی به مقادیر مثبت آن می‌تواند گمراه‌کننده باشد. برای اطلاعات بیش‌تر در مورد امکانِ جبران ردپای آب در یک حوضه از راه اضافه نمودن آب در حوضه‌ای دیگر، فصل ۵ را بخوانید (کادر ۵–۲).

۳-۳-۲ ردپای آب سبز

ردپای آب سبز، شاخصی برای مصارف انسانی آب سبز است. منظور از آب سبز، بخشی از آب باران است که تبدیل به رواناب نشده و یا باعث تغذیه‌ی آب‌های زیرزمینی نمی‌شود، بلکه در خاک ذخیره شده و یا به صورت موقت، در سطح خاک یا پوشش گیاهی باقی می‌ماند. در نهایت، این بخش از باران، تبخیر شده و یا از طریقِ گیاهان تعرق می‌شود. آب سبز می‌تواند در رشد و تولید گیاه مؤثر باشد (البته تمام آب سبز نمی‌تواند به وسیله‌ی گیاه جذب شود، زیرا همیشه مقداری از این آب، صرف تبخیر از خاک شده، بخشی از سال شرایط مناسبی برای رشد گیاه وجود ندارد یا کل اراضی قابل کشت نمی‌باشند).

ردپای آب سبز، حجمی از آب باران است که در فرآیند تولید، مصرف می‌شود. ردپای آب سبز، به ویژه برای تولیدات کشاورزی و جنگل‌داری –یعنی تولیداتی که از گیاهان یا چوب به‌دست می‌آیند– به کار می‌رود. در این حالت، ردپای آب سبز مجموع آب بارانی است که صرف تبخیر– تعرق شده (از مزارع و گیاهان) به اضافه‌ی آبی که در هنگام برداشت در گیاه و یا چوب ذخیره شده است. ردپای آب سبز در یک فرآیند به صورت زیر محاسبه می‌شود:

(۲) $WF_{proc,blue}$ = **آب آبی تبخیر شده** + **آب سبز جاسازی شده** + **جریان آب برگشتی از دست رفته** (زمان/حجم)

از آنجایی‌که عواقب هیدرولوژیکی، زیست‌محیطی و اجتماعی و هزینه‌های تحمیل شده در استفاده از آب‌های سطحی و زیرزمینی برای تولید، کاملاً با عواقب و هزینه‌های ناشی از کاربرد آب باران فرق دارد (Falkenmark and Rockström, 2004; Hoekstra and Chapagain, 2008)، تفکیک ردپاهای آب سبز و آبی حایز اهمیت می‌باشد.

میزان آب سبز مصرفی در کشاورزی را می‌توان به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود و یا با استفاده از مجموعه‌ای از روابط تجربی و یا یک مدل گیاهی –که ورودی آن داده‌های اقلیمی، خاک و گیاهی

است–، برآورد کرد. جزییات بیش‌تر در باره نحوه برآورد آب سبز در فرایند رشد گیاه در بخش ۳–۳–۴ ارایه شد.

۳–۳–۳ ردپای آب خاکستری

ردپای آب خاکستری یک فرآیند، شاخصی برای میزان آلودگی آب شیرین است که به دلیل آن فرآیند، ایجاد شده است. این شاخص، برای پذیرش بار آلاینده‌ها با لحاظ غلظت‌های طبیعی و استانداردهای کیفی موجود در محل مورد نظر، مبین حجم آب مورد نیاز می‌باشد. مفهوم ردپای آب خاکستری، بر پایه‌ی این مهم توسعه داده شد که می‌توان آلودگی آب را به صورت حجم آب شیرین مورد نیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها، تا حدی که بی‌خطر شوند، تعریف نمود (کادر ۳–۴).

کادر ۳–۴ تاریخچه‌ی مفهوم ردپای آب خاکستری

ردپای آب خاکستری، حجم آب مورد نیاز برای پذیرش آلاینده‌هاست و به صورت حجم آب لازم برای رقیق‌سازی آلودگی تا رساندن غلظت آب در یک محیط به حداکثر حد مجاز در استانداردهای کیفیِ آب در آن محیط، تعریف می‌شود. ایده‌ی تعریف ردپای آب به صورت حجم آب لازم برای رقیق‌سازی پسماند، ایده‌ی جدیدی نیست. بر اساس یک قانون سرانگشتی، فالکن مارک و لیند (*Falkenmark and Lindh, 1974*)، حجم آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی پسماند را ۱۰ تا ۵۰ برابر حجم فاضلاب عنوان نمودند. پستل و همکاران (*Postel et al.., 1996*) ضریب رقیق‌سازی برای جذب آلاینده‌ها را معادل ۲۸ لیتر بر ثانیه به ازای هر ۱۰۰۰ واحد آلودگی در نظر گرفتند. در محاسبه‌ی این مقادیر عمومی که ضرایب رقیق‌سازی محسوب می‌شود، نوع آلاینده و میزان تصفیه قبل از دفع پسماندها درنظر گرفته نشد، بلکه تنها میانگین برخی ویژگی‌ها برای جریان‌های پسماند ناشی از فعالیت‌های انسانی لحاظ شد. چاپاگین و همکاران (*Chapagain et al., 2006b*) پیشنهاد نمودند که بهتر است ضرایب رقیق‌سازی، بر اساس نوع آلودگی تعیین و استانداردهای کیفیت آب پیرامون، معیاری در تعیین نیاز رقیق‌سازی در نظر گرفته شود. واژه‌ی "ردپای آب خاکستری"، برای اولین بار از سویِ هوکسترا و چاپاگین (*Hoekstra and Chapagain, 2008*) ارایه شد، که حاصل تقسیمِ بار آلودگی بر حداکثر غلظت قابل پذیرش در سیستم آبی است که آلودگی بدان وارد می‌شود. کمی بعد، تعریف ردپای آب خاکستری به‌صورت حاصل تقسیم بارآلودگی بر تفاضل حداکثر غلظت مجاز و غلظت طبیعیِ آلاینده اصلاح شد (*Hoekstra et al., 2009a*). فعالیت کارگروه ردپای آب خاکستری در شبکه‌ی ردپای آب در نهایت، منتج به اصلاحات دیگری هم‌چون موارد زیر شد: لحاظ کیفیت آب مصرفی در محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری و ایده‌ی به‌کارگیری رویکرد چند مرحله‌ای در محاسبه‌های آب خاکستری با هدف تمایز بین سطوح مختلف جزئیات در ارزیابی ردپای آب خاکستری برای آلاینده‌های غیرمتمرکز.[1]

اگرچه ردپای آب خاکستری را می‌توان به صورت "آب مورد نیاز برای رقیق‌سازی" بیان نمود، اما بهتر است که چنین واژه‌ای برای آن استفاده نشود، زیرا استفاده از این واژه، می‌تواند باعث سردرگمی افرادی شود که گمان می‌کنند این واژه، مبین آن است که باید به جای کاهش میزان انتشار آلودگی‌ها، آلودگی‌های منتشر شده را رقیق ساخت؛ چنین برداشتی، قطعاً مفهوم اصلی ردپای آب خاکستری را تداعی نمی‌سازد. ردپای آب خاکستری، شاخصی برای آلودگی بوده و هرچه آلودگی کم‌تر باشد، بهتر است. تصفیه فاضلاب قبل از دفع آن، مطمئناً باعث کاهش ردپای آب خاکستری شده و حتی می‌تواند آن را به صفر برساند.

برخی پژوهش‌های اخیر که در آن محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری صورت گرفته است، عبارتند از:
Dabrowski et al., 2009; Ercin et al., 2009; Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2009; Van Oel et al., 2010; Aldaya and Hoekstra, 2010; Bulsink et al., 2010; Chapagain and Hoekstra, 2010; Mekonnen and Hoekstra, 2010a,b.

ردپای آب خاکستری، از تقسیم بار آلاینده (L، بر حسب جرم بر زمان) بر تفاضل بین استاندارد کیفیت آب موجود در محیط پیرامون[۱] برای آن آلاینده (حداکثر غلظت مجاز آلاینده، c_{max}، بر حسب واحد جرم بر حجم) از مقدار غلظت طبیعی آن آلاینده در سیستم آبی که آلودگی بدان وارد می‌شود (c_{nat}، بر حسب واحد جرم بر حجم)، به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$WF_{proc,grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} \quad \text{حجم بر زمان} \qquad (۳)$$

غلظت طبیعی آلاینده در منبع آبیِ پذیرنده[۲]، غلظتی از آلاینده در آن منبع آبی است که در صورت نبودِ مداخله‌های بشری در حوضه احتمال وجود آن می‌رفت. برای موادی که ساخته‌ی دست بشر است[۳]، $c_{nat} = 0$ خواهد بود،[۴] اما اگر مقدار واقعی صفر c_{nat} نباشد، چنین فرضی باعث کم‌برآورد نمودن ردپای آب خاکستری خواهد شد.

ممکن است این سوال پیش بیاید که چرا مقدار غلظت طبیعیِ آلاینده، مرجع درنظر گرفته می‌شود و غلظت واقعیِ آلاینده در منبع آبی پذیرنده[۵]، معیار محاسبات قرار نمی‌گیرد؟ دلیل این کار آن است که ردپای آب خاکستری، شاخصی برای ظرفیت پذیرش پسماند است. ظرفیت جذب آلاینده‌ها در یک منبع آب، به تفاضل بین حداکثر غلظت مجاز یک ماده و غلظت طبیعی آن در آن منبع بستگی دارد. اگر حداکثر غلظت مجاز ماده‌ای با مقدار واقعی آن مقایسه شود، می‌توان باقیمانده‌ی ظرفیت جذب آن ماده را تعیین نمود که مسلماً این مقدار، دائما در حال تغییر و در هر زمانی تابعی از مقدار واقعی آلودگی در آن زمان می‌باشد.

محاسبه‌های ردپای آب خاکستری با استفاده از استانداردهای کیفیت آب برای منبع آبی پذیرنده، یعنی استانداردهایی که برای حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌ها وجود دارد، صورت می‌گیرد. این بدان دلیل است که هدف از برآورد ردپای آب خاکستری، تعیین مقدار آبی است که باید در محیط وجود داشته‌باشد که قادر به جذب مواد شیمیایی باشد. استانداردهای کیفیت آب در محیط پیرامون، گروه خاصی از استانداردهای کیفی آب هستند؛ به عنوان مثال، دیگر گروه‌های آن، شامل استانداردهای کیفی آب

---

۱. استانداردهای کیفیت آب پیرامون (Ambient water quality standards)، به استانداردهایی که برای کیفیت آب موجود در محیط پیرامون یک ناحیه‌ی مشخص وجود دارد، اشاره می‌کند. در کل این کتاب، این واژه از این پس، به صورت "استانداردهای کیفیت آب" ارایه می‌شود.

۲. منبع آبی که آلاینده بدان وارد می‌شود.

۳. یعنی موادی که به صورت طبیعی، در طبیعت وجود ندارند.

۴. زیرا این مواد به صورت طبیعی در منابع آب وجود ندارند.

۵. یعنی آن غلظتی از آلاینده‌ی منتخب که در زمان محاسبات، در منبع آبی مدنظر وجود دارد.

شرب، استانداردهای کیفی آب آبیاری و استانداردهای انتشار (یا پساب) می‌باشند. در استفاده از استانداردهای کیفیت آب باید دقت نمود. برای یک آلاینده‌ی خاص، استانداردهای کیفیت آب می‌تواند از منبعی به منبع آبی دیگر تغییر کند. علاوه بر آن، غلظت طبیعی آن ماده نیز می‌تواند از مکانی به مکان دیگر تغییر کند. در نتیجه، بار معینی از آلودگی می‌تواند منتج به مقادیر مختلفی برای ردپای آب در دو مکان مختلف شود. این یافته منطقی است زیرا، حجم آب مورد نیاز برای پذیرش بار معینی از آلودگی، متناسب با میزان اختلاف بین حداکثر غلظت مجاز و غلظت طبیعی آن آلاینده، تغییر می‌کند.

اگرچه استانداردهای کیفیت آب، اغلب در قوانین ملی و ایالتی وجود داشته و یا باید بر اساس چارچوب قوانین ملی و یا معاهدات منطقه‌ای برای هر حوضه‌ی آبریز و/یا هر پیکره‌ی آبی تدوین شود (مانند استانداردهایی که در چارچوب بخشنامه آب اروپا وجود دارد، این رفرنس را ببینید: EU, 2000)، لکن این استانداردها برای تمامی موارد و برای همه جا وجود ندارد. بدون شک، دانستن این که کدام یک از استانداردهای کیفیت آب و مقادیر غلظت‌های طبیعی را باید برای محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری در نظر گرفت، مهم‌ترین مساله به شمار می‌رود.

مقادیر استانداردهای کیفیت آب و هم‌چنین غلظت‌های طبیعی مواد برای منابع آب سطحی و زیرزمینی با هم فرق دارند. این آستانه‌ها برای آب‌های زیرزمینی اغلب بر اساس کیفیت آب مورد نیاز در مصارف شرب تعیین می‌شوند در حالی‌که حداکثر غلظت‌های مجاز (برای آلاینده‌های مختلف) در منابع آب سطحی، معمولاً بر اساس ملاحظات اکولوژیکی تعیین می‌شوند. بنابراین، می‌توان ردپای آب خاکستری را به صورت جداگانه برای منابع آب سطحی و زیرزمینی محاسبه نمود. مشکل اتخاذ این روش آن است که منابع آب زیرزمینی نیز در نهایت، به منابع آب سطحی می‌پیوندند. بنابراین، (هنگام محاسبه‌ی آب خاکستری) برای بار آلاینده‌ای که به آب‌های زیرزمینی وارد می‌شود، بهتر است حاصل تفاضل حدود مجاز و طبیعی آلاینده‌ی موردنظر را بر اساس غلظت‌های آستانه‌ی تعریف شده برای بحرانی‌ترین منبع آبی –که بسته به ویژگی‌های محیط و آلاینده، می‌تواند منبع آب سطحی و یا زیرزمینی باشد– محاسبه نمود. برای بار آلاینده‌ی ورودی به آب‌های سطحی، می‌توان از داده‌های مربوط به آب‌های سطحی استفاده نمود. اگر دقیقاً معلوم باشد که کدام بارها (ابتدا) به پهنه‌های آبی زیرزمینی می‌رسد و کدام بارها (مستقیماً) به آب‌های سطحی می‌رسد، ردپای آب خاکستری را می‌توان به دو مؤلفه‌ی ردپای آب زیرزمینی خاکستری[1] و ردپای آب سطحی خاکستری[2] تفکیک نمود.

1 . Grey groundwater footprint
2 . Grey surface-water footprint

مقادیر بیش‌تر از صفر برای ردپای آب خاکستری، به خودی خود بدان مفهوم نیست که استانداردهای کیفیت آب نقض شده است، بلکه تنها نشان می‌دهد که بخشی از ظرفیت پذیرش آلاینده‌ها (در یک منبع آبی مشخص) مصرف شده است. تا زمانی که مقادیر محاسبه شده برای ردپای آب خاکستری، کم‌تر از (حجم) جریان‌های آب سطحی و یا زیرزمینیِ موجود باشند، هم‌چنان آب برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها به غلظت‌هایی کم‌تر از استاندارد آن وجود خواهد داشت. وقتی ردپای آب خاکستری، دقیقاً برابر با حجم جریان آب در محیط پیرامون می‌شود، این بدان معناست که غلظتِ آلاینده در آب دقیقاً برابر با مقدار استاندارد است. وقتی بار مواد شیمیایی در فاضلاب خیلی زیاد باشد، ممکن است مقادیر محاسبه شده برای ردپای آب خاکستری، فراتر از حجم جریان آب رودخانه‌ها و یا حجم جریان آب‌های زیرزمینی باشد. در این حالت، آلودگی فراتر از ظرفیت پذیرش منبع آبی پذیرنده خواهد بود. این واقعیت که ردپای آب خاکستری می‌تواند فراتر از حجم جریان‌های موجود آب باشد، مبین آن است که ردپای آب خاکستری، "حجم آب آلوده شده" را نشان نمی‌دهد (زیرا، کسی نمی‌تواند حجم آب بیش‌تری در مقایسه با آنچه وجود دارد را آلوده سازد). در عوض، ردپای آب خاکستری، معیاری از شدت آلودگی آب است که به صورت حجم آب شیرین لازم برای پذیرش بار آلاینده‌های موجود تعریف می‌شود.

روشی که برای محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری به کار برده می‌شود، مانند روشی است که به اصطلاح، روش بار بحرانی[1] نامیده می‌شود (کادر ۳–۵). در هر دو روش، مسأله‌ی اساسی آن است که ظرفیت جذب پسماند در یک پیکره آبی، محدود به تفاضل بین غلظت‌های حداکثر و طبیعی می‌باشد. بار بحرانی مبین شرایطی است که تحت آن، تمام ظرفیت جذب پسماند، استفاده شده است. وقتی بار بحرانی وجود دارد، ردپای آب خاکستری برابر با جریان آب موجود خواهد بود که در این حالت، تمام آب موجود باید برای رقیق‌سازی مواد شیمیایی به کم‌تر از غلظت‌های مجاز استفاده شود.

منابع نقطه‌ای آلودگی آب[2]

در مورد منابع نقطه‌ای آلودگی آب، یعنی زمانی که مواد شیمیایی به‌صورت فاضلاب مستقیماً وارد آب‌های سطحی می‌شوند، بار آلاینده را می‌توان با اندازه‌گیری حجم فاضلاب و غلظت مواد شیمیایی در فاضلاب، برآورد نمود. به بیانی دقیق‌تر، بار آلاینده را می‌توان به‌صورت حاصل‌ضرب حجم فاضلاب ($Effl$، بر حسب واحد حجم بر زمان) در غلظت آن آلاینده در فاضلاب (c_{effl}، بر حسب واحد

1 . Critical-load approach
2 . Point-source of water pollution

جرم بر حجم) منهای حاصل‌ضرب حجم آب برداشتی (*Abstr*، بر حسب واحد حجم بر زمان) در غلظت واقعی آب مصرفی (c_{act}، بر حسب واحد جرم بر حجم) محاسبه کرد. سپس، ردپای آب خاکستری را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$WF_{proc,grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{Effl \times c_{effl} - Abstr \times c_{act}}{c_{max} - c_{nat}} \quad \text{بر حسب حجم بر زمان} \qquad (۴)$$

کادر ۳–۵ مفهوم بار بحرانی

وقتی بار ورودی به یک بدنه‌ی آبی جاری به مقدار معینِ بار بحرانی می‌رسد، ردپای آب خاکستری برابر با مقدار رواناب خواهد بود، به‌این معناکه کل رواناب برای پذیرش پسماند اختصاص داده می‌شود. بار بحرانی (L_{crit} بر حسب جرم بر زمان)، باری از آلاینده‌ها است که باعث می‌شود ظرفیتِ پذیریش آلاینده‌ها در پیکره آبی پذیرنده به صورت کامل استفاده شود. این بار، می‌تواند از حاصل‌ضرب میزان رواناب در آن پیکره آبی (*R*، بر حسب حجم بر زمان) در مقدار تفاضل حداکثر غلظت مجاز از غلظت طبیعی (**Cmax − Cnat**) به‌دست آید:

$$L_{crit} = R \times (c_{max} - c_{nat}) \quad \text{[جرم بر زمان]}$$

مفهوم بار بحرانی، مشابه مفهوم حداکثر بار روزانه‌ی کل (TMDL)[1] می‌باشد که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده‌ی آمریکا[1] (EPA, 2010a) توسعه داده شد. مقدار TMDL حداکثر مقدار مجاز برای ورود یک آلاینده به پیکره آبی را نشان می‌دهد که به ازای آن مقدار، آن پیکره از نظر آن آلاینده‌ی خاص، در حد استاندارد وجود داشته و باقی خواهد ماند و این بار را می‌توان به منابع آلودگی نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای که نشات‌گرفته از فعالیت‌های انسانی و طبیعی است، اختصاص داد. یکی دیگر از مفاهیمی که مشابه مفهوم "بار بحرانی" است، مفهوم حداکثر ماده‌ی افزودنی مجاز (MPA)[1] می‌باشد که از حاصل تفاضل حداکثر غلظت مجاز (MPC)[1] از غلظت پس‌زمینه[1] (غلظت طبیعی) به‌دست می‌آید، بنابراین، برابر است با *cmax – cnat* (Crommentuijn *et al*., 2000).

بنابراین، بار آلودگی (L) باری است که به بار قبلی، که پیش از انجام فعالیت مذکور در منبع آبی وجود داشت، اضافه می‌شود. یکی از مثال‌های کاربرد این رابطه برای یک مورد خاص در پیوست (د) ارایه شد. در اغلب شرایط، مقدار مواد شیمیایی که به یک منبع آبی تخلیه می‌شود ($Effl \times c_{effl}$)، برابر و یا بزرگ‌تر از مقدار مواد شیمیایی برداشتی (از آن منبع آبی) است ($Abstr \times c_{act}$)، بنابراین، بار، مثبت است. در شرایط استثنائی، ممکن است مقدار بار (یا به این دلیل که $c_{effl} < c_{act}$ و یا به این دلیل که $Effl < Abstr$)، منفی به‌دست آید که باید آن را در محاسبه‌های ردپای آب نادیده گرفت (بنابراین، در چنین مواردی باید از مقدار ردپای آب خاکستری صرف‌نظر شود). اگرچه باید تأثیر مثبت ناشی از شرایط استثناییِ بار منفی بر محیط‌زیست را تعیین نمود ولی به منظور جدا نمودن بحثِ مربوط به "جبران احتمالی ردپای آب" از بحث ردپای آب مثبت موجود، نباید بار منفی را در محاسبات ردپای

آب لحاظ نمود. جبران ردپای آب یا "بی‌اثرسازی[1]"، خودش یک مبحث مجزا است (کادر ۵-۲ در فصل ۵ را ببینید)، که باید مورد بحث قرار گرفته و (کاملاً) شفاف شود نه این‌که در محاسبات پنهان شود. لازم به یادآوری است که وقتی آب با هدفی خاص در حوضه‌ی الف برداشت می‌شود در حالی‌که فاضلاب به حوضه‌ی ب تخلیه می‌شود، هنگام محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری در حوضه‌ی ب، باید میزان برداشت آب (برای آن هدف در حوضه‌ی ب) را صفر در نظر گرفت.

وقتی آب مصرفی[2] وجود نداشته باشد، یعنی زمانی که حجم پساب برابر با میزان آب برداشتی است، رابطه‌ی بالا را می‌توان به‌صورت زیر ساده نمود:

$$WF_{proc,grey} = \frac{c_{effl} - c_{act}}{c_{max} - c_{nat}} \times Effl \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۵)$$

کسری که پیش از واژه‌ی $Effl$ قرار دارد ضریب رقیق‌سازی نام دارد که مبین تعداد دفعاتی است که باید فاضلاب با آب پیرامون رقیق شود تا (غلظت آن) به حداکثر غلظت مجاز برسد. چگونگی استفاده از این رابطه برای برخی موارد خاص در کادر ۳-۶ ارایه شد.

بارچرخانی و استفاده‌ی مجدد از آب

رابطه‌ی ۵ نشان می‌دهد که بازچرخانی یا استفاده‌ی مجدد از آب، روی ردپای آب خاکستری تأثیر می‌گذارد. وقتی –پس از تصفیه‌ی مورد نیاز – آب به صورت کامل، بازچرخانی شده و یا در همان کاربرد قبلی یا کاربرد جدید، دوباره استفاده می‌شود، فاضلابی در محیط‌زیست وجود نخواهد داشت و ردپای آب خاکستری صفر خواهد بود. با این حال، اگر پس از یک یا چندین بار استفاده‌ی مجدد از آب، هم‌چنان دفع فاضلاب به محیط‌زیست صورت بگیرد، آب خاکستری وجود خواهد داشت و مقدار آن به کیفیت فاضلاب بستگی دارد.

تصفیه‌ی پساب

اگر پساب، قبل از دفع به محیط زیست تصفیه شود، بدون شک باعث کاهش غلظت آلاینده در فاضلاب نهایی خواهد شد؛ بنابراین، این مسأله باعث کاهش ردپای آب خاکستری خواهد شد. باید توجه داشت که ردپای آب خاکستری یک فرآیند، به کیفیت فاضلابی که در نهایت، به محیط زیست تخلیه می‌شود، بستگی دارد، نه به کیفیت فاضلاب قبل از تصفیه. تصفیه‌ی پساب، زمانی می‌تواند

1 . Offsetting

۲. توجه داشته باشید که آب مصرفی با آب برداشتی فرق دارند. آب مصرفی، در حقیقت کسری از آب برداشتی است. برای توضیح بیش‌تر، واژه‌نامه را ببینید.

ردپای آب خاکستری را به صفر برساند که غلظت آلاینده‌ها در فاضلاب، برابر و یا کم‌تر از غلظت آن‌ها در منبع آبی باشد که آب از آن برداشت شد. به‌عنوان یک نکته‌ی جانبی، باید بیان داشت که اگر حین فرآیند تصفیه در حوضچه‌های روباز، تبخیر از آب صورت بگیرد، خودِ فرآیند تصفیه‌ی فاضلاب نیز دارای ردپای آب آبی خواهد بود.

کادر ۳-۶ ردپای آب خاکستری در موارد مختلفی از آلودگی‌های نقطه‌ای

اجازه دهید موارد رایجی که در آن، حجم فاضلاب برابر (و یا نزدیک) به حجم آب برداشتی است را بررسی کنیم:

- وقتی $c_{effl} = c_{act}$، ردپای آب خاکستری برابر با صفر خواهد بود. این مسأله به راحتی قبل درک است زیرا، غلظت (در) پیکره‌ی آبی پذیرنده تغییر نخواهد کرد.
- وقتی $c_{effl} = c_{max}$، ردپای آب خاکستری، کسر معینی از حجم فاضلاب خواهد بود. به‌علاوه، وقتی $c_{act} = c_{nat}$، ردپای آب خاکستری دقیقاً برابر با حجم فاضلاب خواهد بود. اگر این سوال پرسیده شود که چرا وقتی غلظت فاضلاب مطابق با استانداردهای کیفیت آب است، ردپای آب خاکستری بزرگ‌تر از صفر است؟ پاسخ آن است که بخشی از ظرفیت پذیرش آلاینده‌ها (در آن پیکره‌ی آبی) مصرف شده است[1]. به دلیل وجود فاضلاب، غلظت ماده‌ی شیمیایی در پیکره‌ی آبی دریافت‌کننده از c_{nat} به c_{max} می‌رسد. در شرایط بحرانی، که تحت آن، تمام آب در یک رودخانه برداشت شده و تبدیل به فاضلابی با غلظت c_{max} شده است، باید گفت که تمام ظرفیت جذب آن رودخانه استفاده شده و دیگر به اتمام رسیده است، بنابراین، ردپای آب خاکستری برابر با کل رواناب آن رودخانه است.
- وقتی $c_{effl} < c_{act}$، ردپای آب خاکستری منفی خواهد بود که این مسأله را می‌توان با استناد به این واقعیت توضیح داد که فاضلاب، پاک‌تر از آب مصرفی است. "پاک‌سازی"، در شرایطی که رودخانه هنوز در شرایط طبیعی قرار دارد، مفهوم نخواهد داشت؛ زیرا، برخی غلظت‌های طبیعی، عادی هستند (و ریشه‌ی طبیعی دارند). با این حال، اگر برخی فعالیت‌ها باعث افزایش این غلظت‌های طبیعی شوند، پاک‌سازی به معنی بازگرداندن غلظت آب در محیط به غلظت-های طبیعی سابق می‌باشد که این مسأله باعث بهبود کیفیت آب می‌شود. با این وجود، مقادیر محاسبه شده‌ی منفی برای ردپای آب خاکستری باید در محاسبات نادیده گرفته شوند تا بتوان مسأله‌ی مقدار واقعی ردپای آب مثبت یک فرد را از مسأله نقش احتمالی یک فرد در جبران (ردپای آب) تفکیک نمود. بحث جبران ردپای آب، یا "بی‌اثرسازی" در فصل ۵ مورد بررسی قرار گرفته است (کادر ۵-۲).
- وقتی $c_{max} = 0$ (در مورد آلاینده‌ی بسیار پایدار یا سمی که برای آن، هم‌چنین $c_{nat} = 0$ است)، هر فاضلابی با غلظتی بیش‌تر از صفر، باعث ایجاد مقدار بی‌نهایت بزرگی برای ردپای آب خاکستری خواهد شد. این "بی‌نهایت"، به معنی مطلقاً ممنوع است؛ مطلقاً غیرقابل قبول به این معنی است که ردپا سر به فلک کشیده است.

$c_{max} = c_{nat}$، نیز منتج به مقادیر بی‌نهایت بزرگی برای ردپای آب خاکستری می‌شود اما این مورد اتفاق نخواهد افتاد، زیرا تدوین استانداردها برابر با غلظت طبیعی، مفهوم نداشته و معمولاً (چنین چیزی) اتفاق نمی‌افتد.

برای (محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری ناشی از) آلودگی حرارتی، می‌توان روشی مشابه با (روش محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری مربوط به) آلودگی ناشی از مواد شیمیایی به کار برد. در این حالت، ردپای آب خاکستری به صورت تفاضل بین دمای جریان فاضلاب و دمای منبع آبی دریافت‌کننده (^oC) تقسیم بر حداکثر افزایش دمای مجاز (^oC) ضرب‌در حجم فاضلاب (حجم بر زمان) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$WF_{proc,grey} = \frac{T_{effl} - T_{act}}{T_{\max} - T_{nat}} \times Effl \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۶)$$

حداکثر افزایش دمای مجاز ($T_{max} - T_{nat}$) به نوع آب و ویژگی‌های محلی بستگی دارد. اگر دستورالعمل‌های محلی وجود نداشته باشد، پیشنهاد می‌کنیم که محاسبات بر اساس مقدار پیش‌فرض سه درجه انجام شود (EU, 2006).

منابع غیر نقطه‌ای آلودگی آب[1]

برآورد بار مواد شیمیایی از منابع غیر نقطه‌ای آلودگی آب، به سادگی آن‌چه برای منابع آلودگی نقطه‌ای بیان شد، نیست. وقتی یک ماده‌ی شیمیایی در سطح خاک مصرف می‌شود و یا داخل آن قرار داده می‌شود، مانند دفع پسماندهای جامد و یا استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها، ممکن است تنها کسری از آن‌ها به منابع آب زیرزمینی و یا رواناب‌های سطحی برسد. در این حالت، بار آلودگی کسری از کل مقدار مواد شیمیایی مصرفی (در سطح و یا داخل خاک) است که به آب‌های زیرزمینی یا سطحی رسیده است. مقدار مصرف مواد شیمیایی را می‌توان اندازه‌گیری نمود ولی کسری از موادشیمیایی مصرفی که به آب‌های زیرزمینی یا سطحی رسیده است، قابل اندازه‌گیری نیست زیرا، این مواد به صورت پراکنده و گسترده به آب می‌رسند و معلوم نیست که دقیقاً کی و کجا باید (مقدار) آن‌ها را اندازه‌گیری نمود. یکی از راهکارها آن است که کیفیت آب در خروجی حوضه اندازه‌گیری شود ولی از آنجایی‌که (در آن محل) منابع مختلف آلودگی با هم ترکیب شده‌اند، تعیین سهم منابع آلودگی غیر متمرکز در غلظتِ اندازه‌گیری شده (در خروجی حوضه)، چالش‌برانگیز خواهد بود. بنابراین، یک راهکار کاربردی و البته پیشنهادی در این بخش، آن است که کسری از این مواد شیمیایی مصرفی که وارد منابع آبی می‌شوند را با یک مدل‌سازی ساده یا پیشرفته تعیین نمود. روش مدل‌سازی ساده آن است

1 . Diffuse source of water pollution

که فرض کنیم در نهایت، کسر ثابت و مشخصی از مواد شیمیایی مصرفی به آب‌های زیرزمینی یا سطحی می‌رسند:

$$WF_{proc,grey} = \frac{L}{c_{max} - c_{nat}} = \frac{\alpha \times Appl}{c_{max} - c_{nat}} \quad \text{بر حسب حجم بر زمان} \qquad (۷)$$

فاکتور بدون بعد α، نشان‌دهنده‌ی کسر آبشویی–رواناب است که همان کسری از مواد شیمیایی مصرفی است که به آب‌های شیرین می‌رسد. متغیر *Appl*، مصرف مواد شیمیایی در سطح و یا داخل خاک، طی یک فرآیند معین را نشان می‌دهد (بر حسب جرم بر زمان). این مدل، یک مدل ساده و با کم‌ترین جزئیات، برای تخمین ردپای آب خاکستری در مورد آلودگی‌های غیرنقطه‌ای می‌باشد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود که تنها، آن را یک روش پیش‌فرض در نظر گرفت، آن‌هم در شرایطی که انجام مطالعه‌ای با جزئیات بیش‌تر به دلیل محدودیت‌های زمانی مقدور نیست، استفاده شود. استفاده از جزئیات در بالاترین سطوح نیز میسر است؛ پیشنهاد می‌شود که سه سطح از جزئیات در نظر گرفته شود. از سطح یک (روش پیش‌فرض) تا سطح ۳ (روش مبتنی بر بیش‌ترین جزئیات). در سطوح ۲ و ۳، داده‌های دقیق‌تر، و روش‌های پیشرفته‌تری استفاده می‌شوند.

کادر ۳–۷ روش سه سطحی در تخمین بار آلودگی از منابع غیرمتمرکز

یک روش سه سطحی، مشابه روش هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) برای تعیین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (IPPC, 2006)، برای برآورد بار آلودگی‌های غیرمتمرکز پیشنهاد می‌شود. از سطح یک به سه، دقت این روش افزایش می‌یابد، لکن قابلیت انجام آن کاهش می‌یابد.

- سطح ۱: از کسر ثابتی برای تبدیل میزان مصرف مواد شیمیایی در خاک، به میزان مواد شیمیایی‌ای که وارد آب زیرزمینی یا سطحی می‌شود، استفاده می‌گردد. این کسر، از متون علمی موجود استخراج می‌شود و به نوع ماده‌ی شیمیایی مورد نظر بستگی دارد. این سطح تنها یک تخمین کلی و اولیه را ارایه داده و از عواملی مانند نوع خاک، عملیات کشاورزی، هیدرولوژی خاک و برهم‌کنش بین مواد شیمیایی مختلف در خاک صرف‌نظر می‌کند.
- سطح ۲: برخی مدل‌های ساده و استاندارد (برای تعیین میزان آلودگی‌ای که به منابع آب می‌رسد) به‌کار گرفته می‌شود که استفاده از (این مدل‌ها)، نیازمند به‌کارگیری حجم وسیع و گسترده‌ای از داده‌ها (مانند داده‌های مربوط به بیلان‌های عناصر غذایی کشاورزی، داده‌های تلفات خاک، داده‌های پایه‌ی هیدرولوژیکی، اطلاعات پترولوژیکی و هیدرومورفولوژیکی) می‌باشد. این مدل‌های ساده و استاندارد را می‌توان از میان مدل‌هایی که قابل قبول و معتبر هستند، تعیین نمود.
- سطح ۳: از یک تکنیک مدل‌سازی پیچیده استفاده می‌کند به شرطی که منابع موجود امکان چنین کاری را فراهم آورده و هم‌چنین، انجام این روش، با توجه به موضوع منتخب، ضروری باشد. در حالی‌که مدل‌های مکانی دقیق برای جریان آلودگی در خاک موجود هستند، پیچیدگی این مدل‌ها، غالباً، قابلیت کاربرد آن‌ها برای مدل‌سازی بار آلودگی‌های گسترده بر مبنای سطح ۳ را محدود می‌سازد. با این حال، مدل‌های تجربی معتبری که از اطلاعات مربوط به فعالیت‌های مزرعه‌ای به‌دست آمده‌اند و داده‌های ساده‌ی خاک و آب و هوا را استفاده می‌کنند، برای مطالعات بار آلودگی‌های غیر متمرکز وجود دارند. مطالعات سطح ۳، باید برای بهبود نتایج به‌دست آمده از سطح ۲ به کار گرفته–شود.

تأثیر تبخیر بر کیفیت آب

شکل خاصی از آلودگی به سببِ تنزل کیفیت آب به‌دلیل تبخیر ایجاد می‌شود. با تبخیر بخشی از جریان آب، غلظت مواد شیمیایی در جریان آب باقی‌مانده افزایش می‌یابد (زیرا وقتی آب تبحیر می‌شود، مواد شیمیایی در آب باقی‌ماند)؛ به‌عنوان مثال، غلظت بالای نمک در پساب‌های زهکشی شده از مزارع فاریاب را درنظر بگیرید. در شرایط آبیاری مستمر، که حجم زه‌آب کم‌تر از حجم آب تبخیر شده باشد، نمکی که به‌صورت طبیعی در آب آبیاری وجود دارد در خاک تجمع می‌یابد (زیرا، آب تبخیر می‌شود، لکن نمک تبخیر نمی‌شود). در نتیجه، غلظت نمک در زه‌آب نیز زیاد خواهد بود. ممکن است فردی این موضوع را آلودگی بداند؛ اما، مسلماً این نوع آلودگی با آلودگی‌ای که در نتیجه‌ی اضافه‌نمودن مواد شیمیایی به آب توسط بشر ایجاد می‌شود، فرق دارد، زیرا در این حالت موادشیمایی دیگری اضافه نمی‌شود بلکه غلظت مقادیر طبیعی مواد شیمیایی، از طریقِ تبخیر، افزایش می‌یابد. تعبیر این مورد را می‌توان به تمامی مواردی که در آن‌ها، آب به‌دلیل تبخیر از سیستم خارج می‌شود، تعمیم داد. این مسأله، در مخازن مصنوعی که در آن آب تبخیر شده و موادشیمیایی تجمع می‌یابد، نیز اتفاق می‌افتد.

افزایش غلظت مواد شیمیایی در آب در اثر تبخیر و باقی‌ماندن مواد شیمیایی در آن، مانند افزودن یک بار اضافی معین می‌باشد. اگر به اندازه‌ی X مترمکعب از آب خالص برداشت شود، میزان بار معادل[1] آن، به اندازه‌ی X مترمکعب ضرب‌در غلظت طبیعی در پیکره‌ی آبی (c_{nat} بر حسب جرم بر مترمکعب) است. بار معادلِ $\mathrm{X} \times c_{nat}$ (بر حسب جرم)، باری طبیعی است اما آن باری نیست که پیش‌تر در آب وجود داشت، زیرا بخشی از آب (به واسطه‌ی تبخیر) برداشت شده است. این بار معادل، باید با سایر آب‌های طبیعی جذب شود. ردپای آب خاکستریِ مربوط به این بار معادل را می‌توان با استفاده از روابط استاندارد برآورد نمود که در این روابط، ردپای آب خاکستری برابر است با میزان بار معادل، تقسیم بر اختلاف بین غلظت‌های حداکثر و طبیعی (رابطه‌ی ۳). این ردپای آب خاکستری، به ردپای آب خاکستریِ ناشی از بارهای واقعی در حوضه –یعنی بارهای مربوط به مواد شیمیایی‌ای که به واسطه‌ی فعالیت‌های بشر ایجاد می‌گردد–، افزوده می‌شود.

اختلاط در گذر زمان و آلاینده‌های مختلف

می‌توان با جمع مقادیر روزانه‌ی آب خاکستری در طول یک سال، مقادیر سالانه‌ی آن را به‌دست آورد. وقتی پسابی، شامل بیش از یک نوع آلودگی باشد، که عموماً نیز این‌گونه است، ردپای آب

1 . Equivalent load

خاکستری بر اساس بحرانی‌ترین آلاینده تعیین می‌شود؛ یعنی آلاینده‌ای که بیش‌ترین ردپای آب خاکستری را منتج شود. اگر هدف، تعیین یک شاخص کلی برای آلودگی آب باشد، ردپای آب بر اساس ماده‌ی بحرانی کافی است. اگر فردی بخواهد ردپای آب خاکستری را برای نوع خاصی از آلاینده تعیین کند، قطعاً می‌تواند این مقادیر را جداگانه نیز گزارش نماید. این کار به ویژه زمانی که قرار است تدوین عکس‌العمل‌ها برای یک آلاینده‌ی خاص صورت بگیرد، مطلوب خواهد بود. با این حال، برای دانستن یک تصویر کلی از آلودگی، تعیین ردپای آب خاکستری برای ماده‌ی بحرانی به خوبی کفایت می‌کند.

به‌عنوان یک نکته‌ی پایانی، در این بخش معلوم شد که ردپای آب خاکستری بر اساس بارهای (اعمال شده توسط بشر) که وارد پیکره‌ی آب‌های شیرین می‌شود، تعیین می‌گردد نه بر اساس بارهایی که می‌توان آن‌ها را در نهایت، در برخی نقاط پایین دست رودخانه یا جریان آب‌های زیرزمینی اندازه‌گیری نمود. از آنجایی که کیفیت آب با گذشت زمان و از طریقِ فرآیندهای طبیعی در مسیر جریان تغییر می‌کند، میزان بار یک ماده‌ی شیمیایی خاص در نقطه‌ای در پایین دست، با مجموع بارهایی که به طور همزمان (در بالادست) وارد رودخانه می‌شوند، متفاوت خواهد بود. تعیین ردپای آب خاکستری در جایی که آلاینده‌ها وارد سیستم آب‌های زیرزمینی یا سطحی می‌شوند، سبب سادگی این روش شد که یک مزیت هست- زیرا، نیاز به مدل‌سازی فرآیندهایی که باعثِ تغییر کیفیت آب در مسیر رودخانه می‌شوند، نخواهد بود و هم‌چنین مطمئن‌تر (بودن به نتایج آن) است، زیرا ممکن است کیفیت آب در مسیر جریان، از راهِ فرآیندهای تجزیه (آلاینده‌ها)، بهبود یابد، اما معلوم نیست که چرا باید به جای تعیین اثر مستقیم بار آلودگی در جایی که از آن‌جا وارد سیستم (آب) شده است، کیفیت بهبود یافته‌ی آب در پایین دست، معیار قرار بگیرد. بنابراین، شاخص ردپای آب خاکستری، فرآیندهای طبیعی‌ای که باعث بهبود کیفیت آب در مسیر جریان می‌شوند، را در نظر نمی‌گیرد و فرآیندهایی که در آن، تأثیر تلفیقی آلاینده‌ها لحاظ می‌شود را نیز در نظر نمی‌گیرد، در حالی که ممکن است این تأثیرها گاهی بیشتر از حالتی باشند که آلاینده‌ها به صورت مجزا درنظر گرفته می‌شوند. در پایان، (لازم به ذکر است که) ردپای آب خاکستری به شدت به استانداردهای محیطی کیفیت آب (یعنی حداکثر غلظت‌های مجاز) بستگی دارد که این مسأله، با توجه به این واقعیت که این استانداردها، بر اساس بهترین دانسته‌های موجود درباره‌ی آثار مخرب احتمالی مواد شیمیایی و برهم‌کنش آن‌ها با دیگر موادشیمیایی تدوین شده‌اند، منطقی است.

۳-۳-٤ محاسبه‌ی ردپای آب سبز، آبی و خاکستری برای رشد یک گیاه یا درخت

بسیاری از محصول‌ها، دارای ترکیبات مرتبط با کشاورزی یا جنگل‌داری می‌باشند. گیاهان برای تولید غذا، علوفه، الیاف، سوخت، روغن‌ها، صابون‌ها، مواد آرایشی و غیره استفاده می‌شوند. چوب درختان و درختچه‌ها کاربرد الوار، کاغذ و هم‌چنین سوخت را دارند. از آنجایی‌که بخش‌های کشاورزی و جنگل‌داری، بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان آب هستند، محصول‌هایی که کشاورزی و جنگل‌داری در سیستم تولید آن‌ها نقش دارد، اغلب ردپای آب قابل توجهی خواهند داشت. برای تمامی این محصول‌ها، نیاز است ردپای آب فرآیند رشد گیاه و یا درخت به طور خاص بررسی شود. در این بخش، جزئیات مربوط به ارزیابی ردپای آب فرآیند رشد گیاه یا درخت بررسی می‌شود. روش ارایه شده (در این بخش)، هم برای گیاهان یک‌ساله و هم برای گیاهان چندساله کاربرد دارد. در این روش، درختان را می‌توان گیاهان چندساله در نظر گرفت. در ادامه، واژه‌ی "گیاه"، به مفهوم کلی آن به کار برده می‌شود، بنابراین، این واژه، شامل درختانی که برای تولید چوب پرورش داده می‌شوند، نیز می‌شود.

ردپای آب کل در فرآیند پرورش گیاهان یا درختان (WF_{proc})، مجموع ردپای آب سبز، ردپای آب آبی و ردپای آب خاکستری می‌باشد:

$$WF_{proc} = WF_{proc,green} + WF_{proc,blue} + WF_{proc,grey} \quad \text{بر حسب حجم بر زمان} \qquad (۸)$$

تمامی ردپاهای آبِ فرآیند (رشد گیاه) در این بخش، بر حسب واحد تولید محصول بیان می‌شوند؛ یعنی به صورت حجم آب مصرفی بر واحد جرم (محصول). معمولاً، ردپای آب فرآیند در کشاورزی و یا جنگل‌داری به‌صورت مترمکعب بر تن (m^3/ton) بیان می‌شود که این واحد، معادلِ لیتر بر کیلوگرم (litre/kg) می‌باشد.

مؤلفه‌ی سبز ردپای آب فرآیند رشد یک گیاه یا درخت ($WF_{proc,green}$, m^3/ton)، از تقسیم آب سبز مصرفی به‌وسیله‌ی آن گیاه (CWU_{green}, m^3/ha) بر میزان عمل‌کرد (Y, ton/ha) به‌دست می‌آید. مؤلفه‌ی آبی ($WF_{proc,blue}$, m^3/ton) نیز با روشی مشابه محاسبه می‌شود:

$$WF_{proc,green} = \frac{CWU_{green}}{Y} \quad \text{بر حسب حجم بر جرم} \qquad (۹)$$

$$WF_{proc,blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y} \quad \text{بر حسب حجم بر جرم} \qquad (۱۰)$$

میزان عمل‌کرد گیاهان یک‌ساله را می‌توان از آمارهای موجود به‌دست آورد. برای گیاهان چندساله، می‌توان مقدار متوسط سالانه‌ی عمل‌کرد گیاه در کل دوره‌ی حیات آن گیاه را درنظر گرفت. با استفاده از این روش، تغییرات عمل‌کرد گیاه در طول دوره رشد لحاظ می‌شود (برای یک گیاه چند

ساله، معمولا عمل‌کرد سال اول کم و یا صفر بوده و بعد از چند سال، به بیش‌ترین مقادیر خود رسیده و اغلب در انتهای طول عمر، کاهش می‌یابد). هم‌چنین، برای آب مصرفی این گیاهان نیز باید مقدار متوسط سالانه‌ی مصرف آب در کل طول عمر چندساله‌ی آن‌ها، در نظر گرفته شود.

مؤلفه‌ی خاکستری ردپای آب در فرآیند رشد یک گیاه یا درخت ($WF_{proc,grey}$, m^3/ton)، از حاصل‌ضرب میزان مصرف ماده‌ی شیمیایی (AR, kg/ha) در کسر رواناب–آبشویی (α)، تقسیم بر تفاضل حداکثر غلظت مجاز (c_{max}, kg/m^3) از مقدار غلظت طبیعی آلاینده‌ی مورد نظر (c_{nat}, kg/m^3) تقسیم بر عمل‌کرد گیاه (Y, ton/ha) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$WF_{proc,grey} = \frac{(\alpha \times AR)/(c_{\max} - c_{nat})}{Y} \quad \text{بر حسب حجم بر جرم} \qquad (۱۱)$$

آلاینده‌ها اغلب شامل کودها (نیتروژن، فسفر و غیره)، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها هستند. در محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری، تنها باید آلودگی ورودی به منابع آب شیرین مد نظر قرار بگیرد که معمولاً این آلودگی ورودی، بخشی از کل کود و یا آفت‌کش‌های مصرفی در مزارع هستند. برای محاسبه‌ی ردپای آب، باید تنها بحرانی‌ترین آلاینده را در نظر گرفت؛ یعنی آلاینده‌ای که بر اساس رابطه‌ی ۱۱، استعمال آن منتج به بیش‌ترین مقدار برای ردپای آب خاکستری شود.

مقادیر آب سبز و آبی مصرفی به وسیله‌ی گیاه (CWU, m^3/ha)، از حاصل‌جمع مقادیر روزانه‌ی تبخیر–تعرق (ET, mm/day) در کل دوره‌ی رشد آن گیاه به‌دست می‌آید:

$$CWU_{green} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{green} \quad \text{بر حسب حجم بر سطح} \qquad (۱۲)$$

$$CWU_{blue} = 10 \times \sum_{d=1}^{lgp} ET_{blue} \quad \text{بر حسب حجم بر سطح} \qquad (۱۳)$$

که در آن؛ ET_{green} تبخیر–تعرق سبز[۱] و ET_{blue} تبخیر–تعرق آبی[۲] است. علت افزودن عدد ده به روابط ۱۲ و ۱۳، تبدیل واحد میلی‌متر به مترمکعب در هکتار است.

مجموع مقادیر روزانه‌ی تبخیر–تعرق سبز یا آبی در کل دوره‌ی رشد تعیین می‌شود. (lgp طول دوره‌ی رشد را بر حسب روز نشان می‌دهد). از آنجایی‌که طول دوره‌ی رشد گیاهان مختلف متفاوت است، نیاز آبی گیاهان متفاوت خواهد بود. برای گیاهان دائمی (چندساله) و جنگل‌های تولیدی، می‌توان تبخیر–تعرق را برای کل سال محاسبه نمود. علاوه بر آن، به منظور لحاظ تفاوت‌هایی که در

۱. یعنی تبخیر تعرقی که از آب سبز صورت می‌گیرد.

۲. یعنی تبخیر تعرقی که از آب آبی صورت می‌گیرد.

میزان تبخیر–تعرق در کل طول عمر یک گیاه یا درخت دائمی وجود دارد، باید مقدار متوسط سالانه‌ی تبخیر–تعرق در کل طول عمر گیاه یا درخت را در نظر گرفت؛ به‌عنوان مثال، فرض کنید که یک گیاه دارای طول عمر ۲۰ سال باشد و از سال ششم به بعد محصول دهد. در این شرایط، آب مصرفی گیاه در طول ۲۰ سال را باید به کل محصولی که طی ۱۵ سال آخر به‌دست می‌آید، تقسیم نمود. آب سبز و آبی مصرفی گیاه به‌ترتیب کل آب باران و کل آب آبیاری است که در طول فصل رشد از مزرعه تبخیر می‌شود.

میزان تبخیر– تعرق در یک مزرعه را می‌توان به‌صورت مستقیم اندازه‌گیری نمود، یا این‌که با استفاده از مدلی مبتنی بر روابط تجربی برآورد می‌شود. اندازه‌گیری (مستقیم) تبخیر–تعرق، هزینه‌بر و غیرمعمول است. معمولاً، تبخیر–تعرق به صورت غیرمستقیم با استفاده از مدلی– که از داده‌های اقلیمی، خواص خاک و ویژگی‌های گیاهی که ورودی است، استفاده می‌کند–، برآورد می‌شود. روش‌های متعددی برای مدل‌سازیِ تبخیر– تعرق و رشد گیاه وجود دارد. یکی از مدل‌هایی که اغلب استفاده می‌شود، مدل EPIC می‌باشد (Williams et al., 1989; Williams, 1995) که نسخه‌ی مبتنی بر پیکسل[1] نیز برای این مدل وجود دارد (Liu et al., 2007). یکی دیگر از مدل‌ها، مدل CROPWAT است که توسط سازمان خواروبار جهانی ملل متحد توسعه داده شد (FAO, 2009b). این مدل مبتنی بر روش آلن و همکاران (Allen et al., 1998) توسعه داده شد. بدون این‌که قصد برجسته نمودن یک مدل خاص از میان دیگر مدل‌های خوب را داشته باشیم، استفاده از مدل CROPWAT را به دلیل کاربرد گسترده آن، سهولت دسترسی به آن به صورت آنلاین و مستندات و مطالب خوب موجود در تمرین‌های فائو، پیشنهاد می‌کنیم.

مدل CROPWAT دو گزینه‌ی مختلف برای محاسبه‌ی تبخیر–تعرق در اختیار کاربر قرار می‌دهد: "گزینه‌ی نیاز آبی گیاه" (با فرض برقراری شرایط مطلوب) و گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری (با داشتن قابلیت تعیین میزان عرضه‌ی واقعی آب آبیاری در هر زمان). پیشنهاد می‌شود تا حد ممکن، گزینه‌ی دوم استفاده شود، زیرا می‌توان آن را برای هر دو حالت شرایط مطلوب و غیرمطلوب برای رشد گیاه به کار برد و دقیق‌تر نیز می‌باشد (اساس مدل در این حالت، بر مبنای بیلان آب خاک است). یک دستورالعمل جامع برای نحوه‌ی استفاده از مدل CROPWAT به صورت آنلاین در دسترس است (FAO, 2010b). چگونگی به‌کارگیریِ "گزینه‌ی نیاز آبی گیاه" برای تخمین تبخیر–تعرق سبز و آبی تحت شرایط مطلوب به اختصار در پیوست (الف) ارایه شد؛ در این پیوست، گزینه‌ی برنامه‌ریزی

1 . Grid-based

آبیاری، که می‌تواند برای هر شرایطی به‌کار گرفته شود، مختصراً توضیح داده شد. یک مثال کاربردی از محاسبه‌ی ردپای آب در فرآیند رشد گیاه در پیوست (ب) ارایه شد.

تخمین ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در فرآیند رشد یک گیاه، نیازمند داده‌های بسیاری است (کادر ۳–۸). به طور کلی، بهتر است از داده‌های محلی مرتبط با مزرعه‌ی کشت گیاه، استفاده شود. غالبا جمع‌آوری داده‌های محلی متناسب با اهداف ارزیابی، کار بسیار دشواری است. اگر هدف ارزیابی به گونه‌ای باشد که یک تخمین کلی کفایت نماید، می‌توان با داده‌هایی که در نزدیک‌ترین مکان (به محل پژوهش) وجود دارد، کار را پیش برد و یا از داده‌هایی که به صورت میانگین منطقه‌ای یا کشوری موجود بوده و دسترسی به آن‌ها ساده‌تر است، استفاده نمود.

در محاسبات فوق، هنوز میزان آب سبز و آبی‌ای که در داخل محصول جای داده شده است، در نظر گرفته نشد. این بخش از ردپای آب را می‌توان به سادگی با دانستن درصد رطوبتِ گیاه در زمان برداشت، تعیین نمود. مقادیر درصد رطوبت برای میوه‌ها را معمولاً ۹۰–۸۰ درصد وزن تر محصول و برای سبزیجات، اغلب ۹۵–۹۰ درصد وزن تر در نظر می‌گیرند. نسبت آب سبز به آب آبی‌ای که در داخل گیاه وجود دارد می‌تواند برابر با نسبت CWU_{green} به CWU_{blue} باشد. با این وجود، افزودن محتوای رطوبت گیاه به میزان آبی که صرف تبخیر–تعرق شده است، تنها باعث تغییر اندکی در مقدار کل ردپای آب می‌شود، زیرا درصد رطوبت گیاه اغلب حدود ۰/۱ درصد و حداکثر یک درصد از کل تبخیر–تعرق گیاه خواهد بود.

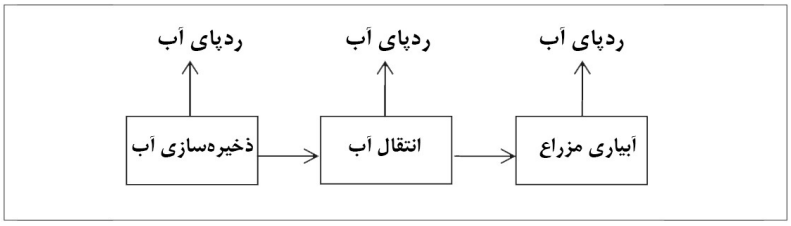
کادر ۳–۸ منابع داده برای محاسبه‌ی ردپای آب در فرآیند رشد یک گیاه

- داده‌های اقلیمی: محاسبات باید بر مبنای داده‌های اقلیمی ایستگاه (های) هواشناسی که نزدیک به محل مزرعه‌ی منتخب بوده و معرف شرایط آن باشند، انجام شود. برای مناطق دارای بیش از یک ایستگاه هواشناسی، می‌توان محاسبات را برای تمامی ایستگاه‌ها به تفکیک انجام داد و سپس، خروجی را به صورت میانگین وزنی بیان نمود. پایگاه داده‌های اقلیمیِ *CLIMWAT 2.0* (*FAO, 2010a*)، داده‌ها را با فرمت مطلوبی که قابل استفاده در مدل *CROPWAT 8.0* است، فراهم آورده است. این پایگاه داده، مربوط به سال خاصی نیست، بلکه در آن، میانگین‌های ۳۰ ساله داده‌های اقلیمی وجود دارند. یکی دیگر از منابع، *LocClim 1.1* است (*FAO, 2005*) که تخمینی از وضعیتِ اقلیمیِ متوسط برای مکان‌هایی که فاقد داده‌های مشاهداتی هستند، ارائه نموده است. هم‌چنین، می‌توان از پایگاه‌های داده‌ی رستری نیز استفاده نمود. مقادیر ماهانه‌ی پارامترهای هواشناسی مهم با دقت مکانیِ ۳۰ دقیقه[1] را می‌توان در *CRU TS-2.1* درون مدل *CGIAR-CSI GeoPortal* یافت (*Mitchell and Jones, 2005*). پایگاه داده‌های اقلیمیِ کشوری در ایالات متحده‌ی آمریکا[1]، داده‌های اقلیمی روزانه را برای تعداد زیادی از ایستگاه‌های هواشناسی جهان فراهم نموده است (*NCDC, 2009*). هم‌چنین، سازمان خواروبار جهانی فائو در وبسایت *GeoNetwork* خود، میانگین‌های بلندمدت بارش و تبخیر–تعرق گیاه مرجع را با دقت مکانی ده دقیقه ارایه نمود (*FAO, 2010g*).

- پارامترهای گیاهی: بهترین حالت آن است که ضرایب گیاهی و تقویم کشت (تاریخ‌های کشت و برداشت) از داده‌های محلی تهیه شوند. نوع گیاه و دوره‌ی رشد مطلوب برای گیاه خاص به طور عمده، به اقلیم و عوامل متعدد دیگری هم‌چون سنت‌های محلی، عرف، ساختار اجتماعی، هنجارهای موجود و سیاست‌ها بستگی دارد. بنابراین، قابل‌اعتمادترین داده‌های گیاهی، داده‌هایی هستند که از ایستگاه‌های تحقیقات محلی کشاورزی به‌دست می‌آیند. پایگاه‌های جهانی داده‌ها که می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرند عبارت اند از: آلن و همکاران (*Allen et al., 1998*، جداول ۱۱ و ۱۲)، سازمان خواروبار جهانی فائو (*FAO, 2010b*)، و وزارت کشاورزی ایالت متحده‌ی آمریکا (*USDA, 1994*)[1]. در اطلاعات جهانی آنلاین فائو و سیستم هشدار سریع (*GIEWS*)[1]، تقویم گیاهی برای گیاهان عمده در کشورهای در حال توسعه ارائه شد. برای هر قاره، می‌توان فایل فشرده‌ی تصاویر تقویم گیاهی را از وبسایت به‌دست آورد (*FAO, 2010f*).
- نقشه‌های گیاه: نقشه‌های رستری با دقت مکانی ۵ دقیقه برای سطوح تحت کشت مربوط به ۱۷۵ گیاه را می‌توان از وبسایت مربوط به گروه تحقیقاتیِ کاربردی اراضی و تغییرات جهانی زیست‌محیطی، گروه جغرافیا، دانشگاه مک‌گیل تهیه نمود (*Monfreda et al., 2008*).
- عمل‌کرد گیاه: بهترین راه برای به‌دست آوردن داده‌های مربوط به عمل‌کرد محصول، تهیه آن‌ها به صورت محلی با دقت مکانی مورد نیاز است. باید از چگونگی تعیین عمل‌کرد محصول، اطمینان حاصل نمود (به‌عنوان مثال، این‌که کدام بخش محصول (در اندازه‌گیری عمل‌کرد محصول) لحاظ شده است، وزن خشک است یا تر). داده‌های جهانی در وبسایت فائو موجود است (*FAO, 2010d*).
- نقشه‌های خاک: وبسایت *ISRIC-WISE*، گروهی از داده‌های جهانی را برای ویژگی‌های خاک با دقت‌های مکانی ۵ و ۳۰ دقیقه فراهم نموده است (*Batjes, 2006*). علاوه بر آن، وبسایت *GeoNetwor* فائو، داده‌های حداکثر رطوبت قابل دسترس خاک را با دقت مکانی ۵ دقیقه ارائه کرده است (*FAO, 2010h*). وقتی "گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری" در مدل *CROPWAT* استفاده می‌شود، داده‌های خاک لازم خواهد بود. در صورت نبود داده‌های خاک، گزینه‌ی "خاک متوسط" به صورت پیش‌فرض انتخاب شود.
- نقشه‌های آبیاری: در نقشه‌ی جهانی اراضی فاریاب (*GMIA*)[1] نسخه‌ی *4.0.1* (*Siebert et al., 2007*)، محدوده‌های تحت آبیاری با دقت مکانی پنج دقیقه مشخص شده است. نقشه‌های اراضی فاریاب برای ۲۶ گیاه اصلی با دقت‌های مکانی ۵ و ۳۰ دقیقه را می‌توان از وبسایت دانشگاه فرانکفورت[1] به‌دست آورد (*Portmann et al., 2008, 2009*). در این نقشه‌ها، داده‌های مربوط به اراضی دیم برای همان ۲۶ گیاه نیز وجود دارد.
- میزان کوددهی: ترجیحاً، بهتر است از داده‌های محلی استفاده شود. یکی از پایگاه‌های کاربردی داده، *FertiStat* می‌باشد (*FAO, 2010c*). مقادیر سالانه‌ی مصرف کود برای هر کشور در وبسایت *IFA* فراهم شده است (*IFA, 2009*). میزان کود استفاده شده برای هر گیاه برای انواع گیاهان اصلی و برای کشورهای عمده توسط (*Heffer, 2009*) ارائه شده است.
- میزان مصرف آفت‌کش‌ها: ترجیحاً، بهتر است از داده‌های محلی استفاده شود. پایگاه داده‌ی آنلاینی برای کشور آمریکا در مورد میزان مواد شیمیایی مصرفی برای هر گیاه توسط ناس ارایه شد (*NASS, 2009*). برای آفت‌کش‌های مصرفی در ایالات متحده‌ی آمریکا، داده‌هایی در بنیاد کراپ‌لایف (*Croplife foundation, 2006*) ارائه شد. یورواستت (*Eurostat, 2007*) داده‌هایی را برای اروپا فراهم آورده است.

- کسر آبشویی–رواناب: هیچ پایگاه داده‌ای برای این مورد وجود ندارد. بنابراین، باید با کار روی داده‌هایی که از مزراع تحقیقاتی به‌دست می‌آید، تخمین کلی برای مقادیر این ضرایب به‌دست آورد. مطابق با یافته‌های چاپاگین و همکاران (*Chapagain et al, 2006b*)، می‌توان ضریب ده درصد را برای کودهای نیتروژن فرض نمود.
- استانداردهای کیفیت آب: ترجیحاً، بهتر است از استانداردهای محلی که به صورت قوانینی مصوب ارایه شده‌اند، استفاده نمود. این اطلاعات برای برخی از قسمت‌های جهان، مانند اتحادیه‌ی اروپا (*EU, 2008*)، ایالات متحده‌ی آمریکا (*EPA, 2010b*)، کانادا (*CCME, 2010*)[1]، استرالیا و نیوزیلند (*ANZECC and ARMCANZ, 2000*)، چین (*CMEP, 2002*)[1]، ژاپن (*JME, 2010*)[1]، اتریش (*AFMAFEWM, 2010*)[1]، برزیل (*CONAMA, 2005*)، آمریکای جنوبی (*SADWAF, 1996*)[1]، آلمان (*LAWA-AO, 2007*)، و انگلستان (*UKTAG, 2008*)، وجود دارد. یک مورد دیگر (برای این استانداردها را نیز) می‌توان در مک‌دونالد و همکاران (*MacDonald et al., 2010*) یافت. اگر هیچ منبعی برای استانداردهای کیفیت آب در دسترس نباشد و قرار است از آب (در آن محیط) برای نوشیدن استفاده شود، می‌توان استانداردهای آب شرب را استفاده نمود؛ به‌عنوان مثال، (استانداردهای درج‌شده در *EU* (*EU, 2000*) و *EPA* (*EPA, 2005*) را ببینید.
- غلظت‌های پس‌زمینه (طبیعی) در پیکره آبی پذیرنده: در رودخانه‌های کم‌وبیش بکر، می‌توان فرض نمود که غلظت‌های طبیعی برابر با غلظت‌های واقعی (در آن رودخانه) است و به این ترتیب، می‌توان مقادیر میانگین بلندمدت روزانه و یا ماهانه‌ی غلظت که در نزدیک‌ترین ایستگاه اندازه‌گیری می‌شود، را استفاده نمود. برای رودخانه‌های غیربکر، می‌توان داده‌های تاریخی و یا پژوهش‌های مدل‌سازی را به‌کار برد. پژوهش‌های خوبی برای برخی از قسمت‌های جهان وجود دارد؛ به‌عنوان مثال برای ایالات متحده‌ی آمریکا، یافته‌های کلارک و همکاران (*Clark et al., 2000*)، و اسمیت و همکاران (*Smith et al., 2003*) را ببینید؛ برای اتریش، (داده‌های موجود) در وزارت کشاورزی، جنگل‌داری، محیط‌زیست و مدیریت آب فدرال اتریش (*AFMAFEWM, 2010*) را ببینید، برای آلمان، وبسایت *LAWA-AO* (*LAWA-AO, 2007*) را ببینید. به‌عنوان یک مرجع، داده‌های جهانی برای مقادیر واقعی (و نه طبیعی!) غلظت‌ها در *UNEP* وجود دارد (*UNEP, 2009*). وقتی هیچ داده‌ای موجود نباشد، می‌توان فرض نمود که غلظت‌های طبیعی برابر با بهترین تخمین، و یا برابر با صفر باشد.
- غلظت واقعی آب مصرفی: داده‌های جهانی برای غلظت‌ها واقعی در *UNEP* وجود دارد (*UNEP, 2009*).

در این بخش، نحوه‌ی محاسبه‌ی ردپای آب در فرآیند رشد گیاه در مزرعه بررسی شد. مقادیر محاسبه شده برای ردپای آب آبی، میزان تبخیر–تعرق ناشی از آب آبیاری را نشان می‌دهد و میزان تبخیر آب از مخازن سدهای مصنوعی که با هدف ذخیره‌ی آب آبیاری احداث شدند و تبخیر آب از کانال‌های انتقال آب آبیاری از محل برداشت تا مزرعه را در نظر نمی‌گیرد. ذخیره و انتقال آب دو فرآیندی است که قبل از فرآیند رشد گیاه در مزرعه انجام می‌شود و ردپای آب مربوط به خود را دارند (شکل ۳–۶). تلفات تبخیر در این دو فرآیند، می‌تواند بسیار قابل‌توجه باشد و بهتر است در محاسبه ردپای آب محصول لحاظ شوند.



شکل ۳-۶. فرآیندهای متوالی در آبیاری: ذخیره‌سازی آب، انتقال آب، آبیاری در مزراع. هر فرآیند، ردپای آب خود را دارد.

۳-٤ ردپای آب یک محصول[1]

۳-٤-۱ تعریف

ردپای آب یک محصول، مجموع آب شیرینی است که به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم برای تولید آن مصرف می‌شود. مقدار آن با لحاظ مصرف و آلودگی آب در تمام مراحل زنجیره‌ی تولید آن[2]، برآورد می‌شود. روش محاسبه برای تمامی محصول‌ها، خواه (این محصول‌ها) از بخش کشاورزی به‌دست آمده باشند خواه از بخش صنعتی و یا خدمات، مشابه یکدیگر هستند. ردپای آب یک محصول، به مؤلفه‌های سبز، آبی و خاکستری تفکیک می‌شود. واژه‌ی معادلی که برای ردپای آب محصول استفاده می‌شود، "محتوای آب مجازی[3]" آن است اما مفهوم واژه‌ی دوم، محدودتر است (کادر ۳-۹).

در مورد محصول‌های کشاورزی، ردپای آب عموماً بر حسب مترمکعب بر تن (m^3/ton) و یا لیتر بر کیلوگرم (litres/kg) بیان می‌شود. در بسیاری موارد، وقتی محصولات کشاورزی قابل شمارش باشند، ردپای آب را می‌توان بر حسب حجم آب به ازای هر قطعه بیان نمود. برای محصولات صنعتی، ردپای آب به صورت مترمکعب بر دلار ($m^3/US\$$) و یا حجم آب به ازای هر قطعه بیان می‌شود. ردپای آب یک محصول را می‌توان به شکل‌های دیگری مانند حجم آب به ازای هر کیلوکالری (برای

1 . Water footprint of a product

۲. پرواضح است که آب استفاده شده برای یک محصول، تنها محدود به مرحله‌ی تولید آن نمی‌شود. برای بسیاری از محصول‌ها (به عنوان مثال، ماشین لباسشویی)، شکل‌های دیگری از آب مصرفی وجود دارد که حین فرآیند استفاده از آن محصول، مصرف می‌شود. با این وجود، این مولفه از آب مصرفی، بخشی از ردپای آب محصول محسوب نمی‌شود. آب استفاده شده حین فرآیند استفاده از یک محصول، در محاسبه‌ی ردپای آب مصرف‌کننده‌ای که از آن محصول استفاده می‌کند، لحاظ می‌شود. آبی که در مرحله‌ی استفاده‌ی مجدد، بازچرخانی و یا دفع محصول، استفاده می‌شود، در محاسبه‌ی ردپای آب فعالیت یا سازمانی که آن خدمات را فرآهم آورده است و ردپای آب مصرف‌کنندگانی که ذینفع آن خدمات هستند، لحاظ می‌شود.

3 . Virtual water content

مواد غذایی موجود در رژیم غذایی) و یا حجم آب به ازای هر ژول (برای الکتریسیته و یا سوخت‌ها) بیان نمود.

کادر ۳-۹ واژه‌شناسی: ردپای آب، محتوای آب مجازی، آب تعبیه شده[1]

ردپای آب یک محصول، مشابه همان چیزی است که در سایر انتشارات، با عناوین "محتوای آب مجازی"[1] یک محصول و یا "آب تعبیه شده در محصول"[1]، "آب جای‌سازی شده در محصول"[1]، "آب خارجی محصول"[1] و یا "آب سایه‌ای محصول"[1] ارایه شده است (*Hoekstra and Chapagain, 2008*). با این حال، واژه‌ی محتوای آب مجازی محصول و آب تعبیه شده، حجم آبی را نشان می‌دهد که تنها در محصول جاسازی شده است، در حالی‌که "ردپای آب" نه تنها حجم آب، بلکه نوع آبی که استفاده شده است (سبز، آبی، خاکستری)، و زمان و مکانی که این آب استفاده شده است، را نشان- می‌دهد. بنابراین، ردپای آب یک محصول، یک شاخص چندبعدی است، در حالی‌که "محتوای آب مجازی یک محصول" و یا " آب تعبیه شده در محصول"، تنها حجم آب را نشان می‌دهد. پیشنهاد می‌کنیم که از واژه‌ی "ردپای آب" استفاده- شود زیرا مفهوم گسترده‌تری دارد. حجم آب، تنها یک جنبه‌ی آب مصرفی است. مکان و زمان مصرف آب و نوع آب مصرفی نیز مهم است. علاوه بر آن، واژه‌ی ردپای آب می‌تواند در شرایطی که صحبت از مصرف‌کننده و یا تولیدکننده باشد، نیز به کار برده شود. صحبت از محتوای آب مجازی مصرف‌کننده و یا تولید کننده عجیب خواهد بود. ما واژه‌ی "آب مجازی" را در مورد جریان آب مجازی بین‌المللی (یا درون منطقه‌ای) استفاده می‌کنیم. اگر یک کشور (یا منطقه)، محصولی را صادر یا وارد نماید، آب به صورت مجازی صادر یا وارد می‌شود. در این مورد، می‌توان تنها در مورد صادرات و یا واردات آب مجازی، و یا به طور کلی‌تر، درباره‌ی جریان و یا مبادله‌ی آب مجازی صحبت نمود.

۳-٤-۲ ترسیم دیاگرام یک سیستم تولید به‌صورت یک فرایند[2]

برآورد ردپای آب یک محصول مستلزم شناخت روش تولید آن محصول می‌باشد. برای این منظور، باید سیستم تولید[3] تعیین شود. یک سیستم تولید شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای متوالی است. یک مثال (ساده شده) از سیستم تولید یک پیراهن پنبه‌ای شامل مراحل زیر می‌باشد: رشد پنبه، برداشت، پاک نمودن، حلاجی، بافندگی، سفیدسازی، رنگرزی، چاپ و پایان کار. با توجه به این واقعیت که بسیاری از محصول‌ها، نیازمند ورودی‌های متعددی هستند، غالباً قبل از آغاز یک فرآیند، فرآیندهای چندگانه‌ای دیگری رخ می‌دهد. در این شرایط، یک زنجیره‌ی خطی از فرآیندها نخواهیم داشت، بلکه یک درخت تولید[4] داریم. یک مثال (ساده شده) از درخت تولید، تولید علوفه و تمام ورودی‌های لازم در دامداری صنعتی، پرورش دام و نهایتاً، تولید گوشت است. از آنجایی‌که

1 . Embedded water
2 . Schematisation of the production system into process steps
3 . Production system
4 . Production tree

سیستم‌های تولید اغلب، بیش‌تر از یک محصول را تولید می‌کند – مثلاً می‌توان از گاوها گوشت، شیر و چرم تولید نمود– حتی استعاره‌ی یک درخت تولید نیز واژه‌ای رسا نخواهد بود. در واقعیت، سیستم-های تولید شبکه‌ی پیچیده‌ای از فرآیندهای مربوط به هم و در بسیاری از موارد، حلقوی[1] هستند.

برای تخمین ردپای آب یک محصول، باید سیستم تولید را به صورت تعداد محدودی از فرآیندهای مرتبط به هم طرح‌ریزی نمود. علاوه بر آن، وقتی قرار باشد (کاری) فراتر از یک تجزیه و تحلیل سطحی بر اساس میانگین‌های جهانی انجام شود، باید زمان و مکان (وقوع) مراحل مشخص شود؛ یعنی باید منشا[2] (ورودی‌های) یک محصول را ردیابی نمود. در مورد مثال فوق برای پیراهن پنبه‌ای، کشت پنبه ممکن است در یک مکان رخ (مثلاً چین) رخ دهد، در حالی‌که تولید لباس در مکان دیگری (مثلاً در مالزی) انجام می‌شود و مصرف هم در یک مکان دیگر (مثلاً آلمان). ویژگی‌های محصول و فرآیندها از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کند، بنابراین، مکان تولید می‌تواند مقدار و رنگ ردپای آب را متأثر می‌سازد. به‌علاوه، در پایان ممکن است فردی بخواهد نقشه‌ی پراکنش جغرافیایی مقدار ردپای آب محصول نهایی را ترسیم کند و این، دلیل دیگری است که به‌خاطر آن باید موقعیت مکانیِ وقوعِ ردپای آب را ردیابی کند.

ترسیم دیاگرام یک سیستم تولید به صورت مجموعه‌ای از فرآیندهای مشخص، بی‌شک نیازمند فرضیات و ساده‌سازی‌هایی می‌باشد. یکی از موارد خاص، مسأله‌ی کوتاه‌سازیِ محاسبات می‌باشد که پیش‌تر در فصل دوم بحث شد. از نظر تئوری، از آنجایی‌که بسیاری از سیستم‌های تولید شامل فرآیندهای حلقوی هستند، می‌توان ردیابی ورودی‌ها را در شبکه‌ای از فرآیندهای مرتبط به هم ادامه– داد. در عمل، باید زمانی که بررسی بیش‌تر، اطلاعات قابل‌توجهی برای تجزیه و تحلیل در اختیار (کاربر) قرار نمی‌دهد، ارزیابی را متوقف نمود (یعنی دیگر ردیابی را ادامه نداد).

به‌عنوان مثال، دیاگرام‌های سیستم تولید برای محصول‌های کشاورزی را می‌توان در فائو (FAO, 2003) و در پژوهش چاپاگین و هوکسترا (Chapagain and Hoekstra, 2004) یافت. برای محصول‌های صنعتی، می‌توان به طورکلی و نسبتاً به راحتی، بر اساس داده‌های محلی موجود، یک دیاگرام برای سیستم تولید ترسیم نمود. البته بهتر است که به دنبال اطلاعات برای فرآیندهای درگیر در زنجیره‌ی واقعی تولید برای محصول مورد نظر بود. این کار نیازمند ردیابی تمام اجزای محصول می‌باشد.

1 . Circular processes

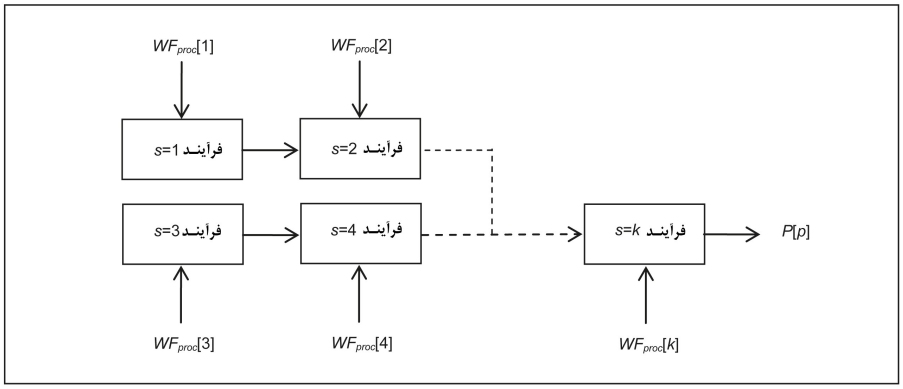
۲. منظور از منشاء یک محصول در این فصل، به این معنی است که یک فرد دقیقاً، بداند که آن محصول، کجا و کی و چگونه تولید شده است.

۳-٤-۳ محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول

ردپای آب یک محصول می‌تواند به دو روش محاسبه شود: با تجمیع کل زنجیره و یا با حاصل جمع کلیه گام‌ها. روش اول را تنها می‌توان برای موارد خاصی استفاده نمود؛ روش دوم، روشی عمومی است.

تجمیع کل زنجیره

این روش، ساده‌تر از روشی است که بعداً بحث می‌شود، اما تنها می‌تواند در مواردی استفاده شود که یک سیستم تولید، در نهایت، فقط یک محصول را که خروجی در نظر گرفته می شود، تولید می‌کند (شکل ۳-۷). در این مورد خاص، می‌توان تمامی ردپاهای آب، که مربوط به فرآیندهای مختلف درگیر در سیستم تولید هستند، را به صورت کامل، به آن محصول خروجی از سیستم تولید منسوب نمود.



شکل ۳-۷ ترسیم دیاگرام سیستم تولید محصول p با k تا فرآیند[۱]. برخی مراحل به صورت سری و برخی به صورت موازی هستند. ردپای آب محصول خروجی P، از حاصل جمع ردپای آب فرآیندهایی به‌دست می‌آید که این فرآیندها، سیستم تولید را تشکیل می‌دهند. توجه: در این شمای ساده‌شده، فرض شده است که محصول p، تنها خروجیِ این سیستم تولید است.

در این سیستم تولید ساده‌شده، ردپای آب محصول P (حجم بر جرم) برابر است با مجموع ردپاهای آب مربوط به فرآیندهای موجود در سیستم تولید تقسیم بر مقدار محصول تولیدی P:

۱. یعنی k تا فرآیند طی شده تا محصول P تولید شود

$$WF_{prod}[p] = \frac{\sum_{s=1}^{k} WF_{proc}[s]}{P[p]} \quad \text{بر حسب حجم بر جرم} \qquad (۱۴)$$

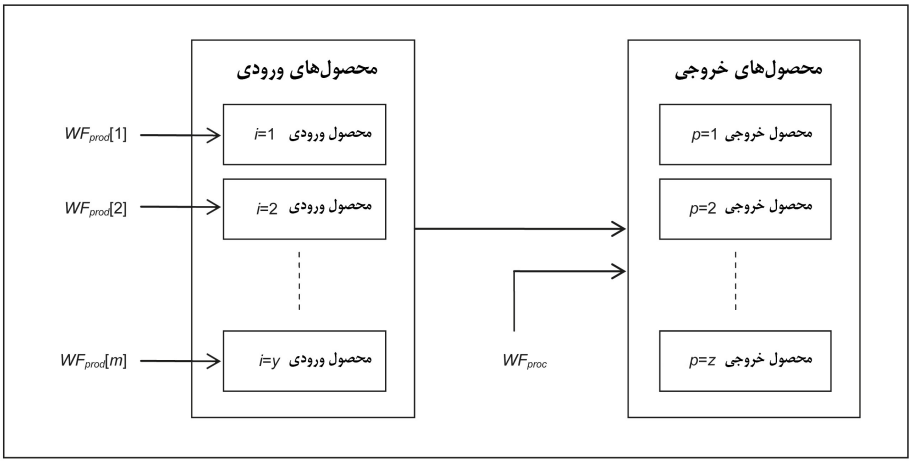
که در آن؛ $WF_{proc}[s]$ ردپای آب فرآیند s (حجم بر زمان) و $P[p]$ میزان تولید محصول P (جرم بر زمان) است. در عمل، به ندرت سیستم‌های ساده‌ی تولید با تنها یک محصول خروجی وجود-دارند. بنابراین، یک روش عمومی‌تر برای (این) محاسبه‌ها نیاز است که بتواند بدون انجام محاسبات مضاعف، کل آب مصرفی در یک سیستم تولید را بین خروجی‌های مختلفی که از آن سیستم به‌دست می‌آید، توزیع نماید.

حاصل‌جمع گام‌ها

این روش، یک روش عمومی برای محاسبه ردپای آب یک محصول بر اساس ردپاهای آب محصول‌های ورودی‌ای مورد استفاده در آخرین فرآیند تولید آن محصول و ردپای آب این فرآیند، می‌باشد. فرض کنید که برای تولید یک محصول خروجی، تعدادی محصول ورودی داریم. در این صورت، می‌توانیم ردپای آب محصول خروجی را از حاصل جمع ساده‌ی ردپاهای آب محصول‌های ورودی و اضافه نمودن ردپای آب فرآیند (به آن) به‌دست بیاوریم.

حال فرض کنید یک محصول ورودی و چندین محصول خروجی داریم. در این حالت، باید ردپای آب آن محصول ورودی را بین محصول‌های خروجی توزیع نمود. این کار می‌تواند بر اساس ارزش اقتصادی محصول‌های خروجی صورت بگیرد. هم‌چنین می‌تواند متناسب با وزن خروجی‌ها صورت بگیرد که این روش چندان بامعنی نیست.

در نهایت، یک مورد کلی‌تر را تصور کنید (شکل ۳-۸). می‌خواهیم ردپای آب محصول (خروجی) p را به‌دست بیاوریم که (این محصول) از فرآوری y (عدد) محصول ورودی به‌دست آمد. محصول‌های ورودی از i=1 تا i= y شماره‌گذاری می‌شوند. تصور کنید که پردازش y (عدد) محصول ورودی منتهی به z عدد محصول خروجی شده است؛ بنابراین، ما محصول‌های خروجی را از p=1 تا p= z شماره‌گذاری می‌کنیم.



شکل ۳-۸ ترسیم دیاگرام آخرین فرآیند در سیستم تولید که منتهی به تولید محصول p شد. ردپای آب محصول خروجی p بر اساس ردپای آب محصول‌های ورودی و ردپای آب فرآیندی که محصول‌های ورودی را به خروجی‌ها تبدیل می‌کند، محاسبه می‌شود.

اگر در حین پردازش، آبی مصرف شده باشد، قبل از توزیع ردپای آب کل در میان محصول‌های خروجی مختلف، باید ردپای آب فرآیند را (نیز) به ردپاهای آب محصول‌های ورودی اضافه نمود. ردپای آب محصول خروجی P به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$WF_{prod}[p] = \left(WF_{proc}[p] + \sum_{i=1}^{y} \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_v[p] \quad \text{بر حسب حجم بر جرم} \qquad (۱۵)$$

که در آن؛ $WF_{prod}[p]$ ردپای آب محصول خروجی p (حجم بر جرم)، $WF_{prod}[i]$ ردپای آب محصول ورودی i و $WF_{proc}[p]$ ردپای آب فرآیندی است که y محصول ورودی را به z محصول خروجی تبدیل می‌کند که به‌صورت میزان آب مصرفی به ازای واحد محصول پردازش‌شده‌ی p (یعنی محصول خروجی موردنظر) بیان می‌شود (حجم بر جرم). پارامتر $f_p[p,i]$، "کسر محصول" و پارامتر $f_v[p]$ "کسر ارزش" نامیده می‌شوند. این پارامترها در ادامه تعریف می‌شوند. توجه داشته باشید که در این باره، ردپای آب فرآیند باید به صورت حجم آب در واحد محصول پردازش شده (یعنی محصول خروجی) در نظر گرفته شود؛ اگر ردپای آب فرآیند به صورت (حجم آب) به ازای هر واحد از یک محصول ورودی مشخص در دسترس باشد، این حجم باید بر کسر محصول برای آن محصول ورودی تقسیم شود.

کسر محصول ($f_p[p,i]$؛ جرم بر جرم) برای محصول خروجی p، که از پردازش محصول ورودی i حاصل شد، به صورت مقدار محصول خروجی ($w[p]$، جرم) به ازای هر واحد از مقدار محصول ورودی ($w[i]$، جرم)، تعریف می‌شود:

$$f_p[p,i] = \frac{w[p]}{w[i]} \qquad (۱۶)$$

کسر ارزش یک محصول خروجی ($f_v[p]$؛ واحد پول بر واحد پول) به صورت نسبت قیمت فروش این محصول به حاصل جمع قیمت فروش تمامی محصول‌های خروجی‌ای (p=1 to z) که از محصول‌های ورودی به‌دست می‌آیند، محاسبه می‌شود:

$$f_v[p] = \frac{price[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^{z} (price[p] \times w[p])} \qquad (۱۷)$$

که در آن؛ $price[p]$ قیمت محصول خروجی p (واحد پول بر جرم) می‌باشد. در مخرج کسر نیز کل قیمت z محصول خروجی (p=1 to z) که از محصول‌های ورودی به‌دست آمده‌اند، قرار دارد. توجه داشته باشید که در اینجا، قیمت به‌عنوان شاخصی از ارزش اقتصادی یک محصول لحاظ شد، اما همیشه این‌طور نیست؛ مثلاً زمانی بازاری برای فروش یک محصول وجود نداشته باشد، و یا وقتی اوضاع بازار نابسامان است؛ در این‌صورت، قطعاً بهتر است که ارزش اقتصادی واقعی محصول درنظرگرفته شود.

توجه داشته باشید که برای یک مورد ساده که در آن، یک ورودی منتهی به تولید یک خروجی می‌شود، محاسبه‌ی ردپای آب محصول خروجی خیلی ساده است:

$$WF_{prod}[p] = WF_{proc}[p] + \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \quad \text{بر حسب حجم بر جرم} \qquad (۱۸)$$

به منظور محاسبه‌ی ردپای آب محصول نهایی یک سیستم تولید، بهترین حالت آن است که با محاسبه‌ی ردپای آب اصلی‌ترین منابع (از جایی که زنجیره‌ی عرضه شروع می‌شود) شروع نمود و سپس، به‌صورت گام به گام، ردپای آب محصول‌های میانی را محاسبه نمود و (این کار را تا جایی ادامه داد) که بتوان (بر اساس آن یافته‌ها،) ردپای آب محصول نهایی را محاسبه نمود. گام نخست، تعیین ردپای آب محصول‌های ورودی و آب مصرفی برای فرآوری و تبدیل آن‌ها به محصول خروجی است. سپس، مجموع این (آب‌های) مصرفی بر اساس کسر محصول و کسر ارزش، بین محصول‌های خروجی تقسیم می‌شود. یک مثال کاربردی از نحوه محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول گیاهی در پیوست (ج) ارایه شد.

بهترین گزینه آن است که کسرهای محصول را از متون علمی‌ای که در مورد یک فرآیند تولید خاص وجود دارد، به‌دست آورد. کسرهای محصول اغلب به صورت کلی (و بدون لحاظ جزئیات) تعیین شده‌اند؛ این در حالی است که گاهی، برای تعیین مقدار محصول خروجی به ازای هر واحد از محصول ورودی، فرآیندهای (که برای تولید محصول خروجی) به کار رفته‌اند، باید دقیقا مشخص باشند. در چنین موردی، دانستن نوع فرآیندهای به‌کار رفته برای نمونه موردنظر، اهمیت بسیاری دارد. برای محصول‌های گیاهی و دامی، کسرهای محصول را می‌توان در فائو (FAO, 2003) و در پژوهش چاپاگین و هوکسترا (Chapagain and Hoekstra, 2004، جلد دوم را ببینید)، یافت. کسرهای ارزش به تحولات قیمتی بستگی داشته و دارای نوسانات سالانه است. به منظور اجتناب از تأثیر زیاد نوسانات قیمت بر خروجی‌های به‌دست آمده از محاسبات ردپای آب، پیشنهاد می‌کنیم که کسرهای ارزش، بر اساس میانگین قیمت، حداقل در یک دوره‌زی زمانی پنج ساله، برآورد شود. کسرهای ارزش برای دامنه‌ی وسیعی از محصول‌های گیاهی و دامی در پژوهش چاپاگین و هوکسترا (Chapagain and Hoekstra, 2004) گزارش شد. با این حال، پیشنهاد می‌کنیم که قبل از آن‌که از داده‌های پیش‌فرض موجود در متون علمی استفاده شود، ابتدا به جستجوی داده‌های واقعی موجود برای نمونه‌ی مد نظر پرداخت. ردپای آب یک مرحله‌ی معین از یک فرآیند، با نوع روش مورد استفاده (در آن فرآیند)، تغییر می‌کند (مثلاً، این‌که آسیاب خشک یا تر انجام شود، تمیزکاری خشک یا تر استفاده شود، سیستم خنک‌کننده‌ی بسته و یا سیستم خنک‌کننده‌ی باز که همراه با تبخیر آب است، استفاده شود). برای بسیاری از فرآیندها، می‌توان تخمین‌هایی از حجم آب برداشتی در متون علمی پیدا نمود، اما داده‌های مصرف آب در آنها وجود ندارد. داده‌های کلی برای آلودگی مرتبط با هر فرآیند نیز کمیاب بوده و به شدت از مکانی به مکان دیگر تغییر می‌کنند. بنابراین، استفاده از این برآوردهای کلی، منجر به خروجی‌های کلی می‌شود. این داده‌ها را باید از منبع آن‌ها، مانند تولیدکنندگان و کارخانجات، جستجو نمود.

۳-۵ ردپای آب یک مصرف‌کننده یا گروهی از مصرف‌کنندگان

۳-۵-۱ تعریف

ردپای آب یک مصرف‌کننده، مجموع آب شیرینِ مصرف و آلوده شده برای تولید کالاها و خدماتی که توسط مصرف‌کنندگان استفاده می‌شود، می‌باشد. ردپای آب گروهی از مصرف‌کنندگان، حاصل‌جمع ردپای آب هریک از مصرف‌کنندگان است.

۳-۵-۱ محاسبه

ردپای آب یک مصرف‌کننده (WF_{cons}) با جمع‌نمودن ردپای آب مستقیم و غیر مستقیم آن مصرف‌کننده به‌دست می‌آید:

$$WF_{cons} = WF_{cons,dir} + WF_{cons,indir} \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۱۹)$$

منظور از ردپای آب مستقیم، میزان مصرف و آلودگی آب در نتیجه‌ی استفاده از آب در خانه و یا در باغچه است. ردپای آب غیرمستقیم، میزان مصرف و آلودگی آب ناشی از تولید کالاها و خدمات مصرفی توسط آن مصرف‌کننده است. هم‌چنین این ردپا، آب مصرفی برای تولید غذا، لباس، کاغذ، انرژی و کالاهای صنعتی را نشان می‌دهد. ردپای آب غیرمستقیم از حاصل‌ضرب کلیه محصول‌های مصرفی در ردپای آب متناظر آن محصول‌ها به‌دست می‌آید:

$$WF_{cons,indir} = \sum_{p} \left(C[p] \times WF^{*}_{prod}[p] \right) \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۰)$$

$C[p]$ میزان مصرف محصول p (واحد محصول بر زمان) و $WF^{*}_{prod}[p]$ ردپای آب این محصول (حجم آب به ازای واحد محصول) است. این گروه از محصولات منتخب، طیف کاملی از کالاها و خدمات را در بر می‌گیرد. تعریف و نحوه محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول، در بخش قبل ارایه شد. کل مقدار (محصول) p مصرفی می‌تواند از x محل مختلف تأمین شده باشد. (بنابراین)، ردپای آب متوسط محصول p به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$WF^{*}_{prod}[p] = \frac{\sum_{x} \left(C[x,p] \times WF_{prod}[x,p] \right)}{\sum_{x} C[x,p]} \quad \text{(حجم بر واحد محصول)} \qquad (۲۱)$$

که در آن؛ $C[x,p]$ میزان مصرف محصول p است که در مکان x تولید شد (واحد محصول بر زمان) و $WF_{prod}[x,p]$ ردپای آب محصول p است که در مکان x تولید شد (واحدحجم آب به ازای واحد

محصول). بسته به این‌که چه حدی از جزئیات مدنظر باشد، می‌توان منشا محصول‌های مصرفی را با دقتی کم‌تر و یا بیش‌تر ردیابی نمود. اگر فردی نتواند و یا نخواهد منشا محصول‌های مصرفی را ردیابی نماید، مجبور است از برآوردهای میانگین جهانی و یا کشوری ردپای آب آنها استفاده نماید. با این حال، اگر فردی علاقه‌مند به ردیابی منشا محصول‌ها باشد، می‌تواند ردپای آب محصول را با جزئیات بیش‌تری برآورد کند (سطوح مختلف دقت‌های زمانی و مکانی برای محاسبه‌ی ردپای آب که در فصل یک توضیح داده شد را ببینید). بهتر است یک مصرف‌کننده، منشا محصولی که مصرف می‌کند را بداند. اگر یک مصرف‌کننده آن را نداند، می‌تواند منشا محصولات مصرفی را مشابه نمونه‌های موجود در بازار در نظر بگیرد. سپس، مقدار $WF^{*}_{prod}[p]$ را می‌توان با فرمول‌های ارایه شده در بخش ۳-۷-۳، محاسبه نمود.

ردپای آب کالاها و خدمات نهایی اختصاصی، منحصراً مختص مصرف‌کننده‌ی آن کالاهای اختصاصی می‌باشد. (سهم هر مصرف‌کننده در) ردپای آب کالاها و خدمات عمومی و یا مشترک، متناسب با سهم آن مصرف‌کننده (در میزان مصرف آن کالاها) تعیین می‌شود.

۳-۶ ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین

۳-۶-۱ تعریف

ردپای آب یک محدوده‌ی جغرافیایی، کل مصرف و آلودگی آب شیرین در داخل مرزهای آن محدوده می‌باشد. مشخص نمودن مرزهای محدوده‌ی مدنظر به صورت شفاف، امری حیاتی است. این محدوده می‌تواند یک حوضه‌ی کوچک، کل حوضه یک رودخانه، یک استان، یک ایالت یا کشور یا هر واحد هیدرولوژیکی یا هر واحد اداری دیگر باشد.

۳-۶-۱ محاسبه

ردپای آب یک محدوده‌ی جغرافیایی (WF_{area}) از حاصل‌جمع ردپاهای آب تمامی فرآیندهای آب‌بر در آن محدوده به‌دست می‌آید:

$$WF_{area} = \sum_{q} WF_{proc}[q] \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۲)$$

که در آن؛ $WF_{proc}[q]$ ردپای آب فرآیند q در آن محدوده‌ی جغرافیایی را نشان می‌دهد. این رابطه، تمامی مصارف و یا آلودگی آب که در آن محدوده اتفاق می‌افتد را باهم جمع می‌کند. صادرات آب

واقعی[1] به خارج از آن محدوده، مانند انتقال آب بین‌حوضه‌ای، ردپای آب فرآیند در منطقه‌ای که آب از آن صادر می‌شود، در نظر گرفته می‌شود.

از دیدگاه ذخیره و حفظ آب در یک محدوده‌ی معین – به ویژه اگر آن محدوده کم‌آب باشد– دانستن این مطلب که چقدر آب در آن محدوده برای تولید محصولات صادراتی مصرف می‌شود و چقدر آب به صورت مجازی (به ازای واردات محصولات آب‌بر)، به آن محدوده وارد شده و نیاز به تولید داخلی آن محصول‌ها را مرتفع ساخته، حایز اهمیت است. به بیانی دیگر، جالب است که "بیلان آب مجازی"[2] یک محدوده را بدانیم. بیلان آب مجازی یک محدوده‌ی جغرافیایی در یک بازه‌ی زمانی خاص، با عنوان میزان واردات خالص آب مجازی در این دوره‌ی زمانی ($V_{i,net}$) تعریف می‌شود که برابر است با واردات ناخالص آب مجازی (V_i) منهای صادرات ناخالص آب مجازی (V_e):

$$V_{i,net} = V_i - V_e \quad \text{بر حسب حجم بر زمان} \qquad (۲۳)$$

مقدار مثبت بیلان آب مجازی مبین جریان خالص آب مجازی به آن محدوده از دیگر نواحی است. مقدار منفی آن، نشان‌دهنده‌ی صادرات خالص آب مجازی از آن محدوده است. واردات ناخالص آب مجازی از این جهت اهمیت دارد که وارد نمودن آب مجازی، باعث صرفه‌جویی آب در محدوده‌ی موردنظر می‌شود و نیز اهمیت صادرات ناخالص آب مجازی در این است که مبین بخشی از ردپای آب درون یک محدوده است که توسط ساکنان خارج آن محدوده، مصرف می‌شود. واردات و صادرات آب مجازی را می‌توان بر اساس روشی مشابه آن‌چه در بخش ۳-۷-۳ برای ردپای آب کشورها توضیح داده شد، محاسبه نمود.

۳-۷ محاسبه‌ی ردپای آب ملی

۳-۷-۱ شمای محاسبه‌ی ردپای آب ملی

مقدار کل ردپای آب ملی با ترکیب محاسبات مربوط به "ردپای آب مصارف ملی" (محاسبات مربوط به مصرف‌کننده مانند آنچه در بخش ۳-۵ توضیح داده شد) و محاسبات مربوط به "ردپای آب درون یک کشور" (محاسبات مربوط به محدوده مانند آنچه در بخش ۳-۶ توضیح داده شد) در یک

۱. یعنی آب به همان شکل واقعی صادر شود نه به صورت مجازی.

2 . Virtual-water balance

شمای جامع به‌دست می‌آید. شکل ۳-۹ نمایش بصری محاسبه‌ی ردپای آب ملی را بر اساس آن‌چه توسط هوکسترا و چاپاگین (Hoekstra and Chapagain, 2008) مطرح شد، نشان می‌دهد.

محاسبات سنتی‌ای که (برای تعیین) مصارف آب، تنها آب برداشتی در یک کشور را نشان می‌دهد. در این محاسبات، تمایزی بین میزان آب مصرفی برای تولید محصولات برای مصارف داخلی با میزان آب مصرفی برای تولید محصولات صادراتی صورت نمی‌گیرد. هم‌چنین، این محاسبات فاقد داده‌های مربوط به مصرف آب در خارج از کشور برای تأمین مصارف ملی است. به‌علاوه، آن داده‌ها تنها شامل آب آبی مصرفی بوده و آب سبز و خاکستری را شامل نمی‌شوند. به منظور تجزیه و تحلیلی جامع‌تر و فراهم آوردن اطلاعاتی بهتر برای تصمیم‌گیری، باید محاسبات سنتی مصرف آب را جامع‌تر نمود.

ردپای آب مصرف‌کنندگان در یک کشور ($WF_{cons,na}$)، دو مؤلفه دارد: ردپای آب داخلی و ردپای آب خارجی:

$$WF_{cons,nat} = WF_{cons,nat,int} + WF_{cons,nat,ext} \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۴)$$

ردپای آب داخلی برای مصارف ملی ($WF_{cons,nat,int}$)، میزان مصرف منابع آب داخلی برای تولید کالاها و خدماتی را نشان می‌دهد که توسط ساکنان آن کشور، مصرف می‌شود. این مقدار، معادل مجموع ردپای آب داخل آن کشور ($WF_{area,nat}$) منهای حجم صادرات آب مجازی به کشورهای دیگر، به واسطه‌ی صادرات کالاهای تولید شده با استفاده از منابع آب داخلی آن کشور به کشورهای دیگر، می‌باشد ($V_{e,d}$).

$$WF_{cons,nat,int} = WF_{area,nat} - V_{e,d} \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۵)$$

ردپای آب خارجی مصارف ملی ($WF_{cons,nat,ext}$)، حجمی از منابع آب مصرفی در کشورهای دیگر است که برای تولید کالاها و خدمات مصرف‌شده توسط ساکنان کشور موردنظر، استفاده شد. این مقدار، برابر است با واردات آب مجازی به داخل کشور موردنظر (V_i) منهای حجم صادرات آب مجازی به دیگر کشورها به واسطه‌ی صادرات مجددِ محصولات وارداتی ($V_{e,r}$):

$$WF_{cons,nat,ext} = V_i - V_{e,r} \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۶)$$

صادرات آب مجازی (V_e) از یک کشور، شامل صادرات (مجازی) منابع آب داخلی ($V_{e,d}$) و صادرات مجدد آب با منشا خارجی ($V_{e,r}$) است:

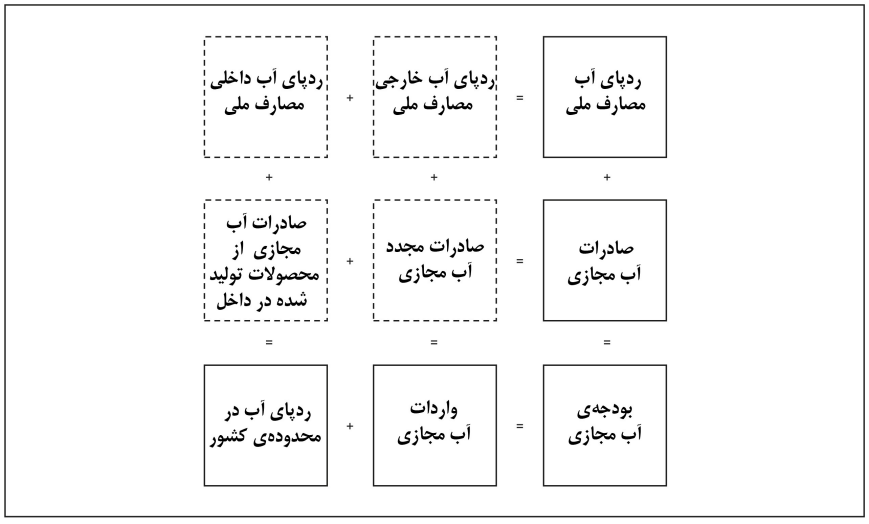
$$V_e = V_{e,d} + V_{e,r} \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۷)$$

بخشی از واردات آب مجازی به داخل یک کشور، (در داخل آن کشور) مصرف می‌شود و در نتیجه، ردپای آب خارجی مصارف ملی را تشکیل می‌دهد ($WF_{cons,nat,ext}$)، و بخشی از آن دوباره صادر می‌شود ($V_{e,r}$):

$$V_i = WF_{cons,nat,ext} + V_{e,r} \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۸)$$

مجموع V_i و $WF_{area,nat}$ برابر است با مجموع V_e و $WF_{cons,nat}$. این حاصل‌جمع، بودجه‌ی آب مجازی (V_b) یک کشور نام دارد:

$$V_b = V_i + WF_{area,nat} = V_e + WF_{cons,nat} \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۲۹)$$



شکل ۳-۹. شمای محاسبه‌ی ردپای آب ملی. شمای محاسبه (شکل‌های) مختلف بیلان را که می‌توان برای ردپای آب مربوط به مصارف ملی ($WF_{cons,nat}$) داشت، نشان می‌دهد: ردپای آب داخل محدوده‌ی کشور ($WF_{area,nat}$)، مجموع صادرات آب مجازی (V_e) و کل واردات آب مجازی (V_i).

۳-۷-۲ محاسبه‌ی ردپای آب داخل یک کشور

ردپای آب داخل یک کشور ($WF_{area,nat}$، حجم بر زمان)، کل حجم آب شیرین مصرف شده یا آلوده شده داخل مرزهای یک کشور است. این مقدار را می‌توان با پیروی از روشی که در بخش ۳-۶ توضیح داده شد، محاسبه نمود:

$$WF_{area,nat} = \sum_q WF_{proc}[q] \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۰)$$

که در آن؛ $WF_{proc}[q]$، ردپای آب فرآیند q داخل کشور است که این فرآیند باعث مصرف و یا آلودگی آب شده است. این رابطه، (ردپاهای آب) تمام فرآیندهای رخ داده در آن کشور، که باعث مصرف و یا آلودگی آب می‌شوند را با هم جمع می‌کند. واحد ردپاهای آب این فرآیندها، حجم بر زمان است.

۳-۷-۳ محاسبه‌ی ردپای آب مصرف ملی

ردپای آب مصرف ملی ($WF_{cons,nat}$) می‌تواند با دو روش محاسبه شود: روش بالا به پایین و روش پایین به بالا.

روش بالا به پایین

در روش بالا به پایین، ردپای آب مصرف ملی ($WF_{cons,nat}$، حجم بر زمان)، به‌صورت ردپای آب داخل کشور ($WF_{area,nat}$) به‌علاوه‌ی واردات آب مجازی (V_i) منهای صادرات آب مجازی (V_e) محاسبه می‌شود:

$$WF_{cons,nat} = WF_{area,nat} + V_i - V_e \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۱)$$

واردات ناخالص آب مجازی به‌این صورت محاسبه می‌شود:

$$V_i = \sum_{n_e} \sum_{p} \left(T_i[n_e, p] \times WF_{prod}[n_e, p] \right) \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۲)$$

که در آن؛ $T_i[n_e,p]$ مقدار واردات محصول p از کشور صادرکننده‌ی n_e (واحد محصول بر زمان) و $WF_{prod}[n_e,p]$ ردپای آب محصول p در کشور صادرکننده‌ی n_e (حجم بر واحد محصول) را نشان می‌دهد. اگر جزئیات بیش‌تری در دست نباشد، می‌توان فرض نمود که محصول وارداتی، در همان کشور صادرکننده تولید شده است. بنابراین، می‌توان از ردپای آب متوسط محصول در کشور صادرکننده استفاده نمود. اگر محل تولید آن محصول در کشور صادرکننده مشخص باشد، می‌توان ردپای آب محصول در همان محل را درنظر گرفت. وقتی یک محصول به کشوری وارد می‌شود که خودش آن محصول را تولید نمی‌کند و جزئیات بیش‌تری هم درباره‌ی محل اصلی (تولید) آن محصول وجود نداشته باشد، می‌توان مقدار میانگین جهانی ردپای آب را برای آن محصول در (محاسبه‌ی) جریان وارداتی در نظر گرفت. در حالت ایده‌آل، برای هر محصولی که وارد می‌شود، ردپای آبی را برای آن محصول درنظر می‌گیرند که در زنجیره‌ی عرضه‌ی واقعی آن محصول

اندازه‌گیری شد، اما در عمل، این روش را تنها می‌توان برای برخی موارد خاص انجام داد (مانند آنچه طی پژوهشی توسط چاپاگین و اور (Chapagain and Orr, 2008) برای ردپای آب انگلستان انجام شد)، اما نمی‌توان این روش را به صورت عمومی برای تمامی محصول‌های وارداتی به یک کشور به کار برد. پرواضح است که باید فرضیات مشخصی در این زمینه درنظر گرفته شود.

صادرات ناخالص آب مجازی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$V_e = \sum_p T_e[p] \times WF^*_{prod}[p] \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۳)$$

که در این معادله؛ $T_e[p]$ مقدار محصول p صادرشده از کشور (بر حسب واحد محصول بر زمان) و $WF^*_{prod}[p]$ میانگین ردپای آب محصول p صادرشده را نشان می‌دهد (حجم بر واحد محصول). $WF^*_{prod}[p]$ را می‌توان به صورت زیر تخمین زد:

$$WF^*_{prod}[p] = \frac{P[p] \times WF_{prod}[p] + \sum_{n_e} \left(T_i[n_e, p] \times WF_{prod}[n_e, p] \right)}{P[p] + \sum_{n_e} T_i[n_e, p]} \quad \text{(حجم بر واحد محصول)} \qquad (۳۴)$$

در این معادله؛ $P[p]$ مقدار تولید محصول p در کشور، $T_i[n_e,p]$ مقدار واردات محصول p از کشور n_e، $WF_{prod}[p]$ ردپای آب محصول p که در کشور مورد نظر تولید شد و $WF_{prod}[n_e,p]$ ردپای آب محصول p در کشور صادرکننده‌ی n_e می‌باشد. فرض انجام شده در این قسمت، آن است که میزان صادرات صورت‌گرفته از محصولات داخلی و وارداتی، متناسب با حجم نسبی آن‌ها صورت می‌گیرد.

روش پایین به بالا

روش پایین به بالا، بر اساس روش محاسبه‌ی ردپای آب گروهی از مصرف‌کنندگان می‌باشد (بخش ۳-۵). گروه مصرف‌کنندگان، همان ساکنان یک کشور هستند. ردپای آب مصرف ملی، از حاصل‌جمع ردپاهای آب مستقیم و غیرمستقیم مصرف‌کنندگان در آن کشور به‌دست می‌آید:

$$WF_{cons,nat} = WF_{cons,nat,dir} + WF_{cons,nat,indir} \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۵)$$

منظور از ردپای آب مستقیم، مصرف و آلودگی آب به‌دلیل مصرف آب به وسیله‌ی مصرف‌کنندگان در خانه و یا باغچه می‌باشد. ردپای آب غیرمستقیم مصرف‌کننده‌گان، آب مصرفی به وسیله‌ی دیگران برای ساخت کالاها و ارایه خدمات مصرفی (توسط مصرف‌کنندگان) می‌باشد که شامل آبی است که برای تولید غذا، لباس، کاغذ، انرژی و کالاهای صنعتی مصرف می‌شود. ردپای آب غیر مستقیم، از

حاصل‌ضرب تمامی محصول‌های مصرفی توسط ساکنان یک کشور، در مقدار ردپای آب متناظر آن محصول‌ها به‌دست می‌آید:

$$WF_{cons,nat,indir} = \sum_{p}\left(C[p]\times WF^{*}_{prod}[p]\right) \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۶)$$

$C[p]$، مصرف محصول p توسط مصرف‌کنندگان داخل کشور (واحد محصول بر زمان) و $WF^{*}_{prod}[p]$ ردپای آب این محصول (حجم بر واحد محصول) می‌باشد. این گروه از محصولات منتخب، طیف کاملی از کالاها و خدمات (مصرفی توسط) مصرف‌کنندگان نهایی را در بر می‌گیرد. منشا بخشی از کل (محصول) p که در یک کشور مصرف شده است، از همان کشور نشات می‌گیرد و بخش دیگر آن، از کشورهای دیگر نشات می‌گیرد. میانگین ردپای آب محصول p که در یک کشور مصرف شد، با فرضیاتی مشابه آن‌چه در روش بالا به پایین بیان شد، محاسبه می‌شود:

$$WF^{*}_{prod}[p] = \frac{P[p]\times WF_{prod}[p] + \sum_{n_e}\left(T_i[n_e,p]\times WF_{prod}[n_e,p]\right)}{P[p] + \sum_{n_e} T_i[n_e,p]} \qquad \text{(حجم بر واحد محصول)} \qquad (۳۶)$$

فرض بر آن است که میزان صادرات از محصولات داخلی و وارداتی، بر اساس حجم نسبی آن‌ها صورت می‌گیرد.

مقایسه روش پایین به بالا و روش بالا به پایین

از نظر تئوری، محاسبات روش‌های پایین به بالا و بالا به پایین به نتایج مشابهی ختم می‌شوند، به شرط آن‌که تغییری در میزان ذخیره‌ی آن محصول در طول یک سال ایجاد نشده باشد. اگر ذخیره‌ی انبار برای محصولات آب‌بر، افزایش (یا کاهش) یابد، محاسبات روش بالا به پایین، می‌تواند از نظر تئوریکی منتج به ارقام بالاتری (یا پایین‌تری) در طول سال شود. دلیل این امر آن است که روش بالا به پایین، به صورت پیش‌فرض، بیلانی به این صورت درنظر می‌گیرد: $WF_{area,nat}$ به‌اضافه‌ی V_i برابر است با $WF_{cons,nat}$ به‌اضافه‌ی V_e. این تنها یک تخمین است زیرا، اگر بخواهیم دقیق‌تر باشم (خواهیم داشت): $WF_{area,nat}$ به‌اضافه‌ی V_i برابر است $WF_{cons,nat}$ به‌اضافه‌ی V_e

به‌اضافه‌ی میزان افزایش ذخیره‌ی آب مجازی[1]. یکی دیگر از اشکال‌های روش بالا به پایین آن است که ممکن است بین زمان مصرف آب برای تولید (کالای صادراتی) و زمان مبادله‌ی آب مجازی، تاخیری وجود داشته باشد؛ به‌عنوان مثال، این مسأله می‌تواند در مورد مبادله‌ی محصولات دامی اتفاق بیفتد: گوشت گاو و یا چرم می‌تواند در یک سال مبادله شود در حالی‌که این کالاها، در ازای پرورش و تغذیه‌ی دام در سال‌های قبل تولید شده‌اند. بخشی از آب که به صورت مجازی در گوشت گاو و چرم جای‌سازی شده است، مربوط به آبی است که برای تولید گیاهان علوفه‌ای در سال‌های قبل مصرف شده است. در نتیجه، بیلان پیش‌فرضی که در روش بالا به پایین در نظر گرفته شده است، برای چندین سال خواهد بود نه الزاماً برای یک سال.

علاوه بر تفاوت‌هایی که از نظر تئوریکی بین این دو روش وجود دارد، اختلاف‌های دیگری نیز می‌تواند در خروجی این دو مدل، به‌دلیل استفاده از داده‌های ورودی متفاوت، به‌وجود بیاید. (نتایج) روش پایین به بالا به کیفیت داده‌های مربوط به مصرف بستگی دارد، در حالی‌که (نتایج) روش بالا به پایین به کیفیت داده‌های مربوط به مبادلات بستگی دارد. در صورت نبودِ سازگاری پایگاه‌های مختلف داده‌ها، نتایج این دو روش با هم اختلاف خواهد داشت. در یک مورد خاص، ممکن است خروجی روش بالا به پایین،به مقادیر اندک خطا در داده‌های ورودی بسیار حساس باشد. این مسأله زمانی رخ خواهد داد که واردات و صادرات یک کشور در مقایسه با تولیدات داخلی آن کشور، بسیار بیش‌تر هستند. چنین مسأله‌ای، برای کشورهای کوچکی که روی تجارت بسیار متمرکز هستند، مصداق دارد. این موضوع را می‌توان در مطالعه‌ی موردی که برای کشور هلند انجام شد، مشاهده نمود (Van Oel et al., 2009). در این حالت، ردپای آب مصرف ملی که با روش بالا به پایین محاسبه شد، به داده‌های واردات و صادرات مورد استفاده شد حساس خواهد بود. خطای اندکی در تخمین واردات و صادرات آب مجازی، باعث ایجاد خطای نسبتاً زیادی در تخمین ردپای آب می‌شود. در چنین شرایطی، روش پایین به بالا، تخمین‌های قابل‌اعتمادتری نسبت به روش بالا به پایین ارایه می‌دهد. در کشورهایی که تجارت آن‌ها در مقایسه با تولیدات داخلی کم است، میزان اطمینان به خروجی‌های هر دو روش به کیفیت نسبی داده‌های استفاده شده در هر روش بستگی دارد.

ردپای آب خارجی مصرف ملی

با هر یک از روش‌های بالا به پایین یا پایین به بالا، می‌توان کل ردپای آب مصرف ملی ($WF_{cons,nat}$) را محاسبه نمود. با روش بالا به پایین، می‌توان واردات آب مجازی به یک کشور (V_i) را

1 . Virtual-water stock increase

محاسبه نمود. پیش‌تر در بخش ۳-۷-۲، نحوه محاسبه‌ی ردپای آب درون یک کشور ($WF_{area,nat}$) ذکر شد. بر اساس این داده‌ها، ردپای آب خارجی مصرف ملی ($WF_{cons,nat,ext}$) را می‌توان به صورت ذیل محاسبه نمود:

$$WF_{cons,nat,ext} = \frac{WF_{cons,nat}}{WF_{area,nat} + V_i} \times V_i \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۸)$$

این فرمول را می‌توان به صورت مجزا، برای گروه محصولات کشاورزی (محصولات گیاهی و دامی) و صنعتی استفاده نمود. این فرمول بر این دلالت دارد که تنها بخشی از واردات ناخالص آب مجازی، ردپای آب خارجی مصرف ملی محسوب می‌شود و این مقدار برابر است با بخشی از بودجه‌ی آب مجازی درون آن کشور (یعنی مجموع ردپای آب درون یک کشور و واردات آب مجازی) که تنها منسوب به مصارف ملی است[۱]. بخش دیگر بودجه‌ی آب مجازی صادر می‌شود و بنابراین، آن بخشی از ردپای آب مصرف ملی محسوب نمی‌شود.

ردپای آب خارجی مصرف ملی را می‌توان با دانستن کشور صادر کننده n_e و محصول p برآورد نمود با فرض این‌که از نسبت کشوریِ بین ردپای آب خارجی و کل واردات آب مجازی، برای تمامی کشورهای طرف معامله و محصول‌های وارداتی استفاده شود[۲]:

$$WF_{cons,nat,ext}[n_e, p] = \frac{WF_{cons,nat,ext}}{V_i} \times V_i[n_e, p] \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۳۹)$$

گاهی محصولات از کشورهایی وارد می‌شوند که در آنجا تولید نشده‌اند. برای این محصولات، باید کشور اصلی تولیدکننده‌ی آن محصول را پیدا نمود. تولیدات جهانیِ برخی از گروه‌های محصول در نواحی خاصی متمرکز شده‌اند. مکان تولید این محصولات را می‌توان بر اساس داده‌های مربوط به تولیدات جهانی، به‌صورت تقریبی تخمین زد. این بدان معنی است که می‌توان بر اساس نحوه‌ی توزیع

---

۱. این فرض این مساله را تداعی می‌کند که $\frac{WF_{cons,nat,ext}}{V_{e,r}} = \frac{WF_{cons,nat,int}}{V_{e,d}} = \frac{WF_{cons,nat}}{V_e}$ و این‌که

$$\frac{WF_{cons,nat,ext}}{WF_{cons,nat,int}} = \frac{V_{e,r}}{V_{e,d}} = \frac{V_i}{WF_{area,nat}}$$

۲. باید برای گروه‌هایی از محصول که بخش قابل‌توجهی از واردات آن‌ها، دوباره صادر می‌شود، استثنا قائل بود. در این حالت، نسبت کشوری بین $WFcons,nat,ext$ و Vi فرض مناسبی نیست. درعوض، می‌توان یک جزء مشخص از $WFcons,nat,ext$ به Vi که برای محصول مورد نظر مناسب باشد، را به کار برد.

مکانیِ تولید در سطح جهان، ردپای آب مربوط به کشوری که خود تولیدکننده نیست را بین کشورهای تولیدکننده توزیع نمود.

۳-۷-٤ صرفه‌جویی آب به واسطه‌ی تجارت

صرفه‌جویی ملی آب S_n (حجم بر زمان) در یک کشور به واسطه‌ی تجارت محصول p به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_n[p]=\left(T_i[p]-T_e[p]\right)\times WF_{prod}[p] \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۴۰)$$

که در آن؛ $WF_{prod}[p]$ ردپای آب محصول p در کشور مورد نظر (حجم بر واحد محصول)، $T_i[p]$ مقدار واردات محصول (واحد محصول بر زمان) و $T_e[p]$ مقدار صادرات محصول (واحد محصول بر زمان) می‌باشد. پرواضح است که S_n می‌تواند منفی نیز باشد که در این صورت، به معنی تلفات خالص آب به جای صرفه‌جویی است.

میزان صرفه‌جویی جهانی آب S_g (حجم بر زمان) به واسطه‌ی تجارت محصول p از کشور صادرکننده‌ی n_e به کشور واردکننده‌ی n_i عبارت است از:

$$S_g[n_e,n_i,p]=T[n_e,n_i,p]\times\left(WF_{prod}[n_i,p]-WF_{prod}[n_e,p]\right) \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۴۱)$$

که در آن، T مقدار مبادله‌ی محصول p (مقدار محصول بر واحد زمان) بین دو کشور است. بنابراین، صرفه‌جویی جهانی، از تفاوت بین بهره‌وری‌های آب در کشورهای در حال معامله به‌دست می‌آید.

وقتی در یک مورد خاص، کشور وارد کننده قادر به تولید آن محصول نباشد، پیشنهاد می‌شود اختلاف بین میانگین جهانی ردپای آب محصول و ردپای آب آن در کشور صادرکننده درنظر گرفته شود. کل صرفه‌جویی جهانی آب را می‌توان از حاصل‌جمع صرفه‌جویی‌های جهانیِ مربوط به تمامی جریان‌های تجارت بین‌المللی به‌دست آورد. بر اساس تعریف، کل صرفه‌جویی جهانی آب برابر با مجموع صرفه‌جویی‌های کشوری تمامی کشورها می‌باشد.

۳-۷-۵ وابستگی ملی آب در مقابل خودکفایی آبی

وابستگی به واردات آب مجازی ($WD,\ \%$) یک کشور، نسبت ردپای آب خارجی به ردپای آب مصارف ملی تعریف می‌باشد:

$$WD = \frac{WF_{cons,nat,ext}}{WF_{cons,nat}} \times 100 \qquad \text{بر حسب درصد} \qquad (۴۲)$$

خودکفایی ملی آب ($WSS, \%$) از تقسیم ردپای آب داخلی به ردپای آب مصارف ملی تعریف می‌شود:

$$WSS = \frac{WF_{cons,nat,int}}{WF_{cons,nat}} \times 100 \qquad \text{بر حسب درصد} \qquad (۴۳)$$

بهترین حالت آن است که وابستگی و خودکفایی آب، در مقیاس سالانه یا به صورت میانگین چندین ساله محاسبه شود. خودکفایی زمانی ۱۰۰ درصد می‌شود که تمامی آب مورد نیاز، در دسترس بوده و از داخل همان کشور برداشت شود. خودکفایی آبی زمانی به صفر نزدیک می‌شود که تقاضای آن کشور برای کالاها و خدمات، به طور عمده، از طریقِ واردات ناخالص آب مجازی تأمین شود. به عبارت دیگر، ردپای آب خارجیِ آن کشور، نسبتاً بزرگ‌تر از ردپای آب داخلی‌اش باشد.

۳-۸ محاسبه‌ی ردپای آب در مقیاس حوضه[1]

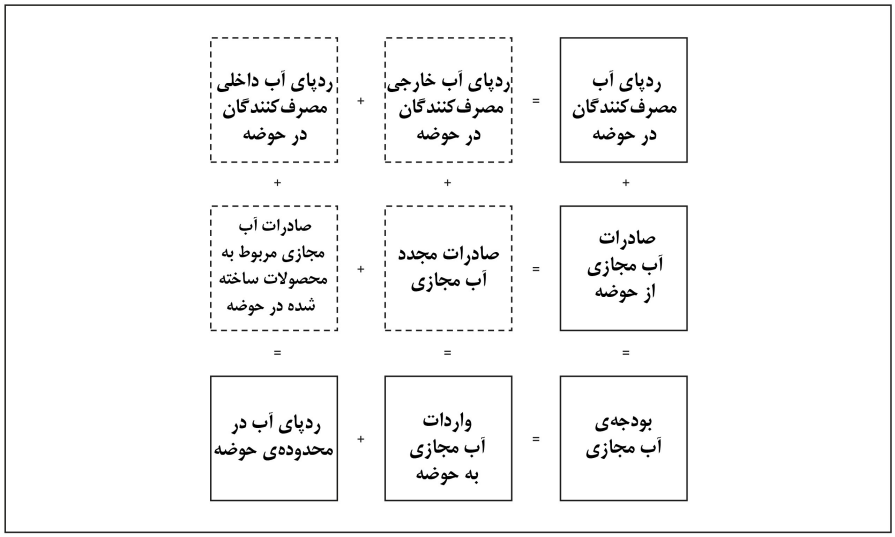
محاسبات کامل ردپای آب یک حوضه، مشابه محاسبات کامل ردپای آب یک کشور است که در بخش قبلی بررسی شد. تنها تفاوت، در تعریف مرزهای محدوده‌ی مورد نظر است. در محاسبات ردپای آب ملی، ردپای آب داخل قلمرو آن کشور و ردپای آب مصرف‌کنندگانی که در آن محدوده زندگی می‌کنند، درنظر گرفته می‌شود. در محاسبات ردپای آب حوضه، محاسبات مربوط به ردپای آب مصرف‌کنندگانی که در آن حوضه زندگی می‌کنند (محاسبات مربوط به مصرف‌کنندگان، مشابه آن‌چه در بخش ۳-۵ تفسیر شد) با محاسبات مربوط به ردپای آب داخل محدوده‌ی آن حوضه (محاسبات مربوط به محدوده، همانگونه که در بخش ۳-۶ انجام شد) با هم ترکیب می‌شوند. شکل ۳-۱۰ تصویری از شمای محاسبات ردپای آب مربوط به یک حوضه را نشان می‌دهد که مشابه شمایی است که برای محاسبات ردپای آب ملی ارایه شد. به‌عنوان یک راهنما، می‌توان همان روشی را که برای محاسبات ردپای آب ملی ارایه شد، دنبال نمود (بخش ۳-۷).

بنابراین، به سادگی می‌توان واژه‌ی ملی را با حوضه‌ای جایگزین نمود. تنها تفاوت (عملی) آن با محاسبات ردپای آب ملی آن است که ممکن است در این حالت، داده‌های مربوط به مبادله‌ها در دسترس نباشد. بنابراین، نمی‌توان از آمار مبادلات استفاده نمود. به جای این آمار، می‌توان مبادلات جریان را از داده‌های موجود، و یا از طریق تخمین‌های صورت گرفته برای تولید و مصارف در حوضه به‌دست آورد. می‌توان فرض نمود که (زمانی که تولید، بزرگ‌تر از مصرف در حوضه‌ی آبریز است)،

1 . Watersheds, River basins

تولید مازاد به خارج از حوضه صادر می‌شود (با این فرض که ذخیره‌ای در حوضه برای مصارف سال بعد صورت نمی‌گیرد). به طور مشابه، می‌توان فرض نمود که (زمان‌هایی‌که میزان تولید کم‌تر از مصرف باشد)، کسری تولید وارد می‌شود.

باید توجه نمود (همانگونه که در شکل ۳-۱۰ نشان داده شد)، همواره نیاز نیست که محاسبات ردپای آب حوضه به صورت کامل صورت بگیرد. این مسأله، به هدف محاسبات بستگی دارد. به‌ویژه مدیران حوضه، ممکن است علاقه‌مند به دانستن ردپای آب داخل حوضه‌ی خود باشند، ولی علاقه‌ای به دانستن میزان ردپای آب خارجی ساکنان حوضه نداشته باشند. هم‌چنین، ممکن است خیلی برای این افراد مهم نباشد که ردپای آب داخل حوضه، برای ساخت محصولات مصرفی ساکنان همان حوضه بوده و یا برای ساخت کالاهای صادراتی به خارج از حوضه می‌باشد. در چنین مواردی، انجام محاسبات ردپای آب در آن محدوده، به شیوه‌ای که در بخش ۳-۶ بحث شد، کفایت می‌کند. با این حال، برای داشتن دانشی وسیع‌تر در باره‌ی ارتباط بین آب مصرفی در حوضه و نیازهای معیشتی ساکنان حوضه، باید محاسبات ردپای آب حوضه‌ی آبریز به صورت کامل انجام شود.



شکل ۳-۱۰. شمای محاسبات ردپای آب حوضه. شمای محاسبات، بیلان‌های مختلفی را که می‌توان برای ردپای آب مصرف‌کنندگان ساکن حوضه، ردپای آب محدوده‌ی حوضه، صادرات آب مجازی از حوضه و واردات آب مجازی به داخل حوضه ارایه نمود، نشان می‌دهد.

۳-۹ محاسبات ردپای آب برای شهرها، روستاها یا دیگر واحدهای اداری

محاسبات ردپای آب برای واحدهای شهری، استانی یا دیگر واحدهای اداری، مشابه محاسبات ردپای آب یک کشور (بخش ۳-۷) و یا یک حوضه (بخش ۳-۸) است. در این موارد نیز می‌توان شمای مشابهی برای محاسبات ردپای آب به کار برد (شکل‌های ۳-۹ و ۳-۱۰). با این حال، محاسبات ردپای آب در سطح ایالت یا استان، برای کشورهای چین (Ma *et al*., 2006)، هند (Ma *et al*., 2006)، اندونزی (Bulsink *et al*., 2010) و اسپانیا (Garrido *et al*., 2010) انجام شده است. تا زمان نگارش این کتاب، هنوز هیچ‌گونه مطالعه‌ای برای محاسبات ردپای آب در مقیاس شهری انجام نشده بود. هرچه واحدهای اداری کوچک‌تر درنظر گرفته شوند، انتظار می‌رود کسر ردپای آب خارجی مصرف‌کنندگان در آن محدوده بزرگ‌تر باشد، به ویژه وقتی این واحد اداری، یک شهر درنظر گرفته می‌شود.

۳-۱۰ ردپای آب یک فعالیت

۳-۱۰-۱ تعریف

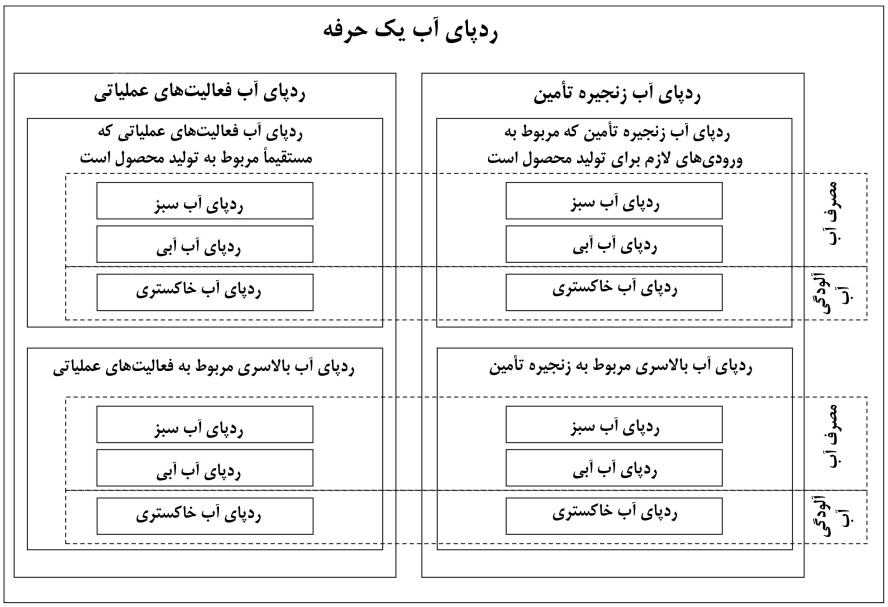
ردپای آب یک فعالیت، حجم آب شیرینی است که به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم برای اجرا و حمایت از یک فعالیت مصرف می‌شود. این (ردپای آب) از دو مؤلفه‌ی اصلی تشکیل می‌شود:

(الف) ردپای آب فرایندهای عملیاتی (یا ردپای آب مستقیم) فعالیت که حجم آب شیرین مصرفی یا آلوده شده حین فرایندهای عملیاتی مربوط به همان فعالیت است؛ و

(ب) ردپای آب زنجیره‌ی تأمین (یا ردپای آب غیرمستقیم) فعالیت که حجمی از آب شیرین است که برای تولید تمامی کالاها و خدماتی که به‌عنوان ورودی‌های لازم جهت تولید محصولات خروجی آن فعالیت محسوب می‌شوند، مصرف و یا آلوده می‌شوند. به جای اصطلاح ردپای آب فعالیت، می‌توان اصطلاح ردپای آب شرکت یا ردپای آب سازمانی را نیز به کار برد.

ردپای آب کل یک فعالیت را می‌توان (مانند آنچه در شکل ۳-۱۱ ارایه شد)، تصویرسازی نمود. پس از تفکیک ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی و زنجیره‌ی تأمین، می‌توان ردپای آبی که مستقیماً مربوط به محصول(های) تولیدی در آن فعالیت است، را از ردپای آب بالاسری تفکیک نمود. ردپای آب بالاسری، ردپای آبی است که در نتیجه‌ی کارهای رایج در انجام یک فعالیت و مصرف کالاها و خدمات عمومی مرتبط ایجاد می‌شود. بنابراین، اصطلاح "ردپای آب بالاسری"، میزان آب مصرفی‌ای را تعیین می‌کند که باعثِ بقای آن فعالیت می‌شود، ولی نمی‌توان آن را مستقیماً و به طور خاص، تنها

به یک محصول خروجی منسوب نمود. برای هر ردپایی، می‌توان مؤلفه‌های سبز، آبی و خاکستری را از هم متمایز نمود. مثال‌هایی از مؤلفه‌های مختلف در ردپای آب یک فعالیت در جدول ۳-۱ ارایه شد.



شکل ۳-۱۱ اجزای ردپای آب یک فعالیت

علاوه بر ردپای آب فرایندهای عملیاتی و زنجیره‌ی تأمین، ممکن است تعیینِ "ردپای آب حین کاربرد نهایی"[1] محصول خروجی یک فعالیت نیز مد نظر باشد. منظور از این ردپای آب، مصرف و آلودگی آب حین مصرف نهایی این محصول‌ها توسط مصرف‌کنندگان می‌باشد؛ مانند آبی که به واسطه‌ی مصارف خانگی صابون ایجاد می‌شود. ردپای آب حین کاربرد نهایی یک محصول، قطعاً بخشی از ردپای آبِ فعالیت یا ردپای آب محصول نیست، بلکه بخشی از ردپای آب مصرف‌کننده است. مصرف‌کنندگان می‌توانند به طرق مختلف، محصول را مصرف نمایند؛ بنابراین، تخمین "ردپای آب حین کاربرد نهایی" یک محصول، نیازمند لحاظ فرضیاتی برای تعیین مقدار میانگین مصارف می‌باشد.

1 . End-use water footprint of a product

بر اساس تعریف، "ردپای آب یک فعالیت"، برابر مجموع ردپای آب محصول‌های خروجیِ آن فعالیت است. "ردپای آب زنجیره‌ی تأمین یک فعالیت" برابر با مجموع ردپای آب محصول‌های ورودیِ آن فعالیت می‌باشد. روش محاسبه‌ی ردپای آب یک فعالیت یا ردپای آب محصول(های) عمده‌ی تولیدی آن فعالیت، تقریباً مشابه هستند، ولی این دو بر چیزهای متفاوتی متمرکز می‌شوند.

جدول ۳-۱ مثال‌هایی از مؤلفه‌های ردپای آب یک فعالیت

ردپای آب زنجیره‌ی تأمین		ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی	
ردپای آب بالاسری	ردپای آب مستقیمِ مرتبط با محصول(های) آن فعالیت	ردپای آب بالاسری	ردپای آب مستقیمِ مرتبط با محصول(های) آن فعالیت
• ردپای آب مربوط به زیرساخت‌ها (مصالح ساختمانی و غیره) • ردپای آب مواد و انرژی برای مصارف عمومی (تجهیزات اداری، اتومبیل‌ها و کامیون‌ها، سوخت‌ها، الکتریسیته و غیره)	• ردپای آب اجزای محصول که توسط شرکت خریداری شد • ردپای آب سایر موادی که توسط آن شرکت برای تولید محصولاتشان خریداری شد	• آب مصرفی و یا آلوده شده به واسطه‌ی مصرف آب در آشپزخانه، دستشویی، تمیزکاری، فضای سبز و یا شستشوی لباس‌های کار	• آب جای‌سازی شده در محصول • آب مصرفی یا آلوده شده حین فرآیند شست‌وشو • آلودگی حرارتی آب حین استفاده برای خنک‌سازی

در محاسبه‌ی ردپای آب یک فعالیت، تمرکز اصلی بر تمایز قایل شدن بین ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی (ردپای آب مستقیم) و ردپای آب زنجیره‌ی تأمین (ردپای آب غیرمستقیم) می‌باشد. از دیدگاه سیاسی، چنین تمرکزی کاملاً مناسب است، زیرا در یک فعالیت، کنترل مستقیم روی ردپای آب فرایندهای عملیاتی و تأثیر غیرمستقیم روی ردپای آب زنجیره‌ی تأمین وجود دارد. وقتی ردپای آب محصول محاسبه می‌شود، بین ردپای آب مستقیم و غیرمستقیم تمایزی درنظر گرفته نمی‌شود. در این حالت، به سادگی می‌توان ردپای آب تمامی فرآیندهای درگیر در سیستم تولیدِ محصول را درنظر گرفت که نتیجه آن، صرف نظر از نحوه مدیریت و عمل‌کرد سیستم تولید توسط شرکت‌های مختلف می‌باشد. اگر تمرکز اصلی بر محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول خاص باشد (به‌عنوان مثال، با توجه نمودن به تنها یکی از محصول‌های تولیدی به وسیله‌ی یک فعالیت)، بدون آن‌که بخواهیم بدانیم چه بخشی از این ردپای آب، در فرایندهای عملیاتی و چه بخشی در زنجیره‌ی تأمین آن فعالیت مصرف شده است، پیوندی بین محاسبه‌ی ردپای آب فعالیت و ردپای آب محصول ایجاد خواهد شد.

محاسبات ردپای آب فعالیت، دیدگاه جدیدی برای توسعه‌ی استراتژی‌های آبی شرکت فراهم می‌کند، زیرا ردپای آب، که شاخصی برای مصرف آب است، با شاخص برداشت آب که اغلب شرکت‌ها برای فعالیت‌های عملیاتی خود از آن استفاده می‌کنند، بسیار فرق دارد. کادر ۳-۱۰ تعداد

محدودی از پیامدهای محتمل برای شرکت‌هایی که خواهان دانستن ردپای آب خود شده‌اند، را نشان می‌دهد.

کادر ۳-۱۰ چه چیز جدیدی به دانسته‌های شرکت‌هایی که خواهان اطلاع از ردپای آب فعالیت خود هستند، اضافه خواهد شد؟

- به طور معمول، تمرکز اصلی شرکت‌ها بر آب مصرفی در فعالیت‌هایشان می‌باشد، نه بر آب مصرفی در زنجیره‌ی تأمین آن‌ها. پژوهش مبتنی بر شاخص ردپای آب، یک پژوهش جامع است. (با اجرای این پژوهش)، بسیاری از شرکت‌ها درخواهند یافت که ردپای آب زنجیره‌ی تأمین آن‌ها، بسیار بزرگ‌تر از ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی آن‌هاست. در نتیجه، ممکن است شرکت‌ها به این جمع‌بندی برسند که به جای سرمایه‌گذاری بر اموری که باعث کاهش ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی آن‌ها می‌شود، روی اموری سرمایه‌گذاری کنند که منتج به کاهش ردپای آب زنجیره‌ی تأمین و مخاطرات مرتبط با آن‌ها می‌شود.
- شرکت‌ها اغلب روی کاهش برداشت آب تمرکز می‌کنند، ولی ردپای آب، استفاده از آب را به صورت آب مصرفی و نه صورت آب برداشتی نمایان می‌سازد. جریان‌های آب برگشتی می‌تواند مجدد استفاده شود. بنابراین، بهتر است محاسبه‌ی آب مصرفی مد نظر قرار بگیرد.
- شرکت‌ها مطمئن هستند که آن‌ها، حق یا مجوز استفاده از آب را دارند. داشتن چنین تفکری برای مدیریت مخاطرات ناشی از مصرف و آلودگی آب مناسب نیست. بهتر است که جزئیات زمانی و مکانی مربوط به ردپای آب شرکت مدنظر قرار بگیرد زیرا، دانستن چنین جزئیاتی که آب، کجا و کی استفاده شده است، می‌تواند به‌عنوان ورودی‌ای برای ارزیابی دقیق پایداری ردپای آب (که) با هدف تعیین اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی و هم‌چنین تعیین مخاطرات مربوط به آن فعالیت (انجام می‌شود)، مورد استفاده قرار بگیرد.

معمولاً، شرکت‌ها، به تأمین استانداردهای مربوط به انتشار آلاینده‌ها (یعنی استانداردهای فاضلاب)، توجه می‌کنند. ردپای آب خاکستری، حجم آب لازم برای پذیرش پسماند بر اساس استانداردهای کیفیت آب در محیط پیرامون را بررسی می‌کند. تأمین استانداردهای انتشار آلاینده‌ها، یک بحث است، اما این‌که فاضلاب، واقعاً چگونه باعث کاهش ظرفیت پذیرش پیکره‌های آب شیرین در یک محیط و مخاطرات مربوطه برای یک فعالیت شده است، بحث دیگری است. دستیابی به استانداردهای فاضلاب (که به صورت غلظت ارایه شده‌اند)، به سهولت از طریق اضافه نمودن آب بیش‌تری برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها قبل از دفع، میسر می‌شود. اگرچه رقیق‌سازی آلاینده‌ها می‌تواند گام مفیدی برای دستیابی به استانداردهای فاضلاب باشد، اما روش مفیدی برای کاهش ردپای آب خاکستری نیست زیرا، در ردپای آب خاکستری، غلظت آلاینده‌ها در فاضلاب مدنظر نیست بلکه، مجموع بار آلاینده‌های شیمیایی که به محیط‌زیست اضافه شده است، مدنظر قرار می‌گیرد (این مسأله به خوبی در اولین مثال در پیوست ۴ ارایه شد).

۳-۱۰-۲ انتخاب مرزهای سازمانی یک فعالی

در این بخش، یک فعالیت به‌صورت یک نهاد منسجمِ برای تولید کالاها و/یا خدماتی درنظر-گرفته می‌شود که از طرفِ مصرف‌کنندگان و یا دیگر فعالیت‌ها استفاده می‌شوند. یک فعالیت می‌تواند مشتمل بر یک شرکت خصوصی، یا یک سازمان دولتی یا غیردولتی باشد. این نهاد می‌تواند ابعاد مکانی مختلفی داشته باشد؛ به‌عنوان مثال، می‌تواند یک واحد خاص و یا بخشی از یک شرکت، کل

یک شرکت و یا کل بخش‌های درگیر در آن فعالیت باشد. در بخش عمومی، می‌توان تنها به یک واحد درون یک شهر توجه نمود یا این‌که کل دولتِ یک کشور را به صورت جامع درنظر گرفت. اصطلاح فعالیت، هم‌چنین می‌تواند به یک کنسرسیوم[1] یا سرمایه‌گذاری مشترک[2] شرکت‌ها یا سازمان‌ها با هدف تولید کالا یا خدماتی خاص اشاره داشته باشد. در حقیقت، کلمه فعالیت می‌تواند به هر پروژه‌ای (برایِ نمونه، ساخت بخشی از زیرساخت) یا فرایندی (برایِ نمونه، سازمان‌دهی یک رویداد بزرگ ورزشی) اطلاق گردد. به این ترتیب، اصطلاح "فعالیت" بسیار گسترده تعریف می‌شود که می‌تواند انواع شرکت‌ها، سازمان‌ها، پروژه‌ها و فعالیت‌ها را در بر گیرد. به لحاظ فنی، یک فعالیت به‌صورت نهاد یا فرایند منسجمی تعریف می‌شود که گروهی از ورودی‌ها را به یک یا چند خروجی تبدیل می‌کند.

برای آن‌که ارزیابی ردپای آب یک فعالیت مقدور باشد، باید آن فعالیت را به طور شفاف تبیین نمود. باید معلوم نمود که مرزهای فعالیت موردنظر چیست. باید این امکان وجود داشته باشد که بتوان آن فعالیت را به صورت سیستمی مجزا از محیط پیرامونش تصور نمود که ورودی‌ها و خروجی‌های این سیستم به وضوح معلوم باشد.

صرف‌نظر از نوع شرکت، شرکت‌ها اغلب مشتکل از واحدهای متعددی هستند؛ به‌عنوان مثال، یک شرکت می‌تواند در مکان‌های مختلفی، دارای واحدهای اجرایی (مثلاً کارخانه‌ها) باشد. یا این‌که، یک شرکت در یک مکان می‌تواند از (بخش‌های) مجزایی تشکیل شده باشد. برای محاسبه‌ی ردپای آب، دانستن واحدهای مجزای مربوط به آن فعالیت، بسیار مفید خواهد بود؛ برای مثال، وقتی یک شرکت تولیدی، کارخانه‌های مختلفی در مکان‌های مختلف دارد، احتمالاً این کارخانه‌های مختلف، تحت شرایط متفاوت اداره می‌شوند و ورودی‌های موردنیاز خود را از مکان‌های مختلفی تأمین می‌کنند. در چنین مواردی، بهتر است ابتدا، محاسبات ردپای آب را به صورت مجزا برای هر واحد محاسبه نمود و سپس، حاصل‌جمع آن‌ها را ردپای آب کل آن فعالیت در نظر گرفت.

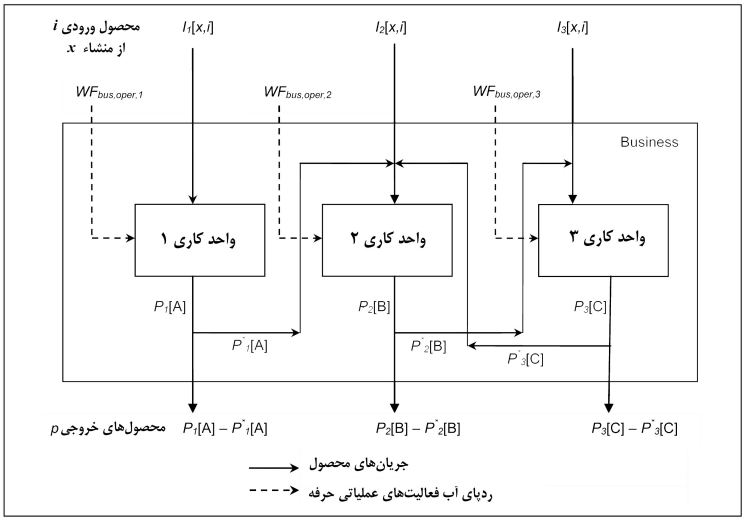
فعالیت را باید با تعیین واحدهای کاری آن و تعیین نمودن ورودی‌ها و خروجی‌های سالانه‌ی این واحدها تعریف نمود. ورودی‌ها و خروجی‌ها با واحدهای فیزیکی تعریف می‌شوند. ترجیحاً، بهتر است هر واحد کاری، بخشی از کل یک فعالیت باشد که (در آن واحد)، یک محصول خاص در مکانی خاص تولید می‌شود. وقتی یک فعالیت در مکان‌های مختلفی در حال اجرا است، بهتر است کل آن فعالیت را به گونه‌ای به واحدهای کاری مختلف تفکیک نمود که هریک از این واحدها، تنها در یک مکان واقع

1- Consortium
2- Joint venture

شده باشند. علاوه بر آن، بهتر است فرایندهای عملیاتی یک فعالیت در یک مکان خاص را به گونه‌ای به واحدهای کاری مختلف تفکیک نمود که هریک از این واحدها، محصول خاص خود را تولید کنند. تفکیک یک فعالیت (به واحدهای کاری مختلف) بر اساس خروجی‌های اولیه‌ی مختلف مفید خواهد بود. با این حال، می‌توان واحدهای خدماتی را نیز که تنها کالاها یا خدمات مورد نیاز برای واحدهای تولیدی اصلی را تولید می‌کنند، مشخص نمود.

برای مثال، شکل ۳-۱۲، فعالیتی را نشان می‌دهد که خروجی‌های الف، ب و ج را تولید می‌کند. این فعالیت، از سه واحد کاری تشکیل شده است. واحد کاری یک، محصول الف را تولید و. بخشی از محصول الف (به‌عنوان محصول ورودی) به واحد کاری دو وارد می‌شود، اما غالباً به دیگر فعالیت‌ها فروخته می‌شود. واحد کاری دو، محصول ب را تولید می‌کند، که بخشی از آن به دیگر فعالیت‌ها فروخته می‌شود و بخشی از آن به واحد کاری سه وارد می‌شود. واحد کاری سه، محصول ج را تولید می‌کند که هم به واحد کاری دو وارد می‌شود و هم برای فروش خارجی است. ورودی‌های هر واحد، شامل مجموعه‌ای از محصول‌های ورودی است که در زنجیره‌ی تولید شرکت‌های دیگر تهیه شده و هم‌چنین، شامل آب شیرینی است که به‌صورت غیرمستقیم و یا مستقیم به آن فعالیت وارد می‌شود. تصویری مشابه آن‌چه در شکل ۳-۱۲ نشان داده شد، می‌تواند مبنایی برای محاسبه‌ی ردپای آب یک فعالیت در نظر گرفته شود- که مطابق آن‌چه در بخش بعدی توضیح داده می‌شود-، استفاده شود.

فعالیت‌های بزرگ و غیریکنواخت (یعنی در مکان‌های مختلف واقع شده باشند و محصول‌های مختلفی تولید کنند)، بهتر است که ابتدا به واحدهای کاری بزرگ تقسیم شود و سپس هریک از این واحدهای کاری، خود مجدداً به تعدادی از واحدهای کاری کوچک‌تر تقسیم شود. به این ترتیب، آن فعالیت می‌تواند به صورت سیستمی متشکل از زیرسیستم‌هایی در سطوح متعدد به تصویر کشیده شود. در نهایت، محاسبه‌های ردپای آب در کوچک‌ترین سطوح را برای تعیین ردپای آب در سطوح کوچک رتبه‌ی دو با هم جمع نمود و این کار را تا رسیدن به سطحی که شامل کل آن فعالیت می‌باشد، ادامه داد.



شکل ۳-۱۲. فعالیتی که متشکل از سه واحد کاری است و محصول‌های الف تا ج را تولید می‌کند. جریان ورودی محصول $I_u[x,i]$، حجم سالانه‌ی محصول ورودی i، که از منبع x تأمین‌شده و به واحد کاری u وارد می‌شود را نشان می‌دهد. جریان خروجی محصول $P_u[p]$، حجم سالانه‌ی محصول خروجی p از واحد کاری u را نشان می‌دهد. جریان محصول $P^*_u[p]$، بخشی از جریان خروجی محصول $P_u[p]$ است که به واحد کاری دیگری درون همان فعالیت می‌رود.

۳-۱۰-۳ محاسبه‌ی ردپای آب فعالیت

در ادامه، چگونگی محاسبه‌ی ردپای آب یک واحد کاری از یک فعالیت ارایه شد. در انتهای این بخش، نحوه‌ی محاسبه‌ی ردپای آب یک فعالیت، که خود مشتکل از چندین واحد کاری است، توضیح داده شد. ردپای آب یک واحد کاری از یک فعالیت (WF_{bus} حجم بر زمان)، از حاصل‌جمع ردپای آب مربوط به فعالیت‌های عملیاتی آن واحد کاری و ردپای آب مربوط به زنجیره‌ی تأمین آن به‌دست می‌آید:

$$WF_{bus} = WF_{bus,oper} + WF_{bus,sup} \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۴۴)$$

هر دو مؤلفه، هم شامل ردپای آبی است که می‌تواند به صورت مستقیم در فرآیند تولید محصول در آن واحد کاری مصرف شود، و هم شامل یک ردپای آب بالاسری می‌باشد.

$$WF_{bus,oper} = WF_{bus,oper,inputs} + WF_{bus,oper,overhead} \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۴۵)$$

$$WF_{bus,sup} = WF_{bus,sup,inputs} + WF_{bus,sup,overhead} \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۴۶)$$

ردپای آب عملیاتی برابر آب مصرفی و آلوده شده حین عملیات‌های خاص آن فعالیت می‌باشد. پیرو رهنمودهایی که در بخش ۳-۳ ارایه شد، این ردپا را می‌توان به سادگی متشکل از آب تبخیر شده حین آن عملیات‌ها، حجم آب جای‌سازی شده در محصول‌ها و جریان آب برگشتی به دیگر حوضه‌ها که آب از آن‌ها برداشت نشده است، دانست. علاوه بر آن، باید حجم فاضلاب و غلظت مواد شیمیایی در آن را نیز لحاظ نمود. ردپای آب عملیاتی بالاسری – یعنی مصرف و آلودگی آب در نتیجه‌ی فرایندهای آب‌برِ رایج در یک واحد کاری از یک فعالیت – را می‌توان مانند ردپای آب عملیاتی‌ای که مستقیماً ناشی از فرآیند تولید است، تعیین و محاسبه نمود. با این وجود، ردپای آب بالاسری، غالباً بیش‌تر از آن چیزی است که واحدهای کاری درنظر می‌گیرند؛ به‌عنوان مثال، ردپای آب بالاسریِ مربوط به یک کارخانه که مشتکل از دو خط تولید است، را باید بین خطوط تولید آن توزیع نمود. اگر یک واحد کاری به گونه‌ای تعریف شود که تنها شامل یکی از این خطوط تولید باشد، لازم است سهم این خط تولید از مجموع ردپای آب بالاسری تعیین شود. این کار را می‌توان بر اساس ارزش‌های اقتصادی تولید مربوط به هریک از این خطوط تولید انجام داد.

ردپای آب زنجیره‌ی تأمین هر واحد کاری یک فعالیت (حجم بر زمان) را می‌توان از حاصل‌ضرب مقادیر محصول‌های ورودی مختلف (داده‌هایی که خود آن فعالیت، آن‌ها را دارد) در ردپای آب آن محصول‌ها (داده‌هایی که باید از تأمین‌کنندگان، تهیه شود) به‌دست آورد. با فرض آن‌که محصول‌های ورودی i مختلفی وجود دارد که از منابع مختلف x تأمین می‌شوند، ردپای آب زنجیره‌ی تأمین یک واحد کاری از یک فعالیت به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

$$WF_{bus,sup} = \sum_{x}\left(\sum_{i}\left(WF_{prod}[x,i]\times I[x,i]\right)\right) \quad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۴۷)$$

که در آن، $WF_{bus,sup}$ ردپای آب زنجیره‌ی تأمین یک واحد کاری از آن فعالیت (حجم بر زمان)، $WF_{prod}[x,i]$ ردپای آب محصول ورودی i که از محل x تأمین شده است (حجم بر واحد محصول) و $I[x,i]$ مقدار محصول ورودی i که از محل x به آن واحد کاری وارد شده است (واحد محصول بر زمان)، می‌باشد.

ردپای آب محصول، به منبع تأمین آن محصول بستگی دارد. اگر محصولی از یک واحد کاری دیگری که در همان فعالیت قرار دارد، وارد واحد کاری موردنظر می‌شود، ردپای آب محصول بر اساس محاسباتی که در همان سیستم صورت گرفته است، مشخص می‌شود (انتهای این بخش را ببینید). اگر محصول ورودی، از طریقِ تأمین‌کننده‌ای که خارج از آن فعالیت است، وارد می‌شود، ردپای آب آن محصول، یا باید از تأمین‌کنندگان تهیه شود و یا باید بر اساس داده‌های غیرمستقیمی که درباره‌ی

ویژگی‌های تأمین‌کننده وجود دارد، تخمین زده شود. ردپاهای آب مختلف یک محصول از سه رنگ تشکیل شده است (سبز، آبی و خاکستری) که باید به صورت جداگانه محاسبه شود؛ بنابراین، ردپای آب زنجیره‌ی تأمین آن واحد کاری از فعالیت نیز از سه جزء تشکیل می‌شود.

ردپای آب هریک از محصول‌های خروجی خاص یک واحد کاریِ مربوط به یک فعالیت، از تقسیم ردپای آب کل آن واحد کاری بر مقدار کل محصول‌های خروجی به‌دست می‌آید. تخصیص ردپای آب به محصول‌های خروجی را می‌توان با روش‌های متعددی انجام داد؛ به‌عنوان مثال، این کار را می‌توان بر اساس جرم، انرژی مصرفی و یا ارزش‌های اقتصادی محصول‌های خروجی انجام داد. پیرو رهنمودهایی که در مطالعات ارزیابی چرخه‌ی حیات وجود دارد، پیشنهاد می‌شود که این تخصیص بر اساس ارزش اقتصادی صورت بگیرد. ردپای آب محصول خروجی p در یک واحد کاری مربوط به یک فعالیت ($WF_{prod}[p]$)، حجم بر واحد محصول) را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$WF_{prod}[p] = \frac{E[p]}{\sum_{p} E[p]} \times \frac{WF_{bus}}{P[p]} \qquad \text{(حجم بر واحد محصول)} \qquad (۴۸)$$

که در آن؛ $P[p]$ مقدار محصول خروجی p از آن واحد کاری (واحد محصول بر زمان)، کل ارزش اقتصادی محصول خروجی p (واحد پولی بر زمان) و $\sum E[p]$ کل ارزش اقتصادی تمامی محصول‌های خروجی (واحد پولی بر زمان) می‌باشد. اگر واحد کاری یک فعالیت، تنها منتهی به تولید یک محصول شود، این رابطه را می‌توان به شکل زیر نوشت:

$$WF_{prod}[p] = \frac{WF_{bus}}{P[p]} \qquad \text{(حجم بر واحد محصول)} \qquad (۴۹)$$

تمامی روابط فوق را باید در سطح یک واحد کاری از یک فعالیت اعمال نمود. با فرض آن‌که یک فعالیت، مشتکل از تعدادی از واحدهای کاری u است، کل ردپای آب یک فعالیت ($WF_{bus,tot}$)، از حاصل‌جمع ردپای آب واحدهای کاری آن به‌دست می‌آید. به منظور جلوگیری از محاسبات مضاعف، باید جریان آب مجازی بین واحدهای کاری مختلف درون یک فعالیت را از این مجموع کسر نمود:

$$WF_{bus,tot} = \sum_{u} WF_{bus}[u] - \sum_{u}\sum_{p}\left(WF_{prod}[u,p] \times P^{*}[u,p]\right) \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۵۰)$$

که در آن، $P^{*}[u,p]$ مقدار سالانه‌ی محصول خروجی p از واحد کاری است که به واحد کاری دیگری از همان فعالیت وارد می‌شود (واحد محصول بر زمان) می‌باشد.

فصل چهارم

ارزیابی پایداری ردپای آب

٤-١ مقدمه

ردپای آب، شاخصی از تخصیص آب شیرین (بر حسب m^3/yr) است که با الهام از ردپای اکولوژیک، شاخصی برای میزان استفاده از سطحی که از نظر زیستی قابلیت تولید دارد (بر حسب هکتار)، توسعه داده شده است. برای درک این مسأله که میزان ردپای آب چه مفهومی دارد، باید میزان ردپای آب را با منابع آب شیرین در دسترس –که آن هم بر حسب m^3/yr بیان می‌شود– مقایسه نمود، همان‌گونه که باید ردپای اکولوژیک را با کل فضای موجود دارای قابلیت تولید زیستی (بر حسب هکتار) مقایسه نمود (Hoekstra, 2009). در اصل، ارزیابی پایداری ردپای آب، در درجه‌ی اول به مقایسه‌ی ردپای آب بشر با آن‌چه زمین می‌تواند به صورت پایدار فراهم آورد، می‌پردازد. با این وجود، وقتی در این زمینه عمیق شویم، معلوم می‌شود که سوال‌های مختلفی در این باره، می‌تواند مطرح شود و پیچیدگی‌های زیادی دارد؛ برایِ مثال، پایداری ابعاد مختلفی (زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) داشته و پیامدهای آن می‌تواند در سطوح مختلف (پیامدهای اولیه و ثانویه) تدوین شود و ردپای آب نیز رنگ‌های مختلف (سبز، آبی و خاکستری) دارد. در این فصل، راهنمایی برای ارزیابی پایداری ردپای آب، که در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای به‌آن شده است، ارایه می‌شود (کادر ۴-۱).

سوال‌های مربوط به پایداری ردپای آب می‌تواند از دیدگاه‌های متعددی مطرح شود. از دیدگاه جغرافیایی، می‌توان پرسید: آیا ردپای آب کل در یک محدوده‌ی جغرافیایی پایدار است؟ نبودِ تأمین جریان زیست‌محیطی موردنیاز یک حوضه و استانداردهای محیطی کیفیت آب و یا تخصیص ناعادلانه یا ناکارآمد آب در حوضه، مبین ناپایداری می‌باشد. اگر فرآیند خاصی –که از آب استفاده می‌کند– مدنظر قرار باشد، می‌توان پرسید: آیا ردپای آب این فرآیند، پایدار است؟ پاسخ به این سوال به دو معیار بستگی دارد: اول، آن‌که ردپای آب یک فرآیند زمانی ناپایدار است که این فرآیند در بازه‌ی معینی از سال در یک حوضه خاص رخ دهد که در آن شرایط ردپای آب کل، ناپایدار باشد (یعنی ردپای آب آن فرآیند در نقاط کانونی رخ دهد). دوم، آن‌که، ردپای آب آن فرآیند بدون توجه به موقعیت جغرافیاییِ وقوع آن، ماهیتاً ناپایدار باشد و آن زمانی اتفاق می‌افتد که امکان کاهش یا به صفر رساندن ردپای آب سبز، آبی یا خاکستری آن فرآیند (به ازای صرف هزینه‌های معقول اجتماعی)، میسر باشد.

کادر ۴-۱ تاریخچه‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب

در طول سال‌های نخست پس از ارایه‌ی مفهوم ردپای آب (۲۰۰۸-۲۰۰۷)، تمرکز تنها ، روی محاسبه‌ی ردپای آب بود. ردپای آب، اساساً یک نوآوری در چگونگی اندازه‌گیریِ تخصیص منابع آب شیرین توسط بشر محسوب می‌شود. پیش از آن، آب مصرفی در کل زنجیره‌ی تأمین اندازه‌گیری نمی‌شد و هم‌چنین، آب سبز و خاکستری در آمار آب مصرفی وجود نداشت. علاوه بر آن، اندازه‌گیری‌ها تنها بر میزان آب آبی برداشتی متمرکز بود و از این واقعیت که این تنها آب مصرفی است که شدت اثرات متعاقب روی سیستم آبی یک حوضه را تعیین می‌کند، صرف نظر می‌شد. از اوایل ارایه‌ی مفهوم (ردپای آب)، معلوم شد که محاسبه‌ی ردپای آب تنها درباره‌ی تخصیص آب شیرین بوده و ردپای آب سبز و آبی در یک محدوده‌ی جغرافیایی باید با میزان آب سبز و آبی موجود در حوضه و ردپای آب خاکستری با ظرفیت پذیرش پسماندها در یک حوضه مقایسه شود. با این وجود، پژوهش‌های اندکی در این باره، انجام شد. اولین بار، هوکسترا (*Hoekstra, 2008a*) به صراحت، نیاز به انجام مرحله‌ی "ارزیابی پایداری" پس از مرحله‌ی محاسبات ردپای آب را عنوان نمود؛ هرچند در آن زمان، این مسأله با عنوان "ارزیابی اثر" ارایه شد. مقایسه‌ی ردپاهای آب با مقادیر واقعی آب در دسترس و تعیین نقاط بحرانی برای اولین بار از سویِ ون‌اوئل و همکاران (*Van Oel et al. 2008*)، کمپمن و همکاران (*Kampman et al., 2008*) و چاپاگین و اور (*Chapagain and Orr, 2008*) انجام شد.

در نخستین کتابچه‌ی راهنمای ردپای آب، اصطلاح "ارزیابی اثر"، به "ارزیابی پایداری" تغییر داده شد، زیرا اصطلاح دوم، مفهوم موردنظر را بهتر نشان می‌دهد (*Hoekstra et al., 2009a*). واژه‌ی "اثر"، تنها توجه به اثرات آنی محلی را در ذهن تداعی می‌سازد؛ یعنی اثراتی که بلافاصله در زمین مشهود می‌گردد، که این دیدگاه بسیار محدود است. از آنجایی‌که منابع آب شیرین در جهان محدود هستند، باید به پایداری ردپای آب، با دیدی بسیار وسیع‌تر نگریست. چشم‌پوشی از مسأله‌ی مصرف یا آلودگی آب در نواحی پرآب، مانند آن است که در کشورهایی که از نظر نفت غنی هستند، از مصرف انرژی صرف نظر کنیم. تلفات و یا آلودگی آب در نواحی جغرافیاییِ غنی از آب، مانند تلفات انرژی در کشورهای غنی از نفت است. استفاده‌ی کارآمد از آب در نواحی پرآب برای تولید کالاهای آب‌بر، باعثِ کاهش نیاز به تولید آن‌ها در نواحی کم‌آب می‌شود. بنابراین، مقوله‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب، چیزی فراتر از داشتن نگاهی ساده به اثرات محلیِ آنی ردپای آب است.

نخستین گام برای تدوین چارچوبی برای مرحله‌ی ارزیابی پایداری ردپای آب، در نخستین نسخه از کتابچه‌ی راهنمای ردپای آب برداشته شد، سپس، در حدفاصل دسامبر ۲۰۰۹ تا ژولای ۲۰۱۰، کارگروه ارزیابی ردپای آب در شبکه‌ی ردپای آب، پیشنهادهایی را عنوان نمودند (*Zarate, 2010b*) که این موارد در فرآیند نگارش نسخه‌ی حاضر لحاظ شد. مهم‌تر از همه، اتخاذ ایده‌ی "مرزهای پایداری زیست‌محیطی" (برگرفته از ریچر (*Richter, 2010*) و مفهوم اثرات اولیه-ثانویه بود. اگر فردی نسخه‌ی فعلیِ این کتابچه را با نسخه‌ی قبلی آن مقایسه نماید، متوجه خواهد شد که فصل مربوط ارزیابی پایداری، به طور کامل، بازنویسی شده است. اکنون باید دانست که تخمین پایداری ردپای آب کل در یک محدوده‌ی جغرافیایی با تخمین پایداری یک فرآیند، یک محصول، یک تولیدکننده یا یک مصرف‌کننده خاص فرق دارد. تمایز بارزی بین انواع سوال‌های مختلفی که برای این دو مسأله به‌وجود می‌آید و نحوه‌ی پاسخ‌دهی به آن‌ها وجود دارد.

سوال مرتبطی که از دیدگاه یک محصول می‌توان پرسید آن است که: آیا ردپای آب آن محصول پایدار است؟ پاسخ به این سوال، به پایداری ردپای آب فرآیندهایی بستگی دارد که در سیستم تولید ساخت آن محصول وجود دارند. از دیدگاه یک تولیدکننده، می‌توان پرسید: آیا ردپای آب آن تولیدکننده پایدار است؟ از آنجایی‌که ردپای آب یک تولیدکننده برابر مجموع ردپای آب محصول‌هایی

است که توسط آن تولیدکننده، تولید می‌شود، پاسخ به این سوال بستگی به پایداری محصول‌هایی دارد که توسط آن تولیدکننده ساخته می‌شود. در نهایت، از دیدگاه یک مصرف‌کننده، می‌توان پرسید: آیا ردپای آب یک مصرف‌کننده پایدار است؟ از آنجایی‌که ردپای آب یک مصرف‌کننده، برابر با مجموع ردپای آب محصول‌هایی است که از طرفِ آن‌ها مصرف می‌شود، مجدداً پاسخ به این سوال به پایداری ردپای آب محصول‌های مصرفی بستگی دارد. با این‌حال، زمانی که وضعیت پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده بررسی می‌شود، معیار دیگری نیز وجود دارد که باید تحلیل شود؛ زیرا پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده، به این مسأله نیز بستگی دارد که آیا با توجه به محدودیت‌هایی که برای ردپای آب بشر وجود دارد، ردپای آب آن مصرف‌کننده، کم‌تر از یا بیش‌تر از مقدار عادلانه‌ی خود است یا خیر؟

بخشی از پایداری ردپای آب یک محصول، یک تولیدکننده یا مصرف‌کننده، بستگی به مکان جغرافیایی‌ای دارد که مؤلفه‌های مختلف ردپای آب یک محصول، یک تولیدکننده یا یک مصرف‌کننده در آن رخ می‌دهند. بر اساس تجربه، به ندرت اتفاق می‌افتد که ردپای آب یک فرآیند، محصول، تولیدکننده یا مصرف‌کننده، به تنهایی مسبب ایجاد چالش‌های بحران و آلودگی آب شود. این چالش‌ها وقتی ظهور می‌کنند که اثرات تجمعی همه‌ی فعالیت‌ها در یک محدوده‌ی جغرافیایی درنظر گرفته شود. ردپای آب کل در یک محدوده، مجموع بسیاری از ردپاهای آب کوچک‌تر است که هریک از آن‌ها، مربوط به یک فرآیند، محصول، تولیدکننده یا مصرف‌کننده می‌باشد. وقتی ردپای آب یک فرآیند، محصول، تولیدکننده یا مصرف‌کننده، در پیدایش شرایط ناپایدار در یک محدوده‌ی جغرافیایی معین سهیم باشد، می‌توان گفت که آن ردپای آب نیز ناپایدار است.

ما این فصل را با بیان نحوه ارزیابی پایداری ردپای آب در یک حوضه کوچک یا حوضه‌ی یک رودخانه شروع می‌کنیم. در ادامه، چگونگی ارزیابی پایداری ردپای آب یک فرآیند، محصول، تولیدکننده و مصرف‌کننده، نشان داده می‌شود. علت انتخاب این روند آن است که ما در بخش دوم، به بخش‌های پیشین رجوع می‌کنیم. بدون دانستن پایداری ردپای آب کل در یک حوضه که تمامی فرآیندها در آن رخ می‌دهد، نمی‌توان پایداری ردپای آب یک فرآیند را تحلیل نمود. نمی‌توان پایداری ردپای آب یک محصول را بدون دانستن وضعیت پایداری فرآیندهای درگیر در تولید آن محصول، ارزیابی نمود و در نهایت، نمی‌توان پایداری ردپای آب تولیدکنندگان یا مصرف‌کنندگان را بدون دانستن پایداری محصول‌هایی که تولید یا مصرف شده‌اند، ارزیابی نمود.

٤-۲ پایداری جغرافیایی: پایداری ردپای آب یک حوضه

٤-۲-۱ مقدمه

بهترین حالت برای ارزیابی پایداری ردپای آب کل در یک محدوده‌ی جغرافیایی، ارزیابی آن در سطح حوضه است. در سطح چنین واحد هیدرولوژیکی‌ای، می‌توان به صورت منطقی ردپای آب سبز یا آبی را با آب سبز یا آبی در دسترس و یا ردپای آب خاکستری را با ظرفیت موجود برای پذیرش پساب در آن حوضه مقایسه نمود. هم‌چنین، بهترین مقیاس برای ارزیابی مسایل مربوطه به تخصیص عادلانه و کارآمد منابع آب، در سطح حوضه است.

پایداری ردپای آب در یک حوضه را می‌توان از دیدگاه‌های مختلفی تحلیل نمود: دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی. برای هریک از این دیدگاه‌ها، تعدادی شاخص پایداری وجود دارد (کادر ۴-۲). شاخص پایداری نشان‌دهنده وضعیت پایداری ردپای آب در یک حوضه می‌باشد.

کادر ۴-۲ شاخص‌های پایداری برای استفاده و تخصیص آب در یک حوضه

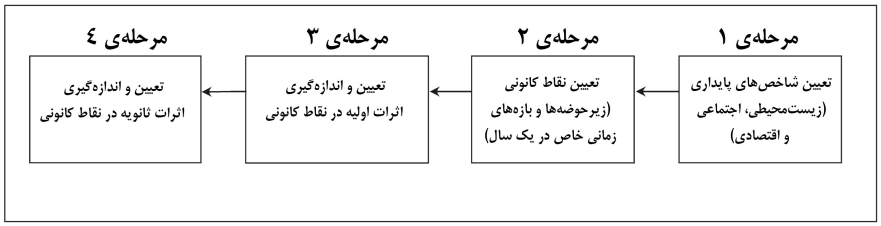
برای آن‌که ردپای آب در یک حوضه پایدار باشد، باید معیارهای مربوطه تأمین شود. پایداری دارای جنبه‌های زیست‌محیطی و هم‌چنین اجتماعی و اقتصادی است.

پایداری زیست‌محیطی: کیفیت آب باید در محدوده معینی باشد، شاخصی برای این محدوده است که می‌توان استانداردهای کیفیت آب محیط پیرامون –که مورد توافق قرار گرفته است –را درنظر گرفت. علاوه برآن، به منظور حفظ اکوسیستم‌های وابسته به جریان‌های آب سطحی و زیرزمینی و هم‌چنین حفظ معیشت مردمی که وابسته به این اکوسیستم‌ها هستند، باید کسر معینی از رواناب طبیعی به حفظ جریان‌های زیرزمینی و سطحی اختصاص داده شود. در مورد رودخانه‌ها، حقابه جریان زیست‌محیطی منتج به ایجاد حدودی برای تغییر حجم رواناب می‌شود، همان‌گونه که استانداردهای کیفی آب، حدودی را برای آلوده نمودن آب ایجاد می‌کند (Richter, 2010). در خصوص آب سبز، حقابه جریان زیست‌محیطی سبز، حدوی را برای میزان تخصیص آب سبز برای تأمین نیازهای بشری معین می‌کند.

پایداری اجتماعی: یک حداقل مقداری از آب شیرین موجود در زمین باید به تأمین نیازهای اساسی بشر اختصاص داده شود، به ویژه آن حداقل مقداری از آب که باید به مصارف خانگی مانند شرب، شستشو و پخت‌وپز اختصاص داده شود و حداقل مقداری از آب که باید به تولید غذا با هدف دستیابی به سطح کافی از امنیت غذایی برای همه اختصاص داده شود. این شاخص نشان می‌دهد که تنها بخشی از منابع آب شیرین در دسترس، که پس از کسر جریان زیست‌محیطی موردنیاز و هم‌چنین آب لازم برای تأمین نیازهای اساسی بشر، باقی می‌ماند، می‌تواند به تولید کالاهای لوکس اختصاص داده شود. در یک حوضه، باید یک حداقل عرضه‌ی مطمئنی از آب در بخش خانگی برای مصارف شرب، شستشو و پخت‌وپز وجود داشته باشد. هم‌چنین، باید در سطح جهانی، یک حداقل مقدار تضمین‌شده‌ای از آب برای تولید غذا اختصاص داده شود، زیرا جوامع درون یک حوضه الزاماً از نظر (تولید) غذا خودکفا نیستند، مگر آن‌که از راهِ واردات غذایی، امنیت غذایی تأمین شود. پایداری اقتصادی. تخصیص و استفاده از آب باید از نظر اقتصادی، کارآمد باشد. فواید یک ردپای آب (سبز، آبی یا خاکستری)، ناشی از مصرف آب برای یک هدف معین، باید بیش‌تر از هزینه‌های مربوط به این ردپای آب شامل هزینه‌های خارجی، هزینه‌های فرصت[1] و هزینه‌های ناشی از کمبود آب[1] باشد. اگر چنین نباشد، ردپای آب، ناپایدار است. وقتی مجموع ردپای آب سبز، آبی یا خاکستری که در یک حوضه رخ می‌دهد، یکی از معیارهای پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی یا اقتصادی را تأمین نکند، ردپای آب آن حوضه از نظر جغرافیایی، پایدار نیست.

پایداری اقتصادی. تخصیص و استفاده از آب باید از نظر اقتصادی، کارآمد باشد. فواید یک ردپای آب (سبز، آبی یا خاکستری)، ناشی از مصرف آب برای یک هدف معین، باید بیش‌تر از هزینه‌های مربوط به این ردپای آب شامل هزینه‌های خارجی، هزینه‌های فرصت[1] و هزینه‌های ناشی از کمبود آب[1] باشد. اگر چنین نباشد، ردپای آب، ناپایدار است.
وقتی مجموع ردپای آب سبز، آبی یا خاکستری که در یک حوضه رخ می‌دهد، یکی از معیارهای پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی یا اقتصادی را تأمین نکند، ردپای آب آن حوضه از نظر جغرافیایی، پایدار نیست.

نخستین گام برای ارزیابی پایداری ردپای آب در یک حوضه، شناسایی و کمی‌سازی شاخص پایداری می‌باشد (شکل ۴-۱). گام دوم، تعیین نقاط کانونی در حوضه، یعنی زیرحوضه‌ها و بازه‌های زمانی در طول سال که ردپای آب در آن‌ها ناپایدار است، می‌باشد. در گام‌های سوم و چهارم، مقادیر اثرات اولیه و ثانویه در نقاط کانونی تعیین می‌شود.



شکل ۴-۱ ارزیابی پایداری ردپای آب یک حوضه در چهار مرحله.

یک نقطه‌ی کانونی، یک بازه‌ی زمانی معین در طول یک سال خاص (مثلاً یک بازه‌ی زمانی خشک) در یک (زیر)حوضه‌ی خاص است که در آن، ردپای آب به دلیل آن‌که نیاز زیست‌محیطی تأمین نشده یا استانداردهای کیفیت آب نقض شده یا تخصیص و مصرف آب، ناعادلانه و/یا از نظر اقتصادی ناکارآمد است، ناپایدار است. در یک نقطه‌ی کانونی، چالش‌های مربوط به کمبود آب، آلودگی آب و یا تضاد بر سر آب رخ می‌دهد و باید این مشکلات را کاهش داد.

وقتی کل یک حوضه، بدون توجه به زیرحوضه‌های آن به صورت واحد در نظر گرفته می‌شود، نقطه‌ی کانونی (اگر وجود داشته باشد)، کل آن حوضه است (بسته به این‌که چالش‌ها در کل سطح آن حوضه وجود داشته باشد). مزیت تعیین نقاط کانونی در حوضه‌های آبریز کوچک (مثلاً حوضه‌هایی با وسعت کم‌تر از ۱۰۰ کیلومتر مربع) آن است که در این صورت، می‌توان نقاط کانونی‌ای را شناسایی- نمود که چنانچه مقیاس حوضه‌ها بزرگ‌تر درنظر گرفته می‌شد، قابل شناسایی نبودند. اگر ردپای آب خاکستری یک حوضه با ظرفیت پذیرش پساب در کل آن حوضه مقایسه شود، ممکن است به این

نتیجه رسید که ظرفیت پذیرش پساب کافی است، در حالی‌که ممکن است چنین وضعیتی در برخی از زیرحوضه‌های بالادست، که بخش اعظم منابع ورود آلودگی‌ها در آن‌جا متمرکز است، وجود نداشته باشد. یکی از ایرادهای تعیین نقاط کانونی در مقیاس‌های مکانی ریزتر آن است که داده‌های بیش‌تری (درباره‌ی چگونگی ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در یک حوضه و چگونگی توزیع مکانی موجودیت آب سبز و آبی و ظرفیت پذیرش پساب در حوضه) موردنیاز است.

یکی دیگر از ایرادها آن است که برخی از چالش‌ها، فقط در مقیاس مکانی بزرگ‌تر خود را نشان‌ می‌دهند؛ مثلاً، زمانی که مشکل ناشی از تجمع آلاینده‌ها در پایین‌دست باشد. بنابراین، بهترین روش بررسی آن است که واحد تحقیقاتی را کل حوضه درنظر بگیریم و زیرحوضه‌های آن حوضه را نیز از هم تفکیک نماییم. به این ترتیب، ارزیابی می‌تواند در هر دو سطح زیرحوضه و کل حوضه انجام شود.

پس از تعیین نقاط کانونی، می‌توان پیامدهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را با جزئیات بیش‌تری بررسی نمود. ما اثرات اولیه و ثانویه را از هم تفکیک نموده‌ایم. اثرات اولیه، به تغییر میزان جریان و کیفیت آب (در مقایسه با شرایط طبیعی بدون دخالت بشر) اطلاق می‌گردد؛ به‌عنوان مثال، می‌توان میزان کاهش حجم رواناب یک در اثر ردپای آب آبی بشر را مشخص کرد و شدت تأثیر آن بر کاهش حقابه جریان زیست‌محیطی را بررسی نمود؛ یا برای مثال می‌توان چگونگی تغییر کیفیت آب در مقایسه با شرایط طبیعی را با جزئیات تفسیر نمود؛ مثلاً برای هریک از پارامترهای کیفی و مشخص نمود که کدام پارامترها خارج از حد استانداردهای محیطی کیفیت آب می‌باشند. پیامدهای ثانویه، اختلال در کالاها و خدمات اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی در نتیجه‌ی پیامدهای اولیه در حوضه می‌باشند؛ به‌عنوان مثال، پیامدهای ثانویه را می‌توان به صورت گونه‌های از دست رفته، کاهش تنوع زیستی، کاهش امنیت غذایی، متأثر شدن سلامتی بشر، کاهش درآمد اقتصادی حاصل از فعالیت‌های وابسته به آب و غیره اندازه‌گیری نمود.

٤-۲-۲ معیارهای پایداری زیست‌محیطی برای تعیین نقاط کانونی زیست‌محیطی

در صورتی‌که میزان آلودگی بیش‌تر از ظرفیت پذیرش باشد و یا نیاز زیست محیطی تأمین نگردد، ردپای آب یک حوضه از نظر زیست‌محیطی ناپایدار است. به منظور داشتن معیاری برای (تعیین) شدت (چالش‌ها) در یک نقطه‌ی کانونی، می‌توان کمبود آب سبز، کمبود آب آبی و سطح آلودگی آب که در ادامه تعریف می‌شوند، را محاسبه نمود. زمانی می‌توان گفت که نقطه‌ی کانونی زیست‌محیطی وجود دارد که کمبود آب سبز، کمبود آب آبی و/یا سطح آلودگی آب، فراتر از ۱۰۰ درصد باشد. در مورد

ردپای آب آبی، ارزیابی این مسأله که آیا این ردپا منتج به کاهشی فراتر از یک حد معین زیست‌محیطی در آب زیرزمینی یا سطح دریاچه‌ها شده است یا خیر، نیز مهم است.

نقاط کانونی زیست‌محیطی می‌تواند به طور خاص، مربوط به ردپای آب سبز، آبی یا خاکستری در یک حوضه باشد؛ بنابراین، این موارد در ادامه به ترتیب بررسی می‌شوند. آن‌چه در ادامه ارایه شده است را می‌توان برای حوضه‌هایی با مقیاس‌های مختلف و هم‌چنین کل حوضه به کار برد.

پایداری زیست‌محیطی ردپای آب سبز

پاسخ به این سوال که آیا ردپای آب سبز در یک حوضه قابل توجه است یا خیر، تنها با بررسی این ردپا در کنار کل آب سبز موجود در آن حوضه میسر خواهد بود. ردپای آب سبز در یک حوضه، زمانی باعث پیدایش نقاط کانونی زیست‌محیطی می‌شود که فراتر از آب سبز موجود باشد. موجودیت آب سبز (WA_{green}) در حوضه‌ی آبریز x در بازه‌ی زمانی t، به‌صورت کل تبخیر–تعرق مرتبط با آب باران از سطح زمین (ET_{green}) منهای تبخیر–تعرق از زمین دارای پوشش گیاهی طبیعی (ET_{env}) و منهای تبخیر–تعرق از زمینی که قابلیت تولید ندارد، تعریف می‌شود:

$$WA_{green}[x,t] = ET_{green}[x,t] - ET_{env}[x,t] - ET_{unprod}[x,t] \quad \text{بر حسب حجم بر زمان} \qquad (۵۱)$$

تمامی ترم‌های این رابطه بر حسب حجم بر زمان می‌باشند. متغیر ET_{env}، نیاز زیست‌محیطیِ آب سبز[1] بوده و نشان‌دهنده مقدار آب سبزی است که به‌وسیله‌ی پوشش‌های گیاهی در مناطقی از حوضه‌ی آبریز که با هدف حفظ بقای تنوع زیستی و حمایت از معیشت وابسته به اکوسیستم‌های طبیعیِ بشر، به صورت طبیعی نگهداری می‌شوند، مصرف می‌شود. نیاز زیست‌محیطیِ آب سبز را می‌توان با توجه به تبخیر–تعرق از مناطقی که باید به منظور بقای طبیعت (به صورت پوشش‌های طبیعی) حفظ شوند، تعیین نمود (کادر ۴–۳). متغیر ET_{unprod} به تبخیر–تعرق صورت گرفته در مکان‌ها یا زمان‌هایی اشاره دارد که نمی‌توانند مولد تولید گیاه باشد؛ یعنی، تبخیر–تعرق در مناطق یا بازه‌های زمانی‌ای از سال که برای رشد گیاه مناسب نیستند؛ مثلاً، تبخیر–تعرق در مناطق کوهستانی با شیب‌های تندی که کشت گیاه را غیرممکن می‌سازد، تبخیر از نواحی مسکونی یا تبخیر–تعرق در بازه‌های زمانی‌ای از سال که در آن‌ها، به دلیل سرمای بیش از حد، امکان کاشت گیاه وجود ندارد (در این مورد خاص، تبخیر–تعرق معمولاً اندک بوده و بنابراین، جریان آبی که منتج به تولید نمی‌شود، خیلی زیاد نیست).

1 . Environmental green water requirement

اجازه دهید به منظور داشتن درک بهتری از مفهوم موجودیت آب سبز، مثالی بزنیم. حوضه‌ای با وسعت ۱۰۰۰ کیلومترمربع را درنظر بگیرید. به طور متوسط، تبخیر–تعرق سالانه در این حوضه، ۴۵۰ میلی‌متر است؛ بنابراین، مقدار کل تبخیر–تعرق (ET_{green}) از حوضه $1000\ km^2 \times 450\ mm = 450$ million m^3 خواهد بود. فرض کنید که بر اساس مطالعات، برای حفظ تنوع زیستی، ۳۰ درصد از کل حوضه باید به صورت طبیعی رها شود و میانگین تبخیر–تعرق سالانه از این سطح، ۵۰۰ میلی‌متر است. بنابراین، نیاز زیست‌محیطیِ آب سبز (ET_{env}) در حوضه، $= 0.3 \times 1000\ km^2 \times 500\ mm$ 150 million m^3 است. فرض بعدی آن است که ۳۰ درصد دیگر از حوضه، برای رشد گیاه مناسب نیست (یعنی مناطق مسکونی بوده و مشتمل بر جاده‌ها و دیگر زیرساخت‌هاست) و میانگین سالانه‌ی تبخیر–تعرق در این نواحی، ۴۰۰ میلی‌متر است. تبخیر–تعرق از این نواحیِ فاقد قابلیت تولید، $\times\ 3.$ $1000\ km^2 \times 400\ mm = 120$ million m^3 است. میزان تبخیر–تعرق در دیگر نواحیِ حوضه، $0.4 \times 1000\ km^2 \times 450\ mm = 180$ million m^3 است. در نیمی از سال به ویژه در زمستان، شرایط برای تولید گیاه مناسب نیست، اما در این مدت، میزان تبخیر–تعرق نسبتاً کم و برابر با ۱۰۰ میلی‌متر است. بنابراین، مقدار تبخیر–تعرق در اراضیِ کشاورزی در این بازه‌ی زمانی که فاقد قابلیت تولید است برابر با $0.4 \times 1000\ km^2 \times 100\ mm = 40$ million m^3 خواهد بود. به این ترتیب، مجموع تبخیر–تعرق صورت‌گرفته در این حوضه‌ی آبریز که منتج به تولید گیاه نمی‌شود (ET_{unprod}) برابر با $120+40=160$ million m^3 خواهد بود. با این مثال می‌توان دریافت که اگرچه، مجموع تبخیر–تعرق از حوضه‌ی آبریز (ET_{green}) ۴۵۰ میلیون‌مترمکعب است ولی موجودیت آب سبز تنها $450 - 150 = 160 - 140$ million m^3 است.

کادر ۴–۳ نیاز زیست‌محیطیِ آب سبز

بخش قابل توجهی از جریان تبخیری، برای حفظ پوشش گیاهی طبیعی لازم است. وقتی زمینی که طبیعت در نظر گرفته می شود، حفظ می‌شود، تبخیر از این اراضی به صورت خود به خود برای حفظ طبیعت لحاظ شده و دیگر قابل استفاده برای تولید گیاه یا پرورش درخت برای تأمین نیازهای بشر نخواهد بود. وقتی بخواهیم بدانیم که چه مقدار از آب سبز موجود را باید از کل تبخیر–تعرق صورت‌گرفته در سطح حوضه کسر کنیم تا بتوانیم میزان آب سبز موجود در آن حوضه را برای مصارف بشر به‌دست آوریم، بهتر است مقدار و مکان اراضی‌ای –که پوشش طبیعی محسوب می شوند–، و باید حفظ شوند را مشخص کنیم. کنوانسیون تنوع زیستی (CBD, 2002) در استراتژی‌های جهانی خود برای حفظ گیاه، اهدافی را برای سال ۲۰۱۰ تدوین نمود: دست کم، ده درصد از نواحی اکولوژیکی جهان باید به طور مؤثر –که پوشش طبیعی است– حفظ شود و ۵۰ درصد از مهم‌ترین نواحی‌ای که برای تنوع گونه‌های گیاهی مناسب هستند،–که پوشش طبیعی‌اند– باید محافظت شوند. دامنه‌ی تخمین‌های صورت گرفته روی مقداری از اراضیِ جهان که باید به صورت طبیعی رها شوند، بسیار وسیع است. بر اساس کمیسیون جهانی محیط زیست و توسعه (WCED, 1987)، حداقل ۱۲ درصد از تمام انواع اکوسیستم‌ها باید برای حفاظت از بقای تنوع زیستی حفظ شوند. نوز و کوپریدر (Noss and Cooperrider, 1994) تخمین زدند که در اغلب مناطق، ۷۵–۲۵ درصد از اراضی باید برای حفظ تنوع زیستی محافظت شوند. اسوانکارا و همکاران (Svancara *et al*., 2005) بیش از ۲۰۰ مقدار از درصدهایی که برای حفظ تنوع زیستی در پژوهش‌های مختلف گزارش شده است،را مورد بررسی قرار دادند و (در نهایت) دریافتند که درصدهای متوسطی که بر اساس شواهد عینی به‌دست آمده‌اند، حدود سه برابر بیش‌تر از درصدهایی بودند که در پژوهش‌ها در مرحله‌ی تدوین سیاست‌ها به‌دست آمده‌اند. حفظ ۱۰ تا ۱۵ درصد از کل اراضی برای محافظت از تنوع زیستی بر اساس مقادیری که در سیاست‌ها پیشنهاد شد (مثلاً در CBD در سال ۲۰۰۲ یا در WCED در سال ۱۹۸۷)، نمی‌تواند مقدار نیاز واقعیِ زیستی، که حدود ۲۵ تا ۵۰ درصد است، را محقق سازد. این درصدهای (واقعی)، برای مناطق مختلف، متناسب با ویژگی‌های هرمنطقه، تغییر می‌کند. برای حوضه‌های فاقد داده، پیشنهاد می‌شود حداقل ۱۲ درصد درنظر گرفته شود. مقدار واقع‌بینانه‌تر برای این درصد از دیدگاه اکولوژیکی، ۳۰ درصد است.

وقتی مردم درباره‌ی کمبود آب صحبت می‌کنند، بیش‌تر کمبود آب آبی مدنظر آن‌هاست. با این حال، آب سبز موجود نیز محدود است و بنابراین، منابع آب سبز نیز کمیاب هستند. شدت کمبود آب سبز در حوضه‌ی آبریز x در بازه‌ی زمانی t به صورت نسبت کل ردپای آب سبز در آن حوضه به آب سبز در دسترس تعریف می‌شود:

$$WS_{green}[x,t] = \frac{\sum WF_{green}[x,t]}{WA_{green}[x,t]} \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۵۲)$$

بر اساس این تعریف، شاخص کمبود آب سبز، در حقیقت کسر تخصیص منابع آب سبز موجود را نشان می‌دهد. تعیین کمبود آب سبز می‌تواند در مقیاس روزانه صورت بگیرد، اما انتخاب مقیاس ماهانه برای نشان دادن تغییرات شاخص کمبود آب سبز در طول یک سال کفایت می‌کند. مقدار ۱۰۰ درصد برای شاخص کمبود آب سبز به این معناست که کل آب سبز موجود، استفاده شده است. مقادیر فراتر از ۱۰۰ درصد به معنی ناپایداری ردپای آب سبز است.

باید اذعان داشت که مسأله‌ی تحلیل کمبود آب سبز تا حد زیادی ناشناخته است. مشکل، تخمین آب سبز در دسترس است. به ویژه آن‌که، داده‌های مربوط به نیاز زیست‌محیطی آب سبز (کادر ۴-۳) و مقادیر تبخیر-تعرقی که نمی‌تواند مولد تولید گیاه باشد، موجود نیست. این مقادیر به شدت موجودیت واقعی آب سبز را متأثر می‌سازد و بنابراین، حتماً باید لحاظ شوند ولی بدون دانستن آن‌که چه مقدار زمین و در نتیجه، چه مقدار تبخیر-تعرق باید برای پوشش گیاهی طبیعی لحاظ شود و این‌که چگونه باید به صورت دقیق، زمان‌ها و مکان‌هایی که در آن‌ها تبخیر-تعرق، مولد تولید (گیاه) نیست را تعیین نمود، تحلیل‌های کمی (برای تعیین میزان کمبود آب سبز) غیرممکن خواهد بود. این مسأله نیازمند پژوهش‌های بیش‌تر می‌باشد. در حال حاضر، پیشنهاد ما آن است که در مرحله‌ی تدوین سیاست‌های عملی، ارزیابی‌های کمیِ کمبود آب سبز را از تحلیل‌ها جدا نمود ولی بهتر است (این ارزیابی‌ها) را برای پایلوت‌های آزمایشی انجام داد تا فواید این‌گونه تحلیل‌ها را تعیین نموده و با مقادیر صریح‌تری از موجودیت آب سبز کار نمود.

با توجه به تفاوت موجود بین میزان تبخیر-تعرق در اراضی طبیعی با مقدار آن در اراضی تحت کشت، ردپای آب سبز موجودیت آب آبی را متأثر می‌سازد، هرچند این تأثیر در مقیاس حوضه معمولاً اندک است. بنابراین، معمولاً می‌توان از این تأثیر صرف‌نظر نمود (کادر ۴-۴).

کادر ۴-۴ تأثیر ردپای آب سبز بر موجودیت آب آبی

ردپای آب سبز در یک حوضه‌ی آبریز می‌تواند باعث تغییر الگوی رواناب در پایین‌دست شود. غالباً، تفاوت زیادی بین بخشی از بارندگی که تبخیر- تعرق می‌شود در اراضی تحت کشت و اراضی تحت شرایط طبیعی وجود ندارد، اما این اختلاف، در دوره‌های زمانی خاصی از سال، می‌تواند چشمگیر باشد. در برخی زمان‌ها، ممکن است میزان تبخیر-تعرق کم‌تر و در برخی زمان‌ها، بیش‌تر باشد که این مسأله می‌تواند به‌ترتیب، منتج به افزایش یا کاهش رواناب شود. این بدان معناست که ردپای آب سبز می‌تواند موجودیت آب آبی را متأثر سازد. برای لحاظ نمودن اختلاف بین میزان تبخیر-تعرق از اراضی تحت کشت گیاه و مقدار آن از اراضی با پوشش طبیعی، بهتر است از اصطلاح "ردپای آب سبز خالص" استفاده نمود (SABMiller and WWF-UK, 2009). با این حال، این اصطلاح، با تعریف پایه‌ی مفهوم ردپای آب که شاخصی از تخصیص آب شیرین است، سازگار نیست. پیش‌نهاد ما آن است به جای استفاده از اصطلاح "ردپای آب سبز خالص"، از اصطلاح "تغییر رواناب در نتیجه‌ی ردپای آب سبز" استفاده نمود. کشاورزی، تنها تأثیر بشر در تغییر ضریب رواناب[1] (و در نتیجه، تغییر موجودیت آب آبی) نیست؛ عوامل دیگری مانند شهرسازی و دیگر تغییرات کاربری اراضی، میزان رواناب و در نتیجه موجودیت آب آبی را متأثر می‌سازد. این مسائل، باید زمانی که کمبود آب آبی و دلایل اصلی آن بررسی می‌شود، در نظر گرفته شود. از آنجایی‌که کمبود آب آبی، نسبت ردپای آب آبی در یک ناحیه به موجویت آب آبی در آن ناحیه است (متن کتاب را ببینید)، افزایش شدت کمبود آب آبی می‌تواند به دلیل افزایش ردپای آب آبی یا کاهش موجودیت آب آبی باشد. در تمامی حوضه‌ها، افزایش ردپای آب در گذر زمان، بسیار بیش‌تر از تغییرات زمانی میزان موجودیت آب آبی بوده است. به همین دلیل، هنگام بررسی کمبود آب آبی، درنظر گرفتن تغییرات ردپای آب آبی به ازای سابقه موجودیت آب آبی در یک محدوده‌ی جغرافیایی، کفایت می‌کند.

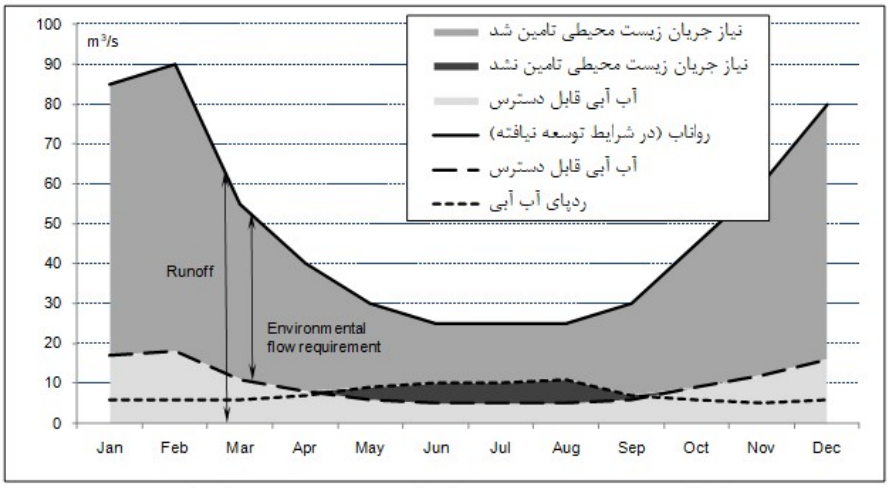
پایداری زیست‌محیطیِ ردپای آب آبی

کل ردپای آب آبی در یک حوضه برابر است با مجموع تمام ردپاهای آب فرآیندهایی که در آن حوضه رخ می‌دهند. زمانی می‌توان گفت که ردپای آب آبی در یک بازه‌ی زمانی خاص در یک حوضه باعثِ پیدایش نقطه‌ی کانونی شد که ردپای آب آبی در آن حوضه از موجودیت آب آبی‌اش فراتر رود. آب آبی در دسترس (WA_{blue}) در حوضه‌ی x در بازه‌ی زمانی خاص t از حاصل تفریق رواناب طبیعی در حوضه (R_{nat}) از "جریان زیست‌محیطی موردنیاز" (EFR) به‌دست می‌آید:

$$WA_{blue}[x,t] = R_{nat}[x,t] - EFR[x,t] \qquad \text{(حجم بر زمان)} \qquad (۵۳)$$

وقتی، در یک بازه‌ی زمانی در یک حوضه، ردپای آب آبی فراتر از موجودیت آب آبی باشد، این بدان معناست که جریان زیست‌محیطی موردنیاز در آن زمان و آن حوضه تأمین نشد. هم کمیت و هم زمان رهاسازی جریان زیست‌محیطی موردنیاز برای حفظ پایداری منابع آب شیرین و اکوسیستم‌های وابسته به آن و حفظ معیشت و رفاه جوامع متکی به این اکوسیستم‌ها، باید تعیین گردد. در پیوست (و)، مفهوم جریان زیست‌محیطی با جزئیات بیش‌تری بحث شد. شکل ۴-۲ نحوه‌ی مقایسه‌ی ردپای آب در یک سال با موجودیت آب آبی در همان سال را نشان می‌دهد. در این شکل، جریان زیست‌محیطی مورد نیاز در بازه‌های معینی از سال تأمین نشد، اما در باقی دوره‌های زمانی تأمین شد.

جریان زیست‌محیطی موردنیاز، از رواناب طبیعی کم می‌شود نه از رواناب واقعی، زیرا رواناب واقعی، متأثر از مصارف آب در بالادست می‌باشد. رواناب طبیعی را می‌توان از حاصل‌جمع رواناب واقعی و ردپای آب آبی درون یک حوضه‌ی آبریز به‌دست آورد.



شکل ۴-۲ ردپای آب آبی در یک سال در مقایسه با آب آبی دسترس. موجودیت آب آبی برابر است با رواناب طبیعی منهای جریان زیست‌محیطی موردنیاز.

وقتی در یک ماه خاص، ردپای آب آبی در یک حوضه‌ی آبریز، فراتر از آب آبی در دسترس باشد، ردپای آب آبی از نظر زیست‌محیطی ناپایدار است، زیرا جریان زیست‌محیطی مورد نیاز تأمین نشد. با این وجود، شاخص‌های بیش‌تری وجود دارد که باید درنظر گرفته شود. ردپای آب آبی درون یک حوضه‌ی آبریز، نه تنها رواناب را متأثر می‌سازد، بلکه ذخایر آب آبی در حوضه، به ویژه ذخایر آب زیرزمینی و حجم آب دریاچه‌ها را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین، یکی دیگر از راه‌های تعیین ناپایداری، توجه نمودن به تأثیر ردپای آب آبی بر آب‌های زیرزمینی و سطح آب دریاچه‌ها در حوضه‌ی آبریز است (کادر ۴-۵).

کادر ۴-۵. پایداری ردپای آب آبی به چگونگی تأثیر این ردپا بر جریان‌ها و ذخایر آب آبی بستگی دارد.

ردپای آب آبی در یک حوضه، که به صورت حجم آب در یک بازه‌ی زمانی معین تعریف می‌شود، باید با موجودیت آب آبی در آن حوضه و در همان مقطع زمانی مقایسه شود. پرواضح است که میزان مصرف در هر واحد زمانی، نباید بیش‌تر از آن‌چه موجود است، باشد. هم ردپای آب آبی و هم آب آبی در دسترس بر حسب حجم بر زمان تعریف شده و بنابراین، معرف جریان آب هستند. همان‌گونه که در متن توضیح داده شد، برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی ردپای آب آبی در یک حوضه‌ی آبریز در یک بازه‌ی زمانی خاص، باید جریان مصرفی (یعنی ردپای آب آبی) را با جریان موجود (یعنی رواناب منهای جریان‌زیست‌محیطی موردنیاز) مقایسه نمود. علاوه بر آن، باید تأثیر ردپای آب بر ذخایر آب آبی، یعنی حجم آب ذخیره شده در زیرزمین و دریاچه‌ها را نیز بررسی نمود. این مسأله را با یک مثال ساده توضیح می‌دهیم.

تصور کنید که دریاچه‌ای، از یک سمت با آب رودخانه‌ای تغذیه شده و از سمت دیگر، به وسیله‌ی همان رودخانه زهکشی می‌شود. برای ساده نمودن مسأله، فرض می‌کنیم که بارش ورودی و تبخیر صورت گرفته از سطح دریاچه در مقایسه با جریان رودخانه ناچیز باشد. بنابراین، جریان خروجیِ رودخانه برابر با جریان ورودی آن خواهد بود. فرض کنید که ردپای آب آبی در بالادست، جریان رودخانه را ۲۰ درصد کاهش داده باشد. در این شرایط، سطح آب دریاچه تا حدی کاهش پیدا می‌کند که جریان ورودی دوباره برابر با جریان خروجی شود. به این ترتیب، دریاچه به یک توازن جدید می‌رسد که در آن حالت، حجم آب و پس از آن، سطح آب درون دریاچه، کم‌تر از حالت قبل است. از آنجایی‌که میزان جریان خروجی از دریاچه، به صورت خطی به حجم فعال دریاچه (یعنی حجمی از آب در دریاچه که بالاتر از نقطه‌ی خروج آب از دریاچه قرار گرفته است)، وابسته است؛ بنابراین، ۲۰ درصد کاهش در جریان خروجی به معنی ۲۰ درصد کاهش در حجم فعال دریاچه نیز خواهد بود که این مسأله، باعث مقدار معینی کاهش در سطح آب درون دریاچه خواهد شد. حال سوال آن نیست که آیا ۲۰ درصد کاهش در جریان رودخانه پایدار است یاخیر، بلکه سوال آن است که آیا ۲۰ درصد کاهش در حجم آب دریاچه و در پیِ آن، کاهش سطح آب دریاچه پایدار است یا خیر؟ پاسخ به سوال اول به میزان جریان زیست‌محیطی موردنیاز بستگی دارد. پاسخ به سوال دوم به حداکثر کاهش مجاز در سطح آب دریاچه[1] بستگی دارد که خود، به میزان آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های آبی دریاچه و اکوسیستم‌های ساحلی در نتیجه‌ی تغییرات سطح آب بستگی دارد. مثال مشابه دیگری می‌توان برای ذخایر آب زیرزمینی تجدیدپذیر ارایه داد. برداشت خالص آب زیرزمینی از یک آبخوان باید کم‌تر از آب زیرزمینی در دسترس باشد؛ یعنی میزان تغذیه‌ی آب زیرزمینی منهای کسری از جریان خروجی طبیعی آب زیرزمینی که برای حفظ پایداری جریان زیست‌محیطی رودخانه‌ها لازم است. علاوه بر آن، باید چگونگی تأثیر برداشت آب زیرزمینی بر سطح آب زیرزمینی نیز بررسی شود. این‌که آیا مقدار معینی کاهش در سطح آب زیرزمینی پایدار است یا خیر، به حداکثر کاهش مجاز در سطح آب زیرزمینی بستگی دارد. این حد مجاز، به میزان آسیب‌پذیری اکوسیستم‌های خشکی در ازای نوسانات سطح آب زیرزمینی بستگی دارد. در اینجا باید هشدار داد که وقتی کاهش سطح آب زیرزمینی و دریاچه اندازه‌گیری می‌شود، باید با دقت دلایل انسانی و طبیعی‌ای که باعث تغییرات سطح آب شد، را از هم متمایز نمود. تغییراتی که به دلیل نواسات اقلیمی سالانه و یا سال‌های مختلف در سطح آب زیرزمینی و آب دریاچه رخ می‌دهد، تغییرات طبیعی است. بنابراین، قبل از آن‌که کاهش سطح آب دریاچه یا آب زیرزمینی را به ردپای آب آبی درون یک حوضه منسوب نمود، باید مطمئن شد که این کاهش، به دلیل تغییر پارامترهای اقلیمی در آن بازه‌ی زمانی منتخب نیست. همانند جریان زیست‌محیطی موردنیاز، حداکثر کاهش مجاز در سطح آب دریاچه و آب زیرزمینی به محیط بستگی دارد و باید برای هرحوضه به صورت جداگانه محاسبه شود. به این ترتیب، به منظور ارزیابی ردپای آب آبی در یک حوضه، باید علاوه بر مقایسه‌ی این ردپا با موجودیت آب آبی، این مسأله را نیز تحلیل نمود که آیا سطح آب دریاچه و آب زیرزمینی (در آن حوضه)، در حدود پایدار باقی مانده‌اند یا خیر (Richter, 2010). آب زیرزمینی فسیلی، خودش یک بحث است. وقتی ردپای آب آبی از آب‌زیرزمینی فسیلی تأمین شده باشد، هر قطره از آبی که مصرف می‌شود از ذخایر فسیلی آب زیرزمینی موجود کم می‌شود. مصارف آب زیرزمینی فسیلی همواره باعث کاهش حجم این منابع آبی شده؛ بنابراین، از هر جهت ناپایدار است.

کمبود آب آبی (WS_{blue}) در حوضه x، نسبت مجموع ردپای آب آبی (ΣWF_{blue}) به موجودیت آب آبی (WA_{blue}) می‌باشد:

$$WS_{blue}[x,t] = \frac{\sum WF_{blue}[x,t]}{WA_{blue}[x,t]} \quad (۵۴)$$

مقدار ۱۰۰ درصد برای شاخص کمبود آب آبی به این معنی است که تمامی آب آبی در دسترس مصرف شد. مقادیر بالاتر از ۱۰۰ درصد برای شاخص کمبود آب آبی، نشان‌دهنده وضعیت ناپایدار است. شاخص کمبود آب آبی وابسته به زمان است. این شاخص، در طول یک سال و از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند. اندازه‌گیری (این شاخص) می‌تواند در مقیاس روزانه صورت بگیرد، ولی برای بررسی تغییراتی که در طول یک سال اتفاق می‌افتد، مقیاس ماهانه کفایت می‌کند. از شکل ۴-۲ می‌توان فهمید که اندازه‌گیری کمبود آب آبی در مقیاس سالانه، ایده‌ی مناسبی نیست. بر اساس مثال ارایه شده در این شکل، کمبود آب آبی در پنج ماه از سال (در حدفاصل ماه‌های می تا سپتامبر)، فراتر از ۱۰۰ درصد است. در طول هفت ماهِ دیگر، کمبود آب کم‌تر از ۱۰۰ درصد است. اگر در این مثال، میانگین مقادیر ماهانه کمبود آب آبی در کل سال تعیین شود، مقدار میانگین ماهانه کمبود آب آبی، تا حدی بیش‌تر از ۱۰۰ درصد خواهد بود. حال اگر در این مثال، مقدار سالانه‌ی ردپای آب آبی بر مقدار سالانه‌ی آب آبی در دسترس تقسیم شود، حاصل آن ۷۵ درصد خواهد شد که این مقدار، این واقعیت را که جریان زیست‌محیطی مورد نیاز در پنج ماه از سال تأمین نشده است، را نشان نمی‌دهد.

باید توجه داشت که کمبود آب آبی، به شکلی که در این بخش تعریف شد، دارای مفهوم فیزیکی و زیست‌محیطی است. این شاخص از این جهت فیزیکی است که میزان تخصیص را با حجم آب موجود مقایسه می‌کند و از این جهت، زیست‌محیطی است که جریان زیست‌محیطی موردنظر را لحاظ می‌کند. ولی شاخصی که مبین کمبود اقتصادی باشد، نیست. یک شاخص کمبود اقتصادی باید از واحد ارزش پولی برای نشان دادن شدت بحران استفاده کند. به‌علاوه، بر اساس تعریف بالا، شاخص کمبود آب آبی از جهات مختلف با شاخص‌های پیشین کمبود آب فرق دارد و اساساً سعی شده که این شاخص، نواقص شاخص‌های پیشین را بهبود بخشد (کادر ۴-۶).

کادر ۴-۶ چگونه شاخص کمبود آب آبی، به شکلی که در پژوهش‌های ردپای آب تعریف شده است، با شاخص‌های قدیمیِ کمبود آب آبی فرق دارد.

همواره شاخص‌های کمبود آب آبی از دو مؤلفه‌ی اساسی تشکیل شده‌اند: معیاری برای آب مصرفی و معیاری برای موجودیت آب. رایج‌ترین شاخص کمبود آب آبی، از نسبت بین آب برداشتی سالانه در یک محدوده‌ی معین به مجموع رواناب سالانه در آن محدوده به‌دست می‌آید که به عناوین مختلفی مانند میزان مصرف آب[1] (Falkenmark, 1989)، نسبت برداشت به موجودیت آب[1] (Alcamo and Henrichs, 2002) یا نسبت مصرف به منبع[1] (Raskin et al., 1996) نامیده می‌شود. چهار انتقاد بر این شاخص وجود دارد. اول آن‌که، وقتی بررسی پیامدهای برداشت آب در کل سطح حوضه مدنظر باشد، مقدار آب برداشتی، معیار مناسبی نخواهد بود، زیرا بخشی از آب برداشتی به حوضه بازمی‌گردد (Perry, 2007). بنابراین، بهتر است که با استفاده از ردپای آب آبی، مصرف آب آبی را به صورت آب آبی مصرفی درنظر گرفت. دوم آن‌که، مقدار کل رواناب نمی‌تواند معیار مناسبی برای آب در دسترس باشد، زیرا از این واقعیت که باید بخشی از این رواناب برای پایداری زیست‌محیطی حفظ شود، چشم‌پوشی شد. بنابراین، بهتر است که جریان زیست‌محیطی مورد نیاز را از کل رواناب کسر نمود (Smakhtin et al., 2004; Poff et al., 2010). سوم آن‌که، زمانی که رواناب، به دلیل مصارف آب در حوضه در حد قابل‌توجهی کاهش پیدا کرده است، مقایسه‌ی آب مصرفی با رواناب واقعی در یک حوضه، چالش‌برانگیز خواهد بود. بنابراین، بهتر است که آب مصرفی را با رواناب طبیعی در حوضه، یعنی روانابی که صرف‌نظر از مصارف آب در حوضه اتفاق می‌افتد، مقایسه نمود. در نهایت، تعیین کمبود آب از طریق مقایسه‌ی مقادیر سالانه‌ی مصرف آب و آب در دسترس، دقیق نخواهد بود (Savenije, 2000). در واقعیت، به دلیل نوساناتی که در طول یک سال، هم در آب مصرفی و هم در میزان آب در دسترس رخ می‌دهد، (با انجام محاسبات) در مقیاس ماهانه، کمبود آب خودش را بهتر از مقیاس سالانه نشان می‌دهد.

پایداری زیست‌محیطی ردپای آب خاکستری

تأثیر کل ردپای آب خاکستری در یک حوضه، به مقدار روانابی که برای پذیرش پساب در آن حوضه وجود دارد، بستگی دارد. زمانی ردپای آب خاکستری در یک بازه‌ی زمانی معین در یک حوضه، یک نقطه‌ی کانونی را ایجاد می‌کند که استانداردهای محیطی کیفیت آب در آن بازه‌ی زمانی و در آن حوضه، نقض شده باشد؛ یعنی زمانی که ظرفیت پذیرش پساب به صورت کامل استفاده شده باشد.

می‌توان سطح سطح آلودگی (WPL)[1] در یک حوضه را شاخصی مناسب برای تعیین اثرات محلی ردپای آب خاکستری محاسبه نمود که نشان‌دهنده شدت آلودگی می‌باشد. این شاخص، به صورت کسری از ظرفیت پذیرش پساب که مصرف شده است، تعریف می‌شود و از تقسیم کل ردپاهای آب خاکستری در یک حوضه (WF_{grey}) بر رواناب واقعیِ آن حوضه (R_{act}) به‌دست می‌آید. اگر سطح آلودگی آب برابر ۱۰۰ درصد باشد، بدان معناست که کل ظرفیت پذیرش پساب مصرف شد. وقتی سطح آلودگی فراتر از ۱۰۰ درصد باشد، بدان معناست که استانداردهای کیفیت آب رعایت نشد. بنابراین، سطح آلودگی آب در حوضه x در بازه‌ی زمانی t را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

1 . *Water pollution level*

$$WPL[x,t] = \frac{\sum WF_{grey}[x,t]}{R_{act}[x,t]} \quad (۵۵)$$

با توجه به تغییر ردپای آب خاکستری و رواناب در طول سال، سطح آلودگی آب نیز دارای نوساناتی خواهد بود. در اغلب موارد، محاسبات ماهانه برای نشان دادن تغییراتی که در طول سال رخ می‌دهد، کفایت می‌کند، اما در صورت نیاز، می‌توان محاسبات را در مقیاس‌های زمانی کوچک‌تر نیز انجام داد. محاسبه‌ی سطح آلودگی آب را هم می‌توان برای حوضه‌های بزرگ‌تر و هم حوضه‌های کوچک‌تر انجام داد. از معایب محاسبه‌ی سطح آلودگی آب برای کل یک حوضه با وسعت نسبتاً بزرگ آن است که با این کار، تنها یک مقدار میانگین برای کل حوضه محاسبه می‌شود. به عبارت دیگر، خروجیِ این محاسبات، تغییرات مکانی شاخص سطح آلودگی آب درون آن حوضه را نشان نمی‌دهد. این مسأله، به خوبی در دومین مثال در پیوست (د) ارایه شد.

به طور خلاصه، شاخص‌های کمبود آب سبز و آبی و سطح آلودگی آب، به گونه‌ای تعریف شده‌اند که وقتی مقادیر آن‌ها بیش‌تر از ۱۰۰ درصد باشد، به معنی شرایط ناپایدار بوده و وجود نقاط کانونی را اثبات می‌کند. یک نقطه‌ی کانونی زیست‌محیطی، به بازه‌ای از سال در یک حوضه اشاره می‌کند که در آن، نیازهای آب سبز یا آبی زیست‌محیطی و یا استانداردهای کیفیت آب، تأمین نشده باشد.

٤-۲-۳ شاخص پایداری اجتماعی برای تعیین نقاط کانونی اجتماعی

کل ردپای آب در یک حوضه‌ی آبریز، هنگامی از نظر اجتماعی ناپایدار بوده و منتج به ایجاد نقطه‌ی کانونی از نظر اجتماعی می‌شود که به دلیل وجود چنین ردپایی در حوضه، نیازهای اساسی بشر، برای تمامی افراد ساکن در حوضه تأمین نشده باشد و یا وقتی که قوانین اساسی عدالت رعایت نشده باشد. نیازهای اساسی بشر از آب، شامل داشتن حداقل سهمی از منابع آب شیرین سالم و تمیز برای شرب، شست‌وشو و پخت‌وپز (UN, 2010b) و حداقل سهمی از آب برای تولید غذا برایِ تأمین مطمئن سطح کافی‌ای از غذا برای همه می‌باشد. بخش دوم این خواسته‌ها، یعنی داشتن حقآبه برای تأمین غذا، به صورت رسمی به ثبت نرسیده است، اما خود غذا، از پیش، یکی از موضوعات حقوق بشری محسوب می شود که در اعلامیه‌ی جهانی حقوق بشر (UN, 1948) به ثبت رسیده است. یکی دیگر از نیازهای اساسی بشر، اشتغال است که مثلاً زمانی می‌تواند در معرض خطر قرار بگیرد که (شرایط) ماهیگیران در پایین‌دست، به دلیل آلودگی‌های ناشی از بالادست، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. قوانین اساسیِ عدالت، شامل اصل پرداخت هزینه‌ها توسط مصرف‌کنندگان آب و اصل پرداخت هزینه‌ها توسط آلوده‌کنندگان آب می‌باشد. اگر افرادی در بالادست، مسبب ردپای آب آبی یا

خاکستری‌ای شوند که منتج به چالش‌هایی برای افراد پایین‌دست شود، ولی این خسارت‌های وارد شده به افراد پایین‌دست، توسط مصرف‌کنندگان و آلوده‌کنندگان آب ساکن در بالادست حوضه جبران نشود، این مسأله عادلانه و در نتیجه، پایدار نیست. یکی دیگر از قوانین عدالت، استفاده‌ی عادلانه از کالاهای عمومی است. از آنجایی‌که آب شیرین، اساساً یک کالای عمومی است؛ بنابراین وقتی مصرف آب برخی کاربران، بیش‌تر از سهم عادلانه‌ی آن‌ها از مصرف آب یک آبخوان یا مخزن آب شیرین باشد، این مصرف عادلانه نخواهد بود. مثالی از این مورد، زمانی است که کشاورزان تجاری[1]، برای آبیاری گیاهان خود، چاه‌های عمیقی حفر می‌کنند که (حفر این چاه‌ها)، دسترسی به آب را برای کشاورزان خرده‌پا در نواحی اطراف با مشکل می‌سازد.

نیازهای اساسی بشر و قوانین عدالت، شاخص‌هایی هستند که کمی‌سازی آن‌ها به صورت حدود مرزی دشوار است. این‌که آیا نیازهای آبی بشر و یا قوانین عدالت آب در یک حوضه‌ی آبی معین نقض شده است یا خیر، نیازمند قضاوتی کارشناسی است. وجود مناقشاتی بر سر آب می‌تواند یک نمونه شاخص عملی باشد (Gleick, 2010; Oregon State University, 2010). در عمل، غالباً مناقشات اجتماعی بر سر آب زمانی زیاد می‌شود که مناقشات زیست‌محیطی به‌وجود می‌آید. بنابراین، تعیین نقاط کانونی زیست‌محیطی، فهرستی از نقاط کانونی اجتماعی بالقوه را نمایان می‌سازد.

٤-۲-٤ شاخص پایداری اقتصادی برای تعیین نقاط کانونی اقتصادی

زمانی ردپای آب کل در یک حوضه‌ی آبریز از نظر اقتصادی ناپایدار بوده و در نتیجه، باعثِ پیدایش نقاط کانونی اقتصادی می‌شود که تخصیص و استفاده از آب، از نظر اقتصادی ناکارآمد باشد. عواید حاصل از ردپای آب (سبز، آبی یا خاکستری) که در نتیجه‌ی استفاده‌ی آب برای هدفی معین ایجاد می‌شود، باید بیش‌تر از کل هزینه‌های مربوط به آن ردپای آب، اعم از هزینه‌های خارجی، هزینه‌های فرصت و هزینه‌های کمبود آب باشد. در یک حوضه‌ی آبریز، شیوه‌ی تخصیص آب به مصرف‌کنندگان مختلف باید از دیدگاه اقتصادی کارآمد باشد (کارآیی تخصیص) و هر مصرف‌کننده نیز باید آب تخصیص‌یافته‌ی خود را به صورت کارآمد استفاده کند (کارآیی تولیدکننده). وقتی قیمت آب برای مصرف‌کننده کم‌تر از ارزش اقتصادی واقعی آن باشد، باعثِ استفاده‌ی ناکارآمد آب می‌شود. بنابراین، نرخ تقبل کل هزینه‌های اقتصادی توسط بهره‌بردار، می‌تواند یک شاخص در نظر گرفته شود.

1 . Commercial farmers

٤-۲-۵ ارزیابی اثرات اولیه و ثانویه در نقاط کانونیِ شناسایی شده

با تعیین نقاط کانونی، درمی‌یابیم که در کدام حوضه‌ها و کدام مقاطع زمانی از سال، میزان کمبود و آلودگی آب، در تضاد با معیارهای زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی است. هم‌چنین، شدت (چالش‌ها) در نقاط کانونی را نیز درمی‌یابیم، زیرا هرچه میزان کمبود آب سبز یا آبی و یا سطح آلودگی آب بیش‌تر باشد، مشکل بزرگ‌تر است. پس از تعیین مکان و زمان مربوط به نقاط کانونی و هم‌چنین، تعیین شدت چالش‌ها در هر نقطه‌ی کانونی، باید اثرات اولیه و ثانویه را با جزئیات بیش‌تری بررسی نمود، به شرط آن‌که این کار، از اهداف ارزیابی بوده باشد.

تعیین اثرات اولیه در نقاط کانونی را می‌توان با سطوح مختلفی از جزئیات انجام داد. ممکن است از یک مدل بیلان آب ساده یا یک مدل هیدرولوژیکی پیشرفته با پایه‌های فیزیکی و یا هر مدلی بین این دو حالت، برای تخمین اثر ردپای آب سبز و آبی بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه استفاده نمود. مدل‌های کیفیت آب نیز به شکل‌های مختلف، اعم از مدل‌های ساده با ورودی‌های اندک تا مدل‌های پیشرفته با ورودی‌های بسیار زیاد، وجود دارند. مهم‌ترین متغیرهای مربوط به اثرات اولیه عبارت از رواناب و سطح آب مربوط به آن و برخی پارامترهای کیفی مربوط به مسأله مورد مطالعه می‌باشد. برای آن‌که این ارزیابی معنی‌دار باشد، باید تمامی متغیرها را با ویژگی‌های هیدرولوژیکی و کیفی آب در شرایط پایه مقایسه نمود. بهترین گزینه برای شرایط پایه، شرایط طبیعی قبل از هرگونه دخل و تصرفی (توسط بشر) در حوضه می‌باشد. در این حالت، می‌توان تمامی اثرات ناشی از مداخله‌ی بشر را آشکار ساخت.

وقتی صحبت از ارزیابی اثرات ثانویه‌ی ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری می‌شود، به مرحله‌ای وارد شده‌ایم که در آن مرحله، به‌رغم وجود متون و مستندات علمی متعدد، سازمان‌دهی نمودنِ ارزیابیِ اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، هنوز هم چالشی اساسی است. برای یک ارزیابی جامع، باید اثرات زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را از هم متمایز نمود. اولین سوال آن است که عموماً، چه متغیرهایی را باید درنظر گرفت؟ متونی که برای ارزیابی این اثرات وجود دارند، معمولاً فهرست طویلی از متغیرهایی که باید لحاظ شوند، را ارایه می‌کنند. متغیرهای زیست‌محیطی معمولاً شامل پارامترهایی هم‌چون فراوانی گونه‌های خاص، تنوع زیستی و تخریب زیستگاه‌ها می‌باشند. متغیرهای اجتماعی اغلب شامل مواردی هم‌چون سلامت بشر، اشتغال، رفاه و امنیت غذایی می‌باشند. متغیرهای اقتصادی، شامل درآمد در بخش‌های مختلف اقتصادی خواهد بود (در صورت کاهش جریان آب یا تنزل کیفیت آن، ممکن است بخش‌های اقتصادی خاصی مانند بخش‌های ماهی‌گیری، گردش‌گری، تولید انرژی برقابی و صنعت ناوبری، آسیب ببینند). قابل اندازه‌گیری نمودن اثرات ثانویه، همواره یک

چالش است. پس از تعیین متغیرهای مربوط به اثرات ثانویه، سوال دوم نحوه استفاده از نتایج به‌دست آمده در ارزیابی پیامدهای اولیه (یعنی تغییرات ایجاد شده در جریان و کیفیت آب)، برای دستیابی به برآوردهای قابل‌اطمینانی از اثرات ثانویه استفاده می‌باشد. بدین منظور، می‌توان از مدل‌ها، قضاوت‌های کارشناسی، و رویکردهای مشارکتی استفاده نمود. در این بخش، به ارجاع خوانندگان به متون گسترده و متنوعی که برای ارزیابی اثرات وجود دارد، بسنده می‌کنیم.

٤-٣ پایداری ردپای آب یک فرآیند

این‌که ردپای آب یک فرآیند پایدار است یا خیر، به دو عامل بستگی دارد:

- **بستر جغرافیایی:** ردپای آب یک فرآیند، وقتی ناپایدار است که آن فرآیند در یک نقطه‌ی کانونی واقع شده باشد؛ یعنی در یک حوضه و در یک مقطع زمانی خاص از سال که در آن، ردپای آب کل از دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی یا اقتصادی، ناپایدار است.
- **ویژگی‌های ماهیتی آن فرآیند:** ردپای آب یک فرآیند، زمانی خودش، صرف‌نظر از بستر جغرافیایی، ناپایدار است که به ازای صرف هزینه‌ی مجاز اجتماعی، قابل کاهش به کم‌تر از آن‌چه هست و یا حتی به صفر باشد.

هریک از موارد فوق، باید به صورت جداگانه، برای ردپای آب سبز، آبی و خاکستری، ارزیابی شوند. اولین عامل، به سادگی نشان می‌هد که وقتی ردپای آب یک فرآیند، در نقطه‌ای کانونی، یعنی جایی که ردپای آب کل در آن ناپایدار است، رخ دهد، آن‌گاه، ردپای آب این فرآیند خاص نیز ناپایدار خواهد بود. تا زمانی که کل ردپای آب در یک حوضه‌ی آبریز در یک بازه‌ی زمانی خاص ناپایدار باشد، هر سهمی در این ردپای آب، ولو یک سهم نسبتاً ناچیز، ناپایدار تلقی می‌شود. این عقیده، حاصل به رسمیت شناختن این واقعیت است که تهدید و مسئولیت‌پذیری برای (همه‌ی کاربران آب) وجود دارد. اگر کل ردپای آب یک حوضه، مثلاً به دلیل بیش‌تر بودن ردپای آب آبی از میزان آب آبی در دسترس، ناپایدار باشد، نمی‌توان تنها یک جزء (یعنی یک مصرف‌کننده‌ی خاص آب) را در پیدایش این مشکل مقصر دانست، زیرا این حاصل‌جمع مجموعه‌ی تمامی ردپاهای آب درون آن حوضه است که در نهایت، منتج به پیدایش چنین چالشی شد. وقتی ردپای آب یک فرآیند در نقطه کانونی سهیم باشد، این ردپا از این جهت ناپایدار است که خود، بخشی از یک شرایط ناپایدار شد. چگونگی تعیین نقاط کانونی از دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی یا اقتصادی، به طور مفصل در بخش قبلی بحث شد. بنابراین، در این بخش، لازم است تا توضیح‌های بیش‌تری درباره‌ی عامل دوم ارایه شود.

ردپای آب سبز، آبی یا خاکستری یک فرآیند وقتی خودش، صرف‌نظر از محل وقوعش، ناپایدار است که بتوان این ردپا را با به کارگیری تکنولوژی‌ای بهتر به ازای یک هزینه‌ی اجتماعی معقول، کاهش داد و یا به صفر رساند. این مسأله، نه تنها در حوضه‌های کم‌آب، بلکه در حوضه‌های پرآب نیز اهمیت دارد. فرآیندهای بسیاری هستند که یا می‌توانند بهبود داده شوند و یا با فرآیندهای دیگری جایگزین شوند که آن فرآیندها، در ازای صرف هزینه‌های معقول اجتماعی و یا صرف عوایدِ اجتماعی به‌دست آمده، ردپای آب بسیار کم‌تر و یا حتی صفر دارند. تصور ما آن است که کاهش ردپای آب، هزینه‌بر است (مثل تصفیه‌ی فاضلاب، به کارگیری تکنولوژی‌های آبیاری کارآمدتر، استفاده از تکنیک‌هایی برای استفاده‌ی کارآمدتر از آب باران) ولی این تفکر اغلب حاصل دیدگاه خرد آن فردی است که قرار است برای اقدامات لازم، سرمایه‌گذاری اولیه انجام دهد. در صورتی‌که از دیدگاه کلان به قضیه نگاه شود، درمی‌یابیم که وقتی اثرات جانبی اقتصادی و زیست‌محیطی ناشی از برداشت بی‌رویه‌ی منابع آب و آلوده نمودن آن، جبران می‌شود، کاهش ردپای آب معمولاً منتج به عواید اجتماعی شده و یا دست‌کم، هزینه‌های معقول اجتماعی خواهد داشت.

بسیاری از شکل‌های آلودگی، غیرضروری و قابل اجتناب هستند؛ بنابراین، تقریباً تمامی فرآیندهایی که منتج به ایجاد ردپای آب خاکستری می‌شوند، ناپایدار هستند. بسیاری از فرآیندهایی که مشمول ردپای آب آبی هستند نیز ناپایدار هستند. در صنایع، تنها زمانی جلوگیری از ایجاد ردپای آب آبی امکان‌پذیر نیست که لازم باشد آب در بطن محصول جای‌سازی شود؛ اما می‌توان با جمع‌آوری مجدد بخار آب، از ردپای آب آبی که به واسطه‌ی تبخیر آب در صنایع، شکل می‌گیرد، جلوگیری نمود؛ به‌عنوان مثال، فرآیند خنک‌سازی با استفاده از آب شیرین، بدون جمع‌آوری بخار آب برای استفاده‌ی مجدد، فرآیندی ناپایدار است. در کشاورزی، ردپای آب آبی زمانی ناپایداراست که از تکنولوژی‌های ناکارآمد برای آبیاری استفاده می‌شود که نتیجه آن، افزایشِ غیرضروریِ تبخیر خواهد بود.

به این ترتیب، فرآیندهایی که ناپایدار هستند، الزاماً بلافاصله در همان زمان وقوع، منتج به چالشِ کمبود یا آلودگی آب در یک حوضه نمی‌شوند (مثل وقتی که تعداد مصرف‌کنندگان آب، کم باشند، نیاز آبی محیط‌زیست تأمین خواهد شد و ظرفیت پذیرش آلاینده‌ها به اتمام نمی‌رسد) ولی این فرآیندها از این جهت پایدار نیستند که استفاده‌ی آن‌ها از آب شیرین و تصاحب ظرفیت پذیرش آلاینده‌ها توسط آن‌ها، غیرضروری می‌باشد. بالا بودنِ میزان غیرضروری ردپاهای آب سبز و آبی در نواحی پرآب، معمولاً باعثِ کاهش بهره‌وری آب می‌شود؛ یعنی محصول کم‌تری به ازای هر واحد آب مصرفی تولید

می‌شود. این شرایط، ناپایدار بوده و لازم هست به منظور کاهش تولید محصول‌های آب‌بر در نواحی کم‌آب، بهره‌وری‌های آب در نواحی پرآب، افزایش داده شود.

متأسفانه، تاکنون شاخص مشخصی برای تعیینِ این‌که آیا یک فرآیند، خودش و صرف‌نظر از محل وقوعش، ناپایدار است یا خیر، ارایه نشده است، بنابراین، در حال حاضر تنها می‌توان به قضاوت‌های کارشناسی بر اساس تکنیک‌های موجود بسنده نمود. باید بنچ‌مارک‌های جهانی را تدوین نمود، به این ترتیب، می‌توان ردپای آب یک فرآیند خاص را با بنچ‌مارک جهانیِ آن فرآیند مقایسه نمود. بنچ‌مارک باید حداکثر مقدار مجاز ردپای آب سبز، آبی و خاکستری به ازای هر واحد محصول خروجیِ حاصل از یک فرآیند را نشان دهد.

٤-٤ پایداری ردپای آب یک محصول

٤-٤-١ تعیین اجزای ناپایدار در رپای آب یک محصول

ردپای آب یک محصول، مجموع ردپاهای آب فرآیندهایی است که برای تولید آن محصول، الزامی هستند (بخش ۳-۲ و ۳-۴ را ببینید). بنابراین، پایداری ردپای آب یک محصول به پایداری ردپاهای آب فرآیندهای مختلفی -که در تولید آن محصول درگیر هستند- بستگی دارد. هر فرآیند، در یک یا چند حوضه و غالباً در یک زمان خاصی از سال، رخ می‌دهد. به این ترتیب، مجموع ردپای آب یک محصول، متشکل از اجزای زیادی است که هر یک از آن‌ها، به فرآیند خاصی اشاره می‌کند که در زمان معینی از سال در یک حوضه‌ی آبریز مشخص رخ می‌دهد. پایداری هریک از این مؤلفه‌های مستقل در ردپای آب یک محصول، می‌تواند بر اساس دو معیار زیر ارزیابی شود:

۱) آیا این مؤلفه‌ی ردپای آب، در منطقه یا زمان کانونی قرار دارد؟

۲) آیا ردپای آب فرآیند، خودش و صرف‌نظر از محل وقوعش، ناپایدار است؛ یعنی آیا می‌توان آن ردپای آب را به ازای هزینه‌های اجتماعی منطقی، کاهش داد یا کلاً به صفر رساند؟

این روند، باید به صورت جداگانه، برای مؤلفه‌های آب سبز، آبی و خاکستریِ مربوط به ردپای آب یک محصول انجام شود. این روند در جدول ۴-۱، برای یک محصول فرضی ارایه شد. سیستم تولید این محصول، از شش فرآیند تشکیل شد. برخی از فرآیندها در بیش از یک حوضه رخ داده‌اند. دو معیار فوق به صورت جداگانه برای هریک از اجزای ردپای آب به کار برده شد. برای برخی از این اجزا، پاسخ به سوال اول منفی است، برای برخی، پاسخ به سوال دوم منفی است، برای برخی، پاسخ به هر دو سوال منفی، و برای برخی دیگر، پاسخ به هر دو سوال مثبت است. دو معیار پایداری جغرافیایی و پایداری خودِ فرآیند، یکدیگر را تکمیل می‌کنند. این بدان معناست که هریک از اجزای ردپای آب یک

محصول، یا به دلیل واقع شدن در شرایط ناپایدار جغرافیایی (رخ دادن در یک نقطه‌ی کانونی) و یا به دلیل منسوب بودن به فرآیندی که خودش ناپایدار است، می‌توانند ناپایدار باشند. جدول ۴-۱ مثالی از نحوه تعیین حد پایداری ردپای آب یک محصول را بر اساس دو معیار پایداری جغرافیایی ردپاهای آب در حوضه‌ای که فرآیندها در آن رخ می‌دهند و پایداری ماهیتی خودِ فرآیندها، نشان می‌دهد. اجزای اولویت‌دار و مهم ردپای آب یک محصول را می‌توان بر اساس این‌که کدام یک از این اجزا ناپایدار هستند و این‌که سهم هریک از اجزا در کل ردپای آب یک محصول چقدر است، تعیین نمود. این جدول باید به صورت جداگانه برای ردپای آب سبز، آبی و خاکستری این محصول کامل شود.

جدول ۴-۱ نحوه تعیین حد پایداری ردپای آب یک محصول بر اساس دو معیار پایداری جغرافیایی ردپاهای آب در حوضه‌ای که فرآیندها در آن رخ می‌دهند و پایداری ماهیت خودِ فرآیندها.

بررسی نیاز به عکس‌العمل	کنترل تناسب از دیدگاه محصول	نتیجه‌گیری		کنترل پایداری رپای آب فرآیند	کنترل پایداری ردپای آب	نتیجه محاسبات		
آیا این مولفه دارای اولویت است؟	سهم بالاتر از حد آستانه‌ی یک درصد [د]	درصد ردپای آب ناپایدار	ردپای آب محصول، پایدار است؟	امکان کاهش یا حذف ردپای آب	این حوضه، نقطه‌ی کانونی است؟	ردپای آب[ج]	حوضه [ب]	فرآیند[الف]
خیر	بله		بله	خیر	خیر	۴۵	*A*	۱
بله	بله	۳۵	خیر	بله	بله	۳۵	*B*	
خیر	بله		بله	خیر	خیر	۱۰	*A*	۲
خیر	بله		بله	خیر	خیر	۶	*C*	۳
بله	بله	۲	خیر	خیر	بله	۲	*D*	
بله	بله	۱/۱	خیر	بله	خیر	۱/۱	*E*	
خیر	خیر	۰/۵	خیر	خیر	بله	۰/۵	*F*	۴
خیر	خیر		بله	خیر	خیر	۰/۳	*A*	۵
خیر	خیر	۰/۱	خیر	بله	خیر	۰/۱	*A*	۶
		۳۸/۷				۱۰۰		کل

الف – سیستم تولید این محصول، متشکل ازتعدادی از فرآیندهای متوالی یا موازی است (بخش ۳-۴-۲ را ببینید)

ب- حوضه‌ای که فرآیندها در آن رخ می‌دهند. یک فرآیند (مثلاً، فرآیند رشد یک گیاه که یکی از مواد اولیه‌ی محصول موردنظر است)، می‌تواند در حوضه‌های آبریز مختلفی رخ دهد

ج – بر حسب مترمکعب بر واحد محصول نهایی

د- انتخاب حد آستانه می‌تواند مورد بحث قرار بگیرد

پس از آن‌که پایداری ردپای آب یک محصول بررسی شد، نتیجه‌گیریِ نهایی می‌تواند به‌این صورت مطرح شود که x درصد از ردپای آب آن محصول، ناپایدار است. می‌توان مشخص نمود که کدام‌یک از اجزای کل ردپای آب ناپایدار بوده و دلایل ناپایداری آن‌ها را تشریح نمود. این دلایل می‌تواند آن باشد که این اجزا، دارای ردپای آبی هستند که می‌تواند به ازای هزینه‌های معقول اجتماعی، کاهش داده شود و یا کلاً به صفر برسد، یا این‌که این اجرا، در نقاط کانونی واقع شده‌اند (و

یا هر دوی این موارد). (سپس) باید اقدامات لازم برای بهبود شرایط اجزای ناپایدار در ردپای آب یک محصول صورت بگیرد. اولویت‌ها برای شروع کار را می‌توان بر اساس سهمی که یک جزء خاص از ردپای آب یک محصول در کل ردپای آب آن محصول دارد، تعیین نمود. حتی می‌توان تصمیم‌گرفت که از تمامیِ اجزای ناپایداری که سهم ردپای آب آن‌ها در کل ردپای آب یک محصول از حد معینی (مثلاً یک درصد) کم‌تر است، چشم‌پوشی نمود. هم‌چنین، اولویت‌بندی را می‌توان بر اساس شدت وخامت نسبیِ نقاط کانونی‌ای –که اجزای مختلف ناپایدارِ ردپای آب در آن رخ می‌دهند و یا بر اساس این‌که چه بهبودی می‌تواند با سرعت و سهولت بیش‌تری حاصل شود–، انجام داد.

همان‌گونه که برای فرآیندهای جداگانه مطرح شد، برای محصول‌ها نیز باید بنچ‌مارک‌هایی تدوین نمود. با این کار، امکان مقایسه‌ی ردپای آب یک محصول خاص با بنچ‌مارک جهانی برای آن محصول وجود خواهد داشت. این بنچ‌مارک، حداکثر مقدار منطقیِ ردپای آب به ازای واحد محصول را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار منطقیِ ردپای آب به ازای واحد هر محصول را می‌توان از حاصل‌جمع حداکثر مقادیر منطقیِ ردپاهای آبی که پیش‌تر برای فرآیندهایِ درگیر در سیستم تولید آن محصول تدوین شده بود، به‌دست آورد.

٤-٤-٢ شاخص‌های منعکس‌کننده‌ی اثرات زیست‌محیطی محلی ردپای آب

ارزیابی دقیقِ پایداری ردپای آب یک محصول، به شیوه‌ای که در جدول ۴-۱ بیان شد، برای شناختن جایی که بیش‌ترین آسیب را می‌بیند، مفید خواهد بود و به این ترتیب، می‌توان اقدامات اساسی را تدوین نمود. برای برخی اهداف، به ویژه برای ارزیابی چرخه‌ی حیات (LCA)[1]، بهتر است تمامیِ اطلاعات مربوط به ردپای آب یک محصول را در قالب یک یا تعداد محدودی از شاخص‌ها خلاصه نمود. هدف از پژوهش‌های LCA، ارزیابی تمامی اثرات محصول‌هاست. اثرات آن‌ها بر مصرف و آلودگی آب، تنها دو نوع از اثرات متنوع زیست‌محیطی آن محصول‌ها می‌باشد. در LCA، تمامی اثرات باید به شکل معیار واحدی بیان شوند که این کار، نیازمند جمع‌آوری اطلاعات دقیق‌تر می‌باشد.

منابع آب شیرین در جهان محدود بوده و این منابع در نواحی بسیاری، بیش از حد مصرف شده‌اند. بنابراین، تعیین میزان استفاده از منابع آب، از طریق تعیین مقادیر مصرف و آلودگی آب بر حسب واحد حجم، باید یکی از عناصر کلیدی در LCA باشد. ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ یک محصول، معیارهای خوبی از کل منابع آب مصرفی و میزان استفاده از ظرفیت پذیرش پساب به وسیله‌ی

1 . Life cycle assessment (LCA)

محصول است. بنابراین، ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ یک محصول می‌توانند به صورت مستقیم، شاخص‌هایی در LCA، در نظر گرفته شوند. با این حال، جدای از این واقعیت که درنظر گرفتن حجم تخصیص آب شیرین مناسب است، توجه نمودن به اثرات زیست‌محیطیِ محلیِ مربوط به تخصیص آب شیرین نیز جالب خواهد بود. این پیامدهای زیست‌محیطیِ محلی، به کمبود آب و سطح آلودگی آب در حوضه‌ای بستگی دارد که ردپای آب محصول در آن واقع شده است. می‌توان از شاخص‌های اثر ردپای آب که در این بخش تشریح شد، به صورت شاخصی برای اثرات زیست‌محیطی محلیِ مربوط به ردپای آب یک محصول استفاده نمود. اخیراً، انجمن تحقیقاتی LCA، بدون توجه به مسأله‌ی بزرگ‌ترِ کمبود جهانی آب، بیش‌تر توجه خود را بر این اثرات زیست‌محیطی محلیِ ناشی از مصرف آب متمرکز نموده است (Pfister and Hellweg, 2009; Ridoutt and Pfister, 2010). باید تاکید نمود که این اثرات محلی، تنها بخشی از مسأله‌ی آب هستند. اهمیت این مسأله که در مجموع، چقدر آب به یک محصول اختصاص داده می‌شود، اگر بیش‌تر نباشد، کم‌تر از اهمیت تحلیلِ پیامدهای زیست‌محیطیِ محلیِ مصرف آب نیست. وقتی دو محصول، ردپای آب یکسانی دارند، میزان مطالبه‌ی آن‌ها از منابع آبی محدود جهان یکسان خواهد بود، اما اگر در مکان‌های مختلف تولید شوند، اثرات زیست‌محیطیِ محلی آن‌ها می‌تواند متفاوت باشد.

وقتی محصولی در مجموع ردپای آب آبی در یک حوضه سهیم باشد، میزان تأثیر این ردپای آب به دو عامل بستگی دارد: (۱) این‌که مقدار ردپای آب آبی (این محصول) چقدر است و (۲) این‌که وضعیت کمبود آب آبی در آن حوضه چگونه است. برای ردپای آب سبز نیز می‌توان از منطقی مشابه استفاده نمود. به طور مشابه، وقتی محصولی در مجموع ردپای آب خاکستری در یک حوضه‌ی آبریز سهیم باشد، اثر آن به دو عامل بستگی دارد: این‌که مقدار ردپای آب خاکستری (این محصول) چقدر است؛ و (۲) این‌که وضعیت سطح آلودگی در آن حوضه چگونه است.

ردپای آب، یک شاخص حجمی است که مصرف و آلودگی آب شیرین را بر حسب زمان و مکان نشان می‌دهد. ردپاهای آب، اطلاعاتی را درباره‌ی چگونگی تخصیص منابع آب به اهداف مختلف نشان می‌دهند. ردپای آب یک محصول، آب اختصاص داده شده به آن محصول را نشان می‌دهد. آبی که به یک محصول خاص اختصاص داده می‌شود، را نمی‌توان به محصول دیگری اختصاص داد. از نظر تخصیص آب شیرین، یک ردپای آب آبی با مقدار یک مترمکعب، همواره برابر با ردپای آب آبی دیگری که مقدار آن نیز یک مترمکعب است، برابر است، هرچند اولی ممکن است در یک حوضه‌ی آبریز کم‌آب اتفاق بیفتد و دومی در یک حوضه‌ی آبریز پرآب. اگر بخواهیم تصویری کلی از وضعیت تخصیص منابع آب شیرین ارایه دهیم، واقعاً مهم نیست که کدام یک از این دو ردپای آب در

حوضه‌ی کم‌آب واقع شد، زیرا چنین چیزی می‌توانست برعکس باشد (یعنی؛ مثلاً ردپای آب دومی در حوضه‌ی آبریز کم‌آب اتفاق بیفتد). هر دو ردپای آب، اثر مشابهی بر مقدار کل آب شیرین اختصاص یافته دارند. (دانستن) حجم آب اختصاص یافته به یک فرآیند یا محصول، اطلاعات کلیدی‌ای را برای مباحث تخصیص آب فراهم می‌کند، ولی درباره‌ی آن‌که آیا این ردپا، سهمی در ایجاد چالش‌های فوریِ کمبود یا آلودگی آب در حوضه‌ی مربوطه دارد یا خیر، اطلاعاتی به دست نمی‌دهد. از نظر اثرات محلی، یک ردپای آب آبی با مقدار یک مترمکعب، الزاماً با ردپای آب آبیِ دیگری با همان مقدار یک مترمکعب، برابر نیست، زیرا ممکن است یکی از آن‌ها در حوضه ای اتفاق بیفتد که نیاز آبی محیط‌زیست آن تأمین نشده باشد، در حالی‌که دیگری در حوضه‌ای اتفاق بیفتد که دچار چنین مشکلی نشده است. به منظور به تصویر کشیدن اثرات محلی، باید ردپای آب یک محصول خاص را در کنار کمبود آب آبی در حوضه‌ای که ردپای آب آن محصول رخ می‌دهد، بررسی نمود. به طور مشابه، ردپای آب سبز را نیز باید در کنار کمبود آب سبز بررسی نمود. ردپای آب خاکستری یک محصول مشخص را نیز باید همراه با سطح آلودگی در آن حوضه بررسی نمود.

شاخص تأثیر ردپای آب سبز[1] ($WFII_{green}$)، یک شاخص تجمعی و وزنی از اثر زیست‌محیطی ردپای آب سبز است. این شاخص، بر مبنای دو ورودی به‌دست می‌آید:

(۱) میزان ردپای آب سبز محصولی که در حوضه‌ی x و ماه t رخ داده است (یعنی باید مکان و زمان وقوع آن معین باشد)؛

(۲) میزان کمبود آب سبز در همان حوضه و همان ماه. این شاخص، از حاصل‌ضرب دو ماتریس، و سپس حاصل‌جمع مؤلفه‌های ماتریس برآیند به‌دست می‌آید.

این خروجی می‌تواند ردپای آب سبز وزن‌دهی شده بر اساس مقادیر کمبود آب سبز در مکان‌ها و زمان‌های مختلف –از جایی که اجزای مختلف ردپای آب سبز در آن رخ داده است–، درنظر گرفته شود:

$$WFII_{green} = \sum_{x}\sum_{t}\left(WF_{green}[x,t]\times WS_{green}[x,t]\right) \qquad (۵۶)$$

شاخص تأثیر ردپای آب آبی[1] ($WFII_{blue}$)، یک شاخص تجمعی و وزنی از اثر زیست‌محیطی ردپای آب آبی است. این شاخص، بر مبنای این موارد است: (۱) میزان ردپای آب آبی محصولی که در

1 . G*reen water footprint impact index*

حوضه‌ی x و ماه t رخ داده است؛ (۲) میزان کمبود آب آبی در همان حوضه و همان ماه. این شاخص، از حاصل‌ضرب دو ماتریس و سپس حاصل‌جمع مؤلفه‌های ماتریس برآیند به‌دست می‌آید. این خروجی می‌تواند ردپای آب آبی وزن‌دهی شده بر اساس مقادیر کمبود آب آبی در مکان‌ها و زمان‌های مختلف –از جایی که اجزای مختلف ردپای آب آبی در آن رخ داده است–، درنظر گرفته شود:

$$WFII_{blue} = \sum_{x}\sum_{t}\left(WF_{blue}[x,t]\times WS_{blue}[x,t]\right) \quad (۵۷)$$

شاخص تأثیر ردپای آب خاکستری[۲] ($WFII_{grey}$)، یک شاخص تجمعی و وزنی از اثر زیست-محیطی ردپای آب خاکستری است. این شاخص، بر مبنای این موارد است: (۱) میزان ردپای آب آبی محصولی که در حوضه‌ی x و ماه t رخ داده است؛ (۲) سطح آلودگی در همان حوضه و همان ماه. این شاخص، از حاصل‌ضرب دو ماتریس و سپس حاصل‌جمع مؤلفه‌های ماتریس برآیند به‌دست می‌آید. این خروجی می‌تواند ردپای آب خاکستری وزن‌دهی شده بر اساس مقادیر سطح آلودگی در مکان‌ها و زمان‌های مختلف –از جایی که اجزای مختلف ردپای آب خاکستری در آن رخ داده است–، درنظر گرفته شود:

$$WFII_{grey} = \sum_{x}\sum_{t}\left(WF_{grey}[x,t]\times WPL[x,t]\right) \quad (۵۸)$$

سه شاخص تأثیر ردپای آب، به انواع مختلفی از مصارف آب اشاره دارند که قابل مقایسه نیستند. به منظور داشتن یک شاخص جامع برای تأثیر ردپای آب، می‌توان به سادگی، سه شاخص مذکور را با هم جمع نمود. از آنجایی‌که کمبود آب سبز، معمولاً کم‌تر از کمبود آب آبی است، (در محاسبه‌ی این شاخص کلی) ردپاهای آب سبز کم‌تر از ردپاهای آب آبی به حساب می‌آیند.

به‌عنوان یک نکته‌ی کلی باید تاکید کنیم که این شاخص‌های تأثیر، به شیوه‌ای که در این بخش بحث شد، ارزش محدودی دارند. دلیل این امر، آن است که متغیرهای به‌کار رفته برای محاسبه‌ی این شاخص‌ها، خود دارای اطلاعات مفیدی برای تدوین عکس‌العمل‌ها هستند. دانستن مقدار و رنگ یک ردپای آب، زمان و مکانی که این ردپای آب اتفاق افتاد و شرایط محیطی که این ردپا در آن رخ داد (یعنی شدت کمبود آب و سطح آلودگی در آن محیط)، خود اطلاعات مرتبط و مناسبی هستند. تجمیع تمامی این اطلاعات در قالب سه شاخص و یا سنتز نمودن این سه شاخص به یک شاخص کلی، به این معنی است که همه‌ی این اطلاعات پوشش داده شده‌اند. آن‌چه با این روش به‌دست می‌آید،

---

1 . *Blue water footprint impact index*
2 . *Grey water footprint impact index*

داشتن درکی خام و کلی از اثرات زیست‌محیطی محلی یک ردپای آب است که تنها وقتی مفید است که فردی بخواهد این اثرات را به صورت تقریبی با اثرات محلی ردپای آب دیگری مقایسه نماید اما نمی‌تواند مبنایی برای تدوین عکس‌العمل معین در پاسخ به این اثرات به کار گرفته شود. هم‌چنین، باید توجه نمود که شاخص‌های تأثیر ردپای آب که در فوق ارایه شد، تنها اثرات زیست‌محیطی را در بر می‌گیرد و اثرات اجتماعی و اقتصادی در آن دیده نشد. علاوه بر آن، این شاخص‌ها، اثرات حاصله در کل سطح حوضه را نشان می‌دهند. این مقادیر حجمی که با استفاده از شاخص ردپای آب محاسبه می‌شوند، بیش‌تر برای بررسی وضعیت پایداری مصارف آب، مفید هستند. با این وجود، شاخص‌هایی که در این بخش ارایه شد، برای پژوهش‌های LCA، که نیازمند شاخص‌های تأثیر کلی هستند، مفید هستند.

شاخص‌های تأثیر ردپای آب، می‌توانند تنها، کاربرد معیارهای تقریبی از اثرات زیست‌محیطی در سطح حوضه‌ی آبریز را داشته باشند و مفید به نظر برسند. این شاخص‌های تجمعی، فاقد اطلاعات مکانی و زمانی هستند. به‌عنوان مبنایی برای تدوین اقدامات عکس‌العملی مناسب، تعیین نقاط کانونی، به شیوه‌ای که پیش‌تر توضیح داده شد، مفیدتر از محاسبه‌ی شاخص‌های تجمعی تأثیر ردپای آب خواهد بود. هم‌چنین باید توجه نمود که هدف شاخص‌های تأثیری که در این بخش بحث شد، تعیین اثرات زیست‌محیطی در مقیاس حوضه است. شاخص‌هایی که اثرات محلی را نشان می‌دهند، برای تحلیلِ پایداری تخصیص آب مفید نیستند. برای (تحلیل این پایداری) بهتر است از مقادیر حجمی ردپای آب استفاده نمود، زیرا تخصیص به معنی (چگونگی) تخصیص منابع آبی محدود است، نه اثرات محلی تخصیص.

٤-٥ پایداری ردپای آب یک فعالیت

ردپای آب یک فعالیت، مجموع ردپاهای آب محصول‌های نهایی‌ای است که آن فعالیت تولید می‌کند (بخش ۳-۲ و ۳-۱۰ را ببینید). بنابراین، ابتدا باید پایداری ردپاهای آب محصول‌های تولیدی توسط تولیدکنندگان و سپس، پایداری ردپای آب آن فعالیت را ارزیابی نمود. این یک گام کوچک است، زیرا می‌توان بر اساس اطلاعات مربوط به وضعیت پایداریِ ردپاهای آب محصول‌های مختلف تولیدی توسط آن فعالیت، بلافاصله به نتیجه‌گیری مناسبی درباره‌ی پایداری ردپای آب آن فعالیت رسید. فرض‌کنید که یک فعالیت، دو محصول نهایی تولید می‌کند و سه‌چهارم ردپای آب آن فعالیت، مربوط به محصول خروجی اول و یک‌چهارم آن مربوط به محصول دوم است. فهمیدیم که یک‌سوم ردپای آب محصول اول و کل ردپای آب محصول دوم، پایدار نیستند. در این حالت، به صورت کلی،

۵۰ درصد از کل ردپای آب آن فعالیت ناپایدار است (3/4×1/3+1/4×1=50%). ارزیابی پایداری ردپای آب برای دو محصول خروجی، برای یافتن فرآیندهایی که باعثِ پیدایش اجزای ناپایدار در ردپای آب آن‌ها شده‌اند و برای تعیین حوضه‌هایی که این فرآیندها در آن رخ داده‌اند، مفید خواهد بود.

٤-٦ پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده

ردپای آب یک مصرف‌کننده برابر است با مجموع ردپاهای آب محصول‌هایی که مصرف نموده است. بنابراین، پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده به پایداری ردپاهای آب محصول‌های مصرفی‌اش بستگی دارد. می‌توان به سادگی، روشی که در بخش ۴-۴ گفته شد را برای (ارزیابی پایداری) تمامیِ محصول‌های مصرفی به کار برد. با این روش، می‌توان پایداری هریک از اجزای ردپای آب یک مصرف‌کننده را تحلیل نمود. با این حال، تنها توجه نمودن به وضعیت پایداری تمامی اجزای ردپای آب، برای تحلیل پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده کافی نخواهد بود. کل ردپای آب نیز باید به‌صورت یک‌جا بررسی شود. بنابراین، شاخص دومی وارد بازی می‌شود. پایداری ردپای آب یک مصرف‌کننده به این مسأله نیز بستگی دارد که آیا ردپای آب آن مصرف‌کننده، کم‌تر یا بیش‌تر از سرانه‌ی عادلانه‌ی خود، که بر اساس محدودیت‌های موجود برای ردپای آب کل بشر به‌دست آمد، می‌باشد یا خیر.

ردپای آب بسیاری از مصرف‌کنندگان، تنها تحت احاطه‌ی چند جزء اندک است. برای گوشت‌خواران، این جزء اصلی، ردپای آب گوشت مصرفی آن‌هاست (Hoekstra, 2010b). ممکن است فردی بخواهد نگران‌کننده‌ترین محصول‌ها را برای مصرف‌کنندگانی که ردپای آب نسبتاً بزرگی دارند، تعیین نماید. این محصول‌ها، لوازم لوکسی هستند که دارای ردپای آب نسبتاً بزرگی می‌باشند. اختصاصِ سهم بالایی از آب برای تولید کالاهای لوکس(=تزیین شده)، به بهای کاستن از سهم آب مورد نیاز محیط‌زیست یا سهم آب لازم برای تولید غذا تمام خواهد شد. برخی از کالاهای لوکسی که ردپای آب آن‌ها بزرگ‌تر از گوشت است، لوازم آرایشی به‌دست آمده از فرآورده‌های گیاهی و نسل اول بیودیزل و بیواتانول هستند. وقتی از بعد یک مقیاس مکانی کوچک، به تولید این محصول‌ها توجه شود (یا وقتی تولید آن‌ها محدود باشد)، به شرط آن‌که آن‌ها در نقاط کانونی تولید نشده باشند، (ردپای آب) این محصول‌ها ناپایدار نخواهد بود، ولی وقتی از بعد جهانی به تولید این محصول‌ها نگاه می‌شود، این محصول‌ها وقتی ناپایدار هستند که اختصاص منابع آبی محدود جهان برای تولید آنها، در ازای (کاستن) از منابع آبی باشد که باید برای تأمین نیازهای اساسی بشر اختصاص داده شود؛ به‌عنوان مثال، چنین شرایطی وقتی می‌تواند رخ دهد که غله‌ای مانند ذرت، به وفور برای تولید بیواتانول

استفاده شود، در حالی‌که در همان زمان، عده‌ای به دلیل گران شدن ذرت، از کمبود امنیت غذایی این محصول رنج می‌برند. محصول‌های نگران‌کننده، دارای ردپاهای آب بزرگی هستند که این ردپاها، سطح بالایی ردپای آب بشر را تشکل می‌دهند. به منظور حفظ آب کافی برای محیط‌زیست و نیازهای اساسی بشر، باید این حد بالایی ردپای آب بشر را کاهش و یا دست‌کم، آن را ثابت نگاه داشت.

پایداری ردپای آب گروهی از مصرف‌کنندگان، مثلاً مصرف‌کنندگانی که درون یک کشور هستند، به پایداری ردپای آب هریک از مصرف‌کنندگان بستگی دارد. بدین منظور، می‌توان بررسی نمود که آیا ردپای آب هر یک از مصرف‌کنندگان، کم‌تر یا بیش‌تر از سهم عادلانه‌ی آن‌ها است یا خیر؛ ولی می‌توان این مسأله را نیز بررسی نمود که آیا کل مصارف ملی، منتج به مصرفی کم‌تر یا فراتر از سهم عادلانه‌ی آن کشور از منابع آب شیرین محدود جهان می‌شود یا خیر.

فصل پنجم

کتابخانه‌ای از
گزینه‌های پاسخ (به) ردپای آب

۵-۱ مسئولیت مشترک

ممکن است برخی معتقد باشند که مصرف‌کنندگان در قبال آنچه مصرف می‌کنند مسئول هستند؛ بنابراین، آن‌ها در قبال منابعی که به صورت غیرمستقیم از طریقِ الگوی مصرف خود، استفاده می‌کنند نیز مسئول هستند. از این حیث، مصرف‌کنندگان، مسئول ردپای آب خود بوده و باید اقداماتی برای اطمینان از پایداری ردپای آب خود، انجام دهند. اگر این‌چنین باشد، تولیدکنندگان مجبور خواهند شد محصول‌های پایدار تولید کنند. هم‌چنین، می‌توان بحث را تغییر داد و این‌گونه بیان داشت که تولیدکنندگان، موظفند که محصول‌های پایدار تولید کنند. این بدان معناست که تولیدکنندگان باید اقداماتی برای پایدار نمودن ردپاهای آب محصول انجام دهند و البته سرمایه‌گذاران، باید ملاحظات استفاده‌ی پایدار از آب را در تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری‌های خود دخیل نمایند. در نهایت، آب یک کالای عمومی است. بنابراین، دولت نمی‌تواند از مسئولیت خود نسبت به اعمال مقررات و مشوق‌های لازم جهت تضمین تولید و مصرف پایدار، شانه خالی نمایند. در این‌جا باید خاطرنشان ساخت که مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و سرمایه‌گذاران، همگی مسئول هستند. در این فصل، روش‌ها و گزینه‌هایی که برای مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و سرمایه‌گذاران، برایِ کاهش ردپاهای آب مربوطه و به ویژه، کاهش اثرات آن وجود دارد، ارایه می‌شود.

هدف این فصل، تدوین یک دستورالعمل نیست، این کتابچه‌ی راهنما، نمی‌گوید که باید چه کاری انجام دهیم، بلکه فهرستی از گزینه‌هایی قابل اتخاذ را ارایه می‌کند. از آنجایی‌که این، اولین نسخه از چنین فهرستی است، ادعا نمی‌شود که فهرستی جامع است. با این وجود، این فهرست می‌تواند برای دانستن آن‌که چگونه باید استراتژی‌های پاسخ را تدوین نمود، راهنمای مفیدی باشد. یک استراتژی پاسخ می‌تواند ترکیبی از یک یا چند گزینه‌ی شناخته شده باشد.

۵-۲ کاهش ردپای آب بشر: چه چیزی میسر است؟

از نظر فنی، می‌توان با بازچرخانی کامل آب، ردپاهای آب آبی و خاکستری در صنایع و خانوارها را به صفر رساند. در یک چرخه‌ی بسته‌ی آب، نه تلفات تبخیر و نه فاضلاب آلوده وجود خواهد داشت. در کارخانه‌ها و یا سیستم‌های خنک‌کننده، می‌توان آبی که تبخیر می‌شود را جمع نموده و دوباره به سیستم بازگرداند و یا آن را به منبعی که آب از آن برداشت شده ، بازگرداند. استثناهای اندکی در این زمینه وجود دارد که برای آن‌ها، امکان رساندن ردپای آب آبی و خاکستری به صفر وجود ندارد. این مسأله به ویژه وقتی رخ می‌دهد که آب در بطن محصول جای می‌گیرد؛ از چنین مؤلفه‌ای نمی‌توان جلوگیری نمود، اما این مؤلفه، بخش کمی از ردپای آب آبی بشر است. استثنای دیگر، زمانی است که

الزاماً باید از آب در فضای باز استفاده نمود، به طوری‌که مقداری تبخیر غیرقابل اجتناب باشد. تنها نوعی از ردپای آب خاکستری که نمی‌توان آن را به صفر رساند، ردپای آب خاکستری مربوط به آلودگی حرارتی است، ولی حتی در این مورد، می‌توان بخشی از حرارت فاضلاب خروجی از سیستم‌های خنک‌کننده را قبل از دفع به محیط‌زیست گرفت و از آن برای سایر اهداف استفاده نمود.

در کشاورزی، درصورت نبودِ استفاده از مواد شیمیایی در اراضی تحت کشت، می‌توان ردپای آب خاکستری را به صفر رساند. با مصرف مواد شیمیایی کم‌تر، به کارگیری تکنیک‌های بهتر و کنترل زمان اعمال این مواد، می‌توان ردپای آب خاکستری در کشاورزی را در حد قابل توجهی کاهش داد. در این حالت، مواد شیمیایی کم‌تری از طریق رواناب و یا آبشویی از اراضی تحت کشت به سیستم‌های آبی می‌رسند. با افزایش بهره‌وری آب آبی و سبز (ton/m^3)، می‌توان در حد قابل توجهی ردپاهای آب سبز و آبی (m^3/ton) در کشاورزی را کاهش داد. تمرکز بخش کشاورزی اغلب بر حداکثر نمودن بهره‌وری زمین است که این مسأله در شرایط محدودیت زمین و وفور آب، اهمیت دارد. در شرایطی که آب عامل محدود کننده باشد، حداکثر نمودن بهره‌وری آب مهم‌تر خواهد بود. درباره‌ی آب آبی، افزایش بهره‌وری آب بدان معناست که باید برای افزایش میزان تولید به ازای هر واحد آب مصرفی، عمق آب آبیاری را کم‌تر نموده و آبیاری را هوشمندانه‌تر انجام دارد.

جدول ۵-۱، روش‌های محتمل برای کاهش هر یک از مؤلفه‌های ردپای آب در هر بخش نشان می‌دهد. ردپاهای آب آبی و خاکستریِ مربوط به فعالیت‌های عملیاتی در بخش صنعت را می‌توان کم و بیش نادیده گرفت. در بخش کشاورزی، باید پژوهش‌های بیش‌تری برای تدوین روش‌های منطقی که می‌توانند منجر به کاهش ردپای آب شوند، انجام داد. در تئوری، ردپای آب خاکستری را می‌توان از طریق کشاورزی ارگانیک، به صفر رساند. در عمل، چنین چیزی کاملاً یک چالش بوده و نیازمند صرف زمان کافی برای تبدیل تمامی اراضی تحت کشت سنتی به کشت ارگانیک خواهد بود. علاوه بر آن، بر اساس یک تخمین کلی، کل ردپای آب آبی جهان طی چند دهه به نصف کاهش خواهد یافت که بخشی از این کاهش، ناشی از افزایش بهره‌وری آب آبی در اراضی فاریاب (از طریق اعمال روش‌های آبیاری صرفه‌جو و اعمال کم‌آبیاری به جای آبیاری کامل) و بخشی دیگر به دلیل افزایش تولید محصولاتی است که به جای آب آبی، با آب سبز تولید شده‌اند.

کاهش ردپاهای آب از دو طریق مختلف میسر است. در یک زنجیره‌ی تولید خاص، می‌توان با جایگزینی یک تکنیک با تکنیکی دیگر، و یا خودداری از مصرف یک ماده‌ی اولیه‌ی خاص یا محصول نهایی، ردپای آب را کاهش داده و یا به صفر رساند. مثال‌هایی از (روش‌های) بهبود تکنولوژی تولید عبارت‌اند از: جایگزینی آبیاری بارانی با آبیاری قطره‌ای، جایگزینی کشت‌های سنتی با

ارگانیک یا جایگزنی سیستم‌های خنک‌کننده‌ی آبی روباز با سیستم‌های خنک‌کننده‌ی آبی بسته. نمونه‌هایی از جاهایی که می‌توان از مصرف یک ماده‌ی اولیه‌ی خاص یا یک محصول نهایی خودداری نمود عبارت‌اند از: جایگزنی وعده‌های غذایی پرگوشت با یک وعده غذایی گیاهی یا کم گوشت (یعنی تأمین پروتئین از منابع دیگری که آب کم‌تری در پروسه‌ی تولید آن‌ها صرف شده باشد)؛ مصرف نکردن مواد شیمیایی سمی‌ای که از راهِ فاضلاب به منابع آب سطحی یا زیرزمینی می‌پیوندند یا استفاده نکردن از سوخت‌های زیستیِ آب‌بر (و مثلاً در عوض، تأمین الکتریسیته از انرژی خورشیدی یا باد). کاهش ردپای آب از طریق خودداری از مصرف مواد اولیه و یا محصول‌های خروجیِ خاص، بنیادی‌تر از کاهش ردپای آب از طریق بهبود فرآیند تولید است، زیرا خودداری از کاربرد این مواد اغلب نیازمند بازنگری نمودن الگوی تولید و مصرف است، در حالی‌که بهبود فرآیند تولید، اجازه می‌دهد که همان الگوی قبلی را از راهی که بیش‌تر با محیط‌زیست سازگار باشد، پیش ببریم. وقتی قرار باشد گزینه‌های کاهش ردپای آب شناسایی شوند، همیشه باید هر دو راه را بررسی نمود.

جدول ۵-۱ روش‌های محتمل برای کاهش مؤلفه‌های مختلف ردپای آب برای هر بخش

	کشاورزی	صنعت
ردپای آب سبز	کاهش ردپای آب سبز (m^3/ton) از طریق افزایش بهره‌وری آب سبز (ton/m^3) در اراضی دیم و فاریاب. افزایش تولید کل در اراضی دیم.	بی ارتباط[1]
ردپای آب آبی	کاهش ردپای آب آبی (m^3/ton) با افزایش بهره‌وری آب آبی (ton/m^3) در اراضی فاریاب. کاهش نسبت ردپای آب آبی به سبز. کاهش کلی در میزان ردپای آب آبی (مثلاً ۵۰ درصد)	رساندن ردپای آب آبی به صفر: حذف کامل تلفات ناشی از تبخیر از طریق بازچرخانی کامل آب، تنها ردپای آب آبی در بطن محصول را نمی‌توان به صفر رساند.
ردپای آب خاکستری	کاهش استفاده از کودها و سموم شیمیایی؛ افزایش کارآیی مصرف این مواد. کشاورزی ارگانیک می‌تواند آب خاکستری را به صفر برساند.	رساندن ردپای آب خاکستری به صفر: حذف آلودگی از طریق بازچرخانی کامل آب، ستاندن حرارت از فاضلاب-های حرارتی و تصفیه‌ی جریان برگشتی باقیمانده

اغلب، تصور می‌شود که کاهش ردپای آب، تنها در جایی باید صورت بگیرد که مشکل کمبود و آلودگی آب وجود دارد. اعتقاد بر آن است که در نواحی دارای آب آبی فراوان، نیازی به کاهش ردپای آب آبی نیست و در جایی که برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها تا رساندن غلظت آب آلوده شده به حدی کم‌تر از حداکثر مقدار مجاز، آب کافی وجود دارد، نیازی به کاهش ردپای آب خاکستری نخواهد بود. به‌علاوه، اغلب تصور می‌شود که نیازی به کاهش ردپای آب سبز در کشاورزی نیست، زیرا در هرصورت، باران می‌بارد و اگر استفاده نشود، بهره‌وری نخواهد داشت. منطقی که در پسِ چنین تفکری نهفته است، آن است که وقتی ردپای آب در یک حوضه و یک بازه‌ی زمانی خاص، باعثِ تخلیه‌ی چشم‌گیرِ آب و یا آلودگی آن نمی‌شود، آن ردپای آب پایدار خواهد بود. چنین تفکراتی،

۱. در فعالیت‌هایی که در بخش صنعت اتفاق می‌افتد، ردپای آب سبز وجود ندارد. در حقیقت، ردپای آب سبز در بخش صنعت، تنها در صورتی وجود خواهد داشت که مواد اولیه‌ی ورودی به این بخش، دارای ردپای آب سبز باشد، اما در صنایع، آب سبز وجود ندارد.

براساس این درک ناصحیح به وجود می‌آید که پایداری مصرف آب، تنها به محیط جغرافیایی محلی بستگی دارد. همان‌گونه که در بخش ۴-۳ تشریح شد، ردپای آب یک فرآیند، هنگامی ناپایدار بوده و نیاز به کاهش دارد که (۱) ردپای آب آن فرآیند در یک نقطه‌ی کانونی رخ داده باشد یا (۲) صرف‌نظر از موقعیت جغرافیایی، بتوان این ردپای آب را به خودی خود کاهش داد و یا به صفر رساند. معیار دوم این مفهوم را تداعی می‌سازد که باید ردپای آب را در مناطق پرآب نیز تا حد امکان کاهش داد. انجام این کار، به‌خاطر حل چالش‌های محلی در این نواحی نیست، بلکه برای آن است که از نظر جهانی، به پایداری بیش‌تر و استفاده‌ی عادلانه‌تر و کارآمدتر از آب دست یافت. کاهش ردپای آب (m^3/ton) در نواحی پرآب، از طریقِ افزایش بهره‌وری آب (ton/m^3)، راهکاری کلیدی برای کاهش فشار بر منابع آب در نواحی کم‌آب است زیرا، وقتی محدویت برای تولید کالاهای آب‌بر در نواحیِ کم‌آب وجود دارد، لازم است این کالاها را در نواحی پرآب تولید نمود.

باید نسبت به کل ردپای آب بشر نگران بود. واقعیتِ بزرگ بودنِ این ردپای آب، خود را در نقاط کانونی نشان می‌دهد؛ یعنی در جایی‌که چالش‌های محلیِ ناشی از تخلیه و آلودگی آب، در بازه‌های زمانی معینی از سال نمایان می‌شوند. کاهش ردپای آب در آن نقاط کانونی، یک ضرورت آشکار است. اما این تنها نیمی از داستان است. بر خلاف تصور، راهکار حل چنین چالش‌هایی در مناطق کم‌آب، تا حد زیادی در نواحی پرآب یافت می‌شود. در نواحی پرآب، اغلب با بهره‌وری‌های پایین آب در اراضی دیم (یعنی با مقادیرِ بالایی برای ردپاهای آب سبز) مواجه می‌شویم. افزایش بهره‌وری آب (یعنی کاهش ردپای آب سبز) در کشاورزی دیم در نواحی پرآب، باعث افزایش تولید در سطح جهان شده و در نتیجه، نیاز به تولید محصولات آب‌بر در نواحی کم‌آب را کاهش می‌دهد و به این ترتیب، از فشار بر منابع آب آبی در آن نواحی کم‌آب می‌کاهد. بنابراین، از منظر جهانی، باید در همه جا حتی در نواحی پرآب، ردپاهای آب به ازای هر واحد تولید را تا حد امکان کاهش داد.

از دیدگاه جهانی، یک مترمکعب کاهش در میزان ردپای آب در یک حوضه، معادلِ یک مترمکعب کاهش در ردپای آب در یک حوضه‌ی دیگر است؛ حتی اگر در حوضه‌ی اول، کمبود آبی شدیدتری وجود داشته و سطح آلودگی در آن، بالاتر از حوضه‌ی دوم باشد، زیرا با توجه به موجودیت منابع محدود آب شیرین جهان، کاهش میزان ردپای آب سبب کاهش مجموع تقاضای منابع می‌شود. وقتی می‌توان کالای آب‌بری را با حجم آب یکسان در حوضه‌ای غنی از آب تولید نمود، می‌توان تولید چنین کالایی در نواحی کم‌آب را کاهش داد. بنابراین، مجموع ردپای آب در آن نواحی کم‌آب کاهش خواهد یافت. این روش، یک روش غیرمستقیم اما مهم برای حل معضل فشار بر منابع آب در نواحی کم‌آب محسوب می‌شود. از دیدگاه محلی و اثرات سریع، این مسأله که آیا این کاهش یک متر مکعبی، در

حوضه‌ی کم‌آب رخ می‌دهد یا حوضه‌ی پرآب، مهم خواهد بود. کاهش ردپای آب در نواحی کم‌آب، بلافاصله تأثیر خود را بر کاهش فشار بر منابع آبی می‌گذارد، به شرط آن‌که افزایش همزمانِ تولید، تأثیر مثبت کاهش ردپای آب را از بین نبرد. بنابراین، اگرچه هرگونه کاهش در ردپای آب، منتج به کاهش معضل جهانی کمبود منابع آب شیرین خواهد شد، اما ممکن است این استدلال ارایه شود که برای این‌کار، اولویت باید با کاهش ردپای آب در نقاط کانونی باشد، زیرا انجام چنین کاری در نقاط کانونی، هم از نظر محلی و هم از نظر جهانی، منطقی است؛ در حالی‌که انجام این کار در مناطقی غیر از نقاط کانونی، تنها از دیدگاه جهانی منطقی هست. در جدول ۵-۲، الگویی برای تنظیم اولویت‌های کاهش ردپای آب را ارائه شد.

جدول ۵-۲ اولویت‌های کاهش ردپای آب

نقاط کانونی*	نقاط غیرکانونی	
+	0	پتانسیل اندک برای کاهش
++	+	پتانسیل زیاد برای کاهش**

* یک نقطه‌ی کانونی، بازه‌ی معینی از سال (مثلاً یک دوره‌ی خشک) در یک (زیر)حوضه است که در آن، ردپای آب ناپایدار است که این ناپایداری، مثلاً می‌تواند به این دلیل باشد که این ردپای آب، باعث عدم تأمین نیاز آبی محیط‌زیست و یا نقض استانداردهای محیطی کیفیت آب شد یا به این دلیل که تخصیص و کاربرد آب در آن حوضه‌ی آبریز، ناعادلانه و/یا از نظر اقتصادی، ناکارآمد است.

** وقتی پتانسیل بالا برای کاهش وجود دارد که امکان به صفر رساندن ردپای آب و یا کاهش آن به ازای یک هزینه‌ی اجتماعی معقول وجود داشته باشد.

وقتی صحبت از کاهش ردپای آب به صفر باشد، می‌توان از اصطلاح " آب‌خنثی" استفاده نمود که مشابه اصطلاح "کربن‌خنثی" است، اصطلاحی که برای فعالیت‌هایی به کار می‌رود که ردپای کربن آن‌ها صفر باشد. اصطلاح آب‌خنثی را می‌توان به شکل‌های مختلفی تفسیر نمود که این مسأله باعث می‌شود این مفهوم، کمی پیچیده شود (کادر ۵-۱). این مفهوم، وقتی معادلِ "ردپای آب صفر" باشد، کاملاً شفاف خواهد بود. این مسأله در مورد آن دسته از فعالیت‌های صنعتی اتفاق می‌افتد که در آن‌ها، امکان به صفر رساندن ردپای آب از نظر تکنیکی وجود داشته باشد. وقتی مفاهیمی هم‌چون "جبران" در بطن اصطلاح " آب‌خنثی" وجود داشته باشد، درک این اصطلاح دشوارتر خواهد شد. پرواضح است که اصطلاح "جبران ردپای آب"، ایده‌ای است که نظیرِ مفهوم "جبران کربن" توسعه داده شده است. اگرچه (ارائه‌ی) مفهوم "جبران کربن"، باعث گسترش بحث‌هایی پیرامون مفهوم دقیق آن شده است، اما مفهوم "جبران ردپای آب" حتی از آن هم بحث‌برانگیزتر است (کادر ۵-۲).

پیشنهاد می‌کنیم که به جای جبران، اولویت با تدوین اهداف کمی برای کاهش ردپاهای آب و اثرات مربوطه باشد.

کادر ۵-۱ خنثایی آب

"آب خنثی ایده‌ای مشابه "کربن خنثی" است. با این حال، اصطلاح "آب خنثی " مانند اصطلاح "کربن خنثی " چالش‌برانگیز است. مشکل، در نحوه‌ی تعریف این اصطلاح است. وقتی این واژه برای اولین بار در سال ۲۰۰۲ در اجلاس جهانی برای توسعه‌ی پایدار در ژوهاسنبورگ مطرح شد، این ایده مطرح شد که مقدار آب مصرفی توسط نمایندگان در طول اجلاس اندازه‌گیری شود و این مقدار، بر حسب واحد پول ارایه شود. نمایندگان، شرکت‌ها و جوامع مدنی، تشویق شده بودند که با خرید گواهینامه‌های آب خنثی برای جبران ردپای آب خودشان در طول آن اجلاس ده روزه، برگزاری اجلاس خود را از نظر آب، خنثی نمایند؛ پول‌های جمع‌آوری شده به ازای خرید این گواهینامه‌ها، برای نصب پمپ‌هایی در جوامع نیازمند آب در آفریقای جنوبی، و برای انجام اقدامات محافظت از آب، صرف شد (Water Neutral, 2002)؛ به این ترتیب، این افراد، با پرداخت بهای واقعیِ آب مصرفی در طول اجلاس، برگزاری اجلاس خود را از نظر آب، خنثی نمودند. در سال ۲۰۰۷، کمپانیِ کوکاکولا، متعهد شد که از نظر آب، خنثی شود. در آن کمپانی، "آب خنثی " به معنی (الف) کاهش آب مصرفی در فعالیت‌های عملیاتی (ب) برگرداندن آب‌های برگشتی از فعالیت‌های عملیاتی به صورت آب‌های تصفیه‌شده و سالم به محیط‌زیست و (ج) تدوین برنامه‌های بازچرخانی و حفاظتی، برای جبران آبی بود که در محتوای نوشیدنی‌های نهایی وجود دارد. هم‌چنین، در همان سال ۲۰۰۷، وزرات مسکن بریتانیا[1]، جزئیات پروژه‌ی بزرگ توسعه‌ی مجدد "دروازه‌ی تامس"[1] را به طور موثق منتشر ساخت. در معرفی طرح، این‌گونه بیان شد که قرار است این پروژه، "آب خنثی " باشد؛ یعنی به‌رغمِ ساختِ خانه‌های زیادی حین این پروژه در منطقه‌ی مدنظر و اسکان جمع کثیری از مردم در آن خانه‌ها، نیاز به مصرف آب مازاد نخواهد بود. این مسأله، به وسیله‌ی جبران تقاضاهای آب مازاد در ساختمان‌های جدید از طریق بازچرخانی آب مصرفی در ساختمان‌های قدیمی موجود، میسر بود (Environment Agency, 2007). در هر سه مورد مذکور، استفاده از آب، به صورت "آب برداشت شده" اندازه‌گیری شد (نه به صورت آب مصرفی) و هر سه مورد، مشتمل بر شکل‌های خاصی از "جبران" بود. به‌علاوه، در هر سه مورد، "استفاده‌ی مستقیم از آب" در نظر گرفته شد و استفاده‌ی غیرمستقیم آب لحاظ نشد. با این حال، در سه کاربردی که از مفهوم "جبران ردپای آب" شد، وزن‌های مختلفی برای "کاهش مصرف آب" در مقابل "جبران ردپای آب" درنظر گرفته شد. در موارد "ژوهاسنبورگ" و "دروازه‌ی تامس"، تمام وزن، اساساً روی جبران قرار گرفته است لکن در مورد کمپانی کوکاکولا، فقط برای بخشی از آبی که قابل کاسته شدن نبود (یعنی آبی که در نوشیدنی‌ها جای می‌گیرد)، مسأله‌ی جبران در نظر گرفته شد.

موارد ژوهاسنبورگ و دروازه‌ی تامس، از این جهت باهم فرق دارند که در پروژه‌ی دروازه‌ی تامس، بحث جبران دقیقاً در همان منطقه مدنظر است در حالی‌که در مورد ژوهانسبورگ، این‌گونه نیست. هوکسترا (Hoekstra, 2008a)، پیشنهاد نمود که مفاهیم "آب خنثی" و "ردپای آب" را به هم مرتبط ساخت و آن‌ها را بدین صورت تعریف نمود: "کاهش ردپای آبِ یک فعالیت یا محصول، تا حدی که از نظر منطقی امکان‌پذیر باشد و سپس، جبران پیامدهای منفیِ ردپای آب باقی‌مانده". با ارتباط دادن مفاهیم "آب خنثی " و "ردپای آب" به یکدیگر، مصارف غیرمستقیم آب نیز درنظر گرفته می‌شود. در برخی موارد خاص، که تحت آن‌ها، می‌توان- مثلاً از طریق بازچرخانیِ کامل آب و رساندن پسماند به صفر- از هرگونه دخالت بشری در چرخه‌ی طبیعی آب اجتناب نمود، منظور از "آب خنثی "، رساندن ردپای آب به صفر خواهد بود. در بسیاری موارد، مثلاً در مورد رشد گیاه، نمی‌توان مصرف آب را به صفر رساند. بنابراین، نمی‌توان همیشه "آب خنثی " را به معنیِ رساندن مصرف آب به صفر قلمداد نمود، بلکه می‌توان آن را به معنیِ کاهش ردپای آب، تا حدی که از نظر منطقی ممکن باشد و سپس، جبران کامل اثرات منفیِ ردپای آب باقیمانده دانست.

جبران می‌تواند از طریق مشارکت (در سرمایه‌گذاری) روی استفاده‌ی پایدار و عادلانه آب در واحد هیدرولوژیکی‌ای باشد که اثر ردپای آب باقیمانده در آن واحد واقع شده است. در آخرین تعریفی که برای مفهوم "آب خنثی " ارائه شد، همچنان سوال‌های زیادی باقی ماند. این سوال‌ها، شامل این موارد هستند: از نظر منطقی، چقدر کاهش در میزان ردپای آب، قابل انتظار است؟ چه هزینه‌ای برای جبران آب، هزینه‌ی مناسب خواهد بود؟ چه فعالیت‌هایی را می‌توان فعالیت "جبران" درنظر گرفت؟ تا زمانی که به این سوال‌ها پاسخ داده نشده باشد، خطر استفاده از مفهوم "آب خنثی " آن خواهد بود که تعریف مفهوم این اصطلاح، کاملاً به (عقاید) کاربر بستگی خواهد داشت. در نتیجه، ممکن است برخی واقعاً، آن را معیاری مناسب در فعالیت‌های عملیاتی و رنجیره‌ی تأمین خود در نظر بگیرند، در حالی‌که برخی دیگر، آن را فقط یک ابزار جذاب تبلیغاتی به کار برند. خطر دیگر آن است که تمرکزها، از کاهش ردپای آب، به جبران ردپای آب معطوف می‌گردد. ردپای آب را می‌توان به صورت تجربی اندازه‌گیری نمود؛ بنابراین، می‌توان آن را کاهش داد. تعریف جبران و اندازه‌گیری میزان تأثیرپذیری (روش‌هایی که با هدف جبران ردپای آب، صورت گرفته است)، بسیار دشوارتر است؛ که این مسأله، ممکن است باعثِ استفاده‌ی ناصحیح از این مفهوم شود. به‌علاوه، اقدامات جبران‌کننده باید آخرین گزینه درنظر گرفته شود و قبل از روی آوردن به مسأله‌ی جبران، اول بحثِ کاهش ردپای آب را ملاک قرار داد.

کادر ۵-۲ جبران ردپای آب

هنوز تعریف کاملی برای جبران ردپای آب ارایه نشده است. به طور کلی، جبران ردپای آب یعنی اتخاذ روش‌هایی برای جبران اثرات منفیِ ردپای آبی که حتی پس از کاهش داده شدن با روش‌های مطلوب، باقی می‌مانند[۱]. دو مورد از نقاط ضعف این تعریف آن است که:

(۱) معلوم نیست چه نوعی از شاخص‌های جبران، شاخص‌های مطلوب شناخته می‌شوند و تا چه حد باید اثرات منفی یک ردپای آب را جبران نمود که بگوییم جبران، خوب صورت گرفته است؛

(۲) مشخص نشده است که دقیقاً چه اثراتی باید جبران شود و چگونه باید آن اثرات را به صورت کمی اندازه‌گیری نمود.

در فصل ۴، دیدیم که اصطلاح اثر، مفهوم گسترده‌ای دارد. این‌که می‌گوییم مفهوم جبران به خوبی تعریف نشد، به این معنی است که به سادگی می‌توان از آن، سوءاستفاده کرد. بدون ارائه‌ی یک تعریف شفاف، اقداماتی که زیر عنوان "جبران" درنظر گرفته می‌شوند، به جای آن‌که تلاش‌هایی واقعی برای جبران کامل اثرات ردپای آب باشند، تنها به شکل ادعاهایی باقی خواهند ماند و مثمرثمر نخواهند بود. به همین دلیل، ما قویاً توصیه می‌کنیم که تمرکز اصلی، روی روش‌هایی برای کاهش ردپای آب باشد و به بحث جبران، در آخرین مرحله توجه شود. دلیل دیگر آن است که ردپای آب و آثار پس از آن، همواره محلی هستند (یعنی دارای بعد مکان هستند). از این حیث، ردپای آب به شدت با ردپای کربن فرق دارد. ایده‌ی شکل دادن "بازار جهانی جبران"[۱] که در سال‌های اخیر، برای جبران ردپای کربن شکل گرفته است، برای آب بی‌معنی است[۱]. جبران ردپای آب، همواره باید در همان حوضه‌ای صورت بگیرد که ردپای آب موردنظر در آن واقع شده است. این مسأله نیز اهمیت توجه به کاهش ردپای آب، به جای جبران آن را مشهود می‌سازد و اجازه نمی‌دهد که به این فکر کنیم که به راحتی می‌توان اثر ردپای آب را جبران نمود.

۵-۳ مصرف‌کنندگان

ردپای آب یک مصرف‌کننده وقتی پایدار است که (الف) کل ردپای آب آن مصرف‌کننده، کم‌تر از سهم عادلانه‌ی وی در جهان باشد، (ب) هیچ‌یک از اجزای کل ردپای آب وی در نقاط کانونی نباشد و (ج) هیچ‌یک از اجزای ردپای آب وی را نتوان با صرف هزینه‌های معقول اجتماعی، کاهش داد و یا به صفر رساند.

مصرف‌کنندگان می‌توانند ردپای آب مستقیم خود (یعنی آبی که در خانه مصرف می‌کنند) را با نصب سرویس‌های بهداشتی و سردوش‌هایی با قابلیت صرفه‌جویی آب، استفاده‌ی کم‌تر از آب در باغچه‌ها و دفع نکردن مواد دارویی، رنگ‌ها یا دیگر آلاینده‌ها از طریق سینک‌ها به طبیعت، کاهش دهند.

معمولاً ردپای آب غیرمستقیم یک مصرف‌کننده، بزرگ‌تر از ردپای آب مستقیم وی است. اساساً یک مصرف‌کننده، دو گزینه برای کاهش ردپای آب غیرمستقیم خود دارد. گزینه‌ی اول آن است که آن مصرف‌کننده، با جایگزین نمودن محصولی از مصارف خاص خود که ردپای آب بزرگی دارد، با محصول دیگری که ردپای آب کم‌تری دارد، الگوی مصرف خود را تغییر دهد؛ مثلاً، گوشت کم‌تری بخورد یا گیاهخوار شود؛ به جای قهوه، آب بخورد؛ لباس‌های پنبه‌ای کم‌تری استفاده کند و بیش‌تر لباس‌هایی از جنس فیبرهای مصنوعی بپوشد. این روش، محدودیت‌هایی دارد، زیرا، مردم نمی‌توانند به راحتی از گوشت بگذرند و گیاهخوار شوند و آن‌ها، قهوه و لباس پنبه‌ای را می‌پسندند. گزینه‌ی دوم آن است که آن‌ها، پنبه، گوشت یا قهوه‌ای را انتخاب کنند که نسبتاً، ردپای آب کم‌تری دارد و یا تولید آن‌ها در مناطقی صورت گرفته شده باشد که مشکل حاد کمبود آب ندارند. به هر حال، این روش نیازمند آن است که مصرف‌کنندگان، اطلاعات کافی داشته باشند تا بتوانند انتخاب‌های صحیحی انجام دهند. از آنجایی‌که معمولاً این اطلاعات در جهان امروز در دسترس نیستند، کار مهمی که مصرف‌کنندگان می‌توانند در این شرایط انجام دهند آن است که خواهان مقررات دولتی و اطلاعات شفافی درباره‌ی محصول‌ها شوند. وقتی اطلاعاتی پیرامون اثرات یک ماده‌ی خاص روی منابع آبی موجود باشد، تصمیم‌گیرندگان قادر خواهند بود تا هنگام خرید، انتخاب‌های آگاهانه‌ای انجام دهند.

۵-۴ شرکت‌ها

راهبرد ردپای آب یک شرکت، می‌تواند شامل طیف وسیعی از روش‌ها و اقدامات باشد (جدول ۵-۳). فعالیت‌ها می‌توانند با کاهش میزان مصرف آب در فعالیت‌های خود، ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی خود را کاهش داده و آلودگی آب را به صفر برسانند. کلمات کلیدی در اینجا عبارت اند از:

پیش‌گیری، کاهش، بازچرخانی و تصفیه قبل از دفع. در صورت ممانعت از تلفات آب از طریقِ تبخیر، ردپای آب آبی را می‌توان به صفر رساند. با کاهش تولید پساب تا حد ممکن و با تصفیه‌ی فاضلابی که تولید می‌شود، می‌توان ردپای آب خاکستری را نیز به صفر رساند. تصفیه‌ی فاضلاب می‌تواند با تجهیزات شخصی خود کارخانه و یا با تجهیزات عمومی تصفیه‌ی فاضلاب صورت بگیرد. ردپای آب خاکستری را کیفیت آبی که در نهایت، به منابع آب پیرامون وارد می‌شود، تعیین می‌کند.

برای بسیاری از فعالیت‌ها ، ردپای آب زنجیره‌ی تأمین، بسیار بزرگ‌تر از ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی آن‌ها است. بنابراین، توجه فعالیت‌ها به این ردپا نیز بسیار حیاتی خواهد بود. از آنجایی که زنجیره‌ی تأمین، تحت کنترل مستقیم فعالیت‌ها و شرکت‌ها نیست، بهبود این زنجیره ممکن است دشوارتر (از بهبود فعالیت‌های عملیاتی) باشد، اما چنین بهبودهایی بی‌شک مؤثرتر خواهد بود. این فعالیت‌ها می‌توانند از طریق انعقاد قراردادهایی با تأمین‌کنندگان کالاهای مورد نیاز خود درباره‌ی نحوه‌ی عرضه‌ی این کالاها مطابق با استانداردهایی خاص و یا از طریق تغییر تأمین‌کنندگان کالاهای موردنیاز خود، ردپای آب زنجیره‌ی تأمین خود را کاهش دهند. در بسیاری موارد، این بهبودها می‌توانند کاملاً اساسی باشند، زیرا ممکن است لازم باشد که کل ساختار فعالیت، به منظور مشارکت با تأمین‌کنندگان کالاها در زنجیره‌ی تأمین و یا داشتن کنترلی بهتر روی آن و به منظور شفاف ساختنِ کامل این زنجیره برای مصرف‌کنندگان تغییر نماید.

هم‌چنین، یک شرکت ممکن است بخواهد ردپای آب مصرف‌کنندگانی که پایبند به استفاده از محصولات آن‌ها هستند، را نیز بکاهد. وقتی مصرف‌کننده‌ای از صابون، شامپو، پاک‌کننده‌های شیمیایی و یا رنگ‌ها استفاده می‌کند، این مواد می‌توانند حین مصرف به سیستم تخلیه‌ی فاضلاب وارد شوند. اگر فاضلاب، تصفیه نشود و یا تمام یا بخشی از آلاینده‌ها در این فاضلاب، قابل حذف نباشند، آب خاکستری به وجود خواهد آمد؛ در صورتی که اگر شرکت‌ها در ساخت محصول‌های خود، از موادی با سمیت و آسیب‌رسانیِ کم‌تر و تجزیه‌پذیرتر استفاده کنند، این آب خاکستری وجود نخواهد داشت.

جدول ۵-۳ گزینه‌های عکس‌العمل برای ردپای آب شرکت

روش‌های کاهش ردپای آب - عملیات‌ها
• تدوین بنچ‌مارک برای محصول‌ها یا سایت‌ها: یعنی تعریف بهترین عملیات و تدوین روش‌هایی برای دستیابی به بهترین عملیات در کل آن فعالیت. این کار می‌تواند در یک شرکت و کل شرکت‌های مربوط به آن صنف انجام شود. • کاهش کلی ردپای آب آبی: کاهش استفاده از آب مصرفی در فعالیت‌های عملیاتی با بازچرخانی آب، استفاده از لوازم صرفه‌جو از نظر مصرف آب، جایگزینی فرآیندهای آب‌بر با کم‌آب. • کاهش ردپای آب آبی در نقاط کانونی: متمرکز نمودن شاخص‌های فوق در نواحی کم‌آب یا نواحی‌ای که نیاز زیست-محیطیِ رودخانه‌ها تأمین نشده و یا جایی‌که سطح آب‌های زیرزمینی و دریاچه‌ها در حال افت است. • کاهش کلی ردپای آب خاکستری: کاهش حجم فاضلاب و بازیافت مواد شیمیایی. تصفیه‌ی فاضلاب قبل از دفع. خنک نمودن جریان فاضلاب خروجی. • کاهش ردپای آب خاکستری در نقاط کانونی. متمرکز نمودن شاخص‌های فوق در نواحی‌ای که استانداردهای محیطی ردپای آب، نقض می‌شوند.
اهداف کاهش ردپای آب – زنجیره‌ی تأمین
• توافق روی روش‌های کاهش ردپای آب با تأمین‌کنندگان • تغییر تأمین‌کنندگان • اعمال کنترل بیش‌تر یا کنترل کامل روی زنجیره‌ی تأمین. تغییر کل سبک یک فعالیت به منظور دخیل شدن و یا اعمال کنترل بهتر در زنجیره‌ی تامین
اهداف کاهش ردپای آب – مصرف نهایی
• کاهش نیاز آبی ضروری در مرحله‌ی مصرف. کاهش میزان آب مصرفی قابل‌انتظارِ حین استفاده از محصول (مثلاً، استفاده از توالت‌های دارای دو فلاش تانک، استفاده از تجهیزات تخلیه‌ی فاضلاب خشک، استفاده از سردوش‌ها و ماشین‌های لباسشویی دارای قابلیت صرفه‌جویی در مصرف آب، استفاده از تجهیزات آبیاری صرفه‌جو) • کاهش خطر آلودگی حین کاربرد. خودداری و یا حداقل نمودنِ کاربرد مواد مضر برای کیفیت منابع آب در ساخت محصول (مثلاً در صابون‌ها و شامپوها)
اقدامات جبران ردپای آب
• جبرانِ زیست‌محیطی. سرمایه‌گذاری در بهبود مدیریت و استفاده‌ی پایدار از آب در حوضه‌ای که ردپای آب شرکت (یا بقایای آن) در آن حوضه رخ می‌دهد. • جبران اجتماعی. سرمایه‌گذاری برای دستیابی به استفاده‌ی عادلانه از آب در حوضه‌ای که ردپای آب شرکت (یا بقایای آن) در آن حوضه رخ می‌دهد؛ مثلاً، از طریق فقرزدایی و تسهیل دسترسی به منابع آب تمیز و سیستم تخلیه‌ی فاضلاب. • جبران اقتصادی. یعنی در حوضه‌ای که ردپای آب شرکت (یا بقایای آن) در آن رخ داده است، تأثیر منفیِ مصرف-کنندگان در بالادست حوضه بر اقتصاد مصرف‌کنندگان پایین‌دست، جبران شود.
شفافیت در محصول و فعالیت
• توافق روی تعاریف و روش‌ها. ترویج و پذیرش استاندارد جهانی برای محاسبه و ارزیابی ردپای آب، مطابق با آن‌چه در این کتابچه‌ی راهنما ارایه شد. • ترویج (لزوم) محاسبه‌ی ردپای آب در کل زنجیره‌ی تأمین. همکاری با کل زنجیره‌ی تأمین با هدف محاسبات کامل (ردپای آب) برای محصول‌های نهایی.

• گزارش ردپای آب شرکت. منتشر نمودن تلاش‌ها، روش‌ها و پیشرفت‌های صورت گرفته‌ی مرتبط با آب در گزارش-های سالانه‌ی پایداری، و هم‌چنین، پوشش دادن کل زنجیره‌ی تأمین. • آشکارسازی ردپای آب محصول. آشکارنمودن داده‌های مربوطه از طریق گزارش‌ها و یا اینترنت. • برچسب آب زدن به محصول. مانند مورد بالا، لکن با این تفاوت که اطلاعات روی یک برچسب، خواه با اطلاعات جزئی یا کلی، قرار بگیرد. • صدور گواهی آب برای فعالیت. ترویج و کمک به پایه‌گذاری طرح صدور گواهی آب و پیروی نمودن از آن.
تعامل
• تعامل مصرف‌کنندگان؛ تعامل با سازمان‌های جامعه‌ی مدنی • مشارکت فعال با دولت برای تدوین قوانین و مقررات مربوطه

روش‌های جایگزین یا مکمل متعددی که می‌تواند به ارایه‌ی اطلاعات شفاف (از ردپای آب محصول) کمک نمایند، عبارت اند از: توافق نمودن روی تعاریف و روش‌های مشترک (مطابق آن‌چه در این کتابچه ارایه شد) و گزارش مقادیر ردپای آب و شفاف‌سازی داده‌های مربوطه. تدوین اهداف کمی برای کاهش مقدار ردپای آب در گذر زمان می‌تواند شناختی واضح‌تر از فعالیت‌هایی که قادر به کاهش ردپای آب شرکت هستند، در اختیار قرار دهد. یکی از ابزارهای توانمند (برای دستیابی به چنین اهدافی) در شرکت‌های بزرگ و یا یک بخش معین، تدوین بنچ‌مارک‌ها می‌باشد؛ یعنی احتمالاً آن‌چه در (زنجیره‌ی تأمین) کارخانه‌ای به‌دست می‌آید، در (زنجیره‌ی تأمین) کارخانه‌ی دیگر نیز قابل حصول خواهد بود.

۵-۵ کشاورزان

کشاورزی، نوعی فعالیت است که می‌توان، همه‌ی مواردی که در بخش قبل بحث شد، را برای آن نیز اعمال نمود. دامداران باید بیش‌ترین توجه خود را معطوف به ردپای آب علوفه‌ای که خریداری نموده و یا خود تولید می‌کنند، نمایند. برای زارعان، گزینه‌های متعددی برای کاهش انواع ردپای آب وجود دارد که این گزینه‌ها، در جدول ۵-۴ ارایه شد. فایده‌ی کاهش ردپای آب سبز به ازای هر واحد محصول تولیدی در اراضی دیم آن است که مجموع تولید در اراضی دیم افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، نیاز به تولید محصول در دیگر اراضی و پس از آن، میزان منابع آب (سبز و آبی) و زمین برای تولید، کاهش می‌یابد. کاهش ردپای آب سبز به ازای هر واحد محصول تولیدی در یک مکان، منتج به کاهش (مقدار مطلق) ردپای آب آبی کل گیاهان تولیدی خواهد شد. در کشاورزی فاریاب، تغییر تکنیک‌های آبیاری و فلسفه‌ی کاربرد آن‌ها می‌تواند تا حد زیادی از ردپای آب آبی بکاهد. اعمال آبیاری قطره‌ای به جای آبیاری بارانی یا فارو، می‌تواند کاهش قابل ملاحظه‌ای در میزان تبخیر ایجاد نماید. علاوه بر آن، راهکارهای سنتی‌ای که کشاورزان برای بهینه‌سازی عمل‌کرد محصول (ton/ha)

خود به کار می‌برند، اغلب باعثِ مصرف غیرضروری از آب آبیاری می‌شود. عاقلانه‌تر آن است که به جای آبیاری کامل، کم‌آبیاری اعمال نمود که هدف آن، به جای افزایش عمل‌کرد محصول (ton/ha)، افزایش بهره‌وری آب محصولات کشاورزی (ton/m^3) است. در کم‌آبیاری، آبیاری در مراحلی از رشد که گیاه به کم‌آبی حساس است، صورت می‌گیرد، اما در دیگر دوره‌های رشد، عمق آب آبیاری کاهش داده می‌شود و یا اگر بخشی از نیاز آبی گیاه توسط بارندگی تأمین شود، آبیاری در این دوره‌ها صورت نمی‌گیرد. یکی دیگر از روش‌های کاهش ردپای آب در کشاورزی، آبیاری تکمیلی است، که قادر به ذخیره‌ی آب بیش‌تری خواهد بود. در این روش، در دوره‌هایی از رشد محصولات دیم، که بارندگی، قادر به تأمین رطوبت کافی برای رشد نرمال گیاه نمی‌باشد، مقدار کمی آبیاری صورت می‌گیرد تا باعث بهبود و حفظ عمل‌کرد گیاه شود. کشت ارگانیک که تحت آن، مصرف کودهای مصنوعی، آفت‌کش‌ها و دیگر موادشیمیایی ممنوع بوده و یا به شدت اندک است، می‌تواند ردپای آب خاکستریِ مربوط به فعالیت‌های عملیاتی کشاورزان را تا حد زیادی کاهش دهد.

جدول ۵-۴ راهکارهایی برای کشاورزان برای کاهش ردپای آب خود

کاهش ردپای آب سبز در رشد گیاه

- افزایش بهره‌وری زمین (یعنی عمل‌کرد محصول، ton/ha) در اراضی دیم از طریق بهبود فعالیت‌های کشاورزی؛ از آن‌جایی که مقدار باران در این اراضی تغییر نمی‌کند، در نتیجه، بهره‌وری آب افزایش خواهد یافت (ton/m^3) و در پی آن، ردپای آب سبز (m^3/ton) کاهش می‌یابد.
- مالچ‌پاشی در سطح خاک باعثِ کاهش تبخیر از سطح خاک خواهد شد.

کاهش ردپای آب آبی در رشد گیاه

- روی آوردن به روش‌هایی از آبیاری که تحت آن‌ها، تلفات تبخیر کم‌تر است.
- انتخاب گیاه یا واریته‌ای دیگر از گیاه که تناسب بیش‌تری با شرایط اقلیمی منطقه داشته و بنابراین، آبیاری کم‌تری نیاز دارد.
- افزایش بهره‌وری آب آبی (ton/m^3) به جای حداکثر نمودن بهره‌وری زمین (یعنی عمل‌کرد محصول، ton/ha).
- بهبود برنامه‌ریزی آبیاری، یعنی بهینه‌ساختن زمان و حجم آب مصرفی
- آبیاری کمتر (یعنی اعمال کم‌آبیاری یا آبیاری تکمیلی) و یا اصلا آبیاری نکردن.
- کاهش تلفات تبخیر از آب دخیره شده در مخازن و در سیستم توزیع آب

کاهش ردپای آب خاکستری در رشد گیاه

- کاهش مصرف مواد شیمیایی و یا استفاده نکردن از این مواد (یعنی کودهای مصنوعی و آفت‌کش‌ها)؛ مثلاً تحت کشاورزی ارگانیک
- استفاده از کودها و کمپوست‌هایی که به سادگی قابل جذب به وسیله‌ی گیاه هستند؛ به این ترتیب، تلفات آن‌ها حین آبشویی و رواناب کاهش خواهد یافت.

بهینه‌سازی زمان و روش افزودن مواد شیمیایی که این کار باعث می‌شود میزان مواد شیمیایی کم‌تری مورد نیاز باشد و/یا تلفات آن‌ها حین آبشویی و رواناب کاهش یابد.

۵-٦ سرمایه‌گذاران

نبودِ بررسی صریحِ ردپای آب یک فعالیت و نبودِ تدوین عکس‌العمل‌های مناسب در قبال این ردپا (در این خصوص، بخش قبل را ببینید) می‌تواند خطرات متنوعی را متوجه آن فعالیت نماید (Levinson *et al*., 2008; Pegram *et al*., 2009; Morrison *et al*., 2009, 2010; Barton, 2010). اولین خطر فیزیکی، اثرات منفی احتمالیِ کمبود آب شیرین بر زنجیره‌ی تأمین و یا فعالیت‌های عملیاتی خاص آن فعالیت خواهد بود. دوم آن‌که، گسترش شبهه‌های فراوان در میان اذهان عمومی و رسانه‌ها مبنی بر این‌که آیا آن شرکت، به درستی به مسأله‌ی استفاده‌ی پایدار و عادلانه‌ی آب توجه نموده است یا خیر، می‌تواند تصور ذهنی‌ای که از آن شرکت وجود دارد را خدشه‌دار سازد. وجود چالش‌های به وجود آمده در زنجیره‌ی تأمین و فعالیت‌های عملیاتی خاص آن فعالیت از طریقِ تخلیه و آلودگی آب و نبودِ استراتژی‌های مناسب برای مرتفع ساختن این قبیل چالش‌ها، تهدیدی جدی برای اعتبار آن شرکت محسوب می‌شود. سوم آن‌که، به دلیل آرزوی دستیابی به استفاده‌ی پایدارتر و عادلانه‌تر از منابع آب شیرین، مقررات و مداخله‌های دولتی در زمینه‌ی چگونگی استفاده از آب افزایش خواهد یافت. نبودِ اطمینان (شرکت‌ها) به اعمال شدن چنین کنترل‌های قانونی‌ای در آینده (توسط دولت)، یک خطر جدی برای شرکت‌ها محسوب شده که بهتر است به جای نادیده گرفتن چنین خطری، آن را پیش‌بینی نمایند. هریک از سه نوع تهدید مذکور، می‌تواند به دلیل افزایش هزینه‌ها و/یا کاهش درآمد، به نوعی تهدیدهای اقتصادی قلمداد شود. به همین دلیل، سرمایه‌گذاران به شدت به افشای مخاطرات آبی فعالیتی که در آن سرمایه‌گذاری می‌کنند، علاقمند می‌باشند.

این ریسک می‌تواند برای آن دسته از شرکت‌هایی که فعالانه به چالش‌های کمبود آب شیرین جهان عکس‌العمل‌های مطلوب نشان می‌دهند، به یک فرصت تبدیل شود. پیشگامانی که زودتر از دیگران، اطلاعات شفافی را برای محصول‌های خود تهیه می‌کنند؛ اهداف معین و قابل‌اندازه‌گیری‌ای برای کاهش ردپای آب، به ویژه در نواحی‌ای که چالش‌های ناشی از کمبود و آلودگی آب در آن جدی‌تراست، را درنظر می‌گیرند و بهبودهای واقعیِ صورت گرفته در فعالیت خود را نمایان می‌سازند، بی‌شک قادر خواهند بود تا از چنین تهدیدهایی، یک مزیت رقابتی در نظر بگیرند.

در نهایت، صرف‌نظر از لزوم توجه به مخاطرات احتمالی مذکور و تبدیل آن‌ها به فرصت از طریق انجام اقدامات پیش‌گیرانه، توجه به مسأله‌ی کمبود و آلودگی آب شیرین باید آن را یک مسوولیت اجتماعی برای شرکت‌ها به حساب آورد. در حال حاضر، ملاحظات زیست‌محیطی در شرکت‌ها، بیش‌تر معطوف به مسأله‌ی انرژی است. گسترش توجه به مسأله‌ی آب شیرین، یک موضوع منطقی در

جهانی است که در آن، مسأله‌ی کمبود آب، یکی دیگر از چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی بعد از مسأله‌ی گرمایش جهانی می‌باشد.

۵-۷ دولت‌ها

توسعه و تدوین سیاست‌های مطلوب آبی، تنها بخشی از حکمرانی عاقلانه‌ی آب است. علاوه بر این موارد، حکمرانی عاقلانه‌ی آب، نیازمند آن است که دولت‌ها مفهوم استفاده‌ی پایدار از منابع آب را برای دیگر بخش‌های سیاسی تفهیم سازند. اهداف دولت برای استفاده از آب به نحوی که از نظر زیست‌محیطی پایدار، از نظر اجتماعی عادلانه و از نظر اقتصادی، کارآمد باشد، باید هم در سیاست‌های آبی دولت، و هم در سیاست‌های زیست‌محیطی، کشاورزی، صنعتی، انرژی، بازرگانی و امور خارجه، گنجانده شود. هماهنگی و انسجام بین سیاست‌های مربوط به بخش‌های مختلف، امری حیاتی است، زیرا تأثیر مثبت یک "سیاست آبی" خوب، می‌تواند مثلاً به واسطه‌ی یکی از سیاست‌های کشاورزی که تحت آن، نیاز آبی در مناطق بحرانی شدت می‌یابد، از بین برود. علاوه بر آن، اگرچه وجود این هماهنگی بین سطوح مختلف دولتی، اعم از سطح‌های محلی تا سطح کشوری ضروری است، ولی همکاری‌های بین‌المللی نیز امری حیاتی خواهد بود؛ به‌عنوان مثال، یک سیاست کشوری که هدف آن، تدوین ساختاری مطلوب برای ارزش‌گذاری صحیح آب در بخش کشاورزی در کشور است، زمانی با شکست مواجه می‌شود که بخش بین‌الملل، به دلیل ترس از رقابتی ناعادلانه، با توسعه‌ی سیاست‌هایی مشابه در کشورهای دیگر موافق نباشد؛ به‌عنوان مثالی دیگر، دستیابی به شفاف‌سازی ماهیت آبی محصول‌ها نیز نیازمند همکاری‌های بین‌المللی است زیرا، بسیاری از زنجیره‌های تأمین برای کالاهای آب‌بر، زنجیره‌های کاملاً بین‌المللی هستند.

کشورها به طور معمول، برنامه‌های ملی آب خود را برای تأمین رضایت بهره‌برداران، تدوین می‌کنند. اگرچه امروزه، کشورها علاوه بر گزینه‌های مربوط به نحوه افزایش تأمین آب، گزینه‌های مربوط به کاهش تقاضای آب را نیز درنظر می‌گیرند، اما آن‌ها غالباً توجهی به بعد جهانیِ مدیریت آب نمی‌کنند. به این ترتیب، این کشورها، گزینه‌های ذخیره‌ی آب به از طریقِ واردات کالاهای آب‌بر را بررسی نمی‌کنند. به‌علاوه، اگر تنها به مصرف آب در داخل کشور توجه شود، مسأله‌ی پایداری مصارف ملی، اغلب به صورت نقطه‌ای کور برای بسیاری از دولت‌ها باقی خواهد ماند. در حقیقت، بسیاری از کشورها، بدون توجه به این‌که آیا کالاهای وارداتی به کشورشان، در کشورهایی تولید می‌شوند که خود دارای مشکل کم‌آبی و یا آلودگی آب هستند یا خیر، عموما متکی بر ردپای آب خارجی هستند (یعنی ردپای آب خارجی مصارف ملی آن‌ها بیش‌تر است). تعامل دولت‌ها با مصرف‌کنندگان و فعالیت‌ها برای دستیابی به محصولات مصرفی پایدار، امری ممکن و ضروری

می‌باشد. محاسبات ردپای آب ملی باید جزء استانداردی از آمار آب کشور بوده و بتواند پایه‌ای برای تدوین برنامه‌های آب ملی و حوضه‌ای سازگار با سیاست‌های ملی مرتبط با محیط زیست، کشاورزی، صنعت، انرژی، بازرگانی، امورخارجه و همکاری‌های بین‌المللی باشد. محاسبات ردپای آب و تجارت آب مجازی، می‌تواند ورودی‌های لازم در تدوین سیاست‌های دولتی مختلف در نظر گرفته شود؛ مثلاً در سیاست‌های کشوری یا ایالتی آب، سیاست‌های حوضه‌ای، سیاست‌های محلی، سیاست‌های زیست‌محیطی، سیاست‌های کشاورزی، سیاست‌های صنعتی/اقتصادی، سیاست‌های انرژی، سیاست‌های بازرگانی، سیاست‌های امور خارجه و سیاست‌های مربوط به همکاری‌های بین‌المللی (جدول ۵–۵). از آنجایی‌که یک سازمان دولتی، خودش نیز می‌تواند یک فعالیت درنظر گرفته شود، بنابراین یکی دیگر از نکاتی که باید مدنظر دولت باشد، کاهش ردپای آب خودش می‌باشد.

عناصر کلیدی‌ای که می‌تواند در استراتژی‌های دولتی برای کاهش ردپای آب آن‌ها درنظر گرفته شود عبارت اند از: افزایش سطح آگاهیِ مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان؛ بهبود تکنولوژی ذخیره‌ی آب در تمام بخش‌های اقتصادی؛ بازنگری مکانیزم‌های ارزش‌گذاری آب به نحوی که هزینه‌ی کامل آب بخشی از هزینه‌ی نهایی کالاها لحاظ شود؛ بهبود میزان شفافیت محصول در زنجیره‌های تأمین آن‌ها و بازسازی ساختارهای اقتصادی بر اساس منابع آب ناپایدار. تمامی این موارد، چالش‌هایی است که نیازمند همکاری‌های درون‌بخشی و در بسیاری از موارد نیز، نیازمند همکاری‌های بین‌المللی می‌باشد. احکام سیاسی، در سطوح مختلف و در زمینه‌های مختلف وجود دارند. بنابراین، وظیفه‌ی واقعیِ دولت آن است که بداند چه شاخص‌هایی را باید در سطوح مختلف دولتی و در زمینه‌های مختلف سیاست به کار بگیرد تا بتواند به اقداماتی هماهنگ بین این سطوح و زمینه‌ها برسد.

جدول ۵–۵ گزینه‌هایی موجود برای دولت برای کاهش ردپای آب و اثرات پس از آن

سیاست آب در سطح کشور، حوضه و منطقه

- اتخاذ یک شمای کشوری برای انجام محاسبات ردپای آب برایِ توسعه‌ی دانش پایه‌ای لازم برای اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه. استفاده از اطلاعات مربوط به ردپاهای آب و تجارت آب مجازی برای پشتیبانی از تدوین برنامه‌های ملی و حوضه‌ای آب.
- افزایش کارآیی مصرف آب در سطح مصرف‌کنندگان در تمامی بخش‌ها از طریق ارتقای تکنیک‌هایی که منتج به افزایش بهره‌وری‌های آب شده و در نتیجه، میزان ردپای آب را به ازای هر واحد تولید کاهش می‌دهد.
- افزایش کارآیی مصرف آب در سطح حوضه‌ی آبریز از طریق تخصیص منابع آب به بخش‌هایی با بیش‌ترین منافع اجتماعی.
- بهبود وضعیت تخصیص منابع آب کشور، به نحوی که کالاهایی تولید شوند که تولیدشان در کشور، دارای مزیت نسبی تولید در مقایسه با دیگر کشورها باشند.
- برای صرفه‌جویی ملی آب: کاهش صادرات آب مجازی، افزایش واردات آب مجازی و کاهش ردپای آب کشور (Allan, 2003; Chapagain et al., 2006a) ضروری است.
- برای کاهش وابستگی آبی ملی: ردپای آب خارجی باید کاهش یابد.

سیاست ملی زیست‌محیطی

- برای تولید پایدار: تدوین روش‌های کاهش ردپای آب کشور با تعیین این روش‌ها در هر حوضه؛ تمرکز بر نقاط کانونی‌ای که اثرات ردپای آب، بیش‌تر است و تبدیل روش‌های (شناسایی و تدوین شده برای) حوضه‌ها به برنامه‌های اجرایی در بخش‌های مربوطه.
- برای مصرف پایدار: تدوین روش‌هایی برای کاهش ردپای آب داخلی و خارجی مصارف ملی؛ تمرکز بر نقاط کانونی و تفکیک این روش‌ها برای گروه‌های محصول و بخش‌های اقتصادی.
- تعیین نیازهای آب سبز و آبی محیطزیست برای حفاظت از پوشش‌های طبیعی و بقای تنوع‌زیستی؛ لحاظ نیازهای آبی محیطزیست در برنامه‌ریزی‌های حوضه (Dyson *et al*., 2003; Acreman and Dunbar, 2004; Poff *et al*., 2010).

- تعامل با مصرف‌کنندگان، سازمان‌های زیست‌محیطی و دیگر سازمان‌های جوامع مدنی با هدف کمک به افزایش "آگاهی‌های آبی" در میان مصرف‌کنندگان، کشاورزان و مدیران شرکت‌ها.
- تدوین روش‌هایی برای کاهش پسماند در کل زنجیره‌ی غذا (از سطح مزرعه تا تلفات خانگی) و تدوین ابزارهای مناسب. این تلفات غذایی، معادل تلفات آب هستند.

سیاست ملی کشاورزی

- لحاظ هدف استفاده‌ی پایدار از منابع آب داخلی در تدوین سیاست امنیت غذایی ملی.
- عدم تخصیص یارانه به کشاورزیِ آب‌بر در نواحی کم‌آب.
- بهبود گیاهان مناسب و سازگار با وضعیت اقلیمی محلی، با هدف کاهش نیاز آبیاری.
- حمایت از سرمایه‌گذاری روی سیستم‌های آبیاری و تکینک‌هایی که آب را ذخیره می‌کنند.
- ترویج و ارتقای (دانش) کشاورزان با هدف کاهش مصرف کودها، آفت‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها و یا مصرف بهتر این مواد که در نهایت، باعثِ رسیدن مواد شیمیاییِ کم‌تری به سیستم‌های آبی می‌شود.
- ترویج کاهش ردپای آب در بخش کشاورزی – جدول ۵-۴ را ببینید. چنین کاری را می‌توان با روش‌های متعدد و یا مکمل انجام داد: وضع مقررات یا قوانین (مثلاً، (وضع مقررات یا قوانینی) در باره‌ی زمان، مقدار و روش آبیاری و مصرف مواد شیمیایی)، پروانه‌ی استفاده از آب، سهمیه‌بندی، ارزش‌گذاری آب بر اساس هزینه‌های کامل آب، جوازهای تجارت آب، مجوزهای قابل تعویض استفاده از آب، ارایه یارانه‌ها برای روش‌های خاصی از آبیاری، اندازه‌گیری اجباری آب، افزایش سطح آگاهی.

سیاست ملی صنعتی/اقتصادی

- ترویج و ترفیع شفاف‌سازی محصول. پیاده‌سازی آن از طریق موافقت‌نامه‌های داوطلبانه به وسیله‌ی بخش‌ها و یا از طریق وضع قوانین
- تبدیل روش‌های کلی کاهش ردپای آب به روش‌های کاهش برای محصول‌ها، تولید کنندگان، و/یا بخش‌ها. پیاده‌سازی این روش‌ها از طریق وضع قوانین و/یا محرک‌های اقتصادی (مثلاً، مالیات ردپای آب و/یا اعطای یارانه‌ها برای اقدامات خاص کاهنده‌ی ردپای آب).

سیاست ملی انرژی

- مطالعه‌ی اثرات سناریوهای مختلف انرژی روی تقاضای آبی، با نگاهی ویژه به ردپای آب انرژی‌های تجدیدپذیر.
- هماهنگ نمودن سیاست‌های آب و انرژی؛ در نتیجه، سیاست‌های انرژی، باعث افزایش ردپای آبِ بخش انرژی نخواهد شد و سیاست‌های آب، باعث افزایش مصرف انرژی و ردپای کربن مربوط به بخش آب نخواهد شد.

سیاست ملی تجارت

- اطمینان از هماهنگی بین سیاست‌های تجارت و آب. کاهش صادرات کالاهای آب‌بر و کم‌ارزش (از نظر اقتصادی) از مناطق کم‌آب (و افزایش واردات). استفاده از نعمت فراوانی آب برای افزایش تولید کالاهای آب‌بر در آن محل‌ها برای صادرات.
- کاهش وابستگی به واردات آب مجازی (یعنی، کاهش مؤلفه‌ی خارجی ردپای آب مصارف ملی)، در صورتی‌که از نظر امنیت ملی، ضروری باشد.
- ارتقای شفافیت محصول برای محصول‌های مبادله شده، به طوری‌که بتوان ردپای آب آنها را ردیابی نمود.

سیاست‌های ملی امورخارجه و همکاری‌های بین‌المللی

- عقد توافق‌نامه‌های بین‌المللی برای کاهش ردپای آب در سراسر جهان، مثلاً، با تنظیم "پروتکلی برای ارائه‌ی مجوز ردپای آب"، که در این پروتکل، حداکثر مقادیر مجاز ردپای آب برای کشورهای مختلف ارائه شده باشد (Hoekstra, 2006, 2010a; Hoekstra and Chapagain, 2008; Verkerk *et al*., 2008).
- عقد توافق‌نامه‌های بین‌المللی برای شفاف‌سازی محصول (Hoekstra, 2010a, 2010b)
- عقد پروتکل‌های بین‌المللی برای ارزش‌گذاری آب (Hoekstra, 2006, 2010a; Hoekstra and Chapagain, 2008; Verkerk *et al*., 2008)
- همکاری با دولت‌ها و دیگر عوامل در کشورهای در حال توسعه برایِ کاهش ردپاهای آب؛ تمرکز بر نقاط کانونی در جهان، جاهایی که چالش‌های کمبود و آلودگی آب در آن‌ها شدیدتر بوده و جاهایی که مؤلفه‌ی خارجی ردپای آب مصارف ملی کشور موردنظر در آن واقع شده است.

کاهش ردپای آب سازمان‌های دولتی و خدمات

- در جدول ۵-۳، گزینه‌ها و روش‌هایی که برای فعالیت ارایه شد را ببینید.

ردپای آب محصول‌ها، معیاری در سیاست تدارکات پایدار دولت[1] لحاظ شود.

فصل ششم

محدودیت‌ها

ردپای آب، یک مفهوم نسبتاً جدید، و ارزیابی ردپای آب نیز ابزاری جدید است. آن چه غالباً درباره‌ی مفاهیم و ابزارهای جدید رخ می‌دهد، تصورات و انتظارات غیرواقع‌بینانه‌ای است که از طرفِ مردم نسبت به این مفاهیم و ابزارها ایجاد می‌شود. از آنجایی‌که منابع آب شیرین جهان محدود هستند، ردپای آب می‌تواند یک شاخص بسیار مفید باشد، زیرا این شاخص نشان می‌دهد مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان، فرآیندها و محصول‌ها؛ کی، کجا و چگونه از این منابع محدود استفاده نموده‌اند. ارزیابی ردپای آب، ابزار مفیدی برای اندازه‌گیری و تعیین مکان وقوع ردپاهای آب، برای ارزیابی وضعیتِ پایداری ردپای آب و برای تعیین گزینه‌هایی برایِ کاهش ردپاهای آب در صورت نیاز، می‌باشد. بر اساس آن‌چه بیان شد، شاخص ردپای آب، چیزی بیش‌تر از یک شاخصِ مناسب برای موضوع بسیار گسترده‌ی استفاده و تخصیص پایدار، عادلانه و کارآمد از منابع طبیعی نیست. پرواضح است که برای رسیدن به درکی کامل و جامع، باید این شاخص را با طیف وسیعی از دیگر شاخص‌ها، که مکمل شاخص ردپای آب هستند، به کار برد. به طور مشابه، ارزیابی ردپای آب چیزی بیش‌تر از یک ابزار برای درک روابط پیچیده‌ی بین اجتماع و محیط‌زیست‌شان نیست. این ابزار، بر استفاده از منابع محدود آب شیرین تمرکز دارد و نمی‌تواند پاسخگوی آن دسته از مسائل آبی باشد که ارتباطی به مسأله‌ی کمبود آب ندارند؛ مثلاً این ابزار، برای تحلیل مسئله‌ی سیل یا نبودِ زیرساخت‌های مطلوب برای عرضه‌ی آب کافی در جوامع فقیر مناسب نیست. هم‌چنین، به جز مسأله‌ی کمبود آب، مسائل زیست‌محیطی دیگر را بررسی نمی‌کند.

به این ترتیب، ردپای آب یک شاخص جزئی است که باید هنگام تصمیم‌گیری، با دیگر شاخص‌های تحلیلی به کار گرفته شود تا بتوان به درک صحیح و جامعی از طیف وطیعی از مسائل مرتبط رسید. پذیرش سریع مفهوم ردپای آب، –که شاخصی جامع برای تخصیص آب توسط بشر محسوب می شود–، کمک بسیاری به قرار دادن مسأله‌ی کمبود آب‌شیرین روی میزکار دولت‌ها و شرکت‌ها خواهد نمود؛ ولی همواره خطر بیش از حد ساده انگاشتن مسأله وجود دارد. دولت‌ها و شرکت‌ها تمایل دارند که تمامی واقعیت‌های پیچیده را تنها در قالب چند شاخص محدود بررسی کنند. در دولت، بیش‌ترین تمرکز تنها روی "تولید ناخالص ملی" است و در شرکت‌ها، تنها گزینه‌ی "سود" مدنظر قرار می‌گیرد. با بیانی گسترده‌تر، دولت‌ها معمولاً روی تعداد محدودی از شاخص‌های اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی متمرکز می‌شوند، در حالی‌که "تولید ناخالص ملی" یکی از شاخص‌های اقتصادی می‌باشد. شرکت‌ها، معمولاً روی تعداد محدودی از "شاخص‌های کلیدیِ عمل‌کرد" متمرکز

می‌شوند که در سه اصطلاح کلی "مردم، زمین و سود"[1] طبقه‌بندی می‌شوند (خط پایین سه‌گانه[2] که توسط الکینگتون (Elkington, 1997) پیشنهاد شد).

ردپای آب، می‌تواند شاخصی دیگر در نظر گرفته شود. لحاظ این شاخص، در کنار دیگر شاخص‌ها توسط سیاست‌گذاران و مدیران می‌تواند بسیار مفید باشد، ولی این شاخص نیز همان مشکلی را دارد که دیگر شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی دارند: تمام جوانب مسأله را با جزئیات بازگو نمی‌کند، بلکه همه‌ی آن‌ها را به‌صورت یک شاخص ساده بیان می‌کند. شاخص‌ها تنها زمانی مفید هستند که از آن‌ها، استفاده‌ی عاقلانه شود.

بینشی که با انجام ارزیابی ردپای آب به دست می‌آید باید با بینشی که از دیگر شاخص‌های مرتبط زیست‌محیطی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و اقتصادی به دست می‌آید، ترکیب شود تا بتوان تصمیمی آگاهانه گرفت و اقدامات مربوطه را انجام داد. کاهش و توزیع مجدد ردپای آب بشر، کلیدی برای توسعه‌ی پایدار است، ولی عوامل دیگر نیز عواملی کلیدی هستند. در هنگام تدوین استراتژی‌های برای چگونگی اعمال روش‌های فنی، سازمانی، سیاسی، اجتماعی، اقتصادی و قانونی برای کاهش ردپای آب، لحاظ تمامی عوامل کلیدی، امری ضروری خواهد بود. برای درک بهتر آن‌که ارزیابی ردپای آب واقعاً چه هست و چه نیست، به لیست محدودیت‌های ذیل توجه کنید (توجه داشته باشید که این فهرست هنوز کامل نیست):

- ارزیابی ردپای آب، به تحلیل مصارف آب شیرین با توجه به محدودیت منابع آب شیرین می‌پردازد. این ابزار، به دیگر مسائل زیست‌محیطی، مانند تغییر اقلیم، تخریب مواد معدنی، تخریب زیست‌گاه‌ها، محدودیت زمین یا تخریب خاک توجهی ندارد و پاسخگوی مسائل اجتماعی و اقتصادی، مانند فقر، استخدام یا عدالت نیست. ارزیابی ردپای آب، تنها وقتی وارد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌شود که این مسائل، الگوی استفاده از منابع آب شیرین، تنوع زیستی، سلامتی یا توزیع عادلانه را متأثر ساخته باشد. پرواضح است که وقتی بخواهیم طیف وسیع‌تری از مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی را بررسی کنیم، باید عوامل بیش‌تری را علاوه بر مسأله‌ی آب‌شیرین، درنظر بگیریم. باید اذعان داشت که بحث کاهش ردپای آب بشر در مواقع ضروری، تنها یکی از چالش‌های متعددی است که پیش روی بشر قرار دارد.
- ارزیابی ردپای آب، مسأله‌ی مصرف و آلودگی آب را بررسی می‌کند. این ابزار، به بررسی مسأله‌ی سیل نمی‌پردازد. هم‌چنین، دسترسی بشر به آب سالم و تمیز را ارزیابی نمی‌کند، زیرا این مسئله به کمبود آب شیرین ارتباطی ندارد، بلکه موضوعی مرتبط با فقر است. به‌علاوه، ردپای آب، درباره‌ی آب شیرین بوده

1. People planet profit
2. Triple bottom line

و مربوط به مصرف و آلودگی آب دریاها نیست. ارزیابی ردپای آب، تنها آن دسته از فعالیت‌های بشری را مدنظر قرار می‌دهد که روی کمیت و کیفیت آب در یک حوضه‌ی کوچک یا در کل حوضه‌ی آبریز یک رودخانه تأثیر می‌گذارند.

- ردپای آب، شاخصی برای استفاده از آب شیرین است که بحث‌های مصرف و آلودگی آب را مدنظر قرار می‌دهد. از دیدگاه حوضه‌ای از این حیث جذاب است که موجودیت آب شیرین در یک حوضه، محدود است. ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری نشان می‌دهند که سهم فعالیت‌های بشری و محصول‌ها، در استفاده از این منابع آب شیرین محدود چقدر است؟ یکی دیگر از شاخص‌های مفیدی که در این باره وجود دارد، شاخص "آب آبی برداشتی" (آب استخراج‌شده) می‌باشد. اگرچه شاخص آب آبی برداشتی نیز جالب است، ولی وقتی از دیدگاه حوضه‌ای به بحث نگاه کنیم، این شاخص مفید نخواهد بود، اما از دید ذی نفعان آب، دانستن کلیه اجزای بیلان آب، ارزشمند خواهد بود.
- شرکت‌ها، توجه روزافزونی به مسأله‌ی ریسک آب نشان می‌دهند (Levinson *et al*., 2008; Pegram *et al*., 2009; Morrison *et al*., 2009, 2010; Barton, 2010). ارزیابی ردپای آب یک شرکت، با نمایان ساختنِ مؤلفه‌های ناپایدار ردپای آب، کمک شایانی به دانستن بخشی از این ریسک می‌نماید، ولی انجام ارزیابی ردپای آب برای یک شرکت، به معنی ارزیابی کامل مخاطرات نیست. اجزای ناپایدار ردپای آب یک شرکت، به معنی ایجاد خطراتی برای آن شرکت از نظر فیزیکی، اعتباری و مقررات دولتی خواهد بود که این خطرات، مجوز اجتماعی آن شرکت برای ادامه‌ی فعالیتش را تحت تأثیر قرار می‌دهد، ولی اگر تمرکز اصلی روی ریسک آبی باشد، انجام ارزیابی ردپای آب کافی نخواهد بود.
- دولت‌ها، مسئولیت زیادی در قبال مدیریت منابع عمومی دارند. در طول چند دهه‌ی اخیر، اهمیت اتخاذ رویکرد یکپارچه –یعنی رویکردی که تحت آن، وابستگی و همبستگیِ زمینه‌های مختلف سیاست، ضروری است–، تا حد زیادی نمایان شده است. در زمینه‌ی مدیریت آب، این رویکرد یکپارچه، با عنوان "مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب"[1] به رسمیت شناخته شده است و وقتی این مسأله، در مقیاس حوضه مطرح می‌شود، با عنوان "مدیریت یکپارچه‌ی حوضه"[2] جایگزین می‌شود (GWP, 2000; GWP and INBO, 2009; UNESCO, 2009). مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب و مدیریت یکپارچه‌ی حوضه، ایده‌های بسیار وسیعی هستند. این مفاهیم، به این سوال‌ها پاسخ می‌دهند که مثلاً، "یک برنامه‌ی یکپارچه‌ی خوب، چیست؟"، یا " ما چگونه باید چنین برنامه‌ای را تدوین و پایه‌گذاری کنیم؟" و یا پرسش‌های نهادی مانند این‌که "چگونه بستر مناسب برای اجرای فعالیتی مطلوب را فراهم کنیم". پرواضح است که ابزار "ارزیابی ردپای آب" را نمی‌توان جایگزین مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب یا

1 . Iintegrated water resources management (IWRM)
2 . Integrated river basin management (IRBM)

مدیریت یکپارچه‌ی حوضه‌ی آبریز نمود، بلکه می‌توان آن را ابزاری دانست که دانش پایه برای مدیریت یکپارچه‌ی منابع آب یا مدیریت یکپارچه‌ی حوضه‌ی آبریز را فراهم می‌آورد. ارزیابی ردپای آب، با معرفیِ ایده‌ی زنجیره‌ی تأمین و درنظر گرفتن کمبود و آلودگیِ آبِ ناشی از مبادله‌های بین‌المللی، دیدگاه سنتی‌ای که از پیش، برای تحلیلِ کمبود آب وجود داشت را تقویت می‌کند. به این ترتیب، کمک شایانی به اتخاذ تصمیم‌های آگاهانه‌تر در زمینه مدیریت منابع آب خواهد نمود.

در نهایت، ذکر این نکته خالی از لطف نیست که بگوییم مفهوم ردپای آب، پس از سال‌ها بررسی در عرصه‌های دانشگاهی از سال ۲۰۰۲، سرانجام از نیمه‌ی دوم سال ۲۰۰۷، به جهان کسب‌وکار، دولت و جامعه‌ی مدنی پای نهاد. این بدان معناست که هنوز تجربه‌ای عملی کاربرد این مفهوم، زیاد نیست. به همین دلیل، نمی‌توان موارد زیادی را یافت که در آن، ارزیابی ردپای آب به صورت کامل انجام شده باشد. تمرکز بسیاری از پژوهش‌های ردپای آب، تنها بر همان مرحله‌ی اول، یعنی انجام محاسبه‌های ردپاهای آب بوده است. جدای از مطالعه‌های جهانیِ ردپای آب (Hoekstra and Chapagain, 2007a, 2008)، پژوهش‌های مرتبط دیگری نیز در بسیاری از نقاط جهان صورت گرفته است (برای یافتن این پژوهش‌ها، مطالعه‌ی مروری کوئیپر و همکاران (Kuiper *et al*., 2010) را ببینید). دولت اسپانیا، اولین دولتی بود که به طور رسمی، علاقه‌ی خود را به مفهوم ردپای آب ابراز نمود و برای تهیه‌ی برنامه‌های مدیریت حوضه‌ای، انجام تحلیل ردپای آب در مقیاس حوضه‌ای را ضروری دانست (Official State Gazette, 2008; Garrido *et al*., 2010). شرکت‌های بسیاری، ردپای آب برخی از محصول‌های خود را تحلیل نمودند، ولی تنها عده‌ی کمی از این شرکت‌ها، اکنون به مرحله‌ای رسیدند که بتوانند نتایج مربوطه را انتشار دهند (SABMiller and WWF-UK, 2009; SABMiller *et al*., 2010; TCCC and TNC, 2010; IFC *et al*., 2010; Chapagain and Orr, 2010). پژوهش‌های محدودی وجود دارد که در آن‌ها، ارزیابی ردپای آب به صورت کامل و مطابق با آن‌چه در این کتابچه‌ی راهنما ارایه شد، انجام شد. انتظار می‌رود کاربردهای بیش‌ترِ این ابزار، اطلاعات ارزشمندی برای اصلاح روش ارزیابی ارایه شده در این کتابچه را فراهم آورد.

فصل هفتم

چالش‌های آینـده

۷-۱ داده‌ها و روش ارزیابی ردپای آب

برخی نکته‌های عملی وجود دارد که باید حین ارزیابی ردپای آب، درنظر گرفته شوند. این کتابچه‌ی راهنما برای انجام بسیاری از موارد، راهنمایی‌های کافی ارایه می‌کند ولی در برخی موارد نیاز به راهنمایی‌های بیش‌تری وجود خواهد داشت. یکی از سوال‌های عمده‌ای که همواره پیش می‌آید، آن است که چگونه باید مسأله‌ی نبودِ داده‌های موردنیاز را حل نماییم؟ در این شرایط، از چه مقادیر پیش‌فرضی می‌توان استفاده نمود و یا انجام چه ساده‌سازی‌هایی منطقی خواهد بود؟ بنابراین، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، ارایه‌ی رهنمودهای جزئی بیش‌تر درباره‌ی داده‌های پیش‌فرضی است که در صورت نبودِ داده‌های دقیقِ محلی، می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این باره، ارایه‌ی پایگاه داده‌ای که مشتمل بر مقادیرِ پیش‌فرض ردپای آب، برای طیف وسیعی از فرآیندها و محصول‌ها به تفکیک نواحی (مثلاً کشورها) باشد، کار مناسبی محسوب می‌شود. این‌کار، کمک بسیاری به ارزیابی ردپای آب مصرف‌کنندگان یا تولیدکنندگانی می‌کند که می‌دانند چه چیزهایی می‌خرند، اما اطلاعی از جزئیات مربوط به این محصول و زنجیره‌ی تأمین آن ندارند.

یک چالش عملی در محاسبات ردپای آب، زمان قطع محاسبه‌ها است که درباره‌ی آن، در بخش ۲-۲ به تفصیل بحث شد. سوال آن است که چه چیزهایی را باید در محاسبه‌ها لحاظ نمود و از چه چیزهایی می‌توان صرف‌نظر نمود؟ با انجام طیفِ وسیعی از تحلیل‌ها و ارزیابی‌ها حین برآورد ردپای آب یک محصول، می‌توان دریافت که برخی مواد اولیه سهم چندانی در کل ردپای آب یک محصول ندارند و ادامه‌ی فرآیند ردیابیِ زنجیره‌ی تأمین، نتیجه ارزشمند بیش‌تری به‌همراه ندارد. برای آن‌که بتوان رهنمودهای کاربردی‌ای را – در قالب قوانین – درباره‌ی آن‌چه می‌توان در آنالیز ردپای آب، از آن صرف‌نظر نمود، ارایه داد، تجربیات کاربردی بیش‌تری در خصوص محاسبه‌ی ردپای آب نیاز خواهد بود و هم‌چنین، این‌که در تحلیل ردپای آب یک مصرف‌کننده یا فعالیت، از کدام محصول‌های مصرفی توسط مصرف‌کننده و یا کدام نهاده‌های مصرفی در فعالیت موردنظر، می‌توان صرف‌نظر نمود. تاکنون به نحوه بررسی مسأله تغییرپذیری و تغییر زمانی توجه کافی نشده است. نه در همه‌ی موارد، اما در بسیاری از موارد، مصرف آب با گذشت زمان تغییر می‌کند. مثلاً، به نیاز آبیاری در کشاورزی بیندیشید که به الگوی بارش در سال موردنظر بستگی دارد (Garrido *et al*., 2010). علاوه بر آن، بهره‌وری آب ممکن است تحت تأثیر عوامل متعددی –حتی تحت تأثیر عواملی که هیچ ربطی به آب ندارند–، از سالی به سال دیگر تغییر کند که این مسأله، منتج به تغییر ردپای آب از سالی به سال دیگر خواهد شد. پرواضح است که تحت این شرایط، تغییرات سالانه‌ی ردپای آب را نمی‌توان به سادگی، با عنوان بهبود یا بدتر شدن مصرف آب، تفسیر نمود. به همین دلیل، ارایه‌ی مقادیر ردپای آب به صورت

میانگین چندین ساله، مفیدتر خواهد بود. حال، سوال آن است که چه بازه‌ی زمانی را باید درنظر گرفت؛ پنج سال، ده سال، یا بیش‌تر؟ چه زمانی می‌توان تحلیل‌های روند زمانی را انجام داد؟ علاوه بر آن، ممکن است به این نتیجه برسیم که بهتر است برای برخی از داده‌های ورودی، میانگین‌های بلندمدت درنظر گرفته شود (مثلاً میانگین‌های ۳۰ ساله، مانند آنچه اغلب برای داده‌های اقلیمی انجام می‌شود) در حالی‌که، می‌توان برای برخی از داده‌ها، مقادیر سالانه‌ی آن‌ها و یا میانگین‌های پنج ساله را درنظر گرفت. بهتر است در این زمینه، رهنمودهایی توسعه داده شود؛ هرچند باید اذعان داشت که انتخاب این بازه‌های زمانی در نهایت، به هدف ارزیابی بستگی دارد.

یک مسأله‌ی بزرگ‌تر از تغییرپذیری، مسأله‌ی نبودِ قطعیت است. نبودِ قطعیت داده‌های مورد استفاده در محاسبه‌ی ردپای آب می‌تواند بسیار قابل توجه باشد، به این معنی که باید خروجی‌ها را با احتیاط تفسیر کرد. اگرچه انجام آنالیز نبودِ قطعیت به شدت توصیه می‌شود، لکن اغلب محدودیت‌های زمانی، اجازه‌ی آنالیز نبودِ قطعیت و آنالیز حساسیت پیشرفته را به کاربران نمی‌دهد. با این وجود، محاسبه‌ی حداقل چند شاخص کلی که بتواند مقدار نبودِ قطیعت مربوط به انواع ردپاهای آب را مشخص کند، مفید خواهد بود و می‌توان به آن استناد نمود. در حال حاضر، هیچ پژوهشی که حاوی آنالیز نبودِ قطعیت باشد، وجود ندارد.

اگر دانستن جزئیات بیش‌تری از محاسبه‌های ردپای آب مدنظر باشد، تفکیک ردپاهای آب تنها به مؤلفه‌های سبز، آبی و خاکستری ممکن است کافی به نظر نیاید؛ مثلاً اگر فردی بخواهد، می‌تواند ردپای آب آبی را، به ردپای آب سطحی، ردپای آب زیرزمینیِ تجدیدپذیر، ردپای آب زیرزمینی فسیلی (تجدیدناپذیر) تفکیک نماید (بخش ۳-۳-۱). ردپای آب خاکستری را نیز می‌توان به تفکیک برای هر آلاینده‌ای به صورت مجزا محاسبه نمود (بخش ۳-۳-۳).

چالشی که در مورد ردپای آب خاکستری وجود دارد، آن است که باید رهنمودهایی را برای نحوه تعریف غلظت‌های طبیعی و حداکثر مجاز ارایه نمود. برای هر مورد، داده‌ها باید به تفکیک حوضه‌های آبریز ارایه شوند، اما در بسیاری از موارد، چنین داده‌هایی وجود ندارند. می‌توان غلظتِ طبیعی برخی از مواد شیمیایی را معادل صفر درنظر گرفت و برای برخی دیگر، که اطلاعاتی درباره‌ی غلظتِ طبیعی آن‌ها در مقیاس حوضه وجود ندارد، مقادیر پیش‌فرضی را ارایه نمود. به‌علاوه، یکی دیگر از مسائلی که باید روشن شود آن است که آیا باید، مثلاً غلظت‌های روزانه را درنظر گرفت یا غلظت‌های میانگین ماهانه را مدنظر قرار داد؟ داده‌های مربوط به حداکثر غلظت‌های مجاز برای تمامی مواد وجود ندارد؛ بنابراین، باید رهنمودهایی برای مقادیر پیش‌فرضی که می‌تواند در این شرایط در نظر گرفته شود، وجود داشته باشد.

یکی از سوال‌هایی که در هنگام تعیین ردپای آب آبی پیش می‌آید، آن است که چه مقیاسی و چه دقت مکانی را باید درنظر گرفت. اگر آب از جایی برداشت شود و به جایی دیگر در پایین‌دست بازگردد، چه باید کرد؟ بر اساس تعریف، ردپای آب آبی آب مصرفی است که تبخیر می‌شود، در بطن محصول جای داده می‌شود و یا دوباره به همان محلی که از آن برداشت شد، بازنمی‌گردد. این‌که آب برگشتی در پایین‌دست را باید در محاسبه‌های ردپای آب آبی لحاظ نمود یا خیر، قطعاً به مقیاس مکانیِ منتخب در تحلیل‌ها بستگی دارد. ممکن است برای مقیاس‌های مکانیِ کوچک، این آب، آب مصرفی در محاسبه‌های آب آبی درنظر گرفته شود، اما همین آب، وقتی مقیاسِ مکانیِ بزرگ‌تری درنظر گرفته می‌شود، در محاسبه‌ی ردپای آب آبی درنظر گرفته نشود، زیرا به داخل همان محدوده‌ای که از آن برداشت شد، بازمی‌گردد. پاسخ به این‌که چه مقیاس مکانی را باید درنظر گرفت، نیازمند گذر زمان است تا با انجام پژوهش‌های بیش‌تر، اطلاعات کافی و مناسب برای چنین تصمیمی به‌دست آید. سوال دیگر آن است که وقتی آب زیرزمینی، پس از برداشت و استفاده، به منابع آب سطحی بازمی‌گردد، چه یابد کرد؟ اگر مجموع آب‌های سطحی و زیرزمینی به صورت یک‌جا در محاسبه‌های ردپای آب آبی در نظر گرفته شود، چنین مسأله‌ای روی محاسبه‌ی ردپای آب آبی تأثیر نخواهد گذاشت. بنابراین، در موارد بسیاری، چنین چالشی وجود نخواهد داشت، ولی ممکن است فردی بخواهد ردپای آب سطحی و زیرزمینی را از هم تفکیک نماید. هم‌چنین، در مورد آب زیرزمینی نیز، اختلاف اساسی بین آب‌های زیرزمینی تجدیدپذیر و فسیلی وجود دارد که ممکن است فردی بخواهد این تفاوت‌ها را نیز ببیند.

یکی از پیشرفت‌های جالب، استفاده از تکنیک سنجش از دور در تخمین ردپاهای آب سبز و آبی در کشاورزی با دقت‌های مکانی و زمانی زیاد است (Zwart *et al*., 2010; Romaguera *et al*., 2010)؛ ولی تحقیق‌های بیش‌تری برای اثبات تناسب این روش و کاربردی نمودن آن لازم است.

پژوهش‌های زیادی برای تعیین جریان‌های زیست‌محیطی مورد نیاز (پیوست) و نیاز آب سبز محیط‌زیست (کادر ۴-۳) در سطح حوضه لازم است، زیرا هنگام تحلیل پایداری ردپاهای آب سبز و آبی در یک حوضه، وجود چنین داده‌هایی ضروری خواهد بود. هم‌چنین، پژوهش‌های زیادی باید برای تعیین افت مجاز سطح آب دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی، به تفکیک محل وجودِ این منابع، صورت بگیرد (کادر ۴-۵).

در فصل مربوط به ارزیابی پایداری ردپای آب، نشان داده شد که تعریف شاخص‌های پایداری، به ویژه شاخص‌های پایداری اجتماعی و اقتصادی، نیازمند توجه بیش‌تر می‌باشد (بخش‌های ۴-۲-۳ و ۴-۲-۴). به‌علاوه، معلوم شد که بررسی آثار اولیه و ثانویه، به این مسأله بستگی دارد که چه نوع

آثاری قرار است بررسی شود و از چه آثاری می‌توان صرف‌نظر نمود. کتابچه‌ی راهنمای حاضر، رهنمودهای اندکی درباره‌ی حداقل آثاری که باید درنظر گرفت و آثاری که اهمیت چندانی ندارند، فراهم نموده است. شاید نیاز باشد که متناسب با هدف ارزیابی، رهنمودهای بیش‌تری در این زمینه ارایه شود.

در نهایت، تعیین این مسأله که هریک از عکس‌العمل‌های سیاسی مختلف، چه سهمی در کاهش میزان ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ مربوط به فعالیت‌های مختلف داشته و تا چه حد تأثیرگذار هستند، امری ضروری می‌باشد.

۷-۲ به‌کارگیری ردپای آب در زمینه‌های مختلف

تعداد پژوهش‌هایی که در آن‌ها از مفهوم ردپای آب استفاده می‌شود، به سرعت در حال افزایش است. همان‌گونه که در بررسی اجمالیِ ارایه شده در جدول ۷-۱ نشان داده شد، اغلب پژوهش‌ها مربوط به بعد از سال ۲۰۰۷ می‌باشند. بنابراین، انواع پژوهش‌هایی که در این زمینه ارایه شده‌اند، را می‌توان به‌این صورت طبقه‌بندی نمود: پژوهش‌های جهانی، پژوهش‌های کشوری، پژوهش‌های حوضه‌ای، پژوهش‌های مربوط به کالاهای عمومی و پژوهش‌های شرکتی. در تعداد اندکی از پژوهش‌ها، ارزیابی ردپای آب به صورت کامل انجام شد که اغلب آن‌ها، به صورت کامل و یا قویاً روی بحث محاسبه‌ی ردپای آب تمرکز نموده‌اند. چالش‌های بعدی که باید درنظر گرفته شوند، تحلیل پایداری ردپای آب و تدوین عکس‌العمل‌هایی برای کاهش ردپای آب می‌باشد.

جدول ۷-۱ مروری اجمالی بر پژوهش‌های ردپای آب

پژوهش‌های جهانی و فراملیِ ردپای آب و مبادله‌های آب مجازی	• جهانی: Hoekstra and Hung (2002, 2005); Hoekstra (2003, 2006, 2008b); Chapagain and Hoekstra (2004, 2008); Hoekstra and Chapagain (2007a, 2008); Liu *et al*. (2009); Siebert and Döll (2010) • آسیای مرکزی: Aldaya et al. (2010c)
پژوهش‌های ملی ردپای آب و مبادله‌های آب مجازی	• چین (Ma *et al*., 2006; Liu *et al*., 2008; Hubacek *et al*., 2009; Zhao *et al*., 2009) • آلمان (Sonnenberg *et al*., 2009) • هند (Kumar and Jain, 2007; Kampman *et al*., 2008; Verma *et al*., 2009) • اندونزی (Bulsink *et al*., 2010) • مراکش (Hoekstra and Chapagain, 2007b) • هلند (Hoekstra and Chapagain, 2007b; Van Oel *et al*., 2008, 2009) • رومانی (Ene and Teodosiu, 2009) • اسپانیا (Novo *et al*., 2009; Aldaya *et al*., 2010b; Garrido *et al*., 2010) • تونس (Chahed *et al*., 2008) • انگلستان (Chapagain and Orr, 2008; Yu *et al*., 2010)
پژوهش‌های درون کشوری برای ردپای آب و مبادله‌های آب مجازی	• استان‌های کشور چین (Ma *et al*., 2006) • شهر بیجین[1] (Wang and Wang, 2009) • ایالات هند (Kampman *et al*., 2008) • مانکا اکسیدنتا[2] در اسپانیا (Aldaya *et al*., 2010d) • اندلس[3] در اسپانیا (Dietzenbacher and Velazquez, 2007) • وست‌بنک[4] در فلسطین (Nazer *et al*., 2008) • حوضه‌ی آبریز گوآدیانا[5] در اسپانیا (Aldaya and Llamas, 2008) • حوضه‌های آبریز لاور-فریزرولی و اوکاناگن[6] در کانادا (Brown *et al*., 2009) • حوضه‌ی آبریز نیل[7] در آفریقا (Zeitoun *et al*., 2010)
پژوهش‌های ردپای آب محصول‌ها	• سوخت زیستی (Gerbens-Leenes *et al*., 2009a, 2009b; Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2009, 2010; Dominguez-Faus *et al*., 2009; Yang et al., 2009; Galan-del-Castillo and Velazquez, 2010; Van Lienden et al., 2010) • قهوه (Chapagain and Hoekstra, 2007; Humbert *et al*., 2009) • پنبه (Chapagain *et al*, 2006b) • گل‌ها (Mekonnen and Hoekstra, 2010b)

1 . Beijing
2 . Mancha Occidental Region
3 . Andalusia
4 . West Bank, Palestine
5 . Guadiana basin
6 . Lower Fraser Valley and the Okanagan basins
7 . Nile basin

	• جاتروفا[1] (Jongschaap *et al*., 2009; Maes *et al*, 2009; Gerbens-Leenes *et al*., 2009c; Hoekstra *et al*., 2009c) • انبه(Ridoutt *et al*., 2010) • ذرت(Aldaya *et al*., 2010a) • گوشت (Chapagain and Hoekstra, 2003; Galloway *et al*., 2007; Hoekstra, 2010b) • پیاز(IFC *et al.*, 2010) • فلفل(Van Oel and Hoekstra, 2010) • پاستا (ماکارونی)(Aldaya and Hoekstra, 2010) • پیتزا(Aldaya and Hoekstra, 2010) • برنج(Chapagain and Hoekstra, 2010) • نوشیدنی‌های غیرالکلی(Ercin *et al*., 2009) • سویا(Aldaya *et al*., 2010a) • شکر(Gerbens-Leenes and Hoekstra, 2009) • چای(Chapagain and Hoekstra, 2007) • گوجه‌فرنگی(Chapagain and Orr, 2009) • گندم (Liu *et al.*, 2007; Aldaya *et al*., 2010a; Zwart *et al*., 2010; Mekonnen and Hoekstra, 2010a) • غذا (Chapagain and Hoekstra, 2004; Hoekstra and Chapagain, 2008; Hoekstra, 2008c)
پژوهش‌های ردپای آب فعالیت	• beer from SABMiller (SABMiller and WWF-UK, 2009, SABMiller *et al*., 2010) • cola and orange juice from The Coca-Cola Company (TCCC and TNC, 2010) • breakfast cereal from Nestlé (Chapagain and Orr, 2010) • candies and pasta sauce from Mars (Ridoutt *et al*., 2009)

۷-۳ لحاظ ردپای آب در گزارش‌ها و آمار موجود مربوط آب و محیط زیست

آمار رایج مصرف آب، چه در محاسبات ملی و چه در محاسبات شرکت‌ها، تنها محدود به آمار آب‌های برداشتی می‌شوند. با داشتن چنین آمارهایی، دامنه‌ی اطلاعات ما بسیار کم خواهد بود، زیرا در این آمار، اطلاعاتی درباره‌ی ردپای آب سبز، آبی و خاکستری و هم‌چنین مصارف غیرمستقیم آب، وجود ندارد. در محاسبه‌های فعالیت‌ها، به آب مصرفی در زنجیره‌ی تأمین کالاهای مورد نیاز توجهی نمی‌شود. در محاسبات ملی، معمولاً از واردات و صادرات آب مجازی و این واقعیت که بخشی از ردپای آب مصارف ملی در خارج از مرزهای کشور قرار دارد، صرف‌نظر می‌شود. باید به تدریج، شروع به اضافه نمودن آمار ردپای آب در آمار کشوری نمود و این آمار را به‌صورت بین‌المللی نیز عرضه

1 . Jatropha

نمود؛ مثلاً مانند آنچه توسط فائو (AQUASTAT, FAOSTAT)، برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد[1] (Geo Data Portal)، برنامه‌ی عمران ملل متحد[2]، کنفرانس تجارت و توسعه‌ی سازمان بخش آمار سازمان ملل[3]، کمیسیون اروپا[5] (Eurostat) و بانک جهانی ارایه شد. در حال حاضر، آمار ردپای آب کشورها، در برخی نشریات بین‌المللی جهان وجود دارد (WWF, 2008, 2010; UN, 2010a). باید آغاز به گنجاندن محاسبات ردپای آب شرکت‌ها در گزارش‌های پایداری و زیست‌محیطی شرکت‌ها نمود.

۷-٤ پیوند با روش‌های ردپای اکولوژیک، ردپای انرژی و ردپای کربن

ردپای آب، بخشی از خانواده‌ی بزرگ مفاهیم ردپا می‌باشد. قدیمی‌ترین مفهوم ردپا، ردپای اکولوژیک است که در دهه‌ی ۱۹۹۰، توسط ویلیام ری و ماتیاس واکرناگل[6] ارایه شد (Rees, 1992; 1996; Rees and Wackernagel, 1994; Wackernagel and Rees, 1996). ردپای اکولوژیک، میزان استفاده از سطحی با قابلیت تولید زیستی را نشان داده و بر حسب هکتار، بیان می‌شود. مفهوم ردپای کربن، ریشه در مباحث ردپای اکولوژیک داشته و مفهوم آن از سال ۲۰۰۵ به بعد، شناخته‌تر شد (Safire, 2008). ردپای کربن، مجموع انتشار گازهای گلخانه‌ای به وسیله‌ی یک سازمان، یک رخداد یا محصول را نشان داده و بر حسب مقدارِ دی‌اکسیدکربن معادل بیان می‌شود. اگرچه مفهوم ردپای کربن نسبتاً جدید است، اما ایده‌ی مربوط به محاسبه‌ی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، بسیار قدیمی‌تر بوده و به زمان اولین ارزیابی هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۱۹۹۰ بازمی‌گردد. مفهوم "انرژیِ جای‌سازی شده"[7] و "امرژی"[8]، قدیمی‌تر از مفاهیم ردپای اکولوژیک و ردپای کربن می‌باشند (Odum, 1996; Herendeen, 2004). منظور از این مفاهیم، کل انرژی مصرفی برای تولید یک کالا بوده و بر حسب ژول بیان می‌شود.

مفهوم ردپای آب، برای مباحث مربوط به آب، در سال ۲۰۰۲ ارایه شد (Hoekstra, 2003). این اصطلاح، با آهنگی مشابه ردپای اکولوژیک، انتخاب شد؛ ولی ردپای آب، به جای پژوهش‌های زیست‌محیطی، ریشه در پژوهش‌های آبی دارد. اگرچه مفاهیم ردپای اکولوژیک، ردپای آب، ردپای

1 . United Nations Environmental Program (UNEP)
2 . United Nations Development Program (UNDP)
3 . United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD)
4 . UN Statistics Division
5 . European Commission
6 . William Rees and Mathis Wackernagel
7 . Embodied energy
8 . Emergy

کربن و انرژی جای‌سازی شده، مفاهیمی بسیار وابسته به هم هستند، اما هریک از این مفاهیم، ریشه‌های خود را دارد. در نتیجه، بررسی روش‌های تعیین شاخص‌های مختلف، وجود شباهت‌ها و اختلاف‌های بسیاری را بین آن‌ها به اثبات می‌رساند؛ مثلاً، دو اختلافی که بین مفاهیم ردپای اکولوژیک و ردپای آب وجود دارد، این است که ردپاهای اکولوژیک، اغلب بر حسب میانگین‌های جهانی بهره‌وری محاسبه می‌شوند، در حالی‌که ردپاهای آب، بر اساس مقادیرِ منطقه‌ای و محلی بهره‌وری‌ها محاسبه- می‌شوند و این‌که، ردپاهای اکولوژیک دارای بعد مکان نیستند، در حالی‌که ردپاهای آب هستند (Hoekstra, 2009).

مفاهیم متعدد ردپا -که شاخص‌های تکمیلی مصرف سرمایه‌های طبیعی برای خواسته‌های بشری محسوب می‌شوند-، باید مورد توجه قرار گیرند. هیچ‌یک از این شاخص‌ها را نمی‌توان با دیگری جایگزین نمود زیرا هریک از آن‌ها، اطلاعات خاص خود را فراهم می‌کنند (که با شاخص دیگر به دست نمی‌آید). توجه تنها به نیازهای منطقه یا تنها به نیازهای آب یا انرژی، کافی نیست، زیرا هرچند موجودیت زمین، عامل مهمی برای توسعه محسوب می‌شود، در این باره، آب شیرین و انرژی هم در زمره‌ی عوامل کلیدی هستند. یکی از چالش‌های تحقیقاتی آینده، ارایه تمامی مفاهیم ردپا و روش‌های مربوطه در یک چارچوب مفهومی و تحلیلی می‌باشد.

۷-۵ پیوند با تحلیل جریان مواد، مدل‌سازی ورودی-خروجی و ارزیابی چرخه‌ی حیات

تحلیل جریان مواد (MFA)[1] روشی برای تحلیل جریان مواد در یک سیستم -که به خوبی تعریف شده است-، می‌باشد. در مقیاس‌های ملی یا منطقه‌ای، MFA می‌تواند برای مطالعه‌ی مبادلات مواد درون یک بخش اقتصادی و بین یک بخش اقتصادی و محیط طبیعی استفاده شود. در صنایع، MFA می‌تواند برای تحلیل جریان مواد درون یک شرکت و یا در طول یک زنجیره‌ی تأمین صنعتی که مشتمل بر چندین شرکت است، مورداستفاده قرار گیرد. وقتی این روش برای یک محصول خاص به کار می‌رود، MFA مبین مطالعه‌ی ورودی‌ها (منابع) و خروجی‌ها (انتشارات) در مراحل مختلف سیستم تولید محصول می‌باشد. این نوع MFA، مشابه مرحله‌ی سیاهه[2] در ارزیابی چرخه‌ی حیات (LCA) می‌باشد.

1 . Material flow analysis
2 . Inventory phase

LCA بررسی و ارزیابیِ اثرات زیست‌محیطیِ یک محصول یا خدمات خاص بوده و مشتمل بر چهار مرحله می‌باشد:

(۱) تعیین اهداف و حوزه‌ی ارزیابی،
(۲) سیاهه‌ی چرخه‌ی حیات،
(۳) ارزیابی اثرات چرخه‌ی حیات و
(۴) تفسیر اثرات (Rebitzer *et al*., 2004).

چارچوب‌هایی مانند MFA، LCA و مدل‌سازی ورودی–خروجی، استفاده از انواع مختلف منابع زیست‌محیطی و اثراتی متنوع بر محیط‌زیست توجه می‌کنند. در مقابل، آنالیزهای مربوط به ردپای اکولوژیک، ردپای آب، ردپای کربن و انرژی‌ی تعبیه‌شده، تنها یک منبع یا اثر را در نظر می‌گیرند. گرچه از نظر منطقی، به نظر می‌رسد که ردپاها دقیقاً همان شاخص‌هایی هستند که به طور معمول، در پژوهش‌های MFA، LCA و مدل‌سازی ورودی–خروجی استفاده می‌شوند، ولی چارچوبی مسنجم و جامع از تمامی روش‌های به‌کاررفته برای پژوهش‌های ردپاها و روش‌های به‌کار رفته در پژوهش‌های MFA، LCA و مدل‌سازی ورودی–خروجی شکل نگرفته است. از نظر آب، تاکنون روش‌های MFA، LCA و مدل‌سازی ورودی–خروجی، به مسأله‌ی آب به حد کفایت توجه ننموده‌اند.

در مجموعه تحقیقات ورودی–خروجی[1]، علاقه‌ی روزافزونی به گنجاندن آب در این روش وجود دارد؛ مثلاً این پژوهش‌ها را ببینید (Dietzenbacher and Velazquez, 2007; Zhao *et al*., 2009; Wang and Wang, 2009; Yu *et al*., 2010). مطالعات ردپای آب، می‌تواند داده‌های مربوط به ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی را برای هر بخش اقتصادی فراهم کند که این داده‌ها، داده‌های ورودی ضروری در مطالعات ورودی–خروجی محیط زیستی که با هدف گنجاندن مصارف آب شکل گرفته‌اند، می‌باشند.

هم‌چنین، در مجموعه LCA، علاقه‌ی روزافزونی نسبت به آب به‌وجود آمده است (Koehler, 2008; Milà i Canals *et al*., 2009). هدف از پژوهش‌های LCA، تحلیل مجموع اثرات زیست‌محیطی محصول‌ها می‌باشد. دو ایده‌ی متفاوت وجود دارد: اول آن‌که منابع آب شیرینِ جهان، محدود هستند. بنابراین، تعیین وضعیت تخصیص منابع آب شیرین از طریق تعیین حجم آب مصرفی و آلوده شده، باید یک عامل کلیدی در LCA درنظر گرفته شود. در این باره، ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری، شاخص‌های مناسبی برای تعیین چگونگی تخصیص منابع آب شیرین محسوب می‌شوند. دوم، آن‌که، می‌توان اثرات محلی ناشی از تخصیص منابع آب شیرین را درنظر گرفت. بدین منظور،

1 . Input-output research community

محاسبه‌ها و ارزیابی‌های پایداری ردپای آب می‌توانند– به شکلی که در جدول ۷–۲ ارایه شد–در LCA به کار گرفته شوند. ردپای آب یک محصول، ورودیِ سیاهه‌ی چرخه‌ی حیات برای آن محصول می‌باشد؛ نتایج ارزیابی پایداری ردپای آب، در ارزیابی اثرات چرخه‌ی حیات مفید می‌باشد.

جدول ۷–۲ چگونه می‌توان از ارزیابی ردپای آب در LCA استفاده نمود؟

مراحل LCA	دقت	معنای فیزیکی	خروجی	مراحل ارزیابی ردپای آب
سیاهه‌ی چرخه‌ی حیات	ابعاد مکانی–زمانی به صراحت معلوم است	حجم آب مصرفی یا آلوده شده به ازای واحد محصول	ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری (بر حسب حجم)	محاسبه‌ی ردپای آب محصول (بخش ۳–۴)
ارزیابی اثرات چرخه‌ی حیات	ابعاد مکانی–زمانی به صراحت معلوم است	متغیرهای متنوع و قابل اندازه‌گیری برای آثار	تحلیلی از وضعیت پایداری ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری یک محصول از دیدگاه زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی	ارزیابی پایداری ردپای آب محصول (بخش ۴–۴–۱)
	ابعاد مکانی–زمانی به صراحت معلوم نیست	ندارد	شاخص‌های تجمعی اثر ردپای آب	تجمیع اطلاعات منتخب به‌دست آمده از ارزیابی پایداری ردپای آب (بخش ۴–۴–۲)

منبع: بر اساس یافته‌های هوکسترا و همکاران (Hoekstra *et al*., 2009b)

برخی از مولفین LCA، پیشنهاد نمودند که به‌جای اصطلاح شاخص تأثیر ردپای آب آبی، که در این کتابچه‌ی راهنما در مورد آن توضیح داده شد (بخش ۴–۴–۲)، اصطلاح ردپای آب را به کار برند. به این ترتیب بر اساسِ تعریفِ آن‌ها، "ردپای آب"، شاخصی نخواهد بود که حجم آب شیرین تخصیص‌یافته را نشان می‌دهد، بلکه یک شاخص تأثیر آثار زیست‌محیطی محلی خواهد بود (Pfister *et al*., 2009; Ridoutt *et al*., 2009; Ridoutt and Pfister, 2010; Berger and Finkbeiner, 2010). هم‌چنین، گفته‌اند که بهتر است از شاخص ردپای آب سبز، صرف‌نظر نمود؛ زیرا ردپای آب سبز هیچ پیامدی ندارد (Pfister and Hellweg, 2009). از دیدگاه مدیریت منابع آب که نیازمند داشتن اطلاعات مکانی و زمانی صریح درباره‌ی حجم‌های واقعی ردپاهای آب و اثرات واقعی آن‌ها می‌باشد، بازتعریف مفهوم ردپای آب، بی‌معنی خواهد بود.

پژوهش‌های ردپای آب، به دو مبحث در مدیریت منابع آب کمک می‌کند: اول، آن‌که، داده‌های مربوط به ردپاهای آب محصول‌ها، مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان، مباحثی را در خصوص تخصیص

و استفاده‌ی پایدار، عادلانه و کارآمد منابع آب شیرین فراهم می‌کند. آب شیرین کمیاب است؛ موجودیت سالانه‌ی آن محدود است. این مهم است که بدانیم هرکسی چه سهمی از آب شیرین دریافت نموده و چگونه منابع آب شیرین، به اهداف مختلف اختصاص داده می‌شود؛ مثلاً، آب بارانی که به تولید بیوانرژی اختصاص داده شد را نمی‌توان برای تولید غذا استفاده نمود. دوم، آن‌که، محاسبه‌های ردپای آب، به تخمین آثار زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی در سطح حوضه کمک می‌کند. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی باید مشتمل بر مقایسه‌ی هریک از اجزای ردپای آب، با آب موجود در مکان و زمان مربوطه (با لحاظ نیازهای آبی زیست‌محیطی) باشد. ایده‌ی استفاده از اصطلاح ردپای آب، –که معرفِ آنچه در اینجا با عنوان شاخص تأثیر ردپای آب آبی ارایه شد–، می‌باشد، بسیار گیج‌کننده خواهد بود. ردپای آب باید به همان شکل خودش و بر اساس همان مفهوم اصلی به کار برده شود؛ این بدان معنی است که این شاخص، شامل اثرات زیست‌محیطی محلی نمی‌باشد.

فصل هشتم

نتیجه‌گیــری

این کتابچه‌ی راهنما، مشتمل بر استاندارد جهانیِ تعریف واژگان ردپای آب و روش ارزیابی ردپای آب می‌باشد. این استاندارد، طی فرآیندی علنی و شفاف در دو سال گذشته، که به کمک شبکه‌ی ردپای آب[1] فراهم شد، تدوین گردید. با مشارکت سازمان‌های متعددی در سراسر جهان که تاکنون با مفهوم ردپای آب کار کرده‌اند، این استاندارد، به یک استاندارد جهانی واقعی تبدیل شد. داشتن استانداردی واحد و مشترک، اهمیت بسیاری دارد، زیرا استفاده از تعاریف و روش‌های محاسباتی مختلف برای ردپای آب توسط گروداران[2] مختلف، مانعی جدی برای مذاکره روی مبحث ردپای آب و تعیین مقادیر مطلوب برای کاهش آن محسوب می‌شود.

پیش‌بینی می‌شود که پیشرفت‌های صورت گرفته در آینده، امکان اصلاح این استاندارد و به ویژه، بسط رهنمودهای عملی را فراهم سازد. پس از هشت سال تلاش مداوم، اکنون، روش ارائه‌شده برای محاسبه‌ی ردپای آب (در فصل سوم این کتابچه)، به خوبی به اثبات رسیده و هم در جامعه‌ی علمی و هم در عمل، به طور گسترده مورد پذیرش قرار گرفته است. در طول سال‌های گذشته، استفاده‌ی روزافزون از مفهوم ردپای آب در عمل، باعثِ پخته شدن مفهوم آن شد. با این وجود، هنوز چالش‌های بسیاری باقی مانده که مشتمل بر تدوین رهنمودهای عملی به تفکیک گروه‌های محصول و فعالیت‌ها درباره‌ی محل قطع نمودن محاسبات (یعنی جایی که باید ردیابی زنجیره‌ی تأمین را متوقف ساخت) و ارائه‌ی قوانین مربوط به نحوه‌ی محاسبه‌ی نبودِ قطعیت‌ها و چگونگی لحاظ نوسانات زمانی حین انجام تحلیل‌های روند، می‌باشد. به‌علاوه، یکی دیگر از چالش‌های عمده، توسعه‌ی پایگاه‌های داده برای ردپاهای آب فرآیندهای رایج (که ورودیِ اصلیِ هر آنالیزی محسوب می‌شوند) و توسعه‌ی نرم‌افزارهایی برای تسهیل فرآیندهای محاسبه‌ی ردپای آب برای کاربران می‌باشد. پیروی از رهنمودهای این کتابچه‌ی راهنما برای محاسبه‌ی ردپای آب، بسیار خسته‌کننده‌تر از استفاده از یک نرم‌افزار کامپیوتری ساده برای انجام تحلیل‌ها خواهد بود. توسعه‌ی چنین نرم‌افزاری به همراه داده‌های پیش‌فرض موردنیاز، بخشی از برنامه‌ی شبکه‌ی ردپای آب است.

در مقایسه با فصلِ مربوط به محاسبه‌ی ردپای آب، فصل‌های مربوط به ارزیابی پایداری ردپای آب و گزینه‌های عکس‌العمل (فصل‌های ۴ و ۵)، هنوز کامل نیستند. این بدان دلیل است که تاکنون، چه در پژوهش‌های علمی و چه در عمل، توجه کم‌تری به این دو مرحله از ارزیابی ردپای آب شده است. در فصل مربوط به ارزیابی پایداری ردپای آب، تنها به توصیف فرآیند ارزیابی ردپای آب و ارایه‌ی شاخص‌های پایداری کلی، بسنده شد. فصل مربوط به گزینه‌های عکس‌العمل، اساساً شامل

1 . Water Footprint Network
2 . Stakeholders

فهرستی از عکس‌العمل‌هایی است که می‌توانند لحاظ شوند. در این فصل‌ها، درباره‌ی چگونگی انجام یک ارزیابی اثر کامل و جامع، یا درباره‌ی این‌که چگونه می‌توان یک گزینه‌ی عکس‌العمل خاص را با جزئیات بیش‌تری درباره‌ی پیچیدگی‌ها و نقاط ضعف و قوتش بررسی نمود، صحبتی به میان نیامده است؛ در عوض، تنها یک چارچوب مرجع، برای انجام ارزیابی پایداری و تحلیل گزینه‌های عکس‌العمل ارایه شد. به‌علاوه، باید خاطرنشان ساخت که نباید به فصل‌های مربوط به ارزیابی پایداری ردپای آب و گزینه‌های عکس‌العمل، دستورالعملی نگریست که در نهایت، به ما می‌گوید که چه کاری باید انجام دهیم. گرچه ممکن است برای برخی، داشتن یک دستورالعمل جذاب باشد – به ویژه در فعالیت‌های روزمره‌ی شرکت‌ها، داشتن قوانینی ساده و شفاف بسیار مفید است — ولی واقعیت آن است که ارزیابی پایداری و تدوین مجموعه‌ای از گزینه‌های عکس‌العمل، فعالیت‌هایی مشتمل بر مجموعه‌ای از مؤلفه‌های موضوعی و با ارزش[1] هستند. هدف این فصول آن است که رهنمودهای کلی و نه دستورالعمل‌های جزئی، را ارایه نماید.

با برگزاری جلسه‌ی کوچکی بین نمایندگانی از جوامع مدنی، فعالیت‌ها، محیط‌های دانشگاهی و سازمان ملل در سپتامبر ۲۰۰۷، علاقه‌ی زیادی به سمت مفهوم ردپای آب معطوف شد. پس از آن، تمایل به استفاده از مفهوم ردپای آب در سیاست‌های دولتی و استراتژی‌های شرکتی به طور مدام، افزایش یافت. این مسأله، باعث پایه‌گذاری شبکه‌ی جهانی ردپای آب (WFN) در ۱۶ اکتبر ۲۰۰۸ شد. دوازده ماه بعد، این شبکه، ۷۶ شریک از سراسر جهان و از بخش‌های مختلف، اعم از بخش‌های دولتی، فعالیت‌ها، سرمایه‌گذاران، جامعه‌ی مهندسی، مؤسسه‌های بین‌الدول، مشاوران، دانشگاه‌ها و مؤسسه‌های تحقیقاتی داشت. در زمان به اتمام رسیدن نگارش این کتابچه‌ی راهنما، یعنی در تاریخ ۱۶ اکتبر ۲۰۱۰، که دقیقاً دو سال پس از پایه‌گذاری شبکه‌ی ردپای آب بود، این شبکه، ۱۳۰ شریک داشت. چالش اساسی، حفظ زبانی مشترک در زمینه‌ی ارزیابی ردپای آب است، زیرا روش‌های واقعیِ ارایه شده برای استفاده‌ی پایدار از منابع آب، تنها زمانی شفاف، بامعنی و اثرگذار خواهند بود که این روش‌ها بر اساس واژگانی مشترک و بر اساس روش محاسباتیِ یکسان تدوین شده باشند. کتابچه‌ی راهنمای ردپای آب، چنین مبنای مشترکی را فراهم می‌کند. در آینده، بر اساس نتایج تحقیق‌های جدید و پیشرفت‌ها و تجربه‌های به‌دست آمده از طرفِ کاربرانی که از این روش‌ها در فعالیت‌های شخصی خود استفاده نموده‌اند، بهبودها و اصلاح‌هایی در این کتابچه‌ی راهنما صورت خواهد گرفت.

1 . Subjective, value-laden elements

پیـوست‌ها

پیوست الف: محاسبه‌ی تبخیر-تعرق سبز و آبی با استفاده از مدل CROPWAT

گزینه‌ی CWR در مدل CROPWAT

تبخیر-تعرق سبز و آبی در طول فصل رشد گیاه را می‌توان با استفاده از مدل CROPWAT مربوط به سازمان خواروبار جهانی فائو[1] تخمین زد (FAO, 2010b). بدین منظور، دو گزینه در این مدل وجود دارد. ساده‌ترین گزینه، گزینه‌ی CWR است، اما این گزینه، دقیق‌ترین روش نیست. در این روش، فرض می‌شود که هیچ تنش رطوبتی‌ای برای رشد گیاه وجود ندارد. مدل می‌تواند این موارد را محاسبه کند:

(الف) نیازهای آبی گیاه (CWR) در کل فصل رشد و تحت شرایط اقلیمی معین؛
(ب) بارش مؤثر در همان دوره‌ی زمانی؛
(ج) و نیازهای آبیاری.

نیاز آبی گیاه، میزان آب موردنیاز برای فرآیند تبخیر-تعرق در شرایط رشد ایده‌آل گیاه از زمان کاشت تا برداشت می‌باشد. منظور از شرایط ایده‌آل، آن است که رطوبت خاک، از راهِ بارندگی و/یا آبیاری در حدی حفظ شود که هیچ‌گونه تنشی به گیاه وارد نشده و در نتیجه، رشد گیاه و عمل‌کرد محصول آن کاهش نیابد. اساساً نیاز آبی گیاه، از حاصل‌ضرب تبخیر-تعرق مرجع (ET_o) در ضریب گیاهی (K_c) به‌دست می‌آید: ($CWR = K_c \times ET_o$).

تبخیر-تعرق گیاه مرجع (ET_o) میزان تبخیر-تعرق از سطح مرجع و بدون محدودیت رطوبتی می‌باشد. گیاه مرجع، یک سطح وسیع پوشیده از چمن با ویژگی‌های خاص استاندارد بوده که در آن، تنها عوامل اقلیمی روی ET_o تأثیر می‌گذارد. در حقیقت، ET_o قدرت تبخیرکنندگی اتمسفر در یک موقعیت مکانی خاص و یک زمان معین از سال را نشان داده و تأثیر عوامل گیاهی و ویژگی‌های خاک در آن دیده نمی‌شود. تبخیر-تعرق واقعی گیاه تحت شرایط ایده‌آل از این نظر با تبخیر-تعرق گیاه مرجع فرق دارد که تحت شرایط واقعی، میزان پوشش گیاهی، ویژگی‌های گیاهی و مقاومت آئرودینامیکی با مقادیر این عوامل برای گیاه چمن که استفاده‌ی سطح مرجع دارد، فرق دارند. میزان

1 . Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)

تأثیر مجموعه‌ی عواملی که می‌تواند باعث تفاوت گیاهان مزرعه از چمن شود، در قالب ضریب گیاهی (K_c) بیان می‌شود. ضریب گیاهی، در طول فصل رشد گیاه متغیر است. مقادیر ضریب گیاهی برای گیاهان مختلف در مراحل مختلف رشد را می‌توان از مستندات علمی موجود به دست آورد (مثلاً در Allen et al., 1998). هم‌چنین، می‌توان آن را از حاصل جمع ضرایب گیاهی پایه (K_{cb}) و ضریب تبخیر از خاک (K_e) به‌دست آورد. ضریب گیاهی پایه را می‌توان از نسبت تبخیر–تعرق گیاه به تبخیر–تعرق گیاه مرجع (ET_c/ET_o) در شرایطی که سطح خاک خشک بوده و تعرق، با شدت ایده‌آل خود صورت می‌گیرد؛ یعنی شرایطی که آب، عامل محدودکننده‌ی تعرق نیست، به‌دست آورد. بنابراین، $K_{cb} \times ET_o$، مؤلفه‌ی تعرقِ مربوط به ET_c را نشان می‌دهد، اما این مؤلفه، میزان تبخیر باقیمانده‌ای که به واسطه‌ی پخشیدگی رطوبت خاک موجود در زیر سطح خاک خشک[1] صورت می‌گیرد و هم‌چنین، تبخیری که از خاک موجود در زیر سطح پوشش گیاهی صورت می‌گیرد، را نیز شامل می‌شود. ضریب تبخیر خاک K_e، مؤلفه‌ی تبخیر مربوط به ET_c را نشان می‌دهد. وقتی سطح بالایی خاک مرطوب است، K_e حداکثر مقدار خود را دارد؛ وقتی سطح خاک خشک است، مقدار K_e کم بوده و حتی وقتی رطوبتی در سطح خاک برای تبخیر باقی نمانده باشد، مقدار K_e به صفر نیز می‌رسد. میزان خیس–شدن خاک در روش‌های مختلف آبیاری، متفاوت است؛ مثلاً در روش آبیاری بارانی، سطح خاک بیش‌تر از روش آبیاری قطره‌ای خیس می‌شوند، در نتیجه، بلافاصله پس از آبیاری، میزان K_e تحت آبیاری بارانی بیش‌تر از مقدار آن تحت آبیاری قطره‌ای خواهد بود که به معنیِ بیش‌تر بودن مقدار K_c و در پی آن، بیش‌تر بودن مقدار ET_c خواهد بود. با این وجود، امکان تفکیک ضریب گیاهی به ضرایب K_{cb} و K_e وجود نداشته و تنها، می‌توان مقدار K_c را در مدل وارد نمود. علاوه بر آن، نمی‌توان مقادیرِ روزانه‌ی K_c را به مدل وارد نمود، بلکه تنها می‌توان مقادیر این ضریب را برای سه مرحله‌ی مختلف رشد گیاه وارد نمود. بنابراین، تأثیر روش‌های مختلف آبیاری را تنها می‌توان با تنظیمِ مقادیر کلیِ K_c تحت تأثیر روش آبیاریِ منتخب، در مدل CROPWAT لحاظ نمود. به طور متوسط، وقتی سطح خاک تحت یک روش آبیاری به شدت، خیس شود، مقادیر K_c بزرگ‌تر از زمانی خواهد بود که سطح خاک، خیلی خیس نمی‌شود. یکی از مدل‌هایی که می‌تواند جایگزین مدل CROPWAT شود، مدل AQUACROP است (FAO, 2010e)؛ مدلی گیاهی که میزان محصول را تحت شرایط تنش رطوبتی، بهتر شبیه‌سازی نموده و در آن، امکان تفکیک ضریب گیاهی به ضرایب K_{cb} و K_e وجود–دارد.

1 . Residual diffusive evaporation

بارش مؤثر (P_{eff}) بخشی از کل بارش است که در خاک باقی می‌ماند و در نتیجه، این بارش به‌صورت بالقوه، برای تأمین نیاز آبی گیاه، در دسترس خواهد بود. بارش مؤثر، اغلب کم‌تر از کل بارش است، زیرا تمامیِ بارش نمی‌تواند به وسیله‌ی گیاه استفاده شود چون مثلاً بخشی از بارش به صورت رواناب یا نفوذ عمقی از دسترس خارج می‌شود (Dastane, 1978). روش‌های مختلفی برای تخمین بارش مؤثر وجود دارد. اسمیت (Smith, 1992)، روش USDA SCS (روش وزرات کشاورزی ایالت متحده‌ی آمریکا، سازمان حفاظت خاک[1]) را ارائه داد. این روش، یکی از چهار روشی است که در مدل CROPWAT برای تخمین بارش مؤثر وجود دارد.

نیاز آبیاری (IR) از تفاضل بین نیاز آبی گیاه و بارش مؤثر به‌دست می‌آید. اگر بارش مؤثر بیش‌تر از نیاز آبی گیاه باشد، نیاز آبیاری صفر خواهد بود؛ یعنی، $IR = \max(0, CWR - P_{eff})$. فرض برآن است که نیاز آبیاری کاملاً تأمین می‌شود. تبخیر- تعرق سبز (ET_{green})، یعنی تبخیر- تعرقی که منبع تأمین آن باران است، را می‌توان $\min(ET_c, P_{eff})$ دانست (یعنی هر کدام از مقادیر ET_c یا P_{eff} که کوچک‌تر باشد، تبخیر-تعرق سبز خواهد بود). تبخیر- تعرق آبی، یعنی تبخیر- تعرقی در مزرعه که منشا تأمین آن، آب آبیاری است. تبخیر-تعرق آبی برابر با مجموع تبخیر-تعرق گیاه منهای بارش مؤثر خواهد بود، ولی اگر بارش مؤثر بیش‌تر از نیاز آبی گیاه باشد، میزان تبخیر-تعرق آبی، صفر خواهد بود.

$$ET_{green} = \min\left(ET_c, P_{eff}\right) \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۵۹)$$

$$ET_{blue} = \max\left(0, ET_c - P_{eff}\right) \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۶۰)$$

تمامی ترم‌ها بر حسب میلی‌متر بر روز و یا میلی‌متر بر دوره‌ی شبیه‌سازی (مثلاً دوره‌های ۱۰ روزه)، بیان می‌شوند.

گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری در مدل CROPWAT

تبخیر-تعرق سبز و آبی در طول فصل رشد گیاه را می‌توان با استفاده از مدل CROPWAT برآورد کرد (FAO, 2010b). بدین منظور، دو گزینه در این مدل وجود دارد: گزینه‌ی "برنامه‌ریزی آبیاری"، علی‌رغم دقیق‌تر بودن، خیلی پیچیده‌تر از گزینه‌ی CWR نیست. در این روش، امکانِ ورودِ مقادیرِ واقعی آبیاری در دوره‌های مختلف رشد گیاه وجود دارد. این روش، بر اساس مفهوم بارش مؤثر (مانند آنچه در بالا برای گزینه‌ی CWR مطرح شد)، عمل نمی‌کند. در عوض، در این مدل، از بیلان

1 . USDA Soil Conservation Service

رطوبتی خاک، برای تخمین تبخیر–تعرق سبز و آبی استفاده می‌شود. تحت(=با) این روش، وضعیتِ رطوبتی خاک در مقیاس روزانه، پایش می‌شود. بدین منظور، نیاز به داده‌های مربوط به نوع خاک خواهد بود. تبخیر–تعرقی که تحت این روش محاسبه می‌شود، تبخیر–تعرق تعدیل شده (ET_a) نام دارد که ممکن است به دلیلِ نبود شرایط بهینه، کم‌تر از ET_c باشد. میزان ET_a از حاصل‌ضرب میزان تبخیر–تعرق گیاه تحت شرایط مطلوب (ET_c) در ضریب تنش رطوبتی (K_s) به‌دست می‌آید:

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_o \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۶۰)$$

ضریب تنش K_s تأثیر تنش رطوبتی بر تعرق گیاه را منعکس می‌سازد. تحت شرایطی که کمبود رطوبت در خاک وجود دارد، $K_s < 1$ بوده و زمانی که هیچ تنش رطوبتی در خاک وجود نداشته باشد، $K_s = 1$ خواهد بود. برای ضریب گیاهی، همان چیزهایی که در روش CWR مطرح شد، در روش برنامه‌ریزی آبیاری نیز مطرح است.

شرایط دیم

با انتخاب گزینه‌ی بدون آبیاری[1]، می‌توان شرایط دیم را شبیه‌سازی نمود. در سناریوی دیم (یعنی وقتی $irr = 0$ است)، تبخیر–تعرق سبز (ET_{green}) مجموع کل تبخیر–تعرقی است که به وسیله‌ی مدل شبیه‌سازی می‌شود و تبخیر–تعرق آبی (ET_{blue})، برابر با صفر خواهد بود.

شرایط آبیاری

شرایط آبیاری را می‌توان با مشخص نمودن این‌که گیاه چگونه آبیاری می‌شود، شبیه‌سازی نمود. بسته به استراتژی‌های واقعی آبیاری، می‌توان گزینه‌های مختلفی برای معرفی زمان و عمق آبیاری تعیین نمود. گزینه‌ی پیش‌فرض برای زمان و عمق آبیاری در مدل، به ترتیب، اعمال آبیاری پس از تخلیه‌ی عمق بحرانی و بازگرداندن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه می‌باشد؛ در این حالت فرض بر آن است که آبیاری بهینه وجود دارد و حداکثر دور آبیاری، به گونه‌ای خواهد بود که هیچ‌گونه تنشی برای گیاه ایجاد نشود. عمق متوسط آبیاری برای هر آبیاری، به روش آبیاری بستگی دارد. معمولاً در سیستم‌هایی مانند آبیاری میکرو و سنترپیوت با دور آبیاری کم، عمق آبیاری در هر نوبت آبیاری ده میلی‌متر و یا کم‌تر از آن است. در روش‌های آبیاری سطحی یا بارانی، معمولاً عمق آبیاری ۴۰ میلی‌متر و یا بیش‌تر خواهد بود. پس از اجرای مدل با روش آبیاری منتخب، خروجی مدل که آب

1 . No irrigation

واقعیِ مصرفی به وسیله‌ی گیاه می‌باشد همان مجموع تبخیر–تعرق گیاه در کل فصل رشد (ET_a) خواهد بود. هر یک از خروجی‌های کل آبیاری خالص و نیاز آبیاری واقعی در مدل که کم‌تر بود، همان تبخیر–تعرق آبی (ET_{blue}) خواهد بود. تبخیر–تعرق سبز (ET_{green})، کل تبخیر–تعرق صورت گرفته (ET_a) منهای تبخیر–تعرق آبی (ET_{blue}) که توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود، خواهد بود.

ممکن است فردی تصور کند که می‌توان تبخیر–تعرق سبز در شرایطی که آبیاری صورت می‌گیرد، را برابر با کل تبخیر–تعرقی سبزی که در شرایط دیم به‌دست می‌آید، دانست. بر این اساس، می‌توان با اجرای مدل تحت گزینه‌های آبیاری منتخب، تبخیر–تعرق آبی را از تفاضل مجموع تبخیر–تعرق شبیه‌سازی شده در شرایط آبیاری، از تبخیر–تعرق سبز شبیه‌سازی شده در شرایط دیم، محاسبه نمود. با این حال، باید محتاط بود، زیرا ممکن است ویژگی‌های گیاه (مانند عمق توسعه‌ی ریشه‌ی گیاه)، تحت شرایط آبیاری و دیم متفاوت باشند. پس برای هر شرایطی، باید ویژگی‌های گیاهی مناسب با همان روش را استفاده نمود. به این ترتیب، ممکن است تبخیر–تعرق سبزی که تحت شرایط دیم به‌دست می‌آید، با مقدار آن در شرایط آبیاری متفاوت باشد.

توجه کنید که در طول کل فصل رشد، تبخیر–تعرق آبی معمولاً کم‌تر از حجم واقعیِ آب آبیاری است که اعمال شده است. این تفاوت، به دلیل آن است که همواره، بخشی از آب آبیاری، در نتیجه‌ی رواناب و یا نفود عمقی، از مزرعه خارج می‌شود.

پیوست ب: محاسبه‌ی ردپای آب فرآیند[۱] رشد یک گیاه؛ مثلاً برای چغندرقند در والادولید[۲] (اسپانیا)

در این پیوست، مثالی درباره‌ی نحوه برآورد ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در فرآیند رشد یک گیاه ارایه شد. بدین منظور، تولید چغندرقند (Beta vulgaris var. vulgaris) در یک هکتار از مزرعه‌ای در منطقه‌ی والادولیدِ در شمال‌مرکزی اسپانیا درنظر گرفته شد.

مؤلفه‌های سبز و آبی ردپای آب فرآیند

ابتدا، تبخیر–تعرق سبز–آبی به وسیله‌ی مدل CROPWAT 8.0 برآورد شد (Allen et al., 1998; FAO, 2010b). دو روش مختلف برای این‌کار وجود دارد: به‌کارگرفتن گزینه‌ی نیاز آبی گیاه (یعنی CWR، تحت آن، شرایط بهینه درنظر گرفته می‌شود)؛ یا گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری (که در آن، می‌توان حجم واقعی آبیاری در زمان‌های مختلف را به مدل وارد نمود). یک کتابچه‌ی راهنمای کامل برای چگونگی استفاده از مدل CROPWAT 8.0 به صورت آنلاین وجود دارد (FAO, 2010b).

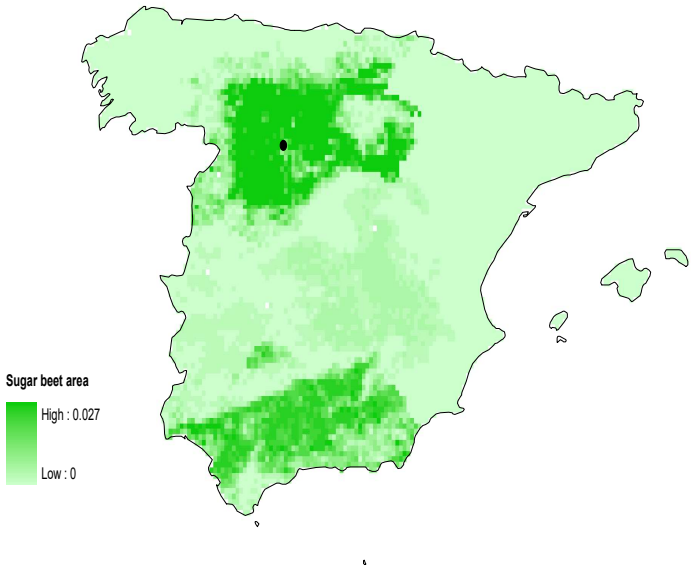
در هر دو روش، محاسبه‌ها با استفاده از داده‌های اقلیمی جمع‌آوری شده از نزدیک‌ترین و معروف‌ترین ایستگاه هواشناسی به مزرعه‌ی منتخب صورت گرفت (شکل ب–۲). داده‌های گیاهی تا حد امکان از ایستگاه‌های کشاورزی محلی تهیه شدند. تقویم کشت در مقیاس استانی از وزارت کشاورزی، شیلات و غذای اسپانیا به‌دست آمد (MAPA, 2001) (جدول ب–۱). در نواحی معتدل شمال اسپانیا، چغندر در بهار کشت شده و در پاییز برداشت می‌شود. در نواحی جنوبیِ گرم‌تر (اندالیوسیا[۳])، چغندرقند یک گیاه زمستانه است و در پاییز کشت شده و در بهار برداشت می‌شود. متناسب با ویژگی‌های اقلیمی و منطقه‌ای، ضرایب گیاهی و ارتفاع‌های گیاه از نشریه‌ی شماره‌ی ۵۶ فائو به‌دست آمد (جدول ۱۱ و ۱۲ از مرجع Allen *et al.*, 1998). داده‌های مربوط به عمق توسعه‌ی ریشه، میزان تخلیه‌ی بحرانی و ضرایب عکس‌العمل محصول از پایگاه جهانی داده‌های فائو به‌دست‌آمدند (FAO, 2010b). به علاوه، برای گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری، ویژگی‌های خاک نیز برای تخمین بیلان آب خاک نیاز هست که اطلاعات خاک فائو استفاده شد (FAO, 2010b).

---

۱. در حقیقت در این بخش، نحوه‌ی محاسبه‌ی ردپای آب یک فرآیند (ردپای آب فرآیند) آموزش داده می‌شود؛ به عنوان مثال در این پیوست، فرآیند رشد گیاه چغندرقند درنظر گرفته شده است.

2 . Valladolid

3 . Andalusia



شکل ب–۱. ایستگاه اقلیمی در والادولید (اسپانیا) (نقطه‌ی مشکی) و سطوح تحت کشت چغندرقند در اسپانیا (واحد: نسبتِ مساحت پیکسل‌ها). منبع مربوط به سطوح تحت کشت چغندر قند (Monfreda *et al.*, 2008)

جدول ب–۱. تاریخ کشت و برداشت و میزان عمل‌کرد محصولِ چغندرقند در والادولید (اسپانیا)

محصول	تاریخ کشت*	تاریخ برداشت**	عمل‌کرد محصول (ton/ha)**
چغندرقند	اول آوریل (مارچ–آوریل)	۲۷ سپتامبر (سپتامبر–اکتبر)	۸۱

* **منبع: MAPA (2001)**

** **منبع: ((MARM (2009))، بازه‌ی زمانی: ۲۰۰۶–۲۰۰۰**

جدول ب-۲. مجموع تبخیر-تعرق سبز-آبی بر اساس خروجی‌های به‌دست آمده تحت گزینه‌ی CWR در مدل CROPWAT 8.0

ماه	مرحله رشد	Stage	K_c -	ET_c mm/day	ET_c mm/period	P_{eff} mm/period	Irr. req. mm/period	ET_{green} mm/period	ET_{blue} mm/period
Apr	1	Init	0.35	1.02	10.2	12.6	0	10.2	0
Apr	2	Init	0.35	1.13	11.3	13.8	0	11.3	0
Apr	3	Init	0.35	1.24	12.4	14	0	12.4	0
May	1	Init	0.35	1.35	13.5	14.5	0	13.5	0
May	2	Init	0.35	1.45	14.5	15	0	14.5	0
May	3	Dev	0.48	2.2	24.2	13.8	10.4	13.8	10.4
Jun	1	Dev	0.71	3.55	35.5	12.7	22.7	12.7	22.8
Jun	2	Dev	0.94	5.02	50.2	11.9	38.3	11.9	38.3
Jun	3	Mid	1.15	6.6	66	9.8	56.3	9.8	56.2
Jul	1	Mid	1.23	7.58	75.8	7.1	68.6	7.1	68.7
Jul	2	Mid	1.23	8.05	80.5	5	75.6	5	75.5
Jul	3	Mid	1.23	7.8	85.8	4.8	81	4.8	81
Aug	1	Mid	1.23	7.59	75.9	4.1	71.8	4.1	71.8
Aug	2	Late	1.23	7.39	73.9	3.3	70.6	3.3	70.6
Aug	3	Late	1.13	6.05	66.6	5.7	60.9	5.7	60.9
Sep	1	Late	1	4.65	46.5	8.9	37.5	8.9	37.6
Sep	2	Late	0.87	3.51	35.1	11.2	23.8	11.2	23.9
Sep	3	Late	0.76	2.6	18.2	7.8	7	7.8	10.4
Over the total growing period					796	176	625	168	628

۱ گزینه‌ی نیاز آبی گیاه (CWR)

با این گزینه، نیاز آبی گیاه تحت شرایط بهینه برآورد می‌شود. این بدان معنی است که تبخیر-تعرق صورت گرفته (ET_c) برابر با همان نیاز آبی گیاه (CWR) است. شرایط بهینه، به معنی نبودِ بیماری‌های گیاهی، اعمال کوددهی مطلوب، رشد گیاه در مزرعه‌ای وسیع، وجود رطوبت بهینه در خاک و دستیابی به تولید بهینه تحت شرایط اقلیمی معلوم می‌باشد (Allen et al., 1998). در گزینه‌ی CWR، می‌توان مدل را تنها با ورود داده‌های اقلیمی و گیاهی اجرا نمود. با استفاده از مقادیر بارش مؤثر، مقادیر ET_c در گام‌های زمانی ۱۰-روزه تخمین زده شد. برای تخمین بارش مؤثر، روش USDA SCS (روش وزارت کشاورزی ایالت متحده‌ی آمریکا، سازمان حفاظت خاک) که یکی از روش‌های موجود در مدل است، انتخاب شد. در روش CWR، ET_c به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$ET_c = K_c \times ET_o \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۶۲)$$

که در آن؛ K_c ضریب گیاهی است که منعکس‌کننده‌ی ویژگی‌های گیاهی و تبخیر متوسط از خاک است. ET_o تبخیر–تعرق گیاه مرجع را نشان می‌دهد که مبین میزان تبخیر–تعرق صورت گرفته از یک سطح چمن فرضی فاقد محدودیت آب است.

هر یک از مقادیر ۱۰–روزه‌ی تبخیر–تعرق گیاه (ET_c) و بارش مؤثر (P_{eff}) که کم‌تر بود، تبخیر–تعرق سبز (ET_{green}) در نظر گرفته شد. مجموع تبخیر–تعرق سبز در کل فصل رشد، از حاصل‌جمع مقادیر ۱۰–روزه‌ی آن به‌دست آمد. تبخیر–تعرق آبی در گام‌های زمانی ۱۰–روزه (ET_{blue}) از تفاضل تبخیر–تعرق کل (ET_c) از بارش مؤثر (P_{eff}) در آن بازه‌ی زمانی به‌دست آمد. در شرایطی که بارش مؤثر بیش‌تر از نیاز آبی گیاه بود، تبخیر–تعرق آبی برابر با صفر درنظر گرفته شد. مجموع تبخیر–تعرق آبی در کل فصل رشد، از حاصل‌جمع مقادیر ۱۰–روزه‌ی آن به‌دست آمد (جدول ب–۲):

$$ET_{green} = \min\left(ET_c , P_{eff}\right) \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۶۳)$$

$$ET_{blue} = \max\left(0, ET_c - P_{eff}\right) \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۶۴)$$

۲ گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری

در گزینه‌ی دوم، می‌توان بر اساس بیلان رطوبت خاک، نیاز آبی گیاه در کل فصل رشد را برای هریک از شرایط بهینه و غیربهینه محاسبه نمود. تبخیر–تعرق محاسبه شده در این روش، تبخیر–تعرق گیاهی تعدیل‌شده (ET_a) نام دارد. در شرایط غیربهینه، ممکن است مقدار ET_a کم‌تر از مقدار ET_c باشد. عوامل متعددی می‌توانند حرکت آب در خاک، قابلیت نگهداشت آب درخاک و توانایی گیاه در جذب آب از خاک را متأثر سازند؛ مثلاً می‌توان به عوامل فیزیکی و وضعیتِ حاصل‌خیزی و شرایط زیستی خاک اشاره نمود. ET_a با استفاده از ضریب تنش رطوبتی (K_s) محاسبه می‌شود:

$$ET_a = K_s \times ET_c = K_s \times K_c \times ET_o \quad \text{بعد طول به زمان} \qquad (۶۵)$$

در این معادله، K_s، تأثیر تنش رطوبتی بر تعرق گیاه را منعکس می‌سازد. در خاک‌هایی که دارای کمبود رطوبت هستند، $K_s < 1$ بوده و زمانی که هیچ کمبود رطوبتی در خاک وجود نداشته باشد، $K_s = 1$ خواهد بود.

در گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری، داده‌های اقلیمی، گیاهی و خاک نیاز خواهد بود. برای تخمین تبخیر–تعرق سبز (ET_{green}) در شرایط دیم، باید گزینه‌ی بدون آبیاری (یعنی دیم) را از میان گزینه‌های متعددی که در نوارابزار مربوطه وجود دارد، انتخاب نمود (جدول ب–۳). در این سناریو، تبخیر–تعرق سبز (ET_{green}) کل تبخیر–تعرق شبیه‌سازی شده که در خروجی‌های مدل با عنوان آب واقعیِ مصرفی

به وسیله‌ی گیاه[1] مشخص می‌باشد. هم‌چنین، تبخیر–تعرق آبی (ET_{blue}) نیز برای سناریوی دیم، صفر خواهد بود.

برای تخمین تبخیر–تعرق سبز و آبی در کشاورزی آبی، بسته به شرایط واقعیِ اعمال آبیاری، می‌توان گزینه‌های مختلفی را برای عمق و زمان‌های آبیاری انتخاب نمود. گزینه‌ی پیش‌فرض برای زمان و عمق آبیاری در مدل به ترتیب، اعمال آبیاری پس از تخلیه‌ی عمق بحرانی و بازگرداندن رطوبت خاک به حد ظرفیت مزرعه می‌باشد. در این حالت، فرض بر آن است که آبیاری بهینه وجود–دارد و حداکثر دور آبیاری به گونه‌ای خواهد بود که هیچ‌گونه تنشی برای گیاه ایجاد ننماید. عمق متوسط آبیاری برای هر دوره‌ی آبیاری، به روش آبیاری بستگی دارد. معمولاً در سیستم‌هایی مانند روش‌های آبیاری میکرو و سنترپیوت، که تحت آن‌ها دور آبیاری کوتاه است، عمق آبیاری در هر نوبت آبیاری ده میلی‌متر و یا کم‌تر از آن است. در روش‌های آبیاری سطحی یا بارانی، معمولاً عمق آبیاری ۴۰ میلی‌متر و یا بیش‌تر خواهد بود. در مزرعه‌ی چغندرقند منتخب در منطقه‌ی والادولید اسپانیا، آبیاری هر هفت روز یکبار، با عمق ۴۰ میلی‌متر اعمال می‌شود (جدول ب–۴).

پس از اجرای مدل با روش آبیاری منتخب، خروجی "آب واقعیِ مصرفی به وسیله‌ی گیاه"، همان مجموع تبخیر–تعرق گیاه در کل فصل رشد گیاه (ET_a) خواهد بود. هر یک از خروجی‌های "کل آبیاری خالص" و "نیاز آبیاری واقعی" در مدل که کم‌تر بود، همان تبخیر–تعرق آبی (ET_{blue}) خواهد بود. تبخیر–تعرق سبز (ET_{green})، کل تبخیر–تعرق صورت گرفته (ET_a) منهای تبخیر–تعرق آبی (ET_{blue}) که توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود، خواهد بود.

1 . Actual water use by crop

جدول ب-۳. جدول خروجیِ مدل .CROPWAT 8.0 برای گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط دیم[۱]

CROP IRRIGATION SCHEDULE

ETo station: VALLADOLID Crop: Sugar beet Planting date: 01/04
Rain station: VALLADOLID Soil: Medium (loam) Harvest date: 27/09

Yield red.: 50.1 %

Crop scheduling options
Timing: No irrigation (rain-fed)
Application: -
Field eff. 70 %

Table format: Daily soil moisture balance

Date	Day	Stage	Rain	K_s	ET_a	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	-	mm	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
01-Apr	1	Init	0	1	1	1	0	1	0	0	0
02-Apr	2	Init	0	1	1	2	0	2	0	0	0
03-Apr	3	Init	6.7	1	1	1	0	1	0	0	0
04-Apr	4	Init	0	1	1	2	0	2	0	0	0
05-Apr	5	Init	0	1	1	3	0	3	0	0	0
06-Apr	6	Init	0	1	1	4	0	4.1	0	0	0
07-Apr	7	Init	6.7	1	1	1	0	1	0	0	0
08-Apr	8	Init	0	1	1	2	0	2	0	0	0
09-Apr	9	Init	0	1	1	3	0	3	0	0	0
10-Apr	10	Init	0	1	1	4	0	4.1	0	0	0
11-Apr	11	Init	0	1	1.1	5	0	5.2	0	0	0
12-Apr	12	Init	0	1	1.1	6	0	6.3	0	0	0
13-Apr	13	Init	7.4	1	1.1	1	0	1.1	0	0	0
…											
25-Sep	178	End	0	0.21	0.5	92	0	266.5	0	0	0
26-Sep	179	End	0	0.2	0.5	92	0	267	0	0	0
27-Sep	End	End	0	0.2	0	90					

Totals:

Total gross irrigation	0	mm	Total rainfall	190.3	mm
Total net irrigation	0	mm	Effective rainfall	171.1	mm
Total irrigation losses	0	mm	Total rain loss	19.3	mm
Actual water use by crop	432.2	mm	Moist deficit at harvest	261.1	mm

۱. این جدول، دقیقاً جدولی است که به صورت خروجی در مدل CROPWAT 8.0 ارایه می‌شود. بنابراین، به منظور آشنا شدن کاربر با شکل واقعیِ خروجی‌ها، از ترجمه‌ی آن خودداری شد.

Potential water use by crop	793.3	mm	Actual	irrigation requirement	622.3	mm	
Efficiency irrigation schedule	-	%		Efficiency rain	89.9	%	
Deficiency irrigation schedule	45.5	%					

Yield reductions:

Stage label	A	B	C	D	Season	
Reductions in ET_c	0	0	53.3	87.7	45.5	%
Yield response factor	0.5	0.8	1.2	1	1.1	
Yield reduction	0	0	64	87.7	50.1	%
Cumulative yield reduction	0	0	64	95.6		%

جدول ب-۴. جدول خروجیِ مدل .CROPWAT 8.0 برای گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری در شرایط آبیاری[۱]

CROP IRRIGATION SCHEDULE

ETo station: VALLADOLID Crop: Sugar beet Planting date: 01/04
Rain station: VALLADOLID Soil: Medium (loam) Harvest date: 27/09

Yield red.: 0.0 %

Crop scheduling options
Timing: Irrigate at user defined intervals
Application: Fixed application depth of 40 mm
Field eff. 70 %

Table format: Daily soil moisture balance

Date	Day	Stage	Rain	K_s	ET_a	Depl	Net Irr	Deficit	Loss	Gr. Irr	Flow
			mm	-	mm	%	mm	mm	mm	mm	l/s/ha
01-Apr	1	Init	0	1	1	1	0	1	0	0	0
02-Apr	2	Init	0	1	1	2	0	2	0	0	0
03-Apr	3	Init	6.7	1	1	1	0	1	0	0	0
04-Apr	4	Init	0	1	1	2	0	2	0	0	0
05-Apr	5	Init	0	1	1	3	0	3	0	0	0
06-Apr	6	Init	0	1	1	4	0	4.1	0	0	0
07-Apr	7	Init	6.7	1	1	1	40	0	39	57.1	6.61

۱. این جدول، دقیقاً جدولی است که به صورت خروجی در مدل CROPWAT 8.0 ارایه می‌شود. بنابراین، به منظور آشنا شدن کاربر با شکل واقعیِ خروجی‌ها، از ترجمه‌ی آن خودداری شد.

08-Apr	8	Init	0	1	1	1	0	1	0	0	0
09-Apr	9	Init	0	1	1	2	0	2	0	0	0
10-Apr	10	Init	0	1	1	3	0	3	0	0	0
11-Apr	11	Init	0	1	1.1	4	0	4.2	0	0	0
12-Apr	12	Init	0	1	1.1	5	0	5.3	0	0	0
13-Apr	13	Init	7.4	1	1.1	1	0	1.1	0	0	0
…											
25-Sep	178	End	0	1	2.6	6	0	16.3	0	0	0
26-Sep	179	End	0	1	2.6	7	0	18.9	0	0	0
27-Sep	End	End	0	1	0	4					

Totals:

Total gross irrigation	1428.6	mm	Total rainfall	190.3	mm
Total net irrigation	1000.0	mm	Effective rainfall	125.1	mm
Total irrigation losses	344.8	mm	Total rain loss	65.2	mm
Actual water use by crop	793.3	mm	Moist deficit at harvest	13.0	mm
Potential water use by crop	793.3	mm	Actual irrigation requirement	668.3	mm
Efficiency irrigation schedule	65.5	%	Efficiency rain	65.7	%
Deficiency irrigation schedule	0.0	%			

Yield reductions:

Stage label	A	B	C	D	Season	
Reductions in ET_c	0	0	0	0	0	%
Yield response factor	0.5	0.8	1.2	1	1.1	
Yield reduction	0	0	0	0	0	%
Cumulative yield reduction	0	0	0	0		%

در هر دو گزینه‌ی CWR و برنامه‌ریزی آبیاری، میزان تبخیر–تعرق گیاه، به جای میلی‌متر (mm) بر حسب مترمکعب در هکتار (m^3/ha) بیان شد که بدین منظور واحد mm در ضریب ده ضرب شد. مؤلفه‌ی سبز در ردپای آب فرآیند رشد یک گیاه ($WF_{proc,green}$, m^3/ton) از تقسیم مؤلفه‌ی سبز آبی مصرفیِ گیاه (CWU_{green}, m^3/ha) بر عمل‌کرد محصول (ton/ha) به‌دست می‌آید. مؤلفه‌ی آبی در ردپای آب فرآیند رشد یک گیاه ($WF_{proc,blue}$, m^3/ton) با روشی مشابه محاسبه می‌شود:

$$WF_{proc,green} = \frac{CWU_{green}}{Y}$$ بعد حجم بر جرم (۶۶)

$$WF_{proc,blue} = \frac{CWU_{blue}}{Y}$$ بعد حجم بر جرم (۶۷)

خروجیِ هر دو گزینه در جدول ب–۵ ارایه شد. خروجی‌های این دو روش از نظر مجموع تبخیر–تعرق و ردپای آب متعاقب آن، یکسان است، اما ازنظر نسبت ردپای آب یا تبخیر–تعرق آبی به سبز، کاملاً متفاوت است.

جدول ب–۵. محاسبه‌ی مؤلفه‌های سبز و آبی ردپای آب فرآیند رشد گیاه (m^3/ton) برای چغندرقند در والادولید اسپانیا، با استفاده از گزینه‌های برنامه‌ریزی آبیاری برای یک خاک متوسط

گزینه‌ی CROPWAT	ET_{green}	ET_{blue}	ET_a	CWU_{green}	CWU_{blue}	CWU_{tot}	Y*	$WF_{proc,green}$	$WF_{proc,blue}$	WF_{proc}
	میلی‌متر بر کل فصل رشد			m^3/ha			ton/ha	m^3/ton		
گزینه‌ی CWR	168	628	796	1680	6280	7960	81	21	78	98
گزینه‌ی برنامه‌ریزی آبیاری	125	668	793	1250	6680	7930	81	15	82	98

منبع: ((MARM (2009))، بازه‌ی زمانی: ۲۰۰۶–۲۰۰۰

محاسبات فوق، تبخیر–تعرق از سطح مزرعه را نشان می‌دهد؛ ما تاکنون میزان آب سبز و آبی‌ای که در بطن محصول جای‌داده شده، را محاسبه ننموده‌ایم. میزان آب در محصول چغندرقند، معمولاً ۸۰–۷۵ درصد از وزن آن را در زمان برداشت تشکیل می‌دهد؛ این بدان معنی است که اگر تنها بخواهیم ردپای آب را بر اساس آبی که در بطن محصول جای داده شد، محاسبه کنیم، ردپای آب چغندرقند، ۰/۸–۰/۷۵ مترمکعب بر تن خواهد بود. این مقدار، کم‌تر از یک درصد از کل ردپای آبی است که با لحاظ میزان تبخیر–تعرق از مزرعه به‌دست می‌آید.

مؤلفه‌ی خاکستری ردپای آب فرآیند رشد گیاه

مؤلفه‌ی خاکستری ردپای آب فرآیند رشد یک گیاه (m^3/ton)، از تقسیم میزان آلاینده‌ای که به سیستم‌های آبی می‌رسد (kg/yr) بر اختلاف بین حداکثر غلظت مجاز برای آن آلاینده در پیکره‌ی آبی (c_{max}) از غلظتِ طبیعیِ آن در منابع آبی (c_{nat}) به‌دست می‌آید (جدول ب–۶). در این مثال،

کسری از نیتروژن که آزادانه به منابع آبی می‌رسد، ده درصد از میزان کود مصرفی (بر حسب kg/ha/yr) درنظر گرفته شد (Hoekstra and Chapagain, 2008). تأثیر استفاده از دیگر عناصر مغذی، آفت‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها بر محیط زیست، بررسی نشد. کل آب مورد نیاز برای پذیرش هرتن نیتروژن در پیکره آبی (آب خاکستری)، با استفاده از میزان نیتروژنی که از طریق رواناب و یا آبشویی به آن می‌رسد و حداکثر غلظت مجاز نیتروژن در آب به‌دست آمد. برای نیتروژن، مقدار c_{max} برابر با ده درصد درنظر گرفته شد. این حد، برای محاسبه‌ی آب شیرین موردنیاز برای پذیرش بار آلاینده‌ها درنظر گرفته شد. به دلیل نبودِ داده‌های مناسب، غلظت طبیعی نیتروژن در آب برابر با صفر درنظر-گرفته شد. داده‌های مربوط به کودها از پایگاه داده‌ی FertiStat به‌دست آمد (FAO, 2010c).

جدول ب-۶ محاسبه‌ی مؤلفه‌ی خاکستری ردپای آب فرآیند رشد چغندرقند (m^3/ton) در منطقه‌ی والادولید اسپانیا

ردپای آب خاکستری چغندرقند ($WF_{proc,grey}$)	تولید**	مقدار مطلق ردپای آب خاکستری چغندرقند ($WF_{proc,grey}$)	c_{max}	کسر نیتروژن رسیده به پیکره آبی به واسطه‌ی آبشویی یا رواناب (۱۰ درصد)	کل کود مصرفی	مساحت	میزان متوسط کوددهی*
m^3/ton	ton	10^6 m^3/year	mg/l	ton/year	ton/year	ha	kg/ha
22	81	0.002	10	0.02	0.2	1	178

* منبع: FertiStat (FAO, 2010c)

** منبع: MARM (2009) بازه‌ی زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۰

پیوست ج: محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول ؛
مثالی برای شکر تصفیه شده در منطقه‌ی والادولید[1] (اسپانیا)

در این پیوست، مثالی برای چگونگی تخمین ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستریِ یک محصول ارایه شد. محصول منتخب در این پیوست، شکر تصفیه‌شده‌ای است که در منطقه‌ی والادولید اسپانیا تولید می‌شود.

اگر یک محصول گیاهی اولیه[2]، به یک محصول گیاهی فرآوری شود (مثلاً، چغندرقندی که به شکر خام تبدیل می‌شود[3])، اغلب، بخشی از وزن گیاه کم می‌شود، زیرا تمام گیاه برای تولید محصول گیاهی فرآوری‌شده‌ی استفاده نمی‌شود. ردپای آب یک محصول گیاهی فرآوری‌شده، از تقسیم ردپای آب محصول‌های ورودی بر کسر محصول[4] به‌دست می‌آید. کسر محصول، از تقسیم مقدار محصول خروجی موردنظر بر مقدار محصول ورودی به‌دست می‌آید. کسر محصول برای محصول‌های مختلف گیاهی را می‌توان از درخت کالا[5] که در فائو (FAO, 2003) و چاپاگین و هوکسترا (Chapagain and Hoekstra, 2004) ارایه شد، به‌دست آورد. شکل ج-۱، درخت کالا برای شکر تصفیه‌شده را نشان می‌دهد. اگر محصول ورودی، به دو یا چند محصول خروجی فرآوری شود، باید ردپای آب محصول‌های ورودی بین محصول‌های خروجی تقسیم شود. این کار، بر اساس ارزش محصول‌های خروجی صورت می‌پذیرد. کسر ارزش برای یک محصول فرآوری شده خاص از نسبت ارزش بازاری آن محصول بر مجموع ارزش بازاری تمامی محصول‌های خروجی آن محصول‌های ورودی به‌دست می‌آید. اگر در حین فرآوری محصول، آبی مصرف شود، قبل از توزیع مجموع ردپای آب بین محصول‌های خروجی، این مقدار آب نیز باید به مقدار ردپای آب محصول(های) اولیه (یعنی محصول(های) ورودی، اضافه شود.

---

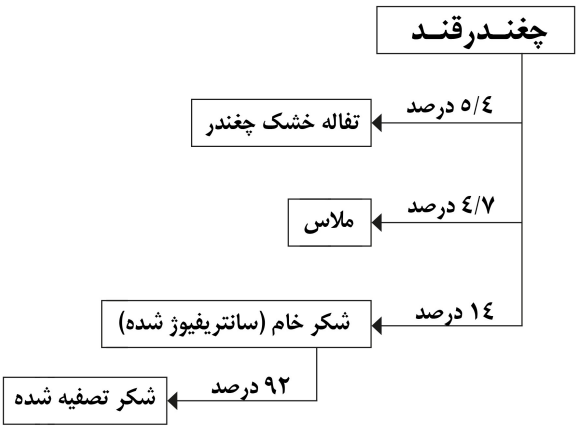
1 . Valladolid

2 . Primary crop

۳. در این‌جا، چغندرقند، همان گیاه اولیه (primary crop) است و شکر، محصول فرآوری شده گیاهی (processed crop production) است.

4 . Production fraction

5 . Commodity tree



شکل ج-۱ دیاگرام تولید شکر تصفیه‌شده اسپانیایی (از چغندرقند) به همراه کسرهای تولید. منبع: یافته‌های شخصی بر اساس داده‌های فائو (FAO, 2003)

چغندرقند، طبیعتاً حاوی شکر است. در یک کارخانه‌ی تولید شکر، این شکر از چغندر استخراج شده و به دانه‌های ریز شکر تبدیل می‌شود. در محدوده‌ی پژوهش منتخب، چغندر در اواسط سپتامبر برداشت می‌شود. بخش اعظم چغندر، با کامیون حمل می‌شود. در کارخانه، ابتدا چغندرها در واحدهای شستشوی بزرگ شسته می‌شوند. به منظور استفاده‌ی مجدد، آب استفاده شده برای شستشوی چغندرها، در ایستگاه تصفیه پاکسازی می‌شود. خاکی که از سطح چغندرها حذف می‌شود، ابتدا در مزراع انبار می‌شود و سپس مثلاً، برای ایجاد دایک‌ها استفاده می‌شوند. سپس، چغندرهای تمیز شده توسط ماشین‌های برش، به صورت خلال درمی‌آیند. شکر موجود در این خلال‌ها، به وسیله‌ی آب گرم در برج‌های عصاره‌گیری، استخراج می‌شوند. نتیجه‌ی این فرآیند، شیره‌ی خامی با غلظتِ شکرِ ۱۴ درصد است (FAO, 2003). این درصد، همان مقدار شکری است که در خود چغندرقند وجود دارد. حال، این خلال‌های چغندر -که شکر آن‌ها استخراج شده است-، تفاله‌ی چغندر نام دارند. این تفاله‌ها، فشرده و یا خشک می‌شوند و به صورت غذای دامی، فروخته می‌شوند. مرحله‌ی بعدی در فرآیند تولید، خالص‌سازی شیره‌ی خام است. شیره‌ی خام به وسیله‌ی آهک و دی‌اکسید کربن (CO_2) تصفیه‌شده و به شربت رقیق تبدیل می‌شود. آهک و CO_2 در کوره‌های آهک در همان محوطه‌ی کارخانه و به وسیله‌ی سنگ آهک و کک‌ها به‌دست می‌آید. آهک، تمام مواد نامطلوب را جذب کرده و پس از افزودن CO_2 رسوب می‌کند. این ماده‌ی جامد، فیلتر می‌شود. این ماده،که یک کود آهکی قوی و طبیعی است، می‌تواند ساختار خاک را بهبود دهد. این ماده باعنوان Betacal SU فروخته می‌شود.

وقتی آب تبخیر می‌شود، شربت رقیق، غلیظ‌تر می‌شود به نحوی‌که درصد شکر در آن، تقریباً برابر با ۷۰ درصد می‌شود. در نهایت، مقدار زیادی از آب، در تشتک‌های خلا[1]، تبخیر می‌شود و حین این فرآیند، یک محلول اشباع به‌دست می‌آید. سپس، با اضافه نمودن دانه‌های ریز شکر، که هسته‌ی مرکزی کریستال‌های شکر محسوب می‌شود، فرآیند تبلور[2] آغاز می‌گردد. همگام با ادامه یافتن فرآیند تبخیر، کریستال‌های شکر تا رسیدن به اندازه‌ی مطلوب، شکل می‌گیرند. در سانتریفیوژها، کریستال-های شفاف شکر از محلول (یعنی همان شربت) جدا می‌شوند و سپس، شکر در سیلوهای بزرگ ذخیره می‌شود. شربت باقی‌مانده[3]، ملاس نام داشته و ماده‌ی اولیه‌ی خام برای تولید الکل در نظر گرفته می شود.

فرآورده‌های جانبی صنعت شکر در دیاگرام شکل ج-۱ نشان داده شدند. تفاله‌ی چغندر، خشک می‌شود و از طریق کارخانه‌های تولید خوراک دام، به دامداران فروخته می‌شود. این دامداران، یا مستقیماً از تفاله‌ی خشک استفاده می‌کنند و یا آن را به صورت فشرده در سیلوها ذخیره نموده و به تدریج از آن، برای تولید گوشت و شیر استفاده می‌کنند. هم‌چنین، این تفاله به کشاورزانی که خوک دارند، نیز فروخته می‌شود. از آنجایی که مقدار ماده‌ی خشک موجود در کودهای ناشی از فضولات این نوع دام بیش‌تر بوده و میزان تولید آمونیاک در مکان نگهداری خوک‌ها کم‌تر است، بنابراین، اختصاص تفاله به چنین کشاورزانی می‌تواند باعث دستیابی به اثرات زیست‌محیطی مطلوبی شود. شواهد مثبتی نیز درباره‌ی آثار امیدوارکننده‌ی استفاده از تفاله‌ی چغندرقند برای تغذیه‌ی خوک‌ها ارایه شد. ملاس تولید شده در کارخانه‌ی شکر، به کارخانه‌های تولید الکل فروخته می‌شود و محصول متناظر به‌دست آمده از این ماده‌ی ورودی در کارخانه‌ی الکل (vinasses)، در صنایع لبنی استفاده می‌شود و امروزه، بخش اندکی از آن، که کود پتاسیم محسوب می‌شود، کشاورزان از آن استفاده می-کنند.

در حین فرآیندی که در بالا توضیح داده شد، استفاده از آب، تا حد امکان کاهش یافته است. کارخانه‌های شکر، به ویژه از آب چغندر استفاده می‌کنند. آب چغندر، از تغلیظ بخار آب حین فرآیند تولید به‌دست می‌آید. بیش از ۷۵ درصد از چغندرقند را آب تشکیل می‌دهد؛ بنابراین حین تولید شکر، آب مازادی که منبع آن چغندرقند است، به وجود خواهد آمد. پس از تصفیه، این آب به منابع آب سطحی زهکشی می‌شود. حین شستن چغندرها، مواد آلی به آب وارد می‌شوند و تصفیه می‌شوند.

1 . Vacuum pans
2- Crystallization
3 . Syrup

علاوه بر تصفیه‌ی هوازی، تصفیه‌ی بی‌هوازی نیز در موتورهای متان که در آن گازهای زیستی پایدار تولید می‌شوند، وجود دارد.

ردپای آب شکر تصفیه شده، به مؤلفه‌های سبز، آبی و خاکستری تفکیک شدند. این کار، در دو مرحله انجام شد: مرحله‌ی اول، برای شکر خام و مرحله‌ی دوم، برای شکر تصفیه‌شده. ابتدا، ردپای آب آبی برای شکر خام با استفاده از رابطه‌ی زیر به دست آمد:

$$WF_{prod}[p] = \left(WF_{proc}[p] + \sum_{i=1}^{y} \frac{WF_{prod}[i]}{f_p[p,i]} \right) \times f_v[p] \quad \text{بعد حجم بر جرم} \qquad (۶۸)$$

همان گونه که توضیح داده شد، ردپای آب فرآیند ($WF_{proc}[p]$) برابر با صفر است. ردپای آب آبی چغندرقند ورودی ($WF_{prod}[i]$) که در منطقه‌ی والادولید اسپانیا تولید شد، برابر با ۸۲ مترمکعب بر تن بود (پیوست ب). کسر محصول ($f_p[p,i]$)، همان‌گونه که در دیاگرام ارایه شده در شکل ج-۱ ارایه شد، برابر با ۰/۱۴ تن بر تن می‌باشد. کسر ارزش ($f_v[p]$) تقریباً برابر با ۰/۸۹ دلار بر دلار است که به صورت زیر محاسبه شد:

$$f_v[p] = \frac{price[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^{z} \left(price[p] \times w[p] \right)} \quad \text{بعد حجم بر جرم} \qquad (۶۹)$$

$$f_v[p] = \frac{price_{rawcentr.beetsugar} \times weight_{rawcentr.beetsugar}}{price_{drybeetpulp} \times w_{drybeetpulp} + price_{molasses} \times w_{molasses} + price_{rawcentr.beetsugar} \times w_{rawcentr.beetsugar}} \qquad (۷۰)$$

روی‌هم رفته، ردپای آب آبی شکر خام، برابر با ۵۲۴ مترمکعب بر تن به‌دست آمد.

در مرحله‌ی دوم، ردپای آب آبی شکر تصفیه شده، محاسبه شد. در این مورد نیز ردپای آب فرآیند ($WF_{proc}[p]$) برابر با صفر است. ردپای آب آبی چغندرقند خام ($WF_{prod}[i]$)، که محصول ورودی در این مرحله محسوب می‌شود، برابر با ۵۲۴ مترمکعب بر تن بود. کسر محصول ($f_p[p,i]$) در دیاگرام تولید شکر، برابر با ۰/۹۲ تن بر تن و کسر ارزش ($f_v[p]$)، به دلیل وجود تنها یک محصول خروجی در این فرآیند، برابر با یک دلار بر دلار به‌دست آمد. در نهایت، ردپای آب آبی شکر تصفیه‌شده در منطقه-ی والادولید اسپانیا، برابر با ۵۷۰ مترمکعب بر تن به‌دست آمد. ردپای آب سبز و خاکستری نیز به روشی مشابه محاسبه شد (جدول ج-۱).

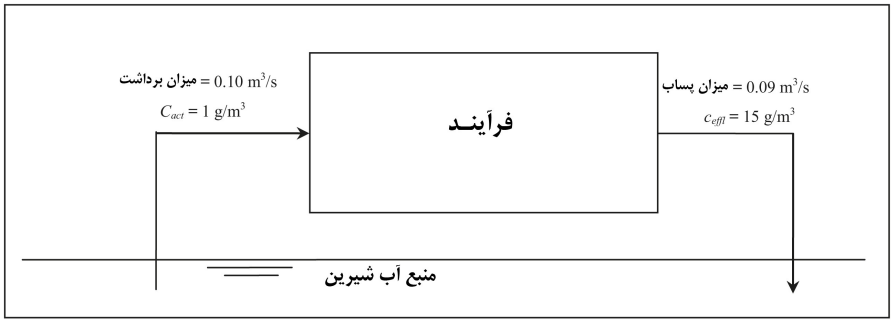
جدول ج-۱. ردپای آب سبز، آبی و خاکستری برای چغندرقند در منطقه‌ی والادولید اسپانیا (m^3/ton)

ردپای آب محصول برای شکر تصفیه‌شده (m^3/ton)				ردپای آب فرآیند برای گیاه چغندرقند (m^3/ton)			
WF_{total}	$WF_{proc,grey}$	$WF_{proc,blue}$	$WF_{proc,green}$	WF_{total}	$WF_{proc,grey}$	$WF_{proc,blue}$	$WF_{proc,green}$
829	152	570	107	120	22	82	15

پیوست د: مثال‌هایی از محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری

مثال ۱- ردپای آب خاکستریِ ناشی از آلودگی نقطه‌ای

یک فرآیند آب‌بر، مانند آنچه در زیر توصیف شده است را درنظر بگیرید. میزان برداشت آب، ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه و پساب تولیدی، ۰/۰۹ مترمکعب بر ثانیه است که به‌دلیل تبخیر مقداری آب در فرایند و بازگشت نکردن آن به منبع آب شیرین، کمی کمتر از برداشت می‌باشد. غلظتِ طبیعیِ یک ماده‌ی شیمیایی خاص در منبع آب مدنظر (c_{natl}) برابر با ۰/۵ گرم بر مترمکعب است، اما غلظت واقعی این ماده در محل برداشت آب، به دلیلِ فعالیت‌های آلوده‌کننده‌ی بالادست، تقریباً یک گرم بر مترمکعب می‌باشد. غلظتِ این ماده‌ی شیمیایی در پساب (c_{effl}) برابر با ۱۵ گرم بر مترمکعب است. حداکثر غلظتِ مجاز این ماده‌ی شیمیایی در آب، ۱۰ گرم بر مترمکعب است. به این ترتیب، بار اضافی که در نتیجه‌ی این فرآیند به منبع آبی موردنظر وارد می‌شود، برابر ۱/۲۵ گرم بر ثانیه ($0.09 \times 15 - 0.1 \times 1 = 1.25$ g/s) خواهد بود. ردپای آب خاکستریِ متناظر این بار برابر با ۰/۱۳ مترمکعب بر ثانیه ($(1.25 / (10 - 0.5) = 0.13$ m^3/s) می‌باشد.



در این مثال، غلظت آلاینده در پساب، بیش‌تر از حداکثر غلظت مجاز آن در منبع آب شیرین است. یک مدیر باهوش، که دانشی در زمینه‌ی اثرات زیست‌محیطی ندارد، به این می‌اندیشد که برای رقیق‌سازی پساب و رساندن غلظت آن به حداکثر غلظت مجاز، آب بیش‌تری از منبع آب شیرین برداشت کند. به این ترتیب، آب برداشتی را از ۰/۱ به ۰/۱۵ مترمکعب بر ثانیه افزایش خواهد داد. در این‌صورت، میزان پساب ۰/۱۴ مترمکعب بر ثانیه خواهد بود، زیرا میزان تبخیر حین فرآیند، همان مقدار قبلی خود (۰/۱ مترمکعب بر ثانیه) خواهد بود. در شرایط جدید، غلظت ماده‌ی شیمیایی آلاینده در پساب، به ۱۰ گرم بر مترمکعب خواهد رسید، ولی مجموع باری که به منبع آب شیرین وارد

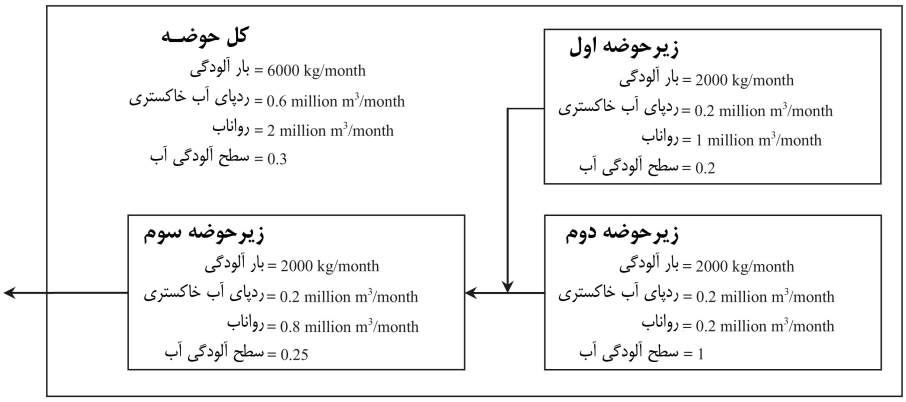
می‌شود، همان مقدار قبلی خود خواهد بود ($0.14 \times 10 - 0.15 \times 1 = 1.25$ g/s). هم‌چنین، ردپای آب خاکستری این فرآیند نیز همان مقدار قبلی خود خواهد بود ($1.25 / (10 - 0.5) = 0.13$ m^3/s). ممکن است این‌گونه به نظر برسد که کاری که این مدیر انجام داده است، خوب بوده است، زیرا این کار باعث شده تا غلظت آلاینده در پساب به حداکثر غلظت مجاز آن کاهش یابد، ولی این کار هیچ تأثیری بر منبع آب شیرین نداشت، زیرا میزان بار نهایی وارد شده به این منبع آب و ردپای آب خاکستری متناظر آن تغییر نیافت.

در نهایت، فرض کنیم این مدیر تصمیم بگیرد که با همان میزان قبلی، یعنی ۰/۱ مترمکعب بر ثانیه آب را برداشت کند، در عوض، قبل از تخلیه پساب، آن را تصفیه نماید؛ حین تصفیه، بخش زیادی از مواد شیمیایی حذف می‌شود. فرآیند تصفیه به گونه‌ای طراحی شد که حین آن، هیچ‌گونه تلفاتی ناشی از تبخیر آب صورت نمی‌گیرد. در نتیجه، حجم پساب، همان مقدار قبلی خود، یعنی ۰/۰۹ مترمکعب بر ثانیه خواهد بود، ولی غلظت ماده‌ی شیمیایی آلاینده در پساب (c_{effl}) از ۱۵ گرم بر مترمکعب به ۲ گرم بر مترمکعب کاهش داده می‌شود. حال، بار (اضافی)ای که حین این فرآیند به منبع آب شیرین وارد می‌شود، برابر با ۰/۰۸ گرم بر ثانیه خواهد بود ($0.09 \times 2 - 0.1 \times 1 = 0.08$ g/s). ردپای آب خاکستری این بار نیز ۰/۰۰۸۴ مترمکعب بر ثانیه خواهد بود ($0.08 / (10 - 0.5) =$ 0.0084 m^3/s). اگرچه غلظت ماده‌ی شیمیایی در پساب کم‌تر از حداکثر غلظت مجاز آن در منبع آب شیرین است، باز هم میبینیم که ردپای آب خاکستری برابر با صفر نیست، زیرا هنوز غلظت ماده‌ی شیمیایی آلاینده در پساب، بیش‌تر از غلظت طبیعی آن در منبع آب شیرین است، بنابراین، این فرآیند نیز بخشی از ظرفیت جذب پسماند در طبیعت را مصرف می‌کند.

مثال ۲: محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری در سطوح مختلف

حوضه‌ای آبریزی را درنظر بگیرید که همانند شکل زیر، مشتمل بر سه زیرحوضه است. در بالادست، دو زیرحوضه وجود دارد که آب آن‌ها، به زیرحوضه‌ی سوم در پایین دست زهکشی می‌شود. در هریک از این زیرحوضه‌ها، مجموع بار ورودی یک آلاینده‌ی خاص در یک ماه خاص، برابر با ۲۰۰۰ کیلوگرم می‌باشد. با فرض آن‌که غلظت طبیعی و حداکثر غلظت مجاز این آلاینده در منبع آب شیرین به ترتیب صفر و ۰/۰۱ کیلوگرم بر مترمکعب باشد، میزان آب خاکستری ناشی از ورود این بار در هر زیرحوضه در ماه موردنظر، ۰/۲ میلیون مترمکعب خواهد بود ($2000 / (0.01 - 0) = 0.2$ million m^3). در آن ماه، میزان رواناب در زیرحوضه‌ی اول، یک میلیون مترمکعب، در زیرحوضه‌ی دوم، ۰/۲ میلیون مترمکعب، و در زیرحوضه‌ی سوم، ۰/۸ میلیون مترمکعب است. با فرض آن‌که مدت

زمان ماندگاری آب در حوضه (یعنی زمان تاخیر) اندک باشد، می‌توان فرض نمود که رواناب کل حوضه، برابر با مجموع رواناب زیرحوضه‌ها، یعنی دو میلیون مترمکعب است. می‌توان از تقسیم مقدار مطلق آب خاکستری بر میزان رواناب برای هر زیرحوضه، یک سطح آلودگی[1] محاسبه نمود. نتایج این محاسبه‌ها در شکل زیر نشان داده شد. در زیرحوضه‌ی دوم، سطح آلودگی برابر با یک است؛ این بدان معنی است که ظرفیت پذیرش پسماند در این زیرحوضه، به صورت کامل مصرف شد، اما این مسأله در دیگر زیرحوضه‌ها وجود ندارد. اگر کل حوضه، یک‌جا درنظر گرفته شود، سطح آلودگی برابر با ۰/۳ به دست خواهد آمد. این یافته مبین آن است که وقتی توزیع آلودگی در حوضه‌ای یکسان نباشد، نقاط کانونی تنها وقتی نمایان خواهند شد که مقیاس‌های مکانی به اندازه‌ی کافی ریز درنظر گرفته شوند.



با این مثال، هم‌چنین می‌توان به این سوال نیز پاسخ داد که چرا معیار اندازه‌گیری آب خاکستری، بار آلودگی وارد شده به منابع آب شیرین در نتیجه‌ی فعالیت‌های بشری بوده و این محاسبه، بر اساس میزان بار اندازه‌گیری شده در پایین‌دست رودخانه، یعنی جایی که این آلودگی حوضه را ترک می‌کند، صورت نمی‌گیرد. فرض کنید بار آلودگی‌ای که به زیرحوضه‌ی اول وارد شد، حین حرکت از این زیرحوضه به زیرحوضه‌ی سوم، تحت فرآیندهای بیوشیمیایی تا حدی کاهش یافته و در نهایت، تنها ۸۰ درصد از این آلودگی به زیرحوضه‌ی سوم برسد. تصور کنید همین وضع، برای تخلیه‌ی بار آلودگی زیرحوضه‌ی دوم به سوم نیز وجود داشته باشد. در نهایت، فرض کنید که ۹۰ درصد از کل باری که به زیرحوضه‌ی سوم وارد می‌شود، سرانجام این زیرحوضه را در نقطه‌ی خروجیِ حوضه ترک می‌کند. به این ترتیب، مجموع بار آلودگی در نقطه‌ی خروجی ۵۰۰۰ کیلوگرم خواهد بود که این مقدار، کم‌تر از

1 . Water pollution level (WPL)

آن‌چه واقعاً به منابع آبی حوضه وارد شده و در سطح آن، توزیع شده است (۶۰۰۰ کیلوگرم)، می‌باشد. بنابراین، اگر در محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری، به جای باری که واقعاً به حوضه وارد شده، بار آلودگی اندازه‌گیری‌شده در پایین‌دست درنظر گرفته شود، تصور غلطی از تأثیر واقعی چنین شرایطی ایجاد خواهد شد. اگر اندکی مسأله‌ی فوق را تغییر دهیم، این موضوع شفاف‌تر خواهد شد. فرض کنید که بار آلودگی در زیرحوضه‌های اول تا سوم، به ترتیب ۱۰۰۰۰، ۲۰۰۰ و ۸۰۰۰ کیلوگرم بر ماه است. چنین باری، باعث می‌شود تا میزان سطح آلودگی آب برای هر سه زیرحوضه، برابر با یک باشد. وقتی سطح آلودگی در هر سه زیرحوضه برابر با یک باشد، میزان این شاخص برای کل حوضه نیز برابر با یک خواهد بود. حال، اگر بخواهیم میزان بار آلودگی در خروجی زیرحوضه‌ی سوم را (با روشی که در بالا توضیح داده شد) محاسبه کنیم، مقدار آن، ۱۶۸۰۰ کیلوگرم در ماه خواهد بود (0.8×(10000+2000) + 0.9×8000 = 16800 kg/month). با این بار آلودگی که در خروجی حوضه اندازه‌گیری شده است، میزان شاخص سطح آلودگی آب برابر عدد غیر واقعی ۰/۸۴ به‌دست خواهد آمد.

پیوست ه: جریان‌های زیست‌محیطی موردنیاز[1]

در چارچوب مباحث ردپای آب، داشتن استانداردهایی برای جریان‌های زیست‌محیطی، امری حیاتی است. بر اساس اعلامیه‌ی بریزبن[2]، که در دهمین کنفرانسِ سمپوزیوم بین‌المللی رودخانه و جریان‌های زیست‌محیطی در سال ۲۰۰۷ در بریزبن استرالیا تدوین شد، جریان‌های زیست‌محیطی مورنیاز، به صورت مقدار، زمان و کیفیت جریان موردنیاز برای حفظ منابع آب شیرین و اکوسیستم‌های وابسته به آن، و حفظ معیشت و رفاه بشری که به این اکوسیستم‌ها وابسته است، تعریف شد (Poff *et al*., 2010).

اگر علاقه‌مند به اثرات زیست‌محیطی ردپای آب آبی (یعنی مصرف رواناب) باشیم، باید جریان زیست‌محیطی موردنیاز در حوضه‌ای که این ردپای آب در آن واقع شد، را بدانیم. بدین منظور، باید مقدار و زمان برقراری جریان آبی که از نظر زیست‌محیطی موردنیاز است، را بدانیم. آب در دسترس برای فعالیت‌های بشری، همان حجم آبی است که از تفاضل رواناب طبیعی (R_{nat}) از جریان‌های زیست‌محیطی موردنیاز (EFR) به‌دست می‌آید. بنابراین، آب آبی در دسترس (یا موجود) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$WA_{blue} = R_{nat} - EFR \quad \text{بعد حجم بر زمان} \qquad (۷۱)$$

ردپای آب آبی (WF_{blue}) در یک حوضه‌ی آبریز، باید با میزان آب آبی در دسترس (WA_{blue}) مقایسه شود. وقتی باید نگران شد که WF_{blue} معادل و یا بیش‌تر از WA_{blue} می‌شود. رواناب طبیعی را می‌توان از تفاضل رواناب واقعی از ردپای آب آبی به‌دست آورد. ما میزان رواناب را برای بسیاری از حوضه‌های آبریز جهان می‌دانیم و اگر هم داده‌ی مشاهده‌ای وجود نداشته باشد، می‌توانیم آن‌ها را با مدل‌سازی به‌دست بیاوریم. مقیاس‌های زمانیِ این داده‌ها، گاهی روزانه است، ولی دست‌کم، معمولاً این اطلاعات را در مقیاس ماهانه داریم. اطلاعات مربوط به ردپای آب، اغلب در مقیاس سالانه گزارش می‌شوند، اما تغییرات زمانی این داده‌ها نیز وجود دارد، زیرا محاسبات ردپای آب، اغلب بر مبنای آبیاری‌های یک تا ده روزه صورت می‌گیرد. می‌توان مقایسه‌ی WF_{blue} با WA_{blue} را در مقیاس سالانه انجام داد، اما این کار، منتج به تخمینی بسیار کلی و خام از آن‌چه واقعاً در طول سال رخ می‌دهد، به دست خواهد داد. بنابراین، بهتر است این مقایسه‌ها، مثلاً در مقیاس ماهانه صورت بگیرد.

1 . Environmental flow requirements
2 . Brisbane Declaration

متون علمی متعددی وجود دارد که ثابت می‌کند تعیین EFR در یک حوضه خاص، امری دشوار است. چنین چیزی، بشر را برای تدوین یک استاندارد ساده، کلی و به‌کارگیری آسان برای تخمین EFR وسوسه می‌کند. با وجود چنین استانداردی، به راحتی می‌توان اثرات زیست‌محیطی یک ردپای آب را در حوضه دلخواه در جهان ارزیابی نمود. مرور جامعِ متون علمی نشان می‌دهد که روش‌ها، استانداردها و مثال‌های متعددی از چگونگی تخمین EFR وجود دارد، اما تنها یک پژوهش جهانی وجود دارد که طی آن، جریان‌های زیست‌محیطی موردنیاز در جهان، بر اساس یک قانون ساده و داده‌هایی که به سهولت فراهم می‌شوند، محاسبه شده است. این مطالعه، مربوط به اسماهتن و همکاران (Smakhtin et al., 2004) می‌باشد. نکته‌ی خوب این پژوهش آن است که دقیقاً، چیزی را ارایه می‌کند که بسیاری از کاربران خواهان آن هستند (یعنی روش آسان، مقادیر شفاف و برای کل جهان). نقشه‌ی اسماهتن[1]، بارها در گزارشات و سخنرانی‌های تجاری ارائه شد. نکته‌ی منفیِ این مطالعه آن است که به جای ارایه‌ی مقادیر ماهانه، تنها مقادیر سالانه‌ی EFR را ارایه نمود و این‌که بسیاری از دانشمندان، روش محاسبه‌ی EFR، پارامترهای استفاده شده در این روش و در نتیجه، مقادیر محاسبه شده برای EFR در این پژوهش را قبول ندارند. آردینگتون و همکاران (Arthington et al., 2006) بر این باورند که روش اسماهتن، جریان‌های زیست‌محیطی موردنیاز را کم‌برآورد می‌نماید.

پیش‌نهاد می‌شود که در عمل، از یک روش ساده (مبتنی بر استفاده از داده‌های سهل‌الوصل) و عمومی (یعنی قابل کاربرد در کل جهان)، برای تخمین EFR در مقیاس‌های زمانی‌ای استفاده شود که با این مقیاس‌ها، امکان به تصویر کشیدن نوسانات زمانی EFR در طول یک سال وجود داشته باشد. مقادیری که با این روش برای EFR به‌دست می‌آیند، می‌توانند پیش‌فرض در نظر گرفته شده و در مکان‌هایی که تخمین‌های دقیق‌تر از EFR وجود ندارد، استفاده شوند. باید تاکید داشت که این مدل ساده و عمومی، تنها تخمین‌های اولیه‌ای را برای EFR ارایه می‌کند و در صورت امکان، باید آن‌ها را با تخمین‌هایی دقیق‌تر و بهتر جایگزین نمود. بدین منظور، می‌توان مثلاً از چارچوب ELOHA [2] برای تخمین EFR استفاده نمود. ELOHA چارچوبی پیشرفته است که توسط برخی از دانشمندان برجسته‌ی جهان در این زمینه پیشنهاد شده است (Poff et al., 2010). این روش، هزینه‌بر و پرزحمت بوده و دست‌کم، چندین سال برای محاسبه‌ی مقادیرِ جهانی EFR بر اساس این روش نیاز خواهد داشت.

1 . Smakhtin-map
2 . Ecological Limits of Hydrologic Alteration (ELHA)

در حال حاضر، قانون ساده‌ی کلی زیر برای تخمین جریان‌های زیست‌محیطی موردنیاز پیش‌نهاد می‌شود:

۱. برای هرماه از سال، متوسط میزان رواناب در شرایط مداخله‌ی بشر باید در محدوده ±20% کل روانابی باشد که در صورت نبودِ مداخله‌ی بشر وجود می‌داشت؛ و
۲. برای هر ماه از سال، متوسط جریان پایه‌ی ماهانه در صورت مداخله‌ی بشر، باید در محدوده ±20% کل جریان پایه‌ای باشد که در صورت نبودِ مداخله‌ی بشر وجود می‌داشت.

اغلب با اندازه‌گیری‌های ماهانه‌ی جریان رودخانه، می‌توان مقادیر ماهانه‌ی رواناب را به‌دست آورد و حتی اگر (مقادیر مشاهده‌ای) این داده‌ها موجود نباشند، می‌توان آن‌ها را با مدل‌سازی به‌دست آورد. واژه‌ی جریان پایه، سهم آب زیرزمینیِ از یک رودخانه را نشان می‌دهد که این سهم را می‌توان مثلاً بر اساس داده‌های مشاهده‌ای ۱۰–ساله‌ی جریان به‌دست آورد.

به منظور تهیه‌ی تخمین‌های دقیق‌تر، می‌توان بین مقادیر مختلف تغییر در جریان رودخانه تمایز قایل شد. بدین منظور، با استناد به مقادیر محاسبه شده برای اختلاف بین مقادیر جریان‌های ماهانه در صورت دخالت و نبودِ دخالت بشر (Δ)، می‌توان از طرح پیش‌نهادی زیر استفاده نمود:

- اگر $\Delta < \pm 20\%$ نبودِ تغییر و یا تغییر اندک وضعیت رودخانه: A
- اگر $\pm 20\% < \Delta < \pm 30\%$ تغییر متوسط وضعیت رودخانه: B
- اگر $\pm 30\% < \Delta < \pm 40\%$ تغییرات شدید وضعیت رودخانه: C
- اگر $\Delta > \pm 40\%$ تغییر اساسی و جدی وضعیت رودخانه: D

امروزه، چند حوضه در وضعیت‌های A تا D قرار دارند؟ بسیاری از رودخانه‌هایی که روی آن‌ها، سدهای تنظیمی احداث نشده است، در وضعیت A قرار دارند. رودخانه‌های دارای سدهای تنظیمی، در وضعیت‌های B تا D قرار دارند. قانون ۲۰ درصد، یک مقدار پیش‌فرض محتاطانه برای EFR محسوب می‌شود. محدوده‌های فوق را می‌توان "آستانه‌های بالقوه‌ی نگرانی[1]" نامید. این اصطلاح، بهتر این واقعیت را منعکس می‌سازند که این محدوده‌ها، محدوده‌های قطعی نیستند، بلکه تنها راهنماهایی هستند که میزان تغییرات در وضعیت رودخانه‌ها را نشان می‌دهند.

بهترین مقیاس مکانی برای تعیین EFR، مقیاس حوضه‌های کوچک است. می‌توان میزان EFR در کل سطح حوضه‌ی آبریز یک رودخانه را از مجموع EFR در حوضه‌های کوچک واقع در آن، که

1 . Thresholds for potential concern

مجموعاً حوضه‌ی آبریز آن رودخانه را شکل می‌دهند، به‌دست آورد. با دانستن این مسأله که حوضه‌های کوچک، بهترین مقیاس مکانی برای تعیین EFR است، حالت ایده‌آل برای تعیین ردپای آب نیز تعیین آن در سطح همان حوضه‌ها می‌باشد. این کار را می‌توان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)[1] انجام داد؛ بنابراین، می‌توان دقیقاً مکان وقوع ردپای آب را ردیابی نمود.

با تعیین تعداد ماه‌هایی از سال که در آن‌ها، EFR تأمین نشده و تعیین مقدار جریان زیست‌محیطی موردنیازی که (در این ماه‌ها) تأمین نشد، می‌توان اثرات محلیِ ردپای آب بر یک رودخانه را اندازه‌گیری نمود. نمی‌توان گفت که ردپای آب یک فعالیت خاص، به تنهایی مسئول نقص EFR است، زیرا برآیند ردپاهای آب آبیِ تمامی فرآیندها است که در نهایت، منتج به چنین نتیجه‌ای خواهد شد. بنابراین، می‌توان سهم هر فرآیند در نقض EFR را نیز تعیین نمود. زمانی ردپای آب آبی یک فرآیند خاص در یک نقطه‌ی[2] معین، باعث پیدایش یک نقطه‌ی کانونی می‌شود که (الف) ردپای آب فعالیت موردنظر در آن نقطه، سهم بزرگی در کل ردپای آب آبی در آن نقطه داشته باشد و (ب) ردپای آب آبی آن فعالیت، در بازه‌ی معینی از سال، در نقص EFR سهیم باشد.

روش ساده‌ی فوق، بر پایه‌ی افکار اولیه‌ی برخی دانشمندان منابع آب شکل گرفته است (بر اساس مذاکره‌ی بین جی اوکیف[3] از UNESCO-IHE، برایان ریشتر[4] از TNC، استوآورت اور از WWF و آرین هوکسترا[5] از UT). برای روش ساده و کلی فوق، ما به توافق و حمایت جامعه‌ی دانشمندان EFR نیاز داریم، زیرا بدون شک، این روش، چه از دیدگاه ذی‌نفعان مختلف (محیط‌زیست در مقابل دیگر کاربران آب) و چه از نظر مشکل‌های علمی‌ای که در تبدیل چالش‌های واقعی به قواعد ساده وجود دارد، جای نقد خواهد داشت. با این حال، وقتی وجود چنین نقدهای احتمالی‌ای، نمی‌تواند مانع کارشناسان برای تدوین استانداردهای مربوط به کیفیت و سمیت آب شود؛ پس چرا این نقدها باید مانع ما برای تدوین استانداردهای EFR شود؟ اندازه‌گیری EFR، برای ارزیابی اثرات مصارف آب آبی، امری ضروری است.

1 . Geographic Information System

۲. منظور از نقطه‌ی خاص، زمان و مکان وقوع آن فرآیند است. یعنی هم زمان و هم مکان وقوع فرآیند مدنظر است.

3 . Jay O'Keeffe (in UNESCO-IHE)

4 . Brian Richter (in The Nature Conservancy)

5 . Arjen Y. Hoekstra (in University of Twente)

پیوست و: سوال‌های رایج

سـوال‌های کاربـردی

۱) چرا ما باید نگران ردپای آب خود باشیم؟

آب شیرین،منبعی کمیاب است؛ موجودیت سالانه آن محدود و تقاضا برای (مصرف) آن، رو به رشد است. ردپای آب بشر، در بسیاری از مناطق، فراتر از حد استاندارد خود رفته است و به صورت نابرابر بین مردم توزیع شده است. داشتن اطلاعات خوب درباره‌ی ردپای آب کالاها و فعالیت‌ها، می‌تواند به یافتن راه‌هایی برای دستیابی به استفاده‌ی پایدارتر و عادلانه‌تر از منابع آب شیرین کمک نماید. نقاط بسیاری در جهان وجود دارد که در آن‌ها، چالش‌های جدی تخلیه و آلودگی آب وجود دارد: مثلاً خشک شدن رودخانه‌ها، کاهش سطح آب دریاچه‌ها و منابع آب زیرزمینی و به مخاطره افتادن زندگی گونه‌های (مختلف) به دلیل آلودگی آب. ردپای آب، می‌تواند به نشان دادن ارتباط بین مصارف روزانه‌ی کالاها توسط ما و چالش‌های ناشی از تخلیه و آلودگی آب که در محل تولید این کالاها به وجود می‌آید، کمک نماید. تقریباً، همه‌ی کالاها، دارای ردپای آبی کم یا زیاد است، که دانستن این ردپاها، هم برای مصرف‌کنندگان و هم برای کسانی که این کالاها را در برخی از مراحل مربوط به زنجیره‌ی تأمین خود، تولید، فرآوری، مبادله و یا خریدوفروش می‌کنند، جذاب خواهد بود.

۲) چرا باید فعالیت من، نگران ردپای آب خود باشد؟

اول از همه، اغلب آگاهی و راهبرد زیست‌محیطی، بخشی از چیزی است که یک فعالیت –که مسئولیت اجتماعی شرکت[1] خود در نظر گرفته می‌شود–، باید به آن توجه نماید. کاهش ردپای آب، درست مانند کاهش ردپای کربن، می‌تواند بخشی از راهبرد زیست‌محیطی یک فعالیت باشد. دوم، اینکه، بسیاری از فعالیت‌ها، واقعاً با ریسک‌های جدی کمبود آب شیرین در فعالیت‌های عملیاتی یا زنجیره تأمین خود مواجه هستند. چگونه یک کارخانه‌ی آبجوسازی می‌تواند بدون اطمینان از تأمین آب، به کار خود ادامه دهد و یا چگونه یک شرکت تولیدکننده‌ی پوشاک می‌تواند بدون اطمینان از

۱- مسئولیت اجتماعی شرکتی (به انگلیسی: Corporate Social Responsibility) یا مسئولیت اجتماعی شرکت‌ها یا مسئولیت اجتماعی سازمان‌ها از جستارهای "اخلاق کسب و کار" است که به نقش شرکت‌ها درحوزه اجتماع می‌پردازد. مسئولیت اجتماعی شرکتی مجموعه وظایف و تعهداتی است که شرکت باید در جهت حفظ، مراقبت و کمک به جامعه‌ای که در آن فعالیت می‌کند، انجام دهد.

تأمین آب برای تولید پنبه در مزراع، سرپا باقی بماند؟ سومین دلیلِ لزوم انجام محاسبه‌های ردپای آب و تدوین عکس‌العمل‌های مطلوب برای کاهش ردپای آب شرکت، کمک به پیش‌بینی کنترل‌های قانونی‌ای است که باید در این باره، توسط دولت اعمال شود. شاید در شرایط فعلی، دقیقاً معلوم نباشد که دولت باید چه عکس‌العملی نشان دهد، اما قوانین و مقرراتی که باید برای برخی فعالیت‌ها وضع شود؛ مشخص است. در نهایت، برخی فعالیت‌ها، به استراتژی ردپای آب شرکت، ابزاری برای تقویتِ تصویرِ کلی‌ای که از شرکت آن‌ها وجود دارد و برای تقویت نام برند خود نیز نگاه می‌کنند.

۳) مصرف‌کنندگان، چه کارهایی می‌توانند برای کاهش ردپای آب خود انجام دهند؟

مصرف‌کنندگان، می‌توانند با نصب توالت‌های مجهز به ادوات کاهنده‌ی آب مصرفی، سردوش‌های صرفه‌جو در حمام، بستن شیر آب حین مسواک زدن، مصرف آب کم‌تر در آبیاری باغچه و تخلیه نکردنِ دارو، رنگ‌ها و دیگر مواد شیمیایی آلوده‌کننده در سینک‌ها، ردپای آب مستقیم خود (حین مصارف خانگی) را کاهش دهد. ردپای آب غیرمستقیم مصرف‌کننده، معمولاً بسیار بزرگ‌تر از ردپای آب مستقیم وی است. اساساً یک مصرف‌کننده، دو گزینه برای کاهش ردپای آب غیرمستقیم خود دارد: گزینه‌ی اول آن است که محصول‌های دارای ردپای آب بزرگ را با محصول‌هایی با ردپای آب کم‌تر جایگزین نماید؛ مثلاً گوشت کم‌تری مصرف کند و یا گیاهخوار شود، به جای پوشیدن لباس‌های نخی و پنبه‌ای، لباس‌هایی از جنس الیاف مصنوعی بپوشد، و یا به جای قهوه، چای و یا حتی آب بنوشد، اما این رویکرد، محدودیت‌هایی به همراه دارد، زیرا یک مصرف‌کننده، دوست ندارد که به جای گوشتخواری، به گیاه‌خواری روی بیاورد و یا این‌که بخواهد از قهوه و لباس نخی خود بگذرد. گزینه‌ی دوم آن است که این مصرف‌کننده، همان الگوی مصرف قبلی خود را پیش ببرد، ولی از گوشت‌ها، قهوه و لباس‌هایی استفاده کند که ردپای آب کم‌تری دارند و در مکان‌هایی که دارای کمبود آب هستند، تولید نشده باشند. با این حال، پیش‌گرفتن این گزینه، نیازمند داشتن اطلاعات کافی درباره‌ی آن‌چه انتخاب می‌کنند، می‌باشد. از آنجایی‌که در حال حاضر، چنین اطلاعاتی معمولاً در جهان وجود ندارد، یک مصرف‌کننده می‌تواند متقاضی شفاف‌سازی اطلاعات محصول توسط فعالیت‌ها و وضع قوانین مربوطه توسط دولت باشد. اگر اطلاعات کافی درباره‌ی تأثیر یک ماده‌ی خاص روی منابع آبی وجود داشته باشد، مصرف‌کنندگان می‌توانند انتخاب‌های آگاهانه‌تری را حین خرید انجام دهند.

٤) فعالیت‌ها، چه کاری می‌توانند برای کاهش ردپای آب خود انجام دهند؟

(مسوولان) فعالیت‌ها می‌توانند ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی را با صرفه‌جویی آب حین فعالیت‌های عملیاتی خاص خود و با رساندن آلودگی آب به صفر کاهش دهند. واژگان کلیدی برای فعالیت‌ها عبارت اند از: پیش‌گیری، کاهش، بارچزخانی و تصفیه قبل از دفع می‌باشند. با این حال، برای بسیاری از فعالیت‌ها، ردپای آبِ زنجیره‌ی تأمین، بسیار بزرگ‌تر از ردپای آبِ فعالیت‌های عملیاتی می‌باشد. بنابراین، توجه به این ردپا توسط (مسوولانِ) فعالیت‌ها نیز امری حیاتی خواهد بود. از آنجایی‌که نمی‌توان کنترل مستقیمی روی زنجیره‌ی تأمین داشت، بهبود این زنجیره، دشوار خواهد بود، اما (از دیدگاه مقدار مطلق ردپای آب)، هرگونه بهبودی در این زنجیره، بی‌شک مؤثرتر (از بهبود فعالیت‌های عملیاتی) خواهد بود. (مسوولان) فعالیت‌ها می‌توانند با عقد توافق‌نامه‌هایی شامل استانداردهای خاص با تأمین‌کنندگان (کالاهای موردنیاز خود) و یا تغییر تأمین‌کننده‌ی این کالاها، ردپای آب زنجیره‌ی تأمین خود را کاهش دهند. چنین چیزی گاهی نیازمند یک تغییر اساسی خواهد بود زیرا گاهی لازم است آن فعالیت، برایِ استفاده از ترکیبی بهتر و یا اعمال کنترل بهتر روی زنجیره‌ی تأمین خود و برای شفاف ساختن کل زنجیره‌ی تأمین خود برای مصرف‌کننده، کاملاً ساختار خود را تغییر دهد. از میان راهکارهای متنوع مکمل و یا قابل جایگزین که می‌تواند به شفاف‌سازی اطلاعات محصول کمک کنند، راهکارهایی مانند تدوین روش‌های کمیِ کاهش ردپای آب، تدوین بنچ‌مارک‌ها، برچسب‌گذاری محصول، صدور گواهینامه‌ها و گزارش‌دهیِ ردپای آب می‌تواند بسیار مطلوب باشد.

٥) چرا باید دولت‌ها محاسبه‌های ملی ردپای آب را انجام دهند؟

معمولاً، دولت‌ها برنامه‌های ملیِ آب را برای راضی نمودن مصرف‌کنندگان تدوین می‌کنند. اگرچه امروزه کشورها، علاوه بر لحاظ گزینه‌هایی برای افزایش دسترسی به آب، به گزینه‌های کاهش تقاضای آب نیز توجه می‌کنند، آن‌ها اغلب به مدیریت آب از بعد جهانی توجهی نداشته و به این ترتیب، گزینه‌ی صرفه‌جویی آب از طریق واردات کالاهای آب‌بر را مدنظر قرار نمی‌دهند. به‌علاوه، وقتی تنها میزان آب مصرفی در کشور خود را درنظر می‌گیرند، دانشی درباره‌ی پایداری مصارف ملی خود کسب نخواهند نمود. در حقیقت، کشورهای بسیاری هستند که بدون توجه به آن‌که آیا کالاهای وارداتی، در مکان‌هایی با تخلیه و آلودگی آب زیاد تولید می‌شود یا خیر، مؤلفه‌ی خارجی ردپای آب مصارف ملی بسیار بزرگی دارند. دولت‌ها می‌توانند و باید بتوانند که برای دستیابی به محصول‌های مصرفی پایدار، تعامل خوبی با مصرف‌کنندگان و فعالیت‌ها داشته باشند. محاسبه‌های ردپای آب ملی،

باید یک جایگاه استاندارد در آمار آب کشور داشته باشد و پایه‌ای برای تدوین برنامه‌های کشوری و حوضه‌ای آب در نظر گرفته شود که سازگار با سیاست‌های زیست‌محیطی، کشاورزی، صنعتی، انرژی، بازرگانی، امورخارجه و تعاملات بین‌المللی در کشور هستند، و مورد استفاده قرار بگیرد.

٦) کی ردپای آب من پایدار است؟

زمانی که یک مصرف‌کننده باشی، ردپای آب شما وقتی پایدار است که:

(الف) کل ردپای آب شما، کم‌تر از سهم عادلانه‌ی جهانی شما در مصرف آب باشد،

(ب) هیچ‌یک از اجزای ردپای آب شما در نقاط کانونی واقع نشده باشد، و

(ج) هیچ‌یک از اجزای ردپای آب شما، با صرف یک هزینه‌ی معقول اجتماعی، قابل کاهش و یا رسیدن به صفر نباشد.

۷) چگونه می‌توانم ردپای آب خود را جبران نمایم؟

این سوال، اغلب از سویِ کسانی که با مفهوم جبران ردپای کربن آشنا هستند، پرسیده می‌شود. در مورد ردپای کربن، مهم نیست این اقدامات، در کجا از طرفِ آن فرد صورت می‌گیرد؛ بنابراین، اگر فردی، در هر مکانی، به کاهش میزان انتشار و یا افزایش جذب CO_2 کمک نماید (فرقی نمی‌کند کجا این‌کار را انجام دهد)، می‌تواند میزان انتشار CO_2 خود را جبران نماید. درباره‌ی آب، این موضوع فرق دارد؛ زیرا، تخلیه و آلودگی در یک مکان را نمی‌توان با کاری که در مکان دیگری صورت می‌گیرد، جبران نمود. بنابراین، باید ردپای آب خود را به ویژه در مکان‌ها و زمان‌هایی که این ردپای آب باعثِ پیدایش چالش‌هایی شده است، کاهش دهد. ما باید برای کاهش ردپای آب خود، چه ردپای آب مستقیم و چه غیرمستقیم، هرآنچه از نظر منطقی امکان‌پذیر است را انجام دهیم. این کار باید هم توسط مصرف‌کنندگان و هم توسط فعالیت‌ها صورت بگیرد. تنها در وهله‌ی دوم، پس از آن‌که تمامی این اقدامات برای کاهش ردپای آب صورت گرفت، می‌توان به مسأله‌ی جبران ردپای آب فکر نمود. این بدان معنی است که برای جبران ردپای آب باقی‌مانده[1]، باید روی پایه‌گذاری و حمایت از پروژه-هایی که هدف آن‌ها، استفاده‌ی پایدار، کارآمد و عادلانه از آب در حوضه‌ای که این ردپای آب در آن واقع شده است، می‌باشد، سرمایه‌گذاری منطقی نمود. باید اصطلاح‌های امکان‌پذیریِ منطقی و سرمایه‌گذاری منطقی کمی‌سازی شوند و برای این‌کار، به یک توافق اجتماعی نیاز داریم.

---

۱. یعنی ردپای آبی که پس از انجام تمامی این اقدامات برای کاهش ردپای آب، باز هم باقی می‌ماند و دیگر قابل کاهش نیست.

۸) آیا بهایی که برای آب پرداخت می‌کنم، کافی است؟

معمولاً، بهایی که برای آب آبی پرداخت می‌شود، بسیار کم‌تراز هزینه‌ی اقتصادی واقعیِ آن است. در بسیاری از کشورها، بودجه‌ی بسیاری برای تأمین و عرضه‌ی آب آبی، از طریق سرمایه‌گذاری روی زیرساخت‌های مربوطه، مانند سدها، کانال‌ها، سیستم‌های توزیع و ایستگاه‌های تصفیه‌ی فاضلاب، صرف می‌شود. این بها، اغلب از سویِ مصرف‌کنندگان پرداخت نمی‌شود. در نتیجه، انگیزه‌ی کافی برای صرفه‌جویی در مصرف آب توسط کاربران وجود نخواهد داشت. علاوه بر آن، از آنجایی‌که به آب، به چشم یک کالای عمومی نگاه می‌شود، نمی‌توان هزینه‌ی پیدایش مشکل کمبود آب را به صورت اضافه بهایی در نرخ کالاها و خدماتی که با این آب تولید شده‌اند، لحاظ نمود؛ مانند آن‌چه به طور طبیعی برای کالاهای خصوصی اتفاق می‌افتد. در نهایت، کاربران آب، معمولاً بهایی برای اثرات منفی‌ای که آن‌ها برای مردم و یا اکوسیستم موجود در پایین دست رودخانه به وجود آورده‌اند، پرداخت نمی‌کنند.

۹) چرا ما باید ردپای آب سبز را کاهش دهیم؟

ممکن است فردی تصور کند که آب باران، رایگان به دست می‌آید و اگر ما از این آب برای تولید غذا، الیاف، سوخت و یا انرژی‌های زیستی استفاده نکنیم، در هر صورت این آب تبخیر خواهد شد. با این وجود، دو دلیل محکم برای کاهش ردپای آب سبز وجود دارد: دلیل اول، آن است که اگرچه آب باران رایگان است، اما نامحدود نیست. در حقیقت، آب سبز، درست مانند آب آبی، به ویژه در برخی مناطق و زمان‌های خاصی از سال، یک منبع کم‌یاب است. از آنجایی که بخشی از اراضی در هر حوضه‌ای باید پوشش طبیعی در نظر گرفته شود، در پی آن، بخشی از باران نیز –که باید برای حفظ این مناطق اختصاص داده شود–، برای کشاورزی در دسترس نخواهد بود. در حوضه‌هایی که آب سبز کمیاب است، افزایش بهره‌وری آب سبز (یعنی کاهش ردپای آب سبزِ یک محصول)، برای دستیابی به تولید بهینه با لحاظ محدودیت‌های آب سبز، امری حیاتی خواهد بود. دلیل دوم، آن است که افزایش تولیدات به‌دست آمده از منابع آب سبز، نیاز به تولید از منابع آب آبی را کاهش می‌دهد. این همان دلیل مفید بودن کاهش ردپای آب سبز در مناطقی است که در آن، منابع آب سبز به وفور وجود دارد. استفاده‌ی بهتر از باران در نواحی‌ای که باران کافی وجود دارد، میزان تولیدات جهانی به‌دست آمده از آب باران را افزایش می‌دهد که این مسأله، نیاز به تولید از راهِ آبیاری در مناطق کم‌آب را کاهش خواهد داد.

۱۰) چرا باید ردپای آب آبی را در مکان‌هایی که رواناب کافی وجود دارد، کاهش دهیم؟

در نگاه اول، به نظر می‌رسد که ردپای آب آبی را تنها باید در حوضه‌هایی کاهش داد که در آن‌ها، آب آبی کافی وجود ندارد. این در حالی است که تنها تمرکز بر نواحی کم‌آب کافی نخواهد بود. استفاده‌ی ناکارآمد از آب آبی در نواحی پرآب به این معنی است که می‌توان میزان تولید به ازای هر واحد آب مصرفی در این نواحی را افزایش داد. این مسأله از آن جهت مهم است که افزایش تولید کالاهای آب‌بر در نواحی پرآب، نیاز به تولید آن‌ها در نواحی کم‌آب را کاهش خواهد داد. بنابراین، کاهش ردپای آب آبی برای هر واحد تولید در نواحی پرآب، امکانِ کاهش مقدار مطلق ردپای آب آبی در نواحی کم‌آب را فراهم می‌سازد. دلیلِ دیگری که برای کاهش ردپای آب آبی در نواحی پرآب وجود دارد، آن است که وقتی آبی به یک هدف خاص اختصاص داده می‌شود، این تخصیص، امکانِ تخصیص آب به هدفی دیگر را کاهش می‌دهد. ردپاهای آب محصول‌های آب‌بر و لوکسی مانند گوشت، سوخت‌های زیستی یا گل‌های زینتی، باعث فشار بر منابع آبی در حوضه‌هایی که در آن‌ها آب کافی وجود دارد و نیازهای زیست‌محیطی محلی آن‌ها تأمین شده است، خواهد شد اما پیامدهای جهانی چنین ردپاهایی آن است که (با تخصیص آب برای تولید چنین کالاهایی)، آب کم‌تری برای اختصاص به اهدافی دیگر، مانند تولید غلات برایِ تأمین نیازهای اساسی بشر، باقی خواهد ماند. کاهش ردپای آب یک کالای خاص در نواحی پرآب، فرصت‌هایی برای تولید بیش‌ترِ همان کالاها و یا تخصیص آب صرفه‌جویی شده برای تولید محصول‌های دیگر، فراهم می‌آورد.

۱۰) روش‌های کاهش منطقی ردپای آب، چه هستند؟

یک پاسخ کلی و عمومی برای این سوال وجود ندارد، زیرا این مسأله، به محصول، تکنولوژی موجود، ویژگی‌های محیطی و غیره بستگی دارد. علاوه بر آن، باید به خاطر داشت که این سوال، حاوی یک مسأله‌ی هنجاری است و باید متناسب با مسائل اجتماعی و سیاسی (هر محل) به آن پاسخ داد. با این حال، برخی موارد کلی محدود را در پاسخ به این سوال می‌توان بیان داشت. اول از همه، باید بین روش‌های کاهش ردپای آب سبز، آبی و خاکستری، تمایز قایل شد. برای ردپای آب خاکستری که آلودگی آب را نشان می‌دهد، می‌توان در درازمدت، کاهش ردپای آب خاکستری به صفر را برای تمامی محصول‌ها انتظار داشت. آلودگی الزامی نیست. می‌توان با پیش‌گیری، بازچرخانی و تصفیه، میزان ردپای آب خاکستری را به صفر رساند. تنها برای آلودگی‌های حرارتی –که حین استفاده از آب با هدف خنک‌کنندگی به‌وجود می‌آیند–، امکان رساندن ردپای آب خاکستری به صفر وجود ندارد. اما حتی این نوع آلودگی را نیز می‌توان (تا حدزیادی) با جمع‌آوری بخار آب کاهش داد و یا

جلوی پیدایش آن‌ها را گرفت. با کاهش تلفات آب، افزایش بهره‌وری آب آبی و توسعه‌ی کشاورزی دیم، می‌توان ردپای آب آبی در بخش کشاورزی را تا دو برابر کاهش داد. در صنعت، میزان ردپای آب آبی تا حد زیادی به آن‌چه آن صنعت انجام می‌دهد، بستگی دارد. از نظر فنی، صنایع می‌توانند بازچرخانی کامل آب را انجام دهند و به این ترتیب، ردپای آب را تا رسیدن به میزان آبی که در بطن محصول جای داده شده است، کاهش دهند. می‌توان بر اساس عمل‌کرد بهترین تولیدکنندگان، یعنی تولیدکنندگان مرجع، بنچ‌مارک‌هایی را به تفکیک محصول‌ها برای ردپای آب آبی تعیین نمود. با استفاده‌ی کارآمدتر از منابع آب سبز، یعنی با افزایش بهره‌وری آب سبز، ردپای آب سبز در کشاورزی را می‌توان در حد بسیار معنی‌دارتری کاهش داد. افزایش میزان تولید از منابع آب سبز در یک مکان، نیاز به تولید با استفاده از منابع آب آبی در مکانی دیگر را کاهش خواهد داد. یک قاعده‌ی کلی برای هر روشی که باعثِ کاهش ردپای آب می‌شود، آن است که آن روش، باید باعث کاهش میزان ردپای آب در مکان‌ها یا زمان‌هایی شود که در آن‌ها، نیازهای زیست‌محیطی نقض شده است. منطق نهایی برای استراتژی کاهش ردپای آب، می‌تواند توزیع عادلانه‌ی منابع آب باشد. این منطق می‌تواند پایه‌ای برای کاهش ردپای آب، به ویژه از سویِ کاربران اساسی، در نظر آید.

۱۲) آیا ردپای آب، مشابه ردپای کربن است؟

این دو مفهوم، به خوبی، مکمل یکدیگر هستند؛ هریک از این مفاهیم، به یک مسأله‌ی زیست‌محیطی خاص اشاره می‌کنند: ردپای کربن، مسأله‌ی گرمایش جهانی را بررسی می‌کند؛ ردپای آب، مسأله‌ی کمبود آب شیرین را بررسی می‌کند. در هر دو مورد، دیدگاه زنجیره‌ی تأمین مطرح می‌شود. با این وجود، این دو مفهوم، تفاوت‌هایی نیز با هم دارند. مهم نیست که انتشار کربن در چه مکانی رخ می‌دهد، اما مهم است که ردپای آب، دقیقاً کجا واقع شده است. انتشار کربن در یک مکان، می‌تواند با کاهش انتشار کربن و یا جذب آن در مکانی دیگر جبران شود، اما این مسأله برای آب مصداق ندارد. نمی‌توان آثار محلی استفاده از آب در یک مکان را با صرفه‌جویی آب در مکانی دیگر جبران نمود.

۱۳) آب شیرین، می‌تواند از طریق شیرین‌سازی آب دریاها به‌دست بیاید، پس چرا آب کم‌یاب است؟

شوری‌زدایی آب‌های شور یا لب‌شور، تنها برای برخی موارد خاص می‌تواند راهکاری برای رفع معضل کمبود آب شیرین درنظر گرفته شود؛ نه به خاطر این‌که از طریق شوری‌زدایی، نمی‌توان آبی با

کیفیت مناسب برای فرآیندهای مختلف به‌دست آورد، بلکه به این‌دلیل که شوری‌زدایی، نیازمند صرف انرژی است که خودِ انرژی نیز، یک منبع کم‌یاب است. در واقع، شوری‌زدایی، روشی است که حین آن، یک منبع کمیاب (یعنی آب شیرین) با منبع کمیاب دیگری (یعنی انرژی) جایگزین می‌شود. اگر در مکانی، مسأله‌ی آب شیرین از مسأله‌ی انرژی حیاتی‌تر باشد، می‌توان به شوری‌زدایی روی آورد لکن به طور کلی، نمی‌توان شوری‌زدایی را راهکاری کلی و عمومی برای رفع معضل بحران آب دانست. علاوه بر آن، صرف‌نظر از بحث انرژی، شوری‌زدایی بسیار هزینه‌بر است؛ آنقدر گران که نمی-توان از آبی که از این راه به‌دست می‌آید، در بخش کشاورزی، که بزرگ‌ترین مصرف‌کننده است، استفاده نمود. در نهایت، آب‌های شور و لب‌شور، تنها در نواحی ساحلی قرار دارند، این بدان معنی است که آب شیرینی که از فرآیند شوری‌زدایی به‌دست می‌آید، باید به جایی دیگر منتقل شود که این فرآیند، خود مستلزم صرف هزینه‌های اضافی و انرژی خواهد بود.

۱۴) آیا باید محصول‌ها برچسب آب داشته باشند؟

در جهانی که تولید بسیاری از کالاها نیازمند مصرف و آلودگی آب است، شفاف‌سازی تاریخچه‌ی کالاها (از نظر آب مصرفی و آلوده شده حین تولید آن‌ها)، بسیار مفید خواهد بود. اگر این حقایق، قابل دسترس برای عموم باشند، مصرف‌کننده حق انتخاب خواهد داشت. این اطلاعات می‌توانند روی برچسب محصول وجود داشته باشد و یا از طریق اینترنت، در اختیار مصرف‌کنندگان قرار بگیرند. چنین اطلاعاتی، به ویژه برای محصول‌هایی که اثرات زیادتری روی آب دارند، مفیدتر خواهند بود؛ مثلاً محصول‌هایی که حاوی پنبه و یا شکر هستند. اگر در کنار اطلاعات مربوط به آب، اطلاعات دیگری مانند انرژی و تجارت عادلانه نیز در برچسب محصول قرار بگیرد، این اطلاعات می‌تواند برای مصرف‌کننده مناسب باشد. حالت ایده‌آل آن است که ما جهانی داشته باشیم که در آن، به دلیل اطمینان از رعایت قوانین سخت‌گیرانه در تولید محصول، نیازی به برچسب محصول نداشته باشیم. اگر قرار باشد که محصول‌ها دارای برچسب آب باشند، این سوال پیش می‌آید که چه چیزی باید روی این برچسب‌ها نوشته شود؟ می‌توان مقدار کل ردپای آب را روی این برچسب‌ها قرار داد که این‌کار، تنها به افزایش آگهی مصرف‌کنندگان کمک می‌کند، اما آن‌ها را قادر به انتخابی آگاهانه میان دو محصول نخواهد ساخت. اگر قرار باشد انتخاب مناسبی از بین محصول‌های مختلف صورت بگیرد، باید سهم مؤلفه‌های سبز، آبی و خاکستری در ردپای آب کل محصول را تعیین نموده و مشخص کنیم که این محصول، تا چه اندازه در تأمین نکردنِ نیازهای زیست‌محیطی و نقض استانداردهای کیفیتی آب، سهم داشته است؛ مثلاً، بگوییم سه چهارم ردپای آب محصول موردنظر، در نواحی‌ای

واقع شد که نیازهای زیست‌محیطی تأمین نشده یا استانداردهای کیفیت آب نقض شده است، اما یک‌چهارمِ دیگر این ردپای آب، در جایی قرار دارد که این مشکل‌ها وجود ندارد. این‌که آیا از دیدگاه منابع آب، محصولی خوب است یا خیر، به معیارهای متعددی بستگی دارد؛ از جمله آن‌که، آیا برنامه‌هایی برای نیل به بهبودهای مستمر در کل زنجیره‌ی تولید در آن مکان وجود دارد یا خیر. در نهایت، برچسب‌گذاری محصول در بهترین حالت، تنها یک راه‌حل جزئی است. این روش، می‌تواند راهکار مناسبی برای افزایش سطح آگاهی در میان مردم و پایه‌ای برای کمک به انتخاب محصول محسوب شود، اما این روش، تنها یکی از روش‌های شفاف‌سازی محصول بوده و دارای این محدودیت است که تنها می‌توان اطلاعات محدودی را روی این برچسب‌ها قرار داد. علاوه بر آن، تنها برچسب‌گذاری نمی‌تواند واقعاً منتج به کاهش ردپای آب شود.

سوال‌های فنی

۱) ردپای آب چیست؟

ردپای آب یک محصول، یک معیار تجربی است که زمان، مکان و میزان آب مصرفی و آلوده‌شده در کل زنجیره‌ی تأمین آن محصول را نشان می‌دهد. ردپای آب، یک شاخص چندبعدی است که علاوه بر حجم آب استفاده شده، نوع آب (یعنی میزان مصرف آب باران، منابع آب سطحی یا زیرزمینی و میزان آلودگی آب) و مکان و زمان مصرف آب را نیز نشان می‌دهد. ردپای آب یک فرد، یک جامعه یا یک فعالیت، مجموع حجم آب شیرینی است که برای تولید کالاها و خدمات مصرف‌شده از سویِ آن مصرف‌کننده یا جامعه و یا تولید شده توسط آن فعالیت، استفاده شد. ردپای آب، نحوه‌ی تخصیص منابع آب شیرین محدود جهان از سویِ بشر را نشان داده و بنابراین، اطلاعاتی برای بحث پیرامون مسأله‌ی تخصیص آب و مسائل مرتبط با استفاده‌ی پایدار، عادلانه و کارآمد از آب، فراهم می‌کند. علاوه بر آن، ردپای آب زمینه‌ای را برای ارزیابی اثرات کالاها و خدمات در سطح حوضه و تدوین استراتژی‌هایی برای کاهش این اثرات فراهم می‌آورد.

۲) چه چیز جدیدی در شاخص ردپای آب وجود دارد؟

به طور معمول، آمار مربوط به استفاده از آب، تنها اطلاعاتی را پیرامون میزان آب برداشتی و استفاده‌ی مستقیمِ آب ارایه می‌کنند. در روش محاسبه‌ی ردپای آب، دیدگاه وسیع‌تری درنظر گرفته می‌شود: اول، از همه، ردپای آب، میزان استفاده‌ی مستقیم و غیرمستقیم آب را اندازه‌گیری می‌کند که استفاده‌ی غیرمستقیم، آب استفاده شده در زنجیره‌ی تأمین یک محصول می‌باشد. به این ترتیب، ردپای آب، ارتباطی بین مصرف‌کنندگان نهایی، فعالیت‌ها واسطه و تاجران در کل زنجیره‌ی تأمین محصول منتخب، برقرار می‌سازد. این کار، مناسب است، زیرا میزان آب مصرفی مستقیم یک مصرف‌کننده، بسیار کم‌تر از آب مصرفی غیرمستقیم وی است و مصارف آب مربوط به فعالیت‌های عملیاتی یک فعالیت، بسیار کم‌تر از آب مصرفی در زنجیره‌ی تأمین آن فعالیت است. بنابراین، (با کاربرد شاخص ردپای آب)، تصویر واقعیِ میزان وابستگی آبی یک مصرف‌کننده یا فعالیت می‌تواند به طور اساسی تغییر کند. تفاوت دیگرِ روش ردپای آب، نگاهی متفاوت است که به مصرف آب دارد (این مفهوم، با مفهوم برداشت آب مغایرت دارد). مصرف، بخشی از آب برداشتی است که تبخیر می‌شود یا در بطن محصول، جای‌سازی می‌شود. علاوه بر آن، در روش ردپای آب، تنها به مصارف آب آبی (یعنی استفاده از منابع آب سطحی و زیرزمینی) توجه نمی‌شود، بلکه این روش، ردپای آب سبز (یعنی میزان استفاده از آب باران) و ردپای آب خاکستری (یعنی میزان آب آلوده شده) را نیز درنظر می‌گیرد.

۳) آیا ردپای آب، چیزی بیش‌تر از یک استعاره‌ی زیبا است؟

اصطلاح ردپا، اغلب استعاره‌ای برای این واقعیت است که بشر، سهم قابل توجهی از منابع طبیعی موجود (اعم از زمین، انرژی و آب) را (به اهداف خود) اختصاص می‌دهد. با این حال، اصطلاح "ردپای آب"، همانند اصطلاح‌های "ردپای اکولوژیک" و "ردپای کربن"، چیزی فراتر از یک استعاره است؛ یک چارچوب دقیق برای محاسبه‌ی ردپای آب محصول‌ها، مصرف‌کنندگان، جامعه، کشور و یا فعالیت وجود دارد. در این چارچوب، متغیرهایی که قابل اندازه‌گیری هستند، به خوبی تعریف شده‌اند و مراحل محاسباتی، کاملاً معتبر هستند. ما مخالف استفاده از اصطلاح ردپای آب هستیم که، تنها، یک استعاره‌ی زیبا در نظر گرفته شود، زیرا نقطه‌ی قوت این شاخص، اثرگذار بودن آن در صورت انجام محاسبات دقیق و در نظر گرفتنِ روش‌هایی می‌باشد که تحت آن، میزان کاهش ردپای آب قابل اندازه‌گیری است.

٤) آب، یک منبع تجدیدپذیر است و در چرخه‌ی خود، باقی می‌ماند، پس مشکل چیست؟

اگرچه آب یک منبع تجدیدپذیر است، اما این بدان معنی نیست که به طور نامحدود، در دسترس است. در یک بازه‌ی زمانی خاص، بارش یک مقدار معینی داشته و در پی آن، میزان تغذیه‌ی آب زیرزمینی و آبی که در رودخانه جریان می‌یابد، نیز مقدار معینی خواهد داشت. آب باران می‌تواند در تولید محصولات کشاورزی استفاده شود، و آبی که در رودخانه‌ها و آبخوان‌ها وجود دارد، می‌تواند علاوه بر کشاورزی، در صنعت و شرب نیز مصرف شود، اما نمی‌توان آبی بیش‌تر از آن‌چه در دسترس است، مصرف نمود. از یک رودخانه، نمی‌توان آبی بیش‌تر از آن‌چه در یک زمان معین در آن جریان می‌یابد، برداشت نمود. هم‌چنین، نمی‌توان از دریاچه‌ها و منابع آب زیرزمینی، آب را با نرخی فراتر از نرخ تغذیه‌ی آن در بلندمدت برداشت نمود. ردپای آب، معیاری برای نشان دادن بخشی از آب موجود در یک زمان خاص است که مصرف (یعنی تبخیر می‌شود) و یا آلوده می‌شود. به این ترتیب، ردپای آب، معیاری برای اندازه‌گیری میزان آب در دسترسی است که از سویِ بشر، به اهدافش تخصیص داده می‌شود. باقی مانده‌ی این آب، در طبیعت رها می‌شود. آب سبزی که برای تولید محصولات کشاورزی مصرف نمی‌شود، برای حفظ پوشش‌های گیاهی طبیعی، در طبیعت باقی می‌ماند. آب آبی سطحی و زیرزمینی که به منظور تأمین نیازهای بشری تبخیر نمی‌شوند، برای بقای سلامت اکوسیستم‌های آبی، در طبیعت باقی می‌مانند.

۵) آیا توافقی روی چگونگی تعیین ردپای آب وجود دارد؟

روش‌های محاسبه‌ی ردپای آب، در مجله‌های علمی معتبر به چاپ رسیده است. علاوه بر آن، مثال‌هایی از نحوه‌ی کاربرد این روش‌ها برای محاسبه‌ی ردپای آب یک محصول، یک مصرف‌کننده، یک جامعه، یک فعالیت یا یک سازمان موجود است. از نظر کلی، روی تعاریف و محاسبه‌ی ردپای آب، توافق صورت گرفته است، ولی هر لحظه ممکن است فردی، این مفهوم را در موردی به کار برد که قبلاً استفاده نشده است؛ طبیعتا در چنین شرایطی، سوال‌های جدیدی به‌وجود خواهد آمد؛ مثلاً این سوال‌های کابردی، می‌توانند شامل این موارد باشند: چه چیزهایی باید درنظر گرفته شود و از چه چیزهایی باید صرف‌نظر نمود؟ اگر زنجیره‌ی تأمین، قابل ردیابی نباشد، چه باید کرد؟ هنگام محاسبه‌ی ردپای آب خاکستری، از چه استانداردهایی برای کیفیت آب باید استفاده نمود و غیره. بنابراین، باید روی نحوه‌ی رفع این مسائل، تمرکز نمود.

٦) چرا باید بین ردپای آب سبز، آبی و خاکستری، تمایز قایل شد؟

موجودیت آب شیرین در زمین، بر مبنای میزان بارشی که روی زمین رخ می‌دهد، مشخص می‌شود. بخشی از آب باران، تبخیر می‌شود و بخشی دیگر، از طریق رودخانه‌ها و آبخوان‌ها، به سمت اقیانوس‌ها جریان می‌یابد. هم آب قابل تبخیر[1] و هم جریان رواناب، می‌تواند برای اهداف بشری مورد استفاده قرار بگیرد. آب قابل تبخیر، می‌تواند برای رشد گیاه استفاده شود، و یا برای حفظ اکوسیستم‌های طبیعی در طبیعت رها شود؛ ردپای آب سبز نشان می‌دهد که چه سهمی از این آب قابل تبخیر، واقعاً برای اهداف بشری مصرف شده است. جریان رواناب، یعنی آبی که در رودخانه‌ها و آب‌خوان‌ها جاری می‌شود، می‌تواند برای هر هدفی، اعم از آبیاری، شست‌وشو، فرآوری محصول و خنک‌سازی، استفاده شود. ردپای آب آبی نشان می‌دهد که چه حجمی از آب‌های سطحی و زیرزمینی، برای اهداف بشری مصرف شده‌اند؛ یعنی چه حجمی از آب، از این منابع برداشت شده و سپس، تبخیر یافته و یا در بطن محصول، جای داده شده است. ردپای آب خاکستری، نشان می‌دهد که چه حجمی از آبِ موجود در رودخانه‌ها و آب‌خوان‌ها، توسط بشر آلوده شده است. با این روش، ردپاهای آب سبز، آبی و خاکستری، شکل‌های مختلف تخصیص آب توسط بشر را نشان می‌دهند. اگر لازم باشد، می‌توان ردپای آب را به مؤلفه‌های ریزتری نیز تقسیم نمود؛ مثلاً برای ردپای آب آبی، می‌توان سهم آب‌های سطحی، زیرزمینی تجدیدپذیر و زیرزمینی فسیلی (تجدیدناپذیر) را در آن مشخص نمود. یا مثلاً تعیین ردپای آب خاکستری به تفکیک آلاینده‌های مختلف، امری ارزشمند خواهد بود. در حقیقت، چنین اطلاعات دقیقی همواره در پسِ ردپای آب کل وجود خواهند داشت.

1 . Evaporative flow

۷) چرا باید کل ردپای آب سبز یک محصول را درنظر بگیریم؟ چرا نباید فقط تبخیر مازادی که در مقایسه با پوشش‌های طبیعی رخ می‌دهد، را ردپای آب سبز درنظر بگیریم؟

این مسأله، به سوالی بستگی دارد که فرد می‌خواهد به آن پاسخ دهد. ردپای آب سبز، کل تبخیر را اندازه‌گیری می‌کند و هدف آن کمک به چگونگی تخصیص آب به اهداف مختلف در شرایطی که آب موجود محدود است، می‌باشد. داشتن اطلاعاتی درباره‌ی افزایش و یا کاهش کل تبخیر، می‌تواند از دیدگاه هیدرولوژیِ حوضه و اثرات بالقوه‌ی پس از آن در پایین دست، مناسب باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهند که گاهی وجود گیاه، می‌تواند میزان تبخیر را به ویژه در دوره‌های رشد سریع گیاه، در مقایسه با پوشش‌های طبیعی افزایش دهد. گاهی نیز می‌تواند (مثلاً به دلیل تخریب خاک و یا کاهش بیوماس گیاهی)، باعث کاهش تبخیر در مقایسه با پوشش‌های طبیعی شود. در بسیاری از موارد، این تفاوت‌ها در سطح حوضه، خیلی قابل‌توجه نخواهد بود. اگرچه اختلاف بین میزان تبخیر از سطح پوشیده از گیاهان با میزان آن از سطحی با پوشش طبیعی، می‌تواند از دیدگاه هیدرولوژی حوضه و اثرات بالقوه‌ی آن در پایین دست، جالب باشد، ولی این اختلاف نمی‌تواند معیار مناسبی برای چگونگی تخصیص منابع آب شیرین به اهداف مختلف بشری باشد. ردپای آب، دقیقاً برای هدف دوم (یعنی چگونگی تخصیص منابع آب شیرین به اهداف بشری) طراحی شد. هدف ردپای آب سبز، تعیین بخشی از جریان آب قابل تبخیر است که توسط بشر به تأمین اهدافش، اختصاص داده می‌شود؛ درست مانند ردپای آب آبی/خاکستری که هدف آن، میزان روانابی است که از سویِ بشر، برای تأمین اهدافش به کارگرفته می‌شود. ردپای آب سبز، بخشی از آب باران که برای تأمین نیازهای بشری، تبخیر شده و دیگر در طبیعت باقی نمانده است، را نشان می‌دهد. به این ترتیب، ردپای آب هزینه‌ی تحمیلی یک گیاه را از نظر کل آب مصرفی‌اش نشان می‌دهد.

۸) آیا این‌که تمام حجم آب‌های مصرفی بر حسب مترمکعب، با هم جمع زده شوند و به صورت یک شاخص واحد ارایه شوند، بیش از حد ساده نیست؟

مجموع ردپای آب یک محصول، مصرف‌کننده، یا تولیدکننده، کل حجم آب شیرین اختصاص داده شده به آن‌ها –که مصرف و یا آلوده شده است–را نشان می‌دهد. ردپای آب، شاخصی کلی بوده و به‌عنوان ابزاری برای افزایش آگاهی و برای دانستن جایی که بیش‌ترین مقدارِ آب، آن‌جا استفاده می‌شود، به کار گرفته می‌شود. ردپای آب، می‌تواند به صورت یک عدد کلی ارایه شود؛ لکن این شاخص، در حقیقت یک شاخص چندبعدی از مصرف آب است که شکل‌های مختلف مصرف و آلودگی آب و زمان و مکان آن را نشان می‌دهد. برای تدوین استراتژی‌هایی برایِ استفاده‌ی پایدار از آب، باید اطلاعات جزئی‌تری که در بطن این شاخص نهفته است، را نمایان ساخت.

۹) آیا باید اجزای مختلف ردپاهای آب را بر اساس اثرات محلی آن‌ها، وزن‌دهی نماییم؟

ایده‌ی وزن‌دهی عوامل، ایده‌ی جذابی است، زیرا اثرات محلی هر مترمکعب آب مصرفی، یکسان نخواهد بود. با این وجود، به سه دلیل، انجام چنین کاری را منع می‌کنیم: اول، آن‌که، وزن‌دهی، همواره یک مسأله‌ی بسیار موضوعی[1] بوده و همین طور باقی خواهد ماند، زیرا آثار (زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) متنوعی وجود دارد که برخی از آن‌ها، به راحتی قابل اندازه‌گیری به صورت کمی نیستند. دوم، آن‌که، آثار ردپای آب، همیشه کاملاً به محل وقوع ردپای آب بستگی دارد که این بدان معناست که هیچ‌گاه نمی‌توان مجموعه‌ای از عوامل کلی معتبری که به صورت جهانی قابل به‌کارگیری است، را برای وزن‌دهی تدوین نمود. تأثیر یک مترمکعب از آبی که از نقطه‌ای خاص از روخانه در زمانی خاص برداشت شد، به ویژگی‌های آن رودخانه، مانند حجم آب رودخانه، میزان تغییرپذیری جریان آب در رودخانه، میزان رقابت بر سر آب در آن نقطه از رودخانه و در زمان خاص برداشت آب، و تأثیر این آب برداشتی بر اکوسیستم‌های پایین‌دست و دیگر کاربران آب بستگی دارد. سومین و مهم‌ترین دلیل، آن است که وقتی ردپای آب بر حسب حجم آب ارائه می‌شود، اطلاعات مهمی را به تصویر می‌کشد که اگر این شاخص، به صورت وزنی بیان شود، این اطلاعات گنگ و نامفهوم بوده و مشهود نخواهد بود. ردپای آب، حجم آبی که واقعاً به هدفی تخصیص یافته است، را نشان می‌دهد که این اطلاعات، به خودی خود ارزشمند و حیاتی است، زیرا در جهانی که منابع آب شیرین در آن محدود هستند، دانستن این‌که برای هر هدفی، چه حجمی از آب اختصاص داده شده است، مهم خواهد بود. این مسأله که آثار محلی مصرف و آلودگی آب با هم فرق دارد، خود بحث دیگری است. به منظور نشان دادن مطلوب این واقعیت که مؤلفه‌های مختلف ردپای آب (سبز، آبی یا خاکستری)، آثار محلی متفاوتی دارند، باید تاکید نماییم که شاخص ردپای آب، یک شاخص چندبعدی بوده که علاوه بر حجم آب استفاده شده، نوع، زمان و مکان استفاده از آب را نیز نشان می‌دهد. "محاسبه‌ی ردپای آب"، به معنی اندازه‌گیری ردپای آب با تمامی جزئیات آن می‌باشد. این محاسبه‌ها، پایه‌ای مناسب برای ارزیابی آثار محلی ردپای آب را فراهم می‌کند. حین این ارزیابی، آثار محلی هریک از اجزای ردپای آب با لحاظ ابعاد زمانی و مکانی ارزیابی می‌شود. انجام ارزیابی اثرات محلی ردپای آب به وضوح نشان می‌دهد که هریک از اجزای ردپای آب، آثار خاص و متفاوت خود را دارند. برای تدوین سیاست‌هایی برایِ کاهش آثار محلی ردپای آب، دانستن اطلاعاتی درباره‌ی سهم هریک از ردپاهای آب در این آثار، مفیدتر از محاسبه‌ی یک شاخص تأثیر وزن‌دهی شده از ردپای آب خواهد بود. خطر ساختن یک شاخص تأثیر وزن‌دهی شده از ردپای آب، که به ظاهر، شاخصی پیشرفته است، آن است که تمامی این آثار در آن پنهان خواهند شد و مشهود نخواهند بود.

1 . Subjective

۱۰) چگونه می‌توان محاسبه‌ی ردپای آب را به ارزیابی چرخه‌ی حیات منسوب نمود؟

ردپای آب یک محصول، می‌تواند شاخصی در ارزیابی چرخه‌ی حیاتِ آن محصول (LCA) درنظر گرفته شود. به‌کارگیری این شاخص در LCA تنها یکی از کاربردهای مختلف ردپای آب است. از دیدگاه جهانی، ردپای آب نشان می‌دهد که چه مقدار از منابع آب شیرین محدود جهان برای تولید یک محصول خاص، استفاده شده است. از دیدگاه محلی‌تر، می‌توان از روی‌هم‌گذاری نقشه‌های پراکنش مکانی و زمانی ردپای آب و تنش آب، اطلاعات مکانی و زمانی شفافی درباره‌ی آثار ردپای آب به‌دست آورد. سپس، برای تعیین یک شاخص تأثیر تجمعی ردپای آب، باید آثار مختلف ردپای آب را تجمیع و وزن‌دهی نمود. برای (لحاظ آثار ردپای آب در) LCA، سوال مهم آن است که چگونه می‌توان آثار را تجمیع نمود، زیرا این‌کار، یک نیاز خاصِ LCA است، اما انجام چنین کاری برای دیگر کاربردهای ردپای آب مفهومی ندارد. از دیگر کاربردهای ردپای آب، می‌توان مثلاً به تعیین نواحیِ کانونی برای ردپای آب یک محصول خاص، گروهی از مصرف‌کنندگان یا فعالیت و تدوین استراتژی‌های پاسخ برای کاهش ردپاهای آب و حذف آثار پس از آن اشاره نمود. برای چنین اهدافی، تجمیع آثار درست نیست زیرا، تعیین نوع و زمان و مکان استفاده از آب، امری ضروری در این کاربردها خواهد بود.

۱۱) ردپای آب، چه ارتباطی با ردپای کربن و ردپای اکولوژیک دارد؟

مفهوم ردپای آب، بخشی از یک خانواده‌ی بزرگ‌تر از مفاهیم زیست‌محیطی متنوعی است که در دهه‌های گذشته ارائه شده است. به طور کلی، اصطلاح ردپا، شاخص کمی‌ای است که میزان تخصیص منابع طبیعی به بشر و یا فشار اعمال شده به محیط‌زیست توسط بشر را نشان می‌دهد. ردپای اکولوژیک، شاخصی است که میزان استفاده از سطحی با قابلیت تولید زیستی را (بر حسب هکتار) نشان می‌دهد. ردپای کربن، شاخصی برای اندازه‌گیری میزان تولید گازهای گلخانه‌ای بر حسب مقدار معادلِ دی‌اکسیدکربن آن‌ها (بر حسب تن) می‌باشد. ردپای آب، میزان استفاده از آب را (بر حسب مترمکعب بر سال) نشان می‌دهد؛ این سه شاخص، مکمل هم هستند، زیرا هریک از آن‌ها، چیزهای کاملاً متفاوتی را اندازه‌گیری می‌کنند. اگرچه از نظر روش‌شناسی، شباهت‌هایی بین ردپاهای مختلف وجود دارد، اما هریک از این ردپاها، ویژگی‌های خاصی دارند که منحصراً، به همان ماده‌ی موردنظر (زمین، کربن یا آب) مربوط می‌شود. رایج‌ترین موردی که در مورد ردپای آب مطرح است، اهمیت تعیین بعدهای مکانی و زمانی ردپای آب است. این مسأله از این حیث مهم است که موجودیت آب، به شدت تابع مکان و زمان بوده؛ بنابراین، این بعدها حتماً باید در بحث تخصیص آب در نظر گرفته شود.

۱۲) تفاوت بین ردپای آب و آب مجازی چیست؟

ردپای آب، اصطلاحی است که مبین مقدار آبی است که برای ساخت یک محصول، استفاده می‌شود. تا این‌جا، ما می‌توانیم به جای ردپای آب، از واژه‌ی آب مجازی یک محصول استفاده کنیم، ولی ردپای آب، کاربرد وسیع‌تری دارد؛ مثلاً ما می‌توانیم با نگاهی به ردپاهای آب کالاها و خدمات استفاده شده توسط یک مصرف‌کننده، درباره‌ی ردپای آب آن مصرف‌کننده صحبت کنیم و یا با نگاهی به ردپای آب کالاها و خدماتی که توسط یک تولیدکننده، مصرف شد درباره‌ی ردپای آب آن تولیدکننده (اعم از یک فعالیت، کارخانه یا ارائه دهنده‌ی خدمات) صحبت کنیم. به‌علاوه، برخلاف آب مجازیِ یک محصول، مفهوم ردپای آب، تنها حجم آب استفاده شده را نشان نمی‌دهد؛ ردپای آب شاخصی چندبعدی است که نه تنها حجم آب استفاده شده، بلکه مکانی که این ردپا رخ داده است، نوع آبی که استفاده شده است و زمان کاربرد آب را نیز نشان می‌دهد. این اطلاعات اضافی، برای ارزیابی اثرات محلی ردپای آب یک محصول، ضروری خواهد بود.

منـابع

Acreman, M. and Dunbar, M.J. (2004) Defining environmental river flow requirements – a review, Hydrology and Earth System Sciences, 8(5): 861-876.

Alcamo, J., and Henrichs, T. (2002) Critical regions: A model-based estimation of world water resources sensitive to global changes, Aquatic Sciences 64(4): 352-362.

Aldaya, M.M., Allan, J.A. and Hoekstra, A.Y. (2010a) Strategic importance of green water in international crop trade, Ecological Economics, 69(4): 887-894.

Aldaya, M.M., Garrido, A., Llamas, M.R., Varelo-Ortega, C., Novo, P., and Casado, R.R. (2010b) Water footprint and virtual water trade in Spain, In: A. Garrido and M.R. Llamas (eds.), Water policy in Spain, CRC Press, Leiden, The Netherlands, pp. 49-59.

Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010) The water needed for Italians to eat pasta and pizza, Agricultural Systems, 103: 351-360.

Aldaya, M.M., Muñoz, G. and Hoekstra, A.Y. (2010c) Water footprint of cotton, wheat and rice production in Central Asia, Value of Water Research Report Series No. 41, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report41-WaterFootprintCentralAsia.pdf.

Aldaya, M.M. and Llamas, M.R. (2008) Water footprint analysis for the Guadiana river basin, Value of Water Research Report Series No. 35, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report35-WaterFootprint-Guadiana.pdf.

Aldaya, M.M., Martinez-Santos, P. and Llamas, M.R. (2010d) Incorporating the water footprint and virtual water into policy: Reflections from the Mancha Occidental Region, Spain, Water Resources Management 24(5): 941-958.

Allan, J.A. (2003) Virtual water – the water, food, and trade nexus: Useful concept or misleading metaphor? Water International 28(1): 106-113.

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.

ANZECC and ARMCANZ (2000) Australian and New Zealand guidelines for fresh and marine water quality, Australian and New Zealand Environment and Conservation Council and Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand,
www.mincos.gov.au/publications/australian_and_new_zealand_guidelines_for_fresh_and_marine_water_quality.

Arthington, A.H., Bunn, S.E., Poff, N.L. and Naiman, R.J. (2006) The challenge of providing environmental flow rules to sustain river ecosystems. Ecological Applications, 16(4): 1311-1318.

Austrian Federal Ministry of Agriculture, Forestry, Environment and Water Management (2010) BGBl 2010 II Nr. 99: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des ökologischen Zustandes für Oberflächengewässer (Qualitätszielverordnung Ökologie Oberflächengewässer - QZV Ökologie OG).

Barton, B. (2010) Murky waters? Corporate reporting on water risk, A benchmarking study of 100 companies, Ceres, Boston, USA, www.ceres.org/Document.Doc?id=547.

Batjes, N.H. (2006) ISRIC-WISE derived soil properties on a 5 by 5 arc-minutes global grid, Report 2006/02, ISRIC – World Soil Information, Wageningen, The Netherlands, available through www.isric.org.

Berger, M. and Finkbeiner, M. (2010) Water footprinting: How to address water use in life cycle assessment? Sustainability, 2: 919-944.

Brown, S., Schreier, H. and Lavkulich, L.M. (2009) Incorporating virtual water into water management: A British Columbia example, Water Resources Management, 23(13): 2681-2696.

Bulsink, F., Hoekstra, A.Y. and Booij, M.J. (2010) The water footprint of Indonesian provinces related to the consumption of crop products, Hydrology and Earth System Sciences, 14(1): 119-128.

Canadian Council of Ministers of the Environment (2010) Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life, Canadian Environmental Quality Guidelines, Canadian Council of Ministers of the Environment, Winnipeg, Canada, http://ceqg-rcqe.ccme.ca.

CBD (2002) Global strategy for plant conservation, Convention on Biological Diversity, Montreal, Canada, www.cbd.int.

Chahed, J., Hamdane, A. and Besbes, M. (2008) A comprehensive water balance of Tunisia: blue water, green water and virtual water, Water International, 33(4): 415-424.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2003) Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products, Value of Water Research Report Series No.13, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report13.pdf.

Chapagain, A.K. and Hoekstra, A.Y. (2004) Water footprints of nations, Value of Water Research Report Series No.16, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report16Vol1.pdf.

Chapagain, A.K., and Hoekstra, A.Y. (2007) The water footprint of coffee and tea consumption in the Netherlands, Ecological Economics 64(1): 109-118.

Chapagain, A.K. and 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. and Hoekstra, A.Y. (2010) The green, blue and grey water footprint of rice from both a production and consumption perspective, Value of Water Research Report Series No.40, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report40-WaterFootprintRice.pdf.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., and 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. and 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.

Chapagain, A. K. and Orr, S. (2008) UK Water Footprint: The impact of the UK's food and fibre consumption on global water resources, WWF-UK, Godalming, UK.

Chapagain, A.K., and Orr, S. (2009) An improved water footprint methodology linking global consumption to local water resources: A case of Spanish tomatoes, Journal of Environmental Management 90: 1219-1228.

Chapagain, A.K. and Orr, S. (2010) Water Footprint of Nestlé's 'Bitesize Shredded Wheat'. A pilot study to account and analyse the water footprints of Bitesize Shredded Wheat in the context of water availability along its supply chain, WWF-UK, Godalming, UK.

Chinese Ministry of Environmental Protection (2002) Environmental quality standard for surface water, Ministry of Environmental Protection, The People's Republic of China,
http://english.mep.gov.cn/standards_reports/standards/water_environment/quality_standard/200710/t20071024_111792.htm.

Clark, G.M., Mueller, D.K., Mast, M.A. (2000) Nutrient concentrations and yields in undeveloped stream basins of the United States, Journal of the American Water Resources Association 36(4): 849-860.

CONAMA (2005) Brazilian water quality standards for rivers, The National Council of the Environment, Brazilian Ministry of the Environment.

Crommentuijn, T., Sijm, D., de Bruijn, J., van den Hoop, M., van Leeuwen, K. and van de Plassche, E. (2000) Maximum permissible and negligible concentrations for metals and metalloids in the Netherlands, taking into account background concentrations, Journal of Environmental Management 60: 121-143.

CropLife Foundation (2006) National pesticide use database 2002, CropLife Foundation, Washington, D.C., USA, www.croplifefoundation.org/cpri_npud2002.htm.

Dabrowski, J.M., Murray, K., Ashton, P.J. and Leaner, J.J. (2009) Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions, Ecological Economics 68(4): 1074-1082.

Dastane, N.G. (1978) Effective rainfall in irrigated agriculture, Irrigation and Drainage Paper No.25, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/docrep/X5560E/x5560e00.htm#Contents.

Dietzenbacher, E. and Velazquez, E. (2007) Analysing Andalusian virtual water trade in an input - output framework, Regional Studies 41(2): 185-196.

Dominguez-Faus, R., Powers, S.E., Burken, J.G. and Alvarez, P.J. (2009) The water footprint of biofuels: A drink or drive issue? Environmental Science & Technology 43(9): 3005-3010.

Dyson, M., Bergkamp, G. and Scanlon, J. (eds.) (2003) Flow: the essentials of environmental flows, IUCN, Gland, Switzerland.

Ecoinvent (2010) Ecoinvent data v2.2, Ecoinvent Centre, Switzerland, www.ecoinvent.org.

Elkington, J. (1997) Cannibals with forks: the triple bottom line of 21st century business, Capstone, Oxford, UK.

Ene, S.A. and Teodosiu, C. (2009) Water footprint and challenges for its application to integrated water resources management in Romania, Environmental Engineering and Management Journal, 8(6): 1461-1469.

Environment Agency (2007) Towards water neutrality in the Thames Gateway, Summary report, Science report SC060100/SR3, Environment Agency, Bristol, UK.

EPA (2005) List of drinking water contaminants: ground water and drinking water, US Environmental Protection Agency, www.epa.gov/safewater/mcl.html#1

EPA (2010a) Overview of impaired waters and total maximum daily loads program, Unites States Environmental Protection Agency, www.epa.gov/owow/tmdl/intro.html.

EPA (2010b) National recommended water quality criteria, Unites States Environmental Protection Agency, www.epa.gov/waterscience/criteria/wqctable/index.html#nonpriority.

Ercin, A.E., Aldaya, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2009) A pilot in corporate water footprint accounting and impact assessment: The water footprint of a sugar-containing carbonated beverage, Value of Water Research Report Series No.39, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report39-WaterFootprintCarbonatedBeverage.pdf.

EU (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy, European Union, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20090113:EN:PDF

EU (2006) Directive 2006/44/EC of the European Parliament and of the Council of 6 September 2006 on the quality of fresh waters needing protection or improvement in

order to support fish life, European Union, Brussels, Belgium, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:264:0020:0031:EN:pdf

EU (2008) Directive 2008/105/EC on environmental quality standards in the field of water policy, European Commission, http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:348:0084:0097:EN:PDF

Eurostat (2007) The use of plant protection products in the European Union: Data 1992-2003, Eurostat Statistical Books, European Commission, http://epp.eurostat.ec.europa.eu/cache/ITY_OFFPUB/KS-76-06-669/EN/KS-76-06-669-EN.PDF.

Falkenmark, M. (1989) The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed? Ambio 18(2): 112-118.

Falkenmark, M. (2003) Freshwater as shared between society and ecosystems: from divided approaches to integrated challenges, Philosophical Transaction of the Royal Society of London B 358(1440): 2037-2049.

Falkenmark, M. and G. Lindh (1974) How can we cope with the water resources situation by the year 2015? Ambio 3(3-4): 114-122.

Falkenmark, M. and Rockström, J. (2004) Balancing water for humans and nature: The new approach in ecohydrology, Earthscan, London, UK.

FAO (2003) Technical conversion factors for agricultural commodities, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/fileadmin/templates/ess/documents/methodology/tcf.pdf.

FAO (2005) New LocClim, Local Climate Estimator CD-ROM, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp.

FAO (2010a) CLIMWAT 2.0 database, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html.

FAO (2010b) CROPWAT 8.0 model, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.

FAO (2010c) FertiStat database, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/ag/agl/fertistat.

FAO (2010d) FAOSTAT database, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, http://faostat.fao.org.

FAO (2010e) AQUACROP 3.1, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/nr/water/aquacrop.html.

FAO (2010f) Global Information and Early Warning System (GIEWS), Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/giews/countrybrief/index.jsp.

FAO (2010g) Global map of monthly reference evapotranspiration and precipitation – at 10 arc minutes, GeoNetwork grid database, www.fao.org/geonetwork/srv/en.

FAO (2010h) Global map maximum soil moisture – at 5 arc minutes, GeoNetwork grid database, www.fao.org/geonetwork/srv/en.

Galan-del-Castillo, E. and Velazquez, E. (2010) From water to energy: The virtual water content and water footprint of biofuel consumption in Spain, Energy Policy, 38(3): 1345-1352.

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. and Smil, V. (2007) International trade in meat: The tip of the pork chop, Ambio 36(8): 622-629.

Garrido, A., Llamas, M.R., Varela-Ortega, C., Novo, P., Rodríguez-Casado, R. and Aldaya, M.M. (2010) Water footprint and virtual water trade in Spain, Springer, New York, USA.

Gerbens-Leenes, P.W. and Hoekstra, A.Y. (2009) The water footprint of sweeteners and bio-ethanol from sugar cane, sugar beet and maize, Value of Water Research Report Series No. 38, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report38-WaterFootprint-sweeteners-ethanol.pdf.

Gerbens-Leenes, P.W. and Hoekstra, A.Y. (2010) Burning water: The water footprint of biofuel-based transport, Value of Water Research Report Series No. 44, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report44-BurningWater-WaterFootprintTransport.pdf.

Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. and Van der Meer. Th. (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. and 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., and 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.

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. (2010) Water conflict chronology, www.worldwater.org/conflict.

GWP (2000) Integrated water resources management, TAC Background Papers No. 4, Global Water Partnership, Stockholm, Sweden.

GWP and INBO (2009) A handbook for integrated water resources management in basins, Global Water Partnership, Stockholm, Sweden / International Network of Basin Organizations, Paris, France.

Japanese Ministry of the Environment (2010) Environmental quality standards for water pollution, Ministry of the Environment, Government of Japan, www.env.go.jp/en/water.

Heffer, P. (2009) Assessment of fertilizer use by crop at the global level, International Fertilizer Industry Association, Paris, France, www.fertilizer.org/ifa/Home-Page/LIBRARY/Publication-database.html/Assessment-of-Fertilizer-Use-by-Crop-at-the-Global-Level-2006-07-2007-08.html2

Herendeen, R.A. (2004) Energy analysis and EMERGY analysis - A comparison, Ecological Modelling 178: 227-237.

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, www.waterfootprint.org/Reports/Report12.pdf.

Hoekstra, A.Y. (2006) The global dimension of water governance: Nine reasons for global arrangements in order to cope with local water problems, Value of Water Research Report Series No.20, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report_20_Global_Water_Governance.pdf.

Hoekstra, A.Y. (2008a) Water neutral: reducing and offsetting the impacts of water footprints, Value of Water Research Report Series No.28, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report28-WaterNeutral.pdf.

Hoekstra, A.Y. (2008b) 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. (2008c) The water footprint of food, In: Förare, J. (ed.) Water for food, The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning (Formas), Stockholm, Sweden, pp. 49-60.

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 relation between international trade and freshwater scarcity, Working Paper ERSD-2010-05, January 2010, World Trade Organization, Geneva, Switzerland.

Hoekstra, A.Y. (2010b) The water footprint of animal products, In: D'Silva, J. and Webster, J. (eds.) The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption, Earthscan, London, UK, pp. 22-33.

Hoekstra, A.Y. and Chapagain, A.K. (2007a) 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. and Chapagain, A.K. (2007b) The water footprints of Morocco and the Netherlands: Global water use as a result of domestic consumption of agricultural commodities, Ecological Economics 64(1): 143-151.

Hoekstra, A.Y. and 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. and Mekonnen, M.M. (2009a) Water footprint manual: State of the art 2009, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands, www.waterfootprint.org/downloads/WaterFootprintManual2009.pdf.

Hoekstra, A.Y., Gerbens-Leenes, W. and Van der Meer, T.H. (2009b) Water footprint accounting, impact assessment, and life-cycle assessment, Proceedings of the National Academy of Sciences 106(40): E114.

Hoekstra, A.Y., Gerbens-Leenes, W. and Van der Meer, T.H. (2009c) The water footprint of *Jatropha curcas* under poor growing conditions, Proceedings of the National Academy of Sciences 106(42): E119.

Hoekstra, A.Y. and 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, www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf.

Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q. (2005) Globalisation of water resources: international virtual water flows in relation to crop trade, Global Environmental Change 15(1): 45-56.

Hubacek, K., Guan, D.B., Barrett, J. and Wiedmann, T. (2009) Environmental implications of urbanization and lifestyle change in China: Ecological and water footprints, Journal of Cleaner Production, 17(14): 1241-1248.

Humbert, S., Loerincik, Y., Rossi, V., Margnia, M. and Jolliet, O. (2009) Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso), Journal of Cleaner Production 17(15): 1351-1358.

IFA (2009) IFA data, International Fertilizer Industry Association, www.fertilizer.org/ifa/ifadata/search.

IFC, LimnoTech, Jain Irrigation Systems and TNC (2010) Water footprint assessments – Dehydrated onion products, Micro-irrigation systems – Jain Irrigation Systems Ltd. , International Finance Corporation, Washington, D.C., USA.

IPCC (2006) 2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories, Intergovernmental Panel on Climate Change, www.ipcc-nggip.iges.or.jp.

Jongschaap, R.E.E., Blesgraaf, R.A.R., Bogaard, T.A., Van Loo, E.N. and Savenije, H.H.G. (2009) The water footprint of bioenergy from Jatropha curcas L., Proceedings of the National Academy of Sciences 106(35): E92-E92.

Kampman, D.A., Hoekstra, A.Y. and Krol, M.S. (2008) The water footprint of India, Value of Water Research Report Series No.32, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands.

Koehler, A. (2008) Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources, International Journal of Life Cycle Assessment 13(6): 451-455.

Kuiper, J., Zarate, E, and Aldaya, M. (2010) Water footprint assessment , policy and practical measures in a specific geographical setting, A study in collaboration with the UNEP Division of Technology, Industry and Economics, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.

Kumar, V., Jain, S.K. (2007) Status of virtual water trade from India, Current Science 93: 1093-1099.

LAWA-AO (2007) Monitoring framework design, Part B, Valuation bases and methods descriptions. Background and guidance values for physico-chemical components, www.vsvi-sachsen.de/Beitr%E4ge%20aus%20unseren%20Veranst/17.09.2008%20Tausalz%20Recht%20RAKONArbeitspapierII_Stand_07_03_2007.pdf.

Levinson, M. et al. (2008) Watching water: A guide to evaluating corporate risks in a thirsty world, JPMorgan, USA.

Liu, J. and Savenije, H.H.G. (2008) Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, Hydrology and Earth System Sciences 12(3): 887-898.

Liu, J.G., 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.

Liu, J., Zehnder, A.J.B. and Yang, H. (2009) Global consumptive water use for crop production: The importance of green water and virtual water, Water Resources Research, 45, W05428.

Ma, J., Hoekstra, A.Y., Wang, H., Chapagain, A.K. and Wang, D. (2006) Virtual versus real water transfers within China, Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 361 (1469): 835-842.

MacDonald, D.D., Berger, T., Wood, K., Brown, J., Johnsen, T., Haines, M.L., Brydges, K., MacDonald, M.J., Smith, S.L. and Shaw. D.P. (2000) Compendium of environmental quality benchmarks, MacDonald Environmental Sciences, Nanaimo, British Columbia, Canada, www.pyr.ec.gc.ca/georgiabasin/reports/Environmental%20Benchmarks/GB-99-01_E.pdf.

Maes, W.H., Achten, W.M.J. and Muys, B. (2009) Use of inadequate data and methodological errors lead to an overestimation of the water footprint of Jatropha curcas, Proceedings of the National Academy of Sciences, 106(34): E91-E91.

MAPA (2001) Calendario de siembra, recolección y comercialización, años 1996-1998, Spanish Ministry of Agriculture, Madrid, Spain.

MARM (2009) Agro-alimentary Statistics Yearbook, Spanish Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs, www.mapa.es/es/estadistica/pags/anuario/introduccion.htm.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010a) A global and high-resolution assessment of the green, blue and grey water footprint of wheat, Hydrology and Earth System Sciences 14: 1259–1276.

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010b) Mitigating the water footprint of export cut flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya, Value of Water Research Report Series No.45, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report45-WaterFootprint-Flowers-Kenya.pdf.

Milà i Canals, L., Chenoweth, J., Chapagain, A., Orr, S., Antón, A. and Clift, R. (2009) Assessing freshwater use impacts in LCA: Part I—inventory modelling and characterisation factors for the main impact pathways, Journal of Life Cycle Assessment 14(1) 28-42.

Mitchell, T.D. and Jones, P.D. (2005) An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids, International Journal of Climatology, 25, 693-712, http://cru.csi.cgiar.org/continent_selection.asp.

Monfreda, C., Ramankutty, N., Foley, J.A. (2008) Farming the planet: 2. Geographic distribution of crop areas, yields, physiological types, and net primary production in the year 2000, Global Biogeochemical Cycles, 22(1): GB1022, www.geog.mcgill.ca/landuse/pub/Data/175crops2000.

Morrison, J., Morkawa, M., Murphy, M., and Schulte, P. (2009) Water scarcity and climate change: Growing risks for business and investors, CERES, Boston, MA, USA, www.ceres.org/Document.Doc?id=406.

Morrison, J., Schulte, P. and Schenck, R. (2010) Corporate water accounting: An analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts, United Nations Global Compact, New York, USA, www.pacinst.org/reports/corporate_water_accounting_analysis/corporate_water_accounting_analysis.pdf

NASS (2009) Agricultural chemical use database, National Agricultural Statistics Service, www.pestmanagement.info/nass.

Nazer, D.W., Siebel, M.A., Van der Zaag, P., Mimi, Z. and Gijzen, H.J. (2008) Water footprint of the Palestinians in the West Bank, Journal of the American Water Resources Association 44(2): 449-458.

NCDC (2009) Global surface summary of the day, National Climatic Data Center, www.ncdc.noaa.gov/cgi-bin/res40.pl?page=gsod.html, data available from ftp://ftp.ncdc.noaa.gov/pub/data/gsod.

Noss, R.F. and Cooperrider, A.Y. (1994) Saving nature's legacy: Protecting and restoring biodiversity, Island Press,Washington, D.C., USA.

Novo, P., Garrido, A. and Varela-Ortega, C. (2009) Are virtual water "flows" in Spanish grain trade consistent with relative water scarcity? Ecological Economics 68(5): 1454-1464.

Odum, H.T. (1996) Environmental accounting: Emergy and environmental decision making, Wiley, New York.

Official State Gazette (2008) Approval of the water planning instruction, Ministry of the Environment and Rural and Marine Affairs, Official State Gazette 229, Madrid, Spain, 22nd September 2008, www.boe.es/boe/dias/2008/09/22/pdfs/A38472-38582.pdf.

Oregon State University (2010) The transboundary freshwater dispute database, Oregon State University, Department of Geosciences, Corvallis, Oregon, USA, www.transboundarywaters.orst.edu/database.

Pegram, G., Orr, S., and Williams, C. (2009) Investigating shared risk in water: Corporate engagement with the public policy process, WWF, Godalming, UK.

Perry, C. (2007) Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations, Irrigation and Drainage, 56(4): 367-378.

Pfister, S., Hellweg, S. (2009) The water "shoesize" vs. footprint of bioenergy, Proceedings of the National Academy of Sciences 106(35): E93-E94.

Pfister, S., Koehler, A. and Hellweg, S. (2009) Assessing the environmental impacts of freshwater consumption in LCA, Environmental Science and Technology 43: 4098-4104.

Poff, N.L., Richter, B.D., Aarthington, A.H., Bunn, S.E., Naiman, R.J., Kendy, E., Acreman, M., Apse, C., Bledsoe, B.P., Freeman, M.C., Henriksen, J., Jacobson, R.B., Kennen, J.G., Merritt, D.M., O'Keeffe, J.H., D.Olden, J., Rogers, K., Tharme, R.E. and Warner, A. (2010) The ecological limits of hydrologic alteration (ELOHA): A new framework for developing regional environmental flow standards, Freshwater Biology, 55(1): 147-170.

Portmann, F., Siebert, S., Bauer, C. and Dll, P. (2008) Global data set of monthly growing areas of 26 irrigated crops. Frankfurt Hydrology Paper 06, Institute of Physical Geography, University of Frankfurt, Frankfurt am Main, Germany, http://www.geo.uni-frankfurt.de/ipg/ag/dl/forschung/MIRCA/index.html.

Portmann, F.T., Siebert, S. and Döll P. (2009) MIRCA2000 - Global monthly irrigated and rainfed crop areas around the year 2000: A new high-resolution data set for agricultural and hydrological modeling, Global Biogeochemical Cycles, doi:10.1029/2008GB003435.

Postel, S.L., Daily, G.C., and Ehrlich, P.R. (1996) Human appropriation of renewable fresh water, Science 271: 785-788.

Raskin, P.D., E. Hansen and R.M. Margolis (1996) Water and sustainability: global patterns and long-range problems, Natural Resources Forum 20(1): 1-5.

Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W.P., Suh, S., Weidema, B.P. and Pennington, D.W. (2004) Life cycle assessment Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications, Environment International 30: 701-720.

Rees, W.E. (1992) Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out, Environment and Urbanization 4(2): 121-130.

Rees, W.E. (1996) Revisiting carrying capacity: Area-based indicators of sustainability, Population and Environment 17(3): 195-215.

Rees, W.E. and Wackernagel, M. (1994) Ecological footprints and appropriated carrying capacity: Measuring the natural capital requirements of the human economy, In: Jansson, A.M., Hammer, M., Folke, and Costanza, R. (eds.) Investing in natural capital: The ecological economics approach to sustainability, Island Press, Washington, D.C., pp. 362-390.

Richter, B.D. (2010) Re-thinking environmental flows: from allocations and reserves to sustainability boundaries, River Research and Applications, 26(8): 1052–1063.

Ridoutt, B.G., Eady, S.J., Sellahewa, J., Simons, L. and Bektash, R. (2009) Water footprinting at the product brand level: case study and future challenges, Journal of Cleaner Production 17(13): 1228-1235.

Ridoutt, B.G., Juliano, P., Sanguansri, P. and Sellahewa, J. (2010) The water footprint of food waste: Case study of fresh mango in Australia, Journal of Cleaner Production 18(16-17): 1714 – 1721.

Ridoutt, B.G. and 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(1): 113-120.

Rockström, J. (2001) Green water security for the food makers of tomorrow: windows of opportunity in drought-prone savannahs Water Science and Technology 43 (4): 71-78.

Romaguera, M., Hoekstra, A.Y., Su, Z., Krol, M.S. and Salama, M.S. (2010) Potential of using remote sensing techniques for global assessment of water footprint of crops, Remote Sensing, 2(4): 1177-1196.

SABMiller and WWF-UK (2009) Water footprinting: Identifying & addressing water risks in the value chain, SABMiller, Woking, UK / WWF-UK, Goldalming, UK.

SABMiller, GTZ and WWF (2010) Water futures: Working together for a secure water future, SABMiller, Woking, UK / WWF-UK, Goldalming, UK.

Safire, W. (2008) On language: Footprint, New York Times, February 17, 2008.

Savenije, H.H.G. (2000) Water scarcity indicators; the deception of the numbers, Physics and Chemistry of the Earth (B), 25(3): 199-204.

Siebert, S., Döll, P., Feick, S., Hoogeveen, J. and Frenken, K. (2007) Global map of irrigation areas, version 4.0.1. Johann Wolfgang Goethe University, Frankfurt am

Main, Germany / Food and Agriculture Organization, Rome, Italy, www.fao.org/nr/water/aquastat/irrigationmap/index10.stm.

Siebert, S. and Döll, P. (2010) Quantifying blue and green virtual water contents in global crop production as well as potential production losses without irrigation, Journal of Hydrology, 384: 198–207.

Smakhtin, V., Revenga, C. and Döll, P. (2004) A pilot global assessment of environmental water requirements and scarcity, Water International 29(3): 307-317.

Smith, M. (1992) CROPWAT – A computer program for irrigation planning and management, Irrigation and Drainage Paper 46, FAO, Rome, Italy.

Smith, R.A., Alexander, R.., Schwarz, G.E. (2003) Natural background concentrations of nutrients in streams and rivers of the conterminous United States, Environmental Science and Technology 37(14): 3039-3047.

Sonnenberg, A., Chapagain, A., Geiger, M. and August, D. (2009). Der Wasser-Fußabdruck Deutschlands: Woher stammt das Wasser, das in unseren Lebensmitteln steckt? WWF Deutschland, Frankfurt.

South African Department of Water Affairs and Forestry (1996) South African water quality guidelines, Volume 7, Aquatic Ecosystems, Department of Water Affairs and Forestry, Second Edition, www.dwaf.gov.za/dir_ws/tkc/vdFileLoad/file.asp?ID=228

Svancara, L.K., Brannon, R., Scott, J M., Groves, C.R., Noss, R.F. and Pressey, R.L. (2005) Policy-driven versus evidence-based conservation: A review of political targets and biological needs, BioScience 55(11): 989-995.

TCCC and TNC (2010) Product water footprint assessments: Practical application in corporate water stewardship, The Coca-Cola Company, Atlanta, USA / The Nature Conservancy, Arlington, USA.

UKTAG (2008) UK environmental standards and conditions (Phase 1), UK Technical Advisory Group on the Water Framework Directive, www.wfduk.org/UK_Environmental_Standards/ES_Phase1_final_report.

UN (1948) Universal declaration of human rights, United Nations General Assembly, Resolution 217 A (III) of 10 December 1948, Paris, France.

UN (2010a) Trends in sustainable development: Towards sustainable consumption and production, United Nations, New York, USA, www.un.org/esa/dsd/resources/res_pdfs/publications/trends/trends_sustainable_consumption_production/Trends_in_sustainable_consumption_and_production.pdf.

UN (2010b) The human right to water and sanitation, United Nations General Assembly, Sixty-fourth session, Agenda item 48, United Nations, New York, USA.

UNEP (2009) GEMSTAT, Global water quality data and statistics, Global Environment Monitoring System, UNEP, Nairobi, Kenya, www.gemstat.org.

UNESCO (2009) IWRM guidelines at river basin level, Part I: Principles, UNESCO, Paris, France.

USDA (1994) The major world crop areas and climatic profiles, Agricultural Handbook No. 664, World Agricultural Outlook Board, United States Department of Agriculture, www.usda.gov/oce/weather/pubs/Other/MWCACP/MajorWorldCropAreas.pdf

Van der Leeden, F., Troise, F.L. and Todd, D.K. (1990) The water encyclopedia, Second edition, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.

Van Lienden, A.R., Gerbens-Leenes, P.W., Hoekstra, A.Y. and Van der Meer, Th.H. (2010) Biofuel scenarios in a water perspective: The global blue and green water footprint of road transport in 2030, Value of Water Research Report Series No.43, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report43-WaterFootprint-BiofuelScenarios.pdf.

Van Oel, P.R. and Hoekstra, A.Y. (2010) The green and blue water footprint of paper products: methodological considerations and quantification, Value of Water Research Report Series No.46, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report46-WaterFootprintPaper.

Van Oel, P.R., Mekonnen M.M. and Hoekstra, A.Y. (2008) The external water footprint of the Netherlands: Quantification and impact assessment, Value of Water Research Report Series No.33, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report33-ExternalWaterFootprintNetherlands.pdf.

Van Oel, P.R., Mekonnen M.M. and Hoekstra, A.Y. (2009) The external water footprint of the Netherlands: Geographically-explicit quantification and impact assessment, Ecological Economics 69(1): 82-92.

Verkerk, M.P., Hoekstra, A.Y. and Gerbens-Leenes, P.W. (2008) Global water governance: Conceptual design of global institutional arrangements, Value of Water Research Report Series No.26, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, www.waterfootprint.org/Reports/Report26-Verkerk-et-al-2008GlobalWaterGovernance.pdf.

Verma, S., Kampman, D.A., Van der Zaag, P. and 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: 261-269.

Wackernagel, M. and Rees, W. (1996) Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth New Society Publishers, Gabriola Island, B.C., Canada.

Wang, H.R. and Wang, Y. (2009) An input-output analysis of virtual water uses of the three economic sectors in Beijing, Water International, 34(4): 451-467.

Water Neutral (2002) Get water neutral! [brochure distributed among delegates at the 2002 World Summit on Sustainable Development in Johannesburg], The Water Neutral Foundation, Johannesburg, South Africa.

WCED (1987) Our common future, World Commission on Environment and Development, Oxford University Press, Oxford, UK.

Williams, J.R., Jones, C.A., Kiniry, J.R., Spanel, D.A. (1989) The EPIC crop growth-model, Transactions of the ASAE 32(2): 497–511.

Williams, J.R. (1995) The EPIC model, In: Singh, V.P. (ed.) Computer models of watershed hydrology, Water Resources Publisher, Colorado, USA, pp. 909–1000.

WRI and WBCSD (2004) The greenhouse gas protocol: A corporate accounting and reporting standard, Revised edition, World Resources Institute, Washington, DC and World Business Council for Sustainable Development, Conches-Geneva, www.ghgprotocol.org/files/ghg-protocol-revised.pdf.

WWAP (2009) The United Nations World Water Development Report 3: Water in a changing world, World Water Assessment Programme, UNESCO Publishing, Paris / Earthscan, London.

WWF (2008) Living planet report 2008, WWF International, Gland, Switzerland.

WWF (2010) Living planet report 2010, WWF International, Gland, Switzerland.

Yang, H., Zhou, Y., Liu, J.G. (2009) Land and water requirements of biofuel and implications for food supply and the environment in China, Energy Policy 37(5): 1876-1885.

Yu, Y., Hubacek. K., Feng, K.S. and Guan, D. (2010) Assessing regional and global water footprints for the UK, Ecological Economics 69(5): 1140-1147.

Zarate, E. (ed.) (2010a) WFN grey water footprint working group final report – a joint study developed by WFN partners, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.

Zarate, E. (ed.) (2010b) WFN water footprint sustainability assessment working group final report – a joint study developed by WFN partners, Water Footprint Network, Enschede, the Netherlands.

Zeitoun, M., Allan, J.A. and Mohieldeen, Y. (2010) Virtual water 'flows' of the Nile Basin, 1998-2004: A first approximation and implications for water security, Global Environmental Change, 20(2): 229-242.

Zhao, X., Chen, B., Yang, Z.F. (2009) National water footprint in an input-output framework - A case study of China 2002, Ecological Modelling 220(2): 245-253.

Zwart, S.J., Bastiaanssen, W.G.M., De Fraiture, C. and Molden, D.J. (2010) A global benchmark map of water productivity for rainfed and irrigated wheat, Agricultural Water Management, 97(10): 1617-1627.

فهرست نمادها

نماد	واحد [الف]	توضیحات
α	-	کسر آبشویی-رواناب، به عنوان مثال، کسری از مواد شیمیایی مصرفی که به پیکره‌ی آب شیرین می‌پیوندد.
$Abstr$	حجم/ زمان	حجم آب برداشت شده در زمان
$Appl$	جرم/ زمان	مقدار مواد شیمیایی مصرفی (کود یا آفت کش) در واحد زمان
AR	جرم/ سطح	میزان مصرف یک ماده شیمیایی (کود یا آفت کش) در واحد سطح
C	جرم/ زمان[ب]	مصرف یک محصول
C_{act}	جرم/ حجم	غلظت واقعی یک ماده‌ی شیمیایی در یک پیکره‌ی آبی که آب از آن برداشت می‌شود.
C_{effl}	جرم/ حجم	غلظت یک ماده شیمیایی در پساب
C_{max}	جرم/ حجم	حداکثر غلظت مجاز یک ماده شیمیایی در پیکره آبی دریافت‌کننده
C_{nat}	جرم/ حجم	غلظت طبیعی یک ماده شیمیایی در پیکره آبی دریافت‌کننده
CWR	طول/ زمان	نیاز آبی گیاه
CWU_{blue}	حجم/ سطح	آب آبی استفاده شده بوسیله‌ی گیاه
CWU_{green}	حجم/ سطح	آب سبز استفاده شده بوسیله‌ی گیاه
E	پول/ زمان	کل ارزش اقتصادی یک محصول تولیدی در یک واحد کاری
$Effl$	حجم/ زمان	حجم پساب (جریان فاضلاب)
EFR	حجم/ زمان	جریان زیست‌محیطی موردنیاز
ET_a	طول/ زمان	تبخیر-تعرق گیاهی تعدیل شده (تحت شرایط واقعی)
ET_{blue}	طول/ زمان	تبخیر-تعرق از آب آبی
ET_c	طول / زمان	تبخیر-تعرق گیاه (تحت شرایط مطلوب)
ET_{env}	حجم/ زمان	تبخیر-تعرق صورت‌گرفته از اراضی اختصاص داده شده برای پوشش گیاهی طبیعی
ET_{green}	طول/ زمان	تبخیر-تعرق از آب سبز
ET_o	طول/ زمان	تبخیر-تعرق گیاه مرجع
ET_{unprod}	حجم/ زمان	تبخیر-تعرق صورت گرفته از اراضی‌ای که قابلیت تولید ندارند
$f_p[p,i]$	-	کسر محصولِ مربوط به محصول خروجی p که از محصول ورودی i تولید گردید
$f_v[p]$	-	کسر ارزشِ محصول خروجی p
IR	طول/ زمان	نیاز آبیاری
K_c	-	ضریب گیاهی
K_{cb}	-	ضریب گیاهی پایه
K_e	-	ضریب تبخیر خاک
K_s	-	ضریب تنش آبی
L	جرم/ زمان	بار یک آلاینده
L_{crit}	جرم/ زمان	بار بحرانی یک آلاینده

نماد	واحد [الف]	توضیحات
P	جرم/ زمان[ب]	مقدار تولید یک محصول
P_{eff}	طول/ زمان	بارش مؤثر
$price$	پول/ جرم	قیمت یک محصول
R_{act}	حجم/ زمان	رواناب واقعی در یک حوضه
R_{nat}	حجم/ زمان	رواناب طبیعی در یک حوضه (بدون لحاظ ردپای آب آبی در آن حوضه)
S_g	حجم/ زمان	صرفه‌جویی جهانی آب در ازای تجارت یک محصول
S_n	حجم/ زمان	صرفه‌جویی ملی آب در ازای تجارت یک محصول
T	جرم/ زمان[ب]	مقدار مبادله‌ی یک محصول
T_e	جرم/ زمان[ب]	مقدار صادرات یک محصول
T_i	جرم/ زمان[ب]	مقدار واردات یک محصول
T_{effl}	دما	دمای فاضلاب
T_{max}	دما	حداکثر دمای مجاز برای پیکره‌ی آبیِ دریافت‌کننده
T_{nat}	دما	دمای طبیعی پیکره آبی دریافت‌کننده
V_b	حجم/ زمان	بودجه آب مجازیِ یک محدوده‌ی معین (به عنوان مثال، یک کشور)
V_e	حجم/ زمان	صادرات ناخالص آب مجازی از یک محدوده‌ی معین (به عنوان مثال، یک کشور)
$V_{e,d}$	حجم/ زمان	صادرات ناخالص آب مجازی به ازای صادرات محصول‌های تولید شده در داخل کشور
$V_{e,r}$	حجم/ زمان	صادرات ناخالص آب مجازی به ازای صادر نمودن مجددِ محصول‌های وارداتی
V_i	حجم/ زمان	واردات ناخالص آب مجازی به داخل یک محدوده‌ی معین (به عنوان مثال، یک کشور)
$V_{i,net}$	حجم/ زمان	واردات ناخالص آب مجازی به داخل یک محدوده‌ی معین (به عنوان مثال، یک کشور)
$w[i]$	جرم	مقدار محصول ورودی i
$w[p]$	جرم	مقدار محصول خروجی p
WA_{blue}	حجم/ زمان	آب آبی در دسترس
WA_{green}	حجم/ زمان	آب سبز در دسترس
WD	٪	وابستگی ملی به واردات آب مجازی
WF_{area}	حجم/ زمان	ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی
$WF_{area,nat}$	حجم/ زمان	ردپای آب درون یک کشور
WF_{bus}	حجم/ زمان	ردپای آب یک فعالیت
$WF_{bus,oper}$	حجم/ زمان	ردپای آب عملیات‌های یک فعالیت
$WF_{bus,sup}$	حجم/ زمان	ردپای آب در زنجیره‌ی تامین یک فعالیت
WF_{cons}	حجم/ زمان	ردپای آب یک مصرف‌کننده
$WF_{cons,dir}$	حجم/ زمان	ردپای آب مستقیم یک مصرف‌کننده
$WF_{cons,indir}$	حجم/ زمان	ردپای آب غیرمستقیم یک مصرف‌کننده
$WF_{cons,nat}$	حجم/ زمان	ردپای آب مصارف ملی
$WF_{cons,nat,dir}$	حجم/ زمان	ردپای آب مستقیم مصرف‌کنندگان در یک کشور
$WF_{cons,nat,indir}$	حجم/ زمان	ردپای آب غیرمستقیم مصرف‌کنندگان در یک کشور
$WF_{cons,nat,ext}$	حجم/ زمان	ردپای آب خارجی مصرف‌کنندگان در یک کشور
$WF_{cons,nat,int}$	حجم/ زمان	ردپای آب داخلی مصرف‌کنندگان در یک کشور
WF_{proc}	حجم/ زمان[ج]	ردپای آبِ فرآیند

نماد	واحد [الف]	توضیحات
$WF_{proc,blue}$	حجم/ زمان^{3}	ردپای آب آبیِ فرآیند
$WF_{proc,green}$	حجم/ زمان^{3}	ردپای آب سبزِ فرآیند
$WF_{proc,grey}$	حجم/ زمان^{3}	ردپای آب خاکستریِ یک فرآیند
WF_{prod}	حجم/ زمان$^{-3}$	ردپای آب یک محصول
WF^{*}_{prod}	حجم/ زمان$^{-3}$	میانگین ردپای آب یک محصول که برای مصرف‌کننده و یا برای صادرات موجود است
$WFII_{blue}$	-	شاخص تاثیر ردپای آب آبی
$WFII_{green}$	-	شاخص تاثیر ردپای آب سبز
$WFII_{grey}$	-	شاخص تاثیر ردپای آب خاکستری
WPL	-	سطح آلودگی آب در یک حوضه، در یک بازه‌ی زمانی معین در طول یک سال
WS_{blue}	-	کمبود آب آبی در یک حوضه، در یک بازه‌ی زمانی معین در طول یک سال
WS_{green}	-	کمبود آب سبز در یک حوضه، در یک بازه‌ی زمانی معین در طول یک سال
WSS	٪	خودکفایی ملی آب
Y	جرم/ سطح	عملکرد محصول

بعد	توضیحات
i	محصول ورودی
n	کشور
n_e	کشور صادرکننده
n_i	کشور واردکننده
P	محصول (خروجی)
q	فرآیند
s	گامِ فرآیند
t	زمان
u	واحد کاری
X	محل/ منشا

الف) در اینجا، واحد هر متغیر، بر اساسِ ترم‌های معمول (جرم، طول، سطح، حجم، زمان) تعریف شده است. در انجام محاسبات ردپای آب، جرم، اغلب بر حسب کیلوگرم یا تن، حجم بر حسب لیتر یا مترمکعب و زمان بر حسب روز، ماه و یا سال، بیان می‌شود. متغیرهایی مانند بارش، تبخیر-تعرق و نیاز آبی گیاه، اغلب بر حسب میلی‌متر بر روز، میلی‌متر بر ماه و یا میلی‌متر بر سال بیان می‌شوند. غالباً عملکرد محصول و نیاز آبی گیاه به ترتیب، بر حسب تن بر هکتار (ton/ha) و مترمکعب بر هکتار (m^3/ha) بیان می‌شوند. مقدار آب اغلب بر حسب واحد حجم بیان می‌شود، با این فرض که یک لیتر آب معادلِ یک کیلوگرم آب است. بر اساس این فرض، بیلان جرم معادلِ بیلان حجم خواهد بود. پرواضح است که هنگامِ گزارش نمودن اعداد، واحد به کار رفته برای آن‌ها را نیز باید مشخص نمود.

ب) ردپای آب یک محصول اغلب بر حسب حجم آب در واحد جرم بیان می‌شود؛ در این حالت، تولید، مصرف و یا مبادله‌ی محصول باید بر حسب جرم بر زمان بیان شود. هم‌چنین، ردپای آب یک محصول می‌تواند بر حسب حجم آب بر واحد پول نیز بیان شود؛ در این صورت، تولید، مصرف و یا مبادله‌ی محصول نیز باید بر حسب واحد پول بر زمان بیان شود. مثال‌هایی از دیگر واحدهایی که می‌تواند برای بیان ردپای آب محصول به کار روند عبارت اند از: حجم آب بر قطعه (برای محصول‌هایی که به جای وزن، بر حسب تعداد قطعه شمارش می‌شوند)، حجم آب بر کیلوکالری (برای محصولات غذایی)، و یا حجم آب بر ژول (برای الکتریسته و یا سوخت).

ج) ردپای آب یک فرآیند اغلب بر حسب حجم آب در واحد زمان بیان می‌شود. با این وجود، با تقسیم ردپای آب یک فرآیند بر مقدار محصولی که طیِ آن فرآیند به‌دست می‌آید (بر حسب واحد محصول بر زمان)، ردپای آب یک محصول را می‌توان بر حسب حجم آب بر واحد محصول نیز گزارش نمود.

واژه‌نامـــه

استانداردهای کیفیت آب محیطی[1] – حداکثر مقدار یک ماده در آب رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و یا منابع آب زیرزمینی که بر حسب غلظت بیان می‌شود. علاوه بر غلظت آلاینده‌ها، استانداردهای کیفیت آب پیرامون[2] هم‌چنین می‌توانند مربوط به سایر ویژگی‌های آب، مانند دما یا اسیدیته، باشند. این استانداردها به این دلیل وضع شده‌اند که مانع اعمال اثرات نامطلوب بر سلامتی و رفاه بشر، حیات وحش و عمل‌کرد اکوسیستم‌ها شوند.

آب آبی[3] – آب‌های شیرین سطحی و زیرزمینی، به‌عنوان مثال، آبِ موجود در دریاچه‌های آب شیرین، رودخانه‌ها و آب‌خوان‌ها.

آب آبی در دسترس[4] – رواناب طبیعی (متشکل از آب‌های زیرزمینی و رودخانه‌ها) منهای جریان زیست‌محیطی مورد نیاز. معمولاً، میزان آب آبی در دسترس در طول یک سال و از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند.

ردپای آب آبی[5] – حجمی از منابع آب سطحی و زیرزمینی که در فرآیند تولید یک کالا و یا حین خدمات مصرف می‌شود. ردپای آب آبی، مقدار آب شیرینی است که در فرآیندهای مذکور استفاده شده و سپس تبخیر می‌شود و یا در درون محصول گنجانده می‌شود[6]. هم‌چنین، شامل آبی است که از منابع آب سطحی و زیرزمینی در یک حوضه برداشت شده و سپس به حوضه‌ای دیگر وارد می‌شود و یا به دریا می‌پیوندد. به عبارت دیگر، ردپای آب آبی، مقدار آبی است که از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی در یک حوضه برداشت می‌شود و دیگر به آن حوضه بازنمی‌گردد.

شاخص تأثیر ردپای آب آبی[7] – یک شاخص تجمعی و وزن‌دهی شده از اثرات زیست‌محیطیِ ردپای آب آبی در یک حوضه. محاسبه‌ی این شاخص، مبتنی بر دو ورودی است: (۱) ردپای آب یک کالا، یک مصرف‌کننده و یا یک تولید کننده در سطح یک حوضه و یک ماه خاص، (۲) میزان کمبود آب آبی در سطح همان حوضه و در همان ماه. این شاخص، از حاصل‌ضرب دو ماتریس، و سپس جمع‌کردن عناصر ماتریس برآیند به‌دست می‌آید. عنوان این خروجی، می‌تواند ردپای آب آبی وزن‌دهی شده بر اساس میزان محدودیت آب آبی در یک مکان و یک بازه‌ی زمانی خاص، که اجزای مختلف ردپای آب آبی در آن رخ می‌دهد، باشد.

---

1 . Ambient water quality standards

۲. منظور از آب پیرامون، آبی است که در یک محیط معین وجود دارد. استانداردهای کیفیت آب می‌تواند از محیطی به محیط دیگر تغییر کند؛ به عنوان مثال، این استانداردها می‌تواند برای کشورهای مختلف، با هم فرق داشته باشد.

3 . Blue Water

4 . Blue Water Availability

5 . Blue Water Footprint

۶. یعنی این آب، بخشی از محصول می‌شود؛ به عنوان مثال، همیشه مقداری رطوبت در گیاه در هنگام برداشت وجود خواهد داشت. این رطوبت، بخشی از همان آبی است که در طول فصل رشد، از خاک جذب شده است و در اندام گیاهی ذخیره می‌شود. این رطوبت باقیمانده گیاه، همان آبی است که در داخل محصول گنجانده شده است. از آنجایی که رطوبت موجود در خاک، می‌تواند از منابع آب سبز و یا منابع آب آبی تامین شده باشد، بخشی از رطوبت باقی‌مانده در گیاه در زمان برداشت، مربوط به ردپای آب سبز، و بخشی مربوط به ردپای آب آبی است.

7 . Blue Water Footprint Impact Index

کمبود آب آبی[۱] – نسبت ردپای آب آبی به میزان آب آبی در دسترس. کمبود آب آبی در طول یک سال و از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند.

ردپای آب فعالیت [۲] – ردپای آب یک فعالیت را ببینید.

ردپای آب شرکت [۳] – ردپای آب یک فعالیت را ببینید.

بار بحرانی [۴] – حدی از بار آلودگی که تمامِ ظرفیت پذیرش آلودگی در منبع آبِ پذیرنده[۵] را به صورت کامل مصرف می‌کند (به نحوی که دیگر ظرفیتی برای پذیرش آلاینده‌ها در آن منبع آب وجود نداشته باشد و هرگونه ورود بیش‌تر، باعث فراتر رفتن غلظت آلاینده‌ها در آن منبع آب از استانداردهای مجاز شود).

نیاز آبی گیاه [۶] – مجموع آب مورد نیاز برای تبخیر–تعرق از زمان کاشت تا برداشت، برای یک گیاه خاص در یک ناحیه‌ی اقلیمیِ معین و تحت شرایطی که در آن، رطوبت خاک به وسیله‌یِ بارندگی و/یا آبیاری در حدی حفظ شود که رشد گیاه و عمل‌کرد محصول را کاهش ندهد.

عمل‌کرد محصول [۷] – وزن محصولِ برداشت شده در واحد سطح.

فاکتور ترقیق [۸] – تعداد دفعاتی که حجمی معین از پساب آلوده باید با آب پیرامون رقیق شود تا غلظت آن به حداکثر غلظت مجاز برسد.

ردپای آب مستقیم [۹] – ردپای آب مستقیم یک مصرف‌کننده یا تولیدکننده (یا گروهی از مصرف‌کنندگان یا تولیدکنندگان)، به میزان مصرف و آلودگی آب شیرینی اشاره می‌کند، که مربوط به مصرف مستقیم آب به وسیله‌ی مصرف‌کنندگان و یا تولیدکنندگان است. این مقدار، با ردپای آب غیرمستقیم فرق دارد؛ ردپای آب غیرمستقیم، میزان مصرف و آلودگی آب برای ساخت کالاهای مصرفی توسط مصرف‌کنندگان و یا ارایه خدمات به آن‌ها، و مصرف و آلودگی آب در فرآیند ساخت و تهیه‌ی نهاده‌های مصرفی توسط تولیدکنندگان می‌باشد.

بارش مؤثر [۱۰] – بخشی از بارش که در خاک نگهدای می‌شود و در نتیجه، در فرآیند تولید گیاه قابل استفاده است.

ردپای آب یک محصول در مرحله‌ی کاربرد نهایی [۱۱]– ردپای آب در مرحله‌ی کاربرد نهایی یک محصول، مربوط به زمانی است که مصرف‌کننده‌ها، محصولی را مصرف می‌کنند؛ به‌عنوان نمونه، به آلودگی آب در ازای مصرف خانگی صابون فکر کنید. این مورد را می‌توان "ردپای آب یک محصول در مرحله‌ی کاربرد نهایی" دانست. باید تاکید داشت که این ردپا، بخشی از ردپای آبِ محصول محسوب نمی‌شود، بلکه بخشی از ردپای آب مصرف‌کننده محسوب می‌شود.

---

1 . Blue Water Scarcity
2 . Business water footprint
3 . Corporate water footprint
4 . Critical load

۵. منظور از منبع آبی پذیرنده، منبع آبی است که آلاینده به آن وارد می‌شود.

6 . Crop water requirement
7 . Crop Yield
8 . Dilution factor
9 . Direct water footprint
10 . Effective precipitation
11 . End-use water footprint of a product

جریان زیست‌محیطی مورد نیاز[1] – مقدار، کیفیت و زمانِ تأمین جریان آبی که برای حفظ اکوسیستم‌های اقیانوس‌ها و دیگر منابع آب شیرین و حفظ حیات و رفاه بشری که به این اکوسیستم‌ها وابسته است، مورد نیاز است.

نیاز آب سبزِ محیط‌زیست[2] – مقداری از منابع آب سبز که باید به منظور حفظ طبیعت و تنوع زیستی، و هم‌چنین حفظ حیات انسان‌هایی که به این اکوسیستم‌ها در اراضی طبیعی وابسته هستند، در اراضی نگه‌داشته شود.

تبخیر–تعرق[3] – تبخیر از سطح خاک لخت و خاک پوشیده از گیاه، به انضمام میزان آب تعرق‌یافته‌ای که از گیاه خارج می‌شود.

ردپای آبِ خارجیِ مصارف ملی [4] – بخشی از ردپای آبِ مصارف ملی که در خارج از کشور موردنظر قرار دارد. این واژه، به منابع آبی اشاره می‌کند که در کشورهای دیگر، برای تولید کالا و خدماتی اختصاص داده می‌شود که به کشور موردنظر وارد و در آنجا مصرف می‌شود.

پایداری جغرافیایی [5] – پایداری جغرافیاییِ ردپای آب سبز، آبی و خاکستری در یک حوضه و یا کل حوضه‌ی تحت پوشش یک رودخانه[6] می‌تواند بر اساسِ مجموعه‌ای از شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و اقتصادی ارزیابی شود.

صرفه‌جویی جهانی آب از طریق تجارت [7] – مبادله‌ی بین‌المللی به شرطی می‌تواند باعثِ صرفه‌جویی جهانی آب شیرین شود که یک کالای آب‌بر از یک منطقه که در آن، این کالا با بهره‌وری آب بالا تولید می‌شود –یعنی جایی که این کالا ردپای آب کمی دارد– به منطقه‌ای که بهره‌وری آبِ این کالا کم‌تر است –یعنی جایی که این کالا ردپای آب بالایی دارد–، وارد شود.

آب سبز [8] – بخشی از بارش که تبدیل به رواناب نشده و یا باعث تغذیه‌ی آب زیرزمینی نمی‌شود، بلکه در خاک ذخیره می‌شود و یا به صورت موقت در سطح خاک و یا روی پوشش گیاهی باقی می‌ماند. این بخش از بارش، در نهایت، یا تبخیر می‌شود و یا از طریق گیاهان، تعرق می‌شود. آب سبز می‌تواند مولد رشد گیاهان باشد (اما تمام آب سبز نمی‌تواند به وسیله‌ی گیاه جذب شود، زیرا همیشه تبخیر از سطح خاک وجود دارد و تمامِ طول یک سال و یا تمامِ نواحی برای رشد گیاه مناسب نیستند) .

موجودیت آب سبز [9] – مجموع تبخیر–تعرقِ صورت‌گرفته از آب باران در کل اراضی موردنظر، منهای تبخیر–تعرق صورت‌گرفته از اراضی‌ای که پوشش گیاهی طبیعی باقی می‌مانند، منهای تبخیر–تعرق صورت گرفته از اراضی‌ای که قابلیت تولید گیاه ندارند.

ردپای آب سبز [10] – حجمی از آب باران که در فرآیند تولید، مصرف می‌شود. این اصطلاح به ویژه مربوط به محصولات کشاورزی و جنگل‌داری است (محصول‌هایی که از گیاه یا چوب به‌دست می‌آیند) که در آن‌جا، منظور از ردپای آب سبز، تمام تبخیر–تعرق صورت گرفته از آب باران (از مزارع و کشت‌زارها) به علاوه‌ی آب سبزی که در داخل گیاهِ و یا چوب برداشت شده گنجانده شده است، می‌باشد.

---

1 . Environmental flow requirement
2 . Environmental green water requirement
3 . Evapotranspiration
4 . External water footprint of national consumption
5 . Geographical sustainability
6 . River basin
7 . Global water saving through trade
8 . Green water
9 . Green water availability
10 . Green water footprint

شاخص تأثیر ردپای آب سبز [1] – یک معیار تجمعی و وزن‌دهی شده از اثرات زیست‌محیطیِ ردپای آب سبز در سطح حوضه. محاسبه‌ی این شاخص، مبتنی بر دو ورودی است: (۱) ردپای آب سبز یک محصول، یک مصرف‌کننده و یا یک تولید کننده در سطح یک حوضه و یک ماه خاص، (۲) میران کمبود آب سبز در سطح همان حوضه و در همان ماه. این شاخص، از حاصل‌ضرب دو ماتریس، و سپس، جمع‌کردن عناصر ماتریس برآیند به‌دست می‌آید. عنوان این خروجی، می‌تواند ردپای آب سبز وزن‌دهی شده بر اساس میزان محدودیت آب سبز در یک مکان و یک بازه‌ی زمانی خاص، که اجزای مختلف ردپای آب سبز در آن رخ می‌دهد، باشد.

کمبود آب سبز [2] – نسبت ردپای آب سبز به میزان آب سبز در دسترس. کمبود آب سبز در طول یک سال، و از سالی به سال دیگر تغییر می‌کند.

ردپای آب خاکستری [3]– ردپای آب خاکستریِ یک محصول، شاخصی برای آلودگی آب شیرین است که این آلودگی می‌تواند در کل زنجیره‌ی تأمین یک محصول بوجود آمده باشد. این شاخص، به صورت حجم آب شیرین مورد نیاز برای پذیرش بار آلاینده بر اساس غلظت‌های طبیعی و استانداردهای کیفیت آب پیرامون تعریف می‌شود. این شاخص به صورت حجم آب موردنیاز برای رقیق‌سازی آلاینده‌ها، تا حدی که کیفیتِ آب دست‌کم، به حد بالایی استانداردهای کیفی مجاز برسد، محاسبه می‌شود.

شاخص تأثیر ردپای آب خاکستری [4] – یک معیار تجمعی و وزن‌دهی شده از اثرات زیست‌محیطیِ ردپای آب خاکستری در سطح حوضه. این معیار بر مبنای دو ورودی به‌دست می‌آید: (۱) ردپای آب خاکستری یک محصول، یک مصرف‌کننده و یا یک تولید کننده در سطح یک حوضه و یک ماه معین، (۲) سطح آلودگی آب در سطح همان حوضه و در همان ماه. این شاخص، از حاصل‌ضرب دو ماتریس، و سپس، جمع‌کردن عناصر ماتریس برآیند به‌دست می‌آید. عنوان این خروجی، می‌تواند ردپای آب خاکستری وزن‌دهی شده بر اساس میزان محدودیت آب خاکستری در یک مکان و یک بازه‌ی زمانی خاص، که اجزای مختلف ردپای آب خاکستری در آن رخ می‌دهد، باشد.

نقطه‌ی کانونی [5] – یک نقطه‌ی کانونی، دوره‌ی مشخصی از یک سال خاص (مانند یک دوره‌ی خشک از سال) در یک (زیر)حوضه است که در آن، ردپای آب، پایدار نیست؛ مثلاً به این دلیل که این دوره، تهدیدی برای تأمین نیاز آبی محیط‌زیست و یا تأمین استانداردهای کیفی آب قلمداد می‌شود و یا چون در این دوره، تخصیص و استفاده از آب در حوضه ناعادلانه و/یا از نظر اقتصادی، ناکارآمد است.

ردپای آب غیرمستقیم[6] – منظور از ردپای آب غیرمستقیم یک مصرف‌کننده و یا یک تولیدکننده، مصرف و آلودگی آب شیرینی است که در پسِ محصولی که مصرف و یا تولید شده است قرار دارد. این واژه، برابر با مجموعِ ردپای آب تمام محصول‌هایی است که به وسیله‌یِ یک مصرف‌کننده، مصرف شده است و یا مجموع ردپای آب تمام نهاده‌های (غیر آبی) که به وسیله‌ی تولیدکننده، استفاده شده است.

ردپای آب داخلیِ مصارف ملی [7]– بخشی از ردپای آبِ مصارف ملی که در داخل کشور مورد نظر قرار دارد. با بیانی دیگر، تخصیص منابع آب داخلی برای تولید کالا و یا خدماتی که در داخل کشور مصرف می‌شوند.

---

1 . Green water footprint impact index
2 . Green water scarcity
3 . Grey water footprint
4 . Grey water footprint impact index
5 . Hotspot
6 . Indirect water footprint
7 . Internal water footprint of national consumption

نیاز آبیاری [۱] – مقدار آبی که به جز بارش (با بیانی دیگر، مقداری از آب آبیاری) که برای تولید طبیعی یک محصول نیاز است. این مقدار، شامل تبخیر از خاک و برخی تلفات اجتناب‌ناپذیر در یک شرایط خاص می‌باشد. نیاز آبیاری، معمولاً، بر حسب عمق آب (میلی‌متر) بیان می‌شود و ممکن است به صورت ماهانه، فصلی و یا سالانه و یا برای یک دوره از رشد گیاه، بیان شود.

حداکثر غلظت مجاز [۲] – استانداردهای کیفیت آب پیرامون را ببینید.

ردپای آب ملی [۳] – این واژه، معادلِ همان چیزی است که به صورت دقیق‌تر، با عنوان ردپای آب مصارف ملی نامیده شد، که این ردپا، مجموع آب شیرینی است که برای تولید کالاها و خدمات مصرف شده توسط ساکنان یک کشور استفاده می‌شود. بخشی از این ردپای آب، در خارج از قلمرو آن کشور قرار دارد. این واژه، نباید با واژه‌ی "ردپایِ آب داخل یک کشور" که مجموع آب مصرف شده و آلوده شده در داخل مرز یک کشور است، اشتباه گرفته شود.

صرفه‌جویی آب ملی در ازای تجارت [۴] – یک کشور، می‌تواند از طریق وارد نمودن یک محصول آب‌بر، به جای تولید ملی آن در داخل خود، منابع آب شیرین داخلی خود را ذخیره نماید.

غلظت طبیعی [۵] – غلظت طبیعی و یا غلظت زمینه در یک پیکره‌ی آبی پذیرنده، غلظتی است که در صورت عدم مداخله‌ی بشر در حوضه، در آن پیکره‌ی آبی وجود می‌داشت (این واژه، معادل همان حالت‌های "شرایط عالی" ای است که در دستورالعمل چارچوب آب اتحادیه‌ی اروپا تعریف شده است)

ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی یک فعالیت [۶] – ردپای آب فعالیت‌های عملیاتی (یعنی ردپای آب مستقیم یک فعالیت)، مجموع آب شیرین مصرف شده و یا آلوده شده به دلیلِ عملیات‌های خاصِ همان فعالیت است.

ردپای آب سازمانی [۷] – ردپای آب یک فعالیت را ببینید.

ردپای آب بالاسری [۸] – ردپای آب یک محصول، دو مؤلفه دارد: مؤلفه‌ی اول، آب شیرینی است که مستقیماً در فرآیند تولید همان محصول خاص مصرف شده است و تنها منسوب به همان محصول خاص است، و مؤلفه‌ی دوم، آب شیرین مصرفی در فعالیت‌های بالاسری است. مؤلفه‌ی دوم "ردپای آب بالاسری" نامیده می‌شود. ردپای آب بالاسری، به آن بخش از آب شیرین مصرفی اشاره‌می‌کند که آن را نمی‌توان فقط به تولید یک محصول خاص منسوب نمود، بلکه این ردپا، مربوط به آب شیرینی است که حینِ فعالیت‌های صورت گرفته و مواد مصرفی در یک کسب‌وکار مصرف می‌شود که این فعالیت‌ها و مواد، تنها منتج به تولید آن محصول موردنظر نمی‌شود، بلکه منتج به تولید دیگر محصول‌های آن کسب‌وکار نیز می‌شود. ردپای آب بالاسریِ یک کسب‌وکار، باید بین محصول‌های مختلفی که در آن کسب‌وکار تولید می‌شوند، توزیع شود، که این کار، بر اساس ارزش اقتصادی نسبی محصول‌ها صورت می‌گیرد؛ به‌عنوان مثال، ردپای آب بالاسری می‌تواند شامل آب مصرفی در توالت‌ها و آشپزخانه‌ی یک کارخانه، و آب شیرین مصرفی برای تولید بتن و فولادی که در کارخانه و ماشین‌آلات استفاده شده است، باشد.

1 . Irrigation requirement
2 . Maximum acceptable concentration
3 . Irrigation requirement
4 . National water saving through trade
5 . Natural concentration
6 . Operational water footprint of a business
7 . Organizational water footprint
8 . Overhead water footprint

اثرات اولیه [۱] – واژه‌ی اثرات اولیه وقتی به کار می‌رود که پایداری ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی ارزیابی می‌شود. اثرات اولیه، به تأثیر ردپای آب در یک حوضه بر جریان و کیفیت آب اشاره می‌کند.

سیستم تولید [۲] – سیستم تولید یک محصول متشکل از تمامی فرآیندهای متوالیِ صورت گرفته برای تولید آن محصول می‌باشد. یک سیستم تولید می‌تواند یک زنجیره‌ی خطی از فرآیندها باشد، می‌تواند به شکل یک درخت تولید باشد (در این حالت، تعداد زیادی از نهاده‌ها در نهایت، تنها منتج به تولید یک محصول می‌شوند) و یا می‌تواند به شکل یک شبکه‌ی پیچیده از فرآیندهای متقابلی باشد که در نهایت، منتج به تولید یک و یا چندین محصول می‌شوند.

درخت تولید[۳] – سیستم تولید را ببینید.

جریان برگشتی [۴] – بخشی از آب شیرینی که با هدف تخصیص به بخش‌های کشاورزی، صنعت یا شرب برداشت می‌شود و دوباره به منابع آب سطحی و زیرزمینیِ همان حوضه که آب از آن برداشت شد، برمی‌گردد. این آب، می‌تواند دوباره برداشت و استفاده شود.

اثرات ثانویه [۵] – واژه‌ی "اثرات ثانویه" در کنار واژه‌ی "اثرات اولیه"، برای ارزیابی پایداری ردپای آب در یک محدوده‌ی جغرافیایی استفاده می‌شود. اثرات ثانویه مربوط به اثرات ردپای آب بر ارزش نهایی اکولوژیکی، اجتماعی و اقتصادی، مانند تنوع زیستی، سلامتی بشر، رفاه و امنیت، می‌باشد.

ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین یک فعالیت [۶] – منظور از ردپای آب در زنجیره‌ی تأمین (یا ردپای آب غیرمستقیم) یک کسب-وکار، حجم آب شیرینی است که برای تولید تمام کالاها و خدماتی –که نهاده‌های ورودیِ آن کسب‌وکار هستند–، مصرف و یا آلوده می‌شود.

شاخص‌های پایداری [۷] – به طور کلی، شاخص‌های پایداری در سه گروه عمده طبقه‌بندی می‌شوند: شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی.

بیلان آب مجازی [۸]– بیلان آب مجازیِ یک محدوده‌ی جغرافیایی (مثلاً یک کشور و یا یک حوضه) در یک بازه‌ی زمانی معین، مقدار خالص واردات آب مجازی در این بازه‌ی زمانی است که برابر است با مقدار ناخالص واردات آب مجازی منهای مقدار ناخالص صادرات آب مجازی. مقدارِ مثبتِ بیلان آب مجازی نشان دهنده‌ی جریان خالص ورودی آب مجازی به یک کشور از کشورهای دیگر بوده و مقدار منفیِ آن، به معنی جریان خالص خروجی آب مجازی از آن کشور می‌باشد.

محتوی آب مجازی [۹]– محتوی آب مجازی یک محصول، مقدار آب شیرین نهفته در یک محصول است که نه به صورت واقعی، که به صورت مجازی قابل تصور است. این محتوی، حجم آبی است که برای تولید یک محصول در کل زنجیره‌ی تأمین آن، مصرف و یا آلوده شده است. اگر یک کشور، چنین محصولی را صادر و یا وارد نماید، آن کشور در حقیقت، آب را به شکل مجازی صادر و یا وارد می‌کند. محتوی آب مجازی یک محصول، مانند ردپای آب یک محصول است، ولی اولی، تنها آب نهفته شده در

1 . Primary impact
2 . production system
3 . production tree
4 . Return flow
5 . Secondary impact
6 . Supply-chain water footprint of a business
7 . Sustainability criteria
8 . Virtual-water balance
9 . Virtual-water content

محصول را در نظر می‌گیرد، در حالی‌که دومی، علاوه بر این آب، نوع آبی که استفاده شده و زمان و مکانی که این آب استفاده شده است را نیز درنظر می‌گیرد. بنابراین، ردپای آب یک محصول، یک معیار چندبعدی است در حالی‌که محتوی آب مجازی، تنها به حجم آب مصرفی اشاره دارد.

صادرات آب مجازی [۱]- صادرات آب مجازی از یک محدوده‌ی جغرافیایی معین (به‌عنوان نمونه، از یک کشور و یا یک حوضه)، حجم آب مجازیِ مربوط به کالاها و خدماتی است که از آن محدوده صادر می‌شوند. این مقدار، مجموع آب شیرینی است که برای تولید محصول‌های صادراتی مصرف و یا آلوده شده است.

جریان آب مجازی [۲]- جریان آب مجازی بین دو محدوده‌ی جغرافیایی معین (مانند دو کشور)، حجم آب مجازی‌ای است که به واسطه‌ی مبادله‌ی محصول، از یک کشور به کشور دیگر منتقل می‌شود.

واردات آب مجازی [۳]- واردات آب مجازی به یک محدوده جغرافیایی معین (به‌عنوان نمونه، یک کشور و یا یک حوضه‌ی آبریز)، حجم آب مجازیِ وارد شده به آن محدوده به دلیلِ واردات کالا و خدمات می‌باشد. این مقدار، مجموع آب شیرین استفاده شده (در منطقه‌ی صادر کننده) برای تولید محصول است. از دیدگاه منطقه‌ی واردکننده، این آب می‌تواند یک منبع آب اضافی در نظر گرفته شود که به منابع آب داخلی آن محدوده اضافه می‌شود.

برداشت آب[۴]- مترادف آن، یعنی "Water withdrawal" را ببینید.

تخصیص آب[۵]- این واژه، یک اصطلاح کاربردی در زمینه‌ی ارزیابی ردپای آب است که هم به "مصرف" آب شیرین حین فعالیت‌های انسانی (ردپای آب سبز و آبی) و هم به "آلودگی" آب شیرین به واسطه‌ی فعالیت‌های انسانی (ردپای آب خاکستری) اشاره می‌کند.

مصرف آب[۶]- حجم آب مصرفی که تبخیر شده و یا در داخل یک محصول گنجانده می‌شود. این واژه، هم‌چنین، شامل آب سطحی و یا زیرزمینی که از یک حوضه برداشت شده و به حوضه دیگر و یا دریا بازگردانده می‌شود، نیز می‌باشد. نکته‌ی مهم آن است که بدانیم "مصرف آب" با "برداشت آب" فرق دارد.

ردپای آب[۷]- ردپای آب، شاخصی برای استفاده‌ی آب شیرین است که هر دو استفاده‌ی مستقیم و غیرمستقیم آب توسط مصرف-کننده و یا تولیدکننده را درنظر می‌گیرد. ردپای آب یک فرد، یک جامعه و یا یک کسب‌وکار، کل حجم آب شیرینی است که برای تولید کالاها و یا خدمات مصرف شده به وسیله‌ی یک فرد یا یک جامعه، و یا کالاها و یا خدمات تولید شده در یک کسب‌وکار، مصرف می‌شود. مصرف آب، بر حسب حجم آب مصرف شده (آب تبخیر شده و یا گنجانده شده در یک محصول) و/یا آلوده شده در واحد زمان تعیین می‌شود. ردپای آب می‌تواند برای یک محصول خاص، برای یک گروه خاص از مصرف‌کنندگان (به‌عنوان نمونه، یک فرد، یک خانواده، یک دهکده، یک شهر، یک روستا، یک ایالت یا یک بخش اقتصادی)، یا تولیدکنندگان (به‌عنوان نمونه، سازمان دولتی، شرکت خصوصی و یا یک بخش اقتصادی) تعریف شود. از نظر جغرافیایی، ردپای آب، یک شاخص صریح است که نه تنها حجم آب مصرف شده و آلوده شده را نشان می‌دهد، بلکه مکان‌هایی (که این آب در آن‌جا مصرف شده و یا آلوده شده) را نیز نشان می‌دهد.

1 . Virtual-water export
2 . Virtual-water flow
3 . Virtual-water import
4 . Water abstraction
5 . Water appropriation
6 . Water consumption
7 . Water footprint

محاسبه‌ی ردپای آب[1]- مرحله‌ای از ارزیابی ردپای آب است که طی آن، داده‌های واقعی و تجربی برای ردپاهای آب، مطابق با وسعت و عمقی که از پیش برای ارزیابی تعریف شده است، جمع‌آوری می‌شود.

ارزیابی ردپای آب[2]- ارزیابی ردپای آب، شامل کل مراحلی است که (۱) برای تعیینِ مقدار و مکانِ وقوعِ ردپای آب یک فرآیند، یک محصول، یک تولید کننده و یا مصرف‌کننده، و یا تعیین مقدار ردپای آب در یک مکان و زمان خاص در یک محدوده‌ی جغرافیایی مشخص، (۲) برای ارزیابی پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی این ردپای آب، و (۳) و برای تدوین یک استراتژی پاسخ طی می‌شود.

شاخص‌های تأثیر ردپای آب[3]- بخش‌های مربوط به "شاخص تأثیر ردپای آب آبی"، "شاخص تأثیر ردپای آب سبز" و " شاخص تأثیر ردپای آب خاکستری" را ببینید.

ردپای آب یک فعالیت[4]- که می‌تواند به صورت معادل، ردپای آب سازمان و یا شرکت هم نامیده شود – به کل حجم آب شیرینی اطلاق می‌شود که به صورت مستقیم و یا غیرمستقیم برای دایربودن و حمایت از یک کسب‌وکار مصرف می‌شود. ردپای آب یک کسب‌وکار، شامل دو مؤلفه است: آب مصرفی مستقیم توسط تولیدکننده (برای تولید/ساخت و یا برای انجام فعالیت‌های پشتیبانی) و آب مصرفی غیرمستقیم (یعنی آب مصرفی در زنجیره‌ی تأمین یک تولیدکننده). ردپای آب یک کسب‌وکار، معادلِ کل ردپای آب محصول‌های خروجیِ آن کسب‌وکار می‌باشد.

ردپای آب یک مصرف‌کننده[5]- ردپای آب یک مصرف‌کننده، کل حجم آب شیرینی است که برای تولید کالاها و خدمات استفاده شده توسط مصرف‌کننده، مصرف و یا آلوده می‌شود. این مقدار، از حاصل‌جمع آبی که به صورت مستقیم و غیرمستقیم توسط مردم مصرف شده است، به‌دست می‌آید. آب مصرفی غیرمستقیم می‌تواند از حاصل‌ضرب تمام کالاها و خدمات مصرفی در مقدار ردپای آب متناظر آن‌ها به‌دست بیاید.

ردپای آب مصرف ملی[6]- کل آب شیرینی که برای تولید کالاها و خدمات مصرفی توسط ساکنان یک کشور، مصرف می‌شود. ردپای آب مصرف ملی می‌تواند با دو روش به‌دست بیاید: روش پایین–بالا، که در آن، ردپای آب مصرف ملی، از مجموع حاصل-ضرب تمام محصول‌های مصرف شده در ردپای آب متناظر آن‌ها به‌دست می‌آید؛ و روش بالا–پایین، که در آن، ردپای آب مصرف ملی، به صورت کل آب مصرفی از منابع آبی داخلی به اضافه‌ی واردات ناخالص آب مجازی منهای صادرات ناخالص آب مجازی محاسبه می‌شود.

ردپای آب تولید ملی[7]- این اصطلاح، معادل واژه‌ی "ردپای آب درون یک کشور" است.

ردپای آب یک محصول[8]- ردپای آب یک محصول (یک جنس، کالا یا سرویس)، کل آب شیرینی است که برای تولید یک محصول مصرف می‌شود و از حاصل‌جمعِ آب مصرفی در مراحل مختلف زنجیره‌ی تولید به‌دست می‌آید. ردپای آب یک محصول، نه تنها مقدار کل حجم آب مصرفی، بلکه زمان و مکان مصرف این آب را نیز در نظر می‌گیرد.

1 . Water footprint accounting
2 . Water footprint assessment
3 . Water footprint impact indices
4 . Water footprint of a business
5 . Water footprint of a consumer
6 . Water footprint of national consumption
7 . Water footprint of national production
8 . Water footprint of a product

جبران ردپای آب[1]- جبران اثرات منفی ردپای آب، قسمتی از مفهوم خنثایی آب است. جبران، آخرین مرحله است که این مرحله، پس از مرحله‌ی تلاش‌های اولیه برای کاهش ردپای آب تا حد ممکن قرار دارد. جبران می‌تواند از طریق مشارکت (به‌عنوان مثال، با سرمایه‌گذاری کردن) در استفاده‌ی مناسب‌تر و عادلانه‌تر از آب در واحدهای هیدرولوژیکی – جایی‌که ردپای آب باقیمانده در آن‌ها اتفاق می‌افتد – صورت بگیرد.

ارزیابی پایداری ردپای آب [2]- یک مرحله از ارزیابی ردپای آب که هدف آن، ارزیابی این مسأله است که آیا حد معینی از ردپای آب، از دیدگاه‌های زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی، پایدار است یا خیر.

ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی[3]- ردپای آب درون یک محدوده‌ی جغرافیایی، کل آب شیرین مصرف شده و آلوده شده درون مرزهای آن محدوده است؛ به‌عنوان مثال، این محدوده می‌تواند یک واحد هیدرولوژیکی، مانند یک حوضه‌ی آبریز و یا کل حوضه‌ی آبریز یک رودخانه، و یا یک واحد اداری، مانند یک شهر، استان، ایالت یا کشور، باشد.

ردپای آب درون یک کشور[4]- ردپای آب درون یک کشور، به صورت کل حجم آب شیرین مصرف شده و یا آلوده شده درون مرزهای یک کشور تعریف می‌شود.

آب خنثی[5]- یک فرآیند، محصول، مصرف‌کننده، جامعه و یا کسب‌وکار، وقتی از نظر آب خنثی بوده و آب خنثی نامیده می‌شود که (۱) اولاً ردپای آب آن تا حد امکان، به ویژه در مکان‌هایی با سطوح بالای کمبود و یا آلودگی آب، کاهش پیدا کند؛ و (۲) ثانیاً، اثرات منفیِ زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادیِ مربوط به باقیمانده‌ی ردپای آب، جبران شده باشد. در برخی موارد خاص، یعنی جاهایی که دخالت در چرخه‌ی آب به صورت کامل قابل اجتناب است؛ به‌عنوان مثال، به واسطه‌ی بازچرخانیِ کامل و بدون زباله‌ی آب، آب خنثی به این معنی است که ردپای آب، بی‌اثر شده است؛ در دیگر موارد، مانند آنچه برای رشد گیاه وجود دارد، ردپای آب نمی‌تواند بی‌اثر باشد. بنابراین، آب خنثی الزاماً به این معنی نیست که ردپای آب به صفر کاهش رسانده شده است، بلکه به این معنی است که ردپای آب، تا حد امکان، کاهش داده شده و اثرات منفیِ اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطیِ مابقیِ ردپای آب، به صورت کامل جبران شده است.

سطح آلودگی آب[6]- درجه‌ی آلودگیِ در جریان رواناب می‌باشد که این درجه‌ی آلودگی، بخشی از ظرفیت پذیرش آلاینده‌ها در رواناب است که واقعاً مصرف شده است. سطح آلودگی برابر با ۱۰۰ درصد به این معنی است که تمام ظرفیت پذیرش آلاینده‌ها در جریان رواناب به صورت کامل مصرف شده است.

بهره‌وری آب[7]- بهره‌وری آب، واحد محصول تولید شده به ازای واحد آب مصرفی و یا آلوده شده می‌باشد. واحد بهره‌وری آب (واحد محصول بر مترمکعب) برعکسِ واحد ردپای آب (مترمکعب بر واحد محصول) است. بهره‌وری آب آبی، برابر با میزان محصول به‌دست آمده به ازای هر مترمکعب آب آبی مصرف شده است. بهره‌وری آب سبز، برابر با میزان محصول به‌دست آمده به ازای هر مترمکعب آب سبز مصرف شده است. بهره‌وری آب خاکستری، برابر با میزان محصول به‌دست آمده به ازای هر مترمکعب آب خاکستری تولید شده است. واژه‌ی بهره‌وری آب مشابه واژه‌های بهره‌وری نیروی کار[8] و بهره‌وری زمین[1] است، با این تفاوت که

1 . Water footprint offsetting
2 . Water footprint sustainability assessment
3 . Water footprint Within a geographically delineated area
4 . Water footprint within a nation
5 . Water neutral
6 . Water pollution level
7 . Water productivity
8 . Labour productivity

برای محاسبه‌ی بهره‌وری آب، میزان محصول بر میزان آب مصرفی، که ورودی محسوب می‌شود، تقسیم شده است. وقتی بهره‌وری آب، به جای خروجیِ فیزیکی، بر حسبِ میزان خروجیِ مالی به ازای هر واحد آب محاسبه می‌شود، می‌توان آن را بهره‌وری اقتصادی آب نامید.

کمبود آب[۲]- کمبود آب آبی را ببینید.

خودکفایی آبی در مقابل وابستگی آبیِ یک کشور[۳]- خودکفایی آبی یک کشور به صورت نسبت ردپای آب داخلی به ردپای آب کل مصرف ملی تعریف می‌شود. این شاخص نشان می‌دهد که یک کشور، تا چه حد، آب مورد نیاز برای تولید کالاها و خدمات مورد نیاز ساکنان را تأمین می‌کند. وقتی خودکفایی آبی ۱۰۰ درصد است که تمام آب مورد نیاز، در همان محدوده در دسترس بوده و از منابع آبی داخلی همان محدوده تأمین شود. اگر کالاها و خدمات مورد نیاز یک کشور به طور عمده، از طریق واردات آب مجازی تأمین می‌شود، میزان خودکفایی آبی در آن کشور به صفر نزدیک می‌شود. کشورها، با وارد نمودن آب مجازی، عملاً، به منابع آبی موجود در دیگر بخش‌های جهان وابسته هستند. وابستگی به واردات آب مجازی در یک کشور به صورت نسبت ردپای آب خارجی مصرف ملی به ردپای آب کل مصرف ملی تعریف می‌شود.

برداشت آب[۴]- حجمِ آب شیرین برداشت شده از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی. بخشی از آب شیرینِ برداشت شده، تبخیر می‌شود، بخشی به همان حوضه‌ای که برداشت از آن صورت گرفته است برمی‌گردد، و بخش دیگر، ممکن است به یک حوضه‌ی دیگر و یا دریا بپیوندد.

---

1 . Land productivity
2 . Water Scarcity
3 . Water self-sufficiency vs. water dependency of a nation
4 . Water withdrawal