مبانی برآورد واقع گرایانه منابع آب تجدیدپذیر کشورها

سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)
کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

وزارت نیرو
شرکت مدیریت منابع آب ایران

بسم الله الرحمن الرحیم

مبانی برآورد واقع گرایانه منابع آب تجدید پذیر کشورها

سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو)

جین مارگو،کارن فرنکن و جین –مارک فورس

ترجمه:

گروه‌کار توسعه و مدیریت سامانه‌های آبیاری

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

محمدکاظم سیاهی
وحید داسدار
عزت اله فرهادی
مهرزاد احسانی
مسعود معلمی

مسعود اقبالی
نصرت‌اله اسدی
محسن براهیمی
عباس جنگی مرنی
مریم یوسفی

۱۴۰۱

پیشگفتار

مجموعه حاضر برگردان یکی از نشریات سامانه اطلاعات جهانی آب و کشاورزی ملل متحد (فائو)، با عنوان: "KEY WATER RESOURCES STATISTICS IN AQUASTAT" می‌باشد. مولفان سعی کرده‌اند با تعریف، تفکیک و طبقه‌بندی جامع عناوین مرتبط با آب در عرصه‌های گوناگون، تصویر روشنی از گردش آب در بین منابع مختلف را نشان دهند و همراه با تشریح مفاهیم هر یک از آن عناوین روش‌ها و روابط منطقی‌ای را برای برآورد واقعی‌تر بیلان آب هر کشور ارائه نمایند. دو مبحث اساسی‌ای که به منظور ارزیابی واقع بینانه منابع آب کشورها تشریح شده است عبارتند از:

۱- ارزیابی وابستگی متقابل یا همپوشانی آب‌های سطحی و زیرزمینی به تفکیک:

- مناطق خشک؛
- مناطق نیمه خشک؛
- مناطق واقع در نواحی خیلی خشک؛ و
- مناطق ساحلی.

۲- ارزیابی منابع آب تجدید پذیر بر اساس مقادیر آب ورودی و خروجی کشورها و میزان وابستگی هر کشور به آب‌های ورودی و خروجی از کشور شامل:

- آب‌های سطحی ورودی به کشور؛
- مقدار جریان در رودخانه‌های مرزی؛
- دریاچه‌های مشترک؛
- حجم آب سطحی خروجی از کشور؛
- آب‌های زیرزمینی ورودی به کشور؛
- آب‌های زیرزمینی خروجی از کشور.

عناوین اصلی مورد استفاده در این نشریه در ارتباط با منابع آب به شرح زیر است:

- انواع منابع آب تجدیدپذیر
- منابع آب تجدیدپذیر و منابع آب تجدیدناپذیر
- منابع آب تجدیدپذیر داخلی
- منابع آب تجدیدپذیر خارجی
- منابع آب تجدیدپذیر طبیعی و واقعی
- منابع آب قابل برداشت
- آب سبز
- منابع آب ثانویه و غیرمتعارف

و سرانجام روشی که در اینجا برای ارزیابی منابع آب تجدیدپذیر هر کشور پیشنهاد شده است، بر پایه حسابداری آب شکل گرفته است و روشی است که اولین بار در نشریه FAO/BRGM (1996) تشریح شده است. این روش شامل مجموعه‌ای از قواعد و دستورالعمل‌ها برای محاسبه منابع آب تجدید پذیر داخلی، مقدار کل منابع آب تجدیدپذیر و نسبت وابستگی هر کشور به منابع آب خارجی است.

در متن این نشریه، در برخی از موارد؛ واژه‌ها و یا تعاریفی به کار گرفته شده است که از دیدگاه گروه کار توسعه و مدیریت سامانه‌های آبیاری کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران شاید عمومیت نداشته و نمی توان برحسب ویژگی‌های هیدرولوژیکی و مشخصات حوضه‌های آبریز، آن‌ها را با قاطعیت در همه جا تعمیم داد و یا معادل مناسبی برای آن در نظر گرفت.

در برگردان اینگونه واژه‌ها و تعاریف مرتبط با آن‌ها، سعی شده است معادل فارسی انتخاب شود که تا حد ممکن؛ گویای مفاهیم مندرج در نشریه باشد. نمونه‌های شاخص این چنین واژه‌ها و تعاریف در زیر می‌باشد:

Groundwater drainage into rivers (typically, base flow of rivers)

به آن بخش از آب زیرزمینی‌ای که به رودخانه زهکش می‌شود در تعریف" به طور عمومی، جریان پایه رودخانه" گفته شده است.

و یا؛

Regular or permanent resources

منابع آب منظم یا دائمی به آن بخش از آب سطحی و یا زیرزمینی اشاره دارد که در ۹۰ درصد دوره‌های زمانی، قابل دسترس باشند.

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران از همه کارشناسان و متخصصانی که این مجموعه را مطالعه خواهند کرد انتظار دارد که با نظرات و پیشنهادات سازنده خود، ما را در تکمیل و یا تصحیح این مجموعه یاری کنند.

محمد کاظم سیاهی

رییس گروه‌کار توسعه و مدیریت سامانه‌های آبیاری

کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران

چکیده

این مقاله، روش به کار گرفته شده توسط آکوآاستات به منظور ارزیابی منابع طبیعی و واقعی آب شیرین جهان به تفکیک کشورها را تشریح می‌نماید. مقاله با منابع آب تجدیدپذیر سر و کار دارد و به طور عمده، بر ارزیابی فیزیکی آب منابع داخلی و خارجی متمرکز است و تصویری از وضعیت منابع آب جهان را نه تنها در حالت طبیعی بلکه در وضعیت فعلی آن و با در نظر گرفتن کاربردهای کنونی آب و الزامات آن‌ها برای کشورهای دارای حوضه‌های آبریز مشترک رودخانه‌ها ارائه میدهد.

برای دستیابی به آمار دقیق منابع آب و به ویژه سری داده‌های استاندارد در سطح جهان، اقدامات زیادی باید انجام شود. این مقاله، برخی از بازتاب‌های این مفهوم را ارائه میدهد. به عنوان مثال، برای متمرکز شدن بر ارزیابی تغییرات مکانی منابع آب (در سطح حوضه)، تغییرات زمانی (سال‌های خشک) و با توجه به محدودیت‌ها (منابع قابل برداشت) به تلاش و فعالیت بیشتری نیاز است. اطلاعات تفکیک شده در مقیاس حوضه آبریز رودخانه‌ها، از جمله در کشورهای بزرگ و با شرایط اقلیمی متنوع مانند ایران، از اهمیت زیادی برخوردار است. ارقام متوسط درهرکشور باعث پنهان ماندن تفاوت‌های محلی گردیده و در ارزیابی وضعیت منابع آب کشورهای بزرگ، کاربرد کمی دارند.

به منظور ارتقای قابلیت مقایسه‌ای اطلاعات منابع آب در سطح منطقه‌ای و جهانی، آکوآاستات همچنین در زمینه توسعه سری داده‌ها بر محور سامانه اطلاعات جغرافیایی و ابزارهای مدل‌سازی، کارکرده است. مدل توسعه یافته برای بررسی سری داده‌های آفریقا مورد استفاده قرار گرفت که نشان داد استفاده ترکیبی از داده‌های کشوری و مدل‌های جهانی بیلان آب، می‌تواند قابلیت اطمینان‌پذیری نتایج را افزایش دهد. رویکردهای مبتنی بر مشاهدات میدانی (بر پایه اندازه‌گیری‌ها) و مدل‌سازی به طور قطعی مکمل یکدیگر هستند.

مقدمه

در ۳۰ سال اخیر منابع، آب به عنوان یک موضوع مهم، در مجامع بین‌المللی مطرح بوده است. در مقیاس جهانی، حدود ۷۰ درصد از برداشت‌های منابع آب در بخش کشاورزی استفاده می‌شود، در برخی کشورهای درحال توسعه این نسبت به حدود ۹۰ درصد هم می‌رسد. از منظر نقش حیاتی آب در تولید کشاورزی به طور عام و در تولید مواد غذایی بطور خاص و اهمیت بخش کشاورزی در برداشت آب در مقیاس جهانی و با هدف ارائه مبنایی برای بحث در مورد کمبود فزاینده آب و وضعیت آتی آبیاری در جهان، برنامه آکوآاستات، اطلاعات کمی و کیفی موجود در مورد منابع آب، کاربرد آب و آبیاری در هر کشور را تلفیق می‌نماید.

آکوآاستات که از سال ۱۹۹۳ توسط بخش توسعه آب و خاک سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (فائو) توسعه یافته، یک سامانه اطلاعات جهانی آب و کشاورزی با تمرکز بر آبیاری است. اهداف این سازمان، گردآوری دقیق‌ترین، قابل اعتمادترین، منسجم‌ترین و بروزترین اطلاعات قابل دسترس منابع آب و مدیریت آب کشاورزی به کاربران علاقمند تجزیه و تحلیل در مقیاس جهانی، منطقه‌ای و ملی (نظیر سیاست‌گزاران، تصمیم‌گیران و پژوهشگران) می‌باشد.

منابع داده‌های جهانی اغلب به تشریح روش‌های به کار گرفته شده در تلفیق و اعتبار بخشی سری داده‌های خود نمی‌پردازند. نشریه آکوآاستات تحت عنوان "بررسی منابع آب جهان به تفکیک هر کشور" (فائو،۲۰۰۳)، مفاهیم و اصول روش‌های استفادع شده در تهیه داده‌های منابع آب تجدیدپذیر در سطح کشور را ارائه میدهد. در این نشریه یافته‌های کلیدی، هم در سطوح جهانی و هم در سطوح منطقه‌ای، ارائه و تجزیه و تحلیل گردیده و در مورد محدودیت‌های این رهیافت و شکاف اطلاعاتی در سطح کشور بحث شده است. در این بررسی، اولویت با اطلاعات قابل دسترس کشورها است و از مدل‌های بیلان آب جهانی هیچگونه استفاده‌ای نمی‌شود. هر چند چنین شیوه‌ای متضمن یکنواختی کیفیت اطلاعات جمع‌آوری شده نیست، ولی به بهترین شکل ممکن از اطلاعات محلی استفاده می‌کند. این مطالعات، توجه ویژه‌ای به کاهش خطرات دو بار محاسبه شدن در موارد زیر دارد: ۱) منابع آب تجدیدپذیر داخلی (IRWR)، هنگامی که منابع آب سطحی و زیرزمینی به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، ۲) منابع آب تجدیدپذیر خارجی (ERWR)، هنگامی که آب‌های فرامرزی، رودخانه‌ها و دریاچه‌های مرزی، در نظر گرفته می‌شوند. رویکردی که در این مطالعات دنبال شده و نیز پیشنهادات ارائه گردیده، در راستای بهبود آن، در ادامه به تفصیل بیشتر توضیح داده می‌شود.

انواع منابع آب تجدیدپذیر

آکوآاستات در ارتباط با منابع آب شیرین، تعاریف و مفروضات زیر را ارائه داده است:

منابع آب تجدیدپذیر و منابع آب تجدیدناپذیر

منابع آب تجدیدپذیر، متوسط جریان سالانه بلندمدت رودخانه‌ها (آب سطحی) و تغذیه سفره‌ها (آب زیرزمینی) حاصل از بارش می‌باشند. محاسبات مربوط به این منابع براساس چرخه آب انجام می‌شود.

منابع آب تجدید ناپذیر شامل آن بخش از منابع آب زیرزمینی (آبخوان‌های عمیق) هستند که میزان تغذیه آنها در مقیاس زمانی کوتاه، ناچیز می‌باشد و از این رو می‌توانند به عنوان آب تجدیدناپذیر به حساب آیند. در حالی که مقدار منابع آب تجدیدپذیر برحسب میزان جریان (حجم جاری شده در واحد زمان) توصیف می‌شود. مقدار منابع آب تجدیدناپذیر باید به صورت کمی (حجم منبع ذخیره) بیان گردد.

منابع آب تجدیدپذیر داخلی (IRWR)

منابع آب تجدیدپذیر داخلی، آن بخش از منابع آب سطحی و زیرزمینی هستند که از بارش‌های درون سرزمینی پدید می‌آیند و تنها منابعی هستند که می‌توانند برای ارزیابی منطقه‌ای مورد استفاده قرار گیرند.

جریان آب سطحی می‌تواند از طریق نفوذ از بستر رودخانه به تغذیه سفره آب زیرزمینی کمک نماید. آبخوان‌ها نیز می‌توانند به رودخانه‌ها تخلیه شوند و به جریان پایه آن‌ها کمک کنند و در دوره‌های خشک، تنها منبع تغذیه رودخانه‌ها باشند. بر این اساس، سیستم‌های مرتبط جریان‌های سطحی و زیرزمینی، به عنوان مجموع منابع آب؛ با یکدیگر جمع پذیر نمی‌باشند. در آکوآاستات به آن بخش از منابع آب کشورها که بین رودخانه‌ها و آبخوان‌ها مشترک می‌باشند، هم پوشانی(overlap) گفته می‌شود.

منابع آب تجدید پذیر خارجی (ERWR)

منابع آب تجدید پذیر خارجی، آن بخش از منابع آب تجدیدپذیر یک کشور است که از کشورهای بالادست از طریق رودخانه (آب سطحی خارجی) یا آبخوان (آب زیرزمینی خارجی) وارد می‌شوند. جمع کل منابع آب خارجی از جمع جریان‌های ورودی از کشورهای همسایه (جریان‌های فرامرزی) و بخشی از منابع مربوط به دریاچه‌های مشترک یا رودخانه‌های مرزی آن کشور تشکیل می‌شود.

در ارزیابی جریان‌های خارجی یک کشور می‌بایست بین جریان‌های ورودی طبیعی و جریان‌های ورودی واقعی تفاوت قائل شد:

- جریان آب ورودی طبیعی متوسط سالانه میزان آبی است که در شرایط طبیعی یعنی بدون دخالت انسان، به داخل یک کشور جریان می‌یابد.

- جریان آب ورودی واقعی، مقدار متوسط سالانه منابع آب ورودی به یک کشور با به حساب آوردن آن بخش از جریان ورودی که از طریق معاهدات و موافقت نامه‌های بین کشورهای بالادست و پائین دست تضمین شده است که با احتساب برداشت احتمالی آب در کشورهای بالادست خواهد بود.

منابع آب تجدیدپذیر طبیعی و واقعی

منابع آب تجدیدپذیر طبیعی، مجموع منابع آب یک کشور است (منابع آب تجدیدپذیر داخلی و منابع آب تجدید پذیر خارجی طبیعی، IRWR و ERWR طبیعی) که از طریق چرخه هیدرولوژیکی و بدون دخالت انسان به وجود می‌آیند و شامل هر دو منبع آب سطحی و آب زیرزمینی می‌باشند و مقدار آنها براساس متوسط بلندمدت سالانه بیان می‌شود. منابع آب تجدیدپذیر واقعی، مجموع منابع آب تجدیدپذیر داخلی و منابع آب تجدید پذیر خارجی واقعی هرکشور با به حساب آوردن مقدار جریان توافقی رسمی یا غیررسمی کشورهای بالادست و پائین‌دست و هم چنین کاهش احتمالی جریان‌های خارجی به خاطر برداشت‌های احتمالی بالادست می‌باشد. مقدار آب تجدیدپذیر خارجی واقعی با زمان و الگوهای مصرف تغییر می‌نماید و بنابراین، باید مربوط به یک سال خاص باشد.

منابع آب قابل برداشت

همه آب‌های شیرین طبیعی، آب‌های سطحی یا زیرزمینی برای استفاده در دسترس نیستند. منابع آب قابل برداشت (منابع آب قابل مدیریت یا دارای استعداد توسعه) به عواملی نظیر توجیه‌پذیری اقتصادی و زیست‌محیطی ذخیره‌سازی سیلاب در دریاچه سدها یا برداشت از منابع آب زیرزمینی، امکانات فیزیکی مهار آب‌هایی که به طور طبیعی به دریا جریان می‌یابند، حداقل جریان مورد نیاز برای ناوبری کشتی‌ها و قایق‌ها، نیازهای زیست‌محیطی، حیات آبزیان وابسته است. به طور کلی منابع آب قابل برداشت به مقدار قابل توجهی کمتر از منابع آب طبیعی می‌باشند (کادر شماره ۱).

کادر ۱- منابع آب قابل برداشت در لبنان

نمونه بررسی شده در کشور لبنان، اختلاف بین منابع آب طبیعی یا واقعی و منابع آب قابل برداشت را نشان میدهد. حدود نیمی از ظرفیت منابع آب لبنان، به سختی قابل برداشت است. تلفات آب زیرزمینی به دریا که در ارزیابی عملکرد بالقوه (حدود هفت دهم کیلومتر مکعب آب در سال) به حساب آورده میشوند، به صورت چشمه‌های زیردریایی ظاهر می‌شوند.

استفاده از این نوع منابع آب با توجه به اینکه مجاری آهکی معبر این آب‌ها در معرض اختلاط با آب شور دریا قرار دارند، مشکل است. به طور مشابه، سیلاب‌هایی که از حوضه‌های آبریز کوچک کوه‌های ساحلی سرچشمه می‌گیرند، در دریا تلف میشوند. و احتمال کمی برای استفاده مفید از آن ها وجود دارد. از این رو، از ۴/۸ میلیارد مترمکعب منابع آب برآورد شده در کشور لبنان، فقط بین ۲/۲ تا ۲/۵ میلیارد مترمکعب آن قابل برداشت می‌باشد.

منابع آب تجدیدپذیر قابل برداشت را می‌توان به سه بخش آب سطحی منظم، آب سطحی نامنظم و آب زیرزمینی منظم تقسیم کرد.

منابع آب منظم یا دائمی آن بخش از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی است که با امکان وقوع در ۹۰ درصد زمان، قابل دسترس باشند. این منابع، شامل حد پائین جریان رودخانه‌ها و جریان آب‌های زیرزمینی است که اغلب با هم اختلاط پیدا می‌کنند. منابع آب فوق، آن قسمت از منابع آب زیرزمینی را شامل است که به جریان‌های آب که به دریا، دریاچه‌ها و یا مناطق تبخیری می‌ریزند نمی‌پیوندد. این منابع، همان‌هایی هستند که برای برداشت، انحراف و یا استخراج از منابع زیرزمینی به صورت یک جریان منظم، در اختیار قرار می‌گیرند.

منابع آب نامنظم شامل بخش متغیر منابع آب (نظیر سیلاب‌ها) و منابع آب زیرزمینی با ترازهای استثنایی (سیلاب حاصل از آبخوان‌های آهکی) هستند. این منابع دارای تغییرات فصلی و یا بین سالی نظیر جریان فصلی یا جریان در سال‌های مرطوب می‌باشند که نیاز به تنظیم دارند.

علاوه بر منابع آب قابل برداشت تجدیدپذیر (برحسب مقدار جریان)، منابع آب تجدیدناپذیر قابل برداشت نیز وجود دارند (که به صورت کمّی یا حجم ذخیره بیان می‌شوند). ارزیابی این منابع به برنامه‌های بلندمدت برداشت آب بستگی دارد. منابع آب قابل برداشت تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر را نمی‌توان با هم جمع کرد.

روش به کار گرفته شده برای محاسبه منابع آب تجدیدپذیر هر کشور

روش به کار گرفته شده در ارزیابی منابع آب تجدیدپذیر هر کشور اولین بار در نشریه FAO/BRGM (1996) تشریح شده است. این روش شامل مجموعه‌ای از قواعد و دستورالعمل‌ها برای محاسبه منابع آب تجدیدپذیر داخلی (IRWR)، مقدار کل منابع آب تجدیدپذیر (TRWR) و نسبت وابستگی هر کشور است.

این روش، بر پایه حسابداری آب شکل گرفته است. مقدار کل منابع آب تجدیدپذیر (TRWR) هرکشور شامل منابع آب تجدیدپذیر داخلی (IRWR)، به علاوه منابع آب تجدیدپذیر خارجی (ERWR) می‌باشد. در محاسبه ERWR بین ERWR واقعی و طبیعی تمایز قائل شده‌اند. با توجه به اینکه TRWR معمولا برابر با مقدار آب قابل استفاده نیست، در هر کجا که امکان پذیر بود، تلفیقی از برآوردهای منابع آب قابل برداشت هر کشور تهیه و در نتایج آن کشور لحاظ میگردد.

در آکوآاستات، محاسبات مربوط به منابع آب، بر پایه ارقام متوسط بلندمدت که درگزارش‌های موجود و ترجیحا در مقیاس ملی هر کشور وجود دارد، انجام می‌شود.

این روش شامل گامهای زیر برای هر کشور است:

۱- انتخاب دقیق‌ترین منابع اطلاعاتی؛

۲- ارزیابی منابع آب تجدیدپذیر داخلی (IRWR)؛

۳- ارزیابی منابع آب تجدیدپذیر خارجی (ERWR)؛

۴- ارزیابی مقدار کل منابع آب تجدیدپذیر (TRWR) طبیعی و واقعی؛

۵- محاسبه میزان وابستگی هر کشور به منابع آب خارجی (نسبت وابستگی)؛

۶- اطمینان پیدا کردن از ثبات بین کشورها از طریق بررسی متقابل ورودی و خروجی منابع آب بین کشورها.

ارزیابی منابع آب تجدید پذیر داخلی

IRWR برابر است با متوسط حجم آب سطحی و زیرزمینی که در اثر بارش در داخل هر کشور تولید می‌شود (معادله ۱)

معادله ۱ $$IRWR = R + I - (QOUT - QIN)$$

که در آن:

R = رواناب سطحی، که حجم کل جریان سطحی درازمدت سالانه ناشی از رواناب مستقیم حاصل از بارش داخل کشور می‌باشد.

I = نحوه تغذیه آب زیرزمینی، ناشی از بارش درداخل کشور

QOUT = تخلیه آب زیرزمینی به رودخانه‌ها (به طور معمول جریان پایه رودخانه‌ها)

QIN = نفوذ از رودخانه‌ها به آبخوان

هر چند در چرخه هیدرولوژیکی، منابع آب سطحی و زیرزمینی به هم پیوسته‌اند، لیکن اغلب بطور جداگانه محاسبه می‌شوند. از اینرو هرمیزان تداخل دربرآورد آب سطحی و زیرزمینی، منجر به برآورد بیش ازحد واقعی منابع آب شیرین تولید شده در کشور می‌شود.

در آکوآاستات، تبادل بین منابع آب سطحی و زیرزمینی (QOUT – QIN)، همپوشانی نامیده می‌شود. در کادر شماره ۲، پیچیدگی مربوط به وابستگی متقابل و روش به کار برده شده برای محاسبه همپوشانی آب سطحی و زیرزمینی در کشورهای خشک و کشورهای مرطوب، نشان داده شده است.

کادر ۲- وابستگی متقابل یا همپوشانی آب سطحی و زیرزمینی

خلاصه رویکرد به کار گرفته شده برای محاسبه همپوشانی:

نواحی مرطوب

همپوشانی در نواحی مرطوب بر اساس هیدروگراف های موجود (سری‌های زمانی جریان آب سطحی اندازه‌گیری شده)، برآورد می‌شود. در نواحی ای که هیچ آمار اندازه‌گیری در دسترس نمی‌باشد، اطلاعات مورد نیاز به کمک برون‌یابی داده‌های مربوط به مناطق دارای آمار تهیه می‌شود. هر جا که لازم باشد، داده‌های اندازه‌گیری شده برای در نظر گرفته شدن میزان آب برداشت شده، اصلاح می‌شوند. در نواحی مرطوب، جریان پایه رودخانه‌ها عمدتاً شامل تخلیه آب از آبخوان ها می‌باشد. بدین ترتیب، برآورد منابع آب سطحی بخش بزرگی از منابع آب زیرزمینی را شامل می‌گردند. از این رو منابع آب زیرزمینی در نواحی مرطوب، درمناطقی که آمار دارند، معادل با جریان پایه رودخانه‌ها فرض شده‌اند.

نواحی نیمه خشک

همپوشانی در نواحی نیمه‌خشک اغلب ناشی از وقوع سیلاب‌های ناگهانی است. ارزیابی منابع زیرزمینی از طریق برآورد میزان نفوذ بارندگی و یا تحلیل نتایج اندازه‌گیری تراز سطح آب زیرزمینی یا ارتفاع آبخوان‌ها صورت می‌گیرد. منابع آب سطحی نیز بر اساس اندازه‌گیری‌ها یا برآوردهای سیلاب های ناگهانی، تخمین زده می‌شوند. باید دقت شود که آن بخش از آب سطحی که صرف تغذیه آبخوان می‌شود، درست برآورد گردد تا به ارزیابی فراتر از مقدار جمع کل منابع آب منجر نگردد.

نواحی خیلی خشک و مناطق ساحلی

در مناطق ساحلی یا مناطق خیلی خشک، بخش عمده ای از سفره‌های آب زیرزمینی به رودخانه‌ها تخلیه نمی‌شوند و از این رو همپوشانی هم نسبتاً کم است.

تقریباً در تمام کشورها، بخشی از همپوشانی (IRWR) بایستی از طریق مدل‌سازی داده‌های بارندگی (برون‌یابی مکانی یا زمانی اطلاعات اندازه‌گیری شده هیدرولوژیکی) برآورد گردد. اما مدل‌های مورد استفاده باید با شرایط هیدروکلیماتولوژیک منطقه، تطابق خوبی داشته باشند.

رواناب‌های اندازه‌گیری شده، مربوط به جریان های واقعی تحت تأثیر کاربری‌ها و مصارف انسان‌ها قرار می‌گیرند. این اندازه‌گیری‌ها همراه با برآورد مصارف آب (و تغییرات آن نسبت به زمان) بایستی در محاسبات متوسط درازمدت سالانه مقدار جریان آب که جزیی از منابع آب تجدیدپذیر داخلی است، به کار گرفته شوند. همچنین در این زمینه استفاده از مدل‌ها می‌تواند برای برآورد متوسط جریان سالانه واقعی موثر باشد، به شرط اینکه پارامترهای این مدل‌ها در برخی حوضه‌های آبریز اولیه که رواناب آن تحت تأثیر عوامل خارجی قرار نگرفته است، کالیبره شوند.

ارزیابی منابع آب تجدیدپذیر خارجی(ERWR)

منابع آب تجدیدپذیر خارجی برابر حجم متوسط سالانه جریان سطحی رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی وارده به یک کشور از کشورهای همسایه می‌باشند.

(معادله ۲):

$$ERWR_{NATURAL} = SWIN + SWPR + SWPL + GWIN$$

که در آن:

SWIN = آب سطحی وارد شده به کشور

SWPR = سهم اختصاص یافته از رودخانه‌های مرزی

SWPL = سهم اختصاص یافته از دریاچه‌های مشترک

GWIN = آب زیرزمینی واردشده به کشور

آکوآاستات بین منابع آب تجدیدپذیر خارجی طبیعی و واقعی تمایز قائل شده است. در ERWR واقعی، مقدار جریان تخصیص داده شده درکشورهای بالادست (جریان ورودی) و یا در کشورهای پائین‌دست (جریان خروجی) در چارچوب موافقت‌نامه‌ها و قراردادهای رسمی یا غیررسمی، و یا مقدار جریان احتمالی‌ای که در کشورهای بالادست ممکن است از رودخانه برداشت شود، در محاسبات لحاظ می‌گردد. بنابراین ممکن است مقدار آن (منابع آب تجدیدپذیر خارجی واقعی) بسته به زمان تغییر پیدا کند. در شرایط استثنائی ممکن است زمانی که مقدار جریان لحاظ شده برای کشور پائین دست بیش از مقدار جریان ورودی آن باشد، مقدار منابع آب تجدیدپذیر خارجی منفی نیز شود (معادله ۳).

معادله ۳:

$$ERWR_{ACTUAL} = SW1\ IN + SW2\ IN + SWPR + SWPL - SWOUT + GWIN$$

SW1 IN = حجم آب سطحی ورودی به کشور بدون اینکه درموافقت‌نامه‌ای ذکر شده باشد.

SW2 IN = حجم آب سطحی ورودی به کشور که در چارچوب موافقت‌نامه‌ها تعهد شده.

SWPR = سهم اختصاص یافته از رود خانه های مرزی.

SWPL = سهم اختصاص یافته از دریاچه های مشترک.

SWOUT = حجم آب سطحی خروجی از کشورکه در چارچوب قراردادها برای کشورهای پائین دست لحاظ شده است.

GWIN = آب زیرزمینی وارد شده به کشور.

در کادر شماره ۳، روش‌های مورد استفاده در آکوآاستات برای محاسبه مؤلفه‌های مختلف منابع آب تشریح شده است.

این روش‌ها نه مطلق و نه جامعند. روش‌های مزبور به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که تمام وضعیت‌ها را به واقعی‌ترین شکل ممکن نشان دهند. شکل شماره ۱، برگه محاسباتی استاندارد را نشان میدهد که در آن، این قوانین به طور نمونه در کشور میانمار به کار گرفته شده اند.

ارزیابی مقدار کل منابع آب تجدیدپذیر

TRWR از مجموع IRWR و ERWR به دست می‌آید. در ارتباط با ERWR، بین TRWR واقعی و طبیعی (معادلات ۴ و ۵) تمایزی وجود دارد.

معادله ۴: $TRWR_{NATURAL} = IRWR + ERWR_{NATURAL}$

که در آن:

IRWR = منابع اب تجدیدپذیر داخلی (معادله ۱)

$ERWR_{NATURAL}$ = منابع آب تجدیدپذیر طبیعی خارجی (معادله ۲)

معادله۵: $TRWR_{ACTUAL} = IRWR + ERWR_{ACTUAL}$

که درآن :

IRWR = منابع آب تجدید پذیر داخلی (معادله ۱)

$ERWR_{ACTUAL}$ = منابع آب تجدیدپذیر واقعی خارجی (معادله ۳)

کادر ۳- اصول به کار رفته برای محاسبه ERWR

آب‌های سطحی ورودی به کشور (SWIN):

میانگین جریان سالانه اندازه‌گیری شده یا برآورد شده در مرز ورودی رودخانه‌های فرامرزی به عنوان یک منبع خارجی برای کشور پایین دست حساب می‌شود. این رقم از منابع آب کشور تأمین‌کننده آن، کسر نمیشود مگر آنکه طبق قراردادی، تقسیم آب صورت گرفته باشد، یعنی یک پیمان بین کشورها به خاطر وجود موافقتنامه های دوجانبه و چندجانبه و مصرف در بالادست، دو گروه منابع آب خارجی از هم متمایز میشوند.

- جریان طبیعی مربوط به جریان متوسط دراز مدت که تحت تأثیر مصارف بالادست قرار نگرفته و یا قبل از تاثیرگذاری این مصارف برآورد شده است.
- جریان واقعی در یک دوره معین که مقدار برداشت در بالادست در آن منظور شده است، اعم از این که در چارچوب یک توافق‌نامه یا براساس یک وضعیت واقعی یا الزامات توافق شده یا پذیرفته شده در قبال کشور پایین دست باشد.

حالت خاص وضعیتی است که بخشی از رواناب ورودی به کشور، پس از ورود و خروج آن به یک کشور همسایه از خود کشور سر درمی‌آورد. در چنین حالاتی چنانچه اطلاعات آن موجود باشد، مقدار این جریان از مقدار جریان ورودی به کشور کسر میگردد تا دو بار در محاسبات منظور نشود. بدین ترتیب در ورودی مرزهای کشور، جریان‌های ورودی خالص حساب می‌شود.

مقدار جریان در رودخانه‌های مرزی (SWPR)

مطابق روال معمول، ۵۰ درصد جریان این نوع رودخانه‌ها به هر یک از کشورهای هم مرز، اختصاص می‌یابد. در این مورد چند حالت میتواند وجود داشته باشد.

- جایی که که رودخانه‌ای بدون ورود به هیچ یک از کشورهای همجوار و یا خروج از آنها، منحصرا در مرز آن ها قرار گرفته باشد، مقدار جریان ورودی بر اساس رواناب رودخانه در قسمت بالادست مرز، برآورد می شود. اگر میزان رواناب از بالادست به پائین دست نسبتا زیاد افزایش پیدا کند، رقم پائین دست را پس از کسر روانابی که از داخل خود کشور تولید شده، مبنا قرار می دهند.
- اگر سرچشمه رودخانه یکی از دو کشور باشد، این قاعده فقط در مورد آن کشور دیگر اعمال می‌شود. برای کشور سرچشمه رودخانه، ۵۰ درصد سهم کشور دیگر در تأمین جریان آب رودخانه را به شرط مشخص بودن میتوان به عنوان منبع خارجی در نظر گرفت.
- وقتی که رودخانه پس از اینکه دو کشور را از هم جدا کرد وارد یکی از کشورها می‌شود، این رودخانه برای کشوری که رودخانه وارد آن شده به عنوان یک رودخانه فرامرزی شناخته میشود و مقدار کل رواناب رودخانه در نقطه ورود به آن کشور به عنوان یک منبع خارجی برای آن کشور شناخته میشود و قانون ۵۰ درصد در مورد کشور دیگر اعمال می گردد.
- در صورتی که معاهده ای بین دو کشور همسایه در مورد یک سیستم رودخانه ای وجود داشته باشد، قوانین مورد عمل، مطابق با توافقاتی است که در معاهده نامه قید شده است.

دریاچه های مشترک(SWPL)

- اگر دریاچه یک خروجی به رودخانه ای داشته باشد (مثل دریاچه ویکتوریا که در اوگاندا به نیل می‌ریزد) تمام رواناب در محل ورود به رودخانه، به عنوان منبع آب خارجی برای کشور دریافت کننده محسوب میشود.
- برای بقیه کشورها پس از اینکه سهم آن کشور در تأمین آب دریاچه از آن کسر گردید، سهمی مساوی به عنوان منبع خارجی منظور می گردد. اگر نتیجه برای کشوری منفی بود، سهم کشور مورد نظر از منبع خارجی صفر منظور می گردد. اگر رودخانه ای مرز مشترک دو کشور باشد همان روشی که در بالا برای رودخانه های مرزی توضیح داده شد، در رابطه با آن رودخانه به کار گرفته می شود.
- برای دریاچه های بدون خروجی، مقدار کل آب ورودی به دریاچه برآورد شده و پس از کسر سهم ورودی مربوط به هر کشوری باقی مانده بطور مساوی بین کشورهای پیرامون تقسیم می شود. اگر سهم یکی از این کشورها در نتیجه این شیوه تقسیم منفی شود، سهم کشور مورد نظر از منبع خارجی، صفر منظور می گردد.
- دریاچه‌های مصنوعی به حساب آورده نمی‌شوند، زیرا که کاهش جریان آب به خاطر تأثیر طرح توسعه منابع آب است و نه یک پدیده طبیعی.

حجم آب سطحی خروجی از کشور (SWOUT)

در محاسبه ERWR واقعی، میزان آب سطحی خروجی را تنها در صورتی به حساب می آورند که تقسیم‌نامه توافق شده‌ای بین کشورهای بالادست و پایین دست امضا شده باشد.

آب زیرزمینی ورودی به کشور (GWIN)

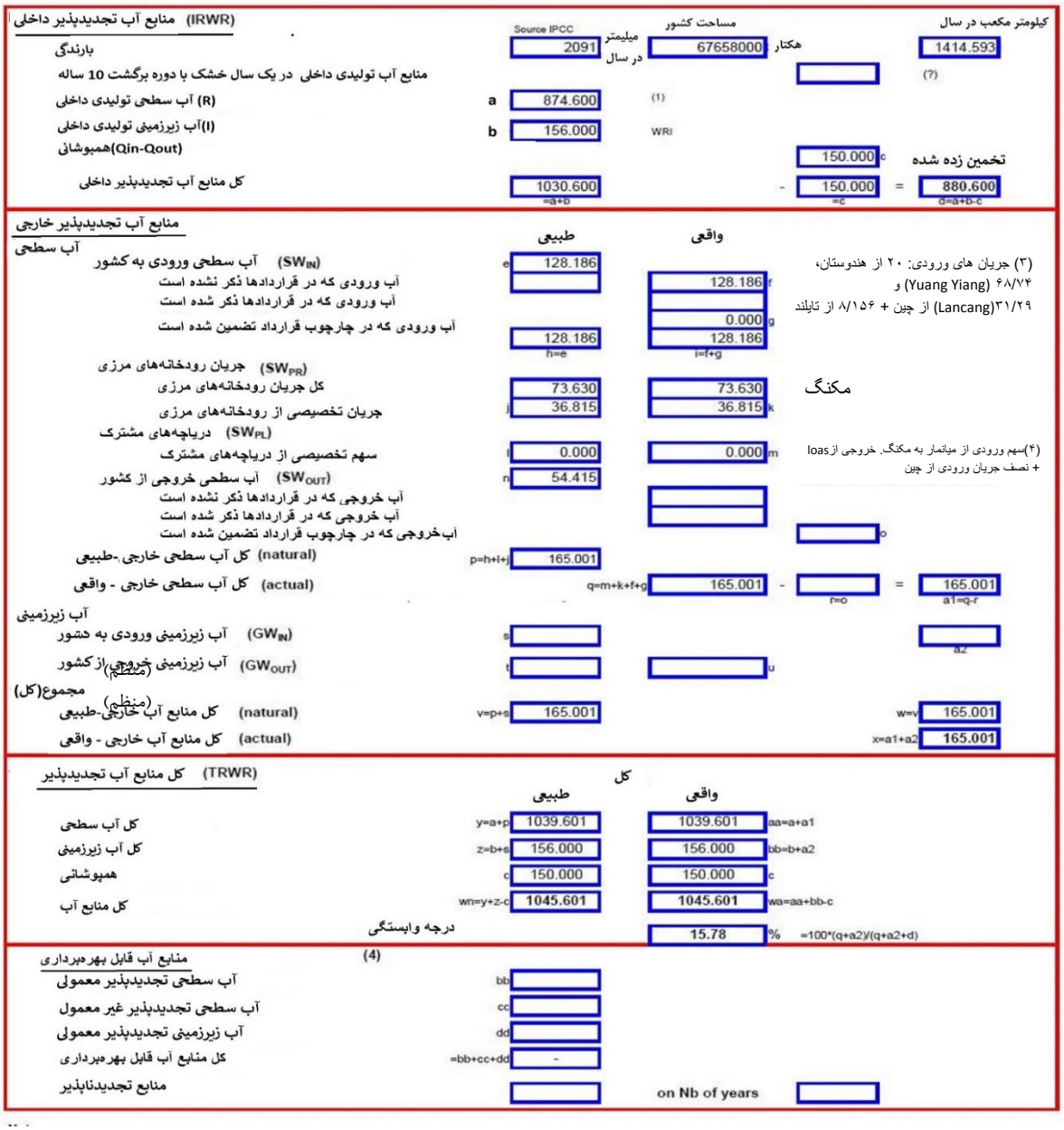
متوسط میزان برآورد شده سالانه آب زیرزمینی ورودی به یک کشور به عنوان منبع خارجی لحاظ می‌گردد.

آب زیرزمینی خروجی از کشور (GWOUT)

در محاسبه ERWR، جریان خروجی آب زیرزمینی لحاظ نمی‌شود.

شکل ۱- برگه محاسباتی آکوآاستات، محاسبه منابع آب تجدید پذیر کشور میانمار

(بر حسب کیلومترمکعب در سال)



منابع آب تجدیدپذیر داخلی (IRWR)		Source IPCC		مساحت کشور		کیلومتر مکعب در سال
بارندگی		2091	میلیمتر در سال	67658000	هکتار	1414.593
منابع آب تولیدی داخلی در یک سال خشک با دوره برگشت 10 ساله						(?)
(R) آب سطحی تولیدی داخلی	a	874.600	(1)			
(I)آب زیرزمینی تولیدی داخلی	b	156.000	WRI			
همپوشانی(Qin-Qout)						تخمین زده شده
					150.000 c	
کل منابع آب تجدیدپذیر داخلی		1030.600 =a+b			- 150.000 =c	= 880.600 d=a+b-c

منابع آب تجدیدپذیر خارجی		طبیعی	واقعی	
آب سطحی				
(SW$_{IN}$) آب سطحی ورودی به کشور	e	128.186		(۳) جریان های ورودی: ۲۰ از هندوستان، ۶۸/۷۴ (Yuang Yiang) و ۳۱/۲۹(Lancang) از چین + ۸/۱۵۶ از تایلند
آب ورودی که در قراردادها ذکر نشده است			128.186 f	
آب ورودی که در قراردادها ذکر شده است				
آب ورودی که در چارچوب قرارداد تضمین شده است			0.000 g	
		128.186 h=e	128.186 i=f+g	
(SW$_{PR}$) جریان رودخانه‌های مرزی				
کل جریان رودخانه‌های مرزی		73.630	73.630	مکنگ
جریان تخصیصی از رودخانه‌های مرزی	j	36.815	36.815 k	
(SW$_{PL}$) دریاچه‌های مشترک				
سهم تخصیصی از دریاچه‌های مشترک	l	0.000	0.000 m	(۴)سهم ورودی از میانمار به مکنگ. خروجی ازloas + نصف جریان ورودی از چین
(SW$_{OUT}$) آب سطحی خروجی از کشور	n	54.415		
آب خروجی که در قراردادها ذکر نشده است				
آب خروجی که در قراردادها ذکر شده است				
آب‌خروجی که در چارچوب قرارداد تضمین شده است				o
کل آب سطحی خارجی -طبیعی (natural)	p=h+l+j	165.001		
کل آب سطحی خارجی - واقعی (actual)			q=m+k+f+g 165.001	- r=o = 165.001 a1=q-r
آب زیرزمینی				
(GW$_{IN}$) آب زیرزمینی ورودی به دشور	s			a2
(GW$_{OUT}$) آب زیرزمینی خروجی از کشور	t		u	
مجموع(کل)				
کل منابع آب خارجی-طبیعی (natural)	v=p+s	165.001		w=v 165.001
کل منابع آب خارجی - واقعی (actual)				x=a1+a2 165.001

کل منابع آب تجدیدپذیر (TRWR)		کل طبیعی	کل واقعی	
کل آب سطحی	y=a+p	1039.601	1039.601	aa=a+a1
کل آب زیرزمینی	z=b+s	156.000	156.000	bb=b+a2
همپوشانی	c	150.000	150.000	c
کل منابع آب	wn=y+z-c	1045.601	1045.601	wa=aa+bb-c
درجه وابستگی			15.78 %	=100*(q+a2)/(q+a2+d)

منابع آب قابل بهره‌برداری (4)				
آب سطحی تجدیدپذیر معمولی	bb			
آب سطحی تجدیدپذیر غیر معمول	cc			
آب زیرزمینی تجدیدپذیر معمولی	dd			
کل منابع آب قابل بهره‌برداری	=bb+cc+dd	-		
منابع تجدیدناپذیر			on Nb of years	

توضیحات:

۱) جمع آبدهی رودخانه‌های میانمار (۱۰۰۲,۸) منهای جریان‌های ورودی از سایر کشورها(۱۲۸,۲)

۲) همپوشانی بین آب‌های سطحی و زیرزمینی کوچکتر از ۱۰۰ درصد تغذیه آب زیرزمینی: بخش عمده آب زیرزمینی از طریق رودخانه‌ها زهکشی شده و جریان اندک آبراهه‌ها را تشکیل می‌دهند، مقدار کمی از آب زیرزمینی هم به دریا تخلیه می‌شود.

۳) ورودی‌ها: ۲۰ از هندوستان،۶۸,۷۴ (یوان ییانگ) و ۳۱,۲۹ (لانکنگ) از چین+۸,۱۵۶ از تایلند

۴) هیچگونه اطلاعاتی از منابع آب قابل بهره برداری وجود ندارد.

منبع: داده‌های منابع آب تجدیدپذیر (FAO/AQUASTAT 1999) و پیش بینی (IPPC, 2002)

محاسبه نسبت وابستگی

نسبت وابستگی، جهت مقایسه میزان وابستگی کشورهای مختلف به منابع آب خارجی محاسبه می‌شود. نسبت وابستگی هر کشور، شاخصی است که نشان می‌دهد چه میزان از منابع آب هر کشور، منشا خارجی دارد (معادله‌های ۷ و ۸). در محاسبه این نسبت، میزان تخصیص احتمالی آب به کشورهای پائین دست (میزان جریان خروجی در معادله ۳) منظور نمی‌گردد.

معادله ۶ — نسبت وابستگی = IWR/(IRWR+IWR) x 100 درصد

معادله ۷ — $IWR = SW^1_{IN} + SW^2_{IN} + SW_{PR} + SW_{PL} + GW_{IN}$

که در آن:

IRWR = منابع آب تجدید پذیرداخلی (معادله ۱)

IWR = جمع منابع آب ورودی ازکشورهای همجوار

SW^1_{IN} = حجم آب سطحی که وارد کشورمی‌شود ولی در چارچوب هیچ قراردادی قید نشده

SW^2_{IN} = حجم آب سطحی که وارد کشورمی‌شود و در چارچوب قراردادهائی تضمین شده است

SW_{PR} = جریان هایی که ازرودخانه های مرزی اختصاص یافته

SW_{PL} = مقداری که ازدریاچه‌های مشترک اختصاص یافته

GW_{IN} = آب زیرزمینی ورودی به کشور

این شاخص به لحاظ نظری می‌تواند بین ۰ تا ۱۰۰ تغییر کند. کشوری با وابستگی صفر، هیچگونه آبی از کشور همجوار دریافت نمی‌کند. در مقابل کشور با وابستگی ۱۰۰ درصد، تمام آب خود را از خارج دریافت میکند و هیچ آبی در داخل آن کشور تولید نمی‌شود.

جریان آب‌های فراسرزمینی

در بررسی آب‌هایی که بین کشورها جریان دارند، بازبینی جریان‌های آب فراسرزمینی اهمیت دارد. آکوآاستات از ماتریس‌هایی استفاده می‌کند که تبادلات آبی بین کشورهای بالادست وپائین‌دست را نشان میدهند، تا از این طریق مقادیر جریان‌های ورودی و خروجی را با یکدیگر مقایسه نموده و از سازگاری و صحت کلی محاسبات منابع آب کشور اطمینان حاصل شود. ماتریس‌ها این امکان را میدهند که انعکاس دقیق‌تری از جریان آب‌های بین کشورها فراهم گردد و از دو بار حساب شدن جریان‌های فرامرزی (جریان‌های خارجی) همان طورکه در کادر شماره ۳ تشریح شده است پرهیز شود. (رودخانه‌های مرزی در این محاسبات به حساب آورده نمی‌شوند). یک مثال از این نوع ماتریس ها در شکل شماره ۲ ارائه شده است.

پتانسیل مدل‌ها برای ارزیابی منابع آب جهان

در آکوآاستات، ارزیابی منابع آب هر کشور اساساً برپایه آمار هیدرولوژیکی رودخانه‌های اصلی و برای آن بخش‌هائی که اندازه‌گیری مستقیم در آن بخش ها وجود ندارد، بر پایه برون‌یابی آمار این رودخانه‌ها صورت

می‌پذیرد. هر چند کوشش‌های زیادی جهت ارائه چارچوبی استاندارد برای محاسبه منابع آب انجام شده است، ولی روش به کار رفته (بر پایه اطلاعات هرکشور) تضمین‌کننده سازگاری ارزیابی منابع آب از یک کشور به کشور دیگر نخواهد بود.

برای غلبه بر این مشکل و بهبود بخشی امکان مقایسه اطلاعات آب در مقیاس منطقه‌ای و جهانی، آکوآاستات در عین حال بر روی توسعه سری داده های جهانی بر پایه سامانه اطلاعات جغرافیایی و ابزارهای مدل‌سازی کار کرده است. چنین مدلی برای بیلان آب درآفریقا تهیه و اجرا شده است (فائو، ۲۰۰۱). اطلاعات موجود آفریقا از طریق یک مدل قاره‌ای با محوریت سامانه اطلاعات جغرافیایی، تجزیه و تحلیل شده تا تصویر جامعی از اجزای مختلف بیلان آب در مقیاس این قاره، ارائه گردد. این رویکرد به بهترین وجه از اطلاعات پراکنده استفاده می‌کند و امکان برون‌یابی اطلاعات نقطه‌ای و یا اطلاعات موجود درکشورها را فراهم می‌نماید تا تصویر معتبری از نحوه استفاده از آب در این قاره و تأثیر آن بر منابع آب به دست آید و این مزیت را دارد که یک متدولوژی یکسان را برای محاسبه بیلان آب این قاره ارائه نماید.

مدل مورد استفاده، ساده بوده و کلاً در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی کار می‌کند و به بهترین نحو ممکن از اطلاعات موجود با پوشش عناصر اصلی شکل‌دهنده بیلان آب (بارش و نیاز آبی گیاه)، ویژگی‌های خاک یا آبیاری استفاده میکند. این مدل شامل دو بخش است. یک مدل عمودی بیلان خاک-آب که ماهانه برای هر یک از سلول‌های شبکه‌ای (۱۰کیلومتر در ۱۰کیلومتر) اجرا می‌شود و آن بخش از بارش را که به اتمسفر بر نمی‌گردد برآورد می‌نماید. این آب که در این مطالعات به نام آب مازاد خوانده می‌شود مجدداً از طریق بخش افقی این مدل، در رودخانه ردیابی می‌شود. در سامانه اطلاعات جغرافیایی این عملیات با ایجاد یک سامانه شبکه هیدرولوژیکی (Grid Base) و بر پایه مدل رقومی ارتفاعی(Dem)، انجام می‌گیرد.

شکل ۲- ماتریس تبادل آب فرامرزی بین کشورهای اروپای شرقی اتحاد شوروی سابق بر حسب کیلومتر مکعب در سال

کشورها	بلاروس	مولداوی	اوکراین	لتونی	لیتوانی	RUSSIAN FED.	لهستان	مجارستان	رومانی	مجموع
بلاروس BELARUS			Dnepr 19.300 Pripyat (of which 5.8 orig. in Ukraine) 12.700 32.000	Daugava (W. Dvina) 14.300 14.300	Nemunas 6.800 Tributaries 2.500 9.300	0.000 0.000	Bug (border) 2.5 of which 0.2 orig. in Belarus not counted 0.000			55.600
مولداوی MOLDOVA			Dnestr (of which 9.2 orig. in Ukraine) 9.840 Other 0.110 9.950							9.950
اوکراین UKRAINE	Pripyat 5.800 5.800	Dnestr 9.200 Prut (border) =2.90/2= 1.450 10.650				Northern Don 3.900 3.900	Bug 1.800 San 0.100 1.900	Cisa 6.500 6.500	Prut (border) =2.90/2= 1.450 1.450	30.200
لتونی LATVIA	0.000 0.000				0.000 0.000	Velika 0.670 0.670				0.670
لیتوانی LITHUANIA	0.000 0.000			Lielupe 2.000 Daugava 0.500 Venta 1.300 W. Coast 0.210 4.010		Nemunas 0.840 Pregel 0.010 0.850	0.000 0.000			4.860
RUSSIAN FED.	Dnepr 7.700 W. Dvina 7.200 14.900		Northern Don 1.200 Desna ? 1.200	0.000 0.000	Nemunas (border) not counted 0.000		0.000 0.000			16.100
لهستان POLAND	Neman 0.100 Bug (border 2.3/2) not counted 0.100		0.000 0.000		Nemunas 0.040 0.040	Pregel 1.990 1.990		x ? 		2.130
مجارستان HUNGARY			0.000 0.000						0.000	0.000
رومانی ROUMANIA		0.000 0.000	Danube (border) (of which 6.5+ 2.9 orig. in Ukr) =126/2= 63.000 63.000					0.000		63.000
مجموع	20.800	10.650	106.150	14.300	9.340	5.890	1.900	6.500	1.450	

دریافت آب توسط کشور اوکراین از اروپا: ۱۰۶/۱۵۰ کیلومتر مکعب در سال. منابع آب: ۸۶/۴۵۰ کیلومتر مکعب در سال. تفاوت: ۱۹/۷ کیلومتر مکعب در سال برابر با:

۵/۸ (Pripyat)+ ۹/۲(Dnestre) + (۲/۹ +۶/۵) /۲ (border prut and Cisa)

محاسبه نیازهای آبی گیاهان براساس روش پنمن ماتریس اصلاح شده (فائو، ۱۹۹۸) انجام گرفته است. این محاسبات برای هر سلول شبکه، به صورت ماهانه محاسبه و با ارقام تبخیر و تعرق واقعی، ETa(m)، حاصل از مدل بیلان خاک-آب مورد مقایسه قرار گرفت. سپس این اختلاف در الگوی کشت اعمال شد تا برای هر نقطه شبکه، نیاز آبیاری محاسبه شود. مدل تا حد امکان با اطلاعات جریان طبیعی اندازه‌گیری شده رودخانه، کالیبره گردید.

تجربه مدل‌سازی نشان داد که در جائی که داده‌های کشوری وجود نداشته باشند یا قابل اعتماد نباشند، تا چه حدی برآورد منابع آب با این گونه مدل‌ها ضروری است و همینطور این که مدل، ابزارسودمندی برای کنترل کردن نتایج کلی مطالعات و نشان دادن دقیق خطاهای احتمالی است. این مدل‌ها برای وارسی سری داده های آفریقا بکار گرفته شدند. در جائی که ناسازگاری واضحی وجود داشت، بیلان آب بسته به نیاز، مورد تجدید نظر

و اصلاح قرار گرفت. بدین ترتیب استفاده توام از داده‌های کشوری و مدل‌های جهانی بیلان آب، باعث ارتقای اعتمادپذیری به نتایج می‌شود.

ارزیابی نتایج و بازتاب‌های آن

اطلاعات کشوری

گزینه انتخابی در این مطالعه اتکا به اطلاعات کشوری بوده است، با این فرض که داده‌های منطقه‌ای نمی‌توانند دقیق‌تر از مطالعاتی باشد که در مقیاس کشور صورت گرفته اند. اما در زمینه کار با اطلاعات ملی هر کشور، برخی مشکلات به شرح زیر بروز می‌کنند:

۱. در خیلی از موارد، تجزیه و تحلیل دقیق اطلاعات موجود به منظور اطمینان از سازگاری و هماهنگی بین داده‌های مختلف جمع آوری شده برای یک کشور با حوضه آبریز یک رودخانه ضرورت پیدا می‌کند.
۲. جمع‌آوری داده از منابع مختلف، تشابه بین منابع گوناگون ودرعین حال تناقضات و اشتباهات در نسخه‌برداری از آنها را برجسته میکند.
۳. در نواحی مرطوب آفریقا اطلاعات اندکی در مورد منابع آب وجود دارد.
۴. دراقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک، اسناد و مدارک زیادی وجود دارد، بدین خاطر که آب نقش مهمی در توسعه اقتصادی این نواحی بازی می‌کند. لیکن دسترسی به اطلاعات مربوط به آب، به خاطر دلایل راهبردی گاهی با محدودیت‌هایی روبرو است.
۵. درستی و اعتمادپذیری اطلاعات منطقه ای، کشوری و نوع داده‌ها با یکدیگر تفاوت اساسی دارد. هیچ‌گونه تضمینی در رابطه با سازگاری دوره و تاریخ دوره مرجع، در مقیاس منطقه‌ای وجود ندارد.

منابع آب طبیعی

منابع آب تجدیدپذیر طبیعی به صورت کمی در واحد زمان و معمولا به صورت جریان متوسط سالانه که معادل مقدارکل رواناب بیلان آب منطقه مورد نظر است، بیان می‌شود. پایه و اساس ارقام حاصله، نتایج اندازه‌گیری‌ها، برون‌یابی‌ها و یا مدل‌سازی ها می‌باشد.

این رویکرد هیدرولوژیکی، کامل نیست زیرا که جریان واقعی اندازه گیری شده معمولا جریان طبیعی و یا معادل جریان تولید شده نیست، رویکرد"بالادست" (محاسبه جریان ورودی، که معمولا بر پایه باران‌موثر محاسبه شده انجام می‌گیرد) و رویکرد "پائین‌دست"، (بر اساس اندازه‌گیری و یا برآورد جریان خروجی) معمولا با یکدیگر همگرائی ندارند و هم چنین سایر مواردی که تاثیرگذار هستند. برای اینکه بتوان مقایسه داده‌ها و تحلیل‌های منطقه‌ای را انجام داد می‌بایست؛ تلاش کرد که بین روش‌های مختلف هیدرولوژیکی هماهنگی باشد، فرادادها به روش های مورد استفاده اضافه شوند، اعتبارسنجی نتایج و سایر موارد انجام گیرد (مارگات، ۲۰۰۰). برای مثال، محاسبه منابع آب طبیعی بر پایه جریان خروجی اندازه‌گیری شده و یا برآورد شده در نواحی مرطوب روش درستی است. ولی برای نواحی خشک که بخشی از جریان آب تولید شده (یا مقدارکل آن در حوضه‌های

بسته)، به صورت تبخیر از دست می‌رود؛ روش مناسبی نیست. با این همه در بالادست این منطقه تبخیری (evaporation zone)، آب یک منبع قابل برداشت است و می‌بایست در مناطق خشک در محاسبات لحاظ شود. در چنین حالاتی منابع آب سطحی بایستی از طریق اندازه‌گیری رواناب‌ها در بالادست مناطقی که بیشترین تلفات را دارند و در نقطه‌ای که مقدار جریان آنها به حداکثر میزان خود می‌رسد، مورد ارزیابی قرار گیرند.

آمار مربوط به منابع آب تجدید پذیر طبیعی با سه مشکل زیر روبروست:

اول: مرجع زمانی: تهیه اطلاعات متوسط سالانه به تنهایی کافی نمی‌باشد. این اطلاعات باید همراه با فراداده ها (در ارتباط با دوره مرجع، تاریخ‌ها و غیره) و همراه با شرح تغییرات مربوطه باشند. به خصوص در مورد داده‌های جریان "تضمین‌شده" که فراوانی وقوع مشخصی دارند، باید جزئیات آن، برای مثال "جریان سالانه در یک سال خشک با دوره بازگشت ۱۰ ساله" یا "جریان با احتمال وقوع ۹۰ درصد زمان" ارائه شود، بنابراین، تلاش برای بهبود و یکنواخت‌سازی تغییرات در طول سال، به ویژه با یکسان‌سازی دوره مرجعی که برای محاسبه میانگین و دوره بازگشت بکار رفته، ضروری است.

دوم: مرجع مکانی: صرف نظر از محدوده انتخاب شده (کشور، حوضه آبریز و ناحیه)، آمارهای کلان می‌توانند باعث نادیده گرفته شدن تغییرات خیلی زیاد مکانی شده و لازم است از طریق نقشه‌ها، تکمیل گردند. داده‌ها در مقیاس کشوری، می‌توانند دید کلی از وضعیت آب در کشور را ارائه دهند، اما تغییرات و تنوع محلی، به ویژه در کشورهای وسیع در آنها دیده نمی‌شوند. برخلاف اطلاعات حوضه‌ای، برای داده‌های کشوری می‌بایست بین منابع داخلی و منابع خارجی (در ارتباط با مرزهای کشور) تمایز قائل شد. با هدف بهبود آمار و اطلاعات آب درکشورهای بزرگ، آنها باید تغییرات آمار و اطلاعات داخلی را براساس حوضه های آبریز و یا مناطق و نیز شرایط متفاوت فیزیوگرافیک و اقلیمی تشریح نمایند.

- کیفیت آب: معمولا آمار کمی منابع آب تلویحا به منابع آب شیرین اشاره دارد (اگر چه بدون ارائه یک تعریف جهانی). آیا داده‌های مربوط به آب‌های لب شور یا شور و منشا آنها، آنطوری که در بعضی کشورها مرسوم است بایستی به طور منظم جمع‌آوری شوند؟ آیا لازم است یک تقسیم‌بندی جزئی‌تر از منابع آب بر اساس کلاس‌های مختلف کیفیت انجام شود؟ تشخیص این موارد مشکل به نظر می‌رسد، بدین خاطر که مفهوم کیفیت آب به استانداردهای مورد استفاده و معیارها و متغیرهای زیادی وابسته است و نمی‌توان برای آن یک تعریف جامع ارائه کرد. همچنین کلاس کیفیت آب می‌تواند در مسیر جریان آب تغییر پیدا کند.

منابع آب سطحی و زیرزمینی

در حالی که این دوگانگی در آمار و اطلاعات منابع آب امری معمولی می‌باشد، ولی به جای تفکیک دو منبع مستقل و تداخل پذیر با یکدیگر، دو روش دسترسی به آب و مدیریت منابع آب (که برای تهیه آمارهای تأمین

وکاربرد آب برای هر بخش از کاربران سودمند است) را توضیح میدهد. در حقیقت، منابع آب زیرزمینی و آب سطحی در سطح قاره و همچنین در سطح کشور به شدت به یکدیگر وابسته هستند (مارگات، ۱۹۹۸)

رویکردهای مورد استفاده برای برآورد جداگانه مقادیر منابع آب سطحی و زیرزمینی برای مقدارکل منابع آب یک کشور منسجم و منطقی نمی باشند. در داده های مربوط به رواناب سطحی یک حوضه آبریز (آب سطحی) و تغذیه آبخوان (منابع آب زیرزمینی) تبادل بین دو منبع، در هر دو جهت بین آبخوان و رودخانه، نادیده گرفته می‌شود. بدین لحاظ، به منظور پرهیز از دوباره حساب شدن آنها، مفهوم (همپوشانی) معرفی شده است (معادله ۱).

اگر چه این اصلاحات برای برآورد مقدار کل منابع آب یک کشور مفید می‌باشد، ولی در چنین شرایطی که دو منبع آب سطحی و زیرزمینی به هم افزوده می‌شوند، امکان برآورد جداگانه آن‌ها را فراهم نمی‌کنند. تمایزی از این دست برای منابع طبیعی ضرورتی ندارد. با این حال این موضوع هنگام ارزیابی منابع آب قابل برداشت که درآن نحوه دسترسی و استفاده منابع آب در ارتباط با تقاضا مورد توجه قرار می‌گیرد، اهمیت می‌یابد. بدین منظور به جای تقسیم منابع طبیعی به شیوه‌ای تقریبا سلیقه‌ای به منابع سطحی و زیرزمینی، به نظر می‌رسد که ساده‌تر و مفیدتر آنست که آنها را به صورت زیر تفکیک نماییم:

- منابع آب سطحی و زیرزمینی منظم و دائمی که امکان ایجاد سازه‌های ساده انحراف یا جمع‌آوری را دارند.
- منابع آب نامنظم (عمدتا آب‌های سطحی) که مهار آنها نیاز به سازه‌های تنظیم کننده دارد.

منابع آب قابل برداشت

بدون شک کاربرد مفهوم "منابع آب طبیعی"که صرفا بر پایه هیدرولوژیکی تعیین میشود، ضروری است، اما کافی نیست، زیرا که منابع آب در بردارنده مفاهیمی فیزیکی- اقتصادی هستند و در نتیجه منطقی‌تر آن است که منابع آب "قابل برداشت" یا "قابل مدیریت" بر پایه تابعی از سه معیار زیر کمی شوند:

۱. معیارهای فنی-اقتصادی : هزینه‌های مقرون به صرفه برای توسعه و برداشت آب؛
۲. معیارهای زیست‌محیطی : جداسازی آب مورد نیاز برای حفظ طبیعت؛
۳. معیارهای ژئوپلیتیکی : اشتراک آب بین کشورها

البته معیارهای فوق ممکن است به عنوان تابعی از فراوانی نسبی منابع طبیعی و یا میزان تقاضا تغییر کنند. به همین دلیل انجام یک ارزیابی خاص را تسهیل نمی‌کنند. با این حال برای دستیابی به یک توافق حداقلی میان کشورها در هر یک از مناطق بزرگ جهان، شفاف‌سازی بیشتر معیارهای به کار گرفته شده برای برای آورد منابع آب قابل برداشت بطوری که ایجاد آمار و اطلاعات واقعی منابع آب که قابل مقایسه بوده و بهتر به نیازها پاسخ دهند امکان پذیر باشد، مطلوب می‌باشند.

مفهوم منابع آب قابل برداشت به ویژه برای منابع آب تجدید ناپذیر مانند ذخایر آب زیرزمینی که استخراج آنها بدون تأثیر بر منابع تجدیدپذیر اطراف امکان پذیر است، کاربرد دارد. در آمار مقایسه‌ای این منابع باید معیارهای ارزیابی استفاده شده و مدت زمان برنامه‌ریزی شده برای برداشت ذکر گردد. باید توجه شود که ارزیابی ذخایر

آب‌های زیرزمینی قابل برداشت با تولید سالانه آب در یک تاریخ معین، که گاهی اوقات به منابع تجدیدپذیر افزوده می‌شوند (سردرگمی بین منابع و کاربرد آنها)، تداخل پیدا نکند.

آب سبز

علاوه بر آمار منابع آب متعارف (طبیعی و واقعی)، موسوم به "آب آبی"، بر آورد "آب سبز" به ویژه آن بخشی که تضمین‌کننده کشاورزی دیم است، میتواند ارزشمند باشد. اگرچه این دسته از منابع آب را می‌توان با "آب آبی" مقایسه کرد ولی نباید به آن افزوده شود. آب سبز را می‌توان کم و بیش معادل تبخیر–تعرق واقعی زمین‌های تحت کشت آبیاری نشده در نظر گرفت. (کادر شماره ۴).

کادر ۴- آب آبی و آب سبز

آب باران می‌تواند در سطح زمین، یا در زیر زمین جریان پیدا کند. این آب در نهایت می‌تواند به دریا برسد، یا به اتمسفر برگردد، تبخیر و تعرق شود یا توسط گیاه به مصرف برسد (دو مسیر جهانی چرخه آب). به طور کلی فقط بخش اول این چرخه، "منابع آب" محسوب می‌شود که طبیعت در اختیار انسان‌ها قرار می‌دهد. این بخش به ویژه مورد نظر هیدرولوژیست‌ها و دست اندرکاران توسعه منابع آب است که آنرا اندازه‌گیری و یا مورد ارزیابی قرار می‌دهند. آنها تبخیر را "تلفات"محسوب می‌کنند (هرچند تبخیر، فقط تلفات برای رواناب است). در این ارتباط کاربرد کلماتی نظیر باران مؤثر یا باران مفید دارای اهمیت می‌باشند. در هر حال از نقطه نظر اکولوژیکی، ارزیابی این چنین "منابع آبی" به عنوان منابع آب غیرمفید، چندان درست نیست، بدین دلیل که آن‌ها باعث حفظ رطوبت خاک شده و گیاهان طبیعی و یا کاشته شده دیم را تغذیه می‌کنند.

هیدرولوژیست‌ها و همچنین کارشناسان کشاورزی، دو نوع آب را متمایز از هم می‌شناسند: آب آبی و آب سبز. این دو نوع آب نمی‌توانند با هم جمع شوند اما مشترکا باعث ارتقای ظرفیت منابع آب یک کشور می‌گردند.

- آب آبی منبع تامین آب و معادل منابع آب طبیعی می باشد (رواناب آب سطحی و آب زیرزمینی).
- آب سبز عبارت از آب باران است که به طور مستقیم مورد استفاده گیاهان و درختان قرار می‌گیرد و در زمین‌های تحت کشت آبیاری نشده (دیم)، مراتع و جنگل‌ها، تبخیر و تعرق می‌شود.

به لحاظ نظری، آب سبز را می‌توان آن طور که گفته می‌شود (به میزان حداکثر) براساس حجم تبخیر و تعرق واقعی یا کسری رواناب هر حوضه آبریزارزیابی نمود. لیکن این نوع محاسبات کلی برای جریان های محلی که مانند آب آبی نمی‌توانند از تجمیع گروه های منابع آب واحدهای سطح حاصل شوند، بی معنی خواهد بود. مقایسه تفاوت بین آب سبز و نیاز محاسباتی محصولات، شاخص میانگینی برای نیازهای آبیاری است.

منابع آب ثانویه و غیرمتعارف

از این که منابع آب واقعی تجدیدپذیر، به عنوان منابع اولیه آب شناخته می‌شوند، این بدان معنی است که برای کار برد اولیه، در دسترس میباشند. منابع ثانویه، به آب برگشتی ازمنابع اولیه به سامانه اطلاق می‌شود که به این ترتیب برای برداشت مجدد در دسترس قرار می‌گیرند. در واقع این آب حاصل تعامل بین منابع و بکار گیری آب در همان ناحیه، بدون افزایش منابع طبیعی می‌باشد. اطلاعات وآمار منابع آب ثانویه می‌توانند برای مقایسه کامل منابع و کاربری آب مفید باشند. در کادر شماره ۵ مورد خاص مربوط به ارزیابی منابع قابل برداشت در

کشور مصر با در نظر داشتن منابع اولیه و منابع ثانویه نشان داده شده است. این منابع ثانویه را میتوان به عنوان نوعی منابع آب غیرمتعارف به حساب آورد.

کادر ۵- ارزیابی منابع آب قابل برداشت در کشور مصر

در این کادر میزان منابع آب موجود و کاربرد آن در کشور مصر در سال ۲۰۰۰ میلادی نشان داده شده است. منابع آب اولیه واقعی، اشاره به TRWR (۵۸,۳ کیلومتر مکعب آب در سال) دارد. اگرفقط همین مقدار برآورد شده با میزان واقعی برداشت آب از منبع (۶۸,۳ کیلومتر مکعب آب در سال)، مقایسه شود، نشانگر اضافه برداشت شدید از منبع خواهد بود. ولی وضعیت این‌گونه نیست، چرا که جریان آب برگشتی و نفوذ از اراضی کشاورزی (استفاده مجدد) عناصر مهمی در بیلان آب کشور می‌باشند.

منابع آبی	میلیون مترمکعب در سال	کاربری آب	میلیون مترمکعب در سال
منابع آب تجدید پذیر سطحی	۵۶۰۰۰	..... کشاورزی	۵۹۰۰۰
منابع آب تجدید پذیر زیرزمینی	۲۳۰۰	.....شهری	۵۳۰۰
استفاده مجدد از زه آب کشاورزی (آب برگشتی به رودخانه)	۴۸۴۰	صنعت	۴۰۰۰
استفاده مجدد از آب زیرزمینی (نشت از اراضی کشاورزی) ..	۶۱۲۷		
استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه شده	۲۹۷۱		
آب نمک زدایی شده .	۱۰۰		
استفاده از آب زیرزمینی فسیلی (آب تجدید ناپذیر)	۸۲۵		
جمع ...	۷۳۱۶۳	..... جمع .	۶۸۳۰۰
کشتیرانی+ نیروگاه برق آبی	۴۰۰۰		

با افزایش فشار به منابع آب شیرین طبیعی در بخش‌هایی از جهان، سایر منابع آب غیرمتعارف که جدا از منابع تجدیدپذیر طبیعی محسوب می‌شوند، اهمیت پیدا می‌کنند، این آب‌ها شامل:

۱. تولید آب شیرین با نمک زدایی آب‌های لب شور یا شور
۲. استفاده مجدد از فاضلاب شهری یا صنعتی (با یا بدون تصفیه) که باعث بالارفتن راندمان کلی استفاده از آب (که از منبع اولیه ناشی می‌شود) می‌گردد.

درهر دو حالت، داده‌های آماری باید تفاوت بین موارد زیر را روشن سازند:

۳. تولید بالقوه (ظرفیت) به عنوان تابعی از تجهیزات نصب شده در تاریخ معین (سال).
۴. تولید واقعی آب که ضروری است در آمار منابع آب و کاربری آب در زمان معین قرار داده شود.

نوع دیگری از آب غیرمتعارف که باید در نظر گرفته شود، انتقال آب بین حوضه‌ای می‌باشد. مانند پروژه انتقال آب اراضی مرتفع آفریقای جنوبی که آب را از طریق یک تونل از لسوتو به منطقه ژوهانسبورگ در آفریقای جنوبی انتقال می‌دهد و یا انتقال آب از ترکیه به اسرائیل که بوسیله تانکر و یا کیسه‌های مدوسا انجام می‌پذیرد.

توصیه‌های تکمیلی

انطباق "آمار منابع آب" با نیازهای اطلاعاتی باید به درستی هدف‌گذاری شود. همیشه می‌بایست این سوال مطرح شود که این آمارها برای چه کسی و برای چه نوع استفاده‌ای (محلی، ملی و بین‌المللی) در نظر گرفته شده‌اند.

به همین ترتیب، توصیه می‌شود تلاش‌ها برای بهبود آمار و اطلاعات مربوط به منابع آب به عنوان تابعی از نیازها، منطقه‌ای انجام شود، زیرا که این نیازها در سطح جهانی یکسان نمی‌باشند.

مراجع:

- FAO. 1995. Water resources of African countries: a review. Rome. 35 pp.
- FAO. 1997. Water resources in the Near East region: a review. Rome. 35 pp.
- FAO. 1998. Crop evapotranspiration – guidelines for computing crop water requirements. By R.G. Allan, L.S. Pereira, D. Raes & M. Smith. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56. Rome. 299 pp.
- FAO. 2001. Atlas of water resources and irrigation in Africa. FAO Land and Water Digital Media Series No. 13. Rome.
- FAO. 2003. Review of world water resources by country. Water Report No. 23. Rome. 110 pp.
- FAO/BRGM. 1996. Les resources en eau: Manuels & méthodes nº 28. Par: Jean Margat. Rome. 148 pp.
- Margat, Jean. 1998. Conséquences de l'interdépendance des eaux de surface et eaux souterraines sur l'évaluation des ressources en eau. UNESCO/PHI International conference: Water: a looming crisis? Paris, June 1998. 5 pp.
- Margat, Jean. 1999. Evaluation des ressources en eau exploitables. Aide-mémoire dérivé d'une note pour UN/DAES. Août 1999.
- Margat, Jean. 2000. Quelles données hydrologiques pertinentes pour évaluer les ressources en eau des pays méditerranéens? Séminaire international: hydrologie des régions méditerranéennes, Montpellier 11-13 octobre 2000. 7 pp.

KEY WATER RESOURCES STATISTICS IN AQUASTAT

FAO's Global Information System on Water and Agriculture

By
Jean Margat[1]
Karen Frenken[2]
Jean-Marc Faurès[2]

IWG-Env, International Work Session on Water Statistics, Vienna, June 20-22 2005

1- Advisor to the "Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM)" (France); Vice-president of "Blue Plan" - Regional Activity Centre for Environment and Development in the Mediterranean Region
2- Land and Water Development Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy