

توسعه بخش‌های مختلف اقتصادی کشور ما در دهه‌های اخیر، متکی بر منابع آب غیرتجدیدشونده بوده است. برداشت بی‌رویه از این منابع منجر به کسری مخازن آب زیرزمینی شده که مشکلات ناشی از این وضعیت، روند توسعه فعلی را با مخاطره جدی مواجه کرده است. در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای برای توسعه پایدار، کاهش مصرف فعلی آب تا رسیدن به تراز تعادل سطح آب زیرزمینی اجتناب‌ناپذیر است. همچنین تخصیص آب به بخش‌های مختلف بایستی براساس میزان آب تجدیدشونده سالانه صورت گیرد. بر این اساس در این نوشتار به ارائه مفاهیم پایه از قبیل تفاوت آب سبز و آبی، منابع آب تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر و همچنین مفاهیم برداشت و مصرف و آب بازگشتی در سیستم منابع آب پرداخته می‌شود.

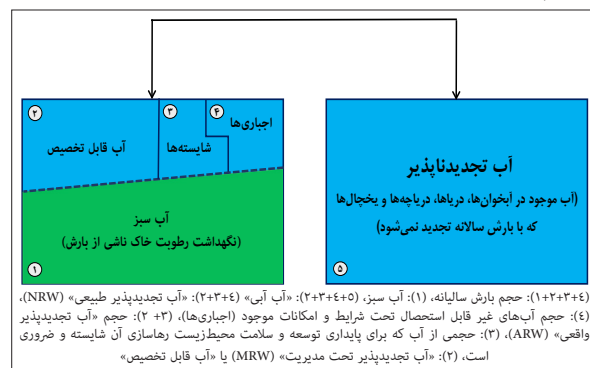
## • آب سبز و آب آبی

در چرخه هیدرولوژی، منابع آب به دو دسته آب آبی و آب سبز تقسیم‌بندی می‌شوند. کل آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی، آب آبی را تشکیل می‌دهند، که می‌تواند برای آبیاری و دیگر مصارف انسان برداشت شود. آب باران بعد از نفوذ در خاک و قبل از اینکه به منطقه اشباع برسد، آب سبز را تشکیل می‌دهد. براساس تعریف آب سبز، آب نگهداشته شده در بخش‌های غیر اشباع خاک است که توسط بارش تأمین می‌شود و قابل دسترس برای گیاه بوده و در نهایت توسط تبخیر و تعرق از دسترس خارج می‌شود.

آب سبز برای اولین بار توسط Falkenmark (۱۹۹۵) معرفی شد تا این که بتوان با تفکیک آن از آب آبی با تقسیم‌بندی مناسبی از منابع آب، راحت‌تر آن را مدیریت کرد. همچنین با استفاده از این مفهوم می‌توان به ارزیابی دقیق‌تری از

## • منابع آب تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر

منابع آب یک حوضه آبریز (آب آبی) به دو بخش آب تجدیدپذیر و آب غیرقابل تجدید تقسیم می‌شوند. در شکل (۱) تفکیک منابع آب یک حوضه بر اساس تجدیدپذیری آن مشاهده می‌شود.



شکل ۱- تفکیک منابع آب یک حوضه بر اساس تجدیدپذیری

## منابع آب تجدیدناپذیر

آب موجود در آبخوان‌ها از گذشته‌های دور (بیش از هزاران سال قبل تاکنون) ذخیره شده‌اند و سرعت تغذیه در آن‌ها (در مقیاس زمانی انسانی) ناچیز می‌باشد. به عبارتی تغذیه حاصل از بارش سالانه در مقایسه با حجم نسبتاً بالای آب ذخیره شده در لایه‌های زیرین زمین اندک می‌باشد. به طور تقریبی هر ۲۵ تا ۵۰ سانتی‌متر افت آب زیرزمینی معادل یک سال تغذیه آب زیرزمینی از طریق نفوذ است. اگر برداشت سالانه از منابع آب تجدیدشونده زیرزمینی صورت گیرد، سطح آب زیرزمینی ثابت باقی می‌ماند، ولی اگر برداشت سالانه بیشتر از میزان تجدیدشوندگی آن باشد، افت سطح آب زیرزمینی رخ می‌دهد. ولی با وقوع افت مستمر سطح آب زیرزمینی برگشت به حالت قبل برای تغذیه آبخوان تقریباً غیرممکن است. زیرا افت مستمر سطح آب زیرزمینی موجب افزایش تراکم آبرفت در اثر تحکیم و کاهش ضریب ذخیره آب در آبخوان شده و فرونشست

نقش آب در تولید محصولات کشاورزی در مناطق نیمه‌خشک پرداخت. در ایران در مقایسه با آب آبی، آب سبز منبع بزرگتری از نظر حجم ذخایر آب شیرین را داراست، چراکه بیش از ۶۵٪ از نزولات جوی به آب سبز و باقی به آب آبی تبدیل می‌شود. عمده راه بهره‌برداری از آب سبز، استفاده از آن در تولید محصولات دیم می‌باشد. این در حالی است که بهره‌برداری از آب آبی به دلیل قابلیت انتقال و توزیع، مدیریت آن را ساده‌تر کرده و گزینه‌های بهره‌برداری از آن را (کشاورزی، صنعتی و خانگی) افزایش داده است. به عبارتی در کشاورزی دیم، تنها آب سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد، به همین دلیل در کشور نیمه خشک ایران به دلیل توزیع نامطلوب زمانی و مکانی بارش، عملکرد محصولات دیم بسیار پایین‌تر از متوسط جهانی است. اما در کشاورزی آبی، تنها بخشی از نیازهای آبی محصولات از آب سبز (از بارش) تأمین شده و عمده آن از آب آبی برداشت می‌شود (با آبیاری).

ناهمگن سطح زمین را به دنبال خواهد داشت که خود خسارتی غیر قابل برگشت است. در واقع این منابع تجدیدناپذیر می‌توانند در شرایط خشک‌سالی‌های شدید و طولانی‌مدت نقشی استراتژیک ایفا کرده و آب مورد نیاز برای برداشت را (در شرایط بحرانی) تأمین کنند. به خصوص در مناطقی که تأمین آب، صرفاً وابسته به بارش و رواناب سطحی است، در نبود بارش، با وجود این ذخایر استراتژیک آب زیرزمینی، دسترسی قابل اطمینانی به آب زیرزمینی وجود خواهد داشت.

## آب تجدیدپذیر

آب تجدیدپذیر (RW)؛ مقدار آبی است که حوضه، طی چرخه آبی سالیانه توانایی بازسازی آن را دارد. در تعیین مقدار آب تجدیدپذیر بایستی هدف و فشارهای وارد شده در نظر گرفته شود. جدول (۱) مفاهیم مختلف منابع آب تجدیدپذیر را به استناد فائو ارائه نموده است. هر یک از این انواع در ادامه شرح داده شده است:

### - آب تجدیدپذیر طبیعی (NRW)؛

در واقع همان آب آبی (آب زیرزمینی و سطحی)، چه داخل حوضه باشند و یا از خارج به حوضه بیایند) است که به کمک سیکل هیدرولوژی به دست می‌آید. شامل منابع آب تجدیدپذیر طبیعی داخلی که در برآورد آن هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین دست وجود ندارد و منابع آب تجدیدپذیر طبیعی خارجی که ذخایر آبی مازاد یک حوضه بالادست را نیز شامل می‌شود. پس برای مقیاس حوضه‌ای «ورودی از حوضه‌های مجاور» در محاسبات آب تجدیدپذیر طبیعی منظور می‌شود. آب تجدیدپذیر طبیعی، با توجه به تغییر مقدار بارش‌ها از سالی به سال دیگر در نوسان است. اما تمام این مقدار برای استفاده در دسترس نیست.

### - آب تجدیدپذیر واقعی (ARW)؛

به بخشی از منابع آب تجدیدپذیر طبیعی گویند که تحت فشارهای اقتصادی و سیاسی و محدودیت‌های دانش و تکنولوژی تعیین می‌گردد. زیرا بخشی از این منابع به لحاظ سیاسی (فشارهای قومی و منطقه‌ای) و/یا اقتصادی (هزینه احداث و بهره‌برداری سازه‌های تنظیم و کنترل: سد، بند خاکی، خط انتقال آب و ...) محدود شده و مورد بهره‌برداری قرار نمی‌گیرد. برای مقیاس حوضه‌ای تفاوت

«ورودی از حوضه‌های مجاور» و «خروجی به حوضه‌های مجاور» در محاسبات آب تجدیدپذیر واقعی منظور می‌شود. در واقع در برآورد آب تجدیدپذیر طبیعی هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین دست وجود ندارد. آب تجدیدپذیر واقعی، علاوه بر نوسانات آب تجدیدپذیر طبیعی تابع تغییرات الگوهای مصرف از سالی به سال دیگر نیز است.

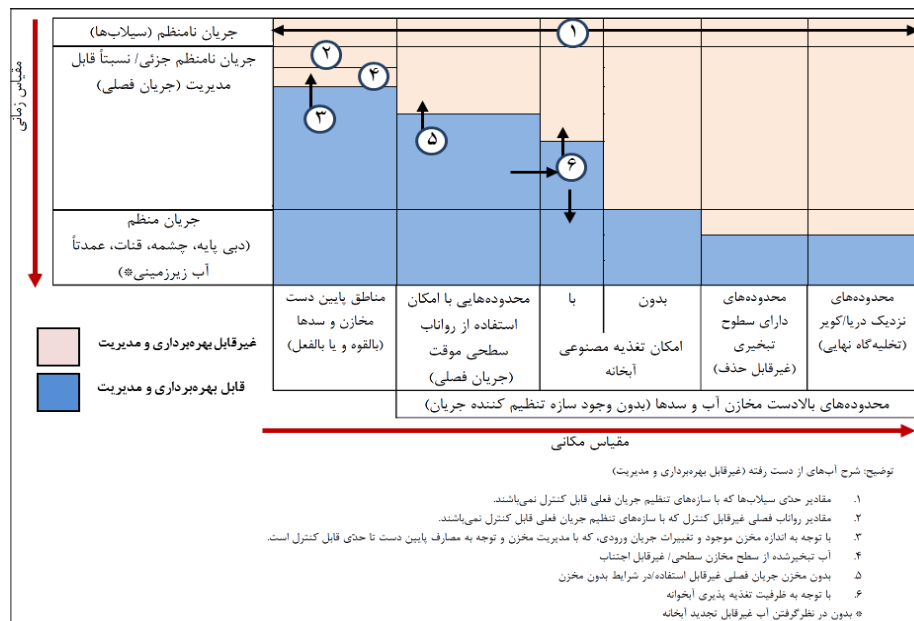
### - آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری (MRW):<sup>۶</sup>

به نوبه خود قسمتی از منابع آب تجدیدپذیر واقعی می‌باشد؛ که علاوه بر فشارهای اقتصادی و سیاسی، فشارهای اجتماعی و محدودیت‌های محیط زیستی را نیز در نظر می‌گیرد. در واقع در تعریف این نوع آب تجدیدپذیر، پایداری سیستم‌های اجتماعی و بوم زیستی نیز لحاظ می‌گردد. این کار با

رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین دست (در نظر گرفتن حبابه) انجام خواهد شد. به عبارتی چنانچه سهم خاصی به عنوان رهاسازی برای پایین دست باید تأمین و تحویل گردد (که در وضعیت موجود برآورده نمی‌شود)، لازم است در محاسبات مقدار آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری لحاظ گردد. طبق تعریف عوامل محدودکننده آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری عبارتند از: امکان اقتصادی و فیزیکی ذخیره سیلاب پشت سدها یا استخراج آب زیرزمینی (تجدیدپذیر)، امکان جذب آب جاری (از طریق مصرف و یا تغذیه) در حوضه قبل از خروج از آن (شکل ۲) و رهاسازی حداقل جریان لازم برای پایین دست (حبابه ساکنین و نیازهای زیست محیطی پایین دست) و حفظ پایداری کیفی منابع آب با تخلیه و خارج نمودن آب شور و آلوده از حوضه.

جدول ۱- مفاهیم مختلف منابع آب براساس ضوابط (برگرفته از FAO/BRGM، ۱۹۹۶)

منابع آب قابل مدیریت و بهره‌برداری	آب تجدیدپذیر واقعی	آب تجدیدپذیر طبیعی (پتانسیل/تئوری)	فشارها
سیاسی-اقتصادی-دانش و تکنولوژی-اجتماعی-محیط زیستی	سیاسی-اقتصادی-دانش و تکنولوژی	-	
منابع داخلی قابل بهره‌برداری (با رهاسازی حداقل جریان لازم به عنوان حبابه پایین دست)	منابع واقعی داخلی (بدون هیچ قیدی برای حفاظت از منابع آب به نفع مصارف پایین دست)	منابع طبیعی داخلی (IRWR): رواناب و نفوذ داخل حوضه	منابع داخلی
منابع خارجی قابل بهره‌برداری (به شرط تحویل حبابه حوضه توسط بالادست)	منابع واقعی خارجی (ذخایر آبی مازاد یک حوضه بالادست)	منابع طبیعی خارجی (ERWR): آب ورودی به داخل حوضه	منابع خارجی
کل منابع آب قابل مدیریت و بهره‌برداری	کل آب تجدیدپذیر واقعی (ARWR)	کل آب تجدیدپذیر طبیعی	منابع آب کل



منابع آب طبیعی و منابع آب قابل بهره‌برداری از نظر تکنیک (FAO/BRGM, 1996)

### محاسبه آب تجدیدپذیر

آب تجدیدپذیر، پس از برقراری بیلان آبی زیرحوضه‌ها، با توجه به روابط ذیل محاسبه می‌شود:

$$NRW = P - ET + (R_i + G_i)$$

$$ARW = NRW - (\text{محدودیت ناشی از دانش و تکنولوژی} + \text{حبابه پایین دست ناشی از فشارهای سیاسی و اقتصادی})$$

$$MRW = ARW - (\text{حبابه‌های ناشی از فشارهای اجتماعی و زیست محیطی که در شرایط موجود برآورده نمی‌شود})$$

در روابط فوق، P میزان بارش، ET میزان تبخیر ناشی از آب باران (آب سبز که در خاک ذخیره شده و تبخیر-تعرق می‌شود) + آب تبخیرشده از سطوح آزاد آب) است. همچنین R<sub>i</sub> و G<sub>i</sub> به ترتیب، میزان رواناب ورودی (یا آب انتقالی) و جریان زیرزمینی ورودی می‌باشند. پس عبارت (R<sub>i</sub>+G<sub>i</sub>)، آب‌های تنظیم نشده‌ای است که به حوضه وارد می‌شوند. بین تعاریف مختلف آب تجدیدپذیر در تئوری، رابطه  $MRW \leq ARW \leq NRW$  برقرار است.

## آب قابل تخصیص<sup>۵</sup> و آب تخصیص داده شده

مطابق تعریف بالا، آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری همان میزان آب تجدیدپذیری است که باید بر اساس آن برنامه ریزی و تخصیص منابع آب صورت گیرد (آب قابل تخصیص). در یک تعریف ظرفیت باقیمانده برای آب قابل تخصیص در هر حوضه و در هر زمان از اختلاف آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری و میزان آب تخصیص داده شده بدست می‌آید.

آب تخصیص داده شده - MRW = ظرفیت باقیمانده برای آب قابل تخصیص  
اگر ظرفیت باقیمانده برای آب قابل تخصیص مثبت باشد، یعنی هنوز بخشی از ظرفیت آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری، مورد تخصیص قرار نگرفته

### چرخه آب در یک سیستم منابع آب

یک حوضه آبریز یک سیستم منابع آب است که در آن چرخه آب به صورت طبیعی و مصنوعی در جریان است. بخش اصلی تأمین منابع آب در یک حوضه آبریز از بارش است. معمولاً بخش وسیعی از نزولات جوی به صورت نگهداشت رطوبت در لایه سطحی خاک در بیابان‌ها، جنگل‌ها، مراتع، دیم‌زارها و حتی اراضی فاریاب ذخیره شده که بخش عمده آن به وسیله تبخیر و تعرق از دسترس خارج و بخش بسیار کمی هم به صورت آب نهان در گیاهان و محصولات زراعی ذخیره می‌شود (آب سبز). فقط درصدی از بارش تبدیل به رواناب سطحی شده و یا موجب تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود (آب آبی). آب آبی ناشی از بارش سالانه را منابع آب تجدیدپذیر گویند. منابع آب تجدیدناپذیر یک حوضه نیز بخشی از آب آبی محسوب می‌شوند که باید در شرایط خشکسالی‌های طولانی و شدید مورد استفاده قرار گیرد. البته منابع آب انتقالی به یک حوضه نیز جزء منابع آب آبی به شمار می‌روند. بخشی از آب برداشت شده از منابع آب برای استفاده در فعالیت‌های بشر به منابع آب برمی‌گردد و بخشی از آن هم برای دفع آلودگی‌ها و کنترل بیلان نمک از حوضه تخلیه می‌شود. بخش باقیمانده نیز یا به وسیله تبخیر تعرق از دسترس خارج شده و یا به صورت آب نهان در محصولات و کالاهای تولیدی مصادره می‌شود (شکل ۳). به دلیل اهمیت مفاهیم برداشت، مصرف و آب برگشتی در سیستم منابع آب در ذیل به آن‌ها پرداخته شده است.

باید به این نکته توجه شود که بین برداشت و مصارف در یک حوضه آبریز تفاوت وجود دارد. بین برداشت و مصارف در یک حوضه آبریز رابطه زیر وجود دارد:

$$C = W - Re$$

و پتانسیل برای توسعه بیشتر وجود دارد. اما اگر در حوضه‌ای باقیمانده قابل تخصیص منفی باشد، یعنی بیشتر از منابع آب تجدیدپذیر قابل مدیریت و بهره‌برداری، تخصیص صورت گرفته است. در چنین حوضه‌ای، منابع آب غیر تجدیدشونده در حال مصرف بوده و تعارضات و تنش‌های اجتماعی بین بالادست و پایین دست و مشکلات زیست محیطی مشاهده خواهد شد. متأسفانه در کشور ما در اکثر حوضه‌ها ظرفیت باقیمانده برای آب قابل تخصیص، منفی بوده و برای تأمین تقاضای روزافزون آب در مناطق شرقی و مرکزی ایران، مطالعه طرح‌های انتقال آب از آب‌های آزاد و یا سایر کشورها در حال انجام است.

**برداشت (W):** در یک سیستم منابع آب هرگونه جابجایی آب از محل وقوع طبیعی آن (منابع آب سطحی و زیرزمینی) برای استفاده در فعالیت‌های بشر را برداشت گویند.

**مصرف (C):** آب تبخیر شده (تبخیر-تعرق) و یا مصادره شده در کالاهای تولیدی (آب نهان) و آبی که طی فرآیند تولید، آلوده شده است (و باید برای حفظ پایداری سیستم منابع آب، از حوضه خارج شود)، که می‌توان گفت از «چرخه هیدرولوژی حوضه آبریز مورد نظر» خارج شده، مصرف نامیده می‌شود. آنچه در چرخه منابع آب یک حوضه (محدوده) اثر مهمی دارد، مصارف (C) است و نه برداشت‌ها (W)! زیرا بخشی از آب برداشتی با توجه به نوع بهره‌برداری، به منابع آب برگشته و قابل تخصیص مجدد است. حال توجه به این نکته ضروری است که بالابردن راندمان آب در بخش کشاورزی سبب کاهش جریان آب بازگشتی شده و اگر افزایش راندمان در کنار کاهش برداشت از منابع نباشد منجر به افزایش مصرف می‌شود و مضر به حال بیلان منابع آب است.

**آب برگشتی (Re):** به آن بخش از آب برداشتی که مصرف نشده و دوباره به مخازن آب‌های سطحی و یا زیرزمینی بازمی‌گردد، آب برگشتی گویند. به عبارتی تمام آب برداشتی در یک فعالیت (شهری، صنعتی و یا کشاورزی و...) در فرآیند تولید مورد استفاده قرار نمی‌گیرد. در محاسبات مربوط به آب تجدیدپذیر در نظر گرفتن آب برگشتی (شرب، کشاورزی و صنعت) نقش مهمی را ایفا می‌کند. در ایران به طور متوسط حدود ۷۵٪ برداشت‌ها در مصارف شهری و ۲۰٪ در کشاورزی آب برگشتی در نظر گرفته می‌شود. نکته قابل توجه دیگر این است که تمام آب برگشتی قابل استفاده مجدد نیست؛ چرا که بخشی از آن بدیل آلودگی ایجاد شده در فرآیند تولید از حیز انتفاع خارج شده و بایستی از حوضه خارج شود.

### پی‌نوشت

- 1- Renewable Water
- 2- Natural water renewable
- 3- Actual water resources
- 4- Exploitable or manageable water resources
- 5- Allocable water
- 6- Withdrawal
- 7- Consumption Water
- 8- Return

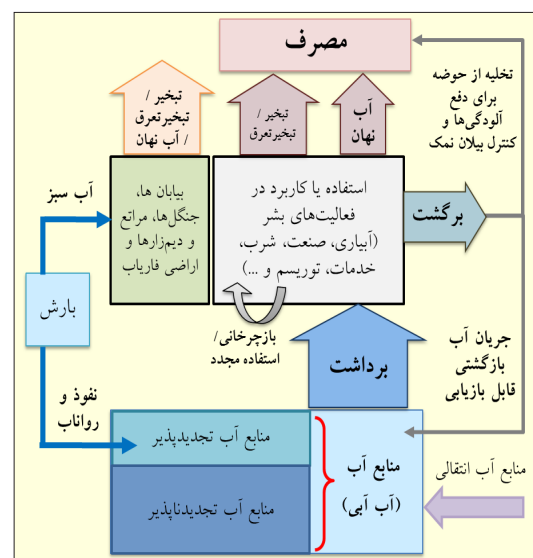
### منابع

Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2003. Review of world water resources by country.

با اقتباس از مفاهیم مختلف منابع آب ارائه شده توسط:

FAO/BRGM., 1996 (<http://www.fao.org/>)

پایگاه خبری تحلیلی آب ایران (<http://www.waternews.ir/>)



شکل ۳- مفاهیم برداشت، مصرف و آب برگشتی در سیستم منابع آب

توضیح: در تدوین این متن از نقطه‌نظرات و دیدگاه‌های جناب آقای دکتر کامران داوری بهره گرفته شده است.