دانشگاه شهید چمران اهواز

دانشکده کشاورزی

گروه علوم و مهندسی خاک

هیدرولوژی

تهیه و تنظیم
حیدر غفاری

معرفی هیدرولوژی، گردش آب در طبیعت

تعریف هیدرولوژی

هیدرولوژی یا آب‌شناسی، که اصل کلمه آن ریشه یونانی دارد، به معنی وسیع کلمه علم مطالعه آب است که در مورد پیدایش، ویژگی‌های و نحوه توزیع آب، در طبیعت بحث می‌کند. واژه هیدرولوژی از نظر عملی به مطالعه نحوه پیدایش آب‌های موجود در کره زمین و گردش آن در طبیعت و تحولات آن در سطح زمین و بین لایه‌های خاک و در سه حالت مایع، جامد، بخار اتلاق می‌شود. در این علم خواص فیزیکی و شیمیایی و واکنش‌های آب با محیط و رابطه متقابل آن نسبت موجودات زنده نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. این علم با شاخه‌های دیگر علوم نظیر هواشناسی، اقلیم‌شناسی، اقیانوس‌شناسی، زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، آمار و احتمالات، مکانیک سیلات و هیدرولیک ارتباط دارد. اصولا هیدرولوژی علمی است که پایه‌های آن براساس تجربه بنا شده، لذا جنبه‌های عملی آن بیش از جنبه‌های نظری آن توسعه یافته است. بدلیل گستردگی موضوع مسائل هیدرولوژی، این علم به شاخه‌های متعددی تقسیم‌بندی شده است که عبارتند از:

هیدرومتئورولوژی یا آب و هواشناسی (Hydrometeorology)، **لیمنولوژی یا دریاچه‌شناسی (Limnology)**، **کرایولوژی یا یخ‌شناسی (Cryology)**، **یخچال‌شناسی (Glaciology)**، **ژئوهیدرولوژی یا هیدرولوژی آب‌های زیرزمینی (Geohydrology)**، **پوتامولوژی یا رودخانه‌شناسی (Potamology)**، **هیدروگرافی (Hydrography)**: علم مطالعه وضعیت و خصوصیات فیزیکی آب بخصوص در رابطه با مسائل کشتیرانی، **هیدرومتری یا آب‌سنجی (Hydrometry)**: علم اندازه‌گیری آب، **اقیانوس‌سنجی (Oceanography)**، **اقیانوس‌شناسی (Oceanology)**.

این علوم هر کدام به نحوی جنبه‌های مختلف آب را در طبیعت مورد بررسی قرار می‌دهند، اما به آنها هیدرولوژی گفته نمی‌شود. در واقع هیدرولوژی یک علم بین رشته‌ای است که از هواشناسی شروع شده و با عبور از جنگل، زراعت، مرتعداری، خاکشناسی، زمین‌شناسی و هیدرولیک سرانجام به اقیانوس‌شناسی ختم می‌گردد. هیدرولوژی یک علم محض (Pure Science) نبوده و جنبه‌های تجربی آن بمراتب مهم‌تر از جنبه‌های نظری آن است. به آن قسمت از علم هیدرولوژی که بر **مسائل عملی** تأکید دارد، هیدرولوژی کاربردی (Applied Hydrology) گفته می‌شود. چون کاربرد علم هیدرولوژی بیشتر در زمینه‌های هیدرولیک، کشاورزی، مهندسی، سدسازی و دیگر رشته‌های فنی مهندسی است. لذا به آن به جای هیدرولوژی کاربردی، هیدرولوژی مهندسی (Engineering Hydrology) نیز گفته می‌شود. گاهی اوقات مطالعات هیدرولوژی تأکید بر **مسائل علمی** دارد که به آن هیدرولوژی علمی (Scientific Hydrology) یا هیدرولوژی محاسباتی (Computational Hydrology) اطلاق می‌گردد. بنابراین می‌توان گفت که هیدرولوژی به دو شاخه عمده **هیدرولوژی علمی و هیدرولوژی عملی** تقسیم‌بندی می‌شود، که در مورد اول فقط به جنبه‌های آکادمیک هیدرولوژی پرداخته می‌شود. ولی در هیدرولوژی عملی به مسائلی مانند: تخمین منابع آب، مطالعه فرایندهای بارندگی، تبخیر، رواناب و روابط آن‌ها با یکدیگر، مطالعه خصوصیات آب در طبیعت و مسائل زیست محیطی مانند خشکسالی یا سیل پرداخته می‌شود.

چرخه آب یا سیکل هیدرولوژی (Hydrological Cycle)

چرخه آب یا سیکل هیدرولوژی که همان گردش آب در طبیعت است مفهومی است مربوط به مسیر حرکت آب در کره زمین. سیکل هیدرولوژی، یک چرخش ساده نیست بلکه مجموعه‌ای از حرکات و حلقه‌های مختلف است که در ۳ بخش از کره زمین یعنی اتمسفر (هواسپهر یا جو یا پوشش گازی شکل اطراف زمین)، هیدروسفر (آب‌سپهر یا توده آب موجود در سطح زمین) و لیتوسفر(سنگ‌سپهر یا پوشش سخت رو به زمین) صورت می‌گیرد. چرخش آب در داخل و بین این بخش‌ها و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۶ کیلومتر صورت می‌گیرد که ۱۵ کیلومتر آن در اتمسفر و تنها یک کیلومتر آن در داخل لیتوسفر قرار دارد.

سیکل هیدرولوژی چرخه‌ای است بدون ابتدا و انتها. بدین ترتیب که آب از سطح دریاها و خشکی تبخیر شده و وارد اتمسفر می‌گردد و سپس دوباره بخار آب موجود در جوّ طی فرایندهای گوناگون به صورت نزولات جوّی به سطح زمین یا روی دریاها فرو می‌ریزد. نزولات جوی ممکن است با ۳ حالت روبرو شوند: یا قبل از رسیدن به سطح زمین توسط شاخ و برگ گیاهان گرفته شوند **(برگاب)**، که بعداً مستقیماً از همان‌جا تبخیر و به هوا باز می‌گردند، یا در سطح زمین جاری می‌شوند **(رواناب)** و یا در خاک نفوذ می‌کنند. آب نفوذی نیز یا بطور موقت در خاک ذخیره می‌شود که سپس در اثر تبخیر به هوا بر می‌گردد و یا منابع آب زیرزمینی را تشکیل می‌دهد که سرانجام از طریق چشمه‌ها و یا تراوش به داخل رودخانه‌ها مجدداً در سطح زمین ظاهر می‌گردد. در تمام این موارد آب با تبخیر و بازگشت مجدد به اتمسفر، چرخه هیدرولوژی را تکمیل می‌کند. مراحلی را که در این چرخه اتفاق می افتد به صورت خلاصه زیر می‌توان نشان داد:

بخار و تشکیل ابر و سپس تراکم و تقطیر (Condensation)، تشکیل بارش و نزولات جوی (Precipitation)، گیرش یا برگاب (Interception) ، نفوذ (Infiltration) ، ذخیره گودالی یا بازداشت سطحی (Depression storage) ، روناب سطحی (Surface runoff) ، رطوبت خاک (Soil moisture) ، جریان بین لایه‌ای (Inter flow) ، نفوذ عمقی (Deep percolation)، سفره‌های آب زیرزمینی (Ground water) ، تبخیر (Evaporation) ، تعرق (Transpiration)

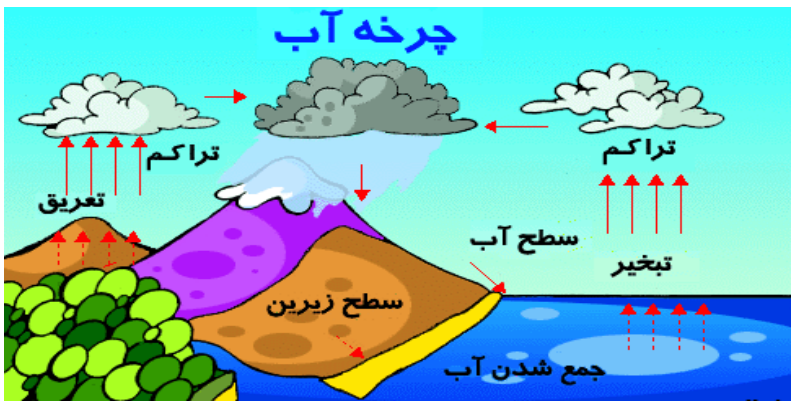
برگاب: مقداری از بارش که توسط پوشش گیاهی حوضه ذخیره شده و سپس تبخیر می‌شود و هیچ‌گاه به سطح زمین نمی‌رسد. در واقع برگاب بخشی از بارندگی است که در مجاورت سطح زمین به وسیله پوشش گیاهی ذخیره شده یا جمع می‌شود و هیچ‌گاه به زمین نمی‌رسد و بالاخره در نتیجه تابش اشعه خورشید، به صورت تبخیر در می‌آید. **عوامل مؤثر در مقدار برگاب:** نوع گیاه، سن گیاه، تراکم گیاه، فصل رویش، نحوه بارش و شدت آن، سرعت وزش باد، بزرگ یا کوچک بودن برگ گیاه

چالاب: منظور از چالاب، بخشی از باران است که چاله‌های کوچک و بزرگ، قسمت‌های گود سطح زمین حوضه آبریز و یا مسیر نهرها و رودخانه‌ها، گودال‌های کوچک و شیارهای موجود در اراضی کشاورزی حوضه آبریز را فرا می‌گیرد و بعضاً تبخیر یا به داخل زمین نفوذ کرده و هرگز به رواناب تبدیل نمی‌شود. در واقع این حجم آب حاصل از بارش، در سطح جریان پیدا نمی‌کند. در آغاز بارندگی، ابتدا برگاب ذخیره حاصل می‌شود و اگر مازاد بارندگی وجود داشته باشد، چالاب‌ها را پر می‌کند و سپس شروع به نفوذ نماید. حال اگر شدت بارش از شدت نفوذ بیشتر باشد، پس از پر کردن چالاب‌ها، آب در سطح خاک جریان می‌یابد. در حین بارش تبخیر نیز حاصل می‌شود که تداوم بارش جبران می‌گردد. **عوامل مؤثر بر چالاب دو نکته هستند:** طبیعت حوضه آبریز، وسعت و شیب حوضه آبریز

البته با افزایش وسعت حوضه میزان چالاب نیز بیشتر می‌شود و همچنین با کاهش شیب حوضه، چالاب افزایش و سرعت جریان رواناب کاهش می‌یابد.

بطور کلی از مجموع ۸۶۵ میلیمتر بارندگی که بطور متوسط در هر سال روی خشکی‌های کره زمین ریزش می‌کند، ۵۵۸ میلیمتر از آن (۶۵ درصد) بصورت تبخیر و تعرق مجدداً به اتمسفر برگشت می‌کند. از مقدار بقیه ۱۹۵ میلیمتر (۲۲ درصد بارندگی‌ها) بصورت رواناب مستقیم وارد رودخانه‌ها می‌گردد و ۱۱۲ میلیمتر (۱۳ درصد بارندگی‌ها) در خاک نفوذ می‌کند که آب‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. آب‌های زیرزمینی نیز سرانجام از طریق چشمه‌ها و جریان‌های زیرزمینی وارد رودخانه‌ها می‌شوند. بنابراین جریان رودخانه‌ها در کره زمین جمعاً معادل ۳۰۷ میلیمتر است (۱۹۵+۱۱۲). جریان رودخانه‌ای سرانجام وارد دریاها، دریاچه‌ها و یا کویرها می‌گردند که با تبخیر و وارد شدن به اتمسفر سیکل هیدرولوژی تکمیل می‌گردد. بطوریکه مشاهده می‌شود جمع رواناب رودخانه‌ای (۳۰۷ میلیمتر) و تبخیر و تعرق (۵۵۸ میلیمتر) معادل همان مقدار بارندگی است. (۸۶۵=۳۰۷+۵۵۸)

تلفات هیدرولوژی(Hydrological Obstruction): مقدار آبی که هیچ‌گاه به رواناب تبدیل نمی‌شود. در واقع مقداری از آب باران توسط پوشش‌های گیاهی منطقه جذب می‌شود و همچنین چاله‌های کوچک سطح زمین مقداری آب را در خود نگه می‌دارند که در نهایت تبخیر می‌شوند و به آن تلفات هیدرولوژیکی گویند. **نفوذ** را می‌توان بعنوان تلفات هیدرولوژیکی بیان کرد، چون بصورت رواناب ظاهر نمی‌شود. چرخه آب و اجزای تشکیل‌دهنده آن در طبیعت در شکل زیر قابل مشاهده است.



بیلان یا موازنه آبی در چرخه هیدرولوژیکی

مقدار آب موجود در کره زمین همیشه ثابت است و آب یک سیستم بسته هیدرولوژیکی را در طول زمان طی می‌کند. اما در کارهای معمولی هیدرولوژی، سیکل جهانی آب مورد نظر نبوده و سروکار ما بیشتر با سامانه‌های کوچک (مانند حوضه‌های آبریز) است که فقط در قسمتی از چرخه هیدرولوژی قرار دارند. چنین سامانه‌هایی به صورت باز عمل می‌کنند، که بین مقدار آب ورودی به آن‌ها (I) و خروجی از آن‌ها (O) رابطه ساده زیر برقرار است:

$$I - O = \Delta S \qquad (۱)$$

اگر بخواهیم بدانیم این تغییرات در چه بازه زمانی اتفاق می‌افتد، معادله ۲ بدست می‌آید:

$$I(t) - O(t) = \Delta S(t) \qquad (۲)$$

I (t): سرعت جریان ورودی به سیستم، O (t): سرعت جریان خروجی از سیستم، ΔS (t): میزان تغییرات آب در سیستم

فرم ریاضی یا دیفرانسیلی معادله ۲ به صورت زیر است:

$$dI/dt - dO/dt = dS/dt \qquad (۳)$$

dI/dt: تغییرات زمانی دبی ورودی، dO/dt: تغییرات زمانی دبی خروجی، dS/dt: تغییرات زمانی ذخیره آب در سیستم

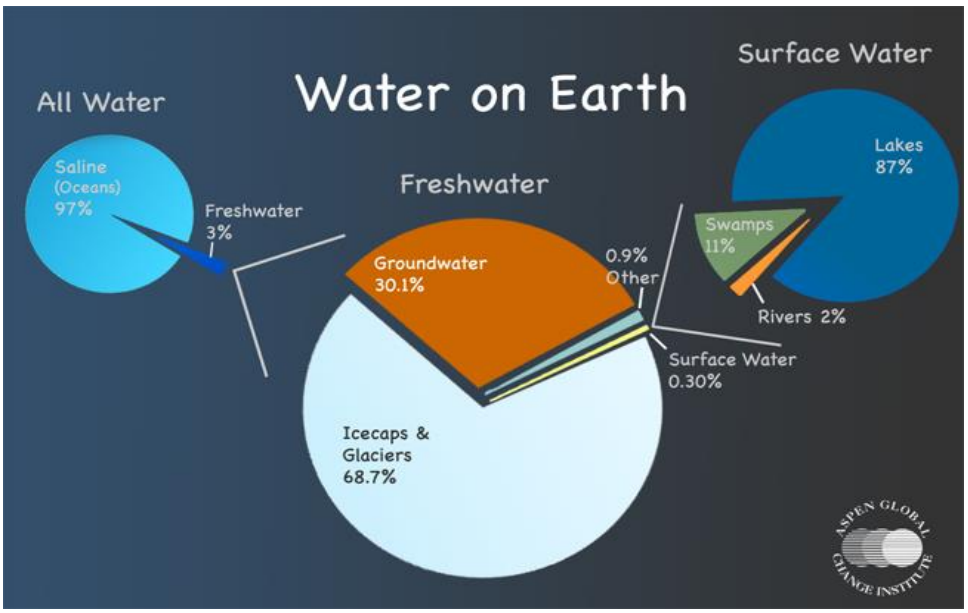
معادله ۳ به **معادله اساسی هیدرولوژیک** معروف است، که ساده‌ترین و مهم‌ترین معادله در هیدرولوژی است و در محاسبات بیلان آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نوع سیستم حوضه آبریز، هر یک از اجزای معادله فوق ممکن است دارای چندین بخش باشد. مثلا:

$$P - R - G - ET = \Delta S \qquad (۴)$$

P = بارش، R = رواناب، G = جریان آب زیرزمینی، ET = تبخیر و تعرق، ΔS = تغییرات ذخیره

منابع آب در جهان:

می توان ادعا کرد که تنها ۳٪ از آبهای دنیا آب شیرین است. از این مقدار آب شیرین در حدود ۷۰٪ به صورت توده های یخ و برف وجود دارند که در دسترس نمی باشند. پس به طور کلی می توان گفت تقریبا ۱٪ از آب های دنیا شیرین و در دسترس می باشد. این محدودیت باعث اهمیت آب شده است. از این مهم تر که باعث پیچیدگی موضوع آب شده است توزیع نامناسب مکانی و زمانی آب شیرین است. در کشور ایران سالانه در حدود ٤۰۰ میلیارد متر مکعب نزولات جوی داریم. که از این میزان در حدود ۱۳۰ میلیارد متر مکعب آن آب تجدیدپذیر است.



منابع آب در ایران:

۸۵ درصد طبیعت ایران دارای اقلیمی خشک و فراخشک بوده و بیش از ۷۰ درصد مناطق ایران بارش سالانه ای کمتر از ۲۰۰ میلی متر دارند. این یعنی ایران با یک هیدرولوژی سخت ناشی از توزیع نامتناسب زمانی و مکانی بارندگی روبرو است. شکلهای زیر وضعیت پراکندگی بارش در سطح کشور را نشان می دهد،

در یک دهه گذشته میزان منابع آب تجدیدپذیر کشور به ۱۱۰ میلیارد مترمکعب وحتی اخیراً در ۵ سال گذشته به ۱۰۰ میلیارد متر مکعب کاهش پیدا کرده است طبق آمار رسمی تا انتهای دهه ۸۰، طبیعت ایران هر ساله به طور متوسط میزان آبی معادل ۱۳۰ میلیارد مترمکعب را در اختیار جامعه ایرانی قرار می داده است. ۱۱۸ میلیارد مترمکعب از این میزان منابع تجدیدپذیر ناشی از ریزش های جوی بوده، که تنها ۳۰ درصد حجم ریزش ها بوده و ۷۱ درصد از حجم ناشی از ریزش های جوی به صورت تبخیر و تعریق از دسترس خارج می شود، و حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب از طریق جریان های سطحی وارد کشور می شود و یا به صورت رودخانه های مشترک مرزی جریان پیدا می نماید. برداشت بی رویه از منابع آب زیرزمینی تجدید پذیر در دهه های اخیر به صورت بی رویه و غیرپایداری افزایش پیدا کرده است. میزان چاه ها از ۴۷ هزار حلقه چاه در سال ۱۳۵۰ به حدود ۷۶۳ هزار حلقه چاه تا سال ۱۳۹۰ افزایش پیدا کرده است که این روند همچنان ادامه دارد. شکل زیر وضعیت افزایش حفر چاه در دهه های اخیر را نشان می دهد. در سال‌های اخیر علیرغم افزایش تعداد چاه‌ها، میزان تخلیه افزایش نیافته است.

چنانچه ملاحظه می شود ابتدا با حفر چاههای بیشتر میزان برداشت از منابع آب زیرزمینی بیشتر شده است. اما نمودار نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر علیرغم افزایش تعداد چاه‌ها، میزان تخلیه افزایش نیافته است. این به آن معنی است که منابع آب زیرزمینی ایران به حد نهایی ظرفیت خود رسیده و با حفر چاه بیشتر امکان برداشت بیشتر از این منابع وجود ندارد.

بیلان آب کشور

مساحت کشور ایران: ۱۶۴۸۰۰۰ کیلومتر مربع

متوسط بارش سالانه : ۲۵۰ میلی متر

حجم متوسط بارش سالانه: ۴۱۳ میلیارد متر مکعب

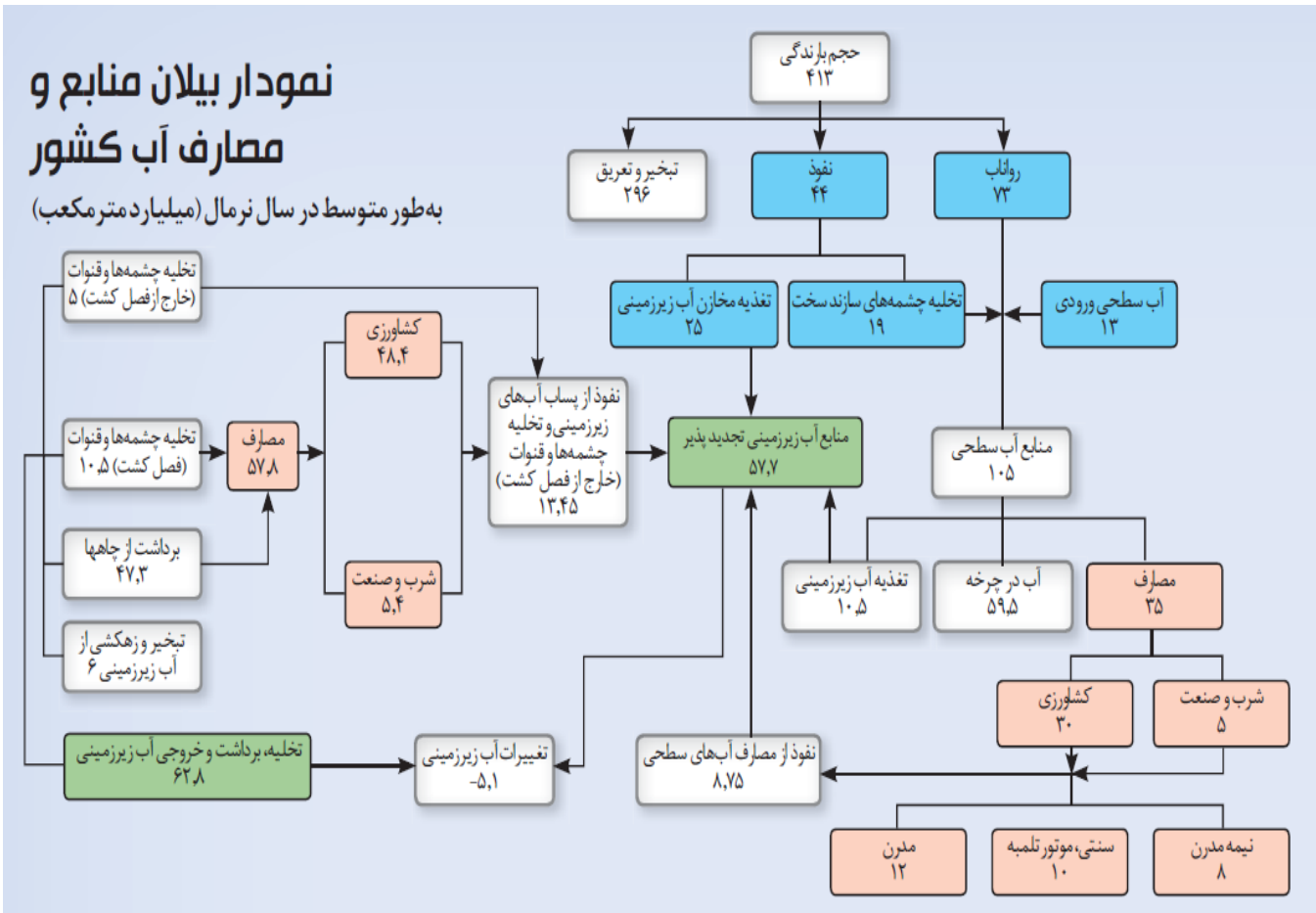
۶۹ درصد در مناطق کوهستانی و ۳۱ درصد در نواحی دشت و جلگه وکویر

حجم متوسط تبخیر و تعرق سالانه: ۲۹۶ میلیارد متر مکعب- خارج شدن ۷۱ درصد از منابع آب از طریق تبخیر و تعرق

متوسط سالانه تبخیر و تعرق در ایران ۲۷۰۰ میلیمتر است

حجم متوسط جریان آبهای سطحی: ۸۱ میلیارد متر مکعب

حجم آب نفوذ یافته به آبخوان: ۳۶ میلیارد متر مکعب - ۳۰ درصد از منابع آب دور از دسترس تبخیر و تعرق



برخی اصطلاحات مهم در مباحث آب
آب تجدیدپذیر: آبی که هر ساله در چرخه ی طبیعت قرار دارد و از دسترس خارج نمی شود.
آب تجدیدناپذیر: آب موجود در آبخوانها، دریاها، یخچالها که با بارش سالانه تجدید نمیشوند و از گذشته های دور باقی مانده اند.
آب سبز: رطوبت خاک در مناطق غیر اشباع را آب سبز میگویند
آب آبی: آبهای زیرزمینی و آبهای سطحی آب آبی را تشکیل میدهند.
آب خاکستری (آبهای نامتعارف) آبی است که در اثر فعالیتهای مختلف بشر آلوده شده و از حد استاندارد قابل استفاده پایینتر قرار گرفته باشد.
آب مجازی: آبی که در مراحل مختلف تولید یک کالا استفاده می گردد.
رد پای آب: مقدار آبی (سبز-آبی-خاکستری) که برای تولید محصولات و یا خدمات یک فرد یا جامعه استفاده می‌شود.

شاخص سرانه‌ی منابع آب تجدیدپذیر

اگر کلیه‌ی آب های تجدیدپذیر یک منطقه را به جمعیت آن منطقه تقسیم کنیم حاصل عددی است که به آن سرانه‌ی منابع آب تجدیدپذیر می‌گویند. این عنوان بدان معنی نیست که هر نفر باید به این اندازه آب مصرف کند. بلکه بدین معنی است که اگر همه‌ی آب های تجدیدپذیر را جمع آوری کنند به هر فرد این میزان آب می‌رسد، که باید صرف شرب، بهداشت و ... شود.

شاخص سرانه‌ی منابع آب تجدیدپذیر در دنیا بین ۸۰۰۰-۷۵۰۰ متر مکعب است. این شاخص در آسیا در حدود $3900 m^3$، در اروپا حدود $4300 m^3$ و در آمریکای شمالی حدود $17400 m^3$ می‌باشد. یعنی آسیا یک قاره نیمه خشک و تا حدودی خشک است. این شاخص در ایران با توجه به آمار جمعیت در سال ۱۳۸۰ (۶۵ ملیون نفر) و اینکه منابع آب تجدیدپذیر در ایران ۱۳۰ میلیارد متر مکعب است، در حدود $2000 m^3$ می باشد.

حد تنش آبی[1]

حدی است که اگر سرانه‌ی منابع آب به آن برسد، مشکلات آب (مانند قطعی آب) خود را نشان می‌دهد.این مقدار را مدیران درحدود $1760 m^3$ عنوان کرده‌اند.

حد بحران آبی

رسیدن به این حد بدان معنی است که منطقه وارد شرایط بحرانی شده است در این مرحله کوچ‌های عظیم جمعیتی مطرح می‌شود. این آستانه در حدود $1000 m^3$ در سال برای هر نفر تعریف شده است.