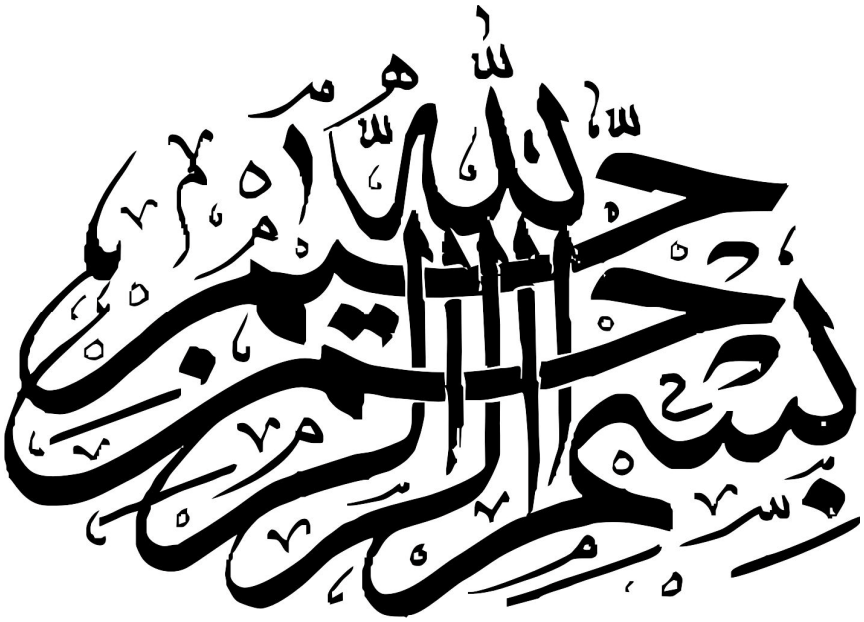
اندیشکده تدبیر آب ایران

«چرخه آب»

"با تکیه بر منابع آب تجدیدپذیر"

چاپ اول

آبان ماه ۱۳۹۲



اندیشکده تدبیر آب ایران از آبان ماه، سال ۱۳۹۱، به عنوان یکی از زیرمجموعه های کمیسیون کشاورزی و آب اتاق بازرگانی و صنایع و معادن و کشاورزی کرمان به منظور توسعه ظرفیت ها و ایجاد فضای تعامل و گفتگو میان ارکان مختلف جامعه، محیط کسب و کار و تشکیلات بخشی و فرابخشی مدیریت آب در کشور در مسیر بهبود حکمرانی آب، تأسیس گردیده است.

کلیه حقوق این مقاله محفوظ و متعلق به اندیشکده تدبیر آب ایران می‌باشد.

آدرس: تهران، کریم خان، خیابان نجات الهی شمالی، بالاتر از بیمارستان جامع زنان، پلاک۲۱۲، طبقه چهارم، واحد چهارم.

تلفن: ۰۲۱-۸۸۹۴۷۳۰۰-۸۸۹۴۷۴۰۰

تارنمای اندیشکده: WWW.IWPRI.COM

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

سخن آغازین ۱

۱- مقدمه ۳

۲- نگاهی به ذخایر آبی در کره زمین ۳

۳- الگوی مفهومی و کلی چرخه آب ۵

٤- شکل پیچیده چرخه آب ۸

۶-۱- فرآیند تبخیرو تعریق ۹

۶-۲- فرآیند نفوذ ۱۳

۵- نگاهی سیستمی بر چرخه آب ۱۹

٦- منابع آب تجدیدشونده ۲۱

۷- مروری بر منابع آب تجدیدشونده در ایران: ۲۷

۸- نشانگرهای وابسته به آب تجدیدپذیر ۲۹

۹- دخالت بشر در چرخه آب و پیامدهای آن ۳۲

۱۰- جمع بندی از ویژگی‌های مهم چرخه آب ۳۸

پیوست شماره یک:تعاریف واژگان و عبارت‌های کلیدی ٤۰

پیوست شماره دو: اطلاعات رودخانه‌های مهم جهان ٤۵

فهرست منابع و مراجع: ٤۸

فهرست جداول و شکل‌ها

عنوان **صفحه**

جداول

جدول ۱: توزیع ذخایر ثابت آبی در کره زمین ۴

جدول ۲: مدت زمان تجدیدشوندگی منابع آب موجود در کره زمین ۲۴

جدول ۳: منابع آب تجدیدشونده، میزان برداشت از منابع آب و درصد وابستگی به منابع آب خارجی برای تعدادی از کشورهای منتخب ۳۰

جدول ۲-۱: آبدهی متوسط سالانه رودخانه‌های مهم جهان ۴۵

جدول ۲-۲: آبدهی متوسط سالانه رودخانه‌های مهم ایران (با آبدهی بیش از ۳۰ مترمکعب در ثانیه) ۴۷

شکل‌ها

شکل ۱: توزیع ذخایر ثابت آب در کره زمین ۵

شکل ۲: الگوی ساده شده چرخه آب ۷

شکل ۳: الگوی مفهومی چرخه آب ۷

شکل ۴: شکل پیچیده چرخه آب (نمونه اول) ۸

شکل ۵: شکل پیچیده‌تر چرخه آب (نمونه دوم) ۹

شکل ۶: فرآیند تبخیر در حین بارندگی ۹

شکل ۷: فرآیندهای رسیدن آب به ریشه گیاه و ارتباط آن با چرخه آب ۱۱

شکل ۸: نفوذ مستقیم ۱۴

شکل ۹: مسیرهای مختلف آب نفوذی به آب زیرزمینی و تخلیه آب زیرزمینی ۱۵

شکل ۱۰: نمونه‌ای از مسیر حرکت آب زیرزمینی در سازندهای سخت ۱۶

شکل ۱۱: تغذیه مصنوعی (مسیر نفوذ) ۱۷

شکل ۱۲: مسیرهای مختلف نفوذ آب ۱۸

شکل ۱۳: نگاهی سیستمی بر چرخه آب ۲۰

شکل ۱۴: توزیع منابع آب تجدیدشونده ۲۲

شکل ۱۵: عوامل چرخه آب در مقطعی از کره زمین ۲۶

شکل ۱۶: چرخه آب در طبیعت (بدون دخالت بشر) ۳۳

شکل ۱۷: چرخه آب (پس از دخالت بشر در عرصه‌های طبیعی) ۳۶

سخن آغازین

آب فراوان‌ترین ماده‌ای است که حدود ۷۰ درصد سطح کره زمین را پوشانده است. ذخایر آب در سیاره ما بطور عمده در اقیانوس‌ها استقرار پیدا کرده است و بخشی از آن در زیرزمین و قطب‌ها و بخش کوچکتری در دریاها و رودها، ذخایر برفی کوهستان‌ها و بخار آب جو کره زمین قرار دارد. اگر بخواهیم نقش حیاتی آب در این سیاره را در نظر بگیریم، همه این ذخایر نقش‌های متنوعی در شکل‌گیری و تنظیم شرایط حیاتی کره زمین به عهده دارند. آب به هر سه صورت مایع،گاز و جامد در این سیاره وجود دارد؛ اما در این میان نقش ذخایر آبی بصورت مایع عامل مستقیم شکل‌دهنده و پشتیبانی‌کننده از حیات است.

فقط بخش کوچکی از ذخایر آبی سیاره زمین پیوسته در حال تبدیل از حالتی به حالتی دیگر و سفرهای طولانی است که به آن «چرخه آب» می‌گویندکه بدلیل اهمیت آن در مرکز توجه این مقاله قرار دارد. گرچه سهم حجم آب موجود این چرخش در طول یک سال از کل ذخایر، اندک است، اما بدلیل تکرار پایان‌ناپذیرآن تاثیرات موردی کوتاه‌مدت و تجمعی درازمدت متعدد و چشمگیری در سطح خشکی‌ها و پهنه اقیانوس‌ها بر جای می‌گذارد. سفر بی‌پایان آب در سیاره زمین موجب می‌شود که هر ملکول آب این گردونه، در مسیرخود، تاثیرات گوناگونی بر محیط خود بگذارد ویا از محیط تاثیر بپذیرد.

هم ذخایرآب و هم چرخه آب در معرض توجه و تاکید جامعه انسانی قرار دارند، اما بنا به دلایلی، چرخه آب بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. از جمله می‌توان به این موارد زیر اشاره داشت:

- حلقه ارتباط متقابل سطح خشکی‌ها که محل استقرار اصلی انسان است با ذخایر اصلی آب در دریاها و اقیانوس‌ها، که پشتوانه اصلی بقای حیات در این سیاره است، از طریق این چرخه برقرار می‌شود.

- آب شور اقیانوس‌ها بطور طبیعی به کمک انرژی خورشید، تبخیر طبیعی و نمک‌زدایی‌شده و با قابلیت حرکت بیشتری توسط باد و جریانات توده‌های هوا در جو زمین به مناطق مختلفی سفر کرده و سپس متراکم شده و بصورت بارش در سطح خشکی‌ها، آب شیرین را در اختیار ساکنین آن قرار می‌دهد.

- پس از بارش، سفر آب در سطح زمین و با نفوذ* در زمین ادامه می‌یابد و بخش مهمی از آب شیرین مورد نیاز زیست‌بوم‌ها در سطح زمین و در زیر خاک از این طریق تامین می‌شود.

- بخشی ازسهمیه طبیعی آبی که در اختیار فعالیت‌های زیستی مستقر در خشکی‌ها قرارگرفته است با ماندگاری بیشتری در زیرزمین، در پیکره‌های آبی و دریاچه‌ها و بصورت برف در کوهستان‌ها

اندیشکده تدبیر آب ایران

ذخیره می‌شود. این ذخیره آب شیرین، بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک نقش بسیار مهمی در شکل‌گیری و دوام مراکز جمعیتی و زیست بوم های مستقر درآن مناطق دارد.

- تاثیرپذیری آب در سفر خود در خشکی‌ها از محیط گوناگون است، و شاید مهم ترین آن تغییر کیفیت آن باشد، که موجب می‌شود بخشی از آبی که در انتهای سفر خود از طریق رودها به اقیانوس‌ها باز می‌گردد، دچار تغییرات کیفی مهمی شده باشد.

این مقاله در توضیح مولفه‌ها و فرایندهای اصلی چرخه آب، رسیدن به نگاه نظام‌مند به چرخه آب و مشخص کردن نسبت چرخه آب و منابع آب تجدیدشونده و بالاخره پرداختن به نحوه دخالت‌های گسترده بشر در چرخه آب و پیامدهای آن، تدوین شده است. در واقع باید گفت تمرکز اصلی مقاله در توضیح اهمیت و مبانی منابع آب تجدیدشونده است که به زعم این مقاله عامل اصلی و تعیین‌کننده در پایداری زندگی بشر است. مقاله گوشه چشمی هم به شرایط و وضعیت عمومی کشور ایران دارد. برای این مقاله فرهنگ اصطلاحاتی نیز تدارک دیده شده است تا مفاهیم اصلی بکارگرفته شده برای استفاده‌کننده‌گان حتی الامکان روشن شده باشد.

اندیشکده تدبیر آب ایران در نظر دارد موضوعات مهم پایه‌ای در زمینه نظام تدبیر آب را به کمک صاحبنظران و خبرگان این رشته بصورت مقاله‌های علمی-ترویجی تدوین و در اختیار جامعه قرار دهد. در تهیه و تدوین این مقاله آقای عباسقلی جهانی که از مدیران و کارشناسان با سابقه کشور می باشند، نقش اساسی داشته‌اند که همکاری ایشان جای قدردانی زیادی دارد. از زحمات شورای راهبردی اندیشکده بویژه آقای مهدی آگاه وآقای فرهاد آگاه در ارایه دیدگاه‌ها و پیشنهادهای ارزنده و همچنین آقای اصغر طبیبیان، آقای محمد ارشدی و خانم مینا حسین‌پور طهرانی در تکمیل مطالب، آماده‌سازی تعاریف و بهبود کیفیت عمومی گزارش و خانم صالح‌زاده در آماده‌سازی شکل‌های متعدد، تایپ و صفحه‌بندی صمیمانه تشکر می‌شود. امید است این گام کوچک مورد توجه جامعه متخصص و غیرمتخصص، مسئولین اجرایی و سیاستگذار و بویژه گروه‌های مختلف بهره‌بردار از منابع آب کشور قرار گیرد و با ارسال نظرات اصلاحی خود مایه دلگرمی و مساعدت ما را در پیمودن این مسیر فراهم کنند.

اندیشکده تدبیر آب ایران

۱- مقدمه

منابع آب تجدیدشونده*[۱] که بخش بسیار کوچکی از منابع آب شیرین کره زمین می باشند، اصلی‌ترین منبع تأمین‌کننده نیازهای آبی جوامع بشری شامل مصارف خانگی، صنایع، کشاورزی، تولید برق‌آبی، آبزی‌پروری و تفریحی و نظایر آن از یک طرف و نیازهای اکوسیستم‌های آب از دیگر سو می‌باشند. در واقع عامل اصلی و تعیین کننده در پایداری زندگی بشری را می‌توان به منابع آب تجدیدشونده مربوط دانست. سؤال این است که موجد منابع آب تجدیدشونده چیست و چه سازوکاری موجب پایداری و استمرار و تجدیدشوندگی این منبع در کل کره زمین، محدوده حاکمیت یک کشور و یا حتی در یک منطقه مشخص و محدوده جغرافیایی می‌شود. پاسخ این سؤال با موضوع «چرخه آب»* قابل تبیین است. این چرخه که در ادبیات مدیریت آب و علوم آبشناسی به «سیکل هیدرولوژیک» نیز معروف است از یک مدار بسته تشکیل شده که حرکت و گردش آب در طبیعت و تأمین منابع آب تجدیدشونده را عهده‌دار می‌باشد. در این نوشتار تلاش می‌شود که ابعاد و مؤلفه‌های این چرخه توضیح و تشریح شده و به تبع آن، تاثیر انواع دخالت‌های بشر بر چرخه آب* با انواع دخالت‌های بشر بطور اجمال مورد بحث قرار گیرد.

۲- نگاهی به ذخایر آبی در کره زمین

به منظور درک بهتر از فرآیند چرخه آب مقدمتاً لازمست مروری بر ذخایر آبی موجود در کره زمین داشته باشیم. زیرا منشاء اصلی، برای منابع آب تجدیدشونده که از طریق چرخه آب تأمین می‌شود از این ذخایر تشکیل شده است. از آنجائیکه جرم کره زمین ثابت است و به تبع آن ذخیره آب موجود در آن نیز به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی تشکیل‌دهنده کره زمین ثابت می‌باشد، بنابراین منابع آبی که از طریق چرخه آب در طبیعت به گردش آمده و منابع آب تجدیدشونده را به وجود می‌آورد از همین جرم ثابت ناشی می‌شود. در واقع نوعی بیلان آبی نیز در رابطه با چرخه آب موضوعیت پیدا می‌نماید. در جدول (۱) ذخایر آبی کره زمین نشان داده شده است.

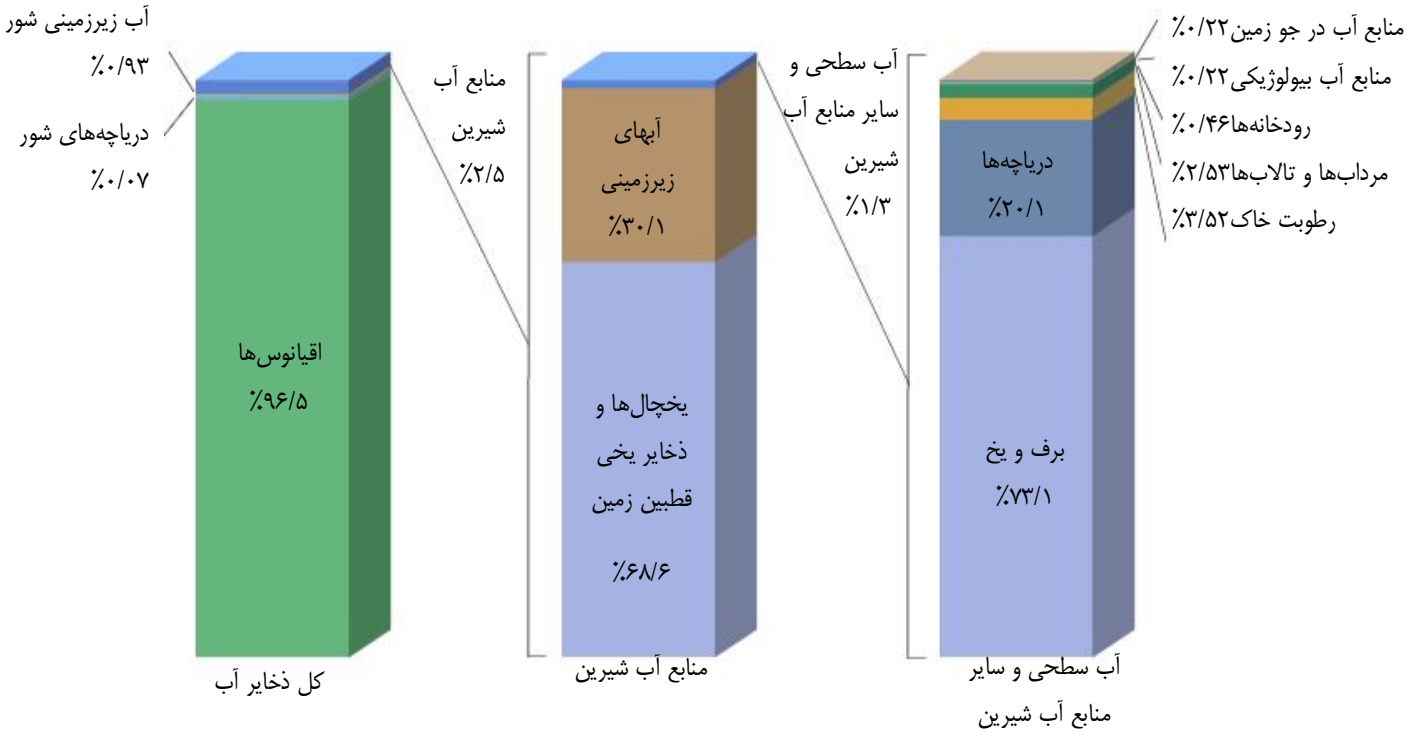
[۱] – واژگان و اصطلاحاتی که در اولین مورداستفاده‌شان در متن با علامت ستاره مشخص شده‌اند، در پیوست شماره یک تعریف شده‌اند.

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

جدول ۱: توزیع ذخایر ثابت آبی در کره زمین

ردیف	منبع	ذخایر برحسب کیلومترمکعب		درصد نسبت به کل ذخایر		درصد نسبت به
		کل منبع	زیربخش	کل منبع	زیربخش	منابع آب شیرین
۱	اقیانوس‌ها، دریاها، خلیج‌ها	۱،۳۲۸،۰۰۰،۰۰۰		۹۶/۵		
۲	یخچال‌ها، ذخایر دایمی برف و یخ در قطب‌ها	۲۴ ،۰۶۴ ،۰۰۰		۱/۷۴		۶۸/۶
۳	آب زیرزمینی (شور و شیرین)	۲۳ ،۴۰۰ ،۰۰۰		۱/۷۰		
۳-۱	آب زیرزمینی (بخش آب شیرین)		۱۰ ،۵۳۰ ،۰۰۰		۰/۷۶	۳۰/۱
۳-۲	آب زیرزمینی (بخش آبهای شور)		۱۲ ،۸۷۰ ،۰۰۰		۰/۹۳	
۴	رطوبت خاک	۱۶ ،۵۰۰		۰/۰۰۱		۰/۰۵
۵	آب ذخیره شده درسطوح یخزده	۳۰۰ ،۰۰۰		۰/۰۲۲		۰/۸۶
۶	دریاچه‌ها (شور و شیرین)	۱۷۶ ،۴۰۰		۰/۰۱۳		
۶-۱	بخش آب شیرین		۹۱ ،۰۰۰		۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
۶-۲	بخش آب شور		۸۵ ،۴۰۰		۰/۰۰۷	
۷	آتمسفر	۱۲ ،۹۰۰		۰/۰۰۱		۰/۰۴
۸	مردابها	۱۱ ،۴۷۰		۰/۰۰۰۸		۰/۰۳
۹	رودخانه‌ها	۲ ،۱۲۰		۰/۰۰۰۲		۰/۰۰۶
۱۰	آبهای بیولوژیکی (در پیکره گیاهان و جانوران)	۱ ،۱۲۰		۰/۰۰۰۱		۰/۰۰۳
جمع		۱ ،۳۸۶ ،۰۰۰ ،۰۰۰		۱۰۰		۱۰۰

بطوریکه از جدول مذکور مشاهده می‌شود از کل ذخایر آبی دنیا در حدود۱۳۸۶ میلیون کیلومترمکعب معادل ۹۷/۵ درصد را آب شور و ۳۵ میلیون کیلومترمکعب معادل ۲/۵ درصد را آب شیرین تشکیل می‌دهد. چنانچه منابع آب شیرین را رقم ۱۰۰ درصد فرض کنیم، از این منابع ۶۸/۶ درصد در یخچال‌های طبیعی و پوشش برفی قطبین زمین و ۳۰/۱ درصد در منابع آب زیرزمینی ذخیره شده و بقیه یعنی تنها ۱/۳ درصد بصورت سایر منابع آب شیرین مندرج در جدول فوق توزیع گردیده است. برای نمایش بهتر ارقام مذکور شکل (۱) تنظیم و ارائه شده است، که گویای توزیع ذخایر آبی در کل کره زمین (شامل آتمسفر) می‌باشد.



شکل ۱: توزیع ذخایر ثابت آب در کره زمین

۳-الگوی مفهومی و کلی چرخه آب

چرخه آب یک فرایند دینامیک (پویا) است که حرکت آب را در کره زمین شامل آتمسفر، سطح و زیرزمین تشریح می‌نماید. پویایی این چرخه بواسطه چهار فرایند زیر تأمین می‌شود:

الف- فرآیند تبخیر* (و تعریق*)

ب- فرآیند تراکم

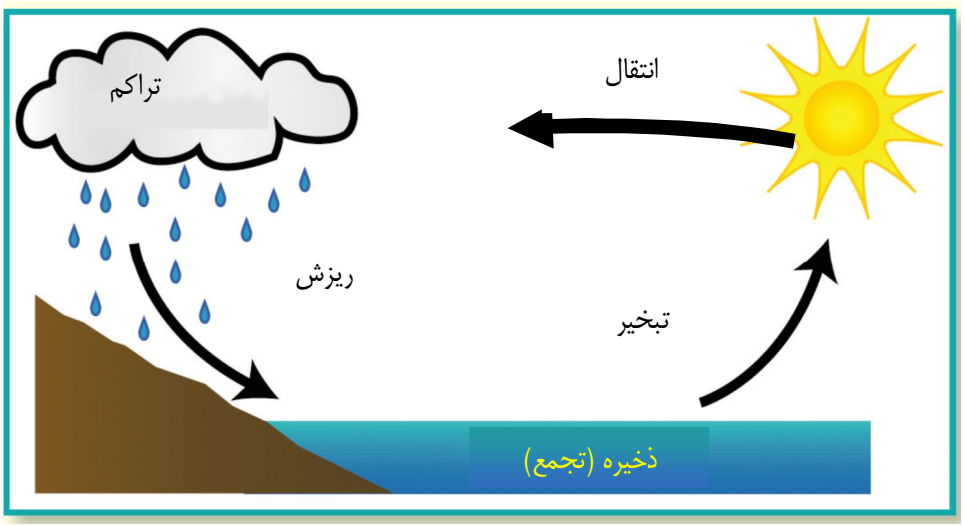
ج- فرآیند ریزش

د- فرآیند تجمع آب

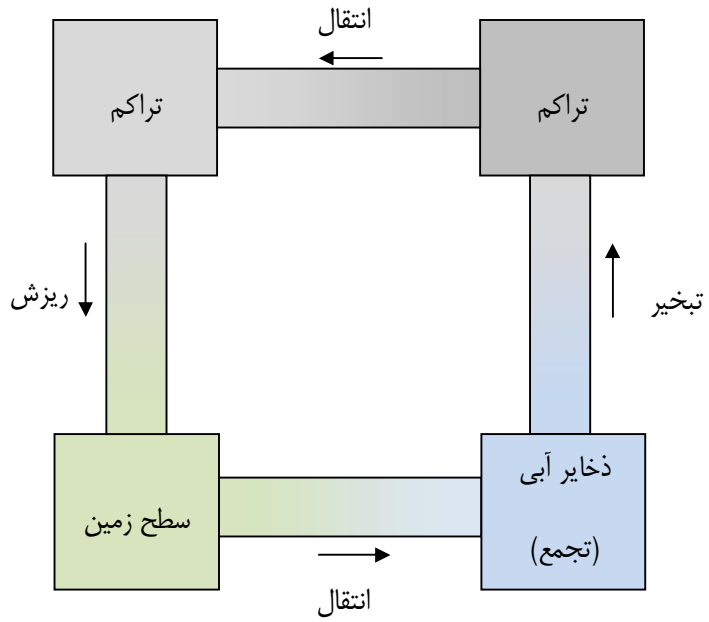
به منظور ایجاد حرکت در این چرخه وجود سه شرط اصلی زیر الزامی است که هرسه آنها بطور طبیعی وجود دارند:

- انرژی لازم برای ایجاد فرآیند تبخیر: منبع اصلی این انرژی از طریق تشعشعات خورشیدی تأمین می‌گردد.
- ذخیره آب: بدیهی است برای اینکه عمل تبخیر انجام گیرد، نیاز به وجود سطوح آب ذخیره‌شده در کره زمین می‌باشد تا با تأمین انرژی لازم، آب از این ذخایر تبخیر گردد. ذخایر آبی موجود برای انجام فرآیند تبخیر در جدول (۱) نشان داده شده است.
- محرکه‌های لازم برای تبدیل آب از حالت گازی به مایع (یا جامد) و انتقال آن از یک نقطه یا منطقه به نقطه یا منطقه دیگر. این شرایط را حرکت وضعی کره زمین از یک طرف و توزیع نامتقارن درجه حرارت و خشکی‌ها در کره زمین و به تبع‌آن ایجاد مناطق پرفشار و کم فشار که موجد حرکت و انتقال توده‌های هوا می‌باشد از سوی دیگر، فراهم می‌آورد.

در یک نگاه ساده شده می‌توان گفت که از اثرتابش انرژی خورشید، آب تجمع یافته در سطح کره زمین (فرآیند الف) و انتقال توده‌های هوای مرطوب به اتمسفر و کاهش درجه حرارت، موجب تراکم آنها شده و ابرهای حامل رطوبت را تشکیل می‌دهند (فرآیند ب). این ابرهای دارای رطوبت در نتیجه محرک‌هایی که شرح آنها گذشت به نقاط مختلف منتقل شده و در نتیجه رسیدن درجه حرارت آنها به نقطه شبنم (اشباع شدن از رطوبت) رطوبت ذخیره شده در خود را بصورت بارندگی (جامد یا مایع) لکن در زمان و مکان دیگر ظاهر می‌نمایند (فرایند ج)، و ریزش‌های جوی حاصل شده از طریق رواناب ناشی از برف، رواناب، جریان سطحی، رودخانه‌ها ، تخلیه آب زیرزمینی و و تبخیر از سطح گیاه و از سطح برف و یخ (که به آن‌ها به ترتیب تعریق* و تصعید* می‌گویند) مجدداً به ذخایر آبی کره زمین برگشت می‌نماید (فرایند د). بدین ترتیب این مدار یا چرخه آب تکمیل و بسته شده و به دلیل استمرار وجود عوامل ذی‌مدخل به شرحی که توضیح داده شد مجدداً تکرار می‌شود و در واقع این وضعیت به عنوان یک فرایند دائمی که طول عمر آن به اندازه تشکیل کره زمین می‌باشد، همواره وجود داشته و در آینده، نیز ادامه خواهد یافت. در شکل‌های (۲) و (۳) الگوی مفهومی چرخه آب نشان داده شده است.



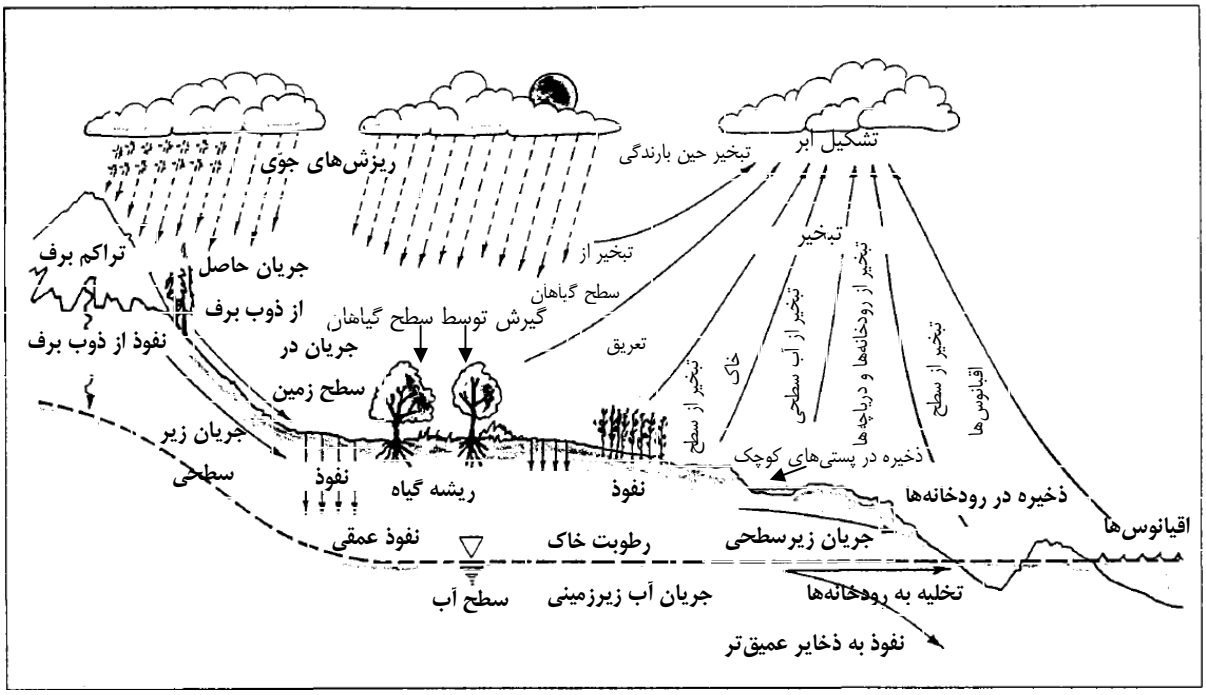
شکل ۲: الگوی ساده شده چرخه آب



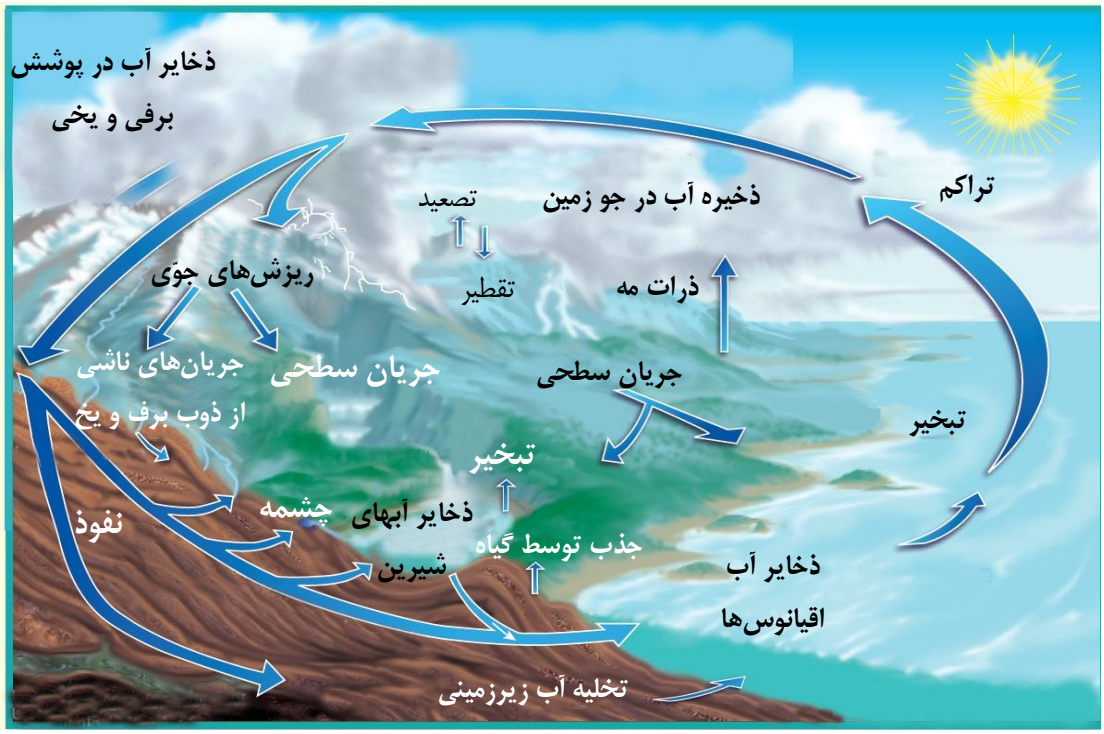
شکل ۳: الگوی مفهومی چرخه آب

۴- شکل پیچیده چرخه آب

آنچه که در شکل‌های (۲) و (۳) ارائه گردید چارچوب مفهومی و ساده شده چرخه آب را نشان می‌دهد، لیکن در واقعیت فرایند گردش آب در طبیعت بسیار پیچیده بوده و هریک از مؤلفه‌های اصلی مشخص شده در شکل‌های مذکور مسیرهای متفاوت و متنوعی را طی می‌نمایند. برای تبیین این موضوع، شکل‌های (۴) و (۵) تنظیم گردیده است. در این شکل‌ها تلاش شده پیچیدگی فرآیندهای مذکور نشان داده شود .



شکل ۴: شکل پیچیده چرخه آب (نمونه اول)

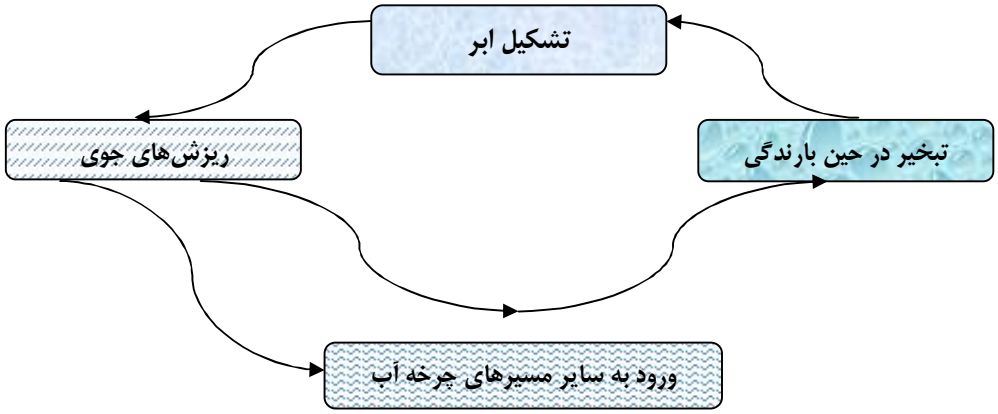


شکل ۵: شکل پیچیده‌تر چرخه آب (نمونه دوم)

٦-١- فرآیند تبخیرو تعریق

عمل تبخیر که در شکل‌های (۲) و (۳) تنها با یک مسیر اصلی نشان داده شده ممکن است از مسیرهای زیر صورت گیرد:

- **تبخیر در حین بارندگی:** به لحاظ وجود عوامل تبخیر (انرژی)، ممکن است بخشی از ریزش‌های جوی در حین بارندگی تبخیر شده و به تشکیل ابرها کمک نموده و بدین ترتیب هر قطره آب تبخیر شده از این طریق خود در چرخه آب مشارکت نماید. می‌توان این فرایند را در شکل (۶) مشاهده نمود.



شکل ۶: فرآیند تبخیر در حین بارندگی

تبخیر از سطح شاخ و برگ گیاهان

در زمان بارندگی چه بصورت مایع و چه جامد، بخشی از آن توسط پوشش گیاهی نگهداری می‌شود (توجه شود که دراینجا منظور جذب توسط گیاه نیست) این عمل را در ادبیات هیدرولوژی «نگهداری توسط پوشش گیاهی*» یا Interception می‌نامند. بدیهی است به دلیل وجود عوامل تبخیر مشابه آنچه که در مورد عمل تبخیر در حین بارندگی ذکر شد، آب نگهداری شده از این طریق نیز می‌تواند تبخیر شده و چرخه‌ای مشابه شکل (۴) را تشکیل دهد.

تعریق

این فرایند یکی از پیچیده‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب را تشکیل می‌دهد. عمل تعریق به خروج آب بصورت بخار از پیکره گیاهان که از طریق ریشه جذب آنها می‌شود، اطلاق می‌گردد. در اقع میزان آبی که توسط ریشه گیاهان جذب می‌شود به دو بخش اصلی تقسیم می‌گردد. بخش اول، آن میزان از آب جذب شده است که صرف رشد و نمو گیاه می‌شود و بخش دیگر آب مازادی است که از طریق پیکره گیاه یا درختان تبخیر شده (تعریق) و وارد چرخه آب می‌شود.

چگونگی رسیدن آب به ریشه گیاه مسیرهای متفاوتی دارد که در شکل (۷) نشان داده شده است. بطور کلی دو شیوه اصلی زیر رسیدن آب به ریشه گیاه را ممکن می‌سازد:

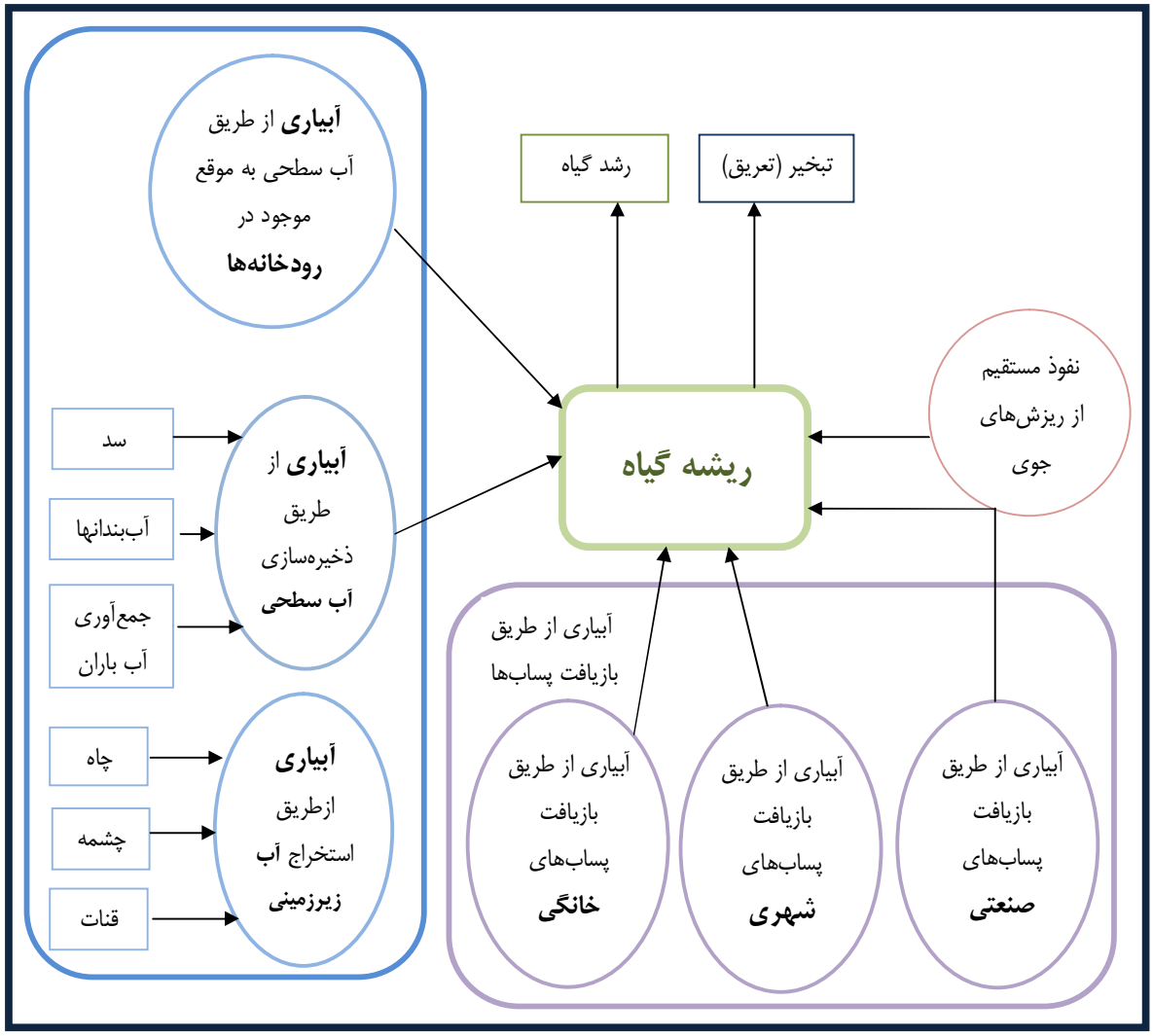
الف: از طریق نفوذ مستقیم بارندگی به خاک و رسیدن بخشی از آن به ریشه گیاه که چنین شیوه‌ای از کشت گیاه به کشاورزی دیم معروف است و در بخش‌های مهمی از جهان به ویژه در مناطق وسیعی از اروپا و امریکای شمالی کلیه آب مورد نیاز کشاورزی از این طریق تأمین می‌گردد. ضمن اینکه تقریباً کلیه مراتع و جنگل‌های دنیا آب مورد نیاز خود را از این شیوه دریافت می‌نمایند.

ب: آبیاری مصنوعی*: در این شیوه آب مورد نیاز گیاهان به شکل مصنوعی و از طرق مختلف تأمین می‌شود که مهمترین آنها عبارتند از:

- استفاده از آب سطحی بدون نیاز به تنظیم جریان: در برخی از رودخانه‌ها میزان جریان‌های موجود و توزیع زمانی آنها به شکلی است که آب موجود در رودخانه با نیاز گیاه منطبق می‌باشد. بنابراین کافی است که از طریق ایجاد کانال‌ها و یا انهار مناسب، آب برای آبیاری تأمین شود.

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

- استفاده از آب سطحی تنظیم شده: ایجاد سدهای مخزنی، آب‌بندان‌های طبیعی یا مصنوعی که جمع‌آوری آب‌های مازاد بر مصرف را امکان‌پذیر می‌نمایند و یا استحصال آب از طریق شیوه‌های جمع‌آوری باران* (Water Harvesting)، برای شرایطی صورت می‌گیرد که توزیع زمانی نیازهای کشاورزی با توزیع زمانی رژیم طبیعی آب سطحی منطبق نمی‌باشد. لذا، از این طریق می‌توان کل آب مورد نیاز گیاهان و یا کمبود آب آنها را از طریق ایجاد شبکه‌های آبیاری و یا ایجاد ایستگاه‌های پمپاژ تأمین نمود. بخشی از منابع آبی که از این طریق به ریشه گیاه می‌رسد، وارد مسیر چرخه آب (به دلیل وجود تعریق) خواهد شد.



شکل ۷: فرآیندهای رسیدن آب به ریشه گیاه و ارتباط آن با چرخه آب

- استفاده از منابع آب زیرزمینی: آبرسانی به ریشه گیاهان در زمان نیاز گیاه از طریق استحصال آب زیرزمینی که خود شامل چشمه، چاه و قنوات می‌باشد، امکان‌پذیر است. بنابراین آب زیرزمینی نیز از این طریق و طی مسیرهای طولانی وارد مدار و چرخه آب می‌شوند.
- استفاده از منابع آب بازیافتی: یکی دیگر از شیوه‌های آبرسانی به ریشه گیاهان استفاده از آب بازیافتی یا آب برگشتی از مصارف خانگی، شهری، صنعتی می‌باشد. هرچند در برخی از کشورها و مناطق مختلف جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه و یا کمتر توسعه یافته استفاده از این نوع منابع یا اصولاً مطرح نبوده و یا در مقیاس کوچک صورت می‌گیرد و اغلب بدون هیچگونه تصفیه به ریشه گیاهان می‌رسد. لیکن شیوه منطقی و اصولی این است که مشابه اغلب کشورهای توسعه یافته این منابع بازیافتی، پس از تصفیه در حد استانداردهای مورد نیاز، وارد مدار مصرف گیاه شود (در این خصوص در مبحث دخالت بشر در چرخه آب در صفحات بعدی بحث‌های بیشتری صورت خواهد گرفت). بهرحال آب‌های دریافتی از این طریق نیز پس از تعریق به چرخه آب پیوند می‌خورد.
- شایان ذکر است که بخشی از آب‌های مصرفی توسط انسان و یا جانوران نیز مشابه آنچه که در مورد گیاهان ذکر گردید پس از عمل تعریق به چرخه آب متصل می‌شود.

کلیه مسیرهای فوق که رسیدن آب به ریشه گیاه را امکان‌پذیر می‌نماید در شکل (۷) نشان داده شده و گویای پیچیده بودن فرایند چرخه آب می‌باشد.

تبخیر از سطح خاک: بخشی از ریزش‌های جوی به صورت رطوبت در لایه‌های سطحی خاک ذخیره می‌شود، البته ممکن است رطوبت خاک علاوه بر ریزش‌های مستقیم از طریق غیرمستقیم نیز نظیر آبیاری مصنوعی به شرح و روش‌هایی که در بالا توضیح داده شد و یا نیروی کشش سطحی* از آب زیرزمینی تأمین شود. بدیهی است که به دلایل وجود عوامل تبخیر بخشی از این رطوبت می‌تواند تبخیر شده و وارد مسیر چرخه آب شود.

تبخیر از سطح جریان‌های سطحی، دریاچه‌ها و مرداب‌ها، آب‌بندان‌ها: از آنجائیکه انرژی تأمین کننده عمل تبخیر بطور بالقوه وجود دارد، بنابراین در صورت وجود آب این انرژی بالفعل شده و عمل تبخیر صورت می‌گیرد، از این جهت بخشی از آبهای موجود در چرخه آب از طریق تبخیر از سطح رودخانه‌ها، دریاچه، مرادب‌ها، آب‌بندان‌ها و بطور کلی در مکان‌ها و سطوحی که امکان ذخیره موقت آب وجود دارد، تأمین می‌گردد.

تبخیر از سطح اقیانوس‌ها: منبع اصلی و مهم تبخیر در چرخه آب را منابع آب موجود در اقیانوس‌ها تشکیل می‌دهد که در بخش‌های آینده در مورد سهم و وزن این بخش از تبخیر اطلاعات لازم ارائه خواهد شد.

مسیر کلیه شکل‌های تبخیر (تعریق) که توضیح داده شد در شکل‌های (۴و۵) نشان داده شده است.

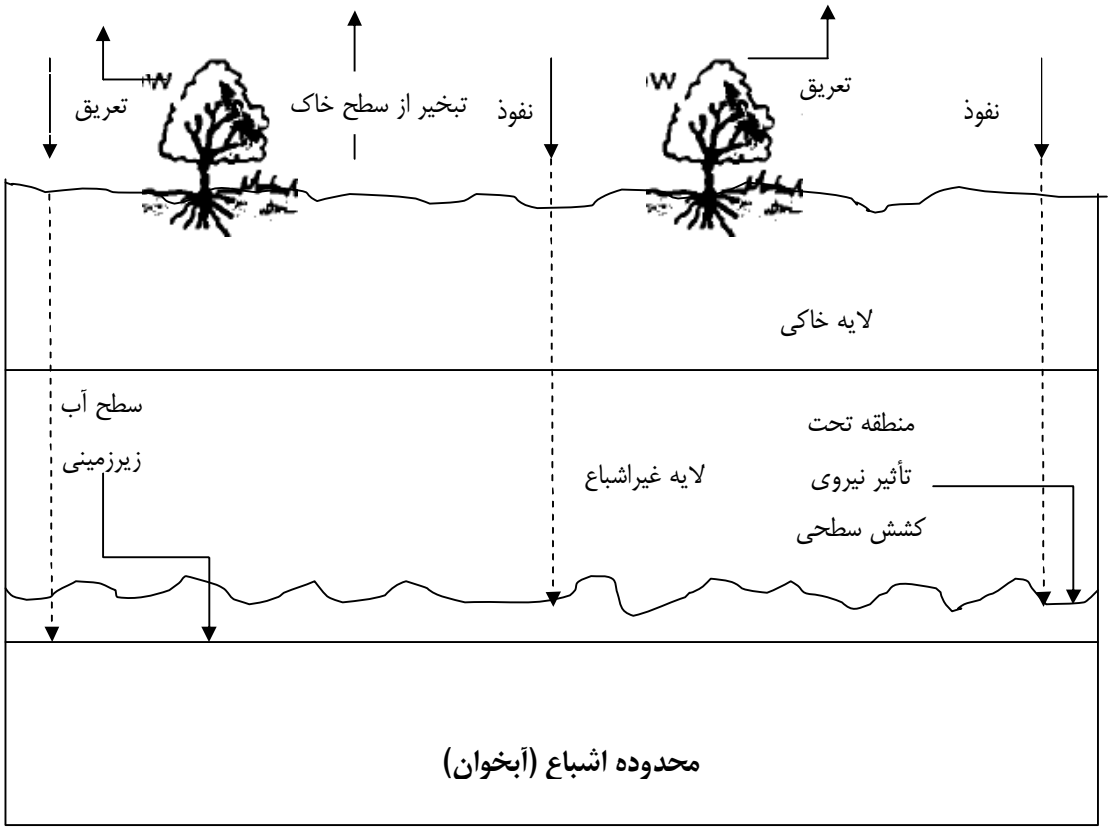
۶-۲- فرآیند نفوذ

آب موجود در این مؤلفه نیز مشابه مؤلفه تبخیر مسیرهای بسیار پیچیده و طولانی را طی می‌نماید که ذیلاً برخی از آنها توضیح داده شده است:

نفوذ مستقیم: در هر نقطه یا منطقه از خشکی کره زمین بخشی از آب‌های حاصل از ریزش‌های جوی که بصورت برف یا باران نازل می‌شود، بطور مستقیم به داخل سطوح خاکی یا سنگی نفوذ پیدا می‌نماید. قسمتی از این آب نفوذی در سطوح فوقانی ذخیره شده و سپس ممکن است در نتیجه نیروهای موجود و بطور عمودی و رو به بالا حرکت نموده و به شرحی که فوقاً تشریح شده مجدداً از سطح، تبخیر گردد. بخشی از آبهای نفوذ یافته باز هم بصورت عمودی و رو به پایین ادامه مسیر داده و به آبخوان یا سفره آب زیرزمینی وارد شود. این فرایند در شکل (۸) نشان داده شده است.

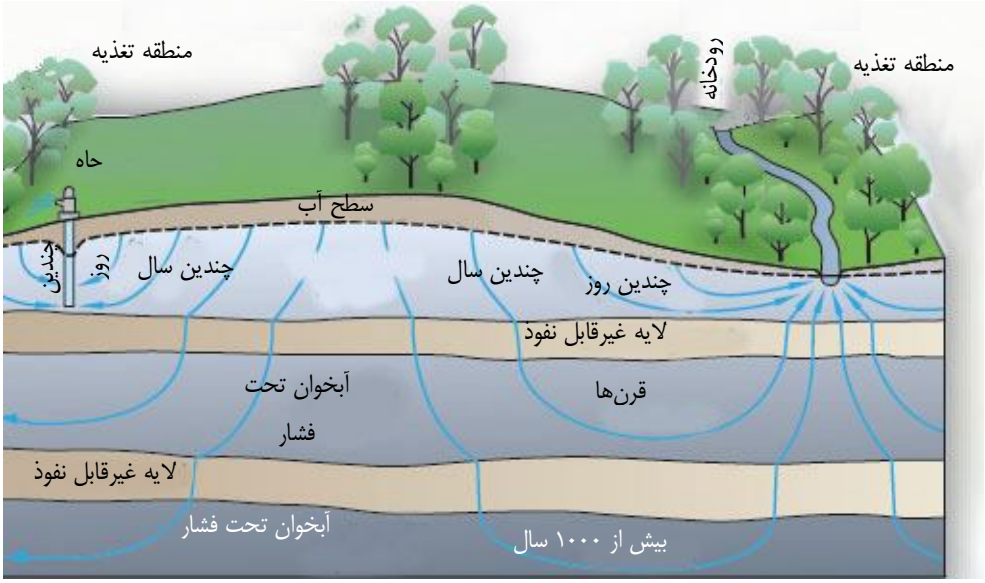
شایان توجه است بخشی از آب نفوذی که به سفر آب زیرزمینی وارد می‌شود برحسب سازوکارهای حاکم بر حرکت آب زیرزمینی می‌تواند چهار مسیر زیر را طی نماید:

- در نتیجه جریان آب زیرزمینی بصورت چشمه به آب سطحی جاری تخلیه شود.
- اگر بصورت تاریخی و در دوره‌های زمانی خیلی بلندمدت به موضوع تشکیل منابع آب زیرزمینی توجه شود ممکن است بخشی از منابع آب نفوذ یافته به شکل فوق به تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی فسیلی منجر گردد.
- در نتیجه جریان آب زیرزمینی به داخل دریاچه‌ها و یا اقیانوس‌ها تخلیه شود.
- بصورت مصنوعی از طریق حفر چاه یا قنوات مجدداً برای تأمین مصارف و نیازهای بشری به سطح زمین منتقل شود.



شکل ۸: نفوذ مستقیم

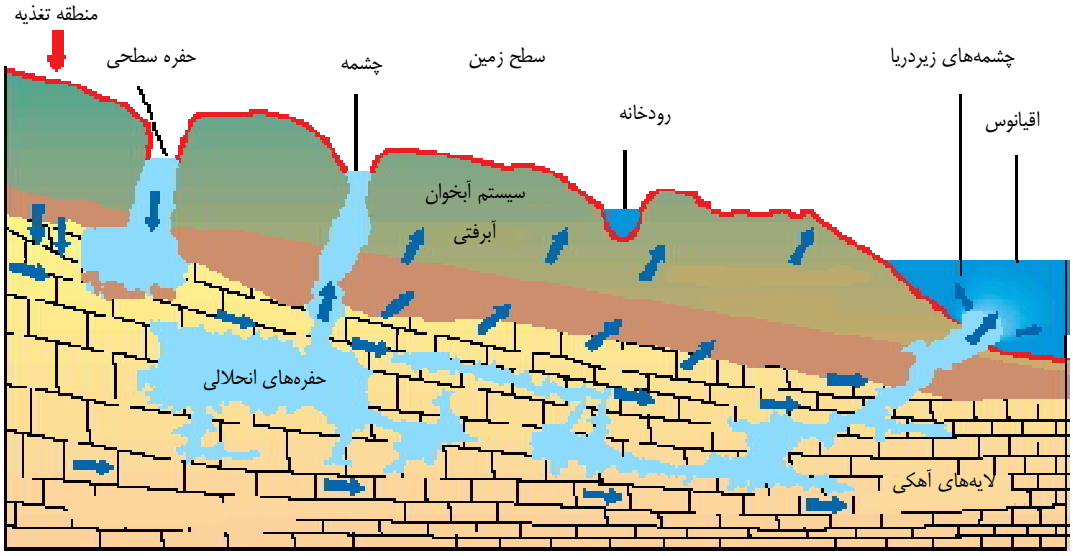
درکلیه فرآیندهای فوق (جز پیوستن آب نفوذی به آبخوان فسیلی) آب زیرزمینی تخلیه شده می‌تواند در معرض انرژی‌های تبخیری قرارگرفته وپس از تبخیر به چرخه آب وارد شوند. البته چنانچه بهره‌برداری از آبهای فسیلی نیز بصورت مصنوعی صورت گیرد (که در این خصوص تجربه‌های متعددی وجود دارد) آب‌های فسیلی نیز پس ازسال‌ها و قرنهای متمادی می‌تواند درمعرض تبخیر واقع شود. برای تبیین فرآیندهای فوق شکل (۹) تنظیم و ارائه شده است. منابع آب فسیلی براساس این شکل منابعی هستند که تجدیدپذیری آنها به زمان‌های طولانی نیازمند بوده ویا به لحاظ زمانی محصور بوده و قابل تجدید نیستند. در خصوص زمان تجدیدپذیری منابع آب‌های زیرزمینی به جدول (۲) مراجعه شود.



شکل ۹: مسیرهای مختلف آب نفوذی به آب زیرزمینی و تخلیه آب زیرزمینی

بخشی از آب نفوذی مستقیم از ریزش‌های جوی می‌تواند به داخل لایه‌های سنگی وارد شود. این نوع آب‌ها در صورت وجود خلل و فرج و شرایط انحلال سنگ‌ها در مقابل آب، می‌تواند در طول زمان مسیرهای جریان برای خود پیدا نموده، آبخوان‌ها آبرفتی را تغذیه نموده و یا خود ذخایر آب در سازندهای سخت* را تشکیل دهد.

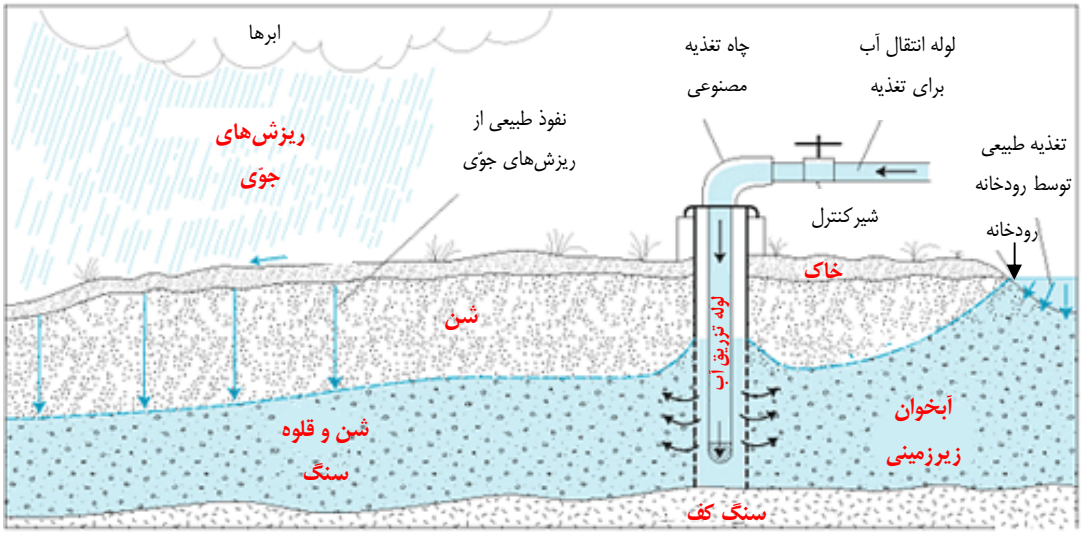
آن بخش از آب نفوذی که از این طریق وارد آبخوان آبرفتی می‌شود، مسیرهای در پیش گفته شده فوق (شکل ۹) را طی می‌نماید و بخشی که بصورت ذخایر سازند سخت در می‌آیند نیز به نوبه خود به عنوان آبخوان‌های سازند سخت* می‌تواند به یکی از صورت‌های چهارگانه ذکر شده در بالا در سطح زمین ظاهر شده و نهایتاً بصورت مستمر در چرخه آب مشارکت نماید. مسیر حرکت شماتیک حرکت آب در سازندهای سخت در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۰: نمونه‌ای از مسیر حرکت آب زیرزمینی در سازندهای سخت

نفوذ غیرمستقیم: غیر از نفوذ مستقیم از طریق ریزش‌های جوی، منابع آب موجود در چرخه آب می‌تواند به شکل‌های غیر مستقیم نیز وارد مسیرهای نفوذ آب در سطح زمین شوند. در این خصوص به سه مؤلفه اصلی زیر اشاره می‌شود:

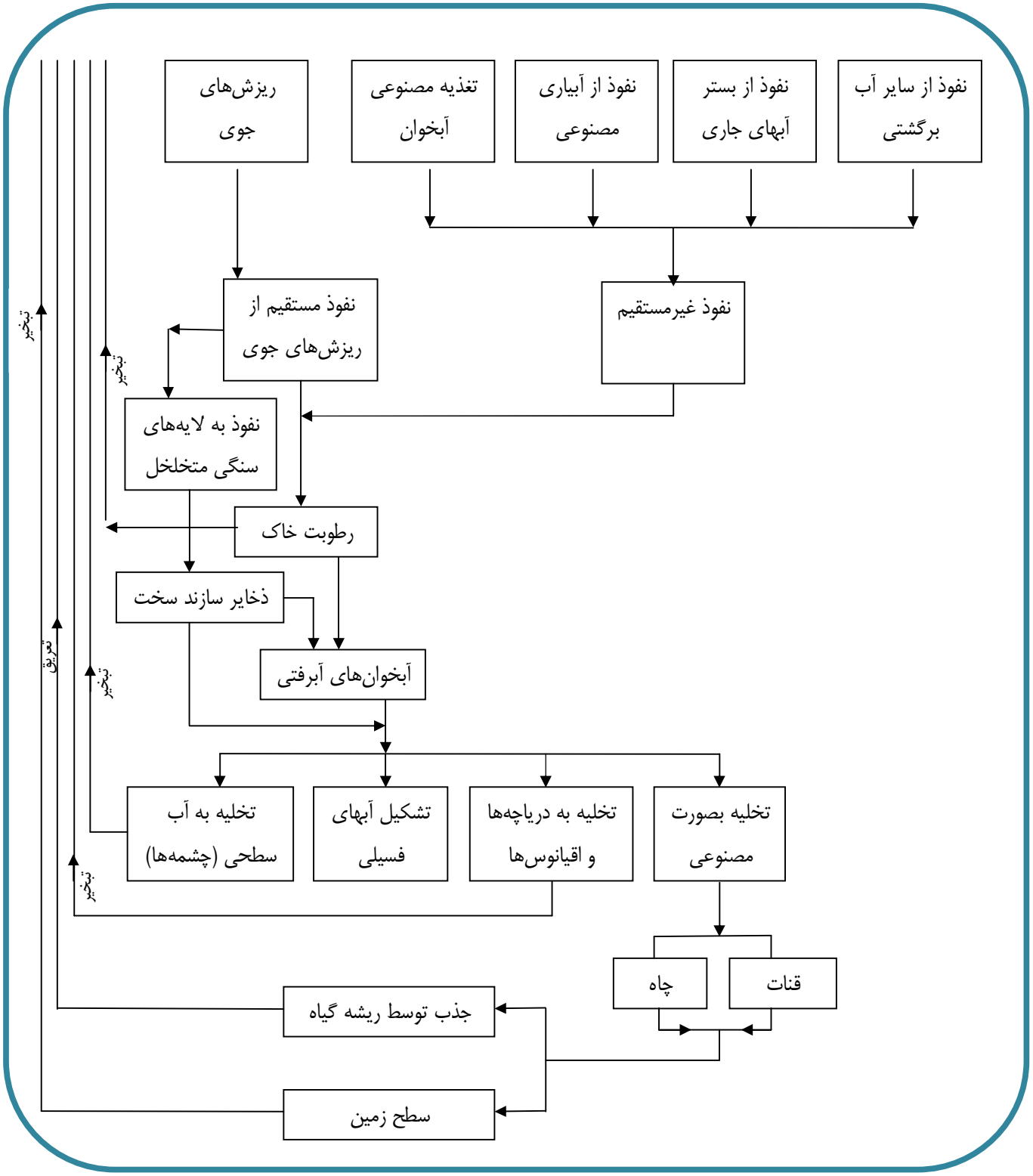
- جریان‌های سطحی که در مسیرهای طبیعی قابل نفوذ حرکت می‌نمایند.
- مقادیری از منابع آبی که بطور مصنوعی برای منظور آبیاری از منابع آب سطحی و یا زیرزمینی تأمین می‌شوند در مسیر انتقال و همچنین در محل مصرف نفوذ پیدا می‌نمایند.
- علاوه بر آب برگشتی از آبیاری بخشی از آبهایی که برای سایر منظورهای مصرف نظیر مصارف خانگی، صنایع، آبزی‌پروری و ... تأمین می‌شوند نیز بر حسب نوع و شیوه انتقال علاوه بر مسیر انتقال، در محل مصرف نفوذ پیدا می‌نمایند.
- آب سطحی که بصورت تغذیه مصنوعی* برای تقویت آبخوان‌ها وارد سفره آب زیرزمینی می‌شوند (شکل ۱۱).



شکل ۱۱: تغذیه مصنوعی (مسیر نفوذ)

آب نفوذی از طرق ذکر شده مجدداً پس از تأمین رطوبت خاک بطوریکه در شکل (۱۲) نشان داده شده می‌توانند در مدار حرکت آب به آبخوان‌ها وارد شده و نهایتاً به اشکال مختلفی که قبلاً توضیح داده شده در چرخه آب مشارکت داشته باشند.

نمودار شماره (۱۲) بخوبی پیچیده‌گی‌های موجود در فرایند نفوذ آب را به عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی چرخه آب ارائه می‌دهد.



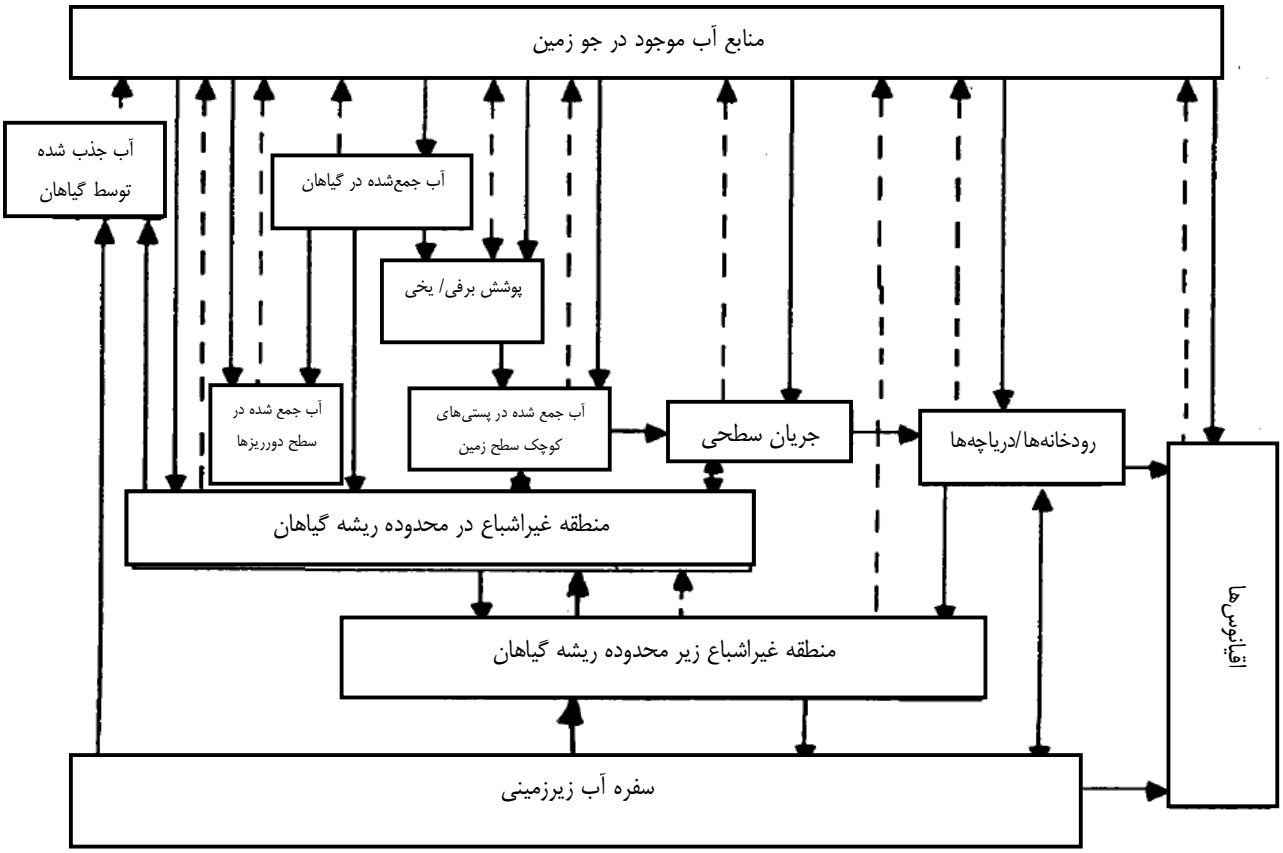
شکل ۱۲: مسیرهای مختلف نفوذ آب

۵-نگاهی سیستمی* بر چرخه آب

در مطالب پیشین این نوشته، الگوی ساده شده چرخه آب و سپس شکل پیچیده آن که در طبیعت عملاً اتفاق می افتد به تفکیک فرایندهای اصلی چرخه آب یعنی بارش، جریان، تبخیر و نفوذ توضیح داده شد. در این بخش مطالب ارائه شده قبلی درکنار هم ومختصراً با یک نگاه سیستمی به چرخه آب به هم متصل شده است. این نگاه به چرخه‌ی آب در طبیعت هدفی را دنبال می‌کند که با شناخت آن هدف می‌توان نمایش دقیق‌تری از اجزای این چرخه از نظر تبادلات میان ذخایر آب در موقعیت های مختلف در کره زمین (شامل جو زمین، سطح زمین و زیرزمین) از طریق تبخیر، بارش، جریان و نفوذ در پیش چشم داشت. در واقع این طرز نگاه به موضوع و آرایش سیستمی مؤلفه‌های چرخه آب می‌تواند بستر مناسبی را برای مدل‌سازی جهت محاسبه و کمی کردن منابع آب تجدید شونده در مقیاس های مختلف فراهم نماید. بدین منظور شکل ۱۳ تنظیم گردیده است. بطوریکه از این شکل مشاهده می‌شود ذخایر آب موجود در کره زمین را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

- **آب موجود در آتمسفر:** هرچند منابع آب موجود در لحظه معینی در آتمسفر در مقایسه با منابع آب موجود در سایر مؤلفه‌های چرخه آب خیلی کمتر می‌باشد ولی در واقع آتمسفر شاهراه اصلی انتقال و حرکت آب در چرخه آب را تشکیل می‌دهد. بخش عمده آب موجود در جو زمین در پوشش‌های ابری مختلف متمرکز است. لیکن در هوای غیر ابری نیز بخار آب بصورت غیرمتراکم وجود دارد. برمبنای برآوردهای انجام شده ذخایر آب موجود در یک لحظه معین در آتمسفر معادل ۳۱۰۰ کیلومتر مکعب می‌باشد که اگر کل این منابع آب ریزش نماید تنها قشری به عمق ۲/۵ سانتی‌متر در کل کره زمین را تشکیل خواهد داد.
- **آب موجود در سطح زمین:** مطابق شکل (۱۳) این منابع را می‌توان به صورت‌های زیر مشاهده نمود:
  - آب موجود در سطح پوشش گیاهی
  - آب موجود در پیکره پوشش‌های گیاهی
  - آب موجود در پوشش‌های برفی و یخی
  - آب موجود در عوارض کوچک مقیاس (منظور پستی‌ها و فرورفتگی‌های کوچکی است که در زمان بارندگی، آب درآنها ذخیره وسپس سرریزشده و جریان سطحی راتشکیل می‌دهد.)

- آب موجود در جریان‌های سطحی: منظور آن قسمت از منابعی است که بصورت جریان ورقه‌ای قبل از ورود به سیستم آبراهه و رودخانه‌ها تشکیل می گردد.
- آب موجود در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، برکه‌ها، مرداب‌ها و تالاب‌ها
- آب موجود در اقیانوس‌ها



شکل ۱۳: نگاهی سیستمی بر چرخه آب

آب موجود در زیرزمین: این منابع عبارتند از :

- آب موجود در محدوده ریشه گیاهان و نباتات
- آب موجود در بخش غیراشباع* و زیر محدوده ریشه گیاهان
- آب موجود در آبخوان‌ها* (بخش اشباع*)

شکل (۱۳) بخوبی تبادلات موجود بین مجموعه ذخایر آب گفته شده را آشکار می‌نماید. کلیه ذخایر آب موجود در کره زمین به شرحی که در صفحات قبل این گزارش اشاره شد و در شکل مذکور نیز مشخص می‌باشد می‌تواند در تغذیه چرخه آب و یا گردش آب در طبیعت مشارکت داشته باشند. شکل فوق

در کلیت خود یک مدار بسته است که از هر نقطه آن شروع نماییم اجباراً درون چرخه باقی خواهیم ماند و در مسیر خود از مراحل اصلی چرخه آب شامل تبخیر بصورت خط تیره، بارش، جریان و نفوذ بصورت خط ممتد عبور خواهیم نمود.

۶- منابع آب تجدیدشونده

در جدول (۱) ذخایر آب موجود در کره زمین شامل ذخایر آب شور و شیرین و در سه حالت بخار، مایع و جامد، در آتمسفر، سطح و زیرزمین مندرج گردیده است. این ذخایر به عنوان ذخایر ثابت نامیده می‌شوند، بعبارت دیگر چنانچه مجموع منابع آب درکره زمین (هیدروسفر) در یک لحظه معین اندازه‌گیری شود ارقام مندرج در جدول مذکور حاصل خواهد شد. حال اگر تحولات پس از لحظه مذکور در نظر گرفته شود، به دلیل وجود عوامل مؤثر، چرخه آب شروع به عمل خواهد نمود و آب موجود در ذخایر آبی شروع به گردش می‌نمایند. بدین ترتیب تبادل‌های آبی بین خشکی‌ها، اقیانوس‌ها و آتمسفر آغاز خواهد شد. چنانچه یک دوره زمانی یک ساله پس از لحظه مذکور در نظر گرفته شود وحجم آب مبادله شده بین تبخیر و بارندگی که اولی منشاء دومی بوده و مقدار آن ها بخاطر تعادل چرخه آب برابر می باشند، محاسبه شود، حجم حاصل به عنوان منابع آب سالانه در گردش که بطور سالانه تجدید می‌شود، قابل تعریف است.

بر مبنای محاسبات انجام شده در خصوص میزان تبخیر و بارندگی و توزیع حجم حاصل از بارندگی برای مؤلفه‌های مختلف برای کل کره زمین در یک دوره متوسط یک ساله، شکل (۱۴) تنظیم گردیده است (شیوه محاسبه ارقام مندرج در شکل مذکور موضوع این نوشته نیست).

مطابق ارقام محاسبه شده می‌توان به اطلاعات اصلی زیر اشاره نمود:

الف: سطح ریزش یا تبخیر

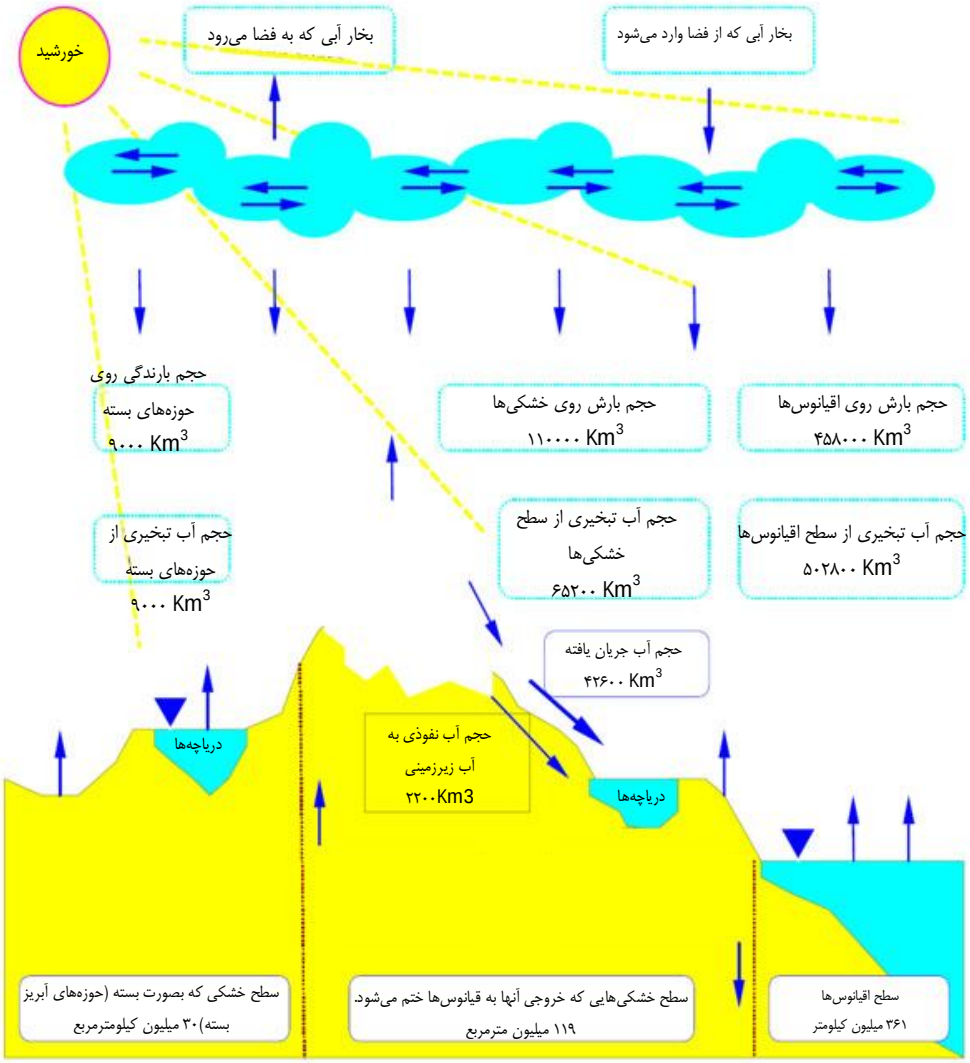
عمل تبخیر و یا ریزش‌های جوی در سه سطح به ترتیب زیر اتفاق می‌افتد:

- اقیانوس‌ها که مساحت آنها معادل ۳۶۱ میلیون کیلومتر مربع محاسبه شده است.
- خشکی‌هایی که خروجی حوزه‌های آبریز آنها نهایتاً به اقیانوس‌ها مختوم می‌شوند به مساحت ۱۱۹ میلیون کیلومترمربع
- حوزه‌های آبریز بسته در سطح خشکی‌های جهان به مساحت ۳۰ میلیون کیلومترمربع

ب: میزان تبخیر

میزان تبخیر از سطوح فوق به ترتیب زیر اتفاق می‌افتد:

• از سطح اقیانوس‌ها به میزان	۵۰۲۸۰۰ کیلومترمکعب	۸۷/۱ درصد کل
• از سطح خشکی‌های منتهی به اقیانوس‌ها	۶۵۲۰۰ کیلومترمکعب	۱۱/۳ درصد کل
• از سطح حوزه‌های آبریز بسته	۹۰۰۰ کیلومترمکعب	۱/۶ درصد کل
• جمع	۵۷۷۰۰۰ کیلومترمکعب	۱۰۰ درصد



شکل ۱۴: توزیع منابع آب تجدیدشونده

ج: حجم ریزش‌های جوی

میزان بارش ها برروی سطوح فوق به ترتیب زیر اتفاق می‌افتد:

• به سطح اقیانوس‌ها	۴۵۸۰۰۰ کیلومترمکعب	۷۹/۳ معادل درصدکل
• به سطح خشکی‌های منتهی به اقیانوس‌ها	۱۱۰۰۰۰ کیلومترمکعب	۱۹/۱ معادل درصدکل
• به سطح حوزه‌های آبریز بسته	۹۰۰۰ کیلومترمکعب	۱/۶ معادل درصدکل
• جمع	۵۷۷۰۰۰ کیلومترمکعب	۱۰۰ درصد

ارقام مذکور مشخص می‌نماید که هرساله بطور متوسط ۵۷۷۰۰۰ کیلومترمکعب از آب ذخیره شده در زمین که اطلاعات مربوط به آنها در جدول (۱) مندرج است بصورت مستمر وارد چرخه آب می‌شود و به همین میزان نیز بصورت ریزش‌های جوی در سطوح مختلف کره زمین ریزش می‌نماید. به عبارت دیگر حجم مذکور به عنوان منابع آب در گردش در کره زمین موجبات پایداری را در حیات کره زمین فراهم می‌آورد.

شایان ذکراست تفاوت بین حجم بارندگی بر روی خشکی‌ها یعنی(۱۱۹۰۰۰=۹۰۰۰+۱۱۰۰۰۰) و تبخیر از سطح آن‌ها یعنی (۷۴۲۰۰=۹۰۰۰+۶۵۲۰۰) کیلومترمکعب که معادل ۴۴۸۰۰ کیلومترمکعب می‌شود مربوط به مجموع جریان‌های سطحی و نفوذ مستقیم از ریزش‌ها به آبخوان‌های زیرزمینی می‌شود که بنا به تعریف منابع آب تجدیدشونده را در خشکی‌های جهان تشکیل می‌دهد. توزیع این رقم بین دو مؤلفه مذکور به شرح زیر است:

• جریان سطحی	۴۲۶۰۰ کیلومترمکعب
• نفوذ مستقیم به آبخوان‌ها	۲۲۰۰ کیلومترمکعب

چناچه از ارقام فوق برمی‌آید، ۹۵ درصد از منابع آب تجدیدپذیر بصورت منابع آب سطحی جریان پیدا می‌کند و ۵ درصد باقیمانده، مربوط به نفوذ مستقیم بارش‌ها به آبخوانها است. بنابراین، منابع آب سطحی و رودها توزیع‌کننده اصلی آب تجدیدپذیر محسوب می‌شوند جریان‌های سطحی در بین مؤلفه‌های مربوطه به چرخه آب نقش بسیار مهم و حیاتی در تأمین نیازهای آبی بشر دارد، زیرا مدت زمان مربوط به تجدید آن بسیار کوتاه می‌باشد. در واقع هر قطره آبی که در سطح زمین نازل می‌شود از دیدگاه نظری زمانی تجدید و به آتمسفر

اندیشکده تدبیر آب ایران

بازخواهد گشت، لکن این زمان وابسته به مسیری است که قطره آب طی می‌نماید. توجه به جدول (۲) این واقعیت را به خوبی توضیح می‌دهد.

جدول ۲: مدت زمان تجدیدشوندگی منابع آب موجود در کره زمین

منابع آب	زمان تجدید شوندگی به سال / روز
منابع آب اقیانوس‌ها	۲۵۰۰ سال
آب زیرزمینی	تا ۱۴۰۰ سال
یخ‌های قطبی	۹۷۰۰ سال
یخچال‌های کوهستانی	تا ۱۶۰۰ سال
دریاچه‌ها	تا ۱۷ سال
مرداب‌ها و تالاب‌ها	تا ۵ سال
رطوب خاک	۱ سال
رودخانه‌ها	۱۶ روز
رطوبت آتمسفر	۸ روز
آبهای بیولوژیکی	چندین ساعت

بطوریکه از جدول مذکور مشاهده می‌شود منابع آب موجود در هر یک از ردیف‌های مندرج در جدول از چندین ساعت تا ۲۵۰۰ سال قابل تجدید می‌باشند. از بین کلیه این مؤلفه‌ها، منابع آب رودخانه‌ها که بطور متوسط در هر ۱۶ روز یکبار قابل تجدید است نقش اساسی و تعیین‌کننده در تأمین نیازهای بشری دارد.

با توجه به اهمیت منابع آب سطحی در بررسی منابع آب تجدیدشونده و در جهت ارائه تصویری از توزیع جریان‌های سطحی در مناطق مختلف دنیا، وضعیت رودخانه‌های مهم (با آبدهی لحظه‌ای بالاتر از ۲۰۰۰ مترمکعب در ثانیه در جدول (۲-۱) در پیوست شماره دو ارائه شده است). در این جدول همان‌گونه که ملاحظه می‌شود رودخانه‌های با بیشترین آبدهی لحظه‌ای عبارتند از: آمازون، گنگ، کنگو. همچنین، در جدول (۲-۲) در پیوست شماره دو، رودخانه‌های مهم ایران با آبدهی بیشتر از ۳۰ مترمکعب در ثانیه آورده شده است.

مقایسه رودخانه‌های مهم در جهان و ایران نشان می‌دهد که پرآب‌ترین رودخانه‌های ایران در مقایسه با رودخانه های پرآب جهان، دارای متوسط آبدهی بسیار پایینی هستند. برای مثال آبدهی متوسط پرآب‌ترین رودخانه ایران، حدود ۴۲۵ مترمکعب در ثانیه است. در صورتی که شصت و یکمین رودخانه مهم

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

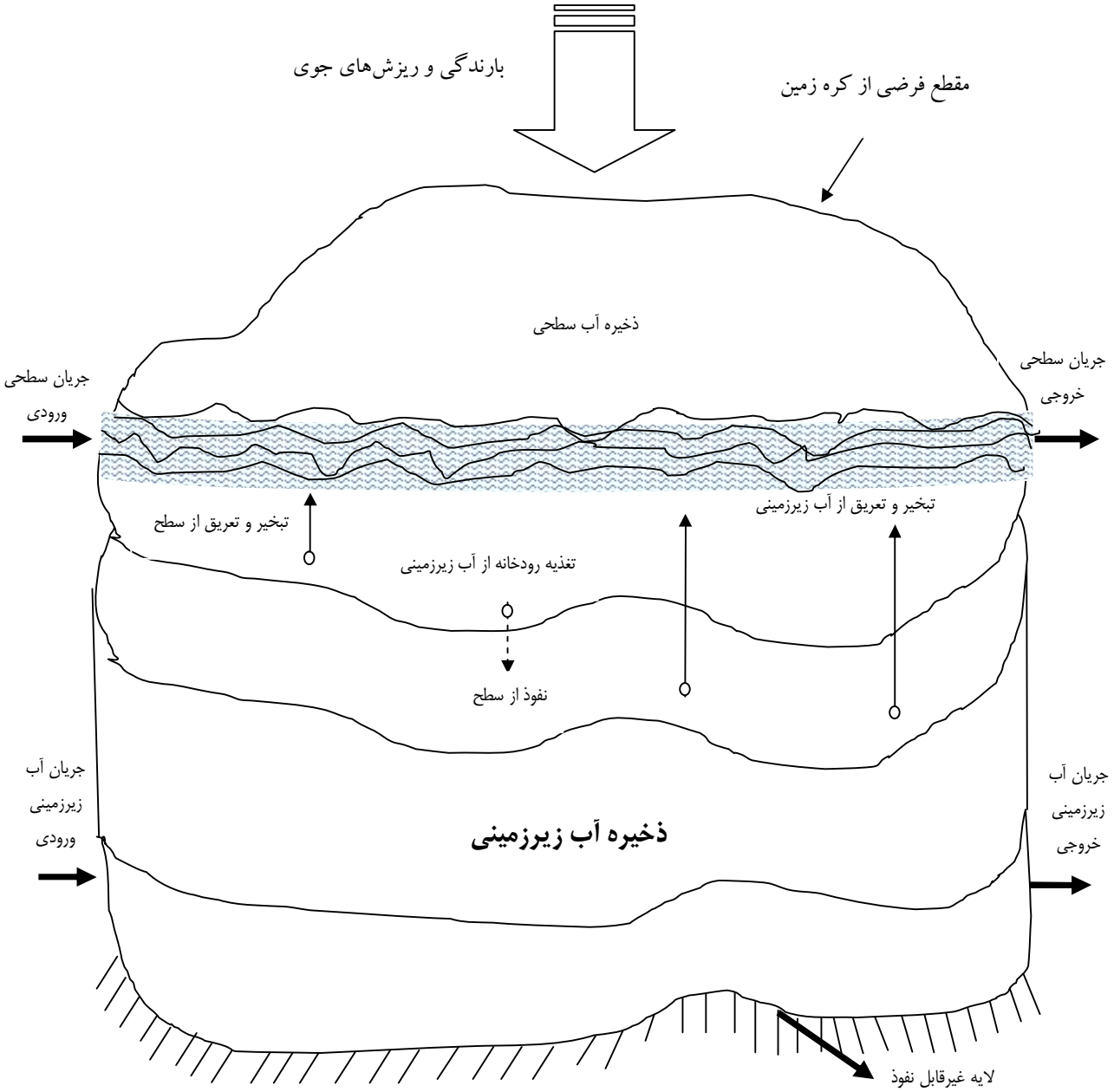
جهان در جدول (۲-۱)، رودخانه St. Marys حدود ۲۱۳۵ مترمکعب در ثانیه آبدهی دارد. این نشان از مقدار پایین منابع آب تجدیدپذیر سطحی در ایران نسبت به جهان دارد.

شایان ذکر است که براساس روش‌های شناخته شده موجود که برحسب زمان به لحاظ پیشرفت فن‌آوری، ابعاد تازه‌ای نیز پیدا می‌نماید می‌توان منابع آب تجدیدشونده را در هر محدوده‌ای در داخل یک کشور و یا در سطح زمین از مقیاس بسیار کوچک نظیر پشت بام یک خانه گرفته تا سطوح قاره‌ها و مقیاس جهانی محاسبه نمود.
نکته حائز اهمیت در انتخاب یک محدوده مشخص از کره زمین برای بررسی عوامل چرخه آب این است که باید در این شرایط به دلیل عدم نگاه یکپارچه به کل کره زمین و انتخاب یک بخشی از آن، به ورودی و خروجی‌های جانبی توجه نمود. با مروری به شکل (۱۵) این موضوع بخوبی روشن می‌گردد. با توجه به مراتب فوق از نظر مقیاس مکانی و زمانی، انواع منابع آب تجدید شونده به شرح زیر قابل تفکیک است:

الف- منابع آب تجدید شونده در مقیاس جهانی در طول یک سال

ب- منابع آب تجدیدشونده در سطح خشکی‌های جهان در طول یک سال

ج- منابع آب تجدیدشونده در مقیاس کشوری، حوزه آبریز و یا هر محدوده جغرافیایی دیگر در طول یک سال.



شکل ۱۵: عوامل چرخه آب در مقطعی از کره زمین

بطوریکه ملاحظه می‌شود در محاسبه و کمی نمودن مؤلفه‌های مختلف در چرخه آب علاوه بر مواردی که در صفحات قبلی آمده است، بایستی مقادیر مربوط به جریان‌های سطحی ورودی، جریان‌های سطحی خروجی، آب زیرزمینی ورودی، آب زیرزمینی خروجی، و اثرات آنها در میزان ذخیره یا تخلیه ذخیره، مورد

توجه قرار گیرد. چنین محاسباتی به عنوان بیلان منابع آب شناخته می‌شود که شیوه‌های مربوط به محاسبه و ارزیابی آنها موضوع این نوشته نمی‌باشد.

۷-مروری بر منابع آب تجدیدشونده در ایران

قبل از ارائه ارقام و اطلاعات اجمالی در خصوص منابع آب تجدیدشونده در ایران بی‌مناسبت نیست که مقایسه‌ای بین بارندگی متوسط جهانی و بارندگی متوسط در سطح کشور صورت گیرد. بر مبنای اطلاعات جمع‌بندی شده میزان متوسط درازمدت بارندگی در سطح دنیا معادل ۷۵۰ میلی‌متر در سال و مقدار نظیر آن در سطح کشور ایران حدود ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. به عبارت دیگر مقدار ریزش‌های جوی در سطح ایران از نظر ارتفاع ریزش‌ها نسبت به ارتفاع ریزش‌ها در سطح جهانی حدود یک سوم است. این موضوع به دلیل قرار گرفتن ایران در کمربند کم باران جهان می‌باشد. در تبیین علل وجود این کمربند کم باران لازمست توضیح مختصری ارائه گردد.

بطوریکه قبلاً نیز اشاره شده، مهمترین نیروی پیش برنده در چرخه آب، انرژی خورشید است. شدت این انرژی در بخش‌های استوایی کره زمین حداکثر و در قطبین حداقل می‌باشد. به علت چنین تفاوتی هوای گرم شده در منطقه استوایی که مرطوب نیز می‌باشد به دلیل انبساط صعود نموده و در ارتفاع بین ۱۰ تا ۱۵ کیلومتری از سطح زمین به طرف قطبین حرکت می‌نماید. در مقابل، هوای سرد قطبی نیز در نزدیکی‌های سطح زمین به طرف مناطق استوایی سرازیر می‌گردد.

علت اصلی خشکی ایران، وجود توده هوای"پرفشار جنب حاره‌ای" در حوالی عرض جغرافیایی ۳۰ درجه شمالی می‌باشد که کشور را با وسعتی معادل ۱۶۵ میلیون هکتار، عمدتا متشکل از کوهستان‌ها و بیابان‌ها، تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. بیشتر بیابان‌های کره زمین شامل کویر لوت، صحرای آریزونا، بیابان‌های شیلی در محدوده این عرض جغرافیایی در نیمکره شمالی و جنوبی گسترده می‌باشد. الگوهای ریزش‌های جوی و شرایط اقلیمی در این مناطق تحت تاثیر این مؤلفه پرفشار می‌باشد.

ایجاد مناطق پر فشار در این باند از عرض جغرافیایی بر روی کره زمین، ماحصل تابش خورشید، چرخش زمین و ایجاد نیروهای مؤثر بر جریانات هوا می‌باشد. این عامل سبب می شود که شرایط ایجاد ریزش‌های جوی کمتر حادث گردد. لذا عمده مناطقی که در این محدوده جغرافیایی واقع هستند، جزو مناطق کم باران دنیا

اندیشکده تدبیر آب ایران

می‌باشند.با عنایت به مقدمه فوق ذیلاً اطلاعات مربوط به منابع آب تجدید شونده در ایران ارائه می گردد:

بنابه تعریف متوسط سالانه مجموع جریان‌های سطحی رودخانه‌ها و آب نفوذی مستقیم به آبهای زیرزمینی با منشاء ریزش‌های جوی بعلاوه مجموع جریان‌های سطحی و زیرزمینی طبیعی ورودی با منشاء خارجی، منابع آب تجدیدشونده در محدوده حاکمیت یک کشور را تشکیل می‌دهد. به استناد اطلاعات موجود مشخصه‌های اصلی ریزش‌های جوی و فرایند تبدیل آنها به منابع آب تجدید شونده با منشاء داخلی در سطح کشور به شرح زیر می‌باشد:

- میانگین سالانه حجم آب حاصل از ریزش‌های جوی در قلمرو سرزمینی: ۴۱۲ میلیارد مترمکعب
- میانگین تبخیر و تعرق از ریزش‌های مذکور: ۲۹۴ میلیاردمترمکعب
- جریان‌های سطحی خالص از حجم ریزش‌های حاصل: ۹۳ میلیاردمترمکعب
- نفوذ مستقیم از ریزش‌های جوی به آبخوان‌های کشور: ۲۵ میلیاردمترمکعب

بطوریکه ملاحظه می‌شود حدود ۷۱ درصد از حجم ناشی از ریزش‌های جوی به صورت تبخیر و تعریق از دسترس خارج می‌شود و تنها ۲۹ درصد یعنی ۱۱۸ میلیارد مترمکعب از حجم ریزش‌ها به صورت آب سطحی و تغذیه زیرزمینی به طوربالقوه به عنوان منابع آب تجدیدشونده با منشاء داخلی در اختیار ساکنین کشور قرار می گیرد.

علاوه بر منابع آب حاصل از ریزش‌های جوی در محدوده سرزمین، حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب جریان‌های سطحی یا با قطع مرزها وارد کشور می‌شود و یا به صورت رودخانه‌های مشترک مرزی جریان پیدا می‌نماید. (در مورد میزان آب زیرزمینی ورودی به کشور اطلاعات موثق و مستند موجود نمی‌باشد). بدین ترتیب مجموع منابع آب تجدید شونده کشور به ۱۳۰ میلیارد مترمکعب در سال بالغ می‌شود و در واقع سرمایه اصلی پایداری حیات در سرزمین ایران را این حجم آب تشکیل می‌دهد.

۸-نشانگرهای وابسته به آب تجدیدپذیر

نگرانی از کمبود آب (Water Scarcity) که بعنوان دسترسی اندک به میزان آب کافی برای مصارف بشری و محیط زیستی به صورت فراگیر و گسترده شناخته شده است، بعنوان مسئله‌ای جدی در بسیاری از کشورها رو به افزایش است. اگرچه هنوز اجماعی بر تعریف کمبود آبی و یا اندازه‌گیری آن وجود ندارد، اما به هرصورت بعضی از نشانگرها براساس منابع آب تجدیدپذیرتعریف شده‌اندکه در اینجا به دو نمونه آن اشاره می‌شود.

یکی از معروف‌ترین روش‌های اندازه‌گیری کمبود آبی، **شاخص فالکن مارک یا شاخص تنش آبی** (Water Stress) است. این روش تنش آبی را بر اساس میزان آب شیرین تجدیدپذیر به ازای هر فرد در سال (مقدار سرانه منابع آب تجدیدپذیر) طبقه‌بندی می‌کند. چنانچه میزان سرانه آب تجدیدپذیر در یک کشور زیر ۱۷۰۰ متر مکعب باشد، گفته می‌شود که در تنش آبی قرار دارد، زیر ۱۰۰۰ یعنی دچار بحران آبی شده است و زیر ۵۰۰ کمبود آب مطلق.

با توجه به اینکه درحال حاضرسرانه آب تجدیدپذیر ایران حدود ۱۹۰۰ مترمکعب می‌باشد ایران بر اساس این معیار در آستانه تنش آبی قرار دارد.

روش شاخص تنش آبی به دلیل آنکه که از نظر کاربرد، بسیار مستقیم و سرراست و آسان است و داده‌های مورد نیاز به راحتی قابل دسترس می باشد، روش مرسومی است.

نسبت بحران آب (Water Criticality Ratio) بعنوان یک نشانگر جایگزین مطرح است. این نشانگر کمبود آب را بر حسب برداشت آبی هر کشور در مقایسه با میزان آب تجدیدپذیر محاسبه می‌کند. بنیاد کمیسیون توسعه پایدار سازمان ملل این نشانگر را به عنوان شاخص اندازه‌گیری بحران آب معرفی کرده است. براساس شاخص مذکور هرگاه این نسبت کمتر از ۱۰ درصد باشد کشور بدون بحران، چنانچه بین ۱۰-۲۰ باشد، بحران در حد متعادل و اگر این مقدار درحد فاصل ۲۰-۴۰ درصد باشد بحران در وضعیت متوسط است. اگر میزان برداشت آب یک کشور بیشتر از ۴۰ درصد کل منابع آب تجدیدپذیر آن باشد این کشور با بحران شدید آب مواجه می باشد. با توجه به اینکه در ایران هم اکنون بیشتر از ۷۰ درصد کل آب تجدیدپذیر مورد استفاده قرارمی گیرد، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد.

در جدول زیر برای تعدادی از کشورهای منتخب (تعداد ۳۲ کشور) در سطح دنیا اطلاعات زیر ارائه شده است:

- منابع آب تجدیدشونده
- میزان برداشت از منابع آب برای تأمین نیازهای کشور (مصارف خانگی، صنایع و کشاورزی)
- نسبت برداشت از منابع آب به کل منابع آب تجدید شونده
- درصد وابستگی کشورها به منابع آب با منشاء خارجی (ورودی به محدوده سرزمینی)

از بررسی جدول مذکور و اطلاعات ارائه شده می‌توان به یک نوع طبقه‌بندی به شرح زیر اشاره نمود:

جدول ۳: منابع آب تجدیدشونده، میزان برداشت از منابع آب و درصد وابستگی به منابع آب خارجی برای تعدادی از کشورهای منتخب

ردیف	نام کشور	منابع آب تجدید شونده (میلیاردمترمکعب)	برداشت برای مصارف (میلیاردمترمکعب)	نسبت برداشت منابع آب تجدید شونده (درصد)	درصد وابستگی به منابع آب خارجی
۱	برزیل	۸۲۳۳	۵۸	۰/۷	۳۴
۲	روسیه	۴۴۹۸	۷۶/۶	۱/۷	۴/۳
۳	کانادا	۳۳۰۰	۴۶	۱/۴	۲
۴	آمریکا	۳۰۶۹	۴۷۸	۱۵/۶	۸/۲
۵	اندونزی	۲۸۳۸	۱۱۳	۴	۰
۶	چین	۲۸۳۰	۵۵۴	۱۹/۶	۱
۷	هند	۱۹۰۸	۷۶۱	۴۰	۳۰/۵
۸	ژاپن	۴۳۰	۹۰	۲۱	۰
۹	استرالیا	۳۹۸	۲۲/۶	۵/۷	۰
۱۰	ترکیه	۲۳۴	۴۰	۱۷	۱
۱۱	پاکستان	۲۳۳	۱۸۴	۷۹	۷۶
۱۲	سودان	۱۵۴	۳۷	۲۴	۷۷
۱۳	ایران	۱۳۰	۹۶	۷۴	۷
۱۴	اسپانیا	۱۱۱	۳۲/۵	۲۹/۳	۰/۲۷
۱۵	مکزیک	۴۵۷	۸۰	۱۷/۵	۱۰/۵
۱۶	تاجیکستان	۱۰۰	۱۱/۵	۱۱/۵	۱۶/۷
۱۷	عراق	۹۶	۶۶	۶۹	۵۴
۱۸	مصر	۸۷	۶۸	۷۸	۹۷
۱۹	ازبکستان	۷۲	۵۶	۷۸	۷۷
۲۰	افغانستان	۶۵	۲۰/۳	۳۱/۲	۱۵/۴

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

۲۱	ترکمنستان	۶۱	۲۸	۴۶	۹۷
۲۲	سوریه	۴۶	۱۶/۸	۳۶	۷۲
۲۳	آذربایجان	۳۰	۱۲/۲	۴۱	۷۷
۲۴	یمن	۴/۱	۳/۶	۸۸	۰
۲۵	عربستان	۲/۴	۲۳/۷	۹۸۷/۵	۰
۲۶	اردن	۰/۹	۰/۹	۱۰۰	۲۷
۲۷	لیبی	۰/۶	۴/۳	۷۱۶	۰
۲۸	امارات	۰/۲	۴	۲۰۰۰	۰
۲۹	بحرین	۰/۱	۰/۴	۴۰۰	۰
۳۰	کویت	۰/۰۲	۰/۹	۴۵۰۰	۰
۳۱	قطر	۰/۱	۰/۴	۴۰۰	۰
۳۲	عمان	۱	۱/۳	۱۳۰	۰

- کشورهایی که برداشت برای مصارف از منابع آب تجدید شونده آنها رقم کوچکی را تشکیل می‌دهد، نظیر برزیل، روسیه، کانادا، اندونزی. البته این موضوع به این مفهوم نیست که در این کشورها منابع آب تجدیدشونده توسعه نیافته است (از طریق سرمایه‌گذاری و احداث سازه‌های آبی) بلکه برداشت آبی در مقابل منابع آب تجدیدشونده آنها بسیار کوچک است.
- کشورهایی که درصد برداشت از منابع آب در آنها بین ۴۰ درصد تا ۱۰۰درصد منابع آب تجدید شونده می باشد، نظیر کشورهای هند، پاکستان، ایران، عراق، مصر، ازبکستان، ترکمنستان، آذربایجان و یمن. این نوع کشورها به لحاظ این نشانگر یعنی نسبت برداشت از منابع به منابع آب تجدید شونده به مرزهای توسعه فیزیکی رسیده و یا به آن نزدیک شده‌اند (از نظر برخی از محافل بین‌المللی مرز مناسب برای توسعه فیزیکی منابع آب بین ۴۰ تا ۶۰ درصد می‌باشد).
- کشورهایی که برداشت از منابع آب آنها از مرز منابع آب تجدید شونده عبور نموده است، نظیر عربستان، اردن، لیبی، امارات، بحرین، کویت، قطر و عمان. این نوع کشورها نیازهای بیش از حد منابع آب تجدیدشونده خود را بطوریکه قبلاً نیز توضیح داده شده از طریق استفاده از منابع آب ایستا(فسیلی) و یا غیرمتعارف نظیر شیرین‌کردن آبهای شور تأمین می‌نمایند. بطور مثال در کشوری مثل امارات منابع آب استحصالی بیش از ۲۰۰ برابر منابع آب تجدید شونده کشور است.

- کشورهایی‌که وابستگی منابع‌آب تجدیدشونده آنها به منابع‌آب خارجی درصدهای قابل ملاحظه‌ای را تشکیل می دهد نظیر پاکستان، سودان، عراق، مصر، ازبکستان، ترکمنستان، سوریه و آذربایجان. بدیهی است این نوع کشورها با چالش‌های بزرگی در ارتباط با تأمین نیازهای آبی خود مواجه خواهند بود و به ویژه با گذشت زمان که تقاضای آب در کشورهای همجوار افزایش می‌نماید، می‌تواند موجب مناقشات آبی(Water Conflicts) شود.

البته می‌توان به منظور اتخاذ مناسب‌ترین شیوه برای مدیریت آب در محدوده حاکمیت هر کشور از نشانگرهای دیگری نیز نام بردکه موضوع این نوشته نمی‌باشد، بلکه ارائه اطلاعات مذکور صرفاً برای توضیح ضرورت انتخاب نشانگرهای مناسب برای مدیریت آب در هر کشور متناسب با ویژگی‌های آن کشور البته با رعایت موازین، اصول و مبانی پذیرفته شده می‌باشد.

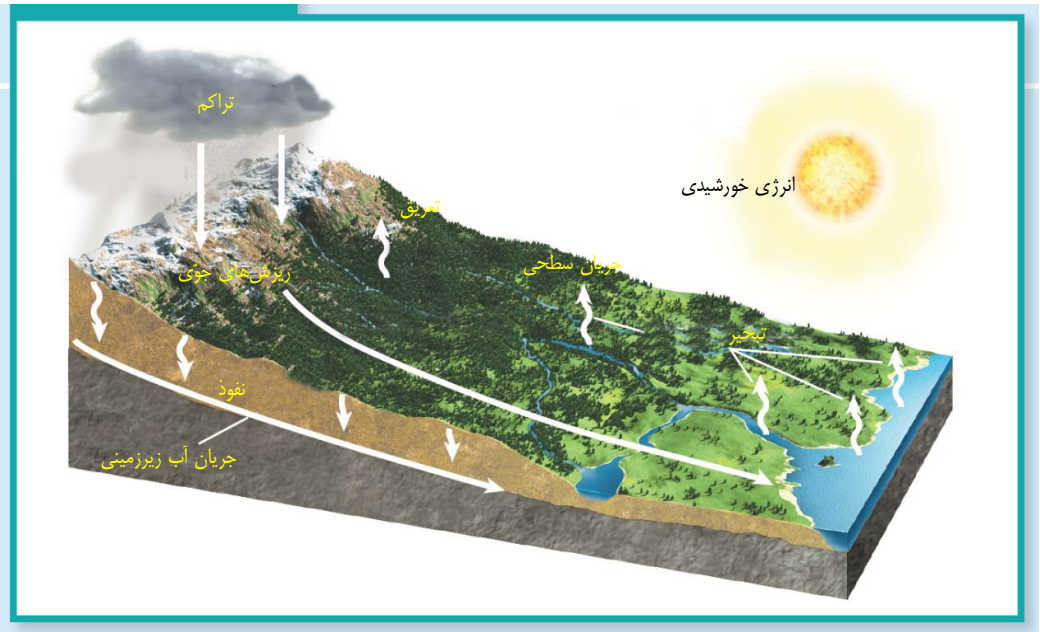
۹- دخالت بشر در چرخه آب و پیامدهای آن

شکل (۵) که قبلاً ارائه شده و شکل سه بعدی و رنگی آن یعنی شکل (۱۶) مؤلفه‌های چرخه آب در طبیعت را نشان می‌دهند، بطوریکه در این شکل‌ها مشاهده می‌شود در فرآیندهای مربوط به چرخه آب هیچگونه دخالتی صورت نگرفته و جریان مستمر گردش آب در طبیعت بدون دست‌خوردگی و دخالت عامل غیرطبیعی ادامه می‌یابد.

در مقیاس جهانی چنین وضعیتی شاید به میلیون‌ها سال پیش، زمانی که هنوز نسل بشری پا به عرصه وجود نگذاشته بود، برمی‌گردد (هرچند در مقیاس‌های کوچکتر می‌توان مناطق یا حوزه‌های آبریزی را در جهان شاهد بود که هنوز تا اندازه زیادی شرایط طبیعی خود را حفظ نموده‌اند). با شروع فعالیت‌های بشری در عرصه طبیعت و به ویژه تجمع جوامع انسانی و پایه‌گذاری تمدن‌ها، از آنجائیکه اولین و شاید مهمترین نیازهای بشر در تأمین نیازهای خود به منابع آب مربوط می‌شد، دخالت بشر در چرخه آب اجباراً غیر قابل اجتناب گردید. در طول قرن‌ها و سال‌های متمادی به دلیل فراوانی نسبی آب در قیاس با نیاز انسان‌ها، تعداد کم جمعیت در محدوده تمدن‌ها و نوع فناوری‌های مورد استفاده، دخالت‌های بشر در چرخه آب از جمله بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی توسط چاه‌های دستی و قنات و از منابع آب سطحی در مقیاس محدود و با استفاده از فن‌آوری‌های ساده نظیر ایجاد بندهای انحرافی و یا سایر تأسیسات آبی که در تاریخ تمدن بشری ثبت و ضبط

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن، و کشاورزی کرمان

گردیده و آثار آنها هنوز در نقاط مختلف دنیا قابل مشاهده است، صورت می‌گرفته است. با گذشت زمان و افزایش جمعیت، بروز انقلاب صنعتی و افزایش نیازهای بشری برای تأمین مواد غذایی، انرژی و همچنین تأمین نیازهای روزانه، دامنه و ابعاد دخالت‌های بشری در چرخه آب گسترده‌تر و پیچیده‌تر گردید.



شکل ۱۶: چرخه آب در طبیعت (بدون دخالت بشر)

ایجاد کانون‌های متراکم جمعیت و بوجود آمدن مراکز شهری و مناطق صنعتی و بالاگرفتن انواع بهره‌برداری‌ها و خطرات ناشی از آب در ابعاد گسترده، موجب گردید که نسل بشر برای ساماندهی این نیازها تلاش و بطور مستقیم و غیرمستقیم در چرخه آب دخالت نماید. شکل عمومی انواع دخالت‌ها و تاثیر هریک بر چرخه طبیعی آب را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- **ذخیره سازی مصنوعی آب:** از آنجائیکه با بروز شرایط افزایش نیازها، توزیع زمانی جریان‌های سطحی در رودخانه‌ها با توزیع زمانی نیازهای مراکز جمعیتی، صنعتی همخوانی ندارد(بطور مثال اغلب رودخانه‌ها در ماه‌های تابستان با حداقل جریان مواجه هستند در حالیکه بخش اعظم نیازهای آبی در ماه‌های تابستان اتفاق می‌افتد). بنابراین برای تطبیق این نیازها، ذخیره‌سازی آب در ماه‌های پرآبی و استفاده از این ذخایر در ماه‌های کم آب ضرورت پیدا می‌کند. بدین ترتیب یکی از مهمترین و اصلی‌ترین دخالت‌های بشر در چرخه آب آغاز گردید و صنعت سدسازی متولد شد، امروزه

اندیشکده تدبیر آب ایران

بیش از ۸۵۰۰۰ سد مخزنی در سرتاسر جهان که در واقع منابع آب را بطور مصنوعی ذخیره‌سازی می‌نمایند در دست بهره‌برداری است.این موضوع موجبات تغییر در فرایندهای چرخه آب از نظر فرایندهای تبخیر و نفوذ و دیگر تاثیرات شده است.

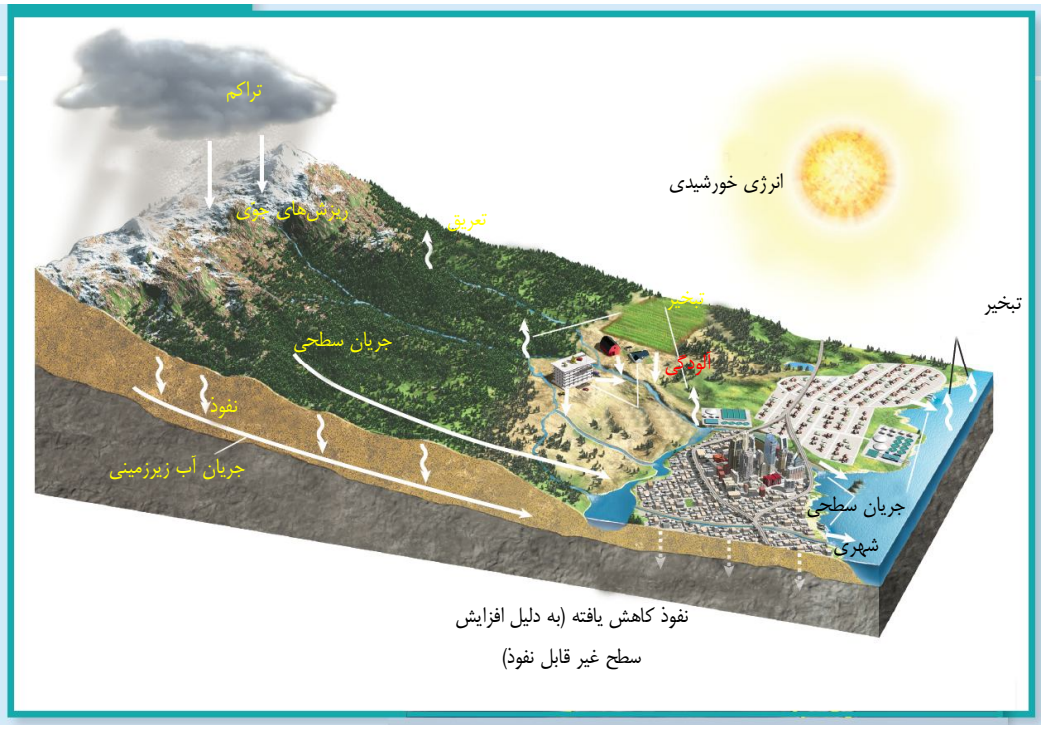
- **استخراج مصنوعی از منابع آب زیرزمینی:** بطوریکه می‌دانیم این عمل (دخالت) بطور سنتی از طریق حفر چاه‌های دستی و قنوات و بطور مدرن از طریق حفر و بهره‌برداری از چاه‌ها، اعم از چاه‌های سطحی (دستی)، نیمه عمیق و عمیق صورت می‌گیرد. بهره‌برداری از تعداد زیادی چاه عمیق در یک دشت با مکش بیش از حد آب از اعماق زیاد توسط چاه‌های عمیق، می‌تواند نهایتاً منجر به افت شدید سطح سفره آب در آن دشت شود. این پدیده باعث کاهش آبدهی عموم چاه‌ها و خشکیدن قنوات احداث شده در آن سفره آبی خواهد شد. همین ویژگی منفی چاه‌های عمیق ضمن آنکه می‌تواند موجب توسعه کشاورزی در کوتاه مدت شود، عامل اصلی هجوم جبهه آب های شور و شور شدن و کاهش آبدهی چاه های موجود، افزایش هزینه‌های استحصال آب و مصرف انرژی، پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و نشست زمین و از بین رفتن ظرفیت ذخیره آب نفوذی در خلل و فرج آبخوان ها، آثار منفی زیست محیطی وتشدید بیابان‌زایی و بروز تنش و مناقشه بین بهره‌برداران یک سفره آبی و حتی بین نسل‌های متوالی آنها می‌باشد. شایان ذکر است موضوع اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی به عنوان یک پدیده خطرناک در مقیاس جهانی ارزیابی شده و براساس اطلاعات منتشر شده توسط سازمان همکاری‌های اقتصادی و توسعه، OECD، در فاصله زمانی سال های ۱۹۶۰ تا ۲۰۰۰ میلادی، میزان اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی* دو برابر شده است. پیش‌بینی‌های صورت گرفته نشان می‌دهد که چنانچه با این پدیده بطور جدی و هوشمندانه برخورد نشود، در آینده به عنوان یکی از عوامل و مؤلفه‌های اصلی بازدارنده برای توسعه پایدار خواهد بود.
- **انتقال آب:** از آنجائیکه معمولاً محل مصارف آب با محل ذخیره‌سازی آب همخوانی ندارد، به منظور آبرسانی به محل‌های مصرف، بشر ناچار است با ایجاد تأسیسات و سازه‌های مختلف نظیر سدهای انحرافی، کانال و تونل‌ها نسبت به انتقال آب از محل‌های ذخیره آب به محل‌های مصارف اقدام نماید. این امر موجب می‌شود که آبها از مسیر طبیعی و اولیه خود به مسیرهای مصنوعی و ساخته شده دست بشری منحرف گردد (دخالت در چرخه طبیعی). این نوع سازه‌ها در بعضی مواقع منابع آب را از یک حوزه آبریز به حوزه آبریز دیگر و از یک منطقه به منطقه دورتر حتی از یک کشور به کشور دیگری منتقل می‌نمایند. پیامدهای آثار این اقدام با توجه به تغییرات چرخه آب در حوزه انتقال دهنده و پذیرنده می بایست با دقت و توجه زیادی مورد بررسی و پیگیری قرارگیرد.

- **استفاده از منابع آب غیر متعارف***: این منابع عبارتند از استفاده از فاضلاب‌های تصفیه شده (پساب‌ها) شهری و صنعتی، شیرین‌کردن آب شور دریا، جمع‌آوری آب باران و نظایر آن. منابع آب غیرمتعارف به خصوص آب‌های شور و بد طعم در دوره خشکسالی منبع جایگزین خوبی در بخش آب کشاورزی هستند. ۴۰ درصد جمعیت جهان در کشورهایی زندگی می‌کنند که دارای کمبود آب متوسط تا بالا هستند. بعنوان مثال ۷۰ درصد کشورهای مدیترانه جزء مناطق ساحلی هستند. در قسمت‌های جنوبی و شرقی حوضه مدیترانه، کشورهایی(مصر، لیبی، مالتا، سوریه و تانزانیا) وجود دارند که منابع آب محدودی دارند. در این کشورها منابع آب غیرمتعارف به طور گسترده‌ای استفاده می‌شوند. تصفیه پساب در مصر، استفاده از آب‌های فسیلی در تانزانیا و لیبی، نمک زدایی در مالتا نمونه‌های این دست هستند. بعنوان مثال در کشور تانزانیا ۹۰ درصد میزان پساب ناشی از مصرف خانگی آن برای آبیاری غلات و علوفه مصرف می‌شود.

- **دستکاری مصنوعی در زمین:** دخالت بشر در این خصوص ابعاد بسیار گسترده‌ای دارد، ایجاد مناطق مسکونی، توسعه راه‌های ارتباطی، ایجاد شبکه‌های آبیاری و زهکشی به منظور آبیاری مصنوعی برای توسعه سطح زیرکشت جهت افزایش تولیدات کشاورزی، ایجاد مناطق صنعتی، توسعه و بهره‌برداری از معادن از جمله مواردی است که بشر عملاً با دستکاری در زمین موجبات اختلال در فرایند طبیعی چرخه آب را فراهم نموده است.
- **دستکاری در مسیر رودخانه‌ها و مسیرهای طبیعی جریان:** بشر به منظور توسعه ترابری و یا ایمن‌سازی مناطق دستکاری شده توسط خود نظیر شهرها، مجبور شده که در مسیر طبیعی رودخانه‌ها از طریق کانالیزه نمودن جریان، اصلاح مسیر، ایجاد دیواره‌های حایل و ... دخالت نماید که این موضوع عملاً مسیرهای طبیعی چرخه آب را با اختلال همراه نموده است.

در این نوشته مجال دیگری برای تشریح ابعاد مختلف این دخالت‌ها وجود ندارد، به منظور مشاهده چرخه آب پس از دخالت بشر شکل (۱۷) ارائه می‌گردد.

اندیشکده تدبیر آب ایران



شکل ۱۷: چرخه آب (پس از دخالت بشر در عرصه‌های طبیعی)

چنانچه در این شکل ملاحظه می‌شود در نتیجه چنین دخالت‌ها، مسیرهای جدیدی برای چرخه آب بوجود آمده است که در شرایط طبیعی وجود نداشت. بطور مثال انتقال آب برای مصارف خانگی موجب گردیده که فاضلاب‌های ناشی از مصارف آب شهری به داخل پیکره‌های آبی وارد شده و آبهای حاصل شده از این طریق در چرخه آب مشارکت نماید و یا آبیاری مصنوعی مسیر جدیدی را برای چرخه آب فراهم نموده است که البته برخی از ابعاد این موضوع در جائیکه درخصوص شکل پیچیده چرخه آب در توضیح شکل‌های (۷) و (۱۲) در بخش قبلی این نوشته آمده، تشریح گردیده است.

علاوه بر دخالت‌های مستقیم بشر در چرخه آب، فعالیت‌های توسعه‌ای جوامع انسانی نیز بطور غیر مستقیم بر چرخه آب تاثیر گذارند. در این میان تاثیر آلودگی‌ها برکیفیت آب و تغییر اقلیم از مهم‌ترین آن‌ها محسوب می‌شوند که بطور مختصر به اهم آن‌ها اشاره می شود.

- **اثرگذاری بر کیفیت منابع آب:** یکی از نتایج فعالیت‌های بشر در نظام‌های اجتماعی تاثیر مستقیم و غیر مستقیم بر کیفیت منابع آب می‌باشد. در حال حاضر کیفیت منابع آب شیرین به شدت در حال تهدید است و هر ساله میلیون‌ها تن فاضلاب تصفیه نشده و مواد زائد وارد منابع آب جهان می‌شود. منظور از کیفیت منابع آب خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آب است که برای

اندیشکده تدبیر آب ایران

پایدار نگاه داشتن مصارف مطلوب آب (ازجمله نیازهای زیست محیطی) ضروری است. کیفیت منابع آب تحت تاثیر فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، تغییر کاربری اراضی و دفع فاضلاب‌ها شهری، صنعتی و کشاورزی و پسماندهای جامد قرار دارد. بخش قابل توجهی از آبی که در جوامع انسانی به مصرف می‌رسد مجددا پس از تغییرات کیفی قابل ملاحظه بصورت فاضلاب به منابع آبی وارد می شود.

- **تاثیر تغییر اقلیم:** شواهد فراوانی حاکی از آنست که اقلیم جهانی در حال تغییر است. این شواهد نشان می‌دهد که بدلیل افزایش تولید گازهای گلخانه ای در نظام های اجتماعی، متوسط دمای سطح زمین در حال افزایش است. از آنجاییکه به صورت مستقیم (پمپ‌های گازوئیلی) ویا غیرمستقیم (پمپ‌های برقی) از سوخت‌های فسیلی برای برداشت آب زیرزمینی استفاده می‌شود، استخراج مصنوعی آب زیرزمینی با فناوری‌های نوین و استفاده از آب‌های غیر متعارف بویژه شیرین‌کردن آب دریا، خود موجبات افزایش گازهای گلخانه‌ای را پدید می‌آورد. اگر چه میزان گرمایش زمین به نظر ناچیز است، اما بسیاری از فرآیندهای طبیعی را تحت تاثیر خود قرار داده است. بعنوان مثال، تغییرات ناشی از این عامل در چرخه آب مستندسازی شده است و بسیاری تحت بررسی هستند. به دلیل آنکه بسیاری از فرآیندها وابسته به درجه حرارت است، گرمایش جهانی حرکت آب در چرخه آب را افزایش می‌دهد. باز توزیع طولانی مدت آب از نظر زمانی و مکانی، افزایش میزان جابجایی آب در ذخیره‌گاه‌های مختلف آن، تغییرات آب و هوایی و الگوی اقلیمی از انواع تاثیرگذاری گرمایش جهانی بر چرخه آب محسوب می‌شوند که در اینجا به مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود.

  - **سطح دریا**: یکی از مسائل عمده در بحث گرمایش زمین به ذوب برف‌های قاره‌ای و سرازیر شدن آنها به سمت خشکی است. سطح جهانی دریا به طور تقریبی به میزان ۲۵ سانتیمتر در ۱۰۰ سال اخیر افزایش یافته است. پیش بینی شده است که این افزایش از ۷/۵ تا ۹۲/۵ سانتیمتر تا سال ۲۱۰۰ ادامه یابد. سوال اساسی آنست که این افزایش سطح بر روی معیشت و دیگر محرک‌های ناشی از تغییر اقلیم و مولفه‌ها و فرآیندهای چرخه آب چه تاثیری دارد.

  - **بارش:** تغییر اقلیم ممکن است زمان، مقدار و طول دوره بارش را تغییر داده و همین امر باعث

بروز مشکلاتی در پایداری ذخایر آبی مورد استفاده بشر و تداوم تشدید مشکلات در این زمینه گردد.

- **پدیده‌های آب و هوایی:** افزایش دما، شدت و نوع پدیده‌های آب و هوایی را دستخوش تغییر کرده است. در سال‌های آخر قرن بیستم، سیلاب و خشکسالی به طور فزاینده‌ای رو به گسترش بوده و شدت و فراوانی آنها افزایش یافته است.

مدیریت آب همواره با تغییرات طبیعی همراه بوده است. تغییر اقلیم به عنوان عاملی که این تغییرات را وسعت بیشتری می دهد، بر شدت آن می‌افزاید و در عدم قطعیت کمیت و کیفیت تغذیه ذخایر آب در طولانی مدت تاثیر گسترده‌تری می گذارد.

۱۰- جمع بندی از ویژگی‌های مهم چرخه آب

تحولات گسترده جوامع انسانی در قرن بیستم و بویژه در نیمه دوم آن موجب گردید که تقابل گسترده‌ای میان توسعه و پایداری منابع طبیعی از جمله آب احساس شود. مصرف آب جوامع انسانی در این قرن ۷ برابر شد درحالیکه جمعیت فقط سه و نیم برابر شده بود. اولین زنگ خطر در سال ۱۹۷۲ در نشست استکهلم به صدا درآمد و نظریه «محدودیت‌های رشد» ارائه شد. زنگ خطر بعدی در بیست سال بعد در نشست زمین در ریودوژانیرو به صدا درآمد که منجر به تهیه دستورکاری برای قرن بعدی شد. این دستور کار به امضای سران و نمایندگان کشورهای مختلف جهان از جمله ایران رسید. فصل ۱۸ این دستورالعمل به آب شیرین اختصاص داشت. از این زمان به بعد ۴ اصل در عرف جهانی مبنای مدیریت صحیح آب قرار گرفت که اولین آن (اصل اول) در ارتباط با خصوصیات و ویژگی‌های چرخه آب تعیین شد. این ویژگی‌ها عبارتند از:

- منبع آب شیرینی که در اثر چرخه آب در اختیار قرار می گیرد، منبعی است محدود و آسیب‌پذیر. قابلیت استحصال آن در هر منطقه بر اساس میانگین درازمدت در یک دوره زمانی معین، مثلا یک سال، مشخص می‌شود. چون مقدار آن امکان تغییر قابل‌ملاحظه‌ای ندارد، باید به آن به چشم یک دارایی طبیعی نگاه کرد که نیاز به مواظبت و حفاظت دارد تا بتواند خدمات خود را بطور دائم در اختیار قرار دهد.
- ارتباط میان اجزای چرخه آب بطور طبیعی به نحوی است که شرایط متعادلی میان چرخه آب و محیط پیرامونی آن برقرار می شود. برهم زدن این تعادل به دلیل دخالت‌های گسترده انسان در سطح کلان (کره زمین)، حوضه آبریز، آبخوان زیرزمینی یا یک منطقه شهری، موجب برهم خوردن این تعادل و

افزایش خطرات تکرار خشکسالی‌ها، سیلاب‌ها، فروچاله‌ها و نشست زمین، شوری و تغییر کیفیت آب و تغییرات گسترده زیست محیطی می‌شود.

- برای توجه و رعایت بهم پیوستگی اجزای چرخه آب و ارتباط متقابل آن با محیط زیست، می‌بایست نگاهی کل‌نگر و فراگیر به مجموعه عوامل مرتبط اثرگذار و تاثیرپذیر داشت و راه‌حل واقعی مسایل مرتبط با آب را بطور جامع و شامل جستجو کرد.

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

پیوست شماره یک: تعاریف واژگان و عبارت‌های کلیدی

در این بخش مفاهیم و واژگان کلیدی که در این نوشتار خواننده با آن مواجه می‌شود تشریح و توضیح خواهد شد تا بین دیدگاه‌های نویسندگان و خوانندگان در خصوص این مفاهیم اشتراک‌سازی و همگرایی ایجاد شود. لزوم این بخش برای درک آنچه نویسنده از به کارگیری این مفاهیم و واژگان منظور دارد ضروری است و نقشی اساسی و پایه‌ای برای فهم این نوشتار ایفا می‌کند. این واژگان در اولین باری که در متن ظاهر می‌شود با علامت ستاره مشخص شده است.

آبخوان (Aquifer): آبخوان لایه زیرزمینی قابل نفوذ و متخلخل از سنگ های نفوذ پذیر و نرم نظیر شن، کنگلومرا، سنگ آهک شکسته شده و شن نرم می باشند که از آب اشباع شده و به راحتی قابلیت انتقال آب را به چاه یا چشمه دارد .اگر چه سنگ هایی نظیر گرانیت و شیست به طور عمومی آبخوان های ضعیفی هستند (به دلیل خلل و فرج کم)، در صورت شکستگی، آبخوان‌های خوبی برای برداشت محسوب می شوند .آب از طریق حفر چاه در داخل آبخوان با استفاده از پمپاژ برداشت می شود و میزان آب برداشتی از طریق بارش به داخل فرج و فرج سنگ های آبخوان جبران می شود. نرخ اضافه شدن آب در داخل آبخوان برای تمامی آبخوان ها یکسان نیست و این مسئله به هنگام برداشت آب بایستی مورد نظر قرار گیرد. درواقع پمپاژ سریع از چاه حتی منجر به خشک شدن چاه‌های مجاوری می شود که از یک آبخوان مشترک آب برداشت می‌کنند. در هر حوضه هر آبخوان متمایز از آبخوان دیگر است. اما قابل ذکر است که مرزهای یک آبخوان معمولا به سمت دیگر آبخوان‌ها کشیده می شود به گونه‌ای که یک آبخوان می تواند بخشی از سیستم آبخوان دیگر باشد. آبخوان‌های چند تایی دارای یک آکی‌تارد در بالا هستند و هر آبخوان با دیگر آبخوان توسط یک آکی‌تارد از دیگری متمایز می شود آکی تارد (Aquitard) لایه‌ای است با نفوذپذیری کم که می تواند آب را در خود ذخیره کرده و آن را از یک آبخوان به آبخوان دیگر با سرعت کم انتقال دهد. به آکی تارد لایه آبدار نشتی هم گفته می‌شود. آکی تاردها از نظر تغذیهٔ آبخوانها در صورتی که در مجاورت آن واقع شده باشند دارای اهمیت هستند ولی اگر چاهی در آنها حفر شود، آبدهی نخواهد داشت.

آبخوانهای سازند سخت (Hard Rock Aquifer): آبهای ذخیره شده در درز و شکاف‌های سازندهای سخت در صورت وجود ارتباط بین آنها و به تبعیت از توپوگرافی زمین ضمن ایجاد یک نوع سفره آب زیرزمینی، جریان پیدا کرده و بصورت چشمه در سطح زمین ظاهر شده و یا به داخل جریانهای سطحی یا دریاها تخلیه شود. ضمناً با حفر چاه نیز می‌توان از آبخوانهای سازندهای سخت بهره‌برداری نمود. مناسبترین آبخوانهای سازند سخت در تشکیلاتی آهکی که در درز و شکاف‌ها بطور یکنواخت و کامل توسعه یافته‌اند، تشکیل می‌شود. و با هم در ارتباط

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

هستند. در این نوع سازندها، چشمه‌هایی با آبدهی خوب وجود دارد.

آب غیر متعارف (Unconventional Water**):** براساس تعریف، آب غیرمتعارف به آبی گفته می‌شود که از تصفیه فاضلاب‌های (پساب‌ها) شهری و صنعتی، شیرین‌کردن آب شور دریا، جمع‌آوری آب باران و نظایر آن. به دست می‌آید. مهمترین منابع آبی آب‌های غیر متعارف، شامل آب دریاها، آب های شور و فاضلاب‌ها و پساب‌ها می‌باشند که پس از تصفیه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این منابع از منظر آب سطحی یا زیرزمینی یا میزان کیفیت قابل طبقه‌بندی هستند. آب‌های غیرمتعارف به دو گروه عمده تقسیم‌بندی شده‌اند. دسته اول گروهی هستند که حاوی مقدار زیادی از مواد جامد معلق هستند. آب دریا، فاضلاب‌های ناشی از فرآیندهای صنعتی، آب زهکش ناشی از زمین‌های کشاورزی، آب‌های زیرزمینی و سطحی با درجه بالای شوری در این دسته قرار می‌گیرند. دومین دسته شامل آن دسته از آب‌ها هستند که از بقایا و پس مانده‌های گیاهان و حیوانات به دست می‌آیند. فاضلاب‌های شهری، فاضلاب‌های صنایع غذایی و فاضلاب‌های مربوط به باغ وحش در این دسته قرار می گیرند.

آب‌های فسیلی (Fossil Water or paleowater): آبهای فسیلی جزو آبهای زیرزمینی هستند که در یک آبخوان محصور در عمق زیاد زمین قرار دارند و برای مدت طولانی محبوس می‌باشند. آب می‌تواند در آبخوانهای فسیلی برای هزاران یا میلیونها سال باقی بماند. مطابق این تعریف و به دلیل عدم امکان تغذیه مجدد این نوع آبخوانها، آبهای فسیلی جزو ذخایر آبی تجدیدناپذیر به شمار می آیند.

آبیاری مصنوعی (Artificial Irrigation): در این شیوه تمام یا بخشی آب مورد نیاز گیاهان به شکل مصنوعی و از طرق مختلف تأمین می‌شود. این شیوه در کشاورزی آبی و برای مناطقی که باران موثر برای تامین نیاز آبی محصولات کشاورزی کافی نیست، استفاده می‌شود.

الگوی مفهومی (Conceptual Model): الگوی مفهومی نموداری است که برای نشان دادن روابط علت و معلولی یک سیستم به شیوه‌ای ساده تدوین می‌شود. الگوهای مفهومی می‌توانند به ایجاد درک مشترک از رفتار یک سیستم (بطور مثال اکوسیستم)، توسعه، اصلاح و مستندکردن آن کمک شایانی نمایند. آنها می‌توانند اساسی برای ترکیب اطلاعات جدید و بهبود مستمر دانش ما از سیستم ارائه کنند.

برداشت اضافی از آب زیرزمینی (Overexploitation of Groundwater): به معنی اضافه‌برداشت از ذخیره طبیعی آبخوان در یک محدوده مشخص به طوری که منجر به ایجاد اثرات تخریبی شدید همچون کاهش مستمر سطح سفره، کاهش آبدهی و کف شکنی و عمیق‌تر کردن چاه‌ها و برداشت آب از اعماق بیشتر و افزایش هزینه استخراج آب، نشست زمین و کاهش ظرفیت ذخیره آبخوان، شود.

بیلان آبی (Water Budget): بیلان آبی در یک ناحیه (حوضه آبریز، کشور، دنیا)، توازن بین ورودی‌ها و خروجی‌های آب به صورت‌های مختلف در آن ناحیه را نشان می‌دهد.

تبخیر (Evaporation): فرایند تبدیل مایع به بخار را تَبْخیر گویند. تبخیر فرایند عکس میعان است. در چرخه آب، تبخیر ممکن است از سطوح آزاد آب ویا از سطح خاک مرطوب صورت گیرد. اصلی‌ترین نیروی محرکه در تبخیر در چرخه آب وجود انرژی خورشیدی است.

تعریق یا تعرق (Transpiration): این فرایند یکی از پیچیده‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب را تشکیل می‌دهد. عمل تعریق به خروج آب بصورت بخار از پیکره گیاهان که از طریق ریشه جذب آنها می‌شود اطلاق می‌گردد.

تصعید (Sublimation): تصعید به تبدیل مستقیم ماده جامد به بخار بدون ورود به حالت مایع گفته می شود. در چرخه آب تبخیر از سطح پوشش برفی و یخی همان تصعید است.

تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی (Artificial Groundwater Recharge): تغذیه مصنوعی فرآیندی است که به واسطه آن مقداری از رواناب سطحی به روش‌های گوناگونی نظیر پخش آب، ایجاد گودالهای تغذیه و احداث چاه‌های تغذیه در محلی ذخیره و یا پخش می‌شود تا به درون لایه خاک نفوذ کرده و نهایتاً به آبخوان آب زیرزمینی تغذیه شود.

جمع‌آوری آب باران (Water Harvesting): عمل جمع‌آوری و نگه‌داشت آب باران برای استفاده مجدد از آن پیش از تخلیه به مجاری مختلف ویا نفوذ به زمین را جمع‌آوری آب باران می‌گویند. از آب استحصالی از این طریق برای منظورهای مختلفی چون تامین آب دام و آبیاری استفاده می‌شود. در برخی از مناطق آب جمع‌آوری شده برای نفوذ به زمین و تقویت آبخوان به یک گودال مصنوعی هدایت می‌شود. آب جمع‌آوری‌شده همچنین مورد استفاده شرب قرار گیرد (متاسفانه در برخی از مناطق این عمل بدون تصفیه انجام می‌شود). به طور کلی جمع‌آوری آب باران در برخی از مناطق جهان به دلیل فقدان سایر امکانات استحصال آب، به عنوان یکی از اصلی‌ترین شیوه‌های تامین نیازهای آبی محسوب می شود.

چاه آرتزین (Artesian): چنانچه چاهی در یک آبخوان تحت فشار حفر شود، به دلیل فشار هیدرواستاتیک موجود در لایه، سطح آب در چاه بالاتر از سطح فوقانی لایه آبی در لایه تحت فشار بالا می‌آید و بستگی به میزان فشار هیدرواستاتیک حتی ممکن است از دهانه چاه نیز سرریز نماید.

چاه پیزومتریک (Piezometric well): چاه مشاهده‌ای است که برای اندازه‌گیری تغییرات سطح استیابی و بررسی رفتار آب زیرزمینی حفر می‌شوند.

چرخه آب (Water Cycle): چرخه آبی یا چرخه هیدرولوژی، به فرآیند پویای گردش آب در کره زمین شامل آتمسفر، سطح و زیر زمین اطلاق می‌شود. در این فرآیند آب در حالت‌های مختلف جامد، مایع و بخار، محیط‌های مختلف را طی می‌کند. چرخه آب نقطه آغاز و پایانی ندارد، آب از مایع به بخار یا به یخ تبدیل می‌شود و دوباره به حالت اول بازمی‌گردد. چرخه آب میلیاردها سال است که در حال کار است. .اجزای چرخه آب به روایت سازمان مطالعات زمین شناسی ایالات متحد عبارتند از: ذخیره آب در اقیانوس‌ها، تبخیر، تصعید، تعرق، آب موجود در اتمسفر، میعان، بارش، ذخیره آب در شکل یخ و برف، رواناب ناشی از برف در جویباره‌ها، رواناب سطحی، جریان سطحی رودخانه‌ها، ذخیره آب شیرین، نفوذ، ذخیره آب زیرزمینی، تخلیه آب زیرزمینی و چشمه‌ها. اغلب این مولفه ها در این مقاله با تکیه به فرایندهای اصلی تبخیر، تراکم، انتقال، بارش و تجمع آب، توضیح داده شده است.

سازندهای سخت (Hard Rock): سازندهای سخت، رسوبات تحکیم‌یافته ویا لایه‌های سنگی هستند که علاوه بر داشتن تخلخل اندک، دارای درز و شکاف بوده و آبهای نفوذی را در داخل خود جای می‌دهند. سازندهای کارستی یا آهکی را بر اساس میزان غلظت آهک آن به دو دسته تقسیم می‌کنند.

منابع آب تجدید شونده (Renewable Water Resources): متوسط درازمدت مجموع جریانهای سطحی و نفوذ مستقیم از ریزشهای جوی به آبخوانهای زیرزمینی (تولیدشده در نتیجه چرخه آب) با احتساب منابع آب ورودی و خروجی در یک محدوده مشخص جغرافیایی منابع آب تجدیدشونده نامیده می‌شود. آب تجدیدشونده بخش کوچکی از ذخایر آبی کره زمین است.

ناحیه غیراشباع یا هوادار (Vadose Zone): در این ناحیه آب بصورت رطوبت خاک موجود بوده و علاوه بر آن برخی از منافذ خاک با هوا پر شده‌اند. آب در این لایه تحت فشار منفی (مکش) قرار دارد. این لایه از سطح زمین تا سطح ایستابی گسترده شده است.

ناحیه اشباع (Zone of Saturation): ناحیه‌ای است که تمام منافذ، بوسیله آب پر شده و آب تحت فشار مثبت قرار دارد. آب زیرزمینی واقعی در این ناحیه تشکیل می‌گردد و لایه‌ای که این آب در آن وجود دارد را لایه آبدار می‌گویند. آب در این ناحیه در بین منافذ درشت آزادانه در اثر نیروی ثقل جریان می‌یابد.

نگاه سیستمی (Systems Thinking): تفکر یا نگاه سیستمی نوعی نگاه به جهان هستی و پدیده‌های آن است که روش‌شناسی مؤثری را در محیط آکنده از پیچیدگی ارائه می‌دهد. در تفکر سیستمی، صرفاً به اجزاء و جزئیات یک سیستم نگاه نمی‌شود بلکه چگونگی تعامل بین اجزاء و نیز برهم‌کنش اجزاء و محیط بررسی می‌شود.

نگهداری توسط پوشش گیاهی یا برگاب (Interception): در زمان بارندگی چه بصورت مایع و چه جامد، بخشی از آن توسط پوشش گیاهی نگهداری می‌شود. به آن بخش از باران که توسط پوشش گیاهی گرفته می‌شود، برگاب گفته می‌شود. برگاب در آغاز بارندگی بسیار زیاد بوده و ممکن است در یک پوشش گیاهی متراکم تا ۱۰۰ درصد مقدار بارندگی را شامل شود. اما بتدریج که شاخ و برگ از آب اشباع می‌شوند، مقدار آن کاهش می‌یابد.

نفوذ (Infiltration): نفوذ بر حسب تعریف عبارتست از وارد شدن آب از سطح زمین به داخل خاک است. شرایط فیزیکی خاک مانند ساختمان، بافت، رطوبت اولیه و شرایط فیزیولوژیک مانند خلل و فرج و تخلخل و همچنین کیفیت خاک و دمای آب در میزان نفوذ آب در خاک تاثیر دارند.

نیروی کشش سطحی آب (Water Surface Tension): ویژگی‌ای در آب است که باعث می‌شود لایه بیرونی آن به صورت ورقه‌ای کشسان عمل کند. این همان ویژگی‌ای است که موجب ربایش دو سطح مایع به یکدیگر می‌شود؛ مانند دو قطرهٔ آب که همدیگر را می‌ربایند و قطره بزرگ‌تری می‌سازند. این تقویت نیروی‌های جاذبه‌ی بین‌مولکولی در سطح «کشش سطحی» نامیده می‌شود. کشش سطحی کمیتی است که بعد نیرو در واحد طول یا انرژی در واحد سطح دارد. کشش سطحی آب به‌طور قابل توجهی با افزایش دما کاهش می‌یابد. کشش سطحی از طبیعت قطبی مولکول‌های آب سرچشمه گرفته است.

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن، و کشاورزی کرمان

پیوست شماره دو: اطلاعات رودخانه‌های مهم جهان

جدول ۲-۱: آبدهی متوسط سالانه رودخانه‌های مهم جهان

(AF = قاره آفریقا) – (ER = اروپا و آسیا) – (NA = آمریکای شمالی) –(OC = اقیانوسیه) – (SA = آمریکای جنوبی)

نام قاره	نام رودخانه	طول به کیلومتر	سطح حوزه آبریز به کیلومترمربع	آبدهی متوسط به مترمکعب درثانیه	محل خروجی
SA	Amazon	۶،۴۱۶	۶،۹۱۵،۰۰۰	۲۰۹،۰۰۰	Atlantic Ocean
ER	Ganges Brahmaputra Meghna	۲،۹۴۸	۱،۶۳۵،۰۰۰	۴۲،۴۷۰	Bay of Bengal
AF	Congo	۴،۳۷۱	۳،۸۲۲،۰۰۰	۴۱،۲۰۰	Atlantic Ocean
SA	Orinoco	۲،۱۴۰	۸۸۰،۰۰۰	۳۳،۰۰۰	Atlantic Ocean
ER	Yangtze(Chang Jiang)	۶،۳۸۰	۱،۹۴۰،۰۰۰	۳۵،۰۰۰	East China River
SA	Madeira	۳،۳۸۰	۱،۴۲۰،۰۰۰	۳۱،۲۰۰	Amazon River
SA	Rio Negro	۲،۲۳۰	۶۹۱،۰۰۰	۴۰۰،۲۸	Amazon River
SA	Parana (Rio de la Plate)	۳،۹۹۸	۳،۱۰۰،۰۰۰	۲۵،۷۰۰	Atlantic Ocean
ER	Brahmaputra	۲،۸۴۰	۵۳۶،۶۰۰	۱۹،۲۰۰	Padma River
ER	Yenisei	۵،۵۵۰	۲،۵۸۰،۰۰۰	۱۸،۰۴۰	Kara Sea
ER	Lena	۴،۴۷۲	۲،۴۹۰،۰۰۰	۱۶،۲۰۰	Laptev Sea
NA	Mississippi River-Missouri River	۶،۲۷۰	۲،۹۸۰،۰۰۰	۱۶،۲۰۰	Gulf of Mexico
SA	Madre de Dios	۱،۱۳۰	۱۲۵،۵۰۰	۱۵،۵۰۰	Madeira River
ER	Mekong	۴،۰۲۳	۸۱۱،۰۰۰	۱۴،۸۰۰	South China Sea
SA	Japura	۲،۶۱۵	۲۴۲،۲۵۹	۱۴،۳۶۶	Amazon River
ER	Pearl-Xi Jiang (wst) (Si Kan)	۲،۲۰۰	۴۳۷،۰۰۰	۱۳،۶۰۰	South China Sea
SA	Tocantins	۲،۶۹۹	۹۲۰،۰۰۰	۱۳،۶۰۰	Atlantic Ocean, Amazon River
ER	Ganges	۲،۵۱۰	۹۰۷،۰۰۰	۱۳،۱۵۹	Padma River
ER	Ayeyarwady	۲،۱۷۰	۴۱۱،۰۰۰	۱۳،۰۰۰	Andaman Sea
ER	Ob – Irtysh	۵،۴۱۰	۲،۹۹۰،۰۰۰	۱۰،۳۰۰	Gulf of Ob
SA	Beni	۱،۵۹۹	۲۸۳،۳۵۰	۱۰،۳۰۰	Madeira River
ER	Amur (Heilong)	۴،۳۵۲	۱،۸۵۵،۰۰۰	۱۱،۴۰۰	Sea of Okhotsk
NA	Mackenzie-Peach-Finaly	۴،۲۴۱	۱،۷۹۰،۰۰۰	۱۰،۳۰۰	Beaufort Sea
NA	Saint Lawrence	۳،۰۵۸	۱،۰۳۰،۰۰۰	۱۰،۱۰۰	Gulf of Saint Lawrence
AF	Niger	۴،۱۶۷	۲،۰۹۰،۰۰۰	۹،۵۷۰	Atlantic Ocean

(AF = قاره آفریقا) – (ER = اروپا و آسیا) – (NA = آمریکای شمالی) –(OC = اقیانوسیه) – (SA = آمریکای جنوبی)

نام قاره	نام رودخانه	طول به کیلومتر	سطح حوزه آبریز به کیلومترمربع	آبدهی متوسط به مترمکعب درثانیه	محل خروجی
AF	Kasai	۲،۱۵۳	۸۸۰،۲۰۰	۸،۳۴۶	Congo River
ER	Volga	۳،۶۹۲	۱،۳۸۰،۰۰۰	۸،۰۶۰	Caspian Sea
OC	Sepik	۱،۱۲۶	۸۰،۳۲۱	۸،۰۰۰	Bismarck Sea
NA	Ohio	۱،۵۷۹	۴۹۰،۶۰۱	۷،۹۵۷	Mississippi River
NA	Columbia	۲،۰۰۰	۶۶۸،۰۰۰	۷،۵۰۰	Pacific Ocean
ER	Danube	۲،۸۶۰	۸۱۷،۰۰۰	۷،۱۳۰	Black Sea
AF	Zambezi	۲،۵۷۴	۰۰۰،۱،۳۳۱	۷،۰۷۰	Indian Ocean
SA	Magdalena	۱،۵۴۰	۲۵۷،۴۳۸	۶،۹۸۷	Atalntic Ocean
SA	Purus	۳،۲۱۱	۶۳،۱۶۶	۶،۸۲۹	Amazon River
ER	Indus	۳،۲۰۰	۱،۱۶۵،۰۰۰	۶،۶۰۰	Arabian Sea
NA	Youkon	۳،۱۸۷	۸۵۴،۶۹۶	۶،۴۲۸	Bering Sea
SA	Araguaia	۲،۶۲۷	۳۵۸،۱۲۵	۶،۲۱۶	Tocantins River
NA	Niagara	۵۸	۶۸۴،۰۰۰	۵،۷۹۶	Lake Ontario
ER	Aldan	۲،۲۷۳	۷۲۹،۰۰۰	۵،۴۸۹	Lena River
NA	Detroit	۵۱	۱،۸۱۳	۵،۳۲۴	Lake Erie
NA	St. Clair	۶۳	۵۷۶،۰۰۰	۵،۲۰۰	Lake St. Clair
SA	Atrato	۷۵۰	۳۸،۵۰۰	۴،۹۰۰	Atlantic Ocean
ER	Salween	۲،۸۱۵	۳۲۰،۰۰۰	۴،۸۷۶	Andaman Sea
SA	Caroni	۹۵۲	۹۵،۰۰۰	۴،۸۵۰	Orinoco River
SA	Jarua	۲،۴۱۰	۲۰۰،۰۰۰	۴،۷۹۵	Amazon River
ER	Kama	۱،۸۰۵	۵۰۷،۰۰۰	۴،۱۰۰	Volga River
ER	Pechora	۱،۸۰۹	۲۸۹،۵۳۲	۳،۹۴۹	Barents Sea
NA	Fraser	۱،۳۷۵	۲۲۰،۰۰۰	۳،۴۷۵	Pacific Ocean
ER	Northern Dvina	۷۴۴	۳۵۷،۰۵۲	۳،۳۳۲	White Sea
ER	Godavari	۱،۴۶۵	۳۱۲،۸۱۲	۳،۰۶۱	Bay of Bengal
ER	Ghaghara	۱،۰۸۰	۱۲۷،۹۵۰	۲،۹۹۰	Ganges River
ER	Yamuna	۱،۳۷۶	۳۶۶،۲۲۳	۲،۹۵۰	Ganges River
SA	Sao Francisco	۲،۸۳۰	۶۴۱،۰۰۰	۲،۹۴۳	Atlantic Ocean
AF	Nile	۶،۶۵۰	۳،۴۰۰،۰۰۰	۲،۸۳۰	Mediterranean Sea
ER	Yellow	۵،۴۶۴	۷۵۲،۰۰۰	۲،۵۷۱	East China Sea

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

(AF = قاره آفریقا) – (ER = اروپا و آسیا) – (NA = آمریکای شمالی) – (OC = اقیانوسیه) – (SA = آمریکای جنوبی)

نام قاره	نام رودخانه	طول به کیلومتر	سطح حوزه آبریز به کیلومترمربع	آبدهی متوسط به مترمکعب درثانیه	محل خروجی
ER	Neva	۷۴	۲۸۱،۰۰۰	۲،۴۴۵	Baltic Sea
NA	Missouri River	۳،۷۶۷	۱،۳۷۱،۰۱۰	۲،۴۴۵	Mississippi River
NA	Nelson	۲،۵۷۵	۹۸۲،۹۰۰	۲،۳۷۰	Hudson Bay
ER	Rhine – Aare	۱،۲۳۳	۱۹۸،۷۳۵	۲،۳۳۰	North Sea
ER	Koshi	۷۲۹	۶۹،۳۰۰	۲،۱۶۶	Ganges River
NA	St. Marys	۱۲۰	۱۲۷،۷۰۰	۲،۱۳۵	Lake Huron

توضیح: در این جدول فهرست رودخانه‌هایی که آبدهی متوسط آنها بیش از حدود ۲۰۰۰ مترمکعب در ثانیه می‌باشد درج گردیده است.

جدول ۲-۲: آبدهی متوسط سالانه رودخانه‌های مهم ایران (با آبدهی بیش از ۳۰ مترمکعب در ثانیه)

ردیف	نام رودخانه	آبدهی متوسط به مترمکعب درثانیه
۱	کارون – گتوند	۴۲۴,۹
۲	دز – سد دز	۲۶۶,۴
۳	کرخه – پای پل	۱۸۷,۷
۴	سفید رود – سد سفیدرود	۱۵۷
۵	سیروان – دو آب نوسود	۸۶
۶	جراحی – مشراکه	۸۰
۷	زهره – ده ملا	۷۷,۴
۸	زرینه رود – نوروزلو	۶۳,۷
۹	زاب کوچک – کوله سر	۵۵,۷
۱۰	کر – سد درودزن	۴۴,۱
۱۱	مند – قنطره	۴۳,۴
۱۲	زاینده رود – سد زاینده رود	۴۲,۸
۱۳	هراز – هزار سنگر	۳۱,۷
جمع		۱۵۶۰,۶

فهرست منابع و مراجع:

1- **Chris White, 2012.** Understanding water scarcity: Definitions and Measurements, Australian National University, Australia, Global Water Forum, In WATERS ECURITY.

2- **Falkland A. and Custodio E.**, 1991. Hydrology and water resources of small islands: a practical guide, IHP-III, UNESCO.

3- **Global Warming and the Water Cycle**, National climatic data center, http://www.ncdc.noaa.gov/cmb-faq/globalwarming.php

4- **Koeman Jac que v.**, 2003. An Articulate model of the water cycle, universiteit van Amsterdam

5- **Ringersma Jacquelijn**, 2003. Green water: definitions and data for assessment, ISRIC, World Soil Information.

6- **Kennedy Keith,** 2003. IWRM and Hydrological components, Swiss center of hydrology, university Neuchâtel.

7- **National Geographic,** 2010. A Guide for teaching freshwater, Earth's Freshwater, USA.

8- **Roudkivi A. J.,** 1979. Hydrology "An advanced Introduction to Hydrological processes and modeling", pergaman press.

9- **Shiklomanov A.,** 1999. world water resources: Modern assessment and outlook for the 21st century, IHP, UNESCO.

10- **Sustainable Development and Environment of the General Secretariat of the Organization of American States (OAS) as part of the joint United Nations Environment Programme (UNEP),** 1997. The Source Book of Alternative Technologies for Freshwater Augmentation in Latin America and the Caribbean: http://www.oas.org/dsd/publications/Unit/oea59e/begin.htm#Contents.

11- **UNESCO,** 2006. The Unitied Nations World Water Development Report 2, Water shared responsibility.

12- **USGS,** Water science for schools, the water cycle, www.USGS.gov/edu/water cycle.

13- **USGS**, http://ga.water.usgs.gov/edu/drinkseawater.html

14- **Viessman Warren, John W. Knapp, Gary L. Lewis,** 1977. Introduction to Hydrology,

15- **World Water Council,** 2012. Global Water Framework, 6th world water forum, Marseille, IFC secretariat.

16- **Water in a changing world,** 2009, Un-water report3.

17- Wikipedia, http://en.wikipedia.org/wiki/Desalination.

۱۸- **ترازنامه انرژی کشور، ۱۳۹۰**، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی، وزارت نیرو.

۱۹-**جهانی، عباسقلی**، ۱۳۸۸. مدیریت منابع آب، تحولات و توسعه کشور –وزارت نیرو.

۲۰-**علیزاده، امین**،۱۳۸۲. اصول هیدرولوژی کاربردی، دانشگاه امام رضا (ع)، چاپ شانزدهم.

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان

اندیشکده تدبیر آب ایران
اتاق بازرگانی، صنایع، معادن و کشاورزی کرمان