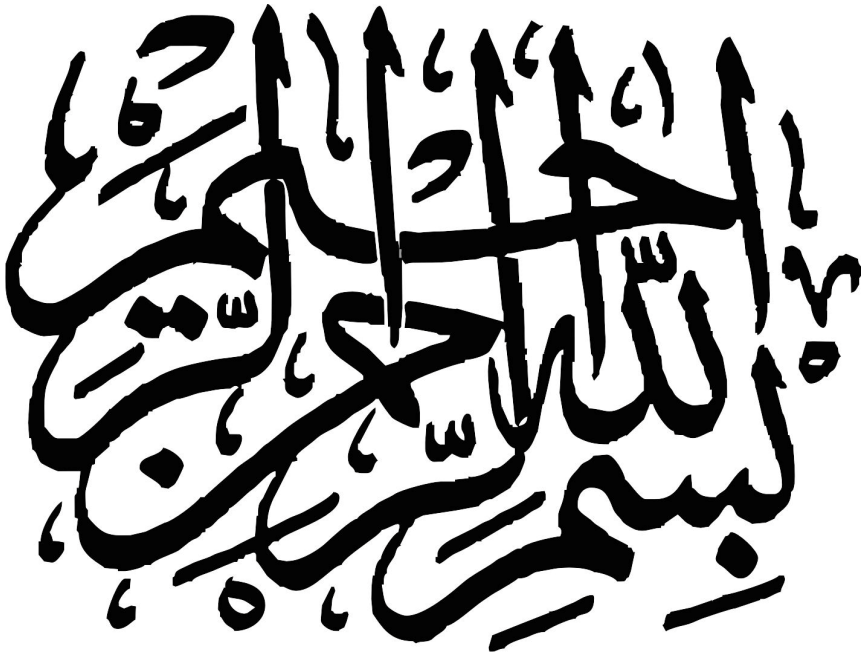
آشنایی با

منابع آب زیرزمینی

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



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:

سخن آغازین ۵

۱.مقدمه ۹

۲. منابع آب زیرزمینی ۱۱

۲-۱- تعریف منابع آب زیرزمینی: ۱۱

۲-۲- منشاء منابع آب زیرزمینی: ۱۲

۲-۲-۱- نزولات جوی: ۱۲

۲-۲-۲-نفوذ آب از بستر رودخانه‌ها یا آب‌های جاری : ۱۳

۲-۲-۳- منابع آب فسیلی یا محبوس: ۱۳

۲-۳- نحوه تشکیل و خصوصیات سفره آب زیرزمینی یا آبخوان: ۱۳

۲-۴-حوضه آبریز و سفره‌های مرتبط با هم ۱۶

۲-۵- انواع آبخوان‌ها ۱۷

سفره آزاد و سفره تحت فشار ۱۷

سفره آبدار معلق: ۱۹

سفره یا آبخوان کارستی: ۱۹

۳- روش‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی ۲۰

۳-۱- روش طبیعی بهره‌برداری از منابع آب زیر زمینی(چشمه ها) ۲۰

۳-۲- روش‌های مصنوعی ۲۱

۳-۲-۱- قنات: ۲۱

۳-۲-۲- چاه: ۲۳

۳-۲-۳-چاه‌های نیمه عمیق و عمیق: ۲۳

٤-تحولات تکنولوژیک در بهره‌برداری از آب زیرزمینی و نتایج آن ۲۴

نشست زمین: ۲۶

۵- اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و ضرورت مدیریت آن ۲۹

فهرست شکل‌ها

شکل ۱: سفره آب زیرزمینی یا آبخوان ۱۱

شکل ۲: منشا تشکیل تجدیدپذیر منابع آب زیرزمینی (نفوذ مستقیم بارش ها و نفوذ از جریان آب سطحی). ۱۲

شکل ۳: محدوده اشباع و غیراشباع آب زیرسطحی ۱۴

شکل ۴: میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان ۱۵

شکل ۵: توصیف مرز حوضه آبریز ۱۶

شکل ۶: سفره آزاد، تحت فشار و معلق ۱۸

شکل ۷: نمونه ای از حرکت اب در سفره های کارستی ۲۰
شکل ۸: انواع چشمه ۲۱
شکل ۹: نیمرخ طولی یک قنات ۲۲
شکل ۱۰: تأثیر مخروط افت دو چاه مجاور بر سفره آب ۲۵
شکل ۱۱: نفوذ آب شور به سفره آب شیرین ۲۷

سخن آغازین

منابع آب شیرین کره زمین بخش کوچکی از کل ذخایر آب سطح کره زمین را تشکیل می‌دهد (حدود ۵/۲ درصد). در این میان، بدون یخچال‌های قطبی، تنها حدود ۰/۸ درصد (کمتر از یک درصد) از کل منابع آب موجود در کره زمین، شیرین و قابل استفاده است که عمده آن را منابع آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد[۱]. حجم منابع آب زیرزمینی شیرین کره زمین حدود ۱۰ میلیون کیلومتر مکعب است (یعنی دو برابر آب تجدیدپذیر سالانه کره زمین که از بارش‌ها حاصل می‌شود). این حجم در طول سده‌ها یا هزاره‌ها در زیرزمین انباشته شده است.

طبق اعلام سازمان ملل، حجم آب تجدیدشونده کره زمین ۴۳۰۰۰ کیلومترمکعب است. ۹۵ درصد از این میزان 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.

آب زیرزمینی تجدیدپذیر حدود ۱۰۰۰۰ کیلومتر مکعب در سال است (نزدیک به یک چهارم کل آب تجدیدشونده) که ۲۰ درصد آن با منشاء نفوذ مستقیم بارش و ۸۰ درصد حاصل نفوذ جریانات آب سطحی است. این منابع که بخشی از چرخه آب*[۲] در زمان حاضر را تشکیل می‌دهد نسبت به حجم آب زیرزمینی که در یک دوره طولانی دراعماق چند هزارمتری سطح زمین ذخیره شده‌اند، بسیار اندک است (بعنی ۱/۰ درصد کل ذخایر آب زیرزمینی). بنابراین، فقط بخش بسیار کوچکی از حجم کل ذخایر آب زیرزمینی در هر سال تجدید می‌شود. این موضوع سرراست‌ترین پاسخی است که به معمای منابع آب زیرزمینی«عظیم اما محدود»، می‌توان داد.

رژیم‌های آب زیرزمینی در مناطق مرطوب و خشک بطور اساسی با هم تفاوت دارند. در آب و هوای مرطوب که بارش زیاد است، مقدار زیادی آب به آبخوان نفوذ می‌کند و این فرآیند بطور فعال بر جریان تغذیه‌کننده چرخه آب، چشمه‌ها و تالاب‌ها در مواقعی که بارش کمتر می‌شود، تاثیر دارد. درآب و هوای خشک و نیمه خشک، در مقام مقایسه با شرایط مرطوب بدلیل نفوذ کم بارش‌های نادر

۱- برای اطلاع بیشتر از ذخایر آب کره زمین مراجعه شود به مقاله چرخه آب از انتشارات اندیشکده تدبیر آب

۲ - واژگان و اصطلاحاتی که در اولین مورداستفاده‌شان در متن با علامت ستاره مشخص شده‌اند، در پیوست شماره یک تعریف شده‌اند.

عملاً هیچ نوع مبادله‌ای بین آب سطحی و زیرزمینی صورت نمی‌گیرد. چون آب حاصل از این بارش‌ها بندرت در لایه ضخیم و خشک (غیر اشباع) خاک نفوذ می‌کند. به این تفاوت‌ها باید در برنامه مدیریت منابع آب توجه شود.

بارش سالانه حدود ۱۵ درصد سطح خشکی‌های کره زمین بطور میانگین کمتر از ۲۰۰ میلیمتر در سال است(یعنی ۲۰۰ لیتر بر هرمترمربع). در چنین نواحی کم‌بارانی، آب تجدیدشونده زیرزمینی بسیار کم است. بنابراین برداشت از ذخایر انباشته‌شده قبلی ممکن است طی سده‌ها و شاید هزاره‌ها از طریق چرخه آب تجدید نشوند. برداشت از آب زیرزمینی چنین مناطقی باید نوعی «معدن کاوی و استخراج» منابع محدود و نه استحصال مداوم و پیوسته تلقی شود.

بعضی از سیستم‌های آب زیرزمینی در شرایط موجود آب و هوایی تجدیدناپذیر هستند. این آبخوان‌ها ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ سال پیش در شرایط آب و هوایی مرطوب‌تری نسبت به وضع موجود شکل گرفته‌اند. مثلاً در شمال شرقی منطقه صحرای آفریقا، «سیستم آبخوان‌های ماسه سنگ‌های نوبین» با مساحت بیش از دو میلیون کیلومتر مربع در کشورهای چاد، لیبی، مصرو سودان مقدار زیادی آب شیرین را در خود ذخیره کرده‌اند. تصور می‌شود که حجم آب این سیستم، ۱۰۰ برابر مصرف موجود سالانه جهان باشد.

تصور می‌شود که ذخایر عظیم آب زیرزمینی قابل مقایسه با مورد فوق و تجدیدپذیری محدود، تقریباً در همه قاره‌ها وجود داشته باشند. اما مقدار آبی که می‌توان با پمپاژ از آن‌ها برداشت کرد، نامعلوم است. باید درباره عمر، زمان لازم برای جابجایی و جریان آب در اعماق زمین و سایر موارد چون مشخصات و فرآیندهای شیمیایی آن‌ها، اطلاعات بیشتری فراهم شود.

منابع آب زیرزمینی در مقایسه با منابع آب سطحی، معمولا محسنات و ویژگی‌های خاصی دارند، مانند کیفیت خوب از جمله کیفیت خوب میکروبیولوژیکی و نیاز کمتر به تصفیه و پالایش، تاثیرپذیری کمتر در برابر خشکسالی، سرمایه‌گذاری اولیه کمتر و نیاز به طرح‌ها و نقشه‌های محدودتر . به علاوه، توسعه آن‌ها به اقدامات جمعی گسترده وابسته نیست. از همه مهمتر در شرایطی که عرضه آب سطحی در اغلب موارد انطباق لازم را با نیازها در سطح نقاط مصرف و مزارع ندارد، استحصال آب زیرزمینی از طریق پمپاژ، با کنترل و مدیریت عرضه می‌تواند در انطباق با تقاضاها باشد. بنابراین، منابع آب زیرزمینی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه خشک جهان، به عنوان منبع حیاتی برای تامین آب مطرح هستند، به

طوریکه آب مورد نیاز برای مصارف مختلف همچون شرب، کشاورزی، صنعت و محیط‌زیست را، به ویژه در زمان خشکسالی فراهم می‌کنند. از ۴۳۳۰ میلیارد مترمکعب آب شیرین که سالانه مورد استفاده قرار می‌گیرد، آب زیرزمینی یک ششم برداشت ازکل آب شیرین را تشکیل می‌دهد. این سهم در کشورهای مختلف بسیار متفاوت است. مثلا در لبنان ۳۰ تا ۴۰ درصد، در نیوزیلند ۴۲ درصد، ایران ۵۵ درصد، استرالیا ۷۰ درصد و مغولستان ۹۰ درصدگزارش شده است.

آب زیرزمینی همانند سایر منابع طبیعی (چه به لحاظ کمی و چه به لحاظ کیفی) در معرض تهدید فعالیت‌های بشر قرارگرفته است. در دهه‌های اخیر، افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی برای مصارف انسانی و کشاورزی به افت قابل توجه سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های وسیعی از جهان انجامیده، به طوری که افت منطقه‌ای منابع آب زیرزمینی به یک مسئله جهانی تبدیل شده است. افت سطح آب زیرزمینی و تهی شدن سفره‌های آب زیرزمینی و پیامدهای آن از جمله افزایش هزینه‌های استحصال آب، نشست زمین و کاهش کیفیت آب در مناطق مختلف دنیا (همچون آمریکا، ایتالیا، ژاپن، انگلستان، چین، تایلند، تایوان و مکزیک) مشهود است.

در مقایسه با منابع آب سطحی، آثار و پیامدهای پمپاژ و بهره‌برداری بی‌رویه منابع آب زیرزمینی به آرامی و در طول زمان خود را نشان می‌دهد. برآورد از مقادیر ذخایر این منابع با دقت کم و شناخت از وضعیت این منابع و تغییرات وضعیت آن‌ها، به راحتی قابل مشاهده و مستندسازی نیست. در شرایط روبرو شدن با اضافه برداشت* از ذخایراستاتیک یا ایستای* منابع آب زیرزمینی و کاهش سطح ایستابی، رابطه بین تغییرات در سطوح آب در چاه‌ها و تغییرات در حجم آب ذخیره در مخازن آب زیرزمینی، بطور قابل ملاحظه‌ای پیچیده‌تر از آب سطحی است. نظارت بر روندها به همین لحاظ با دشواری بیشتری روبرو است. روند احیای این منابع در مقایسه با منابع آب سطحی کندتر است. در مجموع به همین دلایل، توجه به حفاظت و پایداری این منابع، شناخت بهتر این منابع و تهدیدات بالقوه و راه‌کارهای مقابله با این تهدیدات، نیاز به توجه ویژه‌ای دارد. با این رویکرد، این مقاله به پارادکس یا متناقض نمای ذخایر بزرگ اما امکان برداشت‌های محدود، می‌پردازد. به این منظور، خصوصیات سفره‌های آب زیرزمینی، مشخص‌کردن نسبت چرخه آب و منابع آب زیرزمینی تجدیدشونده با کل منابع آب زیرزمینی و بالاخره پرداختن به تاثیر تحولات تکنولوژیک بر شیوه‌های استحصال آب زیرزمینی و

پیامدهای آن، درکانون توجه قرارگرفته است. در واقع باید گفت تمرکز اصلی مقاله در توضیح اهمیت و مبانی پایش برنامه‌ریزی شده از نحوه استحصال آب زیرزمینی از نظر میزان برداشت و تاثیر بر کیفیت و کمیت ذخایر باقیمانده است که به زعم این مقاله عامل اصلی و تعیین کننده در پایداری زندگی بشر بویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان و از جمله ایران محسوب می‌شود. برای این مقاله فرهنگ اصطلاحاتی نیز تدارک دیده شده است تا مفاهیم اصلی بکارگرفته شده برای استفاده‌کننده‌گان حتی‌الامکان روشن 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 دراختیار جامعه قرار دهد. درتهیه و تدوین این مقاله آقای علی عرب پور که از مدیران و کارشناسان با سابقه شرکت آب منطقه ای کرمان می‌باشند، نقش اساسی داشته‌اند که همکاری ایشان جای قدردانی زیادی دارد. از زحمات شورای راهبردی اندیشکده بویژه آقای سید احمد علوی و آقای فرهاد آگاه در ارایه دیدگاه‌ها و پیشنهادهای ارزشمند، آقای عباسقلی جهانی در تهیه و تدوین بخشی از نمودارهایی که برای مقاله چرخه آب آماده شده بود و در اختیار این مقاله قرار گرفت وآقای محمد ارشدی در تکمیل مطالب، آماده‌سازی تعاریف و بهبود کیفیت عمومی گزارش، طراحی روی جلد و آماده‌سازی نمودارهای متعدد و صفحه‌بندی صمیمانه تشکر می‌شود. امید است این گام کوچک مورد توجه جامعه متخصص و غیر متخصص، 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

میانگین بارندگی درازمدت کشور ما (علی‌رغم مجاورت با دو پیکره آبی بزرگ یعنی دریای خزر در شمال و خلیج فارس و دریای عمان در جنوب) ۲۵۰ میلیمتر در سال است. قسمت اعظم مساحت کشور از نظر جغرافیایی در کمربند خشک و نیمه‌خشک کره زمین با بارندگی کم قرار دارد. بخصوص در نواحی فلات مرکزی، اجتماعات شهری و روستائی و تولیدات کشاورزی با اتکاء به منابع آب زیرزمینی شکل گرفته و این منابع عمده‌ترین تامین‌کننده نیازهای آبی در این مناطق بوده است.

مشخصه‌های اقلیمی، ساختار زمین‌شناسی، ریخت و چهره زمین و گونه‌گونی دیگر عوامل طبیعی موثر در ایران به گونه‌ای است که نهشته‌های آبرفتی پهنه‌های وسیعی از اراضی مسطح و دشتی را که جایگاه‌های مناسبی برای ذخیره و نگهداری آب است، به وجود آورده است.

گودی‌هایی که در مسیر جریان آبها بوده به تدریج از آوردهای ریز و درشت رودخانه‌ها انباشته گردیده و با دریافت آب، رفته رفته لایه‌های آبرفتی اشباع و آبخوان‌های آبرفتی دشت‌ها تشکیل شده است.

ایرانیان در گذشته از چرخه آب در طبیعت و آب‌شناسی (هیدرولوژی) اطلاع خوبی داشته و به جنبه‌های عملی آن نیز توجه وافر می‌نمودند. تلاش ایرانیان در بهره‌برداری از آب‌های سطحی و زیرزمینی، مدیریت و هدایت آنها به مزارع و کشتزارها، تحسین بسیاری از مورخین و صاحبنظران غیر ایرانی را برانگیخته است. فنون تازه و بهره‌گیری از منابع آب زیرزمینی، بویژه قنات، موجب پیدایش سکونتگاه‌های جدیدی شد که بزرگی و کوچکی هر یک به این منابع بستگی تام داشت. در کلیه این موارد، نقش تشکل‌های مردم بومی و محلی در مدیریت و بهره‌برداری آب در حقیقت از مهم‌ترین نقاط قوت مدیریت پایدار منابع آب در تاریخ تمدن ایران زمین بوده است.

در نیم سده اخیر، در کنار رشد جمعیتی و ارتقاء سطح زندگی؛ پیشرفت‌های تکنولوژیکی، گسترش و تنوع کشاورزی، واردات ادوات کشاورزی پیشرفته، امکان و انگیزه بیشتر را برای افزایش سطح زیر کشت آبی فراهم کرد. امکان حفر چاه‌های عمیق چند روز و با صرف هزینه ناچیز در قیاس با شیوه سنتی احداث قنات، انگیزه مضاعفی را جهت افزایش سریع و قارچ‌گونه حفر چاه‌های عمیق به منظور تأمین نیاز آبی بوجود آورد. میزان روزافزون یارانه‌های انرژی نیز در این رقابت ناعادلانه (قنات و چاه

عمیق) قطعاً مؤثر بود. در نتیجه، حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در ایران به ویژه از دهه ۱۳۴۰ به بعد گسترش روز افزون یافت و در دهه‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۶۰ به اوج خود رسید.

پیدایش تکنولوژی چاه عمیق در عین فراهم ساختن امکانات بهتر برای استحصال آب، موجب تغییراتی شدید در نظام بهره‌برداری از منابع آب شد. چاه‌های عمیق در ابتدا به صورت مکمل در کنار قنوات بودند؛ اما در مدت زمان کوتاهی جایگزین آنها شدند و مشکلات بسیاری را برای سفره‌های آب زیرزمینی به وجود آوردند. از آنجا که از ابتدای گسترش چاه‌های عمیق بدون توجه به بیلان آب سفره‌های زیرزمینی صورت می‌گرفت، برداشت آب از میزان تغذیه سالیانه آن‌ها بیشتر شده و آب بیش از ظرفیت سفره از آن استخراج می‌شد.تداوم این روند تاکنون باعث افت شدید و گسترده سطح سفره، کاهش منابع آب زیرزمینی، کاهش آبدهی و نهایتاً خشک شدن چاه‌ها و قنوات بسیاری گشت. به طوری‌که در حال حاضر از ۶۰۹ محدوده مطالعاتی (دشت) کشور ۲۹۴ محدوده که مهمترین دشت‌های کشور را نیز شامل می‌شود، ممنوعه* هستند و بطور میانگین سالانه بیش از ۵ میلیارد مترمکعب از منابع آب زیرزمینی کشور اضافه برداشت انجام می‌شود. این اضافه بهره‌برداری* علاوه بر افت مستمر سطح آب در دشت‌ها و کاهش حجم ذخایر آب زیرزمینی و نشست زمین منجر به افزایش املاح و کاهش کیفیت آب‌ها نیز شده است. متأسفانه بسیاری از تخریب‌های ناشی از برداشت بیش از حد از سفره‌های آبی کشور بوسیله چاه‌های عمیق برگشت‌ناپذیر بوده و مضاف بر عواقب ناگوار اجتماعی حال حاضر آن، نسل‌های آینده را نیز متضرر ساخته و خواهد ساخت.

در این نوشتار سعی شده است به اختصار در مورد تعریف منابع آب زیرزمینی، منشاء پیدایش آنها، برخی از خصوصیات سفره آب زیرزمینی و انواع آن، روش‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی و در نهایت پیامدهای بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی شرح داده شود. امید است که این مقاله در روشن ساختن اهمیت منابع آب زیرزمینی و جلوگیری از بهره‌برداری بی‌رویه از این ذخایر ارزشمند، مؤثر واقع شود.

۲. منابع آب زیرزمینی

۲-۱- تعریف منابع آب زیرزمینی:

آب زیرزمینی اصطلاحی است که به آب موجود در زیرسطح زمین گفته می‌شود.آب نفوذ یافته در زمین در خلل و فرج موجود در بافت لایه‌های مختلف خاک که همانند اسفنج عمل می‌کنند، ذخیره می‌شود. اغلب در مناطق مختلف بصورت طبیعی چنین اسفنج‌های با جداره‌هایی از جنس خاک یا سنگ‌های غیرقابل نفوذ، محصور شده‌اند که آنها را به شکل یک کاسه درآورده و باعث می‌شوند تا ظرفیتی را برای ذخیره‌سازی بوجود آورند که به این کاسه‌های بسیار بزرگ اسفنجی، سفره‌ی آب زیرزمینی یا آبخوان می‌گویند (شکل ۱).

شکل ۱: سفره آب زیرزمینی یا آبخوان

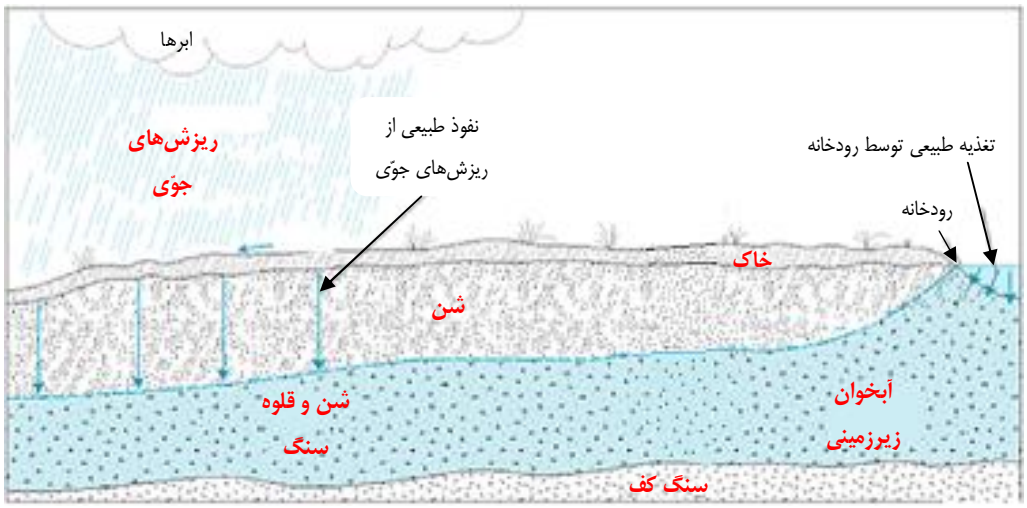
امکان بهره‌برداری و استخراج همه منابع آب موجود در زیر سطح زمین از طریق حفر چاه و قنات وجود ندارد. وقتی چاهی در زمین حفر می‌شود ممکن است به خاک یا سنگ مرطوب یا حتی اشباع از آب برخورد کند. ولی تا زمانی که آب نتواند آزادانه به داخل چاه تراوش کنند، قابل بهره‌برداری نیست. آب زیرزمینی اصطلاحی است که به تمامی آب موجود در زیر سطح زمین گفته می‌شود. ولی متخصصان آب زیرزمینی (هیدروژئولوگ‌ها) عمدتاً با آبی سر و کار دارند که تمام منافذ سنگ‌ها و خاک‌ها را در زیر سطح ایستابی* اشغال کرده است، از این جهت ایشان غالباً اصطلاح «آب زیرزمینی»

را برای بخشی از آب‌های زیر سطح زمین که قابل برداشت به وسیله چاه، قنات و چشمه است به کار می‌برند.

۲-۲- منشاء منابع آب زیرزمینی:

۲-۲-۱- نزولات جوی:

نزولات جوی شامل باران، برف ، تگرگ و ... در طول سالیان متمادی باعث جمع شدن آب در زیر سطح زمین شده‌اند، بطوریکه می‌توان نزولات جوی را منشاء اصلی منابع آب زیرزمینی به حساب آورد. البته عوامل محیطی مانند جنس خاک و وضعیت پوشش گیاهی منطقه در نفوذپذیری و انتقال آب به داخل آبرفت و رسیدن آن به سفره آب زیرزمینی تاثیرگذار می‌باشند. به گونه‌ای که با افزایش پوشش گیاهی و دانه درشت شدن رسوبات بر میزان نفوذ آب به داخل زمین افزوده می‌گردد (شکل ۲). لازم به ذکر است در بیشتر مناطق، میزان نزولات ارتباط مستقیمی با ارتفاع محل از سطح دریا دارد و هرچه ارتفاع منطقه از سطح دریا بیشتر باشد میزان بارندگی در آن منطقه زیادتر است. بارندگی‌های ملایم و طولانی مدت ایده‌آل‌ترین و بهترین شرایط را برای تغذیه فراهم می‌آورند و شکستگی‌های تکتونیکی (گسل‌ها و درزها) و مخروط‌افکنه‌ها و رسوبات دانه درشت رودخانه‌ای و دامنه‌ای بهترین مکان برای تغذیه سفره محسوب می‌شوند.



شکل ۲: منشا تشکیل تجدیدپذیر منابع آب زیرزمینی (نفوذ مستقیم بارش ها و نفوذ از جریان آب سطحی)

۲-۲-۲-نفوذ آب از بستر رودخانه‌ها یا آب‌های جاری :

در صورتی‌که بستر رودخانه از سطح ایستابی بالاتر باشد، آب می‌تواند از رودخانه به سمت سفره آب زیرزمینی جریان یابد و زمینه تغذیه را فراهم آورد (شکل ۲).

۲-۲-۳- منابع آب فسیلی* یا محبوس:

منابع آب فسیلی، آب باقیمانده در منافذ سنگ‌های رسوبی بوده که در زمان تشکیل، در بین رسوبات دریائی بجای مانده اند. تغذیه آب فسیلی در حال حاضر صورت نمی‌گیرد و همانند منابع معدنی غیرقابل تجدید می‌باشند. بهره برداری از این منابع آب به دلیل اینکه در اعماق زیاد قرار دارند، اقتصادی نیست. این منابع آب در چرخه آب شرکت ندارند و یا بازه زمانی شرکت آن‌ها خیلی زیاد است. این ذخایر بطور روزافزونی در مناطق خشک جهان در حال «استخراج» می‌باشند. کشورهایی مانند لیبی و عربستان قسمتی از آب شرب، مصارف شهری و کشاورزی خود را از این منابع تأمین می‌کنند.

۲-۳- نحوه تشکیل و خصوصیات سفره آب زیرزمینی یا آبخوان:

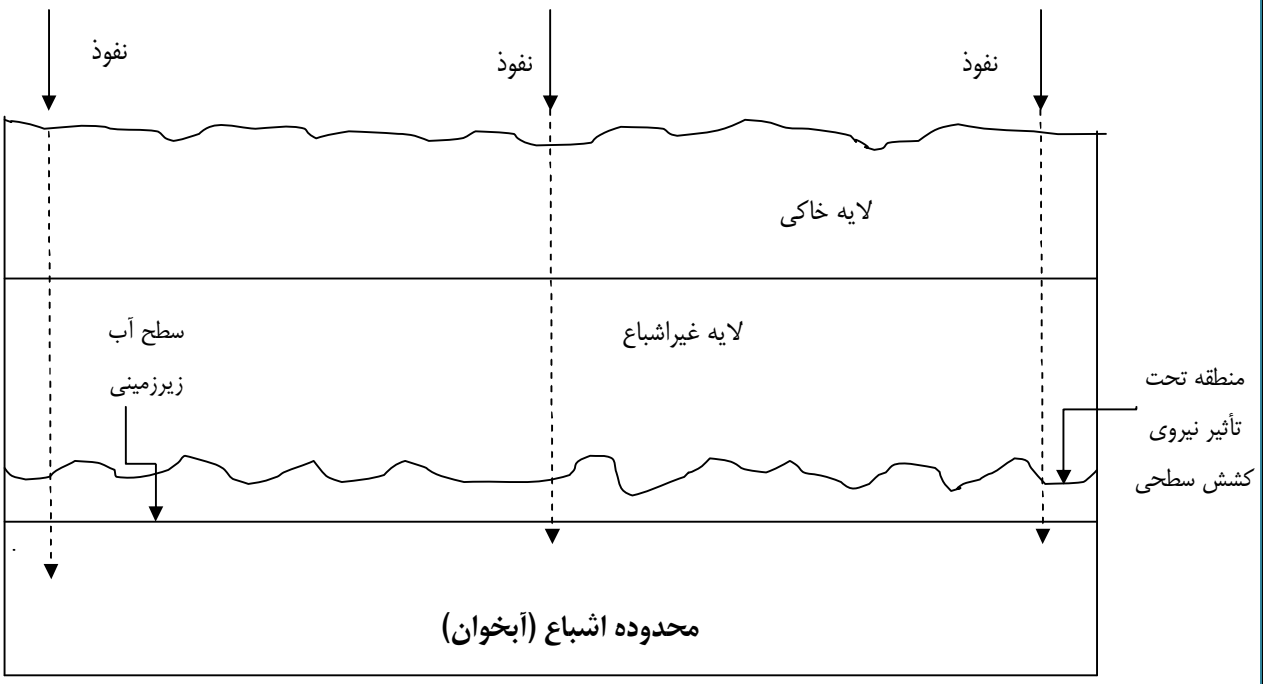
آب در زمین نفوذ می‌کند تا به یک لایه غیرقابل نفوذ برسد. اگر رسوبات و سنگ‌های بالای لایه غیرقابل نفوذ دارای تخلخل مفید (مرتبط به هم) باشند، آب در آن‌ها جمع می‌شود و این لایه از آب اشباع می‌گردد و آب تا حدودی حرکت جانبی هم می‌کند تا اینکه حرکت جانبی آن متوقف می‌گردد. این ناحیه اشباع* از آب را سفره یا Aquifer می‌گویند. سفره یا آبخوان معمولاً از رسوبات شن و ماسه و گراول (ریگ) یا رسوباتی با هر دانه‌بندی یا سنگ‌های آهکی کارستی (حفره دار)، ماسه سنگ و کنگلومرای متخلخل تشکیل می‌شود. در رسوبات رسی به دلیل قابلیت نفوذ کم سفره آب زیرزمینی تشکیل نمی‌شود. سفره باید هم دارای مقادیر زیادی آب باشد و هم اجازه حرکت به آب بدهد. بهره‌برداری از سفره باید اقتصادی باشد. آبرفت‌هایی که در زیر آبراه رودخانه‌ها قرار گرفته‌اند و همچنین دشت‌های سیلابی مجاور آنها بهترین محل برای تشکیل آبخوان است.

آب زیرزمینی و آب سطحی ارتباط بسیار نزدیکی با هم دارند و در بسیاری از مناطق یک منبع واحد محسوب می‌شوند. چون یک آبخوان یا سفره زیرزمینی از آب در حال جریان از میان حفره‌ها و

شکاف‌های زیر سطح زمین تشکیل شده است و آب بطور پیوسته بوسیله تغذیه از بارش، نفوذ آب سطحی، جریان زیرزمینی و آب برگشتی، به آن اضافه می‌شود و به طور پیوسته ازآن به صورت تخلیه به منابع آب سطحی، تبخیر و تعرق، خروجی زیرزمینی و یا پمپاژ خارج می‌شود. پمپاژ و تخلیه بیش از حد آب زیرزمینی، می‌تواند باعث کاهش جریان پایه رودخانه، پایین‌آمدن سطح دریاچه و کاهش آب تالاب‌ها و چشمه‌ها، و سبب ایجاد نگرانی درباره منابع آب شرب، سواحل وکناره رودخانه‌ها و زیستگاه‌های حیاتی آبزیان و سایر موجودات شود.

- **سطح ایستابی**

به سطح بالایی سفره که در زیر آن خلل و فرج رسوبات و سنگ‌ها از آب اشباع شده‌اند، سطح ایستابی یا سطح آب زیرزمینی گویند (مرز بین دو منطقه اشباع و غیراشباع*). فشار در سطح ایستابی در سفره‌های آزاد برابر با فشار اتمسفر است (شکل شماره۳).



شکل ۳: محدوده اشباع و غیر اشباع آب زیرسطحی

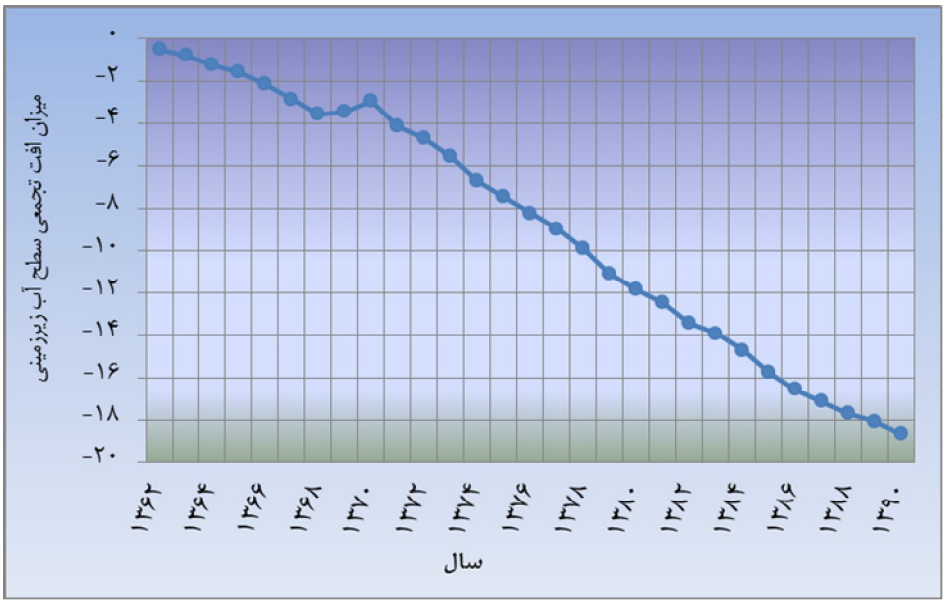
- **تغییرات فصلی و دایمی سطح سفره**

سطح آب زیرزمینی بر اثر عوامل طبیعی و مصنوعی می‌تواند تغییر کند. اگر برداشت از سفره متناسب با تغذیه آن انجام شود، در فصول بارندگی (زمستان و بهار) سطح آب زیرزمینی مقداری بالا می‌آید و در فصول خشک سطح آب پایین می‌رود و منحنی تغییرات سطح آب سفره شکل سینوسی خواهد داشت.

به چنین تغییراتی در سطح سفره، تغییرات فصلی گویند. با بررسی نوسانات، قابلیت تجدیدپذیر و ظرفیت دینامیک ویا پویای آبخوان* قابل محاسبه می‌باشد.

در دراز مدت، تداوم برداشت اضافی از یک آبخوان نسبت به نفوذ مستقیم بارش، نفوذ جریان آب سطحی و نفوذ سایر منابع تغذیه، ناممکن است. دیر یا زود میزان پمپاژ باید با ذخیره تجدیدپذیر آب زیرزمینی تطابق پیدا کند و عاقلانه‌تر این است که این تطابق و تعادل در تراز بالایی از سطح آب صورت گیرد. یکی از مهم‌ترین دلایل این امر آزادی عمل بیشتر برای اضافه برداشت موقت در تراز بالاتر سطح ایستابی و قابلیت اعتماد و ایمنی بیشتر تامین آب است.

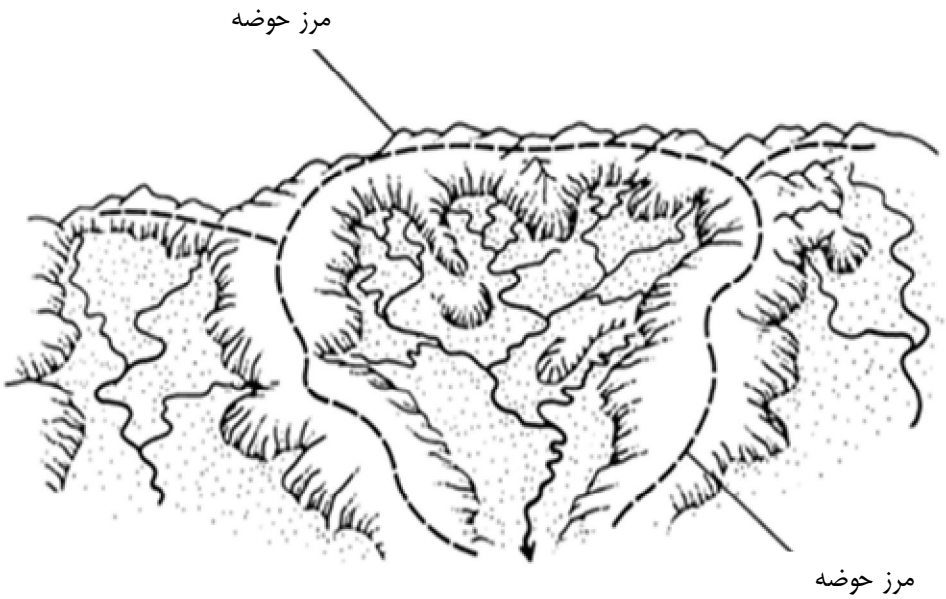
در سفره‌هایی که برداشت آب بیش از تغذیه سالانه انجام می‌شود، سطح آب زیرزمینی بطور مداوم افت می‌کند و هر سال پایین‌تر می رود. افت پیوسته تراز آب زیرزمینی، بیانگر تداوم برداشت اضافی است. به عنوان نمونه سطح آب زیرزمینی سفره دشت رفسنجان ایران از سال ۱۳۷۱ تاسال ۱۳۹۰ بطور میانگین در حدود ۱۸ متر افت کرده است. شکل۴ میانگین تجمعی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان را از سال ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۰ نشان می‌دهد.



شکل ٤: میانگین تجمعی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت رفسنجان

۲-٤-حوضه آبریز و سفره‌های مرتبط با هم

حوضه آبریز، سطحی است که از به هم پیوستن خط الراس ارتفاعات اطراف یک رودخانه یا دریاچه یا مرداب و ... حاصل و کلیه جریان‌های سطحی حاصله از بارندگی‌های روی آن، بطور طبیعی، تماماً به نقطه‌ای بنام نقطه تمرکز یا خروجی هدایت می‌شوند (شکل ۵).



شکل ۵: توصیف مرز حوضه آبریز

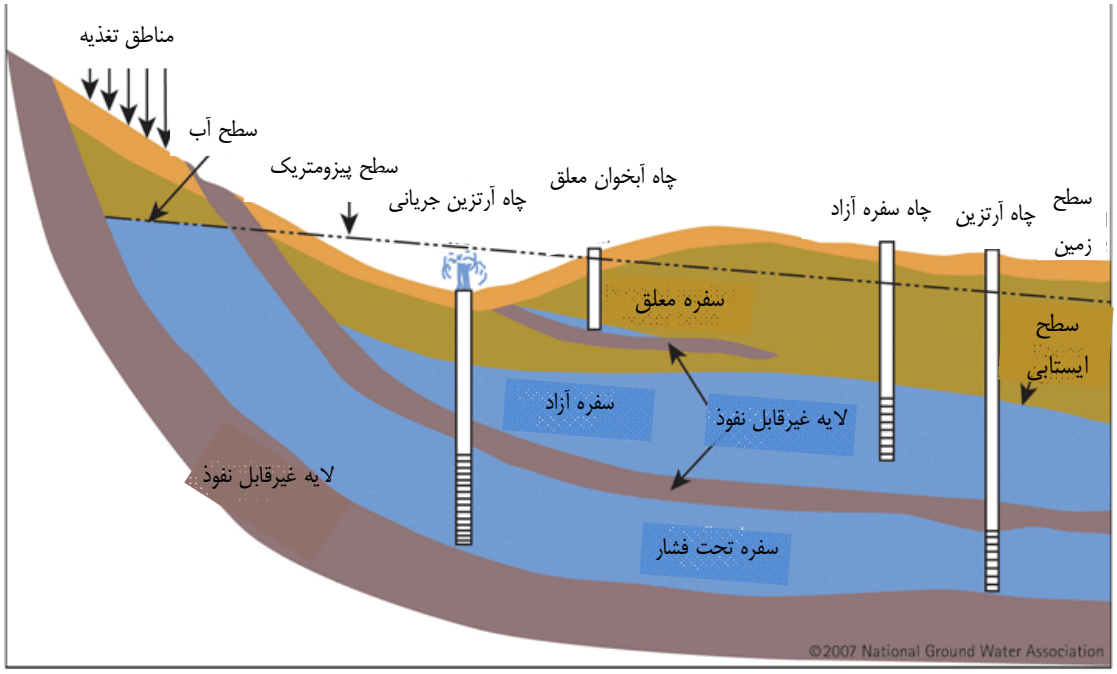
در یک حوضه آبریز به صورت طبیعی و با تبعیت از شیب توپوگرافی آب سطحی از ارتفاع بیشتر به سمت ارتفاع کمتر جریان می‌یابد. در بهره‌برداری از منابع آب سطحی لازم است حقوق ذینفعان پائین‌دست رعایت گردد. مثلاً اگر با ایجاد سد یا بندهای خاکی و ... میزان بهره‌برداری از آب سطحی را بی‌رویه افزایش پیدا کند، در حقیقت سهمیه حقابه‌بران پایین‌دست کاهش یافته است. در مورد منابع آب زیرزمینی نیز تقریباً چنین وضعیتی حاکم است و در حوضه‌های آبریز معمولاً جریان‌های زیرزمینی مانند جریان‌های سطحی از دشت‌ها یا سفره‌های بالادست به سمت سفره‌های پائین‌دست حرکت می‌کنند (بجز مواردی که در اثر فعالیت‌های تکتونیکی و ایجاد گسل و .. مسیر جریان مسدود ویا تغییر نماید) و سفره‌های آب زیرزمینی در حقیقت مانند مخازن و دریاچه‌های زیرزمینی عمل می‌کنند که

سرریز طبیعی آنها به صورت جریان سطحی و زیر زمینی به دریاچه و مخزن پایین‌دست وارد می‌شود . پس در چنین شرایطی برداشت بیش ازحد ازسفره‌های آب بالایی، باعث کاهش میزان تغذیه سفره پائین دست و اضرار به بهره‌برداران آن دشت‌ها خواهد شد. بعنوان مثال در حوضه آبریز کویر در انجیر که بخشی از استان‌های کرمان و یزد را شامل می‌شود، قسمتی از تغذیه دشت‌های رفسنجان و زرند از طریق خروجی منابع آب سطحی و زیرزمینی ازدشت‌های کرمان – باغین، بردسیر و قریت العرب انجام می‌شود. پس هر گونه اضافه برداشت از دشت‌های مذکور علاوه بر ایجاد ناپایداری و افت سطح آب در این دشت‌ها باعث کاهش ورودی و ایجاد ناپایداری در دشت‌های پائین دست زرند و رفسنجان نیز می‌شود.

۲-۵- انواع آبخوان‌ها

- **سفره آزاد* و سفره تحت فشار***

سفره آبی که در قسمت تحتانی به وسیله یک لایه غیرقابل نفوذ مانند رس، سنگ آهک متراکم یا سنگ آذرین محدود شده و قسمت فوقانی سفره تا سطح زمین یک لایه نفوذپذیر می‌باشد (شکل۶). حد فوقانی لایه آبدار به سطح آب زیرزمینی محدود می‌شود. فشار در سطح آب زیرزمینی (بالای سفره) برابر با فشار اتمسفر است. در این سفره سطح ایستابی بسته به میزان تغذیه و تخلیه می‌تواند آزادانه نوسان کند، زیرا لایه غیرقابل نفوذی در بالای آن قرار ندارد. سفره‌های آزاد معمولاً در آبرفت‌ها، تلماسه‌ها و نهشته‌های یخچالی یافت می‌شوند. ضخامت آبخوان‌های آزاد از چند متر تا چند صدمتر می‌تواند تغییر کند.



شکل ٦: سفره آزاد، تحت فشار و معلق

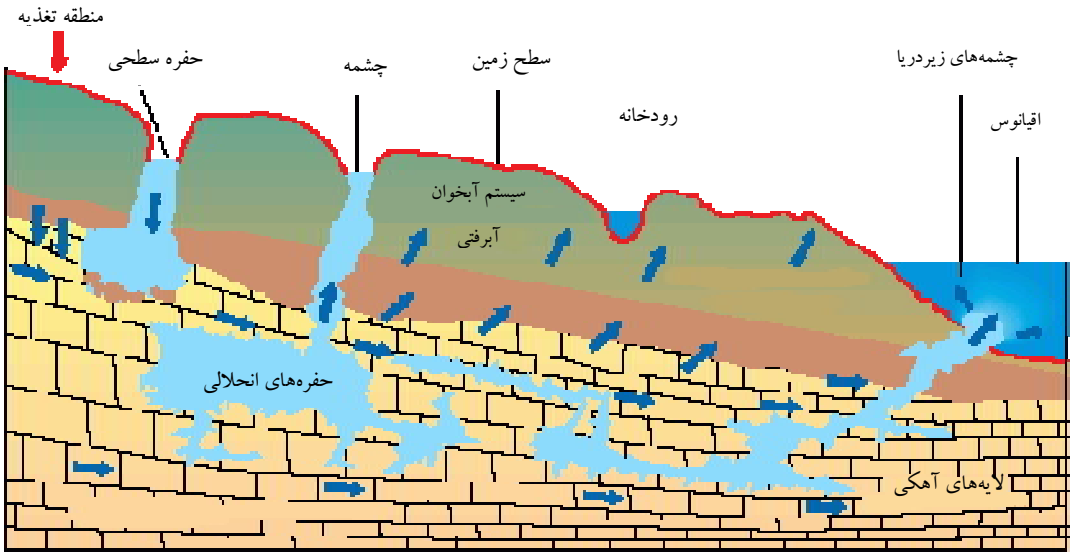
اگر لایه آبدار بین دو لایه نسبتاً نفوذناپذیر محصور شده باشد، سفره تحت فشار یا محصور بوجود می‌آید (شکل۶). مثلاً یک لایه ماسه‌ای بین دو لایه رسی، یا یک لایه ماسه سنگ بین لایه‌های شیل یا سنگ آهک متراکم قرار گیرد. لایه‌های آبدار تحت فشار به طور کامل از آب پر شده‌اند. بنابراین در این گونه سفره‌ها سطح آزاد آب (سطح ایستابی) به آن معنی که در لایه‌های آبدار آزاد مشاهده می‌شود، وجود ندارد. در این آبخوان‌ها به جای سطح ایستابی، سطح پیزومتریک* مطرح می‌شود. سطح پیزومتریک یا سطح فشار سطحی فرضی است که ارتفاع آن در هر نقطه برابر با ارتفاع نظیر فشار آب در لایه‌های آبدار می‌باشد. به عبارت دیگر سطحی است که در هر نقطه، ارتفاع آب را در درون چاهی که در لایه آبدار تحت فشار حفر شده نشان می‌دهد. بنابراین اگر در لایه‌های آبدار تحت فشار چاهی حفر شود.آب در داخل آن تا سطح پیزومتریک بالا خواهد آمد. اگر سطح پیزومتریک بالاتر از سطح زمین باشد، آب چاه خود بخود (بدون پمپاژ) به بیرون جریان پیدا می‌کند. این گونه چاه‌ها را چاه سرریز یا آرتزین* می‌نامند. آرتزین از کلمه آرتویز (Artois) نام استانی قدیمی در شمال فرانسه، گرفته شده است.

- **سفره آبدار معلق:**

اگر یک لایه غیرقابل نفوذ کم وسعتی و یا یک عدسی رسی در داخل منطقه یا ناحیه غیراشباع قرار گیرد و آب بتواند روی آن جمع شود، سفره آبدار معلق بوجود می‌آید (شکل۶). این قبیل سفره‌ها به دلیل وسعت کم و ضخامت اندک آبدهی کافی و دائمی ندارند. سطح آب چنین سفره‌هائی تحت تاثیر بارشهای جوی و برداشت نوسان می‌کند. در مخروط افکنه‌ها امکان تشکیل چنین سفره‌هایی وجود دارد.

- **سفره یا آبخوان کارستی:**

سنگ‌های کربناته بعلت داشتن خاصیت انحلال‌پذیری بسیار بالا، سنگ‌های سازنده سفره‌های کارستی محسوب می‌شوند. بر اثر نفوذ آب و انحلال مواد آهکی در قسمت‌های درونی این سنگ‌ها حفره‌هائی نسبتاً بزرگ و درز و شکاف‌های وسیعی بوجود می‌آید که مخازن بسیار مناسب برای ذخیره منابع آب زیرزمینی هستند (شکل۷). شرایط آب و هوائی و خصوصیات سنگ‌شناسی هر منطقه بر شدت کارستی شدن سنگ‌ها تاثیرگذار خواهد بود. وجه تسمیه این نام از منطقه‌ای در یوگسلاوی سابق بنام کارست گرفته شده که این تشکیلات اولین بار در آنجا مطالعه شده‌اند. رشته کوه‌های زاگرس (استانهای لرستان– کرمانشاه– همدان– فارس) از این لحاظ مشهورند و آبدهی برخی از چشمه‌ها در آنها به ۴ – ۳ مترمکعب در ثانیه می‌رسد. از جمله تشکیلات آهکی استان فارس نیز سفره‌های مهمی از این نظر هستند.

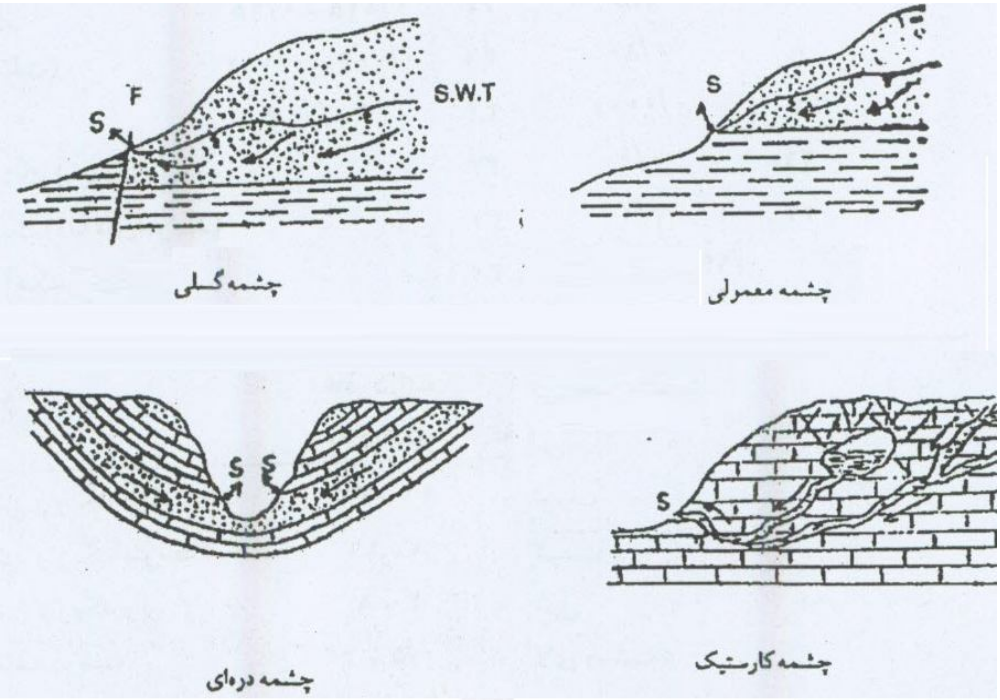


شکل ۷: نمونه ای از حرکت اب در سفره های کارستی

۳- روش‌های بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی

۳-۱- روش طبیعی بهره‌برداری از منابع آب زیر زمینی(چشمه ها)

چشمه‌ها حاصل تخلیه طبیعی سفره آب زیرزمینی می‌باشند. هرگاه سطح آب زیرزمینی سطح زمین را قطع کند، آب به سطح زمین جاری می‌شود و چشمه بوجود می‌آید. اکثر چشمه‌ها در نواحی کوهستانی یا دره‌ای تشکیل می‌شوند. در نواحی کوهستانی معمولاً چشمه‌ها وقتی ظاهر می‌شوند که رسوبات نفوذ پذیر مثل قلوه سنگ و ماسه سنگ و کنگلومرا بر روی رسوبات غیرقابل نفوذ قرار گرفته باشند. چشمه‌ها بر اساس دما، مقدار دبی، تغییرات دبی و نوع تشکیل شدن آنها تقسیم‌بندی متفاوتی دارند مانند چشمه‌های سرد و گرم، دائمی و فصلی، گسلی، کنتاکتی، دره‌ای و غیره (شکل۸).



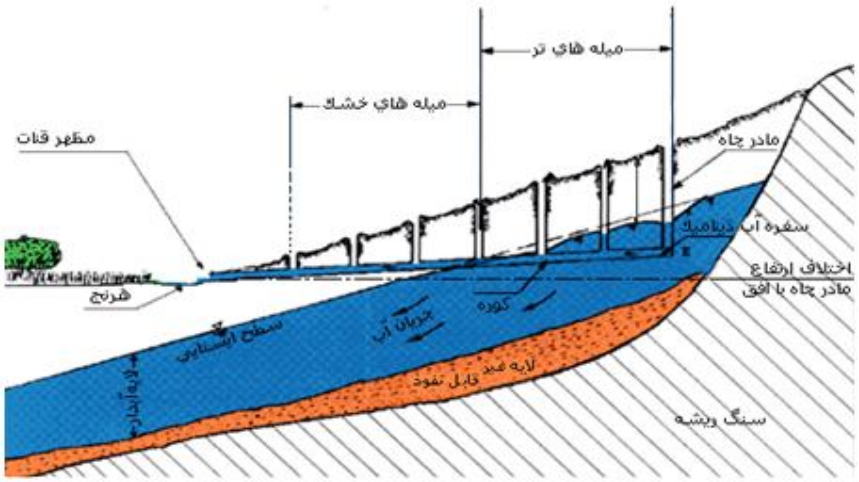
شکل ۸: انواع چشمه

۳-۲- روش‌های مصنوعی

۳-۲-۱- قنات:

قنات (عربی) یا کاریز (فارسی) عبارت است از یک مجرای زیرزمینی با شیب کم همراه با تعدادی چاه قائم به نام میله، که در زمین حفر می‌شوند تا آب زیرزمینی خودبخود و با نیروی ثقل و بدون نیاز به پمپ و یا وسائل دیگر در سطح زمین جریان پیدا کند. قنات‌ها را معمولاً در رسوبات آبرفتی بخصوص در مخروط افکنه‌ها (دامنه‌ها) حفر می‌کنند.

اولین قنات‌ها در ایران در حدود ۳۰۰۰ سال پیش حفر شده‌اند و این اختراع و ابتکار مهم و بی‌نظیر بعدها از خاورمیانه به شمال آفریقا ، اسپانیا، قبرس و ... انتقال پیدا کرد.



شکل ۹: نیمرخ طولی یک قنات

مجرای تقریباً افقی قنات، که «پیشکار یا کوره» نیز خوانده می‌شود، آب زیرزمینی را به طرف محل خروج یا «مظهر قنات» هدایت می‌کند (شکل ۹). مجرای قنات از دو بخش تشکیل شده است. در قسمتی از آن که« زهکان» یا «تره کار» یا «آبگیر» خوانده می‌شود، کف مجرای قنات در زیر سطح ایستابی قرار دارد. این قسمت که بخش آبده قنات را تشکیل می‌دهد، باعث زهکشی آب زیرزمینی وحرکت آن به سوی مظهر قنات می‌شود. «خشکان» یا «خشکه کار» یا «آب‌بر»، بخشی از مجرای قنات است که از محل تقاطع مجرا با سطح آب زیرزمینی تا مظهر قنات ادامه دارد. بنابراین خشکه کار بالاتر از سطح آب زیرزمینی است و آب از کف و دیواره‌های آن به داخل زمین نفوذ می‌کند. مجرای قنات شیب کمی به طرف مظهر دارد تا آب بتواند در اثر نیروی جاذبه در آن به حرکت درآید. مقدار شیب کف مجرای قنات از یک تا چند در هزار تغییر می‌کند و مقدار آن طوری انتخاب می‌شود که ضمن انتقال آب با سرعت مناسب، باعث فرسایش شدید مجرای قنات و خرابی آن نشود. آخرین میله که عمیق‌ترین آن‌هاست «مادر چاه» نامیده می‌شود که بیش از همه چاه‌ها در زیر سطح آب قرار دارد. طولانی‌ترین کاریز جهان (۳۳ کیلومتر) و عمیق‌ترین مادر چاه (۳۰۴ متر) در شهرستان گناباد به نام قنات قصبه قرار دارد که تاریخ حفر آن به دوره هخامنشی و یا قبل از آن می‌رسد.

قنات در قسمت «زهکان» (حریم جانبی) و بالادست مادر چاه، دارای حریم است که بایستی حفظ شود. در قنات بهره‌برداری از قسمت‌های سطحی سفره انجام می‌شود و از اعماق سفره یا آبخوان نمی‌توان بهره‌برداری کرد. در نتیجه میزان آبی که بوسیله قنوات از آبخوان خارج می‌شود تقریباً با تغذیه منطقه

برابری می‌کند و سطح آب در سفره چندان تغییر نمی‌کند به همین دلیل در سال‌های ترسالی قنوات آبدهی بیشتر و در سال‌های خشکسالی آبدهی کمتری دارند.

۳-۲-۲- چاه:

چاه حفره‌ای استوانه‌ای شکل و معمولاً قائم است که در زمین حفر می‌کنند تا به لایه آبدار برخورد کند. آب زیرزمینی از منافذ و درز وشکاف سنگ‌ها به درون چاه تراوش می‌کند و در آن جمع می‌شود. چاه یکی از مهمترین سازه‌ها برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به شمار می‌رود. تاریخ دقیق اولین چاهی که بشر حفر نموده است به درستی معلوم نیست. بعضی قدیمی‌ترین چاه آب را چاه بجای مانده در دره رود سند می‌دانند که ساختمان آن به ۶۰۰۰ سال پیش مربوط می‌شود. و عده‌ای از پژوهشگران بر این باورند که قدیمی‌ترین چاه در دنیا، چاه یوسف در نزدیکی قاهره است که قبل از میلاد حضرت عیسی تا عمق ۹۰ متری در سازند سخت* حفر شده است. آنچه مسلم است انسان ابتدا به فکر حفر چاه‌های دستی و کم عمق افتاد و از آنها با وسایلی ساده مانند دلو، چرخ چاه، طناب و نیروی حیوانات استفاده می‌کردکه بتدریج با افزایش نیاز به آب و پیشرفت تکنولوژی و ساخت دستگاه‌های حفاری مجهز، چاه‌های کم عمق تبدیل به چاه‌های عمیق شدند (بویژه درکشورهای خشک ونیمه خشک مانند ایران)که با پمپ‌های قوی بهره‌برداری از آنها میسر گردید. در کشور ما از سال ۱۳۲۰ به بعد حفر چاه با دستگاه متداول شده است.

۳-۲-۳-چاه‌های نیمه عمیق و عمیق:

تعریف جامع و واحدی در مورد چاه‌های نیمه عمیق و عمیق وجود ندارد. بعضی‌ها بر اساس نوع حفاری چاه‌هایی را که با دست و بوسیله مقنی حفر شده و با پمپ از آنها بهره‌برداری می‌شود نیمه عمیق می‌گویند و چاههایی که به وسیله دستگاه‌های حفاری حفر می‌شوند عمیق می‌گویند. بعضی‌ها بر اساس عمق چاه تا ۵۰ یا ۷۰ متر را نیمه عمیق و بیش از ۵۰ یا ۷۰ متر را عمیق می‌گویند. نظر غالب این است که چاهی که تا اولین لایه آبدار حفر شود چاهی است نیمه عمیق و چاه عمیق چاهی است که آب آن از لایه‌های آبدار عمیق تامین می‌شود یعنی از لایه‌های آبدار مختلف عبور کرده و از آنها آب می‌گیرد. چاه‌های عمیق در رسوبات آبرفتی و سازنده‌های سخت به وسیله دستگاه‌های حفاری ضربه‌ای و دورانی

حفر می‌شوند و لوله جدار مشبک که از لایه‌های مختلف می‌گذرد، می‌تواند از ذخائر آب همه لایه‌ها استفاده کند.

از آنجا که چاه‌های عمیق به عمق زیاد در سفره‌های آب زیرزمینی حفر می‌شوند، ترسالی و خشکسالی تاثیر فوری بر آبدهی آنها ندارد. اما بهره‌برداری از تعداد زیادی چاه عمیق در یک دشت با مکش بیش از حد آب از اعماق زیاد، می‌تواند نهایتاً منجر به افت شدید سطح عمومی سفره آب در آن دشت شود. این پدیده باعث کاهش آبدهی عموم چاه‌ها و خشکیدن قنوات احداث شده در آن سفره آبی خواهد شد.

٤-تحولات تکنولوژیک در بهره‌برداری از آب زیرزمینی و نتایج آن

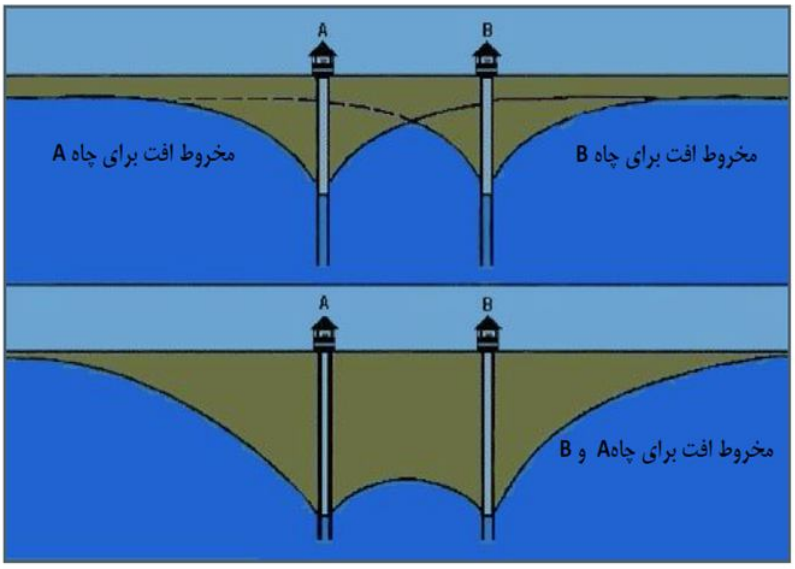
تحولات تکنولوژیک در استخراج آب زیرزمینی و ارزان بودن انرژی موجبات تسهیل تجاوز به حقوق بهره‌برداران قبلی و نسل‌های آینده را فراهم ساخت. با توجه به ساختار چاه‌های دستی و شیوه استخراج آب از آنها، بهره‌برداری از آن‌ها تأثیری بر سطح آب در سفره‌های زیرزمینی نمی‌گذارد.

استحصال آب از قنوات بر اساس توازن طبیعی لایه‌های آبدار و متناسب با بیلان آبی سفره صورت می‌گیرد. بنابراین بهره‌برداری از قنوات نمی‌تواند جز بصورت جزئی و محلی موجب افت سطح ایستابی آب در سفره شود. چاه نیمه عمیق نیز نمی‌توانست چندان موجب کاهش سطح سفره آبی گردد. بهره‌برداری از چاه‌های عمیق با امکان مکش بیش از حد آب از اعماق زیاد، می‌تواند نهایتاً منجر به افت شدید سطح عمومی سفره آب در دشت شود.

با آغاز پمپاژ و استخراج آب از چاه، سطح آب زیرزمینی در اطراف چاه به تدریج پایین رفته، فرورفتگی مخروطی شکلی در سطح ایستابی آب اطراف چاه ایجاد می‌شود. بر اثر پایین رفتن سطح آب در اطراف چاه، جریان طبیعی آب زیرزمینی تغییر کرده و آب اطراف و نقاط دورتر با سرعتی بیشتر به سمت چاه جریان یافته و یک مخروط افت* که رأس آن در چاه و قاعده آن در سطح ایستابی آب است، ایجاد می‌شود. با گذشت زمان از سرعت بزرگ شدن مخروط افت کاسته می‌شود و سرانجام پس از طی مدت زمانی، مخروط افت به صورت پایدار در می‌آید. در زمین‌های با نفوذ پذیری زیاد، مانند شن و ماسه، شعاع مخروط افت، زیاد و ارتفاع آن یا افت عمودی در چاه، کم است و مخروط شکل بشقابی دارد. در زمین‌های با نفوذپذیری کم، مانند رس و سیلت، شعاع مخروط افت، کم و ارتفاع آن،

زیاد است و مخروط حالت کله قندی دارد. شعاع مخروط افت را شعاع تأثیر چاه می‌گویند. شعاع تأثیر چاه بستگی به دبی‌چاه، مدت پمپاژ و خصوصیات سفره دارد.

به علت نفوذ چاه‌های عمیق به عمق سفره آب، بر هم کنش تأثیر دو یا چند چاه عمیق بر یکدیگر و بر سطح سفره آب می‌تواند بسیار قابل ملاحظه و بازدارنده باشد. نمای شماتیک چنین پدیده‌ای برای دو چاه فرضی در شکل (۱۰) ترسیم شده است. چنانچه ملاحظه می‌شود، سطح ایستابی آب در هر یک از دو چاه مجاور مشغول بهره‌برداری از یک سفره آبی، به مراتب پایین‌تر از حالتی است که هر یک از آنها به تنهایی مشغول بهره‌برداری از همان سفره باشند. بعلاوه، شعاع تأثیر کارکرد آنها در سفره نیز به مراتب بزرگتر خواهد بود.



شکل ۱۰: تأثیر مخروط افت دو چاه مجاور بر سفره آب

شایان توجه است که رفتار این پدیده تابع منحنی است که آن را منحنی هوبرت* نامیده‌اند. این پدیده باعث کاهش آبدهی عموم چاه‌ها و خشکیدن قنوات احداث شده در آن سفره آبی خواهد شد. این ویژگی منفی چاه‌های عمیق ضمن آنکه می‌تواند موجب توسعه کشاورزی در کوتاه مدت شود، عامل اصلی بروز تنش و تعارض میان بهره‌برداران یک سفره آبی و حتی بین نسل‌های متوالی آنها می‌باشد. با پایین‌تر رفتن ارتفاع تراز آب، منابع آب زیرزمینی اطمینان‌پذیری کمتری در مواقع بحرانی مثل دوره‌های خشک دارند.

پیامدهای اصلی پایین رفتن سطح آب زیرزمینی عبارتند از:

- **نشست زمین:**

بهره‌برداری بیش از حد باعث خالی شدن خلل و فرج آبرفت‌ها از آب و ایجاد فضای خالی بین دانه‌ای می‌گردد. به این ترتیب فضاهای بین ذره‌ای که قبلاً از آب پر شده بودند خالی می‌شوند و هوا جایگزین آب می‌شود. چون هوا مانند آب تحمل وزن لایه‌های بالایی را ندارد کم کم فضای بین ذرات خاک بر اثر عملکرد نیروی ثقل ناشی از وزن طبقات بالایی زمین بسته شده و خاک متراکم می‌گردد. در اثر این فشردگی ظرفیت آبخوان به صورت برگشت‌ناپذیر کاهش می‌یابد.

با توجه به ناهمگن بودن بافت خاک سفره‌های آب، معمولاً نشست زمین در همه جهات بصورت یکنواخت اتفاق نیفتاده، باعث کج شدن جدار چاه‌ها، خارج شدن تجهیزات آبکشی از حالت تراز، بروز نقص فنی در آنها و کاهش عمر چاه‌های آب می‌شود. بعلاوه، نشست غیر یکنواخت زمین می‌تواند باعث ایجاد درز و شکاف‌های وسیع و عمیق در اراضی کشاورزی، ساختمان‌ها، تأسیسات شهری و روستائی و آسیب دیدن تأسیسات زیر بنائی نظیر راه‌ها، پل‌ها، ریل‌های راه‌آهن و خطوط لوله انتقال آب و حامل‌های انرژی شود.

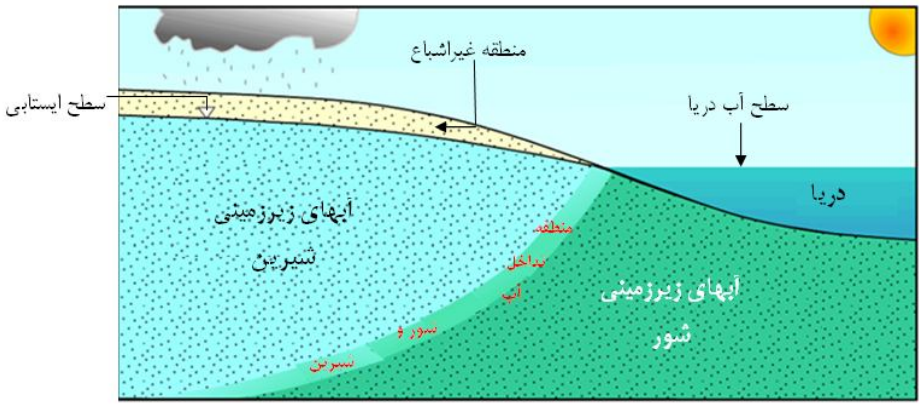
نشست، همچنین ممکن است به صورت فروریزش محلی چاه‌ها(Sinkhole) در نواحی که زیر آبخوان سنگ آهک، دولومیت و دیگر سنگ‌های قابل انحلال قراردارد، به وقوع بپیوندد.

نشست زمین بر اثر اضافه برداشت از سفره‌های آب در برخی نقاط دنیا نظیر شهر نیواورلینز (New Orleans) در ایالات متحده باعث شده این شهر که زمانی ارتفاعی بیشتر از سطح دریا داشت، امروزه به پایین‌تر از سطح دریا فرورفته و در نتیجه زمینه ویرانی شدید شهر بر اثر وقوع طوفان‌های سیل‌آسا فراهم گردد. متأسفانه، این پدیده در بخش‌های مهمی از کشور ایران نیز نظیر دشت‌های استان‌های کرمان، یزد، همدان و خراسان رضوی قابل مشاهده بوده و پایداری بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و تأسیسات این مناطق را با خطرات جدی مواجه کرده است.

- **نفوذ (برگشت) آب‌های شور به آبخوان:**

همانگونه که می‌دانیم خروجی منابع آب زیرزمینی در اغلب دشت‌ها به پهنه های مردابی، دریاچه‌ها و یا دریاهای باز و بطور کلی اکوسیستم‌های آبی مختوم می‌شود که منابع آب موجود در آنها شور و یا لب

شور می‌باشد. با توجه به این که آب شیرین چگالی کمتری نسبت به آب شور دارد، آب شیرین در بالای آب زیرزمینی شور قرار می‌گیرد. در تحت شرایط طبیعی، مرز بین آب شور و آب شیرین به یک نقطه تعادل می رسد (شکل ۱۱) . وقتی که آب از یک سفره آب زیرزمینی که نزدیک آب زیرزمینی شور است، پمپاژ می‌شود، مرز آب شیرین و شور حرکت خواهد کرد. اگر مرز بین آب شور و شیرین به اندازه‌ای جابجا شود که برخی از چاه‌ها را دربر بگیرد، چنین چاهی شور خواهند شد.



شکل ۱۱: نفوذ آب شور به سفره آب شیرین

در صورت بهره‌برداری بیشتر از حد مجاز و افت سطح ایستابی در آبخوان‌های آب شیرین، شیب منابع آب زیرزمینی که بطور طبیعی از طرف سفره آب شیرین به سمت آب‌های شور می‌باشد، معکوس گردیده و این پدیده موجب نفوذ (برگشت) آب‌های شور به داخل آبخوان‌های آب شیرین می‌شود و چنانچه بهره‌برداری غیر مجاز ادامه یافته و افت سطح ایستابی متوقف نشود، میزان و دامنه نفوذ آب‌های شور نیز اضافه گردیده و این فرآیند نهایتاً به چاه‌های بهره‌برداری از منابع زیرزمینی رسیده و بهره‌برداری از آنها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. متاسفانه پدیده نفوذ آب شور در بخش‌هایی از مناطق کویری و حتی ساحلی در ایران مشاهده است. همچنین در دشت‌ها بعلت اینکه لایه‌ها یا طبقات بالایی از آب سبکتر و شیرین‌تری برخوردارند، اضافه بهره‌برداری باعث تخلیه لایه‌های آب شیرین و برداشت از لایه‌های زیرین که املاح بیشتری دارند، می‌شود. افزایش املاح نیز خورنده‌گی و رسوب‌گذاری در تاسیسات بهره‌برداری را به دنبال دارد.

- **کاهش آبدهی و عمر چاه‌های موجود:**

از آنجائیکه عمق چاه‌های حفر شده اغلب تنها بخشی از منطقه اشباع را شامل می‌شود با افت سطح ایستابی و فشار هیدرواستاتیکی*، عملاً میزان بهره‌برداری به تدریج کاهش یافته و صاحبان چاه‌ها به منظور جبران آبدهی چاه مرتباً درخواست جابجایی چاه و حفاری اضافی (کف‌شکنی) را برای تامین آبدهی به میزان قبلی می‌نمایند. در نتیجه کج شدن جدار چاه‌ها، خارج شدن تجهیزات آبکشی از حالت تراز و بروز نقص فنی در چاه‌ها، موجبات کاهش عمر آنها فراهم می‌شود. افت مداوم سطح آب علاوه بر تحمیل هزینه و انرژی بیشتر برای بهره‌برداری به میزان ثابت، تخلیه و نهایتاً کاهش ظرفیت کل آبخوان را به همراه دارد.

- **آلودگی منابع آب زیرزمینی**

به طور محلی، سرعت جابجایی آب زیرزمینی آلوده و شانس این که آب زیرزمینی آلوده از طریق یک چاه دارای پمپ برداشت شود، افزایش می‌یابد. بعلاوه، کیفیت آب زیرزمینی در برابر سوء مدیریت کاربری‌آب و زمین، روش‌های دفع فاضلاب و پسماندها و آلودگی‌های تصادفی آسیب‌پذیر است. به دلیل سرعت معمولا کند حرکت آب زیرزمینی، حرکت آلودگی و گسترش آن کند است. بعد از آلوده شدن این مخازن، حتی اگر منبع آلودگی فعال نباشد، زمان طولانی و هزینه‌های زیادی، برای رسیدن به شرایط بهتری از کیفیت لازم است.

- **اثرات زیست محیطی**

بعلت تبادل دو سویه بین آب‌های سطحی و زیرزمینی در نواحی که سطح آب زیرزمینی همسطح زمین باشد، افت سطح آب در بسیاری از سفره‌های آب زیرزمینی باعث کاهش و خشکیدگی منابع آب سطحی نظیر رودخانه ها و دریاچه‌ها و خشکیدگی رطوبت خاک در ناحیه غیر اشباع خاک شده است. این پدیده به نوبه خود، اکوسیستم‌های موجود در این مناطق و نواحی را بصورت مخربی متأثر می‌سازد. خشک شدن تدریجی دریاچه ارومیه و رودخانه زاینده‌رود در ایران نمونه‌هایی از این تخریب بشر می‌باشند.

- **افزایش مناقشات بهره‌برداران**

اقدامات و فعالیت‌هایی که در زمینه کاربری و کنترل منابع آب میان مصرف‌کنندگان و در مصارف مختلف صورت می‌گیرد می‌تواند با یکدیگر تقابل و تناقض داشته و بالقوه مسایل و پیچیدگی‌های زیادی را بوجود آورد. برخی از منابع آب در شرایطی در دسترس جامعه قرار می‌گیرند که حقوق بهره‌برداران را نمی‌توان از تعرض دیگران به راحتی مصون داشت و تعرض موجب کاهش منابع در دسترس و آثار و پیامدهای منفی بر صاحبان حقوق و جامعه می‌شود. معمولا ممکن است مقامات مسئول صدور مجوز بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، برای صدور مجوزهای جدید در مناطقی که تعادل تغذیه و برداشت آب آنها برقرار نیست، تحت فشار باشند و یا برداشت غیرقانونی از این سفره‌ها انجام پذیرد. این اضافه برداشت‌ها موجبات اضرار به حقوق بهره‌برداران موجود را فراهم می‌سازد. در مناطقی که جریان‌های سطحی از منابع آب زیرزمینی تغذیه می‌شوند، کاهش در جریان پایه آب سطحی در نتیجه کاهش ذخایر آب زیرزمینی، تامین حقابه‌های موجود آب سطحی را نیز با مشکلات زیادی روبرو می‌کند. خشک‌سالی نیز می‌تواند تاثیرات ماندگاری بر شرایط آبخوان باقی بگذارد. ازجمله یک عکس‌العمل معمول در دوره‌های خشکسالی حفر چاه‌های بیشتر می‌باشد که تداوم بهره‌برداری از این چاه‌ها از جمله تغییرات دایمی در شرایط سفره است که موجبات افزایش مناقشات در حقوق بهره‌برداری از منابع آب باقیمانده را فراهم می‌کند.

۵- اضافه برداشت از منابع آب زیرزمینی و ضرورت مدیریت آن

سفره‌های آب زیرزمینی ذخایر ارزشمندی هستند که در زمان‌های طولانی تشکیل شده‌اند و اکنون در اختیار ما قرار گرفته‌اند و بهره‌برداری از آنها باید بر اساس اصول صحیح علمی و متناسب با ظرفیت آبخوان‌ها صورت گیرد. متاسفانه در سالهای اخیر رشد روزافزون جمعیت و نیاز فزاینده به آب در بخش‌های مختلف مصرف بدلیل انتخاب خط‌مشی‌های نادرست توسعه کشاورزی و حفر چاه‌های غیرمجاز، باعث بهره‌برداری بی‌رویه از این منابع حیاتی گردیده است. هرگاه الگوی بهره‌برداری از منابع مشترک بصورت آزاد و بدون کنترل و ضوابط و قوانین مشترک حاکم بر نحوه بهره‌برداری از این منابع صورت گیرد، شدت بهره‌برداری آزاد به حدی خواهد رسید که منجر به اتلاف منابع مشترک و

ورشکستگی فعالین اقتصادی مرتبط خواهد شد که از آن بعنوان «تراژدی یا فاجعه منابع مشترک» یاد می‌شود.

برداشت از آب زیرزمینی و احیای مجدد آن با تغذیه، به صورت فصلی از سالانه متفاوت است. مشاهده سیستم آب زیرزمینی در طول زمان، نشان می‌دهد که اتخاذ یک دیدگاه بلندمدت ممکن است شامل برداشت‌های مکرر و موقت از ذخیره آب به نحوی باشد که با تغذیه و اضافه‌شدن آب در بین این برداشت‌ها، ذخیره آب زیرزمینی تعادل برقرار شود (بهره‌برداری سیکلی). این بحث نشان می‌دهد که مفهوم پایداری منابع آب زیرزمینی و کاربرد آن در شرایط واقعی، دارای وجوه پیچیده است. زیرا «توسعه پایدار منابع آب زیرزمینی» عموماً به معنی برداشت در حد تعادل پویای منابع و بطور متوسط باقی گذاشتن ذخایر تجدید ناپذیر بدون کاهش است. اما در مناطقی که منابع آب کمیاب و ذخایر تجدیدناپذیر زیاد است، این معیار می‌تواند شکل تعدیل شده بهره‌برداری مجاز باشد به نحوی که برداشت از ذخایر ثابت در حدی که ایجاد آثار جنبی منفی نکند (بهره‌برداری تجدیدپذیر*) منعی نداشته باشد.

در بسیاری مناطق کره زمین نحوه استفاده بشر از منابع طبیعی و بویژه منابع آب مشکل آفرین شده است. همانطور که بشر به وضوح شاهد استفاده بی‌رویه و آلودگی آب رودخانه‌ها و آب‌های سطحی بوده، سفره‌های آب زیرزمینی هم به مشکلات مشابه دچار شده‌اند؛ با این تفاوت مهم که اضافه برداشت و تخریب سفره‌های آب زیرزمینی از دید مستقیم بشر به دور بوده و لذا این واقعیت، تشخیص درد و درمان آن را بسیار مشکل‌تر ساخته است.

کل برداشت جهان از منابع آب زیرزمینی در سال ۲۰۱۰ حدود ۱۰۰۰۰ میلیارد مترمکعب برآورد شده که ۶۷ درصد آن به مصرف آبیاری، ۲۲ درصد به مصارف خانگی و ۱۱ درصد به مصارف صنعتی می‌رسد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که برداشت‌ها در طول ۵۰ سال گذشته با نرخ رشد سالانه ۱ تا ۲ درصد، سه برابر شده است. بخشی از برداشت‌های انجام گرفته از ذخایر تجدیدناپذیر بوده است. متوسط نرخ رشد تخلیه آب غیرتجدیدپذیردر قرن بیستم حدود ۶ تا ۷ درصد برآورد می‌شود که از نرخ رشد برداشت به مراتب افزون‌تر است. برای مثال، رقم میانگین حجم برداشت آب زیرزمینی تجدیدناپذیر در دوره ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰ حدود ۱۰۲ میلیارد مترمکعب در سال برآورد شده است که این در دوره ۲۰۰۰ تا

۲۰۰۸ به ۱۴۵ میلیارد مترمکعب درسال رسیده یعنی این میانگین بیش از ۴۰ درصد اضافه 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. این روند در کشور ما باعث افت شدید و گسترده سطح سفره، کاهش منابع آب زیرزمینی، کاهش آبدهی و نهایتاً خشک شدن قنوات و بسیاری از چاه‌ها و از بین رفتن سرمایه‌گذاری‌های بسیاری شده است. ابعاد این خسارت‌ها امروزه به حدی رسیده است که علاوه بر ضرورت پیش‌بینی و آغاز اقدامات دراز مدت، باید اقدامات عاجلی نیز بمنظور شناخت ابعاد مختلف آن‌ها وکنترل و کاهش پیامدهای اقتصادی و اجتماعی مرتبط، انجام پذیرید.

این موضوع علاوه بر قدرت مکش و تخلیه ذخیره آب زیرزمینی توسط فناوری چاه عمیق، از دیدگاه سهولت در حیازت که مبانی اسباب تملک در فقه اسلامی بشمار می‌رود نیز قابل بررسی است. بطور کلی نهادهای مرتبط با مدیریت آب زیرزمینی باید با شرایط این فناوری تطابق پیدا کنند. مثلا تحول در تکنولوژی حفر چاه‌ها، حیازت آب زیرزمینی را که مدت زمان نسبتا زیادی نیاز داشت و مثلا در مورد حفر قنات، به دهها سال زمان احتیاج داشت به چند روز تقلیل داد. این سهولت حیازت امکان ضرر رسانی به قنوات را چندین برابر سرعت بخشید و بطور جد ضرورت اعمال مدیریت در حیازت منابع آب را مطرح ساخته است.

یکی دیگر از اقدامات عاجل مورد نیاز ارزیابی صحیح منابع آب زیرزمینی کشور است. فعالیت‌های انسان مانند برداشت آب زیرزمینی و آبیاری، الگوی طبیعی جریان‌های ورودی-خروجی به سفره آب زیرزمینی را تغییر می‌دهند و این تغییرات باید در محاسبه بیلان محسوب شوند. بدلیل اینکه هر آبی که مورد استفاده قرار می‌گیرد باید از محلی تامین شود، فعالیت‌های انسان بر روی میزان جابجایی آب در آبخوان یا سفره آب زیرزمینی و همچنین ورودی و خروجی آن تاثیر می‌گذارد. فهم مولفه‌های ورودی و خروجی مخزن و نحوه ایجاد تعادل میان آن‌ها و چگونگی تغییر آن‌ها در قبال فعالیت‌های انسانی، جنبه مهمی از هیدرولوژی آب زیرزمینی می‌باشد که باید در مدیریت آب زیرزمینی عملاً مورد توجه بوده و بکار گرفته شوند.

بدلیل دشواری‌های برآورد ظرفیت مطمئن بهره‌برداری آبخوان‌ها در شروع توسعه بهره‌برداری از آبخوان‌ها ممکن است صدور پروانه‌های مجاز بیش از ظرفیت مخزن باشد. و یا در صدور مجوز و واگذاری بیش از ظرفیت مجوز برداشت جدید برای حفر چاه و منابع آب زیرزمینی، ارتباط فیزیکی میان ذرات آب یک آبخوان را و تاثیر برداشت‌های جدید بر کمیت و کیفیت حقوق برداشت های قدیم بی توجه بوده اند و این امر نوعی دست اندازی و موجبات اضرار به غیر را فراهم می کند.

بی‌اطلاعی و یا عدم توجه به پیوستگی و منابع تغذیه آبخوان‌ها و صدور مجوز جدید بصورتیکه منابع تغذیه و ظرفیت آبخوان‌های تحت بهره‌برداری را کاهش دهد از دیگر مواردی است که موجبات اضرار به حقوق بهره‌برداران موجود را فراهم می‌سازد. کاهش در جریان پایه آب سطحی در نتیجه توسعه بی‌رویه آب زیرزمینی، تامین حقابه‌های موجود آب سطحی را پیچیده می‌کند. به طور سنتی، قوانین آب، ارتباط فیزیکی آب زیرزمینی و سطحی را باز نشناخته‌اند. برطرف ساختن تضادها و یا متعادل کردن رقابت‌هائی که بطور بالقوه بین مصارف مختلف آب وجود دارد، ایجاب می‌کند تا یک سلسله تدابیر سنجیده برای اداره بهتر این امور اتخاذ شود.

هزینه جمع‌آوری اطلاعات در مورد آب زیرزمینی عامل اصلی بازدارنده در پیشرفت به سوی توسعه پایدار می‌باشد. جمع‌آوری اطلاعات (گزارش چاه‌های پیزومتریک یا مشاهده‌ای*، تحلیل شیمیایی تراز آب، آزمایش پمپاژ، برداشت ازآب زیرزمینی و غیره) زمان و کار فشرده‌ای می‌خواهد و پرهزینه است. اما اینگونه هزینه‌ها در مقابل هزینه جبران اضافه برداشت و آلودگی آب زیرزمینی یا تامین منبع آب جایگزین یا متوقف کردن بعضی از فعالیت‌های اقتصادی بدلیل کمبود آب، ناچیز می‌باشد.

پس از مراحل مطالعه و شناخت، برنامه‌ریزی و قانون‌گذاری نیاز به یک سیستم پایش وجود دارد. پایش از دو جهت باید مورد نظر قرارگیرد. نخست پایش اجرای درست قوانین و برنامه‌ها است و دوم پایش‌های اطلاعاتی آبخوان از نظر زمانی و مکانی می‌باشد.

پیوست شماره یک: تعاریف واژگان و عبارت‌های کلیدی

آبخوان‌های آزاد (Unconfined Aquifer): عبارتست از یک لایه قابل نفوذ که قسمتی از آن از آب اشباع بوده و بر روی یک لایه تقریباً غیرقابل نفوذ قرار گرفته باشد. فشار وارده بر سطح آب در این نوع آبخوان‌ها همان فشار اتمسفر می‌باشد.

آبخوان‌های تحت فشار یا محصور (Confined Aquifer): هر گاه یک لایه نفوذپذیر اشباع از آب از بالا و پائین بوسیله دو لایه نفوذناپذیر محصور شود، سفره آب محصور یا تحت فشار بوجود می‌آید. در این آبخوان‌ها فشار وارده بر سطح آب بیش از فشار آتمسفر می‌باشد.

منابع آب 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 می‌آیند.

بخش استاتیک یا ایستای آبخوان (Static Groundwater): بخشی از آبخوان است که پایین‌تر از بخش تجدیدپذیر آب زیرزمینی که هر ساله تغذیه و تخلیه می‌شود، قرار دارد. چنانچه بهره‌برداری از آبخوان به گونه‌ای باشد که خارج از دامنه نوسانات تغذیه و تخلیه سالانه یا زمانی مشخص، باشد، بهره‌برداری از بخش استاتیک آبخوان صورت گیرد، به تبع این اضافه بهره‌برداری سطح استابی آبخوان به تدریج افت می‌نماید که همراه با آثار و تبعات جدی و خطرناکی است.

بخش دینامیک یا پویای آبخوان (Dynamic Groundwater): سطح ایستابی در هر آبخوان آب زیرزمینی به دلیل توزیع زمانی و مکانی، میزان تغذیه و همچنین فرکانس تجدیدپذیری هرآبخوان دارای نوساناتی است که به آن، بخش دینامیک آبخوان اطلاق شده و میزان مجاز بهره‌برداری از آبخوان را توسط بررسی و تعیین این نوسانات می‌توان برآورد نمود.

برداشت تجدیدپذیر از آب زیرزمینی (Sustainable Groundwater Yield): معادل میزان برداشتی از آب زیرزمینی است که با اصول توسعه پایدار هماهنگ باشد. به دیگر سخن، برداشت تجدیدپذیر معادل رژیم برداشتی از آب زیرزمینی است که در یک بازه زمانی برنامه‌ریزی شده و با لحاظ کردن سطح قابل قبولی از تنش به و حفاظت از دارایی‌های زیست‌محیطی، عملکردهای اکولوژیکی و یا سرمایه‌های اجتماعی و اقتصادی مرتبط با آب زیرزمینی، می‌توان برداشت کرد.

برداشت مجاز از آب زیرزمینی (Safe Groundwater Yield): عبارت است از مقدار آبی که بدون ایجاد اثر نامطلوب در آبخوان، می‌توان از آن آبخوان برداشت کرد. از جمله این آثار نامطلوب می‌توان به کاهش تغذیه آبهای سطحی توسط آبخوان موردنظر، کاهش جریانهای اکولوژیکی پایه، تداخل مخروط‌های افت، تخلیه ذخایر منبع و کاهش آبدهی آن و نشست زمین در اثر کاهش فشار منفذی اشاره کرد. بنابراین برداشت مجاز تنها کسری از آب زیرزمینی است که می توان با حفظ ملاحظات زیست‌محیطی و اکولوژیکی برای تامین پایدار فعالیت‌های انسانی از این منبع برداشت کرد.

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 عمیق‌تر کردن چاه‌ها و برداشت آب از اعماق بیشتر و افزایش هزینه استخراج آب، نشست زمین و مسدود شدن آبخوان، شود.

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 ویا پخش می‌شود تا به درون لایه خاک نفوذ کرده و نهایتاً به آبخوان آب زیرزمینی تغذیه 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.

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: کارست کامل

(که دارای مواد ناخالص (رس) ناچیز است و درز و شکافها به صورت کامل و یکنواخت توسعه یافته است) و کارست ناقص (که دارای مواد ناخالص (رس) است و درز و شکاف‌ها به صورت کامل و منظم توسعه پیدا نکرده‌اند).

سطح ایستابی (Stable Water Table): سطح آب در چاهی که در سفره آزاد حفر شده سطح ایستابی نامیده می‌شود. فشار وارده بر سطح آب با فشار آتمسفر برابر می‌باشد. در واقع سطح ایستابی جداکننده منطقه اشباع و غیراشباع در آبخوان‌های آزاد محسوب می‌شود.

سطح پیزومتریک (Piezometric Head): عبارتست از رقوم سطح آب زیرزمینی در یک چاه مشاهده‌ای که در یک سفره تحت فشار (محصور) حفر شده در مقایسه با یک سطح مبنا مثل سطح دریا. در واقع سطح پیزومتریک یک رقوم فرضی است که در صورت حفر چاه در آبخوان‌های تحت فشار، سطح آب تا آن رقوم بالا می‌آید.

فشار هیدرواستاتیک (Hydrostatic Pressure): فشار هیدرواستاتیک عبارت است از فشار وارد شده توسط سیال در حال تعادل که به علت نیروی جاذبه اعمال میگردد . فشار هیدرواستاتیک را میتوان بوسیله یک جزء مکعبی بینهایت کوچک از سیال تحلیل کرد.

مخروط افت (Cone of Depression): هنگام پمپاژ آب چاه، سطح آب زیر زمینی در داخل و اطراف آن پائین می رود و آب نقاط دورتر و اطراف با سرعت بیشتری به سمت چاه جریان می یابند سطح آب در این حالت بشکل مخروطی است که به آن مخروط آفت می‌گویند. این مخروط بنحوی قرار میگیرد که قاعده آن در سطح استاتیکی آب و رأس آن در سطح آب داخل چاه باشد. در لایه های آزاد افقی افت سطح آب در اطراف چاه و یا افت سطح فشار در لایه های محصور بصوت سطوح منحنی متقارن است. بطوریکه در اطراف چاه یک مخروط معکوس با سطح جانبی معقر از آب تخلیه می‌شود. سطح قاعده مخروط را سطح تأثیر چاه و شعاع آن را شعاع تأثیر چاه نامند. شعاع تأثیر همان حریم چاه می‌باشد. سطح قاعده مخروط افت در اطراف چاه بستگی به قابلیت انتقال مواد تشکیل دهنده لایه آبدار دارد.

منحنی هوبرت (Hubbert Curve): استخراج آب زیرزمینی در یک ناحیه مشخص در طول زمان از یک منحنی زنگوله‌ای پیروی می‌کند. هوبرت فرض کرد که بعد از اولین برداشت از آب سفره آب زیرزمینی، در ابتدا استخراج آب به صورت نمایی افزایش پیدا می‌کند و در یک نقطه به یک نقطه اوج می‌رسد و بعد از آن شروع به کاهش به صورت نمایی می‌کند.

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.

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.

منابع :

1- **Foster, Stephen and Loucks, Daniel P. & etal.,** 2006. «Non-Renewable Groundwater Resources, a guidebook on socially-sustainable management for water-policy makers», IHP-IV GROUWATER SERIES NO 10, UNESCO.

2- **Geological Survey of Norway,** 2005. «Groundwater reservoir for a thirsty planet?» , Earth Sciences for Society Foundation, Leiden, The Netherlands.

3- **Van der Gun, Jac,.** 2012, «Groundwater and global change: UNITED NATIONS WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME», Unesco

4- **Vrba, Jaroslav and van der Gun, Jac**, 2004, «The world's groundwater resources», UNESCO Contribution to Chapter 4 of WWDR-2 (Draft), Utrecht, December 2004.

5- **Victor Miguel Ponce,** 2008, «SUSTAINABLE YIELD OF GROUNDWATER», http://ponce.sdsu.edu/groundwater_sustainable_yield.html

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

7- **Wikipedia**, http://en.wikipedia.org/wiki/Hubbert_curve.

۸- اندیشکده تدبیر آب، ۱۳۹۲، مقاله چرخه آب.

۹- خورسندی، احمد، ۱۳۸۰، «اصول هیدروژئولوژی کاربردی » ، موسسه آموزش عالی علمی کاربردی صنعت آب و برق.

۱۰- رضوی، احمد، ۱۳۸۵، «آبهای زیرزمینی» جزوه درسی دانشگاه صنعت آب و برق.

۱۱- صداقت، محمود، ۱۳۸۷، «زمین و منابع آب – آبهای زیرزمینی »، دانشگاه پیام نور.

۱۲- صلوی‌تبار، عبدالرحیم؛ بداغی، کاوه، ۱۳۸۵. مروری بر ادبیات تعادل بخشی آب زیرزمینی، دفتر امور پژوهشی و پشتیبانی علمی شرکت مدیریت منابع اب ایران.

۱۳- علیزاده، امین، ۱۳۶۷، « اصول هیدرولوژی کاربردی» ، انتشارات آستان قدس رضوی.

۱۴- یونسلو، صادق، ۱۳۹۱، «بهینه سازی مصرف آب» ، پژواک فرهنگ.