

## شناخت سیستم‌های آبخوان برای مدیریت آب زیرزمینی



# شناخت سیستم‌های آبخوان برای مدیریت آب زیرزمینی

نوشتار حاضر ترجمه‌ای است از:

Module 2: **Aquifer Systems Characterization for Groundwater Management.** In  
Groundwater Management in IWRM. Training Manual. Cap-Net, 2010.

طراحی و صفحه‌بندی: دبیرخانه اندیشکده تدبیر آب ایران

چاپ اول: مرداد ۹۸

کلیه حقوق این مقاله، محفوظ و متعلق به اندیشکده تدبیر آب ایران است. استفاده از مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است. دیدگاه‌های طرح‌شده در این نوشتار، لزوماً به معنای دیدگاه‌های اندیشکده تدبیر آب ایران نیست.

نشانی: تهران. خیابان کریمخان. خیابان نجات‌اللهی شمالی. روبروی بیمارستان یاس. پلاک ۲۱۲. طبقه ۴. واحد ۴.

تلفن: ۸۸۹۴۷۴۰۰ - ۸۸۹۴۷۳۰۰

[www.iwpri.ir](http://www.iwpri.ir)





## پیشگفتار مجموعه «آشنایی با مدیریت آب زیرزمینی با رویکرد یکپارچه»

آب زیرزمینی در بسیاری از کشورها برای معیشت و سلامت مردم، اهمیت حیاتی دارد، چرا که غالباً منبع اصلی تأمین آب به شمار می‌آید. افزون بر این، به طور گسترده‌ای برای کشاورزی آبی و صنعت بهره‌برداری می‌شود. این وضعیت به ویژه در مناطق خشک که آب سطحی، کمیاب یا فصلی است، و نیز در نواحی روستایی با جمعیت‌های پراکنده مصداق دارد. تغییر اقلیم احتمالاً وابستگی به آب زیرزمینی را به عنوان یک سپر محافظ در برابر خشکسالی و عدم قطعیت فزاینده در موجودی آب سطحی افزایش خواهد داد.

با این همه، هنوز هم عمیقاً با فهم نادرست روبرو است؛ آنچنان که باید ارزش آن شناخته نشده، مدیریت ضعیفی بر آن حاکم است و به قدر کافی حفاظت نمی‌شود. سیستم‌های آب زیرزمینی در قرن بیستم، در نتیجه بهره‌برداری زیاد برای تأمین آب شهری و کشاورزی آبی، و تغییرات تمام‌عیار در کاربری اراضی در بسیاری از پهنه‌های تغذیه آب زیرزمینی، از حالت طبیعی خود خارج شده‌اند. نگرانی‌ها درباره پایداری منابع آب زیرزمینی، تنزل کیفیت و تأثیرپذیری منفی اکوسیستم‌های وابسته به آب زیرزمینی، افزایش یافته است. چالش شناسایی اقدامات لازم برای فراهم آوردن حکمرانی مناسب و تبدیل آنها به ترتیبات نهادی اثربخش برای مدیریت منابع آب زیرزمینی و حفاظت کیفی آنها نیز قابل ملاحظه است.

برخی دولت‌ها اصلاح مدیریت منابع آب را با رویکردی یکپارچه در دستور کار قرار داده‌اند. متأسفانه در این قبیل اصلاحات، به مدیریت آب زیرزمینی توجه شایسته مبذول نشده است. این در حالی است که یکی از بینش‌های بنیادی رویکرد یکپارچه در مدیریت منابع آب آن است که آب یک منبع (به هم پیوسته) است و بنابراین مستلزم کل‌نگری در مدیریت است. از این رو، آب زیرزمینی باید تمام و کمال مورد توجه قرار گیرد.

مجموعه «آشنایی با مدیریت آب زیرزمینی با رویکرد یکپارچه» بر اساس مطالعات موردی در افریقا و برگزاری تعدادی دوره‌های آموزشی، و با همکاری کپنت، شبکه آب زیرزمینی افریقا (AGW-Net) و تیم مشورتی مدیریت آب زیرزمینی (GWMATE) تهیه شده است.

این مجموعه در یازده فصل به شرح زیر سازماندهی شده است:

۱- یکپارچه‌نگری و چارچوب مدیریت آب زیرزمینی

۲- شناخت سیستم‌های آبخوان برای مدیریت آب زیرزمینی

۳- مدیریت یکپارچه آب زیرزمینی در عمل

۴- قوانین و مقررات آب زیرزمینی

۵- تخصیص و مجوز بهره‌برداری آب زیرزمینی

۶- ابزارهای اقتصادی و مالی در مدیریت آب زیرزمینی

۷- مشارکت ذینفعان در مدیریت آب زیرزمینی

۸- مدیریت کیفیت آب زیرزمینی

۹- پایش آب زیرزمینی

۱۰- آب زیرزمینی و تغییر اقلیم

۱۱- مدیریت اطلاعات و ارتباطات

نوشتار حاضر، دومین عنوان از این مجموعه به شمار می‌آید. از هدف‌های مهم این مجموعه آموزشی، پرداختن به آب زیرزمینی با رویکرد یکپارچه در مدیریت منابع آب است. هدف نهایی، معرفی چارچوب گسترده‌تر مدیریت آب زیرزمینی به کارشناسان آب زیرزمینی و چالش‌های خاص مدیریت آب زیرزمینی به دیگر متخصصان آب است.

آب زیرزمینی از نظر فنی موضوعی پیچیده به شمار می‌آید. با این همه، متخصصان و مدیران آب باید به درک مشترکی برسند. این نوشتار می‌کوشد به تحقق این هدف کمک کند.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	۱- مقدمه
۱	۲- پیدایش آب زیرزمینی
۷	۳- جریان آب زیرزمینی
۱۶	۴- مشکلات کیفیت طبیعی آب زیرزمینی
۲۱	۵- اطلاعات لازم برای مدیریت آب زیرزمینی
۲۷	۶- خلاصه: برای مدیریت مناسب آب زیرزمینی، به آگاهی از چه چیزهایی نیاز داریم؟
۲۹	برای مطالعه بیشتر
۳۰	برای تمرین بیشتر

### هدف‌های یادگیری

- درک ویژگی‌های کلیدی آبخوان‌ها برای مدیریت بهتر آب زیرزمینی
- درک محیط‌های اصلی هیدروژئولوژیکی و پیدایش آب زیرزمینی، و معانی آن برای بهره‌برداری آب زیرزمینی
- درک اهمیت شناخت آبخوان در مدیریت منابع آب زیرزمینی

## ۱- مقدمه

آب زیرزمینی با آب سطحی به سبب محیط‌های متفاوت فیزیکی و شیمیایی پیدایش آن تفاوت دارد. در میان آبخوان‌ها نیز تفاوت‌های زیادی از نظر محیط‌های زمین‌شناختی پیدایش آنها وجود دارد. این تفاوت‌ها بر ظرفیت ذخیره آب و انتقال جریان آب تأثیر می‌گذارد. افزون بر این، سازندهای مختلف زمین‌شناسی، از نظر خصوصیات ذکر شده تغییرات زیادی دارند، و گاه گسترش مکانی آنها متأثر از ساختار زمین‌شناسی، به شکل قابل ملاحظه تغییر می‌کند. بنابراین، موجودی آب زیرزمینی به محیط هیدروژئولوژیکی بستگی خواهد داشت، و این محیط‌ها می‌توانند بسیار متنوع باشند.

بنا به آنچه گفته شد، روشن است که مدیریت آب زیرزمینی باید مبتنی بر درک خوب ویژگی‌های آب زیرزمینی در کل سیستم آب زیرزمینی باشد. این درک نیازمند داده‌های خوب درباره منابع بر اساس بررسی‌ها، پایش و تفسیر داده‌ها است.

## ۲- پیدایش آب زیرزمینی

### کارکردهای اصلی آبخوان‌ها چیست؟

آب زیرزمینی در بیشتر سازندهای زمین‌شناختی پدیدار می‌شود، چون تقریباً در همه سنگ‌ها از هر نوع، منشأ یا سن، منافذ، حفره‌ها یا شکستگی‌ها وجود دارند. در بررسی‌های هیدروژئولوژیکی، با واحدهای هیدروژئولوژیکی، یا سیستم هیدروژئولوژیکی سر و کار داریم. بر اساس مقیاس مطالعه می‌توان واحدهای زیر را تشخیص داد:

- حوضه‌های هیدروژئولوژیکی که تقریباً متناظر با توپوگرافی یا حوضه آبریز هستند؛
- حوضه‌های آب زیرزمینی که مؤلفه‌ای از حوضه هیدروژئولوژیکی واقع در زیر زمین به شمار می‌آیند؛



- آبخوان یا واحدهای هیدروژئولوژیکی که آب زیرزمینی را در خود جای داده‌اند. یک یا چند آبخوان می‌تواند یک حوضه هیدروژئولوژیکی را تشکیل دهد.

بنا به تعریف، آبخوان یک سازند زمین‌شناختی، گروهی از سازندها، یا بخشی از یک سازند به شمار می‌آید و به اندازه کافی نفوذپذیری و اشباع‌شدگی دارد که می‌تواند مقادیر قابل ملاحظه آب را از طریق چاه‌ها و چشمه‌ها تأمین نماید. چندین آبخوان بر روی هم، سیستم آبخوان را به وجود می‌آورند.

آبخوان به عنوان واحد هیدروژئولوژیکی از دو مؤلفه اصلی ساخته می‌شود که برهم کنش دارند: مخزنی تشکیل یافته از یک یا چند سازند هیدروژئولوژیکی، و آب زیرزمینی:

مخزن سه کارکرد مهم دارد:

- ظرفیت ذخیره را فراهم می‌آورد. این ویژگی، قابلیت ذخیره (ضریب ذخیره) یا آبدهی ویژه گفته می‌شود؛

- ظرفیت انتقال در اثر ثقل یا فشار. این ویژگی، قابلیت انتقال نامیده می‌شود؛

- برهم کنش فیزیکی و شیمیایی میان سنگ مخزن و آب زیرزمینی.

بسته به نوع سنگ و محیط هیدروژئولوژیکی، آبخوان‌ها ممکن است یک یا چند کارکرد بالا وجود داشته باشد. برای نمونه، کارکرد غالب تر آبخوانی که در مجاورت رودخانه قرار دارد، انتقال‌دهنگی است، در حالی که آبخوان عمیق و محصور، عمدتاً ظرفیت ذخیره آن اهمیت می‌یابد، و یک آبخوان نامحصور ممکن است هر دو نقش را ایفا نماید. کارکرد تبادل به مدت زمان برهم کنش سنگ و آب، طول مسیر جریان و نوع مصالح بستگی دارد. کادر ۱-۲ تعریف مفهوم‌های پایه را برای درک بهتر انواع آبخوان به دست می‌دهد.

## کادر ۲-۱- مفهوم‌ها و تعریف‌های پایه

آبخوان، یک سازند زمین‌شناختی است (یک یا چند لایه) که می‌تواند مقدار قابل توجهی آب را ذخیره و فراهم نماید. این کارکرد به ماهیت لایه آبدار بستگی دارد. آبخوان‌های خوب آنهایی هستند که نفوذپذیری بالایی دارند، مانند مصالح ماسه‌ای، شنی، و ماسه‌سنگ‌ها یا سنگ‌های شدیداً درزه‌دار؛ این آبخوان‌ها می‌توانند منابع بسیار خوب آب برای استفاده انسان باشند.

اگر یک لایه زمین‌شناسی بتواند آب را ذخیره کند، ولی توانایی انتقال مقدار قابل ملاحظه آب را نداشته باشد، سازند آب‌بند<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. این لایه ممکن است رس ماسه‌دار و سنگ تحکیم‌یافته باشد که شکستگی‌ها به هم متصل نیستند (گِل‌سنگ<sup>۲</sup>)، رس‌های تحکیم‌یافته یا سنگ‌های بلورین).

سازند کم‌تراوا<sup>۳</sup> یک لایه زمین‌شناسی محصور (با نفوذپذیری کم) به شمار می‌آید که مقدار کمی از آب را در مقایسه با آبخوان‌ها انتقال می‌دهد؛ انتقال عمدتاً عمودی از آبخوان به آبخوان صورت می‌گیرد. برای نمونه، ماسه‌های رسی ممکن است به عنوان یک لایه کم‌تراوا عمل کنند.

می‌توان میان دو نوع اصلی آبخوان تمایز قائل شد:

- نامحصور (سطح آزاد)، سفره‌های آزاد<sup>۴</sup> نامیده می‌شوند، که سطح ایستابی، حد بالایی آنها محسوب می‌شود. میزان فشار در سطح ایستابی سفره‌های آزاد، برابر فشار اتمسفر است؛
- آبخوان‌های محصور (تحت فشار) که با لایه‌های ناتراوا یا نیمه‌تراوا از بالا محدود می‌شوند. در چنین شرایطی، آب ممکن است تحت فشار باشد. وقتی در یک آبخوان تحت فشار، چاه حفر شود، آب از سطح فوقانی آبخوان بالاتر می‌آید، یا حتی از دهانه چاه در سطح زمین فوران می‌کند (چاه آرتزین).

1 Aquiclude

2 Mudstone

3 Aquitard

4 Water table/ Phreatic Aquifers

## متداول ترین سازندهای هیدروژنولوژیکی چیستند؟

موجودی آب زیرزمینی عمدتاً به محیط زمین شناسی که در آن پدید می آید بستگی دارد. مهم ترین مؤلفه های تنوع هیدروژنولوژیکی عبارتند از:

- تغییر قابل ملاحظه ظرفیت ذخیره آبخوان (قابلیت ذخیره)، میان رسوبات دانه ای تحکیم نیافته، و سنگ های شکستگی دار و بسیار تحکیم یافته؛
- تفاوت زیاد ضخامت اشباع شده آبخوان در نهشته های مختلف، که در نتیجه آن طیف وسیعی از پتانسیل جریان آب زیرزمینی وجود دارد (قابلیت انتقال).

آبخوان های رسوبی تحکیم نیافته عمدتاً از مصالح سست تشکیل می شوند: ماسه، شن، دانه های آبرفتی، ماسه رس دار، رس های ماسه دار و رس ها. این مصالح، یک محیط متخلخل و پیوسته را به وجود می آورند. آب زیرزمینی در این محیط ها، در منفذها ذخیره می شود و حرکت می کند، نه شکستگی ها. ظرفیت ذخیره این آبخوان ها، زیاد تا بسیار زیاد است و معمولاً گسترش منطقه ای وسیعی دارند.

در سنگ های تراکم یافته و شکستگی دار، یا سازندهای تحکیم یافته، باز شدگی هایی وجود دارد که عمدتاً از شکستگی ها تشکیل می شوند؛ در نتیجه، معمولاً یک محیط ناپیوسته را پدید می آورند. به طور کلی می توان دو نوع عمده از سازندها را تشخیص داد:

- سنگ های کربناته مانند سنگ آهک، که تا اندازه ای در آب باران، انحلال پذیر هستند و بنابراین شکاف ها بزرگتر شوند و کارست ها شکل می یابند (مجراهای انحلالی).
- سنگ های بلورین و دگرگونی قدیمی می توانند پر از شکستگی باشند؛ همچنین می توانند در بخش های فوقانی تجزیه شوند و یک لایه متخلخل و نفوذپذیر از مصالح هوازده را شکل دهند که ممکن است ده ها متر ضخامت داشته باشد.

تنوع هیدروژئولوژیکی را می‌توان در عناصر کلیدی خلاصه کرد که معرف بیشتر انواع آبخوان‌ها هستند (شکل ۲-۱). در این شکل آبخوان‌ها بر اساس ظرفیت ذخیره آب زیرزمینی و مقیاس مسیرهای جریان (طول و زمان سیر) توصیف شده‌اند.

در حوضه‌های رسوبی، منابع عظیم آب زیرزمینی یافت می‌شود. به ویژه در دو نوع محیط هیدروژئولوژیکی، آبخوان‌های بسیار مناسبی شکل می‌گیرند:

- حوضه‌های آبرفتی و ساحلی مهم که آبخوان‌های پرآبدهی هستند؛
- سنگ‌های رسوبی تحکیم‌یافته مانند ماسه‌سنگ و سنگ آهک.

این حوضه‌ها از نظر فضایی گسترده هستند و ضخامت زیادی دارند، بنابراین حجم زیاد ذخیره آب زیرزمینی با جریان منطقه‌ای فراهم می‌آورند. همچنین آبخوان‌های فرامرزی را تشکیل می‌دهند.

### **تفاوت‌های مهم میان آبخوان‌های اصلی ۱ و فرعی ۲ در چیست؟**

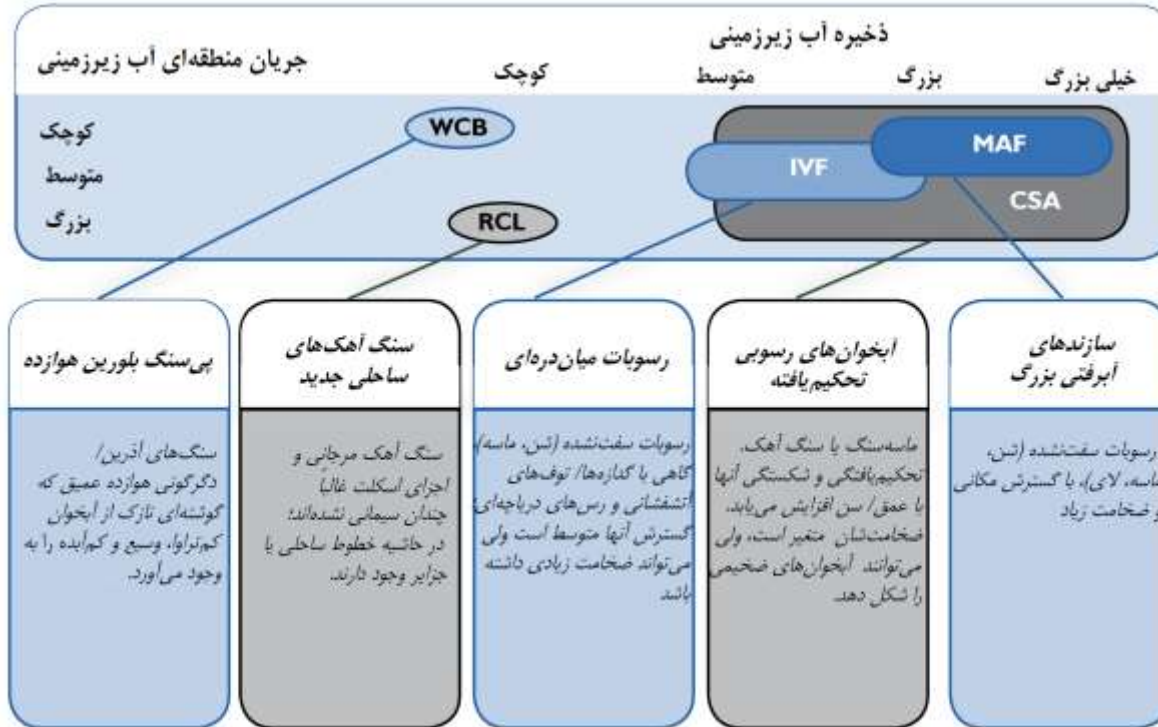
در آبخوان‌های فرعی، مقدار آبی که به چاه‌ها وارد می‌شود، هم محدود و هم قابلیت پیش‌بینی کمتری دارد (شکل ۲-۲). آبخوان‌هایی از نوع پی‌سنگ‌هوازده (بلورین، دگرگونی و دگرگونی با منشأ رسوبی) و دیگر آبخوان‌های موضعی (مشخصاً نهشته‌های ضخیم کواترنری و سنگ‌های رسوبی یا آتش‌فشانی قدیمی‌تر تحکیم‌یافته است). چنانچه در امتداد رودخانه‌ها و نهرها قرار داشته باشند، گاهی از طریق نفوذ از حاشیه رودخانه، منابع آب زیرزمینی را شکل می‌دهند.

---

<sup>1</sup> Major aquifers

<sup>2</sup> Minor aquifers

شکل ۲-۱- ویژگی های کلیدی انواع آبخوان هایی که بیشترین گستردگی را دارند.



موقعی که در زیر روستاها و شهرهای کوچک، آبخوان‌های اصلی حاوی آب زیرزمینی با کیفیت طبیعی بالا قرار داشته باشد، بهره‌برداری آب معمولاً با محدودیت‌های قابل ملاحظه از نظر دسترسی و پایداری منابع آب زیرزمینی روبرو نیست، مگر آنکه بی‌رویه برای آبیاری در کشاورزی بهره‌برداری شود. مسائل اصلی در بهره‌برداری از این آبخوان‌ها عمدتاً به بهره‌برداری و نگهداری چاه‌های آب محدود می‌شود، چون می‌تواند به طور جدی قابلیت اطمینان و پایداری منابع آب زیرزمینی را تحت تأثیر قرار دهد.

دغدغه اصلی در مناطقی که تنها آبخوان‌های فرعی وجود دارند، وجود آب زیرزمینی با کمیت کافی و کیفیت قابل قبول است. با این همه، قابلیت اطمینان موجودی و پایداری منبع نیز می‌تواند به نگرانی تبدیل شود. این قبیل آبخوان‌ها معمولاً تنها گزینه امیدبخش برای توسعه کم‌هزینه، با قابلیت اطمینان در خشکسالی، و با کیفیت قابل قبول برای تأمین آب روستایی در نواحی بسیار وسیع به شمار می‌آیند، به ویژه در مناطقی مانند جنوب صحرای آفریقا و نیز در بخش‌هایی از آسیا و امریکای لاتین.

### ۳- جریان آب زیرزمینی

آب زیرزمینی همواره در حرکت است، البته آهنگ جابجایی آن معمولاً بسیار کمتر از جریان آب سطحی است.

#### آب زیرزمینی چگونه جریان می‌یابد؟

ذخیره عظیم برخی سیستم‌های آب زیرزمینی (بسیار بیشتر از بزرگترین مخزن‌های انسان‌ساخت) متمایزترین ویژگی آنها به شمار می‌آید. بخش اعظم آب زیرزمینی، آهسته و پیوسته (شکل ۲-۳) از نواحی تغذیه طبیعی آبخوان (ناشی از بارندگی مازاد بر نیازهای گیاه) به نواحی تخلیه آبخوان (به شکل چشمه‌ها و تراوش به آبراه‌ها، تالاب‌ها

و زون‌های ساحلی) جابجا می‌شود. قانون داری بر جریان آب زیرزمینی در آبخوان حاکم است (کادر ۲-۲).

موقعی که آبخوان‌ها در زیر لایه‌هایی قرار می‌گیرد که نفوذپذیری بسیار کمتری دارند، آب زیرزمینی محصور می‌شود (تا درجات مختلف). در واقع، در ارتباط بلافاصله با سطح زمین قرار نمی‌گیرد، ولی از کلیت سیستم آب زیرزمینی منفک نمی‌شود. اُفت ناشی از پمپاژ آب از بخش محصور یک آبخوان، غالباً به سرعت به بخش نامحصور گسترش می‌یابد. در محیط‌های گوناگون هیدروژئولوژیکی، لایه‌های آبخوان نامحصور کم‌عمق و آبخوان محصور عمیق می‌توانند روی هم قرار داشته باشند (شکل ۲-۳) و بر اساس شرایط موجود، تراوش رو به بالا و رو به پائین میان لایه‌ها وجود داشته باشد.

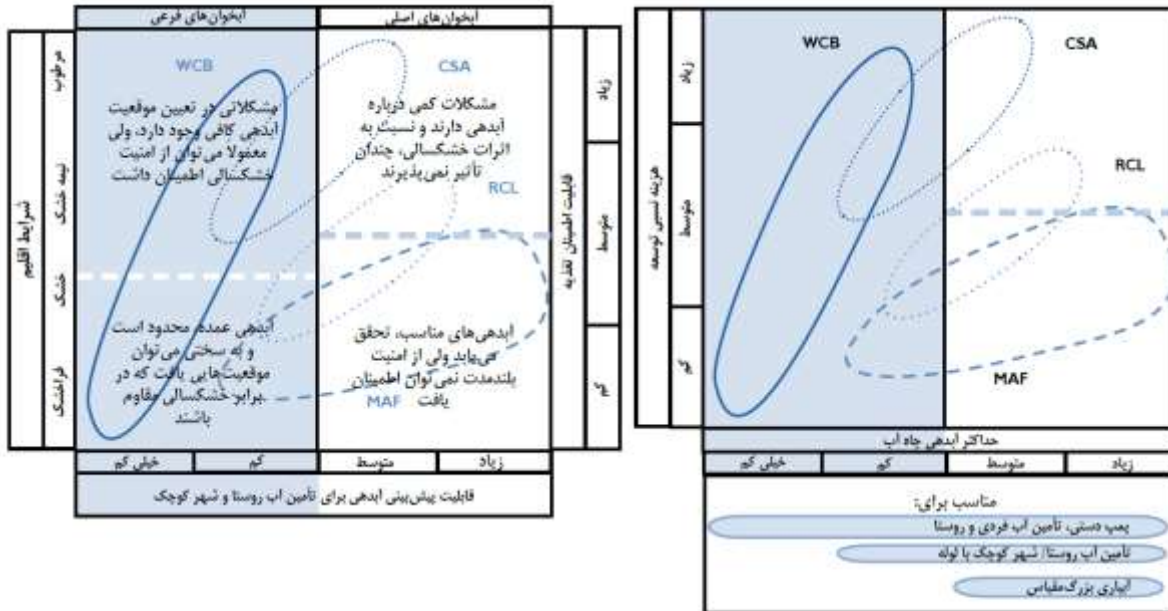
#### **کادر ۲-۲- قانون داری**

قانون داری بیان می‌کند که نرخ جابجایی آب زیرزمینی در زون اشباع، به نفوذپذیری سنگ و شیب آبی بستگی دارد.

ذخیره آبخوان، رژیم بسیار متغیر تغذیه طبیعی را به رژیم پایدارتر تخلیه طبیعی تبدیل می‌کند. همچنین سبب می‌شود که سپری شدن مسیر حرکت آب زیرزمینی، از زمان تغذیه تا تخلیه (زمان ماندگاری<sup>۱</sup>)، چندین دهه یا چندین قرن (شکل ۲-۳) و گاهی حتی هزاران سال به طول انجامد، و بدین ترتیب حجم زیادی به اصطلاح «آب زیرزمینی فسیلی» (یادگار دوره‌های اقلیمی متفاوت گذشته) در ذخیره نگاه داشته می‌شود. در کادر ۲-۲ بعضی اثرات زمان ماندگاری بر حسب قابلیت اطمینان و بار شیمیایی آب فهرست شده است.

<sup>1</sup> Residence time

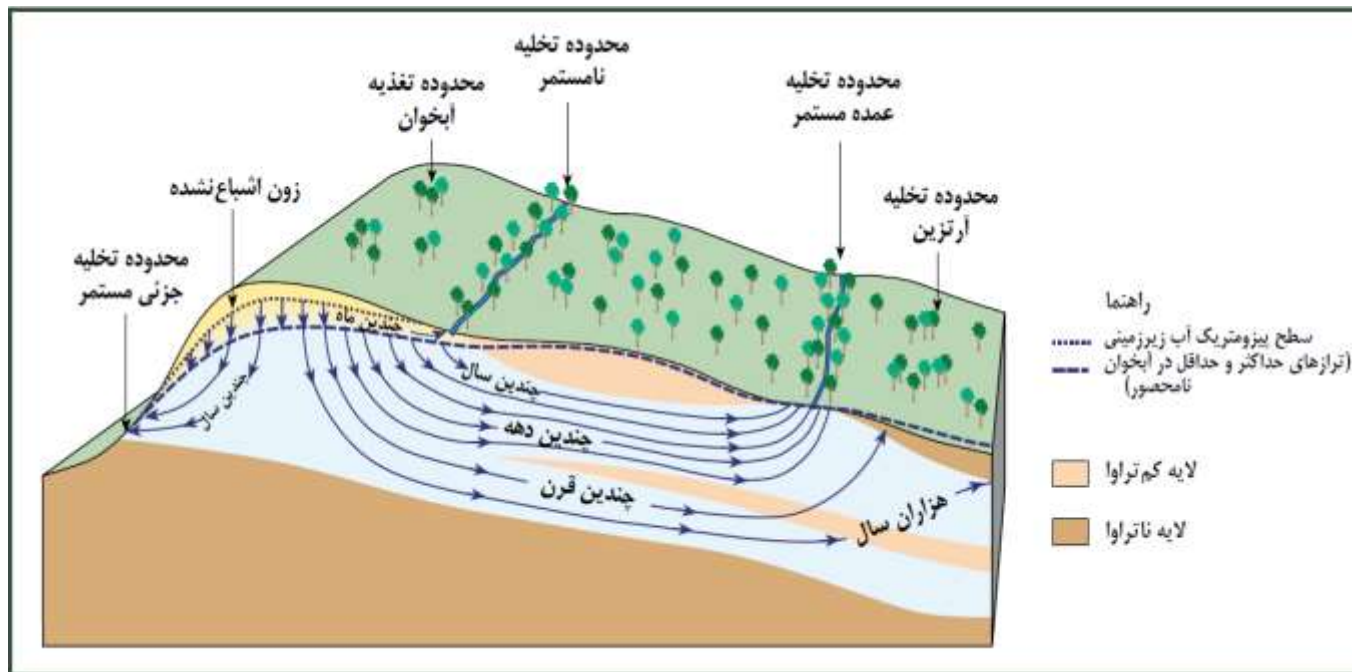
شکل ۲-۲- نوسان قابلیت پیش‌بینی آبدهی چاه و امنیت خشکسالی با توجه به نوع آبخوان و رژیم اقلیمی



- نوع آبخوان:
- WCB: بیشترین هوازدگی
  - - - CSA: آبخوان‌های رسوبی سخت‌شده
  - ..... RCL: سنگ‌های ساحلی جدید
  - - - MAF: سازندهای ابرقی بزرگ



شکل ۲-۳- رژیم نمونه‌وار جریان آب زیرزمینی و زمان ماندگاری در مناطق نیمه‌خشک



### کادر ۲-۳- نتایج زمان ماندگاری آب زیرزمینی

- آب زیرزمینی در دوره‌های خشکسالی، یا کمیابی، منبع قابل اطمینان آب خواهد بود.
- آبخوان‌ها حجم عظیمی از آب زیرزمینی را ذخیره می‌کنند که در دوره بلندمدت در دسترس خواهد بود.
- برهم کنش با مصالح زمین‌شناسی سبب می‌شود آب زیرزمینی، محتوای شیمیایی خاصی پیدا کند.
- در آبخوان‌های نامحصور، معمولاً در آبخوان‌های کم عمق، زمان‌های ماندگاری کوتاه‌تر است، در نتیجه ممکن است مواد شیمیایی کمی در آب داشته باشد.
- در آبخوان‌های محصور، زمان ماندگاری معمولاً طولانی است، در نتیجه اجزای شیمیایی بیشتری در آب زیرزمینی وجود خواهد داشت.

### چرا بر آورد تغذیه اهمیت دارد؟

نرخ‌های امروزی تغذیه طبیعی، ملاحظه‌ای بنیادی در پایداری بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی به شمار می‌آید. افزون بر این، درک ساز و کارهای تغذیه آبخوان و پیوندهای آن با کاربری اراضی برای مدیریت یکپارچه منابع آب اهمیت اساسی دارد. با این همه، کمی‌سازی تغذیه طبیعی (شکل ۲-۴) با دشواری‌های فراوان روش شناختی، کمبود داده‌ها و عدم قطعیت‌ها روبرو است. دلایل این امر را می‌توان موارد زیر برشمرد:

- نوسان گسترده مکانی و زمانی رویدادهای بارندگی و رواناب، و؛
  - تغییر جانبی گسترده در پروفیل‌های خاک و شرایط هیدروژئولوژیکی.
- با این همه، برای بیشتر مقاصد عملی، برآوردهای تقریبی کفایت می‌کند (شکل ۲-۴). با پایش و تحلیل پاسخ آبخوان به برداشت در میان‌مدت می‌توان دقت برآوردها را افزایش داد.

به طور کلی درباره فرایندهای تغذیه آبخوان می‌توان گفت:

- در مناطقی که خشکی رو به افزایش است، نرخ و فراوانی تغذیه آبخوان بسیار پائین تر است؛
- تغذیه غیر مستقیم از رواناب سطحی و تغذیه مصنوعی پیش‌بینی نشده ناشی از فعالیت انسان معمولاً رفته‌رفته در مقایسه با تغذیه مستقیم از بارندگی، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

نرخ‌های تغذیه با توجه به موارد زیر تغییر می‌کند:

- انحراف یا کنترل جریان رودخانه؛
- تغییرات در آبیاری آب سطحی؛
- تغییرات در پوشش طبیعی یا نوع گیاه در نواحی تغذیه؛
- نشت ناشی از شبکه‌های تأمین آب شهری و نفوذ عمقی فاضلاب در محل؛
- پائین افتادن سطح آب زیرزمینی ... و غیره

در آبخوان‌های شکستگی‌دار، ممکن است جریان ترجیحی<sup>۱</sup>، به ویژه بعد از بارندگی سنگین، با سرعت بسیار بیشتری به سطح ایستابی پدید آید. این نوع جریان می‌تواند آلاینده‌ها را از سطح زمین بسیار سریع‌تر حمل کند، و اندک‌زمان یا هیچ‌زمانی را برای کاهش آلاینده‌ها امکان‌پذیر نسازد. این دست آبخوان‌ها آسیب‌پذیری زیادی در برابر آلودگی دارند. در نواحی خشک و نیمه‌خشک، تغذیه آب زیرزمینی در بیشتر موارد

---

<sup>1</sup> Preferential flow

منظور از جریان ترجیحی، پدیده‌ای است که در آن، درصد قابل ملاحظه‌ای از آب در زون اشباع‌نشده، در مسیرهای موضعی جریان می‌یابد و نسبتاً سریع جابجا می‌شود. به بیانی دیگر، به سبب وجود چنین مسیرهایی (ترک‌ها و شکستگی‌ها)، آب از کنار بافت خاک پیرامونی عبور می‌کند.

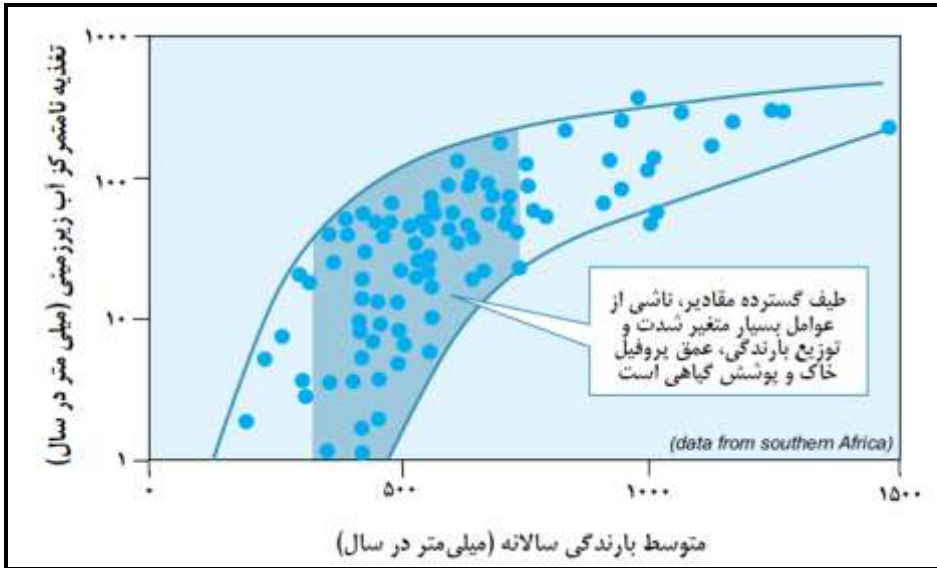
پائین است. برآورد تغذیه با روش‌های کلاسیک مشکل‌آفرین است؛ فنون ایزوتوپی احتمالاً کارآمدتر خواهند بود.

### آیا شناخت تخلیه لازم است؟

آب پیوسته با تغذیه حاصل از بارش، به سیستم افزوده می‌شود و پیوسته سیستم را به صورت تخلیه به آب سطحی و تبخیر/تعرق ترک می‌کند. در مقیاس‌های زمانی نسبتاً کوتاه (روز تا ماه) جریان ورودی و جریان خروجی ممکن است به شکل قابل ملاحظه‌ای نوسان داشته باشد، ولی در مقیاس‌های زمانی طولانی‌تر (چندین سال تا چندین دهه) سیستم آب زیرزمینی باید در تعادل قرار داشته باشد. این گفته بدین معنا است که به طور متوسط در یک دوره زمانی طولانی‌تر، حجم آب ورودی (تغذیه) به سیستم باید تقریباً با حجم خروجی از سیستم (تخلیه) معادل باشد.

آب زیرزمینی ممکن است از طریق چشمه‌ها، زیستگاه‌های تالابی یا به پیکره‌های آب سطحی مانند نهرها، دریاچه‌ها، دریا و غیره تخلیه شود. آب زیرزمینی سهم عمده‌ای در جریان بسیاری از نهرها و رودخانه‌ها، و تأثیر زیادی بر رودخانه‌ها و زیستگاه‌های تالابی به خاطر وابستگی گیاهان و حیوانات به آنها دارد. همچنین ممکن است از پیکره‌های آب سطحی آب دریافت کند، از این رو، برهم‌کنش میان پیکره‌های آب سطحی و زیرزمینی مسئله‌ای بسیار مهم در مدیریت آب زیرزمینی به شمار می‌آید. شناخت ارتباط میان آب سطحی و آبخوانی که در زیر آن قرار دارد، یکی از مؤلفه‌های مهم در شناخت سیستم آب زیرزمینی به شمار می‌آید.

شکل ۲-۴- برآورد نرخ تغذیه با توجه به بارندگی سالانه



در این موضوع باید موارد زیر را متمایز دانست:

- نهرها و رودخانه‌هایی که آبخوان، به عنوان منبع مهم تغذیه خود به آنها وابستگی دارد؛
- رودخانه‌هایی که وابستگی قابل ملاحظه‌ای به تخلیه آبخوان برای تداوم جریان خود در فصل خشک دارند.

باید یادآوری شود که در برخی موارد رودخانه‌ها ممکن است در فصل‌های مختلف، یکی از دو وضعیت پیش گفته را داشته باشند.

پمپاژ آب زیرزمینی برای استفاده‌های گوناگون، بر ورودی و خروجی سیستم تأثیر می‌گذارد. سیستم آب زیرزمینی به تدریج با حالت تعادلی جدید، یعنی ترازهای تغییر یافته آب زیرزمینی (یا سطوح پیزومتریک) و تخلیه‌های متفاوت در مرزهای

درونی و بیرونی، تعدیل می‌یابد. اگر این تغییرات نسبتاً کوچک باشند، تأثیر آنها بر محیط‌زیست و استفاده‌های تثبیت شده آب زیرزمینی معمولاً قابل قبول است. با این همه، اگر تغییرات چنان بزرگ باشند که ترازهای آب زیرزمینی و خصوصیات جریان، نسبت به وضعیت طبیعی تغییر اساسی پیدا کند، پیامدها ممکن است قابل قبول نباشند. پایداری منابع آب زیرزمینی نیازمند درک بهتر ارتباط و اهمیت کمیت و کیفیت آب زیرزمینی برای حفظ پیکره‌های آب سطحی و زیستگاه‌های حیات وحش است.

چرا شناخت بیلان آب ضرورت دارد؟

هر سیستم آب زیرزمینی را باید متفاوت با دیگری دانست، چرا که منشأ و مقدار آبی که درون سیستم جریان دارد، به عوامل بیرونی مانند نرخ بارش، موقعیت نهرها و دیگر پیکره‌های آب سطحی، و نرخ تبخیر-تعرق بستگی دارد. با این همه، یکی از عوامل مشترک برای تمام سیستم‌های آب زیرزمینی این است که مجموع مقدار آب ورودی، خروجی، و ذخیره در سیستم در توازن قرار دارند. حسابداری تمام جریان‌های ورودی، جریان‌های خروجی، و تغییرات در ذخیره را بیلان آب می‌نامند.

به طور کلی، برداشت از آب زیرزمینی، الگوهای جریان طبیعی را تغییر می‌دهد. این تغییرات باید در محاسبه بیلان آب به حساب آورده شوند. به این دلیل که هر آبی که استفاده می‌شود باید از جایی آمده باشد، فعالیت‌های انسانی بر مقدار و نرخ جابجایی آب در این سیستم، ورود به سیستم، و خروج از سیستم تأثیر می‌گذارد. برای مدیریت پایدار آب زیرزمینی، بیلان آب باید برای هر واحد معین (هیدرولوژیکی / حوضه آبریز، حوضه آب زیرزمینی یا واحد آبخوان) در یک دوره زمانی معین انجام شود. بیلان آب در مواقعی که امکان‌پذیر باشد، باید برای سیستم آبخوان به عنوان یک واحد منفرد هیدرولوژیکی انجام شود، و باید به یاد داشت که بخشی از کل حوضه هیدرولوژیکی / آب زیرزمینی به شمار می‌آید.

اگر تعادل با افزایش پمپاژ آب زیرزمینی به هم بریزد، این سیستم به تدریج با یکی از تغییرات زیر، به تعادل جدیدی می‌رسد:

- افزایش جریان ورودی (برای نمونه با تغذیه مصنوعی)؛
- کاهش جریان خروجی در بخش‌هایی از این سیستم؛
- یا ترکیبی از این دو.

تعادل جدید احتمالاً با تغییرات در تراز/ فشار آب زیرزمینی، حداقل در بخش‌هایی از این سیستم نیز همراه خواهد بود. درک بیلان آب و چگونگی تغییرات آن در پاسخ به فعالیت‌های انسان، یکی از جنبه‌های مهم شناخت سیستم آب زیرزمینی است.

بیلان آب ابزاری برای آزمودن، تأیید یا اصلاح درک هیدرولوژیکی ما از سیستم آب زیرزمینی فراهم می‌آورد. با این همه، نمی‌تواند برداشت آب زیرزمینی را با قطعیت تعیین و پیش‌بینی نماید. مدل‌سازی ممکن است ابزار مفیدی برای ارتقای درک ما از این سیستم باشد.

## ۴- مشکلات کیفیت طبیعی آب زیرزمینی

### خطرات کیفیت طبیعی آب چیست؟

برهم کنش سنگ و آب سبب انحلال کانی‌ها و عناصر شیمیایی معینی می‌شود که به صورت محلول در آب زیرزمینی باقی می‌مانند. میزان انحلال به مدت زمان تماس سنگ/ آب، طول مسیر جریان در سنگ، قابلیت انحلال کانی‌های سنگ و میزان رقیق‌شدگی با آب شیرین تغذیه بستگی دارد. در آب زیرزمینی، کم و بیش مواد معدنی وجود دارد و در شرایط و محیط‌های خاص، برخی از این محلول‌های طبیعی سمی باشند. عناصر طبیعی معین (ارسنیک، فلئور، منگنز) مشکلات شناخته‌شده‌ای در موضوع آب زیرزمینی هستند. نگرانی درباره سایر عناصر (مشخصاً نیکل، اورانیوم و آلومینیوم) رو به افزایش است.

برای مقاصد مدیریت مهم است تمایز میان اثرات انسانی و مشکلات طبیعی تفاوت گذاشت.

بزرگترین مشکل کیفیت آب در کشورهای در حال توسعه، بیماری‌های پاتوزنیک انتقال‌یافته از طریق آب است (از منشای مدفوع). افزون بر این، پیدایش طبیعی عناصر کمیاب معین با غلظت‌های زیاد در برخی منابع آب زیرزمینی مشکلاتی را به بار می‌آورد.

### منشأ و پیدایش خطرات کیفیت طبیعی

واکنش‌های آب باران در پروفیل خاک/سنگ در فرایند نفوذ و نفوذ عمقی، ترکیب معدنی آن را تعیین می‌کند. نُه عنصر شیمیایی اصلی (سدیم، کادمیم، منیزیم، پتاسیم، بی‌کربنات، کلسیم، سولفات، نترات، سیلیسیم)، ۹۹ درصد مواد محلول آب‌های زیرزمینی طبیعی را تشکیل می‌دهند. آب زیرزمینی در نواحی تغذیه در مناطق پرباران، در مقایسه با مناطق خشک و نیمه‌خشک، احتمالاً مواد معدنی کمتری دارد، چون ترکیب دو عامل غلظت تبخیری و جابجایی آهسته‌تر آب زیرزمینی می‌تواند غلظت بسیار بالاتر مواد معدنی را پدید آورد.

برخی از عناصر غیر ارگانیک سمی که به طور طبیعی در آب زیرزمینی پیدا می‌شوند عبارتند از (جدول ۲-۱):

- ارسنیک (As) از عناصر کمیاب به شمار می‌آید و در حال حاضر مهم‌ترین نگرانی برای آب زیرزمینی است. این عنصر در غلظت پائین، هم سمی و هم سرطان‌زا است؛
- فلئوئور (F) عنصری است که گاه کم است، ولی در بهره‌برداری از آب زیرزمینی، غلظت‌های بیشتر، به ویژه در اقلیم‌های خشک و در سنگ‌های آتشفشانی و گرانیتی می‌تواند مشکل‌ساز شود؛



- منگنز (Mn) به شکل محلول در سطح گسترده‌ای در آب زیرزمینی وجود دارد و می‌تواند کیفیت آب را کاهش دهد. طعم ناخوشایندی به آب به زیرزمینی می‌دهد؛
- عناصر کمیاب دیگری (شامل مشخصاً نیکل، اورانیوم و آلومینیوم) را سازمان جهانی بهداشت به عنوان عناصر بالقوه خطرناک در آب شرب معرفی می‌کند.

### **استراتژی به حداقل رساندن اثرات منفی**

چنانچه مشخص شود میزان عناصر کمیاب سمی، در آب شرب (تأمین شده از منبع آب زیرزمینی) بیش از اندازه است، لازم است برنامه اضطراری پیاده و استراتژی بلندمدت‌تر شناسایی شود (جدول ۲-۲).

جدول ۱-۲- خلاصه ویژگی‌های اصلی عناصر کمیاب مهم که وجود آنها در آب زیرزمینی، گاه سلامتی را در معرض خطر قرار می‌دهد.

عنصر کمیاب	مقدار مجاز در آب شرب به توصیه WHO	اهمیت برای سلامت و محدودیت استفاده	شرایط هیدروشیمیایی پیدایش	وضعیت تصفیه آب
<b>ارسنیک (As)</b>	۱۰ میکروگرم در لیتر	خطر سمی بودن / سرطان‌زایی، به ویژه چون معمولاً شکل‌های غیر ارگانیک آن وجود دارند (ارسنیت / ارسنات)؛ به همین دلیل مقدار توصیه‌شده سازمان جهانی بهداشت کاهش یافته است.	پیچیده - با تشکیل پیوند با اکسیدهای آهن در شرایط نامعمول هیدروژنوشیمیایی (فاقد اکسیژن) یا در طول اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی در شرایط هیدروشیمیایی اسیدی آزاد می‌شود.	اکسیداسیون و رسوب‌گذاری (به افزودنی‌های شیمیایی نیاز نیست) قابلیت اطمینان ندارند، ولی با به کارگیری انعقادسازی یا رسوب همزمان یا جذب، امیدوارکننده‌تر خواهند بود.
<b>فلوراید (F)</b>	۱۵۰۰ میکروگرم در لیتر (۱/۵ میلی‌گرم در لیتر)	عنصری ضروری است، ولی طیف مقادیر مطلوب، بسیار محدود است - در مقادیر پائین‌تر از ۵۰۰ میکروگرم در لیتر سبب پوسیدگی دندان می‌شود، و اگر مقدار آن بالاتر از ۵۰۰۰ میکروگرم در لیتر باشد، می‌تواند سبب بروز فلوروزیس شدید دندانی و استخوانی شود.	انحلال کانی‌های حاوی فلوراید در سازندهای گرانیتی یا آتشفشانی، در شرایط هیدروشیمیایی / هیدروترمال که با گردش آهسته تسهیل می‌شود.	ته‌نشینی با گچ یا مخلوط آهک/ زاج و فیلتراسیون یا استفاده از رزین تبادل یون (کربن فعال‌شده، آلومینا)
<b>منگنز (Mn)</b>	۱۰۰ (۱۰۰) میکروگرم در لیتر ۵۰۰ میکروگرم در لیتر	عنصری ضروری است، ولی مقادیر بیش از اندازه آن می‌تواند بر کارکردهای عصب‌شناختی تأثیر بگذارد؛ نیز در مقادیر پائین‌تر، سبب لکه‌دار شدن لباس‌ها/ وسایل و طعم فلزی می‌شود.	عنصر جامدی است که در سنگ‌ها/ خاک‌ها فراوان است؛ شکل بسیار انحلال‌ناپذیر آن در شرایط هوایی، پایدار است، ولی در شرایط اسیدی و/ یا بی‌هوازی فزاینده، انحلال‌پذیر می‌شود.	رسوب در اثر هوادهی و فیلتراسیون، معمولاً با ته‌نشینی اولیه. در مقایسه با آهن محلول، دشواری عملیاتی کمتری دارد.

جدول ۲-۲- مسائل کلیدی در تعریف استراتژی یکپارچه برای کاهش مشکل پیدایش طبیعی عناصر کمیاب در آب زیرزمینی

اقدام	مسائلی که باید حل شوند
<b>کوتاه مدت</b>	
ارزیابی مشکل	<ul style="list-style-type: none"> <li>• مقیاس مناسب (محلی / استانی / ملی) برای پیمایش کیفیت آب زیرزمینی</li> <li>• انتخاب تکنیک‌های آنالیز مناسب (کیت میدانی / روش آزمایشگاهی)</li> <li>• طرح دولتی، مسئولیت بخش خصوصی</li> <li>• ظرفیت تخصصی برای تفسیر هیدروژئوشیمیایی</li> <li>• بررسی دیگر مشکلات بالقوه کیفیت آب زیرزمینی</li> </ul>
مدیریت تأمین آب	<ul style="list-style-type: none"> <li>• توصیه و راهنمایی درباره استفاده از چاه (اطلاع‌رسانی در جامعه محلی / بستن یا علامت‌گذاری چاه)</li> <li>• ملاحظات عملی و اجتماعی در روشن و خاموش کردن چاه</li> <li>• در اولویت قرار دادن آنالیز میدانی (برای شناسایی چاه‌های مطمئن)</li> <li>• سیاست غربالگری مناسب (در همه جا یا با بسامد مشخص)</li> </ul>
برنامه عمومی سلامت	<ul style="list-style-type: none"> <li>• شناسایی بیماران (در قالب برنامه یا با مشاوره پزشکی)</li> <li>• شناسایی رابطه میان مشکل سلامت و منابع آب</li> <li>• تشخیص عوارض در مراحل اولیه بیماری</li> <li>• اقدام فوری درباره بیماران (تأمین آب بسته‌بندی شده)</li> </ul>
<b>بلند مدت</b>	
گزینه تصفیه آب	<ul style="list-style-type: none"> <li>• هزینه در مقیاس کاربرد (شهرک / روستا / خانوار) و اثربخشی / پایداری در مقیاس بهره‌برداری</li> </ul>
تأمین جایگزین آب زیرزمینی	<ul style="list-style-type: none"> <li>• معمولاً شامل این موارد است (الف) تعدیل‌کننده‌ها (غالباً عمیق‌تر) در چاه‌های آب یا (ب) لوله‌کشی از منابع محلی پرآبده و با کیفیت مناسب. این دو راهکار باید بر پایه بررسی‌های روش‌مند هیدروژئولوژیکی باشند و برابر استانداردهای ساخت چاه پیاده شوند.</li> </ul>
تأمین جایگزین آب سطحی	<ul style="list-style-type: none"> <li>• پایداری، از نظر قابلیت اطمینان در دوره خشکسالی و نوسان کیفیت</li> <li>• ارزیابی ریسک‌های از کارافتادن تصفیه‌خانه</li> </ul>

برنامه اضطراری احتمالاً شامل مؤلفه‌های زیر خواهد بود:

- ارزیابی هیدروژئوشیمیایی آبخوان در مقیاس مناسب؛
- راهنمایی مردم درباره محدودیت‌های استفاده و چاه‌های ایمن؛
- برنامه ارزیابی سلامت مردم برای شناسایی عوارض مرتبط با آب شرب.

## ۵- اطلاعات لازم برای مدیریت آب زیرزمینی

مدیریت آب زیرزمینی باید مبتنی بر درک خوب خصوصیات آب زیرزمینی در مقیاس سیستم آب زیرزمینی باشد (یا در صورت لزوم حوضه آبریز). بسته به وضعیت، مقیاس سیستم آب زیرزمینی ممکن است نسبتاً کوچک و موضعی (در حد چند هکتار یا چند کیلومتر مربع) یا منطقه‌ای (ده یا صدها هزار کیلومتر مربع) باشد. درک خصوصیات آب زیرزمینی نیازمند مقادیر اساسی داده‌های حاصل از بررسی آب‌های زیرزمینی و پایش، تفسیر کارشناسان هیدروژئولوژی، و نیز معمولاً مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی است.

شناخت سیستم آب زیرزمینی، پایه مدیریت مناسب آب زیرزمینی و نیازمند شناخت موارد زیر است:

- گستره (مرزهای) سیستم آب زیرزمینی؛
  - خواص آبخوان؛
  - منابع تغذیه سیستم؛
  - تخلیه از سیستم (شامل برداشت از طریق چاه‌ها)؛
  - تغییر این خصوصیات با گذشت زمان.
- اطلاعات درباره خصوصیات سیستم از منابع زیر به دست می‌آید:
- بررسی‌های هیدروژئولوژیکی؛

- تحلیل داده‌های آزمون پمپاژ؛
- داده‌های هیدرولوژی آب سطحی (بارندگی، تبخیر، دبی، تراز آب در دریاچه‌ها و غیره)؛
- سابقه ثبت شده ترازهای آب زیرزمینی در چاه‌ها، و
- سابقه برداشت آب زیرزمینی.

برخی از موارد بالا نیازمند بررسی‌های پرهزینه هستند. بنابراین باید درباره اهمیت (اقتصادی، اجتماعی، محیط‌زیستی) آبخوان برای توجیه عمق مناسب بررسی‌های لازم تصمیم‌گیری شود.

### منابع آب زیرزمینی در کجاها قرار دارند؟

«نقطه آغاز» برای مدیریت آب زیرزمینی، تهیه نقشه موقعیت آب‌های زیرزمینی است. آبخوان، یک لایه زیرسطحی محدود و پیوسته است و یک واحد هیدروژئولوژیکی به شمار می‌آید. آبخوان را حدود هندسی (حجم) و مرزهای هیدروژئولوژیکی آن مشخص می‌کنند.

داده‌های آب زیرزمینی را با نقشه‌های مختلف نشان می‌دهند:

- گسترش هیدروژئولوژیکی آبخوان؛
- عمق سطح آب زیرزمینی یا سطح فوقانی قسمت اشباع شده یک آبخوان؛
- حد زیرین واحدهای هیدروژئولوژیکی، و؛
- ضخامت آبخوان.

### چگونگی آسیب‌پذیری آبخوان آزاد؟

خصوصیات طبیعی و ذاتی لایه‌های زمین‌شناسی که در بالای یک آبخوان آزاد قرار دارند، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی را در برابر آلودگی انسان‌ساخت تعیین می‌کند. به

منظور حفاظت آب زیرزمینی، لازم است نقشه‌های آسیب‌پذیری برای ارزیابی احتمال آنکه آلاینده‌ها، پس از پدید آمدن در جایی در بالای آبخوان، به نقطه خاصی از سیستم آب زیرزمینی برسند، تهیه شود.

### **آبدهی پایدار<sup>۱</sup> آبخوان چیست؟**

هدف اصلی مدیریت آب زیرزمینی با رویکرد یکپارچه، حفاظت از منابع آب زیرزمینی در برابر تنزل کیفیت، و اطمینان از بهره‌برداری پایدار برای طیفی از مقاصد منفعت‌دار است. به بیانی ساده می‌توان استفاده پایدار از منابع آب زیرزمینی را بدین گونه تعریف کرد: «میزان بهره‌برداری، پیامدهای ناپذیرفتنی را در درازمدت به بار نمی‌آورد.»

به منظور تأمین تقاضای رو به رشد آب، بر عهده مدیران است که توانایی منبع آب زیرزمینی را برای پشتیبانی تقاضای کنونی و مورد انتظار ناشی از رشد جمعیت و توسعه ارزیابی نمایند. ارزیابی منابع آب زیرزمینی باید با توجه به محدودیت‌های کلیدی برنامه‌ریزی که در زمان و مکان تغییر می‌کنند صورت گیرد. بسته به وضعیت، شرایط محدودکننده را می‌توان موارد زیر برشمرد:

- خالی شدن ذخیره آب زیرزمینی؛
- کاهش تراز آب زیرزمینی (یا فشار)؛
- کاهش تخلیه آب زیرزمینی (برای نمونه چشمه‌ها، جریان پایه در رودخانه‌ها، جریان ورودی به تالاب‌ها)؛
- تنزل کیفیت آب؛
- نشست زمین؛
- سایر پیامدهای زیست‌محیطی؛

---

<sup>1</sup> Sustainable yield

- اثرات اجتماعی اقتصادی، و محدودیت‌های سیاسی (سیاست ملی توسعه و آب).
- در ارزیابی منابع آب زیرزمینی و در تلاش برای کمی کردن سطح بهره‌برداری پایدار آب زیرزمینی از سه اصطلاح استفاده می‌شود:
- **آبدهی مطمئن**<sup>۱</sup>: به حداکثر برداشت آب زیرزمینی گفته می‌شود که پیامدهای آن، قابل قبول در نظر گرفته می‌شود، برای نمونه درباره اثرات خاص پمپاژ، مانند اُفت تراز آب، کاهش جریان رودخانه، و اُفت کیفیت آب؛
- **استخراج آب زیرزمینی**<sup>۲</sup>: معمولاً به کاهش طولانی‌مدت و پیش‌رونده در مقدار آب ذخیره‌شده در سیستم آب زیرزمینی گفته می‌شود. برای نمونه ممکن است در آبخوان‌هایی با منابع آب زیرزمینی فسیلی تجدیدنپذیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک پدید آید؛
- **بیش‌بهره‌برداری**<sup>۳</sup>: برداشت آب زیرزمینی از یک آبخوان با نرخ‌ی که نسبت به اثرات منفی بهره‌برداری آب زیرزمینی، بیش از اندازه تلقی می‌شود.

### **نواحی تغذیه در کجاها قرار دارند؟**

تغذیه آب زیرزمینی به آبی گفته می‌شود که صرف نظر از شرایط زمین‌شناسی رولایه، به درون زمین نفوذ می‌کند و به سطح آب زیرزمینی می‌رسد. تغذیه باید ارزیابی شود، چون جریان ورودی به سیستم آبخوان، و یکی از مؤلفه‌های اساسی بیلان آب زیرزمینی به شمار می‌آید. افزون بر این، شاخصی کیفی درباره تجدیدشوندگی منابع آب زیرزمینی به دست می‌دهد.

---

<sup>1</sup> Safe yield

<sup>2</sup> Groundwater mining

<sup>3</sup> Overexploitation

نکته مهم در این زمینه، تعیین محدوده‌های تغذیه سیستم آبخوان است. در واقع، بر این محدوده‌ها باید قواعد ویژه‌ای درباره کاربری و دسترسی اراضی، به منظور حفاظت و پایداری برداشت آب زیرزمینی حاکم باشد.

عواملی مانند نوسان بارندگی، تغییرات اقلیمی، کاربری اراضی و تغییرات کاربری اراضی، مؤلفه‌های کلیدی تأثیرگذار بر نرخ تغذیه به شمار می‌آیند. یکی از راهکارهای سودمند در مدیریت آب زیرزمینی، بررسی فرصت‌های بالقوه تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی به منظور تجدید منبع و فراهم آوردن ذخیره آب مقرون به صرفه برای استفاده آتی است.

نقشه‌های پتانسیل تغذیه، ابزار مفیدی هستند که اطلاعات را برای تصمیم‌گیران فراهم می‌آورند.

### **در کجاها برهم کنش آب زیرزمینی / آب سطحی پدید می‌آید؟**

آب سطحی و آب زیرزمینی در بسیاری از موارد از نظر هیدرولیکی با یکدیگر پیوند دارند (هر آنچه برای یکی اتفاق می‌افتد بر دیگری تأثیر می‌گذارد). با این همه، این واقعیت مهم در بسیاری از مواقع در ملاحظات و سیاست‌های مدیریت آب نادیده گرفته می‌شود. معمولاً آبخوانی که در زیر سیستم رودخانه قرار دارد، فراهمی جریان پایه آن را تضمین می‌کند؛ این پارامتر بسیار مهم معمولاً به اندازه کافی ارزیابی نمی‌شود. آب زیرزمینی می‌تواند سهم عمده‌ای در تأمین جریان نهرها و رودخانه‌ها داشته باشد. به همین صورت، آب سطحی می‌تواند سهم عمده‌ای در تأمین جریان آب زیرزمینی داشته باشد. برای نمونه، کاهش منابع آب سطحی در نتیجه بهره‌برداری آب زیرزمینی، تخصیص و اداره حقایقه‌ها را پیچیده می‌کند. از این رو، ارتباط و اهمیت کیفیت و کمیت آب زیرزمینی در نگهداشت رودخانه‌ها، نهرها، دریاچه‌ها،



زیستگاه‌های حیات وحش، و شیلات سالم، از مسائل مهم برای مدیریت سیستم آب زیرزمینی به شمار می‌آیند.

اطلاعات مفید برای مدیریت می‌تواند با تهیه نقشه نواحی پرریسک، یعنی جاهایی که بهره‌برداری گسترده آب زیرزمینی نباید بدون مطالعات عمیق‌تر شناخت اثرات بالقوه بر نهرها، تالاب‌ها، و دیگر زیستگاه‌های اکوسیستم‌های منطقه صورت گیرد فراهم آید.

### **تغییرات میان و بلندمدت در آب زیرزمینی چیست؟**

برای مقاصد مدیریت آب زیرزمینی، شناخت روند تغییرات مرتبط با منابع آب زیرزمینی ضروری است. نیاز است از تغییرات (گذشته، حال، و مورد انتظار) در خصوصیات سیستم آبخوان مانند تغذیه، ذخیره، جهت جریان، و کیفیت، در اثر کاربری اراضی، تغییرات کاربری اراضی، نوسان اقلیمی، و استفاده آب آگاهی داشت. داده‌های جامع، همخوان، و قابل دفاع باید از روی سابقه پایش (قسمت نهم مجموعه) برای درک بهتر و شناخت خصوصیات شرایط موجود، شناسایی مشکلات موجود و بالقوه، تعیین اولویت‌ها، و طراحی سیاست‌ها و استراتژی‌های پیاده‌شدنی آب فراهم گردد.

### **آیا درباره کیفیت طبیعی دغدغه وجود دارد؟**

آب ذخیره‌شده در آبخوان‌ها بسته به منشأ، موقعیت و قرارداد داشتن در معرض منابع بالقوه آلودگی، کیفیت متغیری دارد. آلودگی همیشه در نتیجه فعالیت‌های انسان نیست، بلکه ممکن است از علل طبیعی نشأت بگیرد. برای تدارک بهره‌برداری آب زیرزمینی، تعیین موقعیت و تراز (عمودی) مخاطرات طبیعی اهمیت زیادی دارد. گام نخست باید شناسایی محیط‌های زمین‌شناسی باشد که به طور بالقوه آب زیرزمینی تأثیرپذیر در آن وجود دارد.

اطلاعات مناسب برای مدیران آب زیرزمینی باید در قالب نقشه‌هایی که پیدایش عمودی و مکانی غلظت عناصر زیان‌آور در آب زیرزمینی را نشان می‌دهند فراهم گردد.

## **۶- خلاصه: برای مدیریت مناسب آب زیرزمینی، به آگاهی از چه چیزهایی نیاز داریم؟**

در بخش پایانی، خصوصیات کلیدی سیستم‌های آب زیرزمینی که مدیران نیاز دارند برای مدیریت آب زیرزمینی بدانند خلاصه می‌شود:

**ذخیره:** ارتباط میان نوع آبخوان و حجم بالقوه ذخیره آب، از جنبه‌های بسیار مهم و کلیدی درباره ماهیت سیستم آبخوان به شمار می‌آید. آبخوان‌ها در این نوشتار بر حسب کارکرد ذخیره آنها توصیف شدند. همچنین، مؤلفه ذخیره، به ناگزیر با مقیاس سیستم جریان آب زیرزمینی ارتباط می‌یابد. آشکار است که اگر ارتباط درونی هیدرولیکی در سیستم‌های جریان، در گستره بسیار وسیعی وجود داشته باشد، مدیریت باید برداشت‌ها/ استفاده از آبخوان را در کل محدوده آبخوان مورد توجه قرار دهد؛ در مقابل، سیستم‌های موضعی آب زیرزمینی با سیستم‌های جریان جزئی‌تر ممکن است هزینه مدیریت را توجیه نکند، چون تأثیر محدود خواهد بود و تا اندازه‌ای خود را تعدیل خواهد کرد.

**ارتباط میان نوع آبخوان، اقلیم و گزینه‌های تأمین آب:** در این نوشتار گفته شد که چه امکان‌هایی برای تأمین آب از آبخوان‌های مختلف در شرایط اقلیمی متفاوت وجود دارد و ریسک‌ها و هزینه‌های بهره‌برداری آب زیرزمینی در این قبیل شرایط متغیر چیست. پایداری بهره‌برداری آب زیرزمینی، تابعی از نوع سیستم آبخوان، اقلیم و نرخ تغذیه و نوع و مقیاس استفاده از آب زیرزمینی است.

**جریان آب زیرزمینی:** تأثیر جریان آب زیرزمینی بر اساس نوع و گسترش واحد هیدروژئولوژیکی، با توجه به معانی ضمنی آن برای مدیریت مورد بحث قرار گرفت. بر تأثیر تعدیل کننده جریان آب زیرزمینی در مقایسه با جریان سطحی، به سبب مدت زمان طولانی جریان آب زیرزمینی تأکید گردید. این ویژگی سبب می شود که آب زیرزمینی در مقایسه با آب سطحی، در برابر خشکسالی مقاوم تر باشد. تأثیر هیدروشیمیایی زمان ماندگاری طولانی آب زیرزمینی توضیح داده شد، و تأثیر آن از نظر کیفیت طبیعی آب مورد بحث قرار گرفت.

**تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی:** اهمیت و پیچیدگی فرایندهای تغذیه آبخوان، و دشواری ارزیابی تغذیه آب زیرزمینی به عنوان مسئله ای مهم در مدیریت آب زیرزمینی توضیح داده شد. بر اهمیت شناسایی محدوده های تغذیه تأکید شد. عواملی که بر تغذیه آب زیرزمینی تأثیر می گذارند، و نیز استراتژی های بهبود تغذیه و حفاظت از تغذیه، و ارتباط تغذیه با اکوسیستم های وابسته به آب زیرزمینی مورد بحث قرار گرفت. ارتباط میان برداشت، طول مسیر جریان و تخلیه آب زیرزمینی، از عوامل کلیدی مدیریت تالاب ها، چشمه ها و دیگر محدوده های تخلیه آب زیرزمینی به شمار می آیند.

**بیان آب:** محاسبات بیان آب، ابزار بسیار مهمی برای مدیریت آبخوان به شمار می آید، و به ویژه برای مدیریت تلفیقی آب زیرزمینی / آب سطحی اهمیت دارد. تمام جریان های ورودی و خروجی طبیعی، و نیز برداشت ها با پمپاژ و تغذیه ناشی از فعالیت های انسان مانند نشت و تزریق از طریق چاه، مؤلفه های بیان آب را تشکیل می دهند و باید برای مدیریت اثربخش و یکپارچه آب زیرزمینی کمی شوند.

**مشکلات کیفیت طبیعی آب:** مشکلات کیفیت طبیعی آب زیرزمینی مورد بحث قرار گرفت و مشکلات متداول تر معرفی گردید. استراتژی های کاهش دهنده این قبیل مشکلات طبیعی، از جمله اختلاط آب [افزودن آب کیفیت بالا به آب کیفیت پایین تر

تا کیفیت آن برای استفاده مورد نظر مناسب باشد] و اختصاص کیفیت‌های مختلف آب به استفاده‌های مختلف معرفی گردید.

### برای مطالعه بیشتر

**Batu Vedat, 1998:** Aquifer Hydraulics. A comprehensive guide to hydrogeologic data analysis. John Wiley & Sons, INC.

**Castany, G, 1982:** Principes et méthodes de l'hydrogéologie. BORDAS, Paris  
[www.e-geologie.org](http://www.e-geologie.org)

**Foster, S. S. D., and Hirata, R. A.. 1988.** Groundwater Pollution Risk Assessment: A Methodology Using Available Data. Lima, Peru: WHO-PAHO/HPE-CEPIS Technical Manual. Lima, Peru.

**GW•MATE, 2002-2006,** Briefing Notes 2,13 & 14. <http://web.worldbank.org/>

**MacDonald, A., Davies, J., Calow, R., and Chilton J., 2005:** Developing Groundwater. A guide for Rural Water Supply. YIDG Publishing.

**Schmoll, O., Howard, G., Chilton, J., Chorus, 2006:** Protecting Groundwater for Health. Managing the quality of Drinking-water source. WHO, IWA Publishing.

## برای تمرین بیشتر

تمرین ۱- شناخت سیستم‌های آب زیرزمینی
<p><b>هدف:</b> درک پیوند میان شناخت سیستم‌های آب زیرزمینی و استراتژی‌های مدیریت</p> <p><b>زمان:</b> ۳۰ دقیقه</p> <p><b>فعالیت:</b> به چهار گروه تقسیم شوید. در هر گروه درباره این موضوع بحث کنید که شناخت ویژگی‌های آبخوان چگونه می‌تواند مدیریت آب زیرزمینی را بهبود بخشد.</p> <p><b>ارائه گزارش:</b> هر گروه جدولی تهیه کنید که در آن، ویژگی‌های شناسایی شده آبخوان و چگونگی بهبود مدیریت آب زیرزمینی به وسیله آنها خلاصه شده باشد.</p> <p><b>تسهیل‌گر:</b> به ویژگی‌هایی توجه دهد که معمولاً نامعلوم هستند و بحث جمعی را بر پایه تجربه‌های اعضا درباره چگونگی تصمیمات مدیریت بدون داشتن اطلاعات برانگیزد.</p>
تمرین ۲- یکپارچه‌نگری در مدیریت منابع آب
<p><b>هدف:</b> درک پیوند مدیریت آب زیرزمینی و آب سطحی</p> <p><b>زمان:</b> ۶۰ دقیقه</p> <p><b>فعالیت:</b> به سه گروه تقسیم شوید و درباره برهم‌کنش آب سطحی و آب زیرزمینی و ارتباط آن با مدیریت آلودگی و تخصیص آب بحث کنید. درباره اینکه آب سطحی و آب زیرزمینی چگونه باید با هم مدیریت شوند توصیه ارائه دهید.</p> <p><b>ارائه گزارش:</b> هر گروه پس از بحث عمومی، توصیه‌های خود را ارائه دهد.</p>
تمرین ۳- مدیریت آب زیرزمینی
<p><b>نقش‌بازی:</b> به دو گروه مدیران آب و هیدروژئولوژیست‌ها تقسیم شوید. گروه مدیران، نقش مدیران گوناگون آب را به عهده می‌گیرند: یعنی مدیر آب شهر، مدیر ملی آب و وزیر آب. آنان از هیدروژئولوژیست‌ها درباره منابع موجود آب زیرزمینی پرسش می‌کنند.</p> <p>گروه دوم (هیدروژئولوژیست‌ها) توضیح می‌دهند سیستم‌های گوناگون آبخوان چگونه ممکن است آب مورد نیاز را تأمین نمایند. همچنین منافع و ریسک‌های کلیدی را تشریح می‌کنند. توضیح آبخوان‌های مختلف را می‌توان به زیرگروه‌ها محول نمود.</p> <p><b>فعالیت:</b> گفت و گوی مدیران و هیدروژئولوژیست‌ها با این هدف انجام می‌گیرد که هر یک از آنها درک مناسبی از دیگری پیدا کند و مدیران، اطلاعات کافی را برای مدیریت منابع آب به دست آورند.</p>

مجموعه «آشنایی با مدیریت آب زیرزمینی با رویکرد یکپارچه» در یازده عنوان به شرح زیر سازماندهی شده است:

- ۱- یکپارچه‌نگری و چارچوب مدیریت آب زیرزمینی
- ۲- شناخت سیستم‌های آبخوان برای مدیریت آب زیرزمینی
- ۳- مدیریت یکپارچه آب زیرزمینی در عمل
- ۴- قوانین و مقررات آب زیرزمینی
- ۵- تخصیص و مجوز بهره‌برداری آب زیرزمینی
- ۶- ابزارهای اقتصادی و مالی در مدیریت آب زیرزمینی
- ۷- مشارکت ذینفعان در مدیریت آب زیرزمینی
- ۸- مدیریت کیفیت آب زیرزمینی
- ۹- پایش آب زیرزمینی
- ۱۰- آب زیرزمینی و تغییر اقلیم
- ۱۱- مدیریت اطلاعات و ارتباطات

نوشته حاضر، دومین عنوان از این مجموعه به شمار می‌آید. از هدف‌های مهم این مجموعه آموزشی، پرداختن به آب زیرزمینی با رویکرد یکپارچه در مدیریت منابع آب است. هدف نهایی، معرفی چارچوب گسترده‌تر مدیریت آب زیرزمینی به کارشناسان آب زیرزمینی و چالش‌های خاص مدیریت آب زیرزمینی به دیگر متخصصان آب است.



نشانی: تهران، خیابان کریمخان، خیابان نجات‌اللهی شمالی.

روبروی بیمارستان یاس، پلاک ۲۱۲، طبقه ۴، واحد ۴.

تلفن: ۸۸۹۴۷۴۰۰ - ۸۸۹۴۷۳۰۰

[www.iwpri.ir](http://www.iwpri.ir)