

دانشگاه سیام نور
په

آبهای زیرزمینی

دکتر نگار نورمهناد

دکتر هادی سیاسر

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.^۱

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتابخوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پر بار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. <https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696>

شده است: «إِقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده اند.

دانشگاه پیام نور با گستره جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه جا و همه وقت، به عنوان دانشگاهی کتاب محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره گیری از تجربه های گرانقدر استادان و صاحب نظران برجسته کشورمان، کتاب ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می رسانند، سپاسگزاری می نمایم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام نور را منزلگاه اندیشه سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام نور

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	یازده
فصل اول. کلیات.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ تاریخچه آب‌های زیرزمینی.....	۲
۲-۱ آب زیرزمینی و چرخه هیدرولوژی.....	۳
۳-۱ مقادیر آب در چرخه هیدرولوژیکی.....	۵
۴-۱ بیلان آبی.....	۷
۵-۱ نقش آب‌های زیرزمینی در توسعه پایدار.....	۷
خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول.....	۹
فصل دوم. خصوصیات لایه‌های آبدار.....	۱۱
هدف کلی.....	۱۱
هدف‌های یادگیری.....	۱۱
مقدمه.....	۱۱
۱-۲ لایه‌های آبدار.....	۱۲
۲-۲ آبخوان (سفره).....	۱۲
۳-۲ سفره تحت فشار.....	۱۲
۴-۲ سفره آزاد.....	۱۳
۵-۲ سفره (نشئی) یا نیمه تحت فشار.....	۱۴

۶-۲	روش‌های استحصال آب زیرزمینی.....	۱۵
۷-۲	عوامل نفوذ آب در زمین.....	۱۵
۱-۷-۲	عوامل آب و هوایی.....	۱۵
۲-۷-۲	عوامل توپوگرافی.....	۱۶
۳-۷-۲	پوشش گیاهی.....	۱۶
۴-۷-۲	عوامل زمین شناسی.....	۱۶
۸-۲	آرایش فضایی ذرات.....	۱۷
۹-۲	فاز مایع و گاز در منافذ خاک.....	۲۰
۱۰-۲	ذخیره و تأمین آب زیرزمینی.....	۲۲
۱۱-۲	رابطه بین تخلخل و دانه‌بندی.....	۲۲
۱۲-۲	تخلخل سنگ.....	۲۳
۱۳-۲	تخلخل خاک.....	۲۳
۱۴-۲	تخلخل در حوزه زمین‌شناسی.....	۲۵
۱۵-۲	سایر خصوصیات فیزیکی آبخوان.....	۲۷
۱-۱۵-۲	قابلیت انتقال.....	۲۷
۲-۱۵-۲	آبدهی ویژه.....	۲۷
۳-۱۵-۲	تخلخل قابل زهکشی.....	۳۰
۴-۱۵-۲	نگهداشت ویژه.....	۳۱
۵-۱۵-۲	ضریب ذخیره.....	۳۲
۶-۱۵-۲	ضریب ذخیره ویژه در آبخوان تحت فشار (محصور).....	۳۴
۷-۱۵-۲	ذخیره در آبخوان آزاد (غیر محصور).....	۳۵
۳۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم.....	
۳۸	خودآزمایی تشریحی فصل دوم.....	
۴۱	فصل سوم. هیدرولیک جریان آب زیرزمینی.....	
۴۱	هدف کلی.....	
۴۱	هدف‌های یادگیری.....	
۴۱	مقدمه.....	
۱-۳	معادله دارسی برای سرعت آب در خاک.....	۴۲
۲-۳	معادله اساسی جریان آب در خاک.....	۴۷
۳-۳	مفهوم هدایت هیدرولیکی.....	۴۹
۴-۳	محاسبه هدایت هیدرولیکی به کمک ردیاب‌ها.....	۵۰
۵-۳	همگنی و همسانی هدایت هیدرولیکی.....	۵۱
۶-۳	هدایت هیدرولیکی عمودی خاک.....	۵۲
۷-۳	هدایت هیدرولیکی افقی خاک.....	۵۳
۸-۳	روش‌های اندازه‌گیری هدایت هیدرولیکی.....	۵۵

۵۵	۹-۳ روش‌های آزمایشگاهی.....
۵۸	۱۰-۳ ضریب آبگذری (T).....
۵۸	۱۱-۳ شبکه جریان.....
۵۹	۱۲-۳ ترسیم شبکه جریان.....
۶۰	۱۳-۳ تحلیل شبکه جریان.....
۶۲	۱۴-۳ راهنمایی‌هایی برای ترسیم شبکه جریان.....
۶۴	۱۵-۳ شرایط ویژه ناهمسانی و ناهمگنی لایه‌ای.....
۶۶	۱۶-۳ انواع جریان.....
۶۶	۱۷-۳ جریان ماندگار.....
۶۶	۱-۱۷-۳ جریان ماندگار در آبخوان تحت فشار با ضخامت ثابت.....
۷۰	۲-۱۷-۳ جریان ماندگار در آبخوان تحت فشار با ضخامت متغیر.....
۷۲	۳-۱۷-۳ جریان ماندگار در آبخوان آزاد.....
۷۳	۱۸-۳ جریان غیر ماندگار در آبخوان تحت فشار.....
۷۴	۱۹-۳ نشست زمین.....
۷۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....
۷۸	خودآزمایی تشریحی فصل سوم.....
۷۹	فصل چهارم. هیدرولیک چاه.....
۷۹	هدف کلی.....
۷۹	هدف‌های یادگیری.....
۸۰	۱-۴ تشخیص خصوصیات هیدرولیکی آبخوان‌ها به وسیله آزمون‌های پمپاژ.....
۸۳	۲-۴ روابط جریان‌های شعاعی.....
۸۳	۱-۲-۴ روابط شعاعی در حالت جریان ماندگار در جریان تحت فشار.....
۸۵	۲-۲-۴ روابط شعاعی در حالت جریان ماندگار در آبخوان آزاد.....
۸۵	۳-۴ روابط شعاعی در حالت جریان غیر ماندگار.....
۸۵	۱-۳-۴ جریان شعاعی غیر ماندگار در لایه تحت فشار.....
۸۸	۲-۳-۴ جریان شعاعی غیر ماندگار برای لایه آزاد.....
۸۸	۴-۴ محاسبه ضریب آبگذری (T) و ضریب ذخیره (S) در آزمون‌های پمپاژ.....
۸۸	۱-۴-۴ محاسبه T و S در شرایط ماندگار و در آبخوان‌های تحت فشار.....
۹۳	۲-۴-۴ محاسبه T و S در شرایط ماندگار و در آبخوان‌های آزاد.....
۹۹	۵-۴ محاسبه T و S در شرایط غیر ماندگار و در آبخوان‌های تحت فشار.....
۹۹	۱-۵-۴ روش تاپس.....
۱۰۴	۲-۵-۴ روش ژاکوب.....
۱۰۶	۳-۵-۴ روش چو (Chow).....
۱۰۷	۴-۵-۴ آزمون برگشت.....
۱۰۸	۶-۴ محاسبه T و S در شرایط غیر ماندگار و در آبخوان‌های آزاد.....

۷-۴	سیستم‌های چاه‌های مجازی جهت یک چاه در حال پمپاژ در مرز آبخوان.....	۱۰۸
۸-۴	افت چاه.....	۱۱۰
۹-۴	افت چاه در سیستم‌های چند چاهی.....	۱۱۱
۱۱۳	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....	۱۱۳
۱۲۳	فصل پنجم. استخراج و بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی.....	۱۲۳
۱۲۳	هدف کلی.....	۱۲۳
۱۲۳	هدف‌های یادگیری.....	۱۲۳
۱۲۴	مقدمه.....	۱۲۴
۱-۵	چاه.....	۱۲۴
۲-۵	تقسیم‌بندی چاه‌ها از نظر عمق.....	۱۲۵
۳-۵	تقسیم‌بندی چاه‌ها از نظر فشار.....	۱۲۶
۴-۵	تقسیم‌بندی چاه‌ها از نظر کاربرد.....	۱۲۷
۵-۵	اکتشاف آب‌های زیرزمینی.....	۱۲۹
۶-۵	بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی.....	۱۲۹
۷-۵	حفر چاه آب.....	۱۲۹
۸-۵	تکمیل و تجهیز چاه.....	۱۳۳
۹-۵	لوله‌گذاری.....	۱۳۴
۱۰-۵	صافی شنی (Grave pack).....	۱۳۶
۱۱-۵	توسعه چاه.....	۱۳۶
۱۲-۵	آزمون آبدهی چاه.....	۱۳۷
۱۳-۵	آزمون افت پله‌ای.....	۱۳۸
۱۴-۵	قنات.....	۱۳۹
۱۴۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....	۱۴۲
۱۴۵	فصل ششم. کیفیت و آلودگی آب‌های زیرزمینی.....	۱۴۵
۱۴۵	هدف کلی.....	۱۴۵
۱۴۵	هدف‌های یادگیری.....	۱۴۵
۱۴۶	مقدمه.....	۱۴۶
۱-۶	شاخص‌های کیفیت آب زیرزمینی.....	۱۴۶
۲-۶	اصلی‌ترین ویژگی‌های آب‌های سطحی و زیر زمینی.....	۱۴۷
۳-۶	مطالعات شیمیایی آب‌های زیرزمینی.....	۱۴۸
۴-۶	اصلی‌ترین پارامترهای تعیین کیفیت شیمیایی آب.....	۱۴۹
۴-۶	۱-۴ کل مواد جامد محلول در آب و قابلیت هدایت الکتریکی ویژه.....	۱۴۹
۴-۶	۲-۴ جامدهای معلق یا سوسپانسیون شده (TSS).....	۱۵۰
۴-۶	۳-۴ اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD).....	۱۵۰

۱۵۰	۴-۴-۶ اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)
۱۵۱	۵-۴-۶ سختی کل آب (TH)
۱۵۲	۶-۴-۶ قلیائیت
۱۵۲	۷-۴-۶ اسیدیته (pH)
۱۵۳	۵-۶ نمودار مستطیلی (ستونی)
۱۵۳	۶-۶ نمودار استیف
۱۵۴	۷-۶ نمودار پی پر (Piper)
۱۵۸	۸-۶ نمودار لگاریتمی
۱۵۸	۹-۶ مطالعات فیزیکی آب‌های زیرزمینی
۱۵۸	۱۰-۶ مطالعات خصوصیات باکتریایی آب‌های زیرزمینی
۱۵۹	۱۱-۶ طبقه‌بندی آب و معیارهای کیفیت
۱۶۳	۱۲-۶ نسبت جذب سدیم (SAR)
۱۶۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۱۷۱	فصل هفتم. تغذیه مصنوعی
۱۷۱	هدف کلی
۱۷۱	هدف‌های یادگیری
۱۷۱	مقدمه
۱۷۲	۱-۷ هدف‌های تغذیه مصنوعی
۱۷۳	۲-۷ روش‌های تغذیه مصنوعی
۱۷۳	۱-۲-۷ روش افزایش تراوش
۱۷۴	۲-۲-۷ روش‌های پخش سطحی
۱۷۴	۳-۲-۷ روش تغذیه به‌وسیله چاه‌ها
۱۷۵	۴-۲-۷ روش تغذیه به‌وسیله قنات‌ها
۱۷۵	۵-۲-۷ روش تغذیه واداری (القایی)
۱۷۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم
۱۷۹	فصل هشتم. نفوذ آب شور در آبخوان‌های ساحلی
۱۷۹	هدف کلی
۱۷۹	هدف‌های یادگیری
۱۸۰	مقدمه
۱۸۰	۱-۸ موقعیت مرز آب شیرین و شور
۱۸۲	۲-۸ عوامل مؤثر در نفوذ آب شور
۱۸۳	۳-۸ روش تشخیص نفوذ آب دریا به آبخوان‌های ساحلی
۱۸۳	۴-۸ راه‌های جلوگیری از نفوذ یا پیشروی آب شور
۱۸۳	۱-۴-۸ تغییر در میزان بهره‌برداری از آب زیرزمینی

۱۸۴	۸-۴-۲ تغییر در محل و تراکم چاه‌های تخلیه.....
۱۸۴	۸-۴-۳ تغذیه مصنوعی آبخوان‌های ساحلی.....
۱۸۴	۸-۴-۴ ایجاد یک خط افت به‌وسیله پمپاژ (حائل استخراجی).....
۱۸۴	۸-۴-۵ احداث سد زیرزمینی.....
۱۸۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هشتم.....
۱۸۷	پاسخنامه.....
۱۸۹	منابع.....

پیشگفتار

آب‌های زیرزمینی در زمره بزرگ‌ترین و مهم‌ترین منبع آب شیرین و از منابع ارزشمند تهیه آب برای شرب، کشاورزی و صنعت می‌باشد. امروزه به دلیل خشکسالی‌ها بهره‌وری از منابع آب زیرزمینی اهمیت زیادی یافته و برداشت بی‌رویه از مخازن آب زیرزمینی موجب شده که میزان تغذیه آبخوان جواب‌گوی برداشت نباشد پیامد این مسئله در تعدادی از آبخوان‌ها، افت سطح آب زیرزمینی، نشست زمین و در نواحی مستعد پیشروی آب شور است. این کتاب به منظور آشنایی با منابع آب زیرزمینی و روش‌های استحصال آن، انواع جریان و هیدرولیک جریان آب در چاه‌ها و برای استفاده دانشجویان دوره کارشناسی علوم و مهندسی آب و براساس سرفصل وزارت علوم تحقیقات و فناوری نگارش شده است. سعی بر آن بوده مطالب به بیان ساده و بر اساس قوانین و اصول پایه فیزیکی و ریاضی نگارش شود. با توجه به خودآموز بودن کتاب علاوه بر مثال‌های موجود در متن، در انتهای هر فصل نیز خودآزمایی مطرح شده که پاسخ آن در انتهای کتاب آورده شده است. در نهایت نویسندگان از کلیه افرادی که در تدوین و انتشار این کتاب یاری نموده‌اند و از ویراستاران علمی و ادبی کتاب که آن را دقیق مطالعه کرده‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایند. از آنجا که هر اثری ممکن است نقایصی داشته باشد، این کتاب نیز عاری از نقص نیست؛ بنابراین یادآوری خطاها و کمبودها برای بهبود آن در چاپ بعدی بسیار مفید است و این بزرگواری و محبت مورد کمال تشکر و امتنان خواهد بود.

دکتر هادی سیاسر و دکتر نگار نورمهناد

فصل اول

کلیات

هدف کلی

از آنجا که حدود ۹۷ درصد از آب قابل آشامیدن موجود در دنیا را آب زیرزمینی تشکیل می‌دهد و اهمیت آن در میان مجموع منابع آب انکارناپذیر است، ارزیابی صحیح این منابع آب زیرزمینی ضروری می‌باشد. ازاین‌رو در این فصل به منابع آب زیرزمینی و نقش آن در توسعه پایدار پرداخته می‌شود و روش‌های تأمین آب از این منابع و خصوصیات آبخوان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

هدف‌های یادگیری

- با مطالعه این فصل دانشجو قادر به یادگیری مفاهیم زیر است:
۱. با تاریخچه آب‌های زیرزمینی آشنا می‌شود.
 ۲. به بررسی چرخه هیدرولیکی آب می‌پردازد.
 ۳. نقش آب‌های زیرزمینی در توسعه پایدار را مطالعه می‌کند.

مقدمه

آب‌هایی که در زیر زمین و در داخل حفره‌ها، خلل و فرج سنگ‌ها و خاک‌ها قرار دارند، آب‌های زیرزمینی نامیده می‌شوند. علمی که به مطالعه آب‌های زیرزمینی می‌پردازد، به هیدروژئولوژی یا زمین‌شناسی آب و یا آب‌شناسی زیرزمینی معروف است. در این علم به مطالعه سفره‌های آب، حرکت آب‌های زیرزمینی و چگونگی شکل‌گیری سفره و عوامل مؤثر بر آن، راه‌های بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی،

کیفیت و کمیت آب‌ها، نفوذ و عواملی که در نوسان سطح آب سفره‌ها مؤثر است پرداخته می‌شود. آب ناشی از ذوب برف، بارش باران و یا به هنگام آبیاری مزارع، بر اساس نیروی جاذبه به طرف اعماق حرکت کرده و در ارتباط با نوع سنگ و خلل و فرج موجود در آن نفوذ می‌کند. زمانی که به یک لایه غیرقابل نفوذ برخورد کند بر سطح آن جمع می‌شود و سفره‌های آب زیرزمینی و در نهایت لایه آبدار را تشکیل می‌دهد (۵۳ و ۸۵).

۱-۱ تاریخچه آب‌های زیرزمینی

چاه‌ها از روزگاران کهن تا به امروز به عنوان یکی از منابع مهم تأمین آب مورد توجه انسان‌های یکجانشین بوده‌اند. قدیمی‌ترین چاهی که تاکنون گزارش شده را به ادوار نوسنگی در چین و با قدمتی حدود ۵۶۰۰ سال منسوب می‌دارند. با این حال برخی از شواهد حاکی از وجود چاهی با پیشینه‌ای ۷۳۰۰ سال است که در ۱۹۹۱ توسط باستان شناسان در آلمان کشف گردید. تاریخ اولین چاهی که بشر حفر نموده به درستی معلوم نیست بیشتر دانشمندان بر این باورند که چاه یوسف در نزدیکی قاهره، جزو قدیمی‌ترین چاه‌هایی است که در قرن هفدهم قبل از میلاد مسیح تا عمق ۹۰ متری در سازند سخت حفر شده بود (۸۰). قدیمی‌ترین چاه آبی که تاکنون به جای مانده در دره رود سند است که ساخت آن را به ۶۰۰۰ سال پیش نسبت داده‌اند، به این ترتیب این چاه ۲۳ قرن زودتر از چاه یوسف حفر شده است. مصریان در ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در حفر چاه در زمین‌های سنگی مهارت داشتند.

در ایران نیز می‌توان تاریخچه چاه‌های عمیق و نیمه عمیق را معاصر با توسعه فن احداث قنات دانست. با این تلقی تاریخ حفر قدیمی‌ترین چاه‌های ایران را می‌توان تا ۳۰۰۰ سال قبل به عقب برد. تاکنون گزارشی مبنی بر کشف چاه یا چاه‌هایی با قدمت چند هزارساله در ایران منتشر نشده است تا بتوان با اطمینان تاریخ‌نگاری مشخصی را برای قدیمی‌ترین چاه سرزمین ایران تعیین کرد. کشف چاه حدود ۲۰۰۰ ساله در محدوده باستانی کلک شهرستان پلدختر در جنوب استان لرستان می‌تواند شواهدی از قدیمی‌ترین چاه‌های ایران باشد اگر بتوان این چاه را از نوع چاه‌های ساحل رودخانه (RBF) دانست بی‌شک قدیمی‌ترین چاه مکشوفه از این نوع در ایران است.

از گذشته‌های دور تاکنون انسان همواره آب مورد نیاز خود را به شیوه‌های گوناگون از منابع مختلف سطحی و زیرزمینی تأمین کرده است که این امر در اقلیم مختلف متفاوت از یکدیگر و با روش‌های خاص خود صورت می‌گرفته است. یکی از فنون دستیابی به آب‌های زیرزمینی به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک فن حفر قنات یا به عبارت دیگر کاریز بوده است که یکی از متداول‌ترین و رایج‌ترین روش‌های استخراج آب‌های زیرزمینی در این مناطق است. بر اساس آمار وزارت نیرو در حدود ۳۶۳۰۰ قنات در ایران شناسایی شده‌اند. قنات در کشورهایی که بخشی از ایران بوده‌اند یا ارتباط فرهنگی با ایران داشته‌اند دیده می‌شود (۱۱ و ۱۳). در بین‌النهرین به‌خصوص عراق و سوریه، پاکستان و افغانستان، غرب چین، کشورهای جنوب روسیه، کشورهای جوان حاشیه خلیج فارس، شمال آفریقا و جنوب اروپا قنات دیده می‌شود اما تعداد قنات‌های موجود در ایران به‌تنهایی از تعداد کل قنات‌های خارج از ایران بیشتر است. مدنیت و ماندگاری بسیاری از مناطق مرکزی و حاشیه کویر ایران در طول تاریخ، مدیون کاریزها یا قنات‌ها هستند؛ سازه‌هایی که به دلیل اهمیت در مدیریت آب و معماری متفاوت و اسطوره‌های مرتبط با آن همین چندی پیش در یونسکو ثبت جهانی شدند. قنات‌های ایرانی سابقه‌ای هزاران ساله دارند. این سازه‌های به‌ظاهر ساده که هنگام سفر به یزد در خطی طولانی از آسمان در زمین قابل مشاهده هستند از عجایب مدیریت ایرانی‌ها بر آب‌های زیرزمینی از هزاره‌های گذشته هستند که تاکنون پابرجا مانده‌اند (۶۵). قنات‌های ایران توانستند امنیت غذایی ساکنان مناطق بیابانی کشور را حتی در فصول خشک و قحطی فراهم کنند. از آنجا که ایرانی‌ها در دوره‌های گذشته حیات خود را مرهون طبیعت می‌دانستند و آب پاک را آلوده نمی‌کردند و از دل زمین آب زلال را با ایجاد معماری شگفت‌انگیز قنات استخراج می‌کردند و آن را صرف نوشیدن و آبادانی سرزمین‌های خشک می‌کردند (۴۷).

مزایای قنات نسبت به چاه عمیق عبارت است از: طولانی‌تر بودن عمر مفید قنات در مقایسه با عمر مفید چاه و موتور پمپ. اطمینان به تداوم آبدهی قنات. عدم وابستگی قنات به انرژی الکتریکی و ...، ناچیز بودن هزینه نگهداری قنات (۸ و ۱۲).

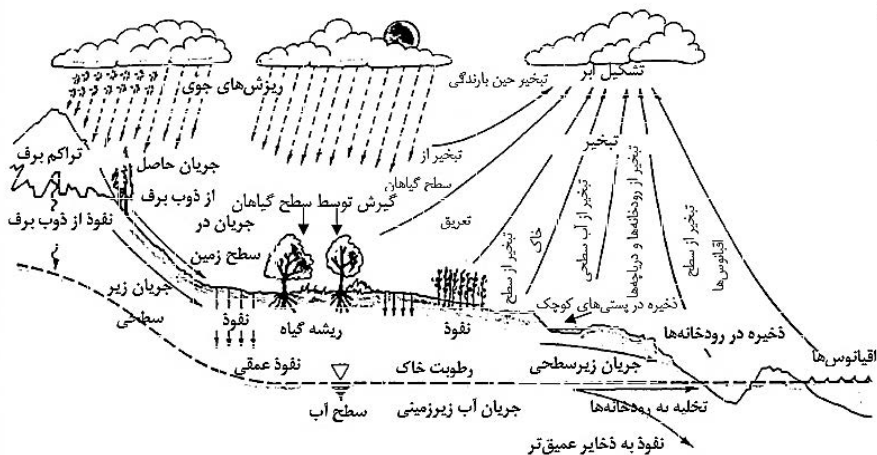
۱-۲ آب زیرزمینی و چرخه هیدرولوژی

گردش بی‌پایان آب در بین اقیانوس، اتمسفر و خشکی‌های زمین را چرخه هیدرولوژی

می‌نامند. توزیع و جریان آب زیرزمینی در بخش خشکی چرخه هیدرولوژیکی و در داخل لایه‌های آبدار تحت تأثیر شیب هیدرولیکی صورت می‌گیرد. شکل ۱-۱ نمودار شماتیک چرخه هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد. چرخه در سه بخش مختلف کره زمین یعنی اتمسفر، هیدروسفر و لیتوسفر صورت می‌گیرد. سیکل هیدرولوژی در واقع یک سیکل بدون ابتدا و انتها است، بدین ترتیب که آب از سطح دریاها و خشکی‌ها تبخیر شده وارد اتمسفر می‌گردد و سپس دوباره بخار آب وارد شده به جو طی فرایندهای گوناگون به صورت تبخیر شده وارد اتمسفر می‌گردد و سپس دوباره بخار آب وارد شده به جو طی فرایندهای گوناگون به صورت نزولات جوی یا بر سطح زمین و یا بر سطح دریاها و اقیانوس‌ها فرو می‌ریزد (۱۷ و ۳۶). پس نزولات جوی ممکن است با سه حالت روبه‌رو شود:

۱. قبل از رسیدن به سطح زمین توسط شاخ و برگ گیاهان گرفته می‌شوند (برگاب، باران گیرش).
۲. در سطح زمین جاری می‌شوند (رواناب).
۳. در خاک نفوذ می‌کنند.

مقداری از آب که در داخل خاک نفوذ می‌کند یا بر اثر تبخیر به هوا برمی‌گردد یا وارد منابع آب زیرزمینی می‌شود که سرانجام از طریق چشمه‌ها و یا تراوش به داخل رودخانه‌ها دوباره در سطح زمین ظاهر می‌گردد. در تمام این موارد آب با تبخیر و بازگشت مجدد به اتمسفر سیکل هیدرولوژی یا گردش آب در طبیعت را تکمیل می‌کند (۳۸ و ۴۰).



شکل ۱-۱. چرخه هیدرولوژیکی آب

۳-۱ مقادیر آب در چرخه هیدرولوژیکی

براساس برآوردهای دینگ من (۱۹۹۴) تقریباً حجم آب موجود بر روی کره زمین $km^3 \times 10^9 \times 1/386$ است. حدود ۹۶/۵ درصد این آب یعنی $km^3 \times 10^9 \times 1/338$ در اقیانوس‌ها و دریاها هستند. از ۳/۵ درصد باقیمانده حدود ۱/۷ درصد در زیر سطح زمین به شکل آب‌های زیرزمینی (حدود ۴۵ درصد آب‌های زیرزمینی شیرین و بقیه یعنی ۵۵ درصد شور هستند) و حدود ۱/۷۴ درصد آب در حالت جامد به صورت یخ در یخچال‌ها و پوشش‌های برف دائمی می‌باشند. باقیمانده آب‌های کره زمین، یعنی ۰/۰۶ درصد به شکل‌های دیگر شامل آب موجود در هوا (به صورت بخار و ابر)، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، باتلاق‌ها و ساختمان بدن موجودات زنده و گیاهان می‌باشند. با توجه به ارقام مذکور ملاحظه می‌شود که اقیانوس‌ها منبع اصلی ذخیره آب و آب‌های زیرزمینی بزرگ‌ترین منبع طبیعی آب‌های شیرین (حدود ۰/۷۶ درصد از کل آب‌ها) بر روی کره زمین هستند. این مقدار عظیم آب شیرین در زیرزمین، آب مصرفی حدود $\frac{2}{3}$ جمعیت جهان را تأمین می‌کند (جدول ۱-۱) (۶۹ و ۶۱).

نقش متخصصان آب زیرزمینی قرن بیست و یکم بیشتر از دهه‌های گذشته با مسائل جامع مدیریت منابع مرتبط است. متخصصان آب زیرزمینی به طور فزاینده‌ای در کار با سایر مشاغل در استفاده از مهارت‌های خود برای حل مشکلات مشارکت دارند. بنابراین آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع آبی محسوب می‌شود و برای حیات انسانی و همچنین توسعه اقتصادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک همانند ایران ضروری می‌باشند (۳۱). میانگین بارش سالانه ایران حدود ۲۴۰ میلی‌متر و چیزی در حدود یک‌سوم متوسط بارش جهانی است. تا قبل از دهه ۱۳۲۰ بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی توسط سامانه‌های بومی به نام قنات صورت می‌گرفت. در حال حاضر حدود ۴۱۰۰۰ رشته قنات در کشور ثبت شده است. با این حال طی دوره ۱۳۹۳-۱۳۵۰ تعداد چاه‌های ایران به شدت افزایش یافت به گونه‌ای که تعداد چاه‌های کشور از ۴۷۰۰۰ حلقه به بیش از ۷۸۹۰۰۰ حلقه رسیده است. در حال حاضر حدود ۱۹۶۰۰۰ حلقه چاه عمیق و ۵۹۳۰۰۰ حلقه چاه نیمه عمیق در کشور با میانگین برداشت به ترتیب ۰/۱۷ و ۰/۰۲ میلیون مترمکعب وجود دارد. بر اساس نتایج، میزان مصرف آب‌های زیرزمینی (از طریق چاه، قنات و چشمه‌ها) از کم‌تر از ۱۸ میلیارد مترمکعب در دهه ۱۳۵۰ به بیش از ۷۹ میلیارد مترمکعب در سال ۱۳۸۵ رسید. با این حال از این تاریخ به بعد میزان

برداشت از آب‌های زیرزمینی کاهش داشته، به‌گونه‌ای که در سال ۱۳۹۴ به حدود ۶۱ میلیارد مترمکعب رسید. همچنین نتایج نشان‌دهنده مصرف بالای آب‌های زیرزمینی در بخش کشاورزی است، بر این اساس حدود ۹۰ درصد از این منابع در بخش کشاورزی مصرف می‌شود. درنهایت، طی سال‌های اخیر میزان متوسط افت سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی کشور حدود ۵۱ سانتی‌متر و اضافه برداشت ۵۰۸۶ میلیون مترمکعب در سال بوده است. در این راستا و در شرایط فعلی ۳۴۷ محدوده از مجموع ۶۰۹ محدوده جز مناطق ممنوعه می‌باشند (۲۷ و ۳۰).

جدول ۱-۱. وضعیت آب در کره زمین

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

۴-۱ بیان آبی

رابطه بین اجزای مختلف چرخه آب در سیکل هیدرولوژی را تعادل آبی، بودجه آب یا بیان آبی می‌نامند. در رابطه تعادل آبی اصل پیوستگی نقش بسزایی دارد زیرا باید بین اجزای مختلف پیوستگی وجود داشته باشد تا تعادل آبی شکل گیرد. تغییراتی که در میزان هر یک از اجزا رخ می‌دهد به وسیله معادله بیان آبی نشان داده می‌شود که به صورت زیر است (۴۸)

$$\text{Input-output} = \pm \Delta S$$

اجزای معادله بالا با هم در ارتباط هستند و تغییر در یکی باعث تغییر در دیگری هم می‌شود. زمانی که جریان ورودی بیشتر از جریان خروجی است میزان اضافه جریان ورودی به ذخیره در حوزه تبدیل می‌شود. هر یک از اجزا به پارامترهای زیر تقسیم می‌شوند:

$$P + Q_{\text{swi}} + Q_{\text{gwi}} - E - Q_{\text{swo}} - \Delta s \mp \eta = 0$$

که پارامترها به ترتیب از چپ به راست، بارندگی (آبیاری)، جریان ورودی سطحی، جریان ورودی زیرزمینی، تبخیر، جریان خروجی سطحی، جریان خروجی زیرزمینی، تغییرات رطوبتی آب در خاک و میزان خطای ناشی از تقریب‌هاست (۴۸).

۵-۱ نقش آب‌های زیرزمینی در توسعه پایدار

تصمیمات مربوط به منابع آب به‌طور فزاینده‌ای با مسائل اقتصادی، انرژی، زیست‌محیطی و برنامه‌ریزی مرتبط می‌شوند. توسعه پایدار فرایندی است که آینده‌ای مطلوب را برای جوامع بشری متصور می‌شود که در آن شرایط زندگی و استفاده از منابع، بدون آسیب رساندن به یکپارچگی، زیبایی و ثبات نظام‌های حیاتی، نیازهای انسان را برطرف می‌سازد. توسعه پایدار که از دهه ۱۹۹۰ بر آن تأکید شد جنبه‌ای از توسعه انسانی و در ارتباط با محیط زیست و نسل‌های آینده است. هدف توسعه انسانی پرورش قابلیت‌های انسانی محسوب می‌شود. توسعه پایدار به‌عنوان یک فرایند درحالی‌که لازمه بهبود و پیشرفت است، اساس بهبود وضعیت و رفع کاستی‌های اجتماعی و فرهنگی جوامع پیشرفته را فراهم می‌آورد و باید موتور محرکه پیشرفت متعادل، متناسب و هماهنگ اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی تمامی جوامع و به‌ویژه

کشورهای در حال توسعه باشد. توسعه پایدار سعی دارد به پنج نیاز اساسی زیر پاسخ گوید: تلفیق حفاظت و توسعه، تأمین نیازهای اولیه زیستی انسان، دستیابی به عدالت اجتماعی، خودمختاری و تنوع فرهنگی و تنوع زیستی.

آب بحرانی‌ترین موضوع در بحث پایداری توسعه است و بهبود شاخص‌های مصرف آب، سرانه مصرف آب و میزان ذخایر آب‌های زیرزمینی بیشترین تأثیر را در بهبود شاخص پایداری کل دارند (۵۴). اگرچه کشورهای مختلف برای مقابله با شرایط تنش آبی از جمله خشک‌سالی‌های شدید و طولانی‌مدت سیاست‌های متفاوتی متناسب با اقلیم خود دارند، اما تقریباً در تمامی آن‌ها منابع آب‌های زیرزمینی به دلیل اطمینان‌پذیری بالا به‌عنوان ذخیره استراتژیک برای شرایط تنش آبی شناخته می‌شود؛ لذا حفاظت از این ذخایر استراتژیک نقشی مهم در توسعه پایدار این مناطق دارد. عدم توجه به حفظ ذخیره استراتژیک می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه داشته و موجب تغییر مسیر سرنوشت یک جامعه گردد. ذخیره استراتژیک آب زیرزمینی مهم‌ترین پشتوانه تأمین آب در صورت وقوع حداکثر خشک‌سالی محتمل (بدبینانه‌ترین شرایط برای وقوع خشک‌سالی) بوده و مدیریت صحیح این ذخایر در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک یکی از اساسی‌ترین مؤلفه‌های توسعه پایدار خواهد بود. متأسفانه سال‌هاست که در ایران این مفهوم مهم به فراموشی سپرده شده و این منابع آب بی‌همتا در حال افت مستمر است. منابع آب زیرزمینی برخلاف رودخانه‌ها و دریاچه‌ها یکی از پیچیده‌ترین سیستم‌های طبیعی محسوب می‌شوند که غیرقابل رؤیت می‌باشند. سرعت حرکت آب در آبخوان در حد چند میلی‌متر در روز بوده، و سرعت حرکت آب در رودخانه‌ها به چندین متر در ثانیه می‌رسد. بنابراین منابع سطحی در برابر تغییرات محیطی به‌سرعت واکنش نشان می‌دهند، درحالی‌که برای مشاهده تغییرات در منابع آب زیرزمینی زمان بسیار طولانی‌تری مورد نیاز است بنابراین پایداری منابع آب زیرزمینی نیازمند توجهات زود هنگام و سریع برای جلوگیری از اثرات منفی وارده بر این منابع است (۹۷) در یک زمان مشابه منابع آب زیرزمینی در دسترس تر بوده به‌راحتی حتی در مناطق خشک یا نسبتاً کم آب قابل استخراج می‌باشند. از لحاظ تاریخی نیز، این نابرابری به استفاده بیش از حد منابع آب زیرزمینی و پایین بودن قابل توجه سرمایه‌گذاری در مدیریت این منابع منجر شده است (۳۴).

خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول

۱. علمی که به مطالعه آب‌های زیرزمینی می‌پردازد چه نام دارد؟
 (الف) هیدرولوژی (ب) هیدروژئولوژی
 (ج) آب‌شناسی (د) کلیماتولوژی
۲. میانگین بارش سالانه در ایران چقدر است؟
 (الف) بیش از یک‌دوم بارش سالانه جهانی
 (ب) کمتر از یک‌چهارم بارش سالانه جهانی
 (ج) کمتر از یک‌سوم بارش جهانی
 (د) برابر میانگین بارش سالانه جهانی
۳. بزرگ‌ترین منبع طبیعی آب‌های شیرین در جهان کدام مورد است؟
 (الف) آب‌های سطحی (ب) یخچال‌ها
 (ج) آب اقیانوس‌ها (د) آب‌های زیرزمینی
۴. منظور از بیلان آب چیست؟
 (الف) تغییرات حجم آب در طولانی‌مدت
 (ب) تغییر جرم آب در یک بازه زمانی
 (ج) اصل بقای جرم در سیکل هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد.
 (د) میزان افزایش یا کاهش آب در چرخه آب در طبیعت را نشان می‌دهد.
۵. کدام یک از منابع آبی به‌عنوان ذخیره استراتژیک در شرایط تنش آبی است؟
 (الف) منابع آب سطحی (ب) منابع آب زیرزمینی
 (ج) منابع آب غیرمتعارف (د) آب باران
۶. میانگین بارش سالانه ایران در حدود متوسط بارش جهانی است.
 (الف) یک‌دوم (ب) یک‌سوم
 (ج) یک‌چهارم (د) برابر

