

هیدروژئولوژی عملی و کاربردی

مؤلف

ذکائی شن

مترجمان

دکتر محمد نخعی

عضو هیئت علمی دانشگاه خوارزمی

سعید محمدزاده هاوینینی

کارشناس هیدروژئولوژی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور



دانشگاه خوارزمی

تهران، ۱۳۹۶

سرشناسه	:	سن، زکایی / Sen, Zekai
عنوان و نام پدیدآور	:	هیدروژئولوژی عملی و کاربردی / مولف ذکائی شن؛ مترجمان محمد نخعی، سعید محمدزاده هاوستینی.
مشخصات نشر	:	تهران: دانشگاه خوارزمی، ۱۳۹۶.
مشخصات ظاهری	:	۶۱۰ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	:	978-600-8587-06-4 : ۳۷۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا
یادداشت	:	عنوان اصلی: Practical and applied hydrogeology, 2015.
یادداشت	:	کتابنامه: ص. ۶۰۷ - ۶۱۰.
موضوع	:	آزمین شناسی
موضوع	:	Hydrogeology
شناسه افزوده	:	نخعی، محمد، ۱۳۳۹ - مترجم
شناسه افزوده	:	محمدزاده هاوستینی، سعید، ۱۳۶۶ - مترجم
شناسه افزوده	:	دانشگاه خوارزمی
رده بندی کنگره	:	۱۳۹۶ ۹۵۹/۳۰۰۳۰۰
رده بندی دیویی	:	۵۵۱/۴۹
شماره کتابشناسی ملی	:	۶۱۵۳۲۴



شناسنامه کتاب

عنوان کتاب: هیدروژئولوژی عملی و کاربردی
مولف: ذکائی شن
ترجمه: دکتر محمد نخعی - سعید محمدزاده هاوستینی
نوبت چاپ: اول، ۱۳۹۶
ناشر: دانشگاه خوارزمی
چاپ و صحافی: دانشگاه خوارزمی
صفحه آرا و طراح جلد: لیلا کشاورز سیاهپوش
شماره: ۵۰۰ نسخه
قیمت: ۳۷۰۰۰۰ ریال
شابک: ۹۷۸۶۰۰۸۵۸۷۰۶۴

پیش‌گفتار

درباره مسائل مرتبط با آب‌های زیرزمینی، دارای بیش از ۳۰ سال تجربه علمی تئوری بوده‌ام و به‌همین دلیل، عملاً با سوالات کاربردی بی‌شماری در ارتباط با راه‌حل‌های آنها برخورد کرده‌ام، از همین رو، با مشکلات زیادی در پاسخ دادن و متقاعد کردن زمین‌شناسان، هیدروژئولوژیست‌ها، مهندسين و هیدرولوژیست‌های آب‌های زیرزمینی که همیشه نیاز به راه‌حل‌های عملی کارآمد، موثر، ساده و آماده دارند، مواجه شده‌ام. گاهی اوقات، فرضیات تئوری توسط افراد متخصص میدانی و دانشجویان باهوش، که برای راه‌حل‌هایی با حداقل دانش ریاضی ارزش قائل هستند، مورد انتقاد قرار می‌گیرد. من یافتم که کاربردی بودن، از طریق توصیف فیزیکی، استنتاج عقلانی و فرمول‌های منطقی امکان پذیر است. بدین طریق، من از تضاد عقاید و پرسش‌های هدفمند برای رسیدن به هدف خود که حرکت به سمت مرحله نهایی سنجش، ارزیابی و مدیریت آب‌های زیرزمینی است، بهره‌جستم.

از آنجایی که، زمین‌شناسی زیرسطحی خیلی پیچیده است، علم هیدروژئولوژی نیز برای بیان نحوه تشکیل، توزیع، اکتشاف، حرکت، تغییرات کیفی، تغذیه و مدیریت آب زیرزمینی پیچیده شده است. بیشتر افرادی که عملاً در صحنه انجام کارهای هیدروژئولوژیکی هستند، علاقه‌ای به راه‌حل‌های تحلیلی یا عددی که به‌کار محض دارای علم ریاضی است، نشان نمی‌دهند. ولی، این افراد قادر به فهم مدل‌های مفهومی هستند که توضیح آن‌ها آسان، مشخصات آن‌ها قابل بیان و مبنای ریاضی آن‌ها ساده است. از آنجا که هر راه‌حل تحلیلی ریاضی، دارای اصول، قواعد و مفاهیم منطقی معتبر است، در صورتیکه این اجزاء فراهم باشند، می‌توان فرمول‌های ریاضی را به‌عنوان محصولات نهایی استنتاج‌های تحلیلی پیچیده به‌سادگی درک کرد. اگر چه حل مسائل هیدروژئولوژیکی از طریق نرم‌افزارهای در دسترس به‌نظر راضی‌کننده است، ولی اگر محتوا و نحوه عملکرد برنامه، قابل درک نباشد، آنگاه چگونه یک فرد می‌تواند گزارش‌های معناداری از تفاسیر بنویسد؟ هر برنامه کامپیوتری، شامل مجموعه‌ای از قواعد منطقی است که در فرمول‌های تحلیلی پنهان شده‌اند، بنابراین خروجی‌های این نرم‌افزارها به تفاسیر معناداری نیاز دارند، که بدون توضیحات عملی امکان پذیر نمی‌باشد. هدف این کتاب، ابتدا اثبات اصول عقلانی، منطقی و مفهومی برای هر مسئله، و آنگاه از طریق محاسبات ساده، رسیدن به فرمول‌های دلخواه با فرضیات خاص آنها است.

زمانیکه فردی با مسئله‌ای مواجه می‌شود، ضروری است که موضوعات مرتبط با آن مسئله را در ذهن خود تصور کند، شکل کلی مناسبی را برنامه‌ریزی و طراحی نماید، تادر مرحله بعد بتواند مجموعه‌ای از عبارات استنتاجی را استخراج کند. از آنجا که مسائل هیدروژئولوژیکی، بسته به شرایط زمین‌شناسی زیرسطحی، پیچیدگی زیادی دارند، جهت رسیدن به راه‌حل‌های مقدماتی، چند و یا چندین پیش فرض برای ساده‌سازی لازم است. در نوشته‌جات علمی، موارد زیادی وجود دارد که راه‌حل‌های تحلیلی ریاضی را با جزئیات کامل ارائه کرده‌اند، اما توضیح مفهومی مدل‌ها به این گستردگی در دسترس نمی‌باشد. علاوه بر تصور ذهنی، تجربه نیز کمک بیشتری برای یافتن پاسخ مناسب به پرسش‌ها فراهم می‌کند. ما به سمت بهبود روش‌های موجود سوق می‌دهد. منطق و تجربه با هم نشان می‌دهند که هیچ‌کس نمی‌تواند دنیا وجود ندارد که آبخوان‌ها دارای شرایط همگن و همسان باشند و تغییرات کانال در پارامترهای آبخوان بسته به مقیاس مورد مطالعه وجود دارد. در حرکت آب‌های زیرزمینی به سمت چاه‌ها، مقیاس مطالعه مخروط افت است، که به‌صورت آهسته و پایدار با زمان توسعه می‌یابد. طی گسترش مخروط افت، مقیاس مطالعه تغییر کرده و عوارض زمین‌شناسی زیرسطحی اختافی وارد دامنه تاثیر مخروط شده و در نتیجه انتظار می‌رود که پارامترهای آبخوان نیز با تغییر در نظر مکانی تغییر کنند.

بعد از فهم اصول ساده، کاربردی و مفهومی، می‌توان فرایندهای کلیدی که نقش اصلی را در حرکت آب‌زیرزمینی بازی می‌کنند، درک کرد. بر این اساس، می‌توان این پارامترها را به‌شیوه‌ای که اقتصادی باشد اندازه‌گیری نمود. هدف اصلی در ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی آب‌های زیرزمینی در یک منطقه، تعیین پارامترهای آبخوان است.

جهت ارائه عملی و کاربردی پروژه‌های هیدروژئولوژیکی، مجموعه‌ای از مطالعات موردی و مثال‌ها در تمامی فصول، بعد از ارائه توضیحات مربوطه، آورده شده است. موفق‌ترین مطالعات کاربردی آب‌های زیرزمینی می‌تواند با کار تیمی بدست آید که در آن اعضای با تجربه و نظریه‌پرداز جهت رسیدن به راه‌حل‌های موثر با یکدیگر همکاری می‌کنند. من نمی‌توانستم این کتاب را بدون شکیبایی، حمایت و همکاری همسرم فاتیما شن به رشته تحریر درآورم.

پیش‌گفتار مترجمان

حمد و سپاس خدای متعال را که به ما توفیق داد تا کتاب حاضر را ترجمه کنیم. این کتاب توسط پروفسور ذکائی شن از دانشگاه فنی استانبول به‌عنوان یک کتاب راهنمای عملی و کاربردی مطالعات آب‌های زیرزمینی نگارش شده است. کتاب دارای سطح علمی بالا جهت آموزش دانشجویان کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری آبشناسی و کارشناسان مرتبط با آب، نظیر عمران، آبیاری و زمین‌شناسی مهندسی می‌باشد.

کتاب حاضر حاوی مسائل تخصصی در زمینه مفاهیم اولیه هیدروژئولوژی، نحوه حرکت آب در محیط متخلخل، کیفیت آن در طول مسیر و نحوه مدیریت آب‌زیرزمینی است. با مطالعه این کتاب، دانش‌پربان و کارشناسان مرتبط با مسائل آب می‌توانند فهمی اصولی، ساده و کاربردی کسب کنند و به‌کار استفاده از نرم‌افزارهای موجود در زمینه آب‌های زیرزمینی با درک صحیح و با اعتماد به نفس، دچار سردرگمی نشوند.

این کتاب به دلیل ذکر مثال‌های متنوع با ارزش از مناطق خشک و نیمه خشک مشابه خیلی از مناطق کشورمان، دارای اهمیت دو چندان می‌شود، لذا به خوانندگان این کتاب توصیه می‌شود که نکات کاربردی و مثال‌های حل‌شده را به دقت بررسی کنند و برای مطالعات خود در این مناطق به کار گیرند.

از معاونت محترم پژوهشی و ریاست محترم انتشارات دانش‌آزمای خوارزمی که ما را در چاپ این کتاب یاری نمودند کمال تشکر و امتنان را داریم. در اینجا بزم می‌دانیم از ویراستاران علمی و ادبی کتاب که با پیشنهادهای ارزشمندشان سبب ارتقاء کیفی این ترجمه شده‌اند تشکر و قدردانی نماییم.

از آنجا که هیچ کاری عاری از خطا نمی‌باشد، از خوانندگان گرامی خواهشمندیم با یادآوری پیشنهادات و اصلاحات خود، ما را در برطرف نمودن نقایص کار در چاپ بعدی یاری نمایند.

دکتر محمد نخعی

سعید محمدزاده هاوستینی

فهرست مطالب

۲۱	فصل اول: اطلاعات پایه آب‌شناسی
۲۳	۱،۱ مولفه‌های علم هیدروژئولوژی (آب‌شناسی)
۲۵	۲،۱ چرخه هیدروژئولوژیک
۲۵	۱،۲،۱ مولفه‌های چرخه هیدروژئولوژیک
۲۷	۳،۱ بارندگی
۳۱	۱،۱،۱ روش متوسط حسابی
۳۲	۲،۳،۱ روش نایس
۳۳	۳،۳،۱ روش هم‌پایه
۴۴	۴،۱ تبخیر و تبخیر-تغیر
۴۵	۱،۴،۱ معادله پنمن-مونتگومری
۴۶	۲،۴،۱ محاسبات عملی تبخیر-تغیر
۴۷	۱،۲،۴،۱ روش پریستلی-تیلور
۴۷	۲،۲،۴،۱ روش بلانی-کریدل
۴۸	۳،۲،۴،۱ روش تشنگ اصلاح شده
۵۰	۴،۲،۴،۱ فرمول میر
۵۱	۵،۲،۴،۱ بیلان گرمایی
۵۲	۵،۱ نفوذ
۶۴	۶،۱ رواناب
۶۷	۷،۱ آبهای زیرزمینی
۶۸	۸،۱ تغییر اقلیم و آبهای زیرزمینی
۷۱	۹،۱ زمین‌شناسی و آبهای زیرزمینی
۷۲	۱،۹،۱ فلات‌های قاره و سپرهای زمین‌شناسی

- ۲,۹,۱ نهشته‌های کواترنری..... ۷۳
- ۱,۲,۹,۱ مخروط‌افکنه‌ها..... ۷۴
- ۲,۲,۹,۱ رسوبات آبرفتی..... ۷۴
- ۳,۲,۹,۱ تلماسه‌ها (ماسه‌های بادی)..... ۷۵
- ۴,۲,۹,۱ سیخاها (پلایا)..... ۷۶
- ۳,۹,۱ بازالت‌ها..... ۷۶
- استفاده از آبریززمینی در نفت..... ۷۷

فصل دوم: ماهیچه محیط متخلخل..... ۸۵

- ۱,۲ ملاحظات زمین‌شناسی..... ۸۷
- ۲,۲ اندازه دانه..... ۸۸
- ۳,۲ طبقه‌بندی‌های مخازن..... ۹۱
- ۱,۳,۲ آبخوان..... ۹۱
- ۲,۳,۲ لایه نیمه‌تراوا..... ۹۲
- ۳,۳,۲ لایه ناتراوا..... ۹۳
- ۴,۲ تعاریف هیدرولیکی..... ۹۳
- ۱,۴,۲ گرادیان و بار هیدرولیکی (تراز پیزومتریک)..... ۹۳
- ۵,۲ خطوط هم‌پتانسیل..... ۹۸
- ۱,۵,۲ شبکه‌های جریان..... ۹۸
- ۶,۲ انواع آبخوان..... ۱۰۳
- ۱,۶,۲ آبخوان آزاد یا نامحصور..... ۱۰۳
- ۲,۶,۲ آبخوان محبوس..... ۱۰۴
- ۳,۶,۲ آبخوان نشتی..... ۱۰۶

- ۴,۶,۲ آبخوان معلق..... ۱۰۶
- ۵,۶,۲ آبخوان مرکب..... ۱۰۷
- ۷,۲ پارامترهای آبخوان..... ۱۰۷
- ۱,۷,۲ تخلخل..... ۱۰۸
- ۲,۷,۲ نگهداشت و آبدهی ویژه..... ۱۰۹
- ۱,۲,۷,۲ روش‌های تعیین آبدهی ویژه..... ۱۱۴
- ۱,۱, ۷,۲ روش‌های آزمون آبخوان آزاد..... ۱۱۴
- ۲,۱, ۷,۲ روش بیلان - حجم..... ۱۱۵
- ۳,۱,۲,۷,۲ روش بیلان آب..... ۱۱۵
- ۴,۱,۲,۷,۲ شریب و تر بر آبدهی ویژه..... ۱۱۶
- ۳,۷,۲ هدایت هیدرولیکی..... ۱۱۷
- ۱,۳,۷,۲ شکست هیدرولیکی..... ۱۲۱
- ۴,۷,۲ قابلیت انتقال..... ۱۲۲
- ۵,۷,۲ مقایسه شاخص تولید و ظرفیت ویژه..... ۱۲۶
- ۱,۵,۷,۲ ضریب ذخیره و ذخیره ویژه..... ۱۲۷
- ۲,۵,۷,۲ ضریب ذخیره و تراکم‌پذیری..... ۱۲۹
- ۶,۷,۲ سرعت آب‌های زیرزمینی..... ۱۳۸
- ۸,۲ قانون دارسی..... ۱۴۱
- ۱,۸,۲ جریان غیرداریسی..... ۱۴۶
- ۱,۱,۸,۲ تعریف قابلیت انتقال جریان غیرداریسی..... ۱۴۹
- ۹,۲ ناهمگنی و نایکسانی..... ۱۵۲
- ۱۰,۲ بیلان آب..... ۱۵۷
- ۱,۱۰,۲ فرمول‌های تنوری..... ۱۵۸
- ۱,۱,۱۰,۲ شرایط محبوس..... ۱۵۸

۱۶۰.....	۲,۱,۱۰,۲ شرایط آزاد
۱۶۲.....	۲,۱۰,۲ فرمول‌های کاربردی
۱۶۶.....	۱۱,۲ مولفه‌های آب‌های زیرزمینی
۱۶۶.....	۱,۱۱,۲ مولفه‌های کل ورودی آب‌زیرزمینی
۱۶۸.....	۲,۱۱,۲ مولفه‌های کل خروجی آب‌زیرزمینی

فصل سوم: هیدرولیک آب‌های زیرزمینی و آبخوان‌های محبوس..... ۱۷۵

۱۷۷.....	۱,۳ چاه‌های آب‌زیرزمینی
۱۷۸.....	۱,۱,۳ انواع چاه‌ها
۱۸۱.....	۱,۱,۱,۳ ارتباط دالز-چاه-تخت در زمان‌های آغازین
۱۸۳.....	۲,۱,۱,۳ ارتباط افت-تخت در زمان‌های آغازین
۱۸۵.....	۳,۱,۱,۳ پیژومترها و چاه‌های مشاهده‌ای
۱۸۷.....	۴,۱,۱,۳ شکل چاه-آبخوان
۱۸۸.....	۲,۱,۳ نفوذ چاه
۱۸۸.....	۱,۲,۱,۳ نفوذ کامل
۱۸۹.....	۲,۲,۱,۳ نفوذ ناقص
۱۹۲.....	۳,۲,۱,۳ اثر پوسته‌ای، افت آبخوان و سایر افت‌های چاه
۱۹۶.....	۲,۳ آزمون‌ها و اندازه‌گیری‌های صحرایی
۱۹۷.....	۱,۲,۳ دستورالعمل‌های دفتری و صحرایی
۱۹۸.....	۲,۲,۳ طراحی آزمون آبخوان (پمپاژ)
۱۹۸.....	۳,۲,۳ اندازه‌گیری‌های آزمون
۲۰۲.....	۴,۲,۳ اندازه‌گیری تخلیه و افت
۲۰۳.....	۵,۲,۳ آزمون آبخوان
۲۰۴.....	۶,۲,۳ ارزیابی زمان-افت آغازین

- ۲۱۰..... ۷,۲,۳ شناسایی پارامترهای آبخوان
- ۲۱۲..... ۳,۳ تحلیل‌های آزمون آبخوان
- ۲۱۳..... ۴,۳ جریان پایدار شعاعی در آبخوان‌های محبوس
- ۲۱۴..... ۱,۴,۳ جریان پایدار شعاعی در آبخوان‌های محبوس
- ۲۲۰..... ۲,۴,۳ تغییرپذیری هدایت هیدرولیکی
- ۲۲۱..... ۱,۲,۴,۳ تغییر خطی هدایت هیدرولیکی
- ۲۲۳..... ۴,۴,۳ تخمین ضریب ذخیره
- ۲۲۷..... ۵,۳ جریان آب‌بزرزمینی شعاعی پایدار در آبخوان‌های نشی
- ۲۲۷..... ۱,۵,۳ تخمین قابلیت انتقال
- ۲۳۰..... ۶,۳ جریان ناپایدار در آبخوان
- ۲۳۰..... ۱,۶,۳ جریان شعاعی ناپایدار در یک آزمون آبخوان محبوس
- ۲۳۳..... ۱,۱,۶,۳ مدل تاپس
- ۲۳۴..... ۲,۱,۶,۳ روش انطباق منحنی تیپ تاپس
- ۲۳۷..... ۳,۱,۶,۳ روش انطباق جزئی منحنی تیپ
- ۲۴۶..... ۷,۳ روش شیب
- ۲۵۳..... ۱,۷,۳ ملاحظات آماری
- ۲۵۷..... ۸,۳ روش چیمن
- ۲۶۱..... ۹,۳ روش خط مستقیم کوپر-جیکوب
- ۲۶۶..... ۱۰,۳ تحلیل خط مستقیم بی‌بعد
- ۲۷۳..... ۱,۱۰,۳ تعمیم روش خط مستقیم
- ۲۸۰..... ۱۱,۳ منحنی‌های تیپ تخلیه متغیر
- ۲۸۱..... ۱,۱۱,۳ تغییرات نمایی دبی
- ۲۸۴..... ۲,۱۱,۳ روش خط مستقیم
- ۲۹۰..... ۱۲,۳ محاسبه ذخیره جریان شبه‌پایدار

۲۹۲	جریان شعاعی ناپایدار در یک آزمون آبخوان نشتی
۲۹۷	مدل نقطه عطف حنتوش
۲۹۹	مدل فاصله-شیب حنتوش
۳۰۱	هیدرولیک چاه‌های با قطر بزرگ
۳۰۶	آزمون دوگانه آبخوان
۳۰۹	روش بازگشت
۳۱۱	روش بازگشت تایس
۳۱۳	آزمون چاه (آزمون افت پله‌ای)
۳۱۷	طبقه‌بندی آبخوان با استفاده از توصیف‌های فازی پارامترهای هیدروژئولوژیکی
۳۱۷	نمونه طبقه‌بندی فازی آبخوان

فصل چهارم: آبخوان‌های آزاد

۳۳۱	۱،۴ خصوصیات آبخوان آزاد
۳۳۳	۲،۴ آبخوان‌های رسوبی کواترنری
۳۳۵	۱،۲،۴ آبخوان‌های کانال آبرفتی
۳۳۷	۲،۲،۴ آبخوان‌های مخروط‌افکنه‌ای
۳۳۷	۳،۲،۴ آبخوان‌های سب‌خاها (پلایا)
۳۳۸	۴،۲،۴ آبخوان‌های ساحلی
۳۴۰	۳،۴ سنگ‌های دارای شکستگی
۳۴۱	۴،۴ محیط کارستی
۳۴۳	۵،۴ سازه‌های هیدرولیکی
۳۴۳	۱،۵،۴ چاه‌های قائم دارای قطر بزرگ
۳۴۴	۲،۵،۴ چاه‌های جمع‌کننده

۳۴۶	چاه‌های تزریقی و سد کننده.....
۳۴۸	مجاری افقی ساخت بشر-قنوات.....
۳۵۱	هیدرولیک آب‌های زیرزمینی.....
۳۵۲	فرضیات دویوئی و فورشه‌ایمر.....
۳۵۳	آبدهی تاخیری.....
۳۵۵	جریان پایدار به چاه‌ها.....
۳۵۵	جریان شعاعی در آبخوان آزاد.....
۳۶۲	چاه‌های با نفوذ ناقص.....
۳۶۷	تغذیه آب‌زیرزمینی.....
۳۶۸	جریان شعاعی در آبخوان آزاد با تغذیه.....
۳۷۰	جریان خطی در آبخوان آزاد با تغذیه.....
۳۷۱	جریان شعاعی ناپایدار در آبخوان‌های آزاد.....
۳۷۱	تقریب آبخوان محبوس.....
۳۷۲	مدل بولتون.....
۳۷۷	مدل نویمان.....
۳۸۱	روش تخمین پارامتر آبخوان آزاد-جریان شبه‌پایدار.....
۳۸۶	فرمول محاسبه ذخیره جریان در حالت شبه‌پایدار.....
۳۸۷	تغذیه طبیعی آب‌های زیرزمینی.....
۳۹۳	نوسانات سطح ایستابی و تغذیه.....
۴۰۰	روش ارتباط بین تغذیه و رخنمون (ROR).....
۴۰۸	روش بیلان جرم کلراید (CMB).....
۴۱۴	تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی.....
۴۱۷	خصوصیات آبخوان و محاسبه آب‌زیرزمینی در دسترس.....

۴۱۸	 محاسبه ذخیره قطعی آب‌های زیرزمینی
۴۱۹	 ۲,۱۴,۴ ملاحظات ریسک
۴۲۲	 ۳,۱۴,۴ محاسبه ریسک حجم و پارامتر ذخیره آب
۴۲۴	 ۴,۱۴,۴ محاسبه ریسک حجم تغذیه آب‌زیرزمینی
۴۲۵	 ۱۵,۴ تغییر اقلیم و تغذیه آب‌های زیرزمینی
۴۲۹	 ۱۶,۴ بالا آمدگی آب شور
۴۳۷	 فصل پنجم کیفیت آب‌های زیرزمینی
۴۳۹	 ۱,۵ هیدروژنولوژی
۴۴۰	 ۲,۵ اجزاء یونی
۴۴۲	 ۳,۵ یونهای اصلی
۴۴۲	 ۱,۳,۵ کاتیون‌های اصلی (کالسیوم، منیزیم، سدیم، پتاسیم)
۴۴۳	 ۲,۳,۵ آنیون‌های اصلی (سولفات، کربنات، کلرید، کربنات)
۴۴۵	 ۴,۵ واحدها و تعادل شیمیایی
۴۴۹	 ۵,۵ نمونه‌برداری و آنالیز آب‌زیرزمینی
۴۵۱	 ۶,۵ شاخص‌های ترکیبی کیفیت
۴۵۱	 ۱,۶,۵ هدایت الکتریکی (EC)
۴۵۲	 ۲,۶,۵ کل مواد جامد محلول (TDS)
۴۵۳	 ۳,۶,۵ سختی کل (TH)
۴۵۵	 pH ۴,۶,۵
۴۵۵	 ۵,۶,۵ نسبت جذب سدیم (SAR)
۴۵۷	 ۶,۶,۵ محتوای سدیم (SC)
۴۵۸	 ۷,۶,۵ کربنات سدیم باقی‌مانده (RSC)

- ۸,۶,۵ شاخص تراوایی (PI)..... ۴۶۰
- ۹,۶,۵ طبقه‌بندی کلرید..... ۴۶۱
- ۷,۵ روابط ترکیبی متغیرها..... ۴۶۱
- ۱,۷,۵ ارتباط هدایت الکتریکی-کل مواد جامد محلول..... ۴۶۱
- ۲,۷,۵ ارتباط هدایت الکتریکی-نسبت جذب سدیم..... ۴۶۳
- ۸,۵ نمایش نموداری کیفیت آب..... ۴۶۴
- ۱,۸,۵ نمودار استیف..... ۴۶۴
- ۲,۸,۵ نمودار دایره‌ای..... ۴۶۵
- ۳,۸,۵ نمودار شولر..... ۴۶۵
- ۴,۸,۵ نمودار پایپر..... ۴۶۷
- ۵,۸,۵ نمودار فراوانی غلظت یونی..... ۴۷۰
- ۶,۸,۵ نمودار دورو..... ۴۷۲
- ۷,۸,۵ نمودار چندمربعی (MRD)..... ۴۷۳
- ۹,۵ رابطه گین-هرزبرگ..... ۴۷۵
- ۱۰,۵ اختلاط مصنوعی آب‌های زیرزمینی..... ۴۷۷
- ۱,۱۰,۵ مدل تجربی..... ۴۷۸
- ۲,۱۰,۵ مدل تئوری..... ۴۸۱
- ۱۱,۵ ایزوتوپ‌های محیطی..... ۴۸۴
- ۱۲,۵ بالآمدگی آب‌زیرزمینی و تغییرات کیفیت..... ۴۸۸
- ۱۳,۵ شاخص یونی استاندارد برای تکامل کیفیت آب‌زیرزمینی..... ۴۸۹
- ۱,۱۳,۵ روش SII منحصربه‌فرد..... ۴۹۱
- ۲,۱۳,۵ روش SII متوالی..... ۴۹۵
- ۱۴,۵ شاخص‌های ارزیابی تغییر کیفیت آب‌زیرزمینی..... ۴۹۸

۴۹۹	 ۱،۱۴،۵ شاخص کیفیت آب (WQI)
۵۰۲	 ۲،۱۴،۵ مدل‌های تشابهی
۵۰۴	 ۳،۱۴،۵ ماتریس ارتباط کیفیت آب
۵۰۴	 ۱۵،۵ قاعده فازی طبقه‌بندی آب‌یرزمینی حاصل از نقشه‌های کیفیت
۵۱۶	 ۱۶،۵ تغییر اقلیم و کیفیت آب‌یرزمینی

فصل ششم: مدیریت آب‌های زیرزمینی ۵۲۳

۵۲۵	 ۱،۶ کات
۵۲۶	 ۲،۶ طراحی مدیریت
۵۲۹	 ۳،۶ محیط‌های مدیریت
۵۳۰	 ۴،۶ شرایط محلی
۵۳۲	 ۵،۶ نیازهای اولیه مدیریت
۵۳۴	 ۶،۶ اهداف مدیریت آب‌های زیرزمینی
۵۳۵	 ۱،۶،۶ آبدهی مجاز
۵۳۷	 ۲،۶،۶ آبدهی پایدار
۵۳۹	 ۳،۶،۶ آبدهی مجاز و پایداری
۵۴۲	 ۷،۶ مدیریت یکپارچه آب‌یرزمینی
۵۴۴	 ۸،۶ متغیرهای اصلی مدیریت
۵۴۴	 ۱،۸،۶ تقاضای آب
۵۴۸	 ۲،۸،۶ ویژگی‌های آبخوان
۵۴۹	 ۹،۶ مدیریت هیدروژئولوژیکی
۵۵۱	 ۱،۹،۶ طراحی استراتژیک ذخیره آب‌یرزمینی
۵۵۱	 ۱،۱،۹،۶ مدیریت درون آبخوانی

- ۵۵۳..... ۲,۱۰,۹,۶ مدیریت بین آبخوانی
- ۵۵۴..... ۱۰,۶ مدل‌های اولیه مدیریت برای آبخوان‌ها
- ۵۵۵..... ۱,۱۰,۶ قواعد عقلانی و منطقی مدیریت
- ۵۵۸..... ۲,۱۰,۶ اطلاعات پایه
- ۵۶۰..... ۳,۱۰,۶ مدل مفهومی سیستم‌های آبخوان (A-B)
- ۵۶۱..... ۴,۱۰,۶ اصول مدیریت منطقی
- ۵۶۷..... ۱۱,۶ مدیریت ریسک احتمال در یک آبخوان
- ۵۶۹..... ۱۱,۶ روش احتمالی
- ۵۷۲..... ۲,۱۱,۶ مدل امارتی مدیریت
- ۵۷۶..... ۱۲,۶ مدل‌سازی بالابردی تراز آب‌رزمینی در شهرها
- ۵۸۰..... ۱۳,۶ عدم قطعیت داده‌های آبخوان و طراحی استراتژیک
- ۵۸۱..... ۱,۱۳,۶ محاسبات ریسک پارامترهای مختلف هیدروژئولوژیکی
- ۵۸۳..... ۱۴,۶ آبدهی بهینه و مدیریت در عرصه پناه
- ۵۸۸..... ۱,۱۴,۶ آبدهی بهینه آبخوان
- ۵۹۵..... ۱۵,۶ محاسبه ریسک حجم ذخیره آب
- ۶۰۰..... ۱۶,۶ مدیریت و عدم قطعیت‌های آبخوان