

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	پیشگفتار
۴	فصل اول: ویژگی های طبیعی حوضه های آبریز ایران
۶	۱-۱ ارتفاع
۹	۲-۱ شیب
۱۱	۳-۱ نوع اقلیم
۱۴	۴-۱ بارش
۱۶	۵-۱ میانگین دمای هوای سالانه
۱۸	۶-۱ میانگین حداقل دمای هوای سالانه
۲۰	۷-۱ میانگین حداکثر دمای هوای سالانه
۲۱	۸-۱ پوشش برف
۲۴	۹-۱ رواناب ناشی از ذوب برف
۲۷	۱۰-۱ تابش خالص خورشیدی
۲۹	۱۱-۱ فشار بخار
۳۰	۱۲-۱ تبخیر-تعرق پتانسیل
۳۵	۱۳-۱ تبخیر-تعرق واقعی
۳۷	۱۴-۱ رطوبت خاک
۴۰	۱۵-۱ شوری خاک
۴۳	۱۶-۱ تراکم پوشش گیاهی
۴۶	۱۷-۱ تغییرات ذخیره آب زمینی
۴۸	۱۸-۱ آبخوان های کشور
۴۹	۱۹-۱ تغییرات سطح آب زیرزمینی
۵۲	۲۰-۱ تغییرات حجم آب زیرزمینی
۵۴	۲۱-۱ تغذیه آب زیرزمینی
۵۶	۲۲-۱ عمق آب زیرزمینی
۵۹	۲۳-۱ هدایت الکتریکی آب زیرزمینی
۶۲	۲۴-۱ جریان کل ماهانه رودخانه ها

صفحه	عنوان
۶۲	۲۵-۱ جریان پایه ماهانه رودخانه‌ها
۶۵	۲۶-۱ شاخص جریان پایه
۶۷	۲۷-۱ روند تغییرات جریان پایه
۶۹	۲۸-۱ هدایت الکتریکی رودخانه‌ها
۷۰	۲۹-۱ دبی حداکثر لحظه‌ای رودخانه‌ها
۷۳	۳۰-۱ پهنه‌های آبی
۷۵	۳۱-۱ سدها
۹۳	پرسش‌های فصل
فصل دوم: منابع آب تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر و غیر متعارف	
۹۴	۱-۲ منابع آب تجدیدپذیر
۹۴	۱-۱-۲ منابع آب تجدیدپذیر داخلی
۹۵	۲-۱-۲ منابع آب تجدیدپذیر خارجی
۹۶	۳-۱-۲ کل منابع آب تجدیدپذیر
۹۷	۴-۱-۲ منابع آب تجدیدپذیر طبیعی
۹۸	۵-۱-۲ منابع آب تجدیدپذیر واقعی
۹۸	۶-۱-۲ منابع آب تجدیدپذیر قابل مدیریت
۹۹	۷-۱-۲ سرانه کل منابع آب تجدیدپذیر در ایران
۱۰۲	۲-۲ منابع آب تجدیدناپذیر
۱۰۳	۳-۲ منابع آب غیر متعارف
۱۰۵	۱-۳-۲ استحصال آب از مه
۱۰۷	۲-۳-۲ افزایش بارندگی از طریق بارورسازی ابرها
۱۱۰	۳-۳-۲ برداشت آب باران در حوضه‌های آبریز کوچک
۱۱۰	۴-۳-۲ آب‌های زیرزمینی عمیق فراساحلی
۱۱۲	۵-۳-۲ آب‌های زیرزمینی عمیق خشکی (آب‌های فسیلی)
۱۱۳	۶-۳-۲ تصفیه فاضلاب شهری
۱۱۴	۷-۳-۲ زهکشی کشاورزی
۱۱۵	۸-۳-۲ آیسبرگ (کوه یخ)
۱۱۶	۹-۳-۲ آب موازنه
۱۱۷	۱۰-۳-۲ نمک‌زدایی آب دریا
۱۲۰	۴-۲ وضعیت منابع آب ایران در گذشته و آینده
۱۲۱	پرسش‌های فصل

صفحه	عنوان
۱۲۳	فصل سوم: خشکسالی و سیلاب
۱۲۳	۱-۳ خشکسالی
۱۲۷	۱-۱-۳ شاخص‌های پایش خشکسالی
۱۳۴	۲-۱-۳ وضعیت شاخص‌های خشکسالی در ایران
۱۴۳	۳-۱-۳ مدیریت خشکسالی
۱۴۵	۲-۳ سیلاب
۱۴۹	۱-۲-۳ حوضه‌های سیل خیز
۱۵۰	۲-۲-۳ روند دبی‌های حداکثر لحظه‌ای
۱۵۰	۳-۲-۳ تحلیل فراوانی
۱۵۲	۴-۲-۳ دبی‌های پیک سیلاب
۱۵۴	۵-۲-۳ عوامل تأثیرگذار بر سیلاب
۱۵۷	۶-۲-۳ تحلیل خودهمبستگی فضایی
۱۶۰	۷-۲-۳ رگرسیون گام‌به‌گام
۱۶۲	۸-۲-۳ خوشه‌بندی عوامل مؤثر بر دبی پیک سیلاب
۱۶۸	۹-۲-۳ مدیریت سیلاب
۱۷۱	پرسش‌های فصل
۱۷۳	فصل چهارم: شاخص‌های ارزیابی مدیریت پایدار منابع آب
۱۷۳	۱-۴ مقدمه
۱۷۸	۲-۴ ایجاد چهارچوب نظری
۱۷۹	۳-۴ شاخص‌های ارزیابی پایداری منابع آب
۱۸۹	۴-۴ چهارچوب DPSIR
۱۹۱	۵-۴ اهمیت منابع آب زیرزمینی
۱۹۵	۶-۴ شاخص ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی براساس تغییرات ذخیره آب زیرزمینی
۱۹۶	۱-۶-۴ محاسبه GWSA با استفاده از روش WTF
۱۹۷	۲-۶-۴ محاسبه GWSA با استفاده از داده‌های GRACE-ERA5-Land
۱۹۷	۳-۶-۴ اعتمادپذیری ذخیره آب زیرزمینی (REL_{GWS})
۱۹۸	۴-۶-۴ تاب‌آوری ذخیره آب زیرزمینی (RES_{GWS})
۱۹۸	۵-۶-۴ آسیب‌پذیری ذخیره آب زیرزمینی (VUL_{GWS})
۱۹۹	پرسش‌های فصل

هفت

صفحه	عنوان
۲۰۰	فصل پنجم: ارزیابی پایداری مدیریت منابع آب زیرزمینی در ایران
۲۰۰	۱-۵ مقدمه
۲۰۹	۲-۵ شاخص‌های ارزیابی پایداری
۲۰۹	۱-۲-۵ شاخص رد پای یکپارچه آب زیرزمینی (IGWF)
۲۱۰	۲-۲-۵ شاخص تراکم جمعیت در سطح آبخوان (D_{pop})
۲۱۱	۳-۲-۵ شاخص درصد آب زیرزمینی مورد استفاده برای بخش کشاورزی و صنعت (PGW_{ai})
۲۱۱	۴-۲-۵ شاخص تراکم چاه‌های مشاهده‌ای (D_{ow})
۲۱۲	۳-۵ رتبه‌بندی آبخوان‌ها براساس روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره
۲۱۳	۴-۵ آبخوان‌های مورد مطالعه و داده‌های اولیه
۲۱۴	۱-۴-۵ تغییرات سطح آب زیرزمینی (ΔH)
۲۱۴	۲-۴-۵ میانگین تغذیه سالانه آبخوان‌ها (R)
۲۱۴	۳-۴-۵ مشارکت آب زیرزمینی در جریان سطحی (BF یا Q_{10})
۲۱۴	۴-۴-۵ مساحت آبخوان (A)
۲۱۸	۵-۴-۵ هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی
۲۱۸	۶-۴-۵ تعداد پیرومتر یا چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان
۲۱۸	۷-۴-۵ جمعیت ساکن در سطح آبخوان
۲۱۹	۸-۴-۵ استفاده از آب‌های زیرزمینی برای بخش کشاورزی
۲۱۹	۹-۴-۵ استفاده از آب‌های زیرزمینی برای بخش صنعت
۲۱۹	۵-۵ مقادیر شاخص‌های ارزیابی پایداری منابع آب زیرزمینی
۲۲۱	۶-۵ رتبه‌بندی آبخوان‌ها
۲۲۵	۷-۵ ارتباط شاخص مدیریت یکپارچه آب زیرزمینی با تغییرات پوشش گیاهی
۲۲۶	پرسش‌های فصل
۲۲۷	نتیجه‌گیری
۲۲۹	منابع
۲۴۳	واژه‌نامه
۲۴۸	پیوست
۲۶۵	تصاویر رنگی

پیشگفتار

منابع آب شیرین عامل اصلی حفظ معیشت انسان، دستیابی به امنیت غذایی و ثبات ملی و منطقه‌ای است. فشارها بر منابع آب شیرین در نواحی خشک و نیمه‌خشک دنیا رو به افزایش است. مهم‌ترین دلایل آن کاهش ریزش‌های جوئی، خشکسالی‌های پی‌درپی، ناهمگونی زمانی و مکانی بارش، برداشت بیش از حد، توسعه فعالیت‌های اقتصادی، تعارض منافع و رقابت در تأمین نیازها، آلودگی‌ها، برنامه‌ریزی غیر بهینه و تغییرات اقلیمی است. شکی نیست که ایرانیان از نخستین تمدن‌ها و پیش‌گامان مدیریت منابع آب بوده‌اند. اختراع قنات و ساخت کانال‌های انتقال آب و انشعابات، از نمونه‌های اولیه مدیریت آب در این منطقه از جهان است. با این حال، اخیراً، ایران با انواع مختلفی از مشکلات منابع آبی از جمله کاهش حجم ذخیره آب زیرزمینی، کاهش دبی رودخانه‌ها، خشک شدن پیکره‌های آب سطحی، افزایش سریع تقاضای آب، جیره‌بندی آب، کاهش کیفیت آب، فرونشست زمین، طوفان‌های شن و ناپایداری اکوسیستم دست‌وپنجه نرم می‌کند. در ایران، خشکی طبیعی با توسعه سریع اجتماعی-اقتصادی، تقاضای رو به رشد آب به‌ویژه برای کشاورزی و مدیریت ناپایدار زمین و آب آمیخته است.

ایران سالانه حدود ۶۰ کیلومتر مکعب از منابع آب زیرزمینی را برداشت می‌کند و به عنوان پنجمین برداشت‌کننده حجمی منابع آب زیرزمینی در دنیا بعد از کشورهای هند، چین، ایالات متحده و پاکستان شناخته شده است. در حالی که بخش کشاورزی مسئول مصرف ۹۰ درصد از منابع آب تجدیدپذیر شیرین در ایران است، تنها عامل محدودکننده برداشت از منابع آب زیرزمینی در ایران، هزینه‌ها و تجهیزات مورد نیاز برای پمپاژ آب از عمق زیاد چاه و ظرفیت پمپاژ است. بدیهی است که جهان به سیاست‌های این کشور در بخش آب توجه دارد. در چنین وضعیت آنتروپوسن، چگونه مدیران حوضه آبریز می‌توانند سامانه‌های منابع آب از حوضه‌های آبریز کوچک تا حوضه‌های رودخانه‌ای بزرگ و مناطق ساحلی را به گونه‌ای که

اهداف متناقض و در حال تغییر جامعه در حوضه آب را در بر گیرد، توسعه دهند و مدیریت کنند؟ به عبارت دیگر، چگونه سامانه‌های منابع آب می‌توانند یکپارچه‌تر و پایدارتر مدیریت شوند؟

واضح است که مدیریت یکپارچه منابع آب، الگو و فرایندی بهینه برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار در حوضه آب شناخته شده است. شرایط هیدرولوژیکی کنونی حوضه‌های آبریز نشان می‌دهد که مدیریت یکپارچه منابع آب نه تنها در ایران، بلکه در سراسر جهان به اراده سیاسی مناسب برای حکمرانی آب در راستای تأمین آب و تقویت پایداری محیط‌زیستی و رفاه اجتماعی-اقتصادی نیاز دارد. سازمان ملل برای اجرای این الگوی مدیریتی در تمام کشورها، نشستی در ژوهانسبورگ آفریقای جنوبی در سال ۲۰۰۲ برگزار کرد و در آنجا از همه کشورهای دنیا خواست تا برنامه‌های‌شان را در راستای مدیریت یکپارچه منابع آب حداکثر تا سال ۲۰۰۵ ارائه کنند. خوشبختانه، کشور ما جزو کشورهای پیش‌گام و نخستین کشور در خاورمیانه بود که برنامه‌هایش را در قالب طرح راهبردهای بلندمدت توسعه‌بخش آب در سال ۲۰۰۳ ارائه کرد.

یکی از موضوعات کلیدی مدیریت یکپارچه منابع آب، نیاز به مشارکت بیشتر ذی‌نفعان در حوضه آب مانند سیاست‌گذاران و تصمیم‌گیران، برنامه‌ریزان، مدیران، دانشمندان و عموم مردم است. شاخص‌ها می‌توانند به ساده‌سازی اطلاعات در زمینه مدیریت یکپارچه منابع آب و ایجاد ارتباط مؤثر بین گروه‌های مختلف در زمینه منابع آب کمک کنند. شاخص‌ها ابزارهای قدرتمند تصمیم‌گیری و عناصر کلیدی برای ارزیابی و نظارت بر پیشرفت به سمت توسعه پایدار در بخش آب هستند. با وجود این، برای تدوین آن‌ها، نه تنها باید یک موضوع فناورانه در نظر گرفته شوند، بلکه باید جنبه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، سازمانی، حکمرانی و اقتصادی مرتبط با پایداری را نیز در برگیرند. این ارتباط نیازمند اطلاعات مرتبط، عینی و معنادار از متغیرهای طبیعی و انسانی است. از جمله اهداف نگارش این کتاب، پر کردن شکاف علمی در شناسایی و کاربرد شاخص‌های کاربردی و مهم به منظور ارزیابی پایداری منابع آب با نگاه ویژه به منابع آب زیرزمینی برای نخستین بار در کشور است. در راستای رسیدن به این اهداف مهم، فصل‌های کتاب به صورت زیر تهیه و تنظیم شده‌اند: در فصل اول ویژگی‌های طبیعی حوضه‌های آبریز ایران (برای نمونه: نوع اقلیم، بارش، تبخیر، سطح آب زیرزمینی، جریان پایه و دبی حداکثر لحظه‌ای) با

استفاده از داده‌های سنجش از دور و زمینی در سطح حوضه‌های آبریز تحلیل و بررسی می‌شود. فصل دوم به منابع آب تجدیدپذیر، تجدیدناپذیر و غیر متعارف اختصاص دارد. در فصل سوم از یک سو به پدیده خشکسالی و شاخص‌های خشکسالی اشاره می‌شود و از سوی دیگر به مسئله سیلاب در ایران و سپس با استفاده از آزمون‌های آماری، دوره بازگشت سیلاب‌های ۲ و ۱۰۰ ساله را تخمین می‌زند و در نهایت، عوامل کنترل‌کننده سیلاب با به‌روزترین روش‌های دنیا به صورت فضایی تحلیل می‌شود. در فصل چهارم، شاخص‌های ارزیابی مدیریت پایدار منابع آب بررسی می‌شود و در نهایت، فصل پنجم مشتمل است بر بررسی اهمیت و مشکلات آب‌های زیرزمینی در ایران و سپس براساس بهینه‌ترین و مؤثرترین شاخص‌های کمی، وضعیت مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی در ایران تحلیل می‌شود.

با توجه به مطالب ارائه‌شده در کتاب حاضر، که در تدوین آن‌ها از داده‌های آب‌وهوایی بلندمدت ایستگاه‌های وزارت نیرو، سازمان هواشناسی و همچنین داده‌های به دست آمده از سنجنده‌های مختلف استفاده شده است، در کنار تجربیات عملی نگارنده در انجام طرح‌های کاربردی، چاپ مقالات و تدریس دروس مرتبط در دانشگاه تهران و نیز استفاده از نتایج پژوهش‌های مهم و تأثیرگذار محققان داخلی و خارجی، کتاب حاضر ظرفیت بسیاری برای تبدیل شدن به کتابی مرجع و کاربردی را برای دانشجویان، کارشناسان، سیاستمداران و تصمیم‌گیران در حوضه منابع آب دارد. بدیهی است برای رسیدن به مرحله اجرای الگوواره مدیریت یکپارچه منابع آب در کشور، تلاش‌های بسیار بیشتری نیاز است. این کتاب جزئی از یک طرح پژوهشی-کاربردی به کارفرمایی سازمان مطالعه و تدوین کتب دانشگاهی در علوم اسلامی و انسانی (سمت) است. نگارنده از مدیران و کارشناسان محترم سازمان «سمت» به دلیل حمایت مالی و معنوی و ویرایش کتاب صمیمانه تشکر و سپاسگزاری می‌نماید.

دکتر سیدموسی حسینی

پاییز ۱۴۰۳