

کلمات کلیدی: آبخوان کوهدشت، بازچرخانی آب، تعادل میان عرضه و تقاضای آب، مدل WEAP، مدیریت یکپارچه.

مقدمه

آب منبعی حیاتی و آسیب‌پذیر است که در چند سال اخیر مصرف بی‌رویه مدیریت ناصحیح مصرف و خشک‌سالی‌های طولانی باعث تخلیه منابع آب زیرزمینی شده است؛ از این رو مدیران به دنبال راهکارهایی برای حفظ و کاهش فشار بر منابع آب زیرزمینی هستند. از جمله راهکارهای مطرح شده استفاده از پساب تصفیه‌شده، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و خانگی می‌باشد [۸]. در سالیان اخیر دغدغه‌های همه پژوهشگران و سیاستمداران مقابله با چالش‌های نوین مدیریت منابع آب از جمله کاهش منابع آب زیرزمینی، خشک شدن دریاچه‌ها و رودخانه‌ها، فرونشست زمین و آلودگی آب است که امروزه گریبان گیر مردمانی شده که روزگاری خود به پیش‌گامی مدیریت پایدار منابع آب شناخته می‌شدند [۲]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک آب‌های زیرزمینی نقش مهمی در تأمین مصارف خانگی صنعتی و کشاورزی دارد. در بسیاری از کشورها استفاده بدون برنامه و بیش‌ازحد آب زیرزمینی سبب مشکلات جدی و تخریب آبخوان شده است [۱۵]. از طرفی کمبود آب یا کاهش دسترسی به منابع آب شیرین موجب احتمال بروز تنش و ناآرامی در حوزه‌های بحران‌خیز می‌شود [۶]. پساب که زمانی به‌عنوان یک منبع آلودگی تلقی می‌گردید اکنون در جهان به‌عنوان یک منبع جدید تأمین آب مطرح می‌باشد که می‌توان با عرضه منابع آب جدید نیازهای آبی در بخش‌های مختلف مصرف به‌ویژه در بخش کشاورزی را تأمین کرد. از این رو استفاده از پساب حتی در کشورهای مرطوب نیز مورد بررسی و استفاده قرار گرفته است و به‌عنوان منبعی قابل اطمینان و ارزان مطرح می‌باشد [۳۰]. ایران کشوری با اقلیم گرم و خشک است به‌گونه‌ای که متوسط بارش سالانه‌ی آن در حدود یک‌سوم میانگین بارش جهانی است؛ بنابراین کشوری دارای منابع محدود آب محسوب می‌شود [۲۰]. از این رو در بسیاری از مناطقی که از کمبود آب رنج می‌برند استفاده مجدد از آب به یک موضوع با اولویت بالا در سراسر جهان تبدیل شده است [۳]. استفاده مجدد فاضلاب اصلاح‌شده برای آبیاری در بخش کشاورزی و محیط‌زیست و... می‌تواند به کاهش کمبود آب و حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی کمک کند. به‌طوری‌که استفاده مجدد از فاضلاب تصفیه‌شده، در اکثر شهرهای مختلف جهان به‌عنوان یک راه‌حل مناسب شناخته‌شده است [۱]. به‌طور مثال

تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب به کمک پساب‌های شهری با در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی در آبخوان کوهدشت

نادر نبی پور^{۱*}، سید آرمان هاشمی منفرد^۲، مهدی اژدری مقدم^۳،
علی سردار شهرکی^۴

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۱۰/۲۴ تاریخ پذیرش ۱۴۰۴/۰۱/۲۵
DOI: 10.22034/WMJ.2025.2050675.1095

چکیده

در ایران خشک‌سالی‌های پی در پی، برداشت‌های غیرمجاز از چاه‌ها و تقاضای رو به رشد باعث فشار به سفره‌های آب زیرزمینی شده است. هدف پژوهش حاضر حذف بیلان منفی آبخوان و تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب با استفاده از مدل WEAP در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. برای نیل به این هدف، ۱۵ سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده شد. هم‌چنین از مدل SDSM جهت تعیین سال آبی و جهت بررسی تأثیر دراز مدت سناریوها، افق زمانی ۲۰ ساله برای شبیه‌سازی منابع و مصارف در نظر گرفته شد و برای تجزیه و تحلیل سناریوها و انتخاب بهترین سناریو از مدل‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه (MCDM)، تکنیک خاکستری (GRA) استفاده شد. نتایج نشان داد که سناریوها به‌تنهایی نمی‌توانند باعث کاهش فاصله میان عرضه و تقاضای آب شوند؛ بنابراین گزینه A14 سناریو ترکیبی (Sc33) به ترتیب اجرای سیستم فاضلاب، افزایش راندمان تا ۳۳ درصد و کاهش تلفات در سیستم‌های انتقال آب، در رتبه نخست قرار گرفت، در نتیجه برای کاهش تقاضای آب از چاه‌ها، استفاده از سناریو ترکیبی می‌تواند سالانه ذخیره آبخوان را تا ۳/۱۷ میلیون مترمکعب افزایش دهد. در این منطقه عمده‌ترین مصرف‌کننده کشاورزی است بنابراین جهت افزایش راندمان آبیاری در کشاورزی پیشنهاد می‌شود مطالعات اقتصادی برای انتقال پساب و ارزیابی هزینه‌ها و منافع انجام شود.

۱- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران
و نویسنده مسئول: Email: Nabipor.n@gmail.com

۲- دانشیار مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران

۳- دانشیار مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران

۴- دانشیار اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان، ایران

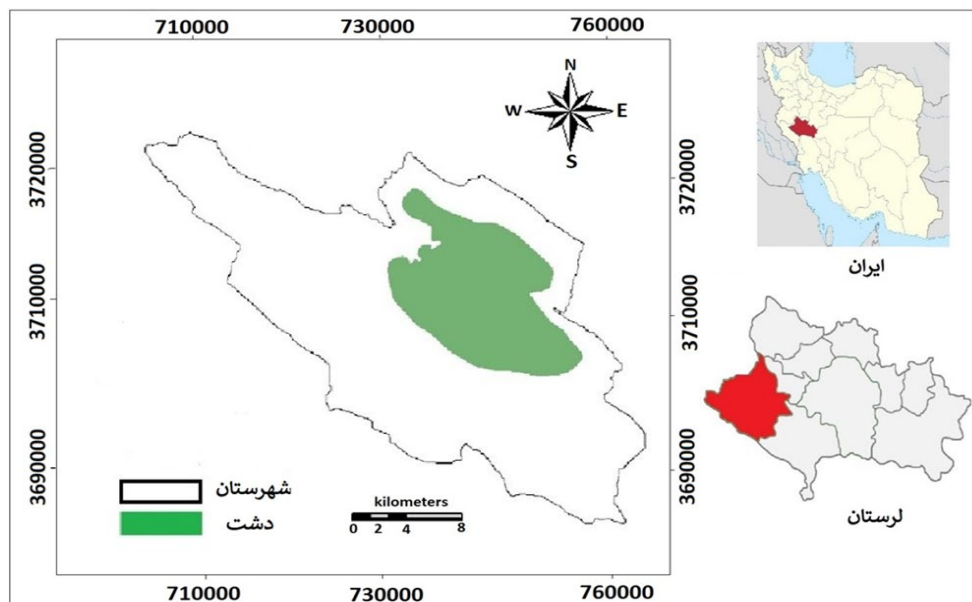
استفاده از آب تصفیه شده برای آبیاری کشاورزی به دلیل شرایط خشک سالی تجربه شده در اروپا در چند سال گذشته راه حل مناسبی برای کاهش فشار بر منابع آب است [۲۴]. در ایران کاهش ذخایر آب های زیرزمینی و تأثیرات تغییرات آب و هوایی وضعیت منابع آب را در آینده تشدید می کند؛ لذا به منظور کاهش تقاضای آب از منابع آب زیرزمینی و افزایش عرضه منابع آب به منبعی قابل اطمینان و پایدار نیازمندیم. در این راستا طهماسبی و همکاران [۲۸]، در تحقیق خود بیان کردند که استفاده از فاضلاب تصفیه شده به عنوان منبع جدید تأمین آب در شهر تهران را مورد ارزیابی قرار دادند و بیان کردند که استفاده از فاضلاب تصفیه شده، یک منبع آب پایدار است که می تواند برای نیازهای کشاورزی، زیست محیطی و آب غیر آشامیدنی مورد استفاده قرار گیرد. بدین منظور استفاده مجدد از فاضلاب های تصفیه شده در کنار دیگر منابع در راستای توسعه پایدار می تواند یک راه حل کلیدی برای برون رفت از بحران آبی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک باشد که باید آن را به عنوان یکی از منابع مهم آب دانست. همچنین سعیدی نیا و همکاران [۲۳] گزارش دادند که برقرار کردن تعادل بین عرضه و تقاضای آب یکی از اهداف بلندمدت مدیریت راهبردی آب در کشور است. در تحقیقی دیگر ربانی فر و همکاران [۱۹]، با استفاده از مدل WEAP^۱ (مدیریت یکپارچه منابع آب) به شبیه سازی عرضه و تقاضای آب در دشت تویسرکان که با افت قابل توجهی در آب زیرزمینی روبه رو است، پرداختند. نتایج نشان داد با اجرای سناریوی افزایش راندمان تا ۵۹/۱۳ درصد نه تنها همه نیازهای آبی سایت های تقاضا برآورده خواهد شد بلکه ذخیره حجمی آبخوان سال به سال بهبود خواهد یافت و فاصله بین عرضه و تقاضای آب زیرزمینی به حداقل خود خواهد رسید. مانگانیلو و همکاران [۱۶]، بیان کردند استفاده مشترک از فاضلاب تصفیه شده و آب های زیرزمینی در مزارع جنوب ایتالیا می تواند به طور قابل توجهی برداشت از آب های زیرزمینی را کاهش دهد. این رویکرد نه تنها به بهبود کشاورزی کمک می کند، بلکه موجب حفظ منابع آبی و جلوگیری از افزایش مصرف آب زیرزمینی می شود. در حدود نیم قرن پیش منابع آب بی نهایت تصور می شد؛ اما امروزه افزایش تقاضای آب در بخش های مختلف باعث تخلیه منابع آب زیرزمینی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک شده است [۱۰]. بررسی ها و تجربیات جهانی در استفاده از فاضلاب تصفیه شده به عنوان یک منبع مهم و ارزشمند آب مطرح بوده و با گذشت زمان اهمیت آن نیز بیش تر خواهد شد [۵]؛ لذا به منظور جلوگیری از تنش آبی و حفظ منابع آبی زیرزمینی هر منطقه نیازمند منبع آبی پایدار علاوه بر آب های زیرزمینی است؛ بنابراین می توان از فاضلاب شهری تصفیه شده برای کاهش افت سطح آب زیرزمینی در کنار دیگر منابع برای آبیاری نوارهای سبز شهری و محیط زیست و آبیاری کشاورزی که مهم ترین مصرف کننده آب شیرین است استفاده کرد. در این راستا سیلوا و همکاران [۲۵]، چنین بیان کردند استفاده از پساب تصفیه شده

در کشاورزی به عنوان یک راهکار پایدار، می تواند به بهبود عرضه آب و کاهش فشار بر منابع آبی طبیعی کمک کند. این فرآیند نه تنها به افزایش بهره وری کشاورزی کمک می کند، بلکه مدیریت پایدار منابع آب را نیز تسهیل می نماید. از این رو در این پژوهش به منظور کاهش فشار بر آبخوان، حذف بیلان منفی و همچنین تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب (استفاده مشترک پساب های تصفیه شده در کنار دیگر منابع با رویکرد توسعه پایدار) با در نظر گرفتن راهکارهای مدیریتی و تغییر اولویت های تخصیص آب در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم افزار WEAP و مدل تصمیم گیری چند معیاره، GRA^۲ (تکنیک خاکستری) مورد بررسی قرار گرفت.

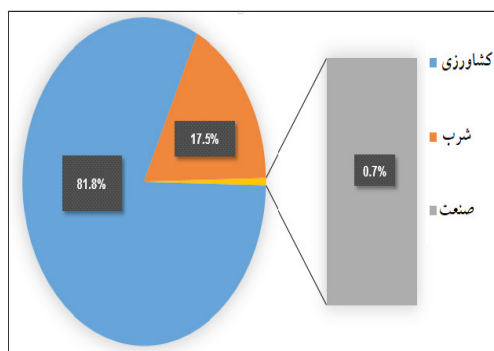
مواد و روش ها

منطقه پژوهش

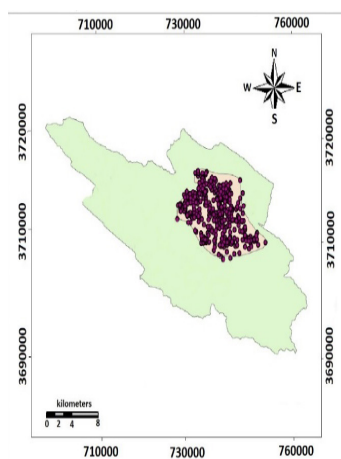
محدوده مطالعاتی کوهدشت با مساحت ۱۱۵۰ کیلومتر مربع در استان لرستان و در غرب شهر خرم آباد واقع شده است. حوضه آبخیز کوهدشت با مساحت ۴۵۶ کیلومتر مربع یکی از زیر حوضه های رودخانه کشکان واقع در جنوب غربی استان لرستان می باشد. ارتفاع بلندترین نقطه در حوضه آبخیز کوهدشت ۱۹۳۶ متر از سطح دریا در شمالی ترین قسمت حوضه و کم ترین آن ۱۱۴۰ متر در خروجی حوضه می باشد [۱۲]. محدوده کوهدشت مرکزی یکی از بخش های شهرستان کوهدشت است، این محدوده بین طول های ۴۷°۱۲' تا ۵۲°۴۷' شرقی و عرض های ۱۷°۳۳' تا ۴۱°۳۱' شمالی واقع شده است. مساحت دشت مرکزی ۲۴۸/۸ کیلومتر مربع که دارای آبخوان به مساحت ۱۸۲/۱ کیلومتر مربع است که در شکل (۱) نمایش داده شده است [۱۷]. میانگین بارندگی در منطقه مورد مطالعه بر اساس آمار ۲۰ ساله ایستگاه هواشناسی سینوپتیک از سال ۷۸-۷۷ تا ۹۷-۹۶ برابر با ۳۷۵/۱ میلی متر است [۲۹]. بر اساس اطلاعات دریافت شده از سازمان جهاد کشاورزی، سطح زیر کشت کل شهرستان کوهدشت در سال ۸۷-۸۶، ۱۷۱۰۰۰ هکتار می باشد که با تفکیک این محدوده ۲۹۸/۸ کیلومتر مربع به عنوان دشت مرکزی در این پژوهش مورد بحث است. در این محدوده به تفکیک نوع اراضی، اراضی مسکونی ۷۷۸ هکتار، دشت آبی ۸۰۳۶ هکتار کشت آبی که حدوداً شش درصد یعنی ۵۰۰ هکتار تحت آبیاری تحت فشار قرار دارد و مابقی به صورت غرقابی، کرتی و روش های سنتی آبیاری می باشد و مابقی دشت دیم است [۲۶]. از این رو راندمان آبیاری برای نیاز خالص آبیاری محصولات زراعی دشت کوهدشت ۳۷ درصد در نظر گرفته شده است. تصفیه خانه کوهدشت به مساحت ۱۳ هکتار در پایین دست شهر کوهدشت قرار دارد [۲۷]. دشت کوهدشت از نظر کشاورزی یکی از قطب های تولید گندم و ذرت در استان لرستان می باشد که بهره برداری از آبخوان عمدتاً از طریق چاه و چشمه صورت می پذیرد. در واقع از آنجایی که منابع آب سطحی در دسترسی وجود ندارد، بنابراین تنها منبع آبی قابل استفاده در این حوضه منابع



شکل ۱: موقعیت محدوده مطالعاتی



شکل ۲: مصارف مختلف حوضه کوهدشت مرکزی (یافته تحقیق).



شکل ۳: تراکم چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان دشت کوهدشت تهیه شده از نرم‌افزار GIS

آب زیرزمینی است. بر اساس آمار برداری منابع آب در سال ۱۳۸۶ تعداد ۳۳۷ حلقه چاه بهره‌برداری وجود دارد که تخلیه سالانه آنها برابر ۶۷ میلیون مترمکعب در سال است. هیچ‌گونه قناتی در محدوده مورد مطالعه وجود ندارد و در آمار برداری سال مذکور هیچ‌گونه چشمه آبرفتی نیز گزارش نشده است. از مجموع مصارف آب در این محدوده، ۸۱/۶ درصد مربوط به مصرف کشاورزی، ۱۷/۵ درصد مربوط به مصرف شرب و ۰/۷ درصد مربوط به صنعت می‌باشد که در شکل (۲) نمایش داده شده است. هم‌چنین تراکم چاه‌های بهره‌برداری از آبخوان دشت کوهدشت با استفاده از نرم‌افزار GIS در شکل (۳) ارائه شده است بر پایه آماربرداری منابع و مصارف آب در سال ۱۳۸۶ ملاحظه می‌گردد، تأمین آب شرب در محدوده مطالعاتی کوهدشت مرکزی در شرایط حاضر از طریق چاه و آب زیرزمینی صورت می‌گیرد. تعداد ۱۷ حلقه چاه با میزان آبکشی بین ۱۲ تا ۴۲ لیتر در ثانیه و ساعات کارکرد موتور و پمپ چاه‌ها بین ۷۰۰ تا ۶۵۷۰ ساعت در سال، با برداشت سالانه معادل ۱۱/۷۳ میلیون مترمکعب، آب آشامیدنی شهری و روستایی محدوده مذکور را تأمین می‌نماید [۱۳]. رودخانه‌های فصلی موجود در دشت کوهدشت بنام آزادبخت و کلک از مهم‌ترین منابع آب سطحی محدوده مطالعاتی فوق را تشکیل می‌دهند که شیب عمومی دشت کوهدشت از طرفین به سمت مرکز و جنوب آن می‌باشد. کل حجم آب استحصالی در این دشت از منابع آب سطحی (زه آب دشت) حدود یک میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است که تغذیه آن به صورت آب برگشتی در محدوده بیلان آب زیرزمینی منظور شده است. هم‌چنین شبکه چاه‌های مشاهده‌ای کوهدشت، شامل ۱۵ حلقه چاه مشاهده‌ای می‌باشد [۲۲].

جدول ۱: جمعیت منطقه مورد مطالعه (سایت مرکز آمار ایران)

جمعیت	سال ۱۳۸۵	سال ۱۳۹۰	سال ۱۳۹۵	متوسط نرخ رشد جمعیت
شهری	۹۹۹۳۶	۱۱۱۹۳۶	۱۰۲۲۸۵	+۰/۲۵۵٪
روستایی	۱۱۰۳۹۲	۱۰۷۰۶۰	۶۴۳۷۳	-۵/۱۴٪

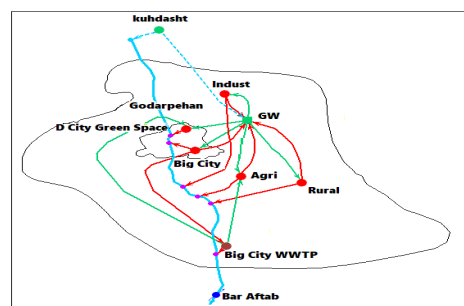
جدول ۲: مقادیر محاسبه شده در بیلان آب زیرزمینی برحسب MCM در سال پایه

ورودی	خروجی
آب برگشتی کشاورزی	۸/۷
از انحراف و پمپاژ سطحی	۰/۳
آب برگشتی شرب	۸/۲
آب برگشتی صنعت	۰/۲۵
ریزش جوی	۳/۳۳
تغذیه جانبی	۶۰/۲۴۸
مجموع	۸۰/۴۸
	۱۱/۸۳
	۵۴/۷۴
	۰/۵
	۰/۸۲۰
	۱۱
	۱۱/۴۳
	۹۰/۰۴

است. هم‌چنین برای انتخاب سناریوی برتر از نرم‌افزار GRA (تکنیک خاکستری) استفاده شده است. با توجه به این‌که در منطقه مورد مطالعه تنها منبع تأمین‌کننده آب شرب منطقه و آب مورد نیاز صنایع و کشاورزی، آب‌های زیرزمینی است؛ بنابراین باید با دقت بالایی اولویت‌بندی شود، اما در این منطقه اولویت اول به کشاورزی، شرب، فضا سبز و اولویت دوم به صنعت اختصاص داده شده است. در تحقیق حاضر راندمان آبیاری در این تحقیق ۳۷ درصد در نظر گرفته شده است. هم‌چنین برای تعیین نرخ رشد جمعیت روستایی و شهری از تصاعد هندسی استفاده شد تغییرات نرخ رشد جمعیت برای نقاط شهری و روستایی مطابق با جدول (۱) به ترتیب +۰/۲۵۵ درصد و -۵/۱۴ درصد به دست آمد و وارد مدل شد. جمعیت شهری در محدوده تحقیق در سال پایه ۱۰۶۷۸۴ نفر و جمعیت روستایی در محدوده مورد بررسی ۱۹۰۰۰ هزار نفر با مصرف روزانه به ترتیب ۲۰۰ و ۲۲۰ لیتر در روز می‌باشد (شرکت آب و فاضلاب کوه‌دشت). با توجه به جدول (۲) دامنه تغییرات میزان ذخیره سالانه آبخوان در سال پایه منفی بوده که نشان‌دهنده برداشت نامتعادل از آبخوان به مقدار ۹/۵۶- میلیون مترمکعب است.

سناریوها

با توجه به این‌که در منطقه مورد مطالعه تنها منبع تأمین آب، آب‌های زیرزمینی می‌باشد؛ لذا در این تحقیق ۱۵ سناریو بر اساس سیاست‌های مدیریتی جهت تعادل بخشی میان عرضه و تقاضای آب از آبخوان در سه بخش مطابق جدول (۳) نوشته شد که عبارت‌اند از: یک: سناریو مرجع Sc1، دو: سناریو مرتبط با مدیریت عرضه و تقاضای آب Sc2، سه: سناریوهای ترکیبی Sc3.



شکل ۴: نمای شماتیک منطقه مورد مطالعه

ساختار مدل WEAP^۱ در منطقه پژوهش

در این تحقیق مدل WEAP ۲۱ برای منطقه مورد مطالعه توسعه داده شد (شکل ۴). در ابتدا سال ۲۰۰۸-۲۰۰۷ به عنوان شرایط موجود یا سال پایه در نظر گرفته شد و برای واسنجی مدل با توجه به این‌که در مدل WEAP برای حجم آبخوان برنامه‌ای تعبیه نشده است؛ بنابراین برای واسنجی حجم آبخوان از سال پایه و برای اعتبار سنجی شش ماه اول سال بعدی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین از نرم‌افزار SDSM^۲ (پیش‌بینی تغییرات اقلیمی) برای تعیین سال آبی (اقلیم‌های مختلف شامل خشک، خیلی خشک، نرمال، مرطوب و خیلی مرطوب) جهت بررسی تأثیر درازمدت سناریوها و اقدامات بر منابع و مصارف آب، افق زمانی ۲۰ ساله یعنی سال‌های بین ۲۰۱۹ تا ۲۰۳۸ برای شبیه‌سازی منابع و مصارف در نظر گرفته شده

۱- نرم‌افزار WEAP ابزاری جامع برای مدیریت منابع آب است که به تحلیل و تخصیص بهینه منابع، بررسی کیفیت آب و نیازهای محیط زیستی می‌پردازد و مدل‌های متنوعی برای شبیه‌سازی و مدیریت تقاضا ارائه می‌دهد.

2- Statistical Down Scaling Model

تکنیک خاکستری GRA

دلایل انتخاب تکنیک خاکستری در این پژوهش استفاده از حداقل داده‌ها برای انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین گزینه‌های موجود، برتری این الگوریتم در سنجش معیارها نسبت به بقیه الگوریتم‌های موجود و نتایج منطقی مورد انتظار است. در این تحقیق وزن معیارها و زیر معیارها و رتبه‌بندی آن‌ها با توجه به اهمیت آن‌ها در کاهش فشار بر آبخوان صورت گرفته است (جدول ۴).

نتایج و بحث

نتایج سناریو مرجع (Sc1)

با اجرای این سناریو مطابق جدول (۵) ملاحظه گردید که در سایت شرب (شهری و روستایی) به مقدار حدوداً ۸۶ درصد

تأمین شده است هم‌چنین درصد تأمین سالانه در سایت کشاورزی، فضا سبز، صنعت، میانگین سالانه به ترتیب ۸۶/۳، ۸۶/۴، ۲۷/۹ درصد تأمین شده است. تغییرات حجم آبخوان از ۴۴۹ میلیون مترمکعب در سال پایه مبنا محاسبات قرار می‌گیرد با توجه با شکل (۵) ملاحظه می‌شود با شروع سال شبیه‌سازی یعنی سال ۲۰۱۹ حجم آبخوان از ۳۹۰ میلیون مترمکعب به ۲۸۳/۱ میلیون مترمکعب در پایان سال‌های شبیه‌سازی می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۱۰۶/۹ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۵/۳ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۸۴ متر افت سالانه که برای دوره ۲۰ ساله ۱۶/۵ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. نتایج به‌دست‌آمده مشابه نتایج حججی پور و همکاران [۱۱] است آن‌ها نیز در تحقیق خود کسری آبخوان را برای دوره ۲۰ ساله به‌طور متوسط ۳/۲۷ میلیون مترمکعب برآورد کرده‌اند

جدول ۳: جدول دسته‌بندی سناریوها

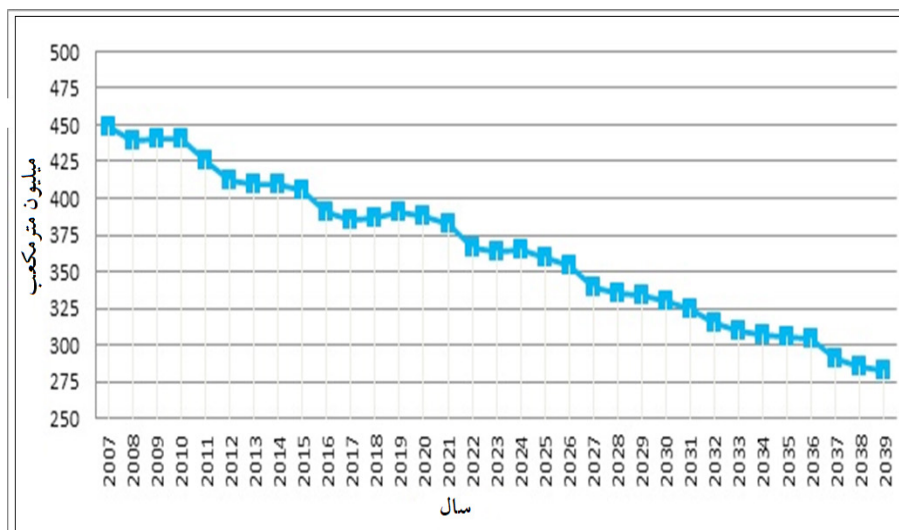
نام اختصاری	بخش ۱	بخش ۲	بخش ۳	توضیحات
Sc1	*			ادامه اوضاع موجود، بدون تغییر در سیاست‌های مدیریتی
Sc21		*		سناریو تغییر اولویت برداشت از چاه‌ها
Sc22		*		سناریو افزایش سطح زیر کشت تا ۵ درصد
Sc23		*		سناریو افزایش راندمان تا ۲۳ درصد با استفاده از روش‌های نوین آبیاری
Sc24		*		سناریو اقلیم خشک‌تر
Sc25		*		سناریو اجرای سیستم تصفیه فاضلاب و استفاده از پساب
Sc26		*		سناریو افزایش فضای سبز شهری تا ۵۰ درصد
Sc27		*		سناریو کاهش جمعیت تا ۱- درصد
Sc28		*		سناریو کاهش تلفات در سیستم‌های انتقال آب
Sc29		*		سناریو افزایش ۵ درصدی تقاضای آب در همه بخش‌ها
Sc210		*		سناریو افزایش جمعیت تا ۲+ درصد
Sc31		*		سناریو ترکیبی Sc22+ Sc26
*Sc32		*		سناریو ترکیبی Sc28+ Sc23
*Sc33		*		سناریو ترکیبی Sc28 + Sc23+ Sc25
Sc34		*		سناریو ترکیبی Sc24+ Sc27

*Sc32: در سناریو Sc23 افزایش راندمان تا ۵۳ درصد در نظر گرفته شده است.

*Sc33: در سناریو Sc23 افزایش راندمان تا ۳۳ درصد در نظر گرفته شده است.

جدول ۴: وزن دهی معیارها بر اساس تکنیک خاکستری [۴]

عدد خاکستری	مقیاس	عدد خاکستری	مقیاس
[۰/۰ - ۰/۱]	خیلی کم	[۰ - ۱]	خیلی ضعیف
[۰/۱ - ۰/۳]	کم	[۱ - ۳]	ضعیف
[۰/۳ - ۰/۴]	تا حدودی کم	[۳ - ۴]	نسبتاً ضعیف
[۰/۴ - ۰/۵]	متوسط	[۴ - ۵]	متوسط
[۰/۵ - ۰/۶]	تا حدودی زیاد	[۵ - ۶]	نسبتاً خوب
[۰/۶ - ۰/۹]	زیاد	[۶ - ۹]	خوب
[۰/۹ - ۱/۰]	خیلی زیاد	[۹ - ۱۰]	خیلی خوب



شکل ۵: تغییرات حجم آبخوان سناریو مرجع Sc1

۲۰۹ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. این یافته با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

نتایج سناریو افزایش راندمان آبیاری با فرض ثابت ماندن سطح زیر کشت (Sc23)

با اجرای این سناریو با توجه به جدول (۵) ملاحظه می‌شود با افزایش راندمان تقاضا سایت کشاورزی کاهش می‌یابد حجم سفره آب زیرزمینی در این سناریو تا پایان سال شبیه‌سازی به ۳۸۹/۷ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) حجم سفره به میزان چهار میلیون مترمکعب افزایش پیدا می‌کند؛ یعنی سالانه ۰/۲ میلیون مترمکعب نسبت به سناریو مرجع که روند کاهشی داشت، افزایش پیدا می‌کند. با توجه به جدول (۵) درصد تأمین در سایت کشاورزی در این سناریو نسبت به سناریو تغییر اولویت و مرجع، افزایش پیدا کرده است که نهایتاً این سناریو موجب بهبود چشمگیری در ذخیره آب زیرزمینی می‌باشد، به طوری که حدوداً ۱۰۶ میلیون مترمکعب نسبت به سناریو مرجع حجم آب افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست آمده مشابه نتایج ربانی فر و همکاران [۱۹] است، آن‌ها نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که افزایش راندمان تا ۵۹/۱۳ درصد نه تنها باعث کاهش تقاضای آب از آبخوان بلکه ذخیره حجمی آبخوان سال‌به‌سال بهبود خواهد یافت.

نتایج سناریو اقلیم خشک (Sc24)

در این سناریو به تأثیر اقلیم خشک بر حجم آبخوان با اثربری از سناریو تغییر اولویت و سناریو مرجع پرداخته شد نتایج نشان داد با اجرای این سناریو حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۱۳۸ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۲۲۵/۵ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۱۱/۲ میلیون مترمکعب، معادل ۱/۷۸ متر افت و برای دوره ۲۰ ساله ۳۵/۷ متر افت در سطح

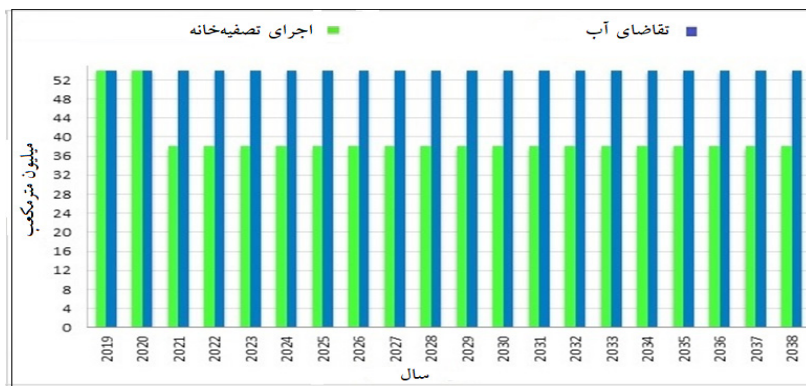
می‌توان نتیجه گرفت که ادامه وضع موجود تهدیدی جدی برای منابع آب زیرزمینی خواهد بود.

نتایج سناریو تغییر اولویت برداشت (Sc21)

در این سناریو با توجه شرایط منطقه مورد مطالعه اولویت‌ها به ترتیب اول شرب، دوم کشاورزی و فضا سبز و سوم صنعت در نظر گرفته شده است. با توجه به جدول (۵) ملاحظه گردید که با تغییر اولویت، درصد تأمین آب شرب که در این سناریو مدنظر بوده ۱۰۰ درصد تأمین شده است. این سناریو به منظور تأمین آب شرب منطقه برای کل سناریوها نیز تکرار شده است هم‌چنین در این سناریو در حجم آبخوان تغییری ایجاد نشد.

نتایج سناریو افزایش سطح زیر کشت (Sc22)

این سناریو با اثربری از سناریو مرجع و سناریو تغییر اولویت تدوین گردید با اجرای این سناریو مطابق جدول (۵) ملاحظه می‌شود نیاز تأمین نشده کشاورزی و فضای سبز نیز بیش‌تر می‌شود. سایت صنعت نیز از این قاعده مستثنی نیست، چون در اولویت بعدی قرار دارد؛ بنابراین تقاضای برآورده نشده نسبت به سناریوی مرجع افزایش پیدا کرده است. هم‌چنین درصد تأمین سایت شرب به دلیل تغییر در اولویت برداشت ۱۰۰ درصد تأمین می‌شود. هم‌چنین با توجه به جدول (۵) حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۵۲/۵ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۱۱۸/۹ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۵/۹ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۹۳ متر افت که برای دوره ۲۰ ساله ۱۸/۶ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. در مطالعه مشابهی که توسط مرادی و همکاران [۱۸] انجام شد، نتایج نشان داد با افزایش سطح زیر کشت کشاورزی تقاضای برآورده نشده هر ساله افزایش می‌یابد. به طوری که با این افزایش، حجم آبخوان نسبت به سناریوی مرجع



شکل ۶: مقایسه تقاضای آب کشاورزی با سناریوی مرجع

بر تقاضای آب از چاه‌ها پرداخته شد، از آنجایی که این سناریو با اثربری از سناریو مرجع و سناریو تغییر اولویت گرفته شده است، از این رو نیاز آبی در بقیه بخش‌ها یکسان است؛ بنابراین نیاز آبی بخش فضا سبز با توجه به جدول (۵) میانگین سالانه ۰/۵ میلیون مترمکعب افزایش می‌باید هم‌چنین تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۷۸/۳ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۱۰۳ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۵/۱۵ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۸۱ متر افت سالانه و برای دوره ۲۰ ساله ۱۶/۳۴ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. در این سناریو مشاهده می‌شود افزایش سطح فضا سبز شهری تأثیر خیلی کمی به مقدار ۴/۷ میلیون مترمکعب در دوره ۲۰ ساله و میانگین سالانه ۰/۲۳ میلیون مترمکعب نسبت به سناریو مرجع، کاهش حجم خواهد داشت.

نتایج سناریو کاهش جمعیت (Sc27)

در این سناریو کاهش جمعیت شهری از نرخ رشد فعلی از مثبت ۰/۲۵۵ تا منفی ۱ درصد مورد بررسی قرار گرفت نتایج به دست آمده نشان داد نیاز آبی در سایت شرب نسبت به سناریو مرجع کاهش می‌یابد. هم‌چنین مطابق جدول (۵) تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۹۲/۴ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۹۳/۷ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۴/۶۸ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۷۴ متر افت سالانه که برای دوره ۲۰ ساله ۱۴/۸۷ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه به میزان ۰/۵ میلیون مترمکعب افزایش یافته است.

نتایج سناریو کاهش تلفات در سیستم‌های انتقال آب (Sc28)

با اجرای این سناریو ملاحظه گردید که نیاز آبی برای سایت‌های تقاضا یکسان می‌باشد؛ اما تقاضای برآورده نشده با توجه به جدول (۵) برای کل سایت‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد به طوری که در سایت کشاورزی و فضا سبز نسبت به سناریو تغییر اولویت (مرجع) میانگین ۲/۵ درصد افزایش تأمین داشته است. هم‌چنین تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۹۸/۵ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۸۴/۸ میلیون

آبخوان، خواهد بود که نتایج در جدول (۵) ارائه شده است. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه به میزان ۷/۲۵ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد. در این راستا خوش‌رو و همکاران [۱۴]، در تحقیق خود با استفاده از مدل WEAP ذکر کردند که بر اساس سناریوی خشک‌سالی، منطقه با کاهش ۱۰ میلیون مترمکعب حجم مخزن مواجه خواهد شد که این وضعیت، منابع آب را بحرانی‌تر می‌کند و با سناریوی مورد بررسی هم‌خوانی دارد.

نتایج سناریو اجرای سیستم تصفیه فاضلاب و استفاده از پساب برای تقاضای آب در بخش‌های مختلف اعم از فضا سبز و کشاورزی (Sc25)

در این سناریو با توجه به شکل (۶) ملاحظه می‌شود با اجرای تصفیه‌خانه در سال ۲۰۲۱ نیاز آبی برای سایت کشاورزی ۱۶ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد؛ یعنی از ۵۴ میلیون مترمکعب به ۳۸ میلیون مترمکعب می‌رسد. مطابق جدول (۵) تقاضای برآورده نشده نیز کاهش می‌یابد. در سایت فضا سبز به دلیل اینکه با اجرای سیستم تصفیه فاضلاب تقاضای آن از چاه‌ها حذف شده و از سوی سیستم تصفیه فاضلاب هم تأمین نشده است؛ بنابراین درصد تأمین آن نسبت به سناریو مرجع ۴۱ درصد کاهش یافته است. هم‌چنین سایت صنعت نیز در مقایسه با سناریو تغییر اولویت یا مرجع به مقدار میانگین ۵۰ درصد افزایش یافته است. مطابق جدول (۵) تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۳۴۲/۸ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۳۷ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۱/۸۵ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۲۹ متر افت که برای دوره ۲۰ ساله ۵/۸۷ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. نتایج این تحقیق با نتایج رامیرز و همکاران [۲۱] هم‌خوانی دارد، آن‌ها بیان کردند استفاده مجدد از فاضلاب باعث کاهش برداشت حدود ۴۹ درصد از منابع آب زیرزمینی می‌شود که پتانسیل آن را برای کاهش فشار بر آبخوان نشان می‌دهد

نتایج سناریو افزایش فضای سبز شهری در راستای استاندارد ایران و جهان (Sc26)

در این سناریو با افزایش سطح فضا سبز تا ۵۰ درصد و تأثیر آن

مترمکعب؛ یعنی سالانه ۴/۲۴ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۶۷ متر افت که برای دوره ۲۰ ساله ۱۳/۴ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه به میزان ۰/۷۷ میلیون مترمکعب افزایش یافته است.

نتایج سناریو افزایش ۵ درصدی تقاضای آب در همه بخش‌ها (Sc29)

با اجرای این سناریو مطابق جدول (۵) ملاحظه می‌شود تقاضای برآورده نشده سایت کشاورزی، فضا سبز و صنعت به ترتیب ۲/۶، ۰/۱ و ۰/۱ میلیون مترمکعب نسبت به سناریو تغییر اولویت (مرجع) افزایش می‌یابد. هم‌چنین تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۶۹/۳ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۱۱۱/۷ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۵/۵۸ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۸۸ متر افت سالانه که برای دوره ۲۰ ساله ۱۷/۷۳ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه به میزان ۰/۷ میلیون مترمکعب حجم آبخوان کاهش یافته است.

نتایج سناریو افزایش جمعیت (Sc210)

در این سناریو افزایش جمعیت شهری از نرخ رشد فعلی از مثبت ۲۵۵/۰ تا مثبت دو درصد موردبررسی قرار گرفت با اجرای این سناریو ملاحظه گردید که نیاز آبی تأمین نشده شرب شهری و روستایی مطابق جدول (۵) به ترتیب میانگین سالانه ۰/۲ و ۰/۰۵ میلیون مترمکعب می‌باشد هم‌چنین تغییرات حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۴۱/۶ میلیون مترمکعب می‌رسد؛ که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۱۲۶/۱ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۶/۳ میلیون مترمکعب، معادل یک متر افت که برای دوره ۲۰ ساله ۲۰ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه به میزان دو میلیون مترمکعب حجم آبخوان کاهش یافته است. نتایج به‌دست‌آمده مشابه نتایج یزدان پناه و همکاران [۳۱] است، آن‌ها نیز در مطالعه خود به این نتیجه رسیدند که با اجرای این سناریو متوسط کسری آبخوان برای دوره ۲۰ ساله ۶/۱۹ میلیون مترمکعب می‌باشد.

نتایج سناریو ترکیبی Sc26+Sc22 (Sc31)

با توجه به جدول (۵) ملاحظه می‌شود که این سناریو ترکیبی تفاوت چندانی با سناریو Sc22 (افزایش سطح زیر کشت) ندارد، این به این معناست افزایش فضا سبز تأثیر قابل‌توجهی بر تقاضای کلی ندارد. هم‌چنین حجم سفره آب تا پایان سال شبیه‌سازی به ۲۴۷/۲ میلیون مترمکعب می‌رسد که هم‌چنین برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۱۲۲ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه کسری ۶/۱ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۹۶ متر افت سالانه و برای دوره ۲۰ ساله ۱۹/۳۶ متر افت در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو

مرجع در سال‌های شبیه‌سازی، سالانه به میزان ۱/۸ میلیون مترمکعب حجم آبخوان کاهش یافته است.

نتایج سناریو ترکیبی Sc23 + Sc28 (Sc32)

با اجرای این سناریو با توجه به جدول (۵) ملاحظه می‌شود که نیاز آبی باوجود افزایش سطح زیر کشت کشاورزی با نرخ رشد فعلی کاهش می‌یابد و تقاضای برآورده نشده نیز در همه سایت‌های تقاضا نیز کاهش می‌یابد هم‌چنین حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۴۲۸/۱ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) افزایش سفره ۳۹/۳ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۱/۹۶ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۳۱ متر افزایش سالانه که برای دوره ۲۰ ساله ۶/۲ متر افزایش در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه به میزان ۷/۲ میلیون مترمکعب حجم آبخوان افزایش یافته است.

نتایج سناریو ترکیبی Sc25 + Sc23 + Sc28 (Sc33)

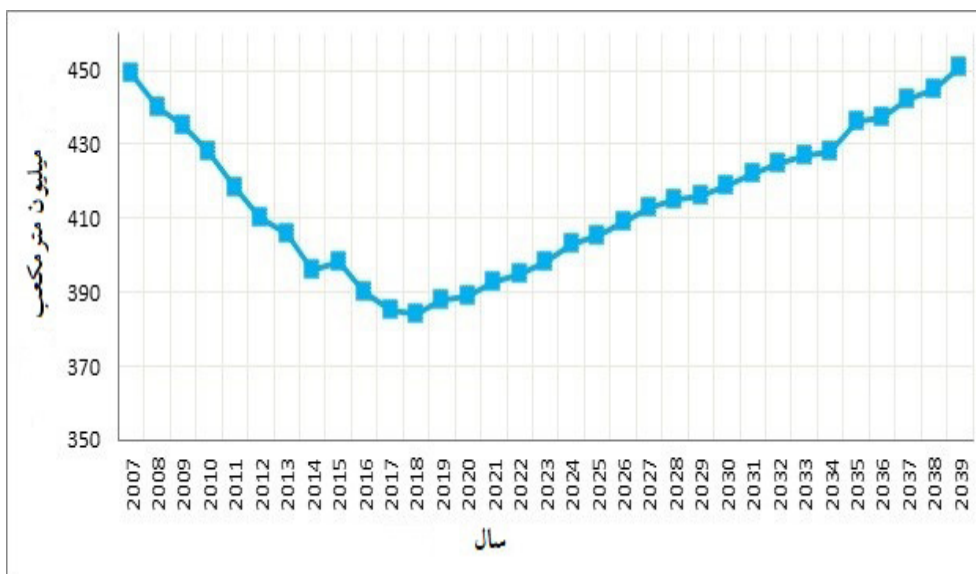
با توجه به جدول (۵) ملاحظه می‌شود تقاضای برآورد نشده بخش کشاورزی، صنعت و فضا سبز نسبت به سناریو مرجع کاهش می‌یابد. هم‌چنین با توجه به شکل (۷) حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۴۵۱/۲ میلیون مترمکعب می‌رسد که برای افق (۲۰ ساله) افزایش حجم سفره ۶۳/۴ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۳/۱۷ میلیون مترمکعب، معادل ۰/۵ متر افزایش سالانه که برای دوره ۲۰ ساله حدوداً ده متر افزایش سطح، در سطح آبخوان، خواهد بود. این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه، به میزان ۸/۴ میلیون مترمکعب حجم آبخوان افزایش یافته است. نتایج این تحقیق با نتایج آشتیانی و همکاران [۷] هم‌خوانی دارد، آن‌ها در تحقیق خود بیان کردند به‌کارگیری سناریو ترکیبی، بهتر از حالت استفاده منفرد از هرکدام از آن‌ها برای تعادل بخشی میان عرضه و تقاضا است به‌طوری‌که روند نزولی حجم ذخیره آبخوان نیز تعدیل خواهد شد. هم‌چنین حملت و همکاران [۹]، در مطالعه خود در الجزایر با استفاده از مدل WEAP چنین بیان کردند در صورت استفاده از سناریو ترکیبی استفاده از پساب تصفیه‌شده و انتقال آب تقاضای آب در سال ۲۰۳۵ به ۵۷/۲۱ میلیون مترمکعب می‌رسد، درحالی‌که تأمین آب ۵۷/۱۶ میلیون مترمکعب خواهد بود که نشان‌دهنده کمبود بسیار کمی است (۰/۰۵ میلیون مترمکعب) را در پی دارد که بهترین نتیجه را از میان دیگر سناریوها در کاهش تقاضا و تأمین آب ارائه می‌دهد.

سناریو ترکیبی Sc27 + Sc24 (Sc34)

با اجرای این سناریو ملاحظه می‌گردد حجم سفره آب زیرزمینی تا پایان سال شبیه‌سازی به ۱۳۸ میلیون مترمکعب می‌رسد؛ که برای افق (۲۰ ساله) کسری سفره ۲۲۵ میلیون مترمکعب؛ یعنی سالانه ۱۱/۲۵ میلیون مترمکعب، معادل ۱/۷۸ متر افت سالانه که برای دوره ۲۰ ساله

میزان ۷/۲۵ میلیون مترمکعب حجم آبخوان کاهش یافته است.

۳۵/۷۴ متراف ت در سطح آبخوان، خواهد بود. با توجه به جدول (۵) این سناریو نسبت به سناریو مرجع در سال‌های شبیه‌سازی سالانه، به



شکل ۷: تغییرات حجم آبخوان سناریو ترکیبی Sc3

جدول ۵: معیارهای انتخابی بر پایه محاسبات WEAP

معیار سناریو	حجم آبخوان (MCM)	درصد تأمین نیاز سالانه (درصد)								
		کشاورزی	تولید شهری	تولید روستایی	صنعت	فضای سبز	کشاورزی	تولید شهری	تولید روستایی	صنعت
Sc1	۲۸۳	۸۹/۲	۸۶/۳	۸۶/۵	۲۸/۲	۸۶/۵	۱۸/۵	۱/۴	۰/۱	۰/۵
Sc21	۲۸۳	۸۴/۲	۱۰۰	۱۰۰	۲۷/۹	۸۴/۵	۲۰	۰	۰	۰/۵
Sc22	۲۵۲/۵	۳۴/۳	۱۰۰	۱۰۰	۰/۶	۳۴/۹	۱۱۸/۵	۰	۰	۰/۷۴
Sc23	۳۸۹/۷	۹۳/۴	۱۰۰	۱۰۰	۶۹/۲	۹۳/۶	۸/۱	۰	۰	۰/۲
Sc24	۱۳۸	۸۴/۲	۱۰۰	۱۰۰	۲۷/۹	۸۴/۵	۲۰	۰	۰	۰/۵
Sc25	۳۴۲/۸	۹۱/۲	۱۰۰	۱۰۰	۷۷/۸	۴۵	۸/۸	۰	۰	۰/۱۴
Sc26	۲۷۸/۳	۸۳/۶	۱۰۰	۱۰۰	۲۶/۵	۸۳/۸	۲۰/۲	۰	۰	۰/۵
Sc27	۲۹۲/۴	۸۶/۵	۱۰۰	۱۰۰	۶۶/۶	۸۶/۶	۱۹/۲	۰	۰	۰/۲۲
Sc28	۲۹۸/۵	۸۶/۲	۱۰۰	۱۰۰	۵۹/۲	۸۶/۳	۱۹/۴	۰	۰	۰/۳
Sc29	۲۶۹/۳	۸۲/۴	۱۰۰	۱۰۰	۱۶/۹	۷۸/۴	۲۲/۶	۰	۰	۰/۶
Sc210	۲۴۱/۶	۵۰/۹	۹۹/۷	۹۹/۸	۱۵/۷	۵۱/۱	۲۲/۸	۰/۲	۰/۰۵	۰/۶
Sc31	۲۴۷/۲	۳۴/۲	۱۰۰	۱۰۰	۰/۶	۳۴/۵	۱۱۸/۲	۰	۰	۰/۷
Sc32	۴۲۸/۱	۹۰/۸	۱۰۰	۱۰۰	۶۳	۹۱/۲	۱۱/۸	۰	۰	۰/۲
Sc33	۴۵۱/۸	۸۹/۴	۱۰۰	۱۰۰	۷۲/۳	۶۳/۴	۱۲/۲	۰	۰	۰/۲
Sc34	۱۳۸	۸۶/۵	۱۰۰	۱۰۰	۶۶/۶	۸۶/۶	۱۹/۲	۰	۰	۰/۲

نتایج مدل‌سازی بر اساس تکنیک خاکستری (GRA Solver) (2015)

در این پژوهش A معرف گزینه‌ها یا سناریوهای تحقیق می‌باشد. امتیاز نهایی برحسب رتبه رابطه خاکستری در جدول (۶) ارائه شده است نتایج نشان می‌دهد: گزینه A14 معرف سناریو ترکیبی Sc33 با وزن ۰/۹۸ در رتبه اول قرار گرفت و سپس گزینه A13 سناریو ترکیبی Sc32 با وزن ۰/۸۳ در گزینه دوم، گزینه سناریو افزایش راندمان (Sc23) با وزن ۰/۸۰، گزینه A6 سناریو اجرای سیستم تصفیه فاضلاب (Sc25) با وزن ۰/۷۸، گزینه A9 سناریو کاهش تلفات در سیستم‌های انتقال آب (Sc28) با وزن ۰/۶۹، گزینه A2 سناریو تغییر اولویت برداشت (Sc21) با وزن ۰/۶۶، گزینه A8 سناریو کاهش جمعیت (Sc27) با وزن ۰/۵۹، گزینه A7 سناریو افزایش فضای سبز شهری (Sc26) با وزن ۰/۵۶، گزینه A1 سناریو مرجع ادامه وضع موجود (Sc11) با وزن ۰/۵۶، گزینه A10 سناریو افزایش تقاضای آب در همه بخش‌ها (Sc29) با وزن ۰/۵۳، گزینه A11 سناریو افزایش جمعیت (Sc210) با وزن ۰/۵۳، گزینه A15 سناریو ترکیبی (Sc34) با وزن ۰/۵۱، گزینه A5 سناریو اقلیم خشک (Sc24) با وزن ۰/۵۰، گزینه A3 سناریو افزایش سطح زیر کشت (Sc22) با وزن ۰/۳۴، گزینه A12 سناریو ترکیبی (Sc31) با وزن ۰/۲۹ در رتبه‌های سوم تا ۱۵ قرار گرفته‌اند. در این تحقیق استفاده از تکنیک خاکستری به‌طور قابل قبولی با توجه به معیارها، در انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های موجود ارائه شده است.

آب بیش‌ترین تأثیر را داشت. این به این معناست که برای ایجاد تعادل میان عرضه و تقاضای آب در منطقه مورد مطالعه، نیازمند مدیریت یکپارچه منابع آب با سناریوهای مختلف مدیریتی می‌باشد؛ اما از آنجایی‌که در این تحقیق مسائل اقتصادی مدنظر نبوده و برای بازچرخانی آب نیازمند هزینه‌های برای پمپاژ آب و ... می‌باشد می‌توان از گزینه دوم جدول (۶) سناریو ترکیبی Sc28 + Sc23 به ترتیب افزایش راندمان تا ۵۳ درصد کاهش تلفات تا ۹۰ درصد استفاده کرد. با توجه به مطالب فوق برای حفظ منابع آب زیرزمینی، کاهش فشار بر آبخوان و تعادل بخشی بین عرضه و تقاضای آب، باید به مدیریت یکپارچه منابع آب در دشت کوه‌دشت بیش‌تر توجه شود.

پیشنهادات

در این تحقیق مسائل اقتصادی سناریوها در نظر گرفته نشده است؛ اما به دلیل اینکه بخش کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده آب در منطقه است، تمرکز برافزایش راندمان آبیاری و کاهش تلفات در این بخش از اهمیت بالایی برخوردار است بنابراین پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی انجام مطالعات اقتصادی جهت انتقال پساب از طریق پمپاژ آب به زمین‌های کشاورزی، ارزیابی دقیق هزینه‌ها و منافع اجرای سناریو ترکیبی با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی موردبررسی قرار گیرد.

منابع

1. Abdolghafoorian, A., Tajrishi, M., and Abrishamchi, A. 2011. Urban water management in terms of effluents and runoff as new sources of water (case study of Tehran city). *Water and Wastewater*. 23(4), 29 - 42 (In Persian).
2. Aini, M. 2014. Coping with the water crisis. <http://waterse.ir/water-crisis-gwp> (In Persian).
3. Angelakis, A.N., Tzanakakis, V.A., Capodaglio, A.G., and Dercas, N. 2023. A Critical Review of Water Reuse: Lessons from Prehistoric Greece for Present and Future Challenges. *Water*, 15(13), 2385.
4. Asgharpour, M.G. 2004. Multi-criteria decision making. *Tehran University Publications*. 1(4), 410 (In Persian).
5. Environmental Criteria of Treated Waste Water and Return Flow Reuse. 2010. 535 (In Persian).
6. Esmaili, M.M. 2020. Water Supply Crisis in the Zayandehrud Basin: Political and Social Issues and Strategies for its Management (Case Study: Protests of 2010 - 2013). *Social Studies and Research in Iran*. 9(3),

جدول ۶: نتایج نهایی تکنیک خاکستری (GRA) بر اساس محاسبات WEAP

امتیاز	نتیجه	امتیاز	نتیجه
۰/۵۶۱۸۹۹	A1	۰/۹۸۰۹۸۷	A14
۰/۵۳۶۲۳۹	A10	۰/۸۳۶۸۶۹	A13
۰/۵۳۱۱۷۳	A11	۰/۸۰۷۴۹۷	A4
۰/۵۱۱۸۸۵	A15	۰/۷۸۳۹۱۷	A6
۰/۵۰۷۹۸۶	A5	۰/۶۹۵۹۹۵	A9
۰/۳۴۰۵۵۸	A3	۰/۶۶۶۹۰۷	A2
۰/۲۹۵۲۶۴	A12	۰/۵۹۱۱۶۳	A8
		۰/۵۶۶۲۴۳	A7

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با بررسی ۱۵ سناریو، نتایج نشان داد تنها با یک سناریو Sc25 (اجرای سیستم فاضلاب) نمی‌توان میان عرضه و تقاضا تعادل ایجاد کرد؛ بنابراین برای رسیدن به تعادل ترکیب سه سناریو Sc28 + Sc23 + Sc25 به ترتیب اجرای سیستم فاضلاب، افزایش راندمان تا ۳۳ درصد، کاهش تلفات در سیستم‌های انتقال

Development, 5(2), 129 - 140.

16. Manganiello, V., Zucaro, R., and Dono, G. 2024. The use of purified wastewater for irrigation: Possible strategies in the Capitanata area (Apulia, Italy). *Agricultural Water Management*. 291: 108614.

17. Mehri, M., Ekhtesasi, M.R., and Malekinejad, M. 2016. Investigating the condition of underground water resources and the amount of exploitation in the Kouhdasht Plain. *Second National Congress of Irrigation and Drainage of Iran by Isfahan University of Technology (In Persian)*.

18. Moradi, B., Farrokhzadeh, B., Delaware, M., and Noori, H. 2015. Modeling water resources using WEAP model and investigating the impact of different management scenarios in Kobudar Ahang basin. *Iran National Watershed Science and Engineering Conference by Yasuj University*. 10 (In Persian).

19. Rabanifar, M., Taheri Tizro, A., and Kamali, M. 2016. Simulation of Groundwater Resources Supply and Demand by Applying WEAP Model in Toyserkan Plain. *Irrigation and Drainage*. 10(2), 187 - 198 (In Persian).

20. Rahimi, R., Khushal, Kh., and Alizadeh, A. 2010. Statistical Analysis of Heavy Rainfall in Arid Regions of Iran (Case Study: Kerman Province). *Geography and Regional Development*. 8 (14), 52 - 69 (In Persian).

21. Ramirez, C., Almulla, Y., and Nerini, F. F. 2021. Reusing wastewater for agricultural irrigation: a water-energy-food Nexus assessment in the North Western Sahara Aquifer System. *Environmental Research Letters*. 16(4), 044052.

22. Report of semi-detailed studies of underground water in Dasht Kouhdasht area. 2011. *Lorestan Regional Water Company (In Persian)*.

23. SaidiNia, M., Samadiborjoni, H., and Fatah, H. 2008. Investigating inter-basin water transfer plans using the WEAP model (case study: Behesht Abad tunnel). *Iranian water research*. 2(3), 33 - 44 (In Persian).

24. Santos, A., Alvarenga, P., Gando-Ferreira, L., and Quina, M. 2023. Urban Wastewater as a Source of Reclaimed Water for Irrigation: Barriers and Future Possibilities. *Environments*, 10(2), 17 - 27.

567 - 585 (In Persian).

7. Fathiashtiani, F., Ahmadali, G., Ahmadali, Kh., and KhaliqiSigarodi, S.H. 2021. Evaluating the impact of different management scenarios on the resources and uses of the Qarachai watershed using the WEAP model. *Natural environment*, 74(3), 537 - 553 (In Persian).

8. Hajiani, M. 2015. Water recycling and sustainable development, advantages and limitations and groundwater in crop rotations. *Agricultural water management*. 116(2), 228 - 234 (In Persian).

9. Hamlat, A., Habibi, B., Guidoum, A., Sekkoum, M., Kadri, C.B. and Guerroudj, A., 2024. Water supply and demand balancing and forecasting in a semi-arid region of Algeria using the WEAP model: a case study of El Bayadh province. *Sustainable Water Resources Management*. 10(1), 34.

10. Hedaecian, M., Dadkhah, R., and Dadkhah, Z. 2014. *Water Resources Management*. National Conference on Solutions to Water Crisis in Iran and the Middle East, Shiraz. Pages: 1507 (In Persian).

11. Hejipour, M., Zakerinia, M., Ziayie, A.N. and Hesam, M., 2019. Integrated management of water demand in urban and industry sectors by connection of WEAP and MODFLOW models (case study: Bojnourd basin). *Journal of Water and Soil Conservation*. 26(1), 187-203 (In Persian).

12. Hydrogeological study report of kohdasht city. 2006. *Lorestan Kouhdasht Regional Water Company (In Persian)*.

13. Karimi, H., Naderi, F., and Nikseresht, L. 2013. Management of Groundwater Resources in Mehran Plain in Ilam by Determining Its Volume and Rate of Exploitation. *Scientific Quarterly Journal of Urban Ecology Research* 4 (7), 97-106 (In Persian).

14. Khoshravesh, M., and Nikzad-Tehrani, E., 2018. Evaluation of different scenarios of water resources management in Talar plain using groundwater modeling and integrated water resources systems. *Irrigation and Water Engineering*, 9(1), 89 - 101 (In Persian).

15. Mahdavi, T., and Hoseyni, S. A. 2019. Groundwater Policies and Governance in Arid and Semi-arid Regions, Reviewing Current Policies in Developed Countries. *Journal of Water and Sustainable*

29. The study report of Meteorological Organization of Lorestan province, Kouhdasht city. 2018 (In Persian).
30. Wasali, S.A., Rostampour, M., and Behzadi, M. 2008. The importance and application of waste water in the management of water shortage crisis. International Conference on Water Crisis, 1:20 - 22 (In Persian).
31. Yazdanpanah, T., Khodashenas, S. R., Davari, K., and Ghahraman, B. 2008. Water resources management in a Watershed with WEAP model (A case study of Azghad watershed). Journal of Agriculture Science and Technology, 22(1), 213 - 221.
25. Silva, J. 2023. Wastewater Treatment and Reuse for Sustainable Water Resources Management: A Systematic Literature Review. Sustainability, 15(14), 10940.
26. Study report of Kouhdasht agricultural jihad. 2018 (In Persian).
27. Study report of regional water company of Lorestan province, Kouhdasht city. 2018 (In Persian).
28. Tahmasbi, R., Kholghi, M., Najarchi, M., Liaghat, A., and Mastouri, R. 2022. Post-Treatment of Reclaimed Municipal Wastewater through Unsaturated and Saturated Porous Media in a Large-Scale Experimental Model. Water, 14(7), 1137 - 1150.



Abstract

Equilibrium: A section Between the Supply and Demand for Water Using Urban Wastewater while Considering the Environmental Impacts in the Kouhdasht AquiferN. Nabipour^{1*}, S.A. Hashemi Monfred², M. Azhdari Moghaddam³, A. Sardar Shahraki⁴

Received: 2025/01/13 Accepted: 2025/04/14

Abstract

In Iran, consecutive droughts, unauthorized extraction from wells, and increased water demand have put pressure on groundwater resources. This research aims to eliminate the negative balance of aquifers and to achieve a balance between water supply and demand using the WEAP model in the study area. To achieve this goal, 15 different management scenarios were utilized. Additionally, the SDSM model was used to determine the hydrological year and to assess the long-term impacts of the scenarios, with a 20-year time horizon considered for simulating resources and uses. Multi-criteria decision-making models (MCDM) and Grey Relational Analysis (GRA) were employed to analyze the scenarios and select the best one. The results showed that single scenarios alone cannot reduce the gap between water supply and demand; therefore, option 14A, a combined scenario (Sc33) involving the implementation of a sewage system, increases efficiency by up to 33%, and reduces losses in water transfer systems, ranked first. As a result, using the combined scenario could annually increase aquifer storage by 3.17 MCM to reduce water demand from wells. In this area, the main consumer is agriculture, thus to improve irrigation efficiency in agriculture, it is recommended that economic studies for wastewater transfer and cost-benefit assessments be conducted.

Keywords: Balance between Water supply and demand, Integrated management, Kouhdasht aquifer, Water recycling, WEAP model.

1. Master of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran *Corresponding Author' Email: Nabipor.n@gmail.com
2. Associate Professor of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3. Associate Professor of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
4. Associate Professor of Civil Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran