



دانشگاه گوارش و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد بیست و دوم، شماره چهارم، ۱۳۹۴

<http://jwsc.gau.ac.ir>

مدیریت تقاضای آب در بخش کشاورزی و تأثیر آن بر منابع آب دشت بجنورد به کمک اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW

مجید حجی‌پور^۱، * مهدی ذاکری‌نیا^۲، علی‌نقی ضیائی^۳ و موسی حسام^۲

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه مهندسی آب،

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۵؛ تاریخ پذیرش: ۹۴/۳/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: توسعه کشاورزی و صنعت، کاهش منابع آب سطحی، افت سطح آب‌های زیرزمینی عوامل مهم کمبود آب هستند که یک راه مقابله با آن استفاده از مدیریت تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی منابع آب WEAP و اتصال آن به مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی MODFLOW، مصارف حوضه آبریز دشت بجنورد مورد ارزیابی قرار گرفت. واسنجی دو مدل براساس یک دوره ۶ ساله (از سال آبی ۸۵-۱۳۸۴ تا سال ۹۰-۱۳۸۹) و اعتبارسنجی آن برای یک دوره ۲ ساله (سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱) انجام گرفت. سه سناریو مختلف مدیریتی شامل ثابت نگه داشتن سطح زیرکشت در مقابل افزایش تعداد صنایع، افزایش راندمان آبیاری در بخش کشاورزی و ترکیبی از سناریوهای فوق، جهت کاهش تقاضای آب در نظر گرفته شد. براساس این سناریوها پیش‌بینی‌ها برای یک دوره ۲۸ ساله (از سال ۹۳-۱۳۹۲ تا سال ۲۰-۱۴۱۹) انجام و اثرات آن بر روی منابع آب حوضه مورد بررسی قرار گرفت.

یافته‌ها: به‌کارگیری هم‌زمان راهبردهای مختلف مدیریت مصرف آب، بهتر از حالت استفاده منفرد از هر کدام از آن‌ها، برداشت آب از منابع مختلف را کاهش می‌دهد. شاخص اعتمادپذیری تأمین آب در سناریوی مرکب کلی، برای بخش‌های شرب شهری، روستایی، کشاورزی و صنعت به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۶۰/۴ و ۷۱/۵ درصد برآورد گردید. همچنین آبخوان آبرفتی با ۰/۴۷ میلیون مترمکعب افت سالیانه حجم ذخیره به تعادل نسبی رسیده است اما آبخوان آهکی با ۶/۰۲ میلیون مترمکعب افت سالیانه حجم ذخیره دچار مشکل است که نیازمند اقدامات پیشگیرانه در این زمینه می‌باشد.

نتیجه‌گیری: از به‌کارگیری هم‌زمان مدل آب زیرزمینی و مدل سطحی در مدیریت منابع آب دشت، نتایج قابل اعتمادتری به‌دست خواهد آمد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت منابع آب، شبیه‌سازی، آب زیرزمینی

* مسئول مکاتبه: a_zakerinia@yahoo.com

مقدمه

با رشد جمعیت علاوه بر مصارف آبیاری، نیاز مصارف شهری و صنعتی نیز رو به افزایش است. ماهیت پیچیده مسایل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را با هم در نظر بگیرد. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب^۱ است که باید اصلی‌ترین روش برای دست‌یابی به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی باشد. مدیریت جامع باید نیاز تمامی بهره‌برداران آب را لحاظ نماید (9). در مدیریت یکپارچه منابع آب برای این که فرآیندها و اقدامات به شکل عرضه و تقاضا در نظر گرفته شوند باید هم‌زمان به دو سیستم مجزا که چشم‌انداز مدیریت آب را شکل می‌دهند توجه شود. این نوع از مدیریت نیازمند ابزار مدل‌سازی هیدرولوژیکی است که فرآیندهای فیزیکی مانند بارش، تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و جریان آب زیرزمینی را شبیه‌سازی کند. توزیع غیریکنواخت زمانی و مکانی آب، وجود بیش‌ترین تقاضای آب در زمان‌های با بارش کم، عدم توازن بین عرضه و تقاضای آب و محدودیت منابع آبی، استفاده ناکارآمد از آب، اتلاف زیاد آب در بخش کشاورزی و همچنین مکانیزم قیمت‌گذاری ناکارآمد از جمله مشکلات بخش آب کشور می‌باشد که مدیریت منابع آب کشور را پیچیده کرده است (12).

در حوضه آبریز بجنورد به دلیل کم‌بودن جریانات سطحی، منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه، آب‌های زیرزمینی بوده که از آبخوان‌های آبرفتی و آهکی دشت بجنورد تغذیه می‌شوند. با بررسی وضعیت کنونی منابع آب و نیز ارزیابی راهکارها و استراتژی‌های مختلف می‌توان به جلوگیری از ایجاد بحران و حتی برون‌رفت از آن امیدوار بود که این کار

تنها با جامع‌نگری و لحاظ همه مؤلفه‌های تأثیرگذار و

تأثیرپذیر در وضعیت منابع آب ممکن خواهد شد.

مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب موجود در سطح حوضه وجود دارد که از این بین استفاده از نرم‌افزار WEAP به دلیل جامعیت در لحاظ کردن توأم فرآیندهای فیزیکی و هیدرولوژیکی و سیستم مدیریت و تخصیص آب، در نقاط مختلف دنیا فراگیر شده است. یکی از محدودیت‌های این مدل آن است که جریان‌های آب زیرزمینی را به صورت یک مخزن بزرگ فرض می‌نماید و جریان‌های داخل این مخزن را مورد بررسی قرار می‌دهد. برای رفع این محدودیت می‌توان این مدل را به MODFLOW متصل نمود. لارسن و همکاران (2000) برای رفع مشکل کاهش سطح آب در حوضه رودخانه آپراسینگ در کشور آمریکا از مدل MODFLOW برای مدل کردن آب زیرزمینی استفاده کردند و در نهایت اثرات تخصیص آب را به کمک مدل WEAP ارزیابی نمودند (8). اساف و ساده (2008) دو طرح مهم مدیریت کیفی آب را توسط WEAP ارزیابی کردند و برای تعیین بهترین طرح، از تحلیل اثربخشی هزینه‌ها استفاده کردند. نتایج نیز جدیت این مشکل را تأیید کرده و اهمیت انجام یک اقدام فوری را برای کنترل این خطر نشان دادند (1). هولرمن و همکاران (2010) در پژوهشی بیلان آب را در حوضه اومه- بونو واقع در کشور بنین به کمک مدل WEAP شبیه‌سازی کردند و اوضاع منابع آب آن را تحت سناریوهای مختلف توسعه اجتماعی- اقتصادی و تغییر اقلیم تا سال ۲۰۲۵ تحلیل کردند. نتایج بیانگر آن بودند که علاوه بر افزایش فشار بر روی منابع آب بنین، رقابت بر سر آب سطحی نیز بیش‌تر خواهد شد (4). یزدان‌پناه و همکاران (2007) برای مدل کردن تقاضا، مصارف و ارتباط آن‌ها با منابع تأمین آب حوضه آبریز ازغند از مدل WEAP استفاده

1- Integrated Water Resources Management (IWRM)

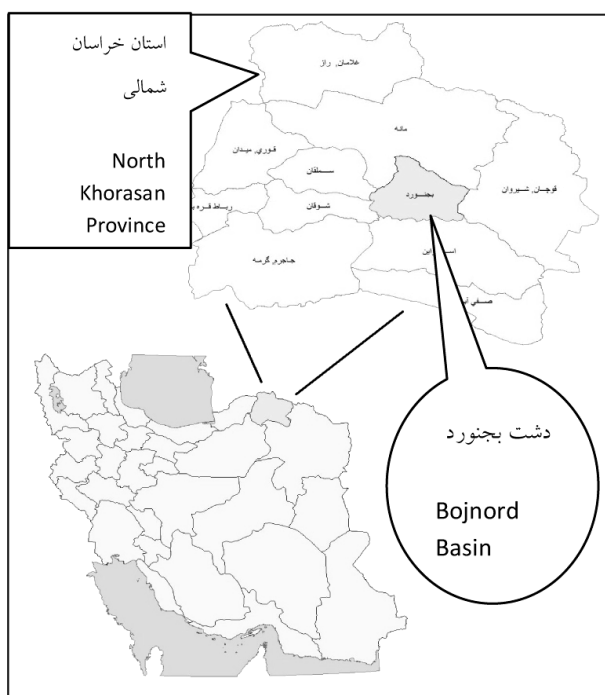
MODFLOW برای مدل‌سازی آبخوان دشت و اهداف مورد نظر پژوهش بهره جست. از طرفی چون اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه مدیریت تلفیقی آب‌های سطحی و زیرزمینی تنها با یک مدل صورت گرفته این پژوهش با اتصال دو مدل WEAP و MODFLOW سعی در مدل‌سازی دقیق‌تر منابع و مصارف یک حوضه (بجنورد) دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد نیاز: حوضه آبریز دشت بجنورد با بارندگی سالانه حدود ۲۷۰/۹ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت ۱۴ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. این حوضه تقریباً در مرکز استان خراسان شمالی و در حفاصل طول‌های جغرافیایی ۵۷ درجه و ۸ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲۵ دقیقه و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۱ واقع شده است. وسعت این حوضه در حدود ۱۲۶۵/۸ کیلومتر مربع می‌باشد که ۱۰۵/۶ کیلومتر مربع آن را دشت و بقیه را ارتفاعات و آبرفت‌های میان ارتفاعات تشکیل می‌دهد. بلندترین نقطه حوضه قله سلوک در جنوب‌غربی حوضه با ارتفاع ۳۰۱۰ متر از سطح دریا و پایین‌ترین نقطه آن در خروجی دشت با ۱۰۰۰ متر ارتفاع از سطح دریا قرار دارد. خروجی این دشت نیز در بخش شرقی آن و در محل روستای باباامان می‌باشد. آبراهه‌های سطحی و مسیل‌های موجود در این محدوده، پس از عبور از ارتفاعات جنوبی و شمالی وارد دشت بجنورد شده و از قسمت شرقی دشت خارج و به رود اترک می‌پیوندند. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز بجنورد در استان خراسان شمالی، در شکل ۱ نمایش داده شده است.

کردند. این مطالعه نشان داد: (۱) با تغییر الگوی کشت و یا کاهش سطح زیر کشت اراضی کشاورزی می‌توان به شرایط تعادل آب زیرزمینی دست یافت؛ (۲) با استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری، در صورت کاهش سطح زیر کشت می‌توان ذخیره آب زیرزمینی را تا حدودی افزایش داد؛ (۳) استفاده از سیستم‌های تحت فشار همراه با افزایش سطح زیر کشت موجب تشدید افت سطح آب زیرزمینی خواهد شد (16). نتایج شبیه‌سازی کوهستانی و همکاران (2010) در آبخوان نرماب واقع در استان گلستان با استفاده از مدل Visual Modflow نشان داد که مدل به خوبی با شرایط منطقه تطبیق داشته و در سه شرایط خشک، تر و نرمال موقعیت تراز سطح آب را بازگوست (6). جنوبی و همکاران (2013) طی پژوهشی به مدیریت سطح آب زیرزمینی از طریق تلفیق آب سطحی و زیرسطحی در دشت ارومیه پرداختند. برای ساماندهی و سنجش واکنش منابع آب زیرزمینی در مقابل اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی و اجرایی از مدل MODFLOW استفاده شد (4). مدل برای سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ با ۲۸ حلقه چاه مشاهداتی مورد سنجش و اعتبارسنجی قرار گرفت. مقایسه خطوط تراز بارهای هیدرولیکی محاسباتی حاصل از مدل با خطوط تراز بارهای مشاهداتی، بیانگر عملکرد خوب مدل با آبخوان طبیعی است. این موضوع موجب شد اعمال سناریوهای مختلف روی مدل مورد سنجش قرار گیرد (5).

مرور مطالعات پیشین بیانگر آن است که در صورت بهره‌گیری از داده‌های دقیق و مورد نیاز مدل WEAP می‌توان از آن در جهت اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی به‌منظور مصرف بهینه منابع آب استفاده نمود. همچنین در صورت تهیه یک مدل مفهومی مناسب می‌توان با استفاده از نرم‌افزار

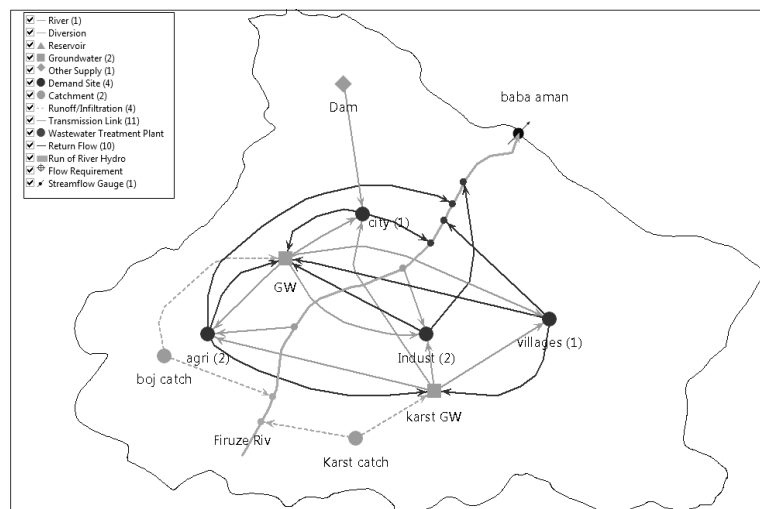


شکل ۱- موقعیت حوضه مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area.

مؤلفه‌های به‌کار رفته در شماتیک مدل را نشان می‌دهد. در مدل‌های شبیه‌سازی هر گام زمانی محاسبات بیلان آب در سه مرحله انجام می‌شود: (۱) مرحله منابع: در این گام موجودی آب در منابع مختلف محاسبه می‌شود. (۲) مرحله تقاضا: در این مرحله میزان تقاضای آبی در مکان‌های مختلف محاسبه می‌گردد. (۳) مرحله تخصیص آب: در این گام براساس تقاضا، موجودی آب و اولویت‌ها، تخصیص آب صورت می‌گیرد. در این پژوهش برای تولید داده‌های سرآب از شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (زیرمدل‌های موجود) استفاده شده است.

مدل **WEAP**: مدل ویپ براساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و آن را می‌توان در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای مرزی پیچیده به‌کار برد. علاوه بر این، مدل ویپ می‌تواند طیف گسترده‌ای از اجزای طبیعی و مهندسی این سیستم‌ها، از جمله بارش رواناب، جریان پایه و تغذیه آب‌های زیرزمینی از بارش را شبیه‌سازی کند (14). این نرم‌افزار شبیه‌سازی، سیستم حوضه رودخانه را به‌صورت گره کمان مدل می‌نماید. گره‌ها بیانگر نقاط نیاز، آبخوان‌ها، سدها، نیروگاه‌های برق‌آبی و ... می‌باشند و کمان‌ها هم آب را بین گره‌های مختلف، انتقال می‌دهند (شکل ۲). جدول ۱ هم اسامی



شکل ۲- شماتیک منطقه مورد مطالعه در صفحه اصلی WEAP.

Figure 2. Schematic shape of the study area in WEAP main page.

جدول ۱- معرفی اسامی مؤلفه‌های به کار رفته در شماتیک مدل.

Table 1. Location of the study area.

رودخانه فیروزه	Firuze riv	نیاز آبی شهر بجنورد	City
Firuze river		Bojnord City water demand	
آبخوان آبرفتی	GW	نیاز آبی روستاهای بجنورد	Villages
Alluvial aquifer		Bojnord Villages water demand	
آبخوان آهکی	Karst GW	نیاز آبی کشاورزی	Agri
Limestone aquifer		Agriculture water demand	
ایستگاه هیدرومتری بابامان	Baba aman	نیاز آبی صنعت	Indust
Baba Aman Stream flow gauge		Industry water demand	
سد شیرین دره بجنورد	Dam	زیرحوضه آبرفتی بجنورد	Boj catch
Shirin dareh dam of Bojnord		Bojnord alluvial catchment	
		زیرحوضه آهکی بجنورد	Karst catch
		Bojnord alluvial catchment	

که آمار و اطلاعات همه ایستگاه از سال آبی ۱۳۸۰ لغایت ۱۳۹۰ اخذ گردید. (۲) اطلاعات جمعیتی و میزان نیاز آبی تقاضاهای شهری و روستایی: جمعیت و میزان مصارف آن به‌ازای هر نفر مشخص گردید. (۳) اطلاعات مربوط به بخش صنعت: میزان نیاز آبی به‌صورت ماهانه در بخش صنعت تخمین زده شد. (۴) اطلاعات مربوط به‌میزان نیاز آبی سایت‌های

داده‌های مورد نیاز: (۱) ایستگاه: برای کالیبره کردن مدل WEAP از داده‌های ثبت‌شده ایستگاه هیدرومتری بابامان در خروجی حوضه آبریز بجنورد که تنها ایستگاه هیدرومتری معرف این حوضه است، استفاده شد. همچنین در داخل محدوده مطالعاتی بجنورد، چهار ایستگاه باران‌سنجی، یک ایستگاه تبخیرسنجی و نیز یک ایستگاه سینوپتیک وجود دارد

تا هرچه بیش‌تر، شناخت منطقه و عوارض طبیعی تأثیرگذار بر سیستم آب زیرزمینی آن را امکان‌پذیر کند. قدم دوم به‌کار بردن این اطلاعات در مدل‌سازی عددی است که بر پایه معادلات ریاضی حاکم در مدل MODFLOW صورت می‌گیرد و در قدم آخر عمل واسنجی در دو حالت واسنجی در شرایط ماندگار و واسنجی در شرایط غیرماندگار انجام می‌شود. اتصال این مدل به MODFLOW این امکان را می‌دهد که مقادیر محاسبه شده توسط WEAP در خصوص نفوذهای زیرزمینی (Natural Recharge)، سطح رودخانه‌ها، برداشت از آب‌های زیرزمینی (پمپاژ) و رواناب‌های سطحی به‌صورت ورودی به MODFLOW ارسال شود و پس از محاسبه توسط این نرم‌افزار، تراز آب زیرزمینی، جریان‌های فرعی بین آبخوان‌ها و جریان بین آب سطحی و زیرزمینی به‌عنوان ورودی گام بعدی محاسبات به WEAP ارسال می‌شود.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل: در این پژوهش مدل WEAP به‌صورت سعی و خطا واسنجی گردید. پس از واسنجی، بدون تغییر در متغیرهای ثابت و پارامترهای واسنجی شده، نتایج مدل با داده‌های مشاهده شده برای دوره دیگری غیر از دوره واسنجی مقایسه و اعتبارسنجی شد.

ارزیابی نتایج مدل: برای ارزیابی کمی نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب از سه نمایه ضریب راندمان نش- ساتکلیف^۱ (Ef)، ضریب تعیین^۲ (R²) و جذر میانگین مربعات خطا^۳ (RMSE) و برای ارزیابی سناریوها از شاخص اعتمادپذیری استفاده شد.

کشاورزی: برای محاسبه نیاز آبی مربوط به بخش کشاورزی فرآیندی مطابق با آنچه در ادامه می‌آید، انجام گرفته است. (الف) ابتدا الگوی کشت منطقه با توجه به اطلاعات موجود که از سازمان جهاد کشاورزی بجنورد اخذ گردید، مشخص شد. سپس با توجه به این الگوی کشت و یا به‌عبارتی درصد زیر کشت هر محصول به‌طور جداگانه تعیین شد. (ب) نتایج در دو بخش کلی اراضی کشاورزی آبی و محصولات باغی تقسیم‌بندی گردید. (ج) برای تعیین نیاز آبی، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار NETWAT مقدار نیاز خالص آبیاری ماهانه را برای هر محصول به‌دست آورده با توجه به سطح زیر کشت هر محصول، مقدار نیاز خالص آبیاری کلی به‌دست آمد، نیاز ناخاص آبی یا همان نیاز آبی گیاه، نیز با راندمان آبیاری ۳۲ درصد برای دشت بجنورد برای دو بخش نیاز کشاورزی آبی و محصولات باغی محاسبه گردید. (۵) منابع آب‌های زیرزمینی: طبق مطالعات زمین‌شناسی، حوضه بجنورد دارای دو نوع آبخوان آبرفتی و آهکی است که هر دو آبخوان در مدل تعریف شده‌اند. (۶) اطلاعات اقلیم و هواشناسی: متوسط بارش ماهانه (روش خطوط هم‌باران)، دماهای ماکزیمم و مینیمم ماهانه (برای محاسبه تبخیر- تعرق مرجع به روش هارگریوز سامانی)، بارش مؤثر و ضریب گیاهی (Kc).

مدل MODFLOW: این مدل به‌عنوان یک مدل تفاضل محدود سه‌بعدی جریان غیرماندگار در محیط متخلخل اشباع، غیراشباع، غیرهمگن و غیرایزوتروپ برای تشریح و پیشگویی رفتار جریان در سیستم‌های منابع آب زیرزمینی مطرح می‌باشد (7). بنابراین مدل ریاضی MODFLOW به‌عنوان یک ابزار کارآمد و باصرفه جهت بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی مورد استفاده واقع می‌گردد (2). برای مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW قدم اول تهیه یک مدل مفهومی از منطقه مورد مطالعه است

1- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient
2- The Coefficient of Determination
3- Root Mean Square Error

به صورت نیاز آبی پایین دست تعریف می شود ولی این موضوع قراردادی است و می توان آن را تغییر داد. خروجی های سیستم به دو مجموعه مقادیر رضایت بخش (S) و مقادیر نارضایت بخش (F) تقسیم می شوند. اعتمادپذیری سیستم، α ، یعنی احتمال آن که سیستم در حالت رضایت بخش است.

$$\alpha = \text{prob}[x_1 \in s] \quad (4)$$

سناریوها: سناریوهای اعمال شده در این پژوهش در سه سطح بود که تعاریف مربوط به هر کدام از آنها به طور اجمالی در جدول ۲ ارائه شده است.

$$E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (1)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) \times (P_i - \bar{P})]^2}{[\frac{n \times \sum_{i=1}^n O_i^2 - [\sum_{i=1}^n O_i]^2}{n-1}] \times [\frac{n \times \sum_{i=1}^n P_i^2 - [\sum_{i=1}^n P_i]^2}{n-1}]} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{n}} \quad (3)$$

که در آن ها، O_i و P_i به ترتیب مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده، \bar{O} : میانگین مقادیر مشاهداتی و n : تعداد داده ها می باشند.

شاخص اعتمادپذیری: فراوانی نسبی عدم شکست را، اعتمادپذیری می نامند. به طور معمول آستانه شکست

جدول ۲- سناریوهای مختلف مطرح شده برای سال های شبیه سازی.

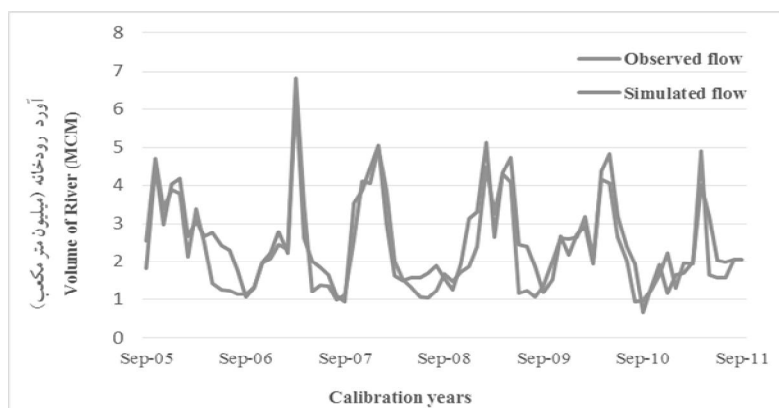
Table 2. The various proposed scenarios to simulated years.

توضیحات comments	نام اختصاری symbol	سطح Level
سناریوی مرجع: ادامه اوضاع موجود، بدون تغییر در سیاست های مدیریتی Reference scenario: Continue current situation, with no change in policies	S ₁	یک One
سناریوی ثابت نگه داشتن سطح زیر کشت آبی و در عوض افزایش تعداد صنایع The Scenario that it is keep the area under irrigation land and in turn it is increased the number of industries	S ₂₁	دو Two
سناریوی افزایش راندمان آبیاری به کمک توسعه روش های نوین آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت The Scenario that it is increased irrigation efficiency with help of developing new methods of irrigation with the assumption of constant cultivation lands	S ₂₂	سه three
ترکیب سناریوهای S ₂₁ و S ₂₂ Combined of S ₂₁ and S ₂₂ Scenarios	S ₃₁	سه three

آب سنجی باباامان با استفاده از پارامترهای بارش مؤثر و درصد نفوذ به آبخوان صورت گرفت (شکل ۳-۱). که نتایج ارزیابی مدل WEAP در جدول ۳ در ایستگاه باباامان نمایش داده شده است.

نتایج و بحث

نتایج واسنجی و واسنجی: فرآیند واسنجی از سال ۱۳۸۴-۸۵ تا سال ۹۰-۱۳۸۹ و اعتبارسنجی سال های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ برای جریان شبیه سازی شده توسط مدل با جریان مشاهده شده در ایستگاه



شکل ۳- نتایج واسنجی مدل WEAP در ایستگاه بابامان.

Figure 3. Results of the WEAP model calibration in Baba Aman station.

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل WEAP در ایستگاه بابامان.

Table 3. The results of the WEAP model validation in Baba Aman station.

اعتبارسنجی Validation			واسنجی Calibration		
RMSE	R ²	Ef	RMSE	R ²	Ef
0.8	0.72	0.7	0.6	0.79	0.76

۱- مقادیر RMSE بر حسب میلیون مترمکعب می‌باشند.

1. RMSE value is million cubic meter (MCM)

کشاورزی است که نشان‌دهنده اهمیت مدیریت تقاضای آب در این بخش است.

سناریوی مرجع: نتایج به‌دست آمده از اجرای سناریوی مرجع در جدول ۴ نمایش داده شده است. مطابق جدول بیش‌ترین آب تأمین نشده در بخش

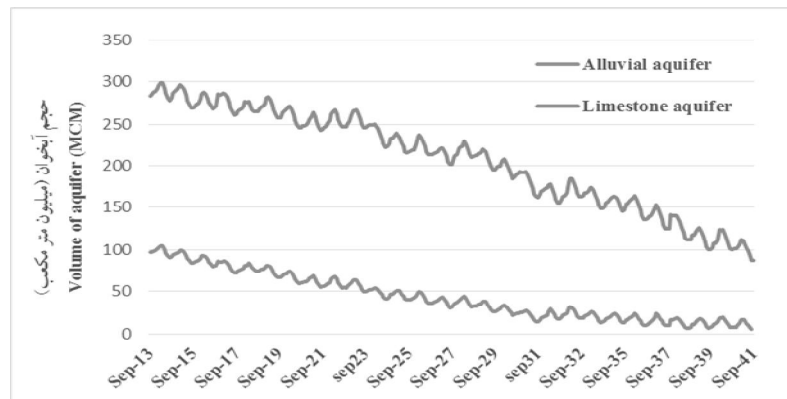
جدول ۴- نتایج سناریوی S₁ (بر حسب میلیون مترمکعب).

Table 4. Results of S₁ scenario (in million cubic meters).

حجم آب برگشتی به آبخوان‌ها Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
472.86	99.28	633.39	175.25	11.95	7.51	1641.96	68.71
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
آبرفتی Alluvial	آهکی Limestone			شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
3.27	7.01			55.6	27.8	50.2	33.1

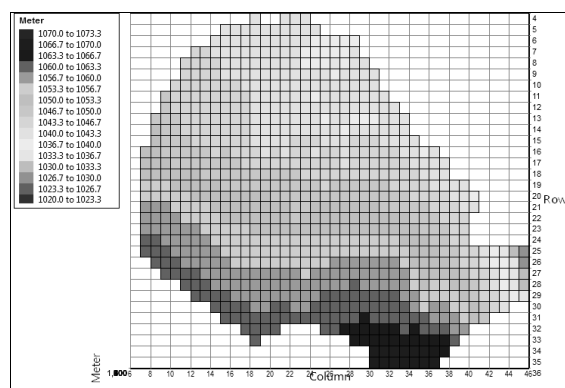
برخوردارند. نتایج به دست آمده از اجرای اتصال مدل MODFLOW به WEAP در شکل های ۵ و ۶ مشاهده می شود.

طبق سناریوی مرجع و با ادامه وضع موجود حجم آبخوان های آبرفتی و آهکی در سال های شبیه سازی مطابق شکل ۴ محاسبه گردید. همان طور که در شکل نیز دیده می شود هر دو آبخوان از روند نزولی



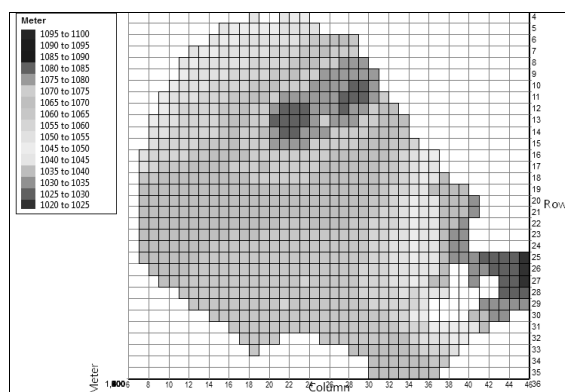
شکل ۴- حجم آبخوان های آبرفتی و آهکی طی سال های شبیه سازی برای سناریو S₁.

Figure 4. The volume of alluvial and limestone aquifers during simulated years for S₁ scenario.



شکل ۵- تراز آبخوان آبرفتی در ابتدای دوره شبیه سازی.

Figure 5. Alluvial groundwater level at the start of the simulation.



شکل ۶- تراز آبخوان آبرفتی در انتهای دوره شبیه سازی.

Figure 6. Alluvial aquifer level at the end of the simulation.

آبخوان آبرفتی برمی‌گردد. این نتایج همسو با نتایج والرا اورتگا و همکاران (2011) است که طی پژوهشی در بالادست حوضه رودخانه گوادیانای اسپانیا به این نتیجه رسیدند که با خرید حبابه کشاورزان و تبدیل مزارع آبی به دیم، کاهش حجم مخزن تا سال هدف از ۵ میلیارد مترمکعب در سناریوی مرجع تبدیل به افزایش حجم به بیش از ۳ میلیارد مترمکعب خواهد شد (15).

تراز آبخوان آبرفتی پس از اعمال سناریوی S₂₁ در شکل ۸ آمده است. آب برگشتی از صنعت باعث بالا آمدن آب در بخش غربی آبخوان آبرفتی شده است.

سناریوی افزایش راندمان آبیاری به کمک توسعه روش‌های نوین آبیاری با فرض ثبات سطح زیر کشت (S₂₂): در این بخش نتایج حاصل از اجرای مدل برای افزایش راندمان آبیاری تا ۶۰ درصد نسبت به راندمان سناریوی مرجع (۳۷ درصد) ارائه شده است. مطابق این سناریو میانگین سالانه نیاز آبیاری با افزایش راندمان آبیاری کاهش خواهد یافت، به طوری که به‌ازای راندمان ۶۰ درصد تقاضای کشاورزی به‌میزان ۳۸/۲ درصد کمتر می‌شود. با توجه به جدول ۶ نیاز تأمین نشده آبیاری به ۵۵۱/۸ میلیون مترمکعب کاهش یافته است که این امر باعث افزایش میانگین سالانه ۰/۶۴ متر تراز آب در آبخوان آبرفتی شده است. بنابراین افزایش راندمان با کاهش تقاضای تأمین نشده همراه خواهد بود (4, 10, 11, 13).

سلول‌هایی که در شکل ۶ بدون رنگ دیده می‌شوند، سلول‌های خشک^۱ نامیده می‌شوند که بیانگر این موضوع هستند که تراز آب در آن نقاط به صفر رسیده است. این اتفاق نتیجه برداشت بی‌رویه از آبخوان آبرفتی می‌باشد.

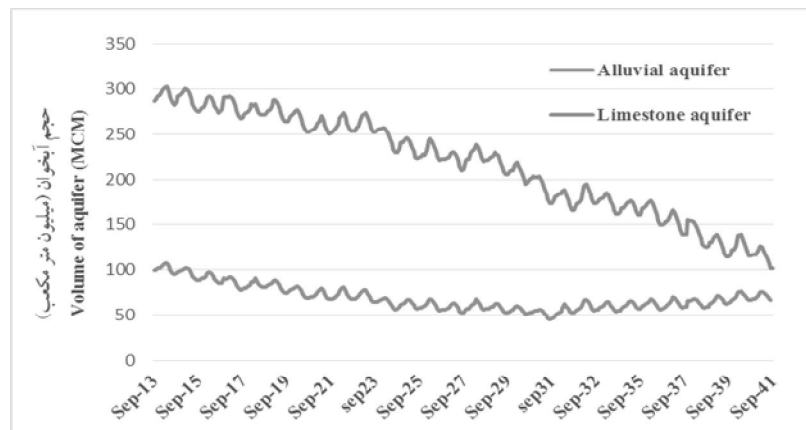
سناریوی ثابت نگه داشتن سطح زیر کشت آبی و در عوض افزایش تعداد صنایع (S₂₁): نتایج برای این سناریو بیانگر این مطلب است که با ثابت نگه‌داشتن سطح زیر کشت در طول دوره شبیه‌سازی، تقاضای آبیاری برای همه سال‌ها کاهش می‌یابد. در نتیجه باعث کاهش کمبود آب در بخش کشاورزی می‌شود. علاوه بر آن همان‌گونه که در جدول ۵ دیده می‌شود، با افزایش نیاز بخش صنعت میزان آب بازگشتی از این بخش نیز ۶۲ میلیون مترمکعب افزایش یافته است؛ از آنجا که میزان کل آب مصرف شده در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع کاهش یافته است، نیاز تأمین نشده کشاورزی در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع نیز در حدود ۷/۸ درصد کمتر شده است که بیانگر نتایج پژوهش سانچز و اسکودا (2011) برای ناحیه آبیاری زیکوئتنکاتل مکزیک می‌باشد. سانچز و اسکودا با کاهش سطح زیر کشت آبی، درصد تأمین تقاضای کشاورزی این ناحیه را از ۵/۱ به ۳۶/۳ درصد ارتقاء دادند (13).

از آنجا که آب برگشتی از بخش صنعت فقط به آبخوان آبرفتی برمی‌گردد بنابراین با اجرای این سناریو افت حجم آبخوان آبرفتی کاهش می‌یابد اما بهبودی در افت حجم آبخوان آهکی رخ نمی‌دهد (شکل ۷). به‌عبارت دیگر آب از آبخوان آهکی برداشت می‌شود و پس از انتقال به بخش صنعت به

جدول ۵- نتایج سناریوی S₂₁ (بر حسب میلیون مترمکعب).

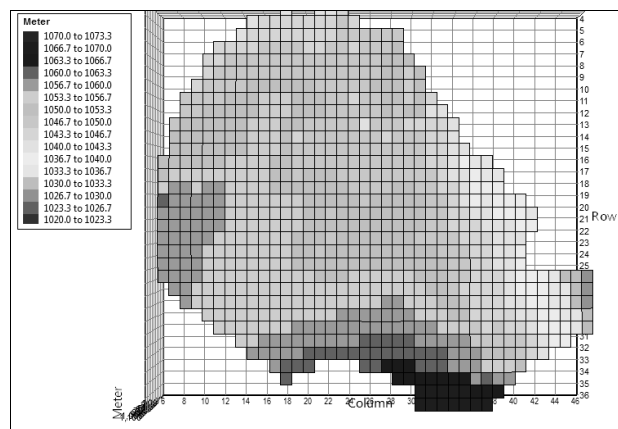
Table 5. Results of S₂₁ scenario (in million cubic meters).

حجم آب برگشتی به آبخوانها Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
472.86	99.28	591.66	237.06	11.95	7.51	1506.03	129.02
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
آبرفتی Alluvial	آهکی Limestone			شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
1.27	6.65			55.6	27.8	52.5	29.9



شکل ۷- حجم آبخوانهای آبرفتی و آهکی طی سالهای شبیه‌سازی برای سناریو S₂₁.

Figure 7. The volume of alluvial and limestone aquifers during the simulated years for S₂₁ scenario.



شکل ۸- تراز آبخوان آبرفتی در انتهای دوره شبیه‌سازی.

Figure 8. Alluvial groundwater level at the end of the simulation.

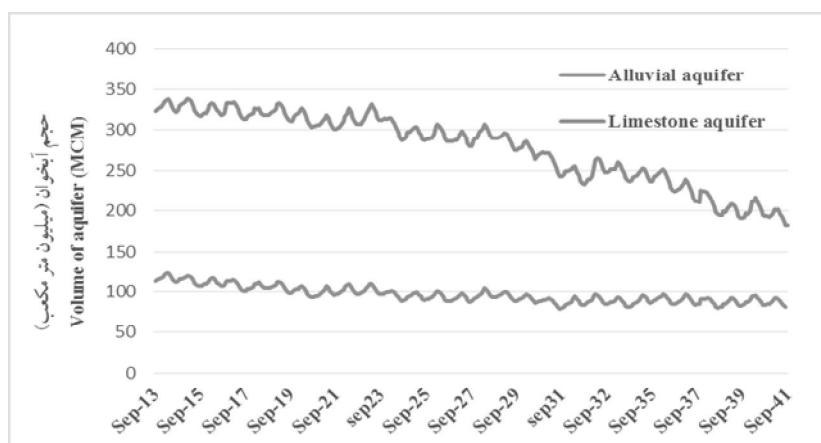
جدول ۶- نتایج سناریوی S₂₂ (بر حسب میلیون مترمکعب).

Table 6. Results of S₂₂ Scenario (in million cubic meters).

حجم آب برگشتی به آبخوان‌ها Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
480.73	104.9	517.8	208.7	0	0	551.87	8.96
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
آبرفتی Alluvial		آهکی Limestone		شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
1.7		5.05		100	100	60.2	71.5

سالانه آبخوان‌های آبرفتی و آهکی به ترتیب به اندازه ۴۸ درصد و ۲۸ درصد کاسته خواهد شد. در پژوهش گازرانی (2010) نیز افزایش ۲۰ درصدی راندمان آبیاری در بخشی از حوضه کشف‌رود منجر به کاهش تقاضای کشاورزی و در پی آن کاهش ۴۷ درصدی افت سطح آب زیرزمینی شد (3).

بررسی نتایج مربوط به ذخایر آب زیرزمینی دشت بجنورد نیز نشان می‌دهد که افزایش راندمان آبیاری می‌تواند باعث کاهش کسری مخازن آب زیرزمینی و همچنین کاهش افت سطح آب زیرزمینی شود. براساس شکل ۹ با افزایش راندمان آبیاری از ۳۷ درصد در سناریوی مرجع به ۶۰ درصد، از کسری



شکل ۹- حجم آبخوان‌های آبرفتی و آهکی طی سال‌های شبیه‌سازی برای سناریو S₂₁.

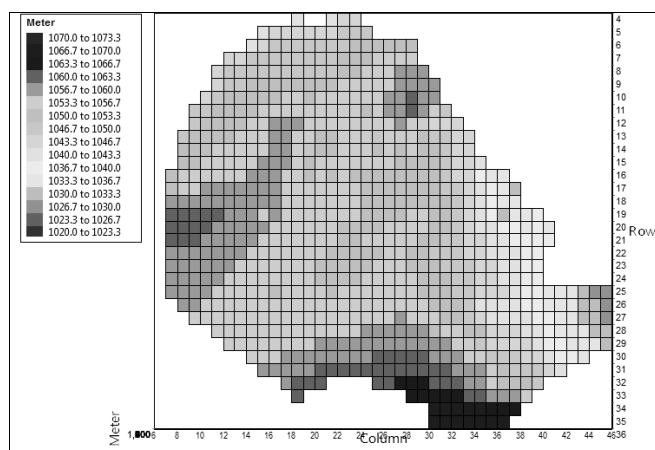
Figure 9. The volume of alluvial and limestone aquifers during the simulated years for S₂₁ scenario.

کشت را افزایش دهیم برداشت آب ثابت می‌ماند، اما نفوذی به منابع آب زیرزمینی کم‌تر خواهد شد. بنابراین در این پژوهش فرض بر این است که با

نکته قابل تأمل در این سناریو این است اگر بخواهیم با توسعه روش‌های نوین آبیاری، راندمان آبیاری را افزایش داده و با آب ذخیره شده سطح زیر

سناریو در شکل ۱۰ نشان می‌دهد که با اجرای این سناریو تراز آب نسبت به سناریوی مرجع بالا آمده و سلول‌های آبی رنگ افزایش یافته است.

افزایش راندمان آبیاری با افزایش سطح زیر کشت همراه نیست و مازاد آب از کشاورزان خریداری می‌شود. خروجی مدل MODFLOW برای این



شکل ۱۰- تراز آبخوان آبرفتی در انتهای دوره شبیه‌سازی.

Figure 10. Alluvial groundwater level at the end of the simulation.

نشده در بخش کشاورزی ۷۹ درصد و بخش صنعت ۸۱ درصد کاهش یافته است. این نتایج در مورد ذخیره آب زیرزمینی هم صدق می‌کند، به طوری که افت سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع کاهش یافته است.

سناریوی (S_{31}) ترکیب سناریوهای S_{21} و S_{22} : این سناریو با ترکیب سناریوهای افزایش راندمان آبیاری و ثبات در سطح زیر کشت به دست آمده است. براساس آن، حجم تقاضای آبیاری نسبت به سناریوهای والد کم‌تر شده به طوری که با کاهش نیاز آبیاری و انتقال آب به بخش صنعت مطابق جدول ۷ حجم آب تأمین

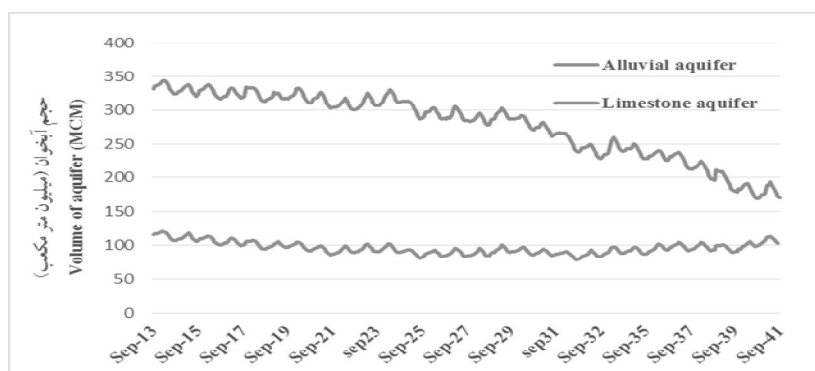
جدول ۷- نتایج سناریوی S_{31} (بر حسب میلیون مترمکعب).

Table 7. Results of S_{31} scenario (in million cubic meters).

حجم آب برگشتی به آبخوان‌ها Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
480.7	104.9	486.2	302.1	0	0	507.2	12.9
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
آبرفتی Alluvial	آهکی Limestone		شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	
0.47	6.02		100	100	60.4	71.5	

روند رو به رشدی دارد اما آبخوان آهکی کماکان با افت حجم ذخیره آبخوان مواجه است. خوشبختانه با اعمال این سناریو وضعیت آبخوان آبرفتی بهبود یافته و تراز آب بالا آمده است.

با توجه به این‌که حجم آب برگشتی از صنعت در این سناریو افزایش پیدا کرده است و چون آب برگشتی از صنعت فقط به آبخوان آبرفتی می‌ریزد، در نتیجه همان‌طورکه در شکل ۱۱ نیز دیده می‌شود، حجم ذخیره آبخوان آبرفتی در انتهای دوره شبیه‌سازی



شکل ۱۱- حجم آبخوان‌های آبرفتی و آهکی طی سال‌های شبیه‌سازی برای سناریو S32.

Figure 11. The volume of alluvial and limestone aquifers during the simulated years for S32 scenario.

چون درصد آب برگشتی از بخش صنعت بیش‌تر از کشاورزی است، برگشت آب از بخش صنعت می‌تواند بخش زیادی از آب برداشت شده را به منابع آب بازگرداند. افزایش تقاضای بخش صنعت به معنی افزایش تعداد صنایع منطقه است که با هدف ایجاد اشتغال و انتقال فعالان بخش کشاورزی به بخش صنعت انجام می‌گیرد. ولی باید توجه کرد که در توسعه صنعت و خدمات باید آب مورد نیاز از کشاورزان خریداری شود، نه این‌که پروانه بهره‌برداری جدید صادر شود. با اعمال این سناریو ۶۱ درصد کاهش افت در آبخوان آبرفتی و ۵/۸ درصد کاهش افت در آبخوان آهکی نسبت به سناریوی مرجع مشاهده شد. اعمال سناریوی افزایش راندمان آبیاری (S22) (البته به شرط عدم افزایش سطح زیر کشت) می‌تواند باعث کاهش تقاضای آب و در پی آن کاهش تقاضای تأمین نشده، گردد. در نتیجه با تأمین ۱۰۰ درصدی آب شرب شهری و روستایی و بهبود درصد تأمین آب کشاورزی و صنعت، شاخص

نتیجه‌گیری کلی

براساس تحت سناریو مرجع (S1) که بیانگر وضعیت فعلی مدیریت منابع آب است، با میانگین افت سالانه ۳/۲۷ میلیون مترمکعب در آبخوان آبرفتی و ۷ میلیون مترمکعب در آبخوان آهکی مواجه است که اگر این روند ادامه داشته باشد، برای تأمین آب مورد نیاز در همه بخش‌های شرب، کشاورزی و صنعت در سال‌های آینده دچار مشکل می‌شود که شاخص اعتمادپذیری تأمین آب برای شرب شهری، روستایی، کشاورزی و صنعت به ترتیب ۲۷/۸، ۵۵/۶، ۳۳/۱ و ۵۰/۲ درصد بیانگر این موضوع است. بنابراین نیاز به اعمال سناریوهای مدیریتی به‌خصوص در بخش کشاورزی احساس می‌شود. در سناریوی ثابت نگه داشتن سطح کشاورزی و افزایش تعداد صنایع (S21) اگرچه تقاضای بخش صنعت افزایش می‌یابد، ولی هم‌زمان کاهش نیاز آبی در بخش کشاورزی، آن را جبران خواهد کرد. با این‌که مجموع تقاضای کشاورزی و صنعت تغییر چندانی نکرده است اما

با ۰/۴۷ میلیون مترمکعب افت سالیانه حجم ذخیره به تعادل نسبی رسیده است اما آبخوان آهکی با ۶/۰۲ میلیون مترمکعب افت سالیانه حجم ذخیره دچار مشکل است که نیازمند اقدامات بیش‌تر در این زمینه می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که با اعمال سناریوهای دیگری از جمله تغییر الگوی کشت در بخش کشاورزی و مدیریت تقاضا در بخش‌های شرب و صنعت که منجر به کاهش مصرف آب در حوضه می‌شود، در جهت بهبود وضعیت منابع دشت بجنورد اقدامی صورت گیرد.

اعتمادپذیری تأمین آب نیز به ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰، ۶۰/۲ و ۷۱/۵ درصد شد. با اعمال این سناریو ۴۸ درصد کاهش افت در آبخوان آبرفتی و ۲۸ درصد کاهش افت در آبخوان آهکی نسبت به سناریوی مرجع مشاهده شد. با طرح و اجرای سناریوی ترکیبی (S₃₁) چنین نتیجه گرفته شد که در صورت به‌کارگیری هم‌زمان دو راهبرد ثابت نگه داشتن سطح کشاورزی و افزایش تعداد صنایع و افزایش راندمان آبیاری، وضعیت درصد تأمین آب و ذخیره آب زیرزمینی آبخوان‌های آبرفتی و آهکی نسبت به کاربرد منفرد هر کدام از این اقدامات بهتر خواهد بود. آبخوان آبرفتی

منابع

1. Assaf, H., and Saadeh, M. 2008. Assessing water quality management options in the Upper Litani Basin, Lebanon, Using an integrated GIS-based decision support system. *Environmental Modeling & Software*. 23: 1327-1337.
2. Chit Sazan, M., and Saat Saz, M. 2005. Investigate of Water Resources Management Options by using MODFLOW model. *Shahid Chamran Sci. J.* 14: 35-47. (In Persian)
3. Gazerani, H. 2010. Application of subsystem of WEAP analysis in dissicion support systems (case study: Kashfrod watershed). M.Sc. Thesis, civil engineering faculty. Ferdowsi University of Mashahd, Iran. (In Persian)
4. Höllermann, B., Giertz, S., and Diekkruger, B. 2010. Benin 2025- Balancing future water availability and demand using the WEAP "Water Evaluation and Planning system". *Water Resources Management*. 24: 3591-3613.
5. Jonubi, R., Rezayi, H., and Behmanesh, J. 2013. Management of groundwater by the integration of surface and subsurface water with using MODFLOW model (Case study: Orumieh basin). *J. Water Irrig. Manage.* 1: 49-68. (In Persian)
6. Kohestani, N., Meftah Halghi, M., Dehghani, A.A., Yakhkeshi, M.A., and Jahani, N. 2010. Review of methods of integrated management of surface and groundwater resources. The second National Conference on Water, Behbahan, Iran. (In Persian)
7. Kresic, N. 1997. *Quantitative solutions in hydrogeology and ground water modeling*. CRC Press LLC, 115p.
8. Larsen, H., Mark, O., Jha, M.K., and Das Gupta, A. 2000. The application of models in integrated river basin management. Aisan institute of technology and DHI water and environment. Asian institute of technology, Po Box 4, Klong Luang Pathumthani 12120. Thailand.
9. Loucks, D.P., Beek, E., Stedinger, J.R., Dijkman, J.P.M., and Villars, M.T. 2005. *Water resources system planning and management an introduction to method, models and application*, published by United Nation Educational Scientific and Cultural Organization.
10. Mutiga, J.K., Mavengano, S.T., Zhongbo, S., Woldai, T., and Becht, R. 2010. Water allocation as a planning tool to minimize water use conflicts in the Upper Ewaso Ng'iro North Basin, Kenya. *Water Resources Management*, DOI 10.1007/s11269-010-9641-9.
11. Purkey, D.R., Joyce, B., Vicuna, S., Hanemann, M.W., Dale, L.L., Yates, D., and Dracup, J.A. 2008. Robust analysis of future climate change impacts on water for agriculture and other sectors: a case study in the Sacramento Valley. *Climatic Change*. 87: 109-122.

12. Saeidinia, M., Samadi Brujeni, H., Arab, D., and Fattahi, R. 2008. Investigate transferring water from the Karoon branches adjacent to the basin by using WEAP model (Case study: Behesht Abad Tunnel). Iran. Water Res. J. 3: 33-44. (In Persian)
13. Sanchez, G., and Esqueda, T. 2011. Vulnerability of water resources to climate change scenarios. Impacts on the irrigation districts in the Guayalejo-Tamesí river basin, Tamaulipas, México. *Atmósfera*. 24: 1. 141-155.
14. Sieber, J., and Purkey, D. 2011. Water Evaluation and Planning system (WEAP) user guide, Stockholm Environment Institute (SEI), U.S. Center.
15. Valera-Ortega, C., Blanco-Gutiérrez, I., Swartz, C.H., and Downing, T.E. 2011. Balancing Ground water conservation and rural livelihoods under water and climate uncertainties: An integrated hydro-economic modeling framework. *Global Environmental Change*-830, DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2010.12.001.
16. Yazdan Panah, T., Khoda Shenasi, S.A., Davari, K., and Ghahreman, B. 2007. Water Resources Management by using WEAP model (Case study: Azghand basin). *Agric. Sci. Technol. J.* 22: 213-221. (In Persian)



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(4), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Water demand management in agriculture and its impact on water resources of Bojnord basin with WEAP and MODFLOW models

M. Hajipour¹, *M. Zakerinia², A.N. Ziaee³ and M. Hesam²

¹M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
Received: 10/27/2014; Accepted: 06/06/2015

Abstract

Background and Objectives: Agricultural and industrial development, degradation of surface water resources, groundwater levels drop are among the major factor causing water scarcity. The integrated management of groundwater and surface waters serves as a solution to cope with such issues.

Materials and Methods: In the present study, using a water resources simulation model WEAP and its adjunction to the groundwater simulation model MODFLOW, consumption for Dashte Bojnord basin was evaluated. Calibration and validation of both models were undertaken based on 6 years (from 2005-06 to 2010-11) and 2 years (from 2011-12 to 2012-13) respectively. Then different management scenarios, including keeping acreage and cultivation area as constant against increasing number of industries, increasing irrigation efficiency in agriculture were considered combinations of the above scenarios alleviate reduce water demand. Under this scenario, projections for a period of 28 years (from 2013-14 to 2040-41) and its effects on water resources of the basin were studied.

Results: The results showed that simultaneous applying multiple water management strategies seems to be better than any of its individual states, reducing water withdrawing on various resources. Reliability of water supply in the whole complex scenario, for urban drinking water, rural, agriculture and industry purposes was estimated to be 100, 100, 60.4 and 71.5 percent. To adopt above scenario alluvial aquifer by drop about 0.47 million cubic meters per year could be the relative balance between aquifers exploitation and recharge but limestone aquifer by drop about 6.02 million cubic meters per year need more management actions to have no problems.

Conclusion: With simultaneous use of groundwater and surface models in management of water resources, reliable results would be achieved.

Keywords: Bojnord, Water management resources, WEAP and MODFLOW

* Corresponding Author; Email: a_zakerinia@yahoo.com

