نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و ششم، شماره اول، ۱۳۹۸
http://jwsc.gau.ac.ir
۱۸۷-۲۰۳

مدیریت تلفیقی تقاضای آب در بخش شرب و صنعت به کمک اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW (مطالعه موردی: شهر بجنورد)

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

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۲۹

چکیده

سابقه و هدف: توسعه خشکسالی افزایش جمعیت، 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. به‌عبارت دیگر با مدیریت یکپارچه منابع آب که همان جامع‌نگری و لحاظ همه مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر در وضعیت منابع آب است، می‌توان به منابع پایدار آب در سطح ملی و بین‌المللی دست یافت. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سناریوهای مرتبط با میزان تأمین تقاضا و منابع آب موجود، مدیریت مصرف آب یکپارچه در بخش شهری و اعمال سیستم فاضلاب بر منطقه بجنورد انجام شده است. مدیریت تلفیقی منابع آب سطحی و زیرزمینی همان جامع‌نگری و لحاظ همه مؤلفه‌های تأثیرگذار و تأثیرپذیر در وضعیت منابع آب است. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سناریوهای مرتبط با میزان تأمین تقاضا و منابع آب موجود، مدیریت مصرف آب یکپارچه در بخش شهری و اعمال سیستم فاضلاب بر منطقه بجنورد انجام شده است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی سیستم‌های منابع آب (WEAP) و اتصال آن به مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی (MODFLOW)، مصارف بخش‌های مختلف دشت بجنورد ارزیابی شده است. واسنجی دو مدل بر اساس یک دوره ٦ ساله (از سال آبی ۸۵-۱۳۸٤ تا سال ۹۰-۱۳۸۹) و اعتبارسنجی آن برای یک دوره ۲ ساله (سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱) انجام گرفت. اختلاف بین سناریوهای مدیریتی شامل سناریوی وضع موجود منابع آب، تامین آب شرب شهر بجنورد حاصل از انتقال آب سد شیرین دره، توسعه سامانه فاضلاب و در نهایت ترکیب دو سناریوی اخر مورد توجه قرار گرفت. اثرات این سناریوها، برای یک دوره ۲۸ ساله از ۱۳۹۲ تا ۱٤۱۹ بر منابع آب دشت بجنورد مطالعه شد. داده‌های ایستگاه هیدرومتری باباامان در خروجی حوضه آبریز بجنورد که تنها ایستگاه هیدرومتری معرف این حوضه است، برای واسنجی کردن مدل WEAP استفاده شد. همچنین از آمار چهار ایستگاه باران‌سنجی، یک ایستگاه تبخیرسنجی و نیز یک ایستگاه سینوپتیک از سال آبی ۱۳۸۰ لغایت ۱۳۹۰ اخذ گردید. اطلاعات جمعیتی و میزان نیاز آبی تقاضاهای شهری و روستایی: جمعیت و میزان مصارف آن به‌ازای هر نفر مشخص

* مسئول مکاتبه: a_zakerinia@yahoo.com

گردید. سپس با محاسبه درصد حساسیت مدل، پارامترهای حساس و تأثیرگذار مشخص گردید، در نهایت ارزیابی نتایج از واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌ترتیب از سه نمایه ضریب راندمان نش- ساتکلیف (Ef)[1]، ضریب تعیین (R^2)[2] و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)[3] و برای ارزیابی سناریوها از شاخص اعتمادپذیری استفاده شد. در نهایت با به‌کارگیری مدل شبیه‌سازی منابع آب WEAP و اتصال آن به مدل شبیه‌سازی آب زیرزمینی MODFLOW، مصارف آب غیرکشاورزی حوضه آبریز دشت بجنورد مورد ارزیابی قرار گرفت. وضعیت آبخوان بجنورد تحت سناریوهای مرجع، تأمین آب با انتقال آب سد شیرین‌دره، احداث سیستم فاضلاب و سناریوی ترکیبی، با اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW شبیه‌سازی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد 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، برای بخش‌های شرب شهری، روستایی و صنعت به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ۶۵/۳ درصد برآورد گردید. در نتیجه این سناریو، آبخوان با تغذیه سالانه ۵/۳۹ میلیون مترمکعب می‌تواند از تعادل نسبی بین برداشت و تغذیه برخوردار باشد. بیش‌ترین آب تأمین نشده در بخش کشاورزی است که نشان‌دهنده اهمیت مدیریت تقاضای آب در این بخش با استفاده از روش‌های بهره‌وری استفاده از آب، مانند آبیاری نوین است. در بخش شرب و صنعت نیز ضریب اعتمادپذیری تأمین آب شهری، روستایی و صنعت بیش‌تر است. حجم آبخوان‌های آبرفتی و آهکی در سال‌های شبیه‌سازی طبق سناریوی مرجع و با ادامه وضع موجود هر دو آبخوان از روند نزولی برخوردارند.

نتیجه‌گیری: از به‌کارگیری هم‌زمان مدل آب شرب و صنعت در مدیریت منابع آب شهری، نتایج قابل‌اعتمادتری به‌دست خواهد آمد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان، حوزه آبریز، شبیه‌سازی، مدیریت منابع آب

مقدمه

مدیریت منابع آب به‌عنوان اصلی‌ترین راهکار ممکن برای رفع مشکلات ناشی از کاهش کمیت و افت کیفیت آب مطرح است. طبیعت پیچیده مسائل آب نیازمند روش‌های جدیدی است که دیدگاه‌های فنی، اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی را در یک قالب به‌هم‌پیوسته گردآوری نماید. این همان مفهوم مدیریت یکپارچه منابع آب[4] 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 (۱۰). این نوع از تحلیل نیازمند ابزار مدل‌سازی هیدرولوژیکی است که فرآیندهای فیزیکی مانند بارش، تبخیر و تعرق، رواناب، نفوذ و جریان آب زیرزمینی را شبیه‌سازی کند. تغییرات آب‌وهوا نیز بر کمیت و کیفیت آب در سیستم منابع آب تأثیر به‌سزایی دارد که در این زمینه نیز به تحلیل جامعی نیاز می‌باشد (۱۱). مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی برنامه‌ریزی و تخصیص منابع آب موجود در سطح حوضه وجود دارد که از این بین استفاده از نرم‌افزار WEAP به‌دلیل جامعیت در لحاظ کردن توأم فرآیندهای فیزیکی و هیدرولوژیکی و

1- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient
2- The Coefficient of Determination
3- Root Mean Squre Error
4- Integrated Water Resources Management (IWRM)

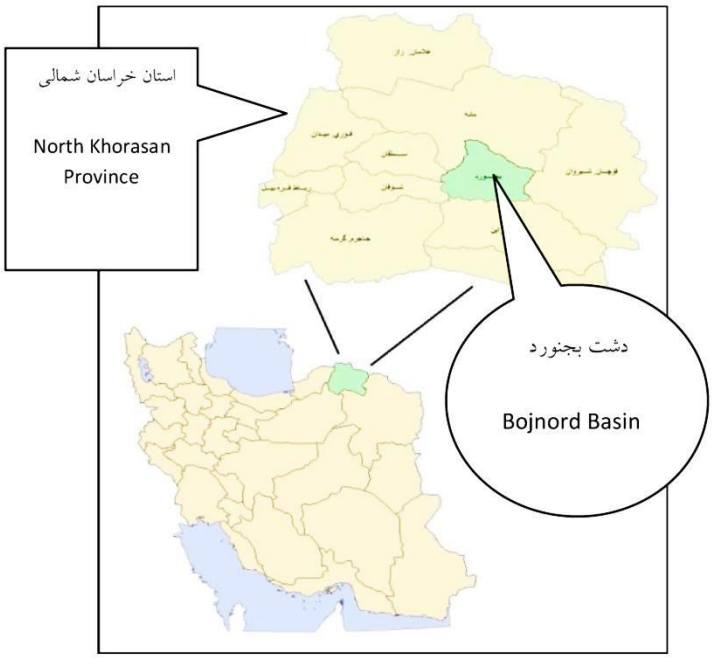
سیستم مدیریت و تخصیص آب، در نقاط مختلف دنیا فراگیر شده است. نرم‌افزار WEAP در بخش مدل‌سازی هیدرولوژیکی، تمامی فرآیندهای لازم جهت موازنه کمی آب‌های سطحی و اندرکنش سفره آب زیرزمینی با جریان رودخانه را مدل می‌کند (۱۲). یکی از محدودیت‌های این مدل آن است که جریان‌های آب زیرزمینی را به‌صورت یک مخزن بزرگ فرض می‌نماید و جریان‌های داخل این مخزن را مورد بررسی قرار می‌دهد. برای رفع این محدودیت می‌توان این مدل را به MODFLOW متصل نمود. این نرم‌افزار اولین بار در سال ۱۹۸٤ تحت عنوان مدل جریان سه‌بعدی تفاضل‌های محدود ارائه گردید. مدل در طول زمان تغییراتی یافت که به‌عنوان MODFLOW معرفی گردید. مدل MODFLOW 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 (۸). بنابراین مدل ریاضی MODFLOW به‌عنوان یک ابزار کارآمد و باصرفه جهت بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی مورداستفاده واقع می‌گردد (۲). لارسن و همکاران (۲۰۰۰) 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 (۹). اساف و ساده (۲۰۰۸) 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 (۱). هولرمن و همکاران (۲۰۱۰) 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 (۳). یزدان‌پناه و همکاران (۲۰۰۷) برای مدل کردن تقاضا، مصارف و ارتباط آن‌ها با منابع تأمین آب حوضه آبریز ازغند از مدل WEAP استفاده کردند (۱۳). نتایج شبیه‌سازی کوهستانی و همکاران (۲۰۱۰) در آبخوان نرماب واقع در استان گلستان با استفاده از مدل Modflow Visual نشان داد که مدل به خوبی با شرایط منطقه تطبیق داشته و در سه شرایط خشک، تر و نرمال موقعیت تراز سطح آب را به خوبی برآورد نموده است (۷). جنوبی و همکاران (۲۰۱۳) 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. مقایسه خطوط تراز بارهای هیدرولیکی محاسباتی حاصل از مدل با خطوط تراز بارهای مشاهداتی، بیانگر عملکرد خوب مدل با آبخوان طبیعی است (۵). قوچانیان و همکاران (۲۰۱۳) برای دشت بیرجند ابتدا مدل مفهومی آب زیرزمینی تهیه گردید. خروجی مدل مفهومی به‌منظور بررسی تأثیر پارامترهایی چون تغییر اقلیم، نرخ رشد جمعیت بر سطح آب زیرزمینی در مدل مدیریت تخصیص WEAP مورد استفاده قرار دادند. سناریوی مورد بحث نیز بررسی میزان تقاضا و ذخیره منابع زیرزمینی با افزایش جمعیت، کاهش سطح زیرکشت و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای بود. نتایج نشان داد که کاهش سطح زیر کشت تا ۲۰ درصد و راندمان آبیاری ۹۰ درصد باعث کاهش ۱٤ درصدی تقاضای آب خواهد شد (٦).

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 MODFLOW برای مدل‌سازی آبخوان دشت و اهداف موردنظر پژوهش بهره جست. 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 دارد. حوضه آبریز بجنورد به‌دلیل کم بودن جریانات سطحی، منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز منطقه، آب‌های زیرزمینی بوده که از آبخوان دشت بجنورد تغذیه می‌شوند. این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سناریوهای مرتبط با میزان تأمین تقاضا و منابع آب موجود، مدیریت مصرف آب یکپارچه در بخش شهری و اعمال سیستم فاضلاب بر منطقه بجنورد انجام شده است.

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 ١٤ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌باشد. این حوضه تقریباً در مرکز استان خراسان شمالی و در حدفاصل طول جغرافیایی ′۸ و °۵۷ تا ′۲۵ و °۵۷ و عرض جغرافیایی ′۱۳ و °۳۷ تا ′۲۱ و °۳۷ واقع شده است. وسعت این حوضه در حدود ۱۲٦۵/۸ کیلومترمربع می‌باشد که ۱۰۵/٦ کیلومترمربع 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 بابامان 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 (سالنامه آماری شرکت آب منطقه‌ای، ١٣٩٤).

طبق سرشماری سال ۱۳۸۵، جمعیت شهری بجنورد ١٧٦٧٢٦ نفر اعلام شده است که سرانه آب مصرفی برای هر نفر ٢١٦ لیتر بر روز برآورد شده است. منابع تأمین آب شرب شهری بجنورد از طریق حفر چاه‌های عمیق و نیمه عمیق در سطح شهر و اطراف آن تأمین می‌شود. با در دست داشتن اطلاعات مربوط به جمعیت، نرخ رشد جمعیت، سرانه مصرفی هر نفر و تغییرات ماهانه مصرف مشخص گردید که نیاز شرب بجنورد در ماه‌های تیر و مرداد حداکثر خواهد بود. موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز بجنورد در استان خراسان شمالی، در شکل ۱ نمایش داده شده است.



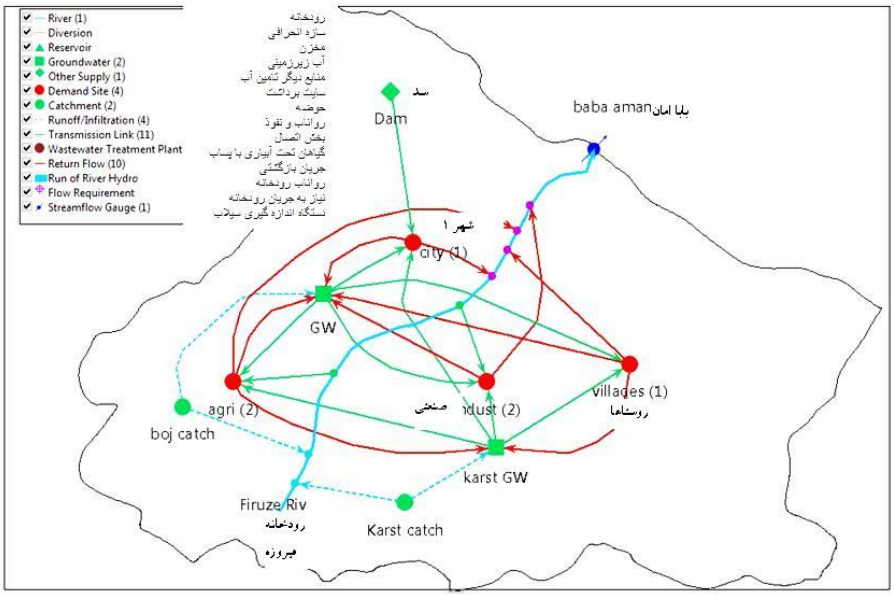
شکل ۱- موقعیت حوضه و رودخانه‌های مورد مطالعه.

Figure 1. Location of the study area.

مصارف آب شرب و صنعت: محدوده مطالعاتی بجنورد شامل ۱۳۳ واحد صنعتی فعال و ۲۲٦ واحد صنعتی غیرفعال می‌باشد که این تعداد وسعتی حدود ۰/۱ درصد از کل سطح حوضه را دربر گرفته است. لازم به توضیح است که در این دشت ۲ شهرک تحت عناوین شهرک صنعتی بجنورد با ۳۵ واحد صنعتی فعال و ۱۳ واحد صنعتی غیرفعال و شهرک صنعتی بیدک با ۱۳ واحد صنعتی فعال و ٤۰ واحد صنعتی غیرفعال وجود دارد. میزان مصارف آب صنایع محدوده مطالعاتی بجنورد بر اساس گزارش‌های آب منطقه‌ای در نظر گرفته شده و به مدل وارد گردید.

مدل WEAP: مدل ویپ بر اساس معادلات پایه بیلان آبی عمل کرده و در سیستم‌های شهری و کشاورزی، حوضه‌های مستقل یا سیستم‌های رودخانه‌ای پیچیده به‌کار می‌رود. 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 (۱۲). این نرم‌افزارشبیه‌سازی، سیستم حوضه رودخانه را به‌صورت گره کمان مدل می‌نمایند. گره‌ها بیانگر نقاط نیاز، آبخوان‌ها، سدها، نیروگاه‌های برق‌آبی و ... می‌باشند و کمان‌ها هم آب را بین گره‌های مختلف، انتقال می‌دهند (شکل ۲).

جدول ۱ اسامی مؤلفه‌های به کار 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: میزان تقاضای آبی در مکان‌های مختلف محاسبه می‌گردد. ۳) مرحله تخصیص آب: بر اساس تقاضا، موجودی آب و اولویت‌ها، تخصیص آب صورت می‌گیرد. در این پژوهش برای تولید داده‌های سرآب از شبیه‌سازی هیدرولوژیکی (زیرمدل‌های موجود) استفاده شده است.



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 به‌کار رفته در شماتیک مدل.

Table 1. Location of the study area.

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

داده‌های موردنیاز: ۱) ایستگاه بابامان: برای واسنجی 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 که آمار و اطلاعات کلیه 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. ٤) منابع آب‌های زیرزمینی: طبق مطالعات زمین‌شناسی، حوضه بجنورد دارای دو نوع آبخوان آبرفتی و آهکی است که هر دو آبخوان در مدل تعریف شده‌اند.

مدل MODFLOW: این مدل به‌عنوان یک مدل تفاضل محدود سه‌بعدی جریان غیرماندگار در محیط متخلخل اشباع، اشباع، غیرهمگن و غیرایزوتروپ برای تشریح و پیشگویی رفتار جریان در سیستم‌های منابع آب زیرزمینی مطرح می‌باشد (۸). بنابراین مدل ریاضی MODFLOW به‌عنوان یک ابزار کارآمد و باصرفه جهت بررسی گزینه‌های مختلف مدیریتی مورد استفاده واقع می‌گردد (۲). برای مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی توسط مدل MODFLOW قدم اول تهیه یک مدل مفهومی از منطقه مورد مطالعه است 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 محاسبه‌شده توسط WEAP در خصوص نفوذهای زیرزمینی[1]، سطح رودخانه‌ها، برداشت از آب‌های زیرزمینی (پمپاژ) و رواناب‌های سطحی به‌صورت ورودی به MODFLOW ارسال شود و پس از محاسبه توسط این نرم‌افزار، تراز یا هد آب زیرزمینی، جریان‌های فرعی بین آبخوان‌ها و جریان بین آب سطحی و زیرزمینی به‌عنوان ورودی گام بعدی محاسبات به WEAP ارسال می‌شود.

انتخاب پارامترهای حساس: برای بیان کمی حساسیت مدل نسبت به تغییر در پارامترهای تأثیرگذار در آورد رودخانه، از رابطه ۱ استفاده شده است.

$$S = \frac{y_b - y_r}{y_r} \qquad (۱)$$

که در آن، S حساسیت مدل، y_b خروجی حاصل از تغییر پارامتر b_1، y_r خروجی مدل در حالت اول (وضع موجود) و b پارامترهایی (که طبق سناریو) تغییر می‌یابند. آن‌گاه میانگین S (میانگین ضریب حساسیت) برای هر پارامتر محاسبه شد تا به‌عنوان یک معیار کمی برای ارزیابی حساسیت پارامترها استفاده شود.

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 واسنجی‌شده، 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 (Ef)[2]، ضریب تعیین (R^2)[3] و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)[4] و برای ارزیابی سناریوها از شاخص اعتمادپذیری استفاده شد.

1- Natural Recharge

2- Nash-Sutcliffe model efficiency coefficient

3- The Coefficient of Determination

4- Root Mean Squre Error

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$E_f = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2} \quad (۳)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O}) \times (P_i - \overline{O})]^2}{[\frac{n \times \sum_{i=1}^{n} O_i^2 - [\sum_{i=1}^{n} O_i]^2}{n-1}] \times [\frac{n \times \sum_{i=1}^{n} P_i^2 - [\sum_{i=1}^{n} P_i]^2}{n-1}]} \quad (۴)$$

که در آن‌ها، O_i و P_i به‌ترتیب مقادیر مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، $\overline{O}$ میانگین مقادیر مشاهداتی و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

شاخص اعتمادپذیری: فراوانی نسبی عدم شکست را، اعتمادپذیری می‌نامند. به‌طور معمول آستانه شکست به‌صورت نیاز آبی پایین‌دست تعریف می‌شود ولی این موضوع قراردادی است و می‌توان آن را تغییر داد. خروجی‌های سیستم به دو مجموعه مقادیر رضایت‌بخش (S) و مقادیر نارضایت‌بخش (F) تقسیم می‌شوند. اعتمادپذیری سیستم، α، یعنی احتمال آن‌که سیستم در حالت رضایت‌بخش است.

$$\alpha = prob[x_1 \in s] \quad (۵)$$

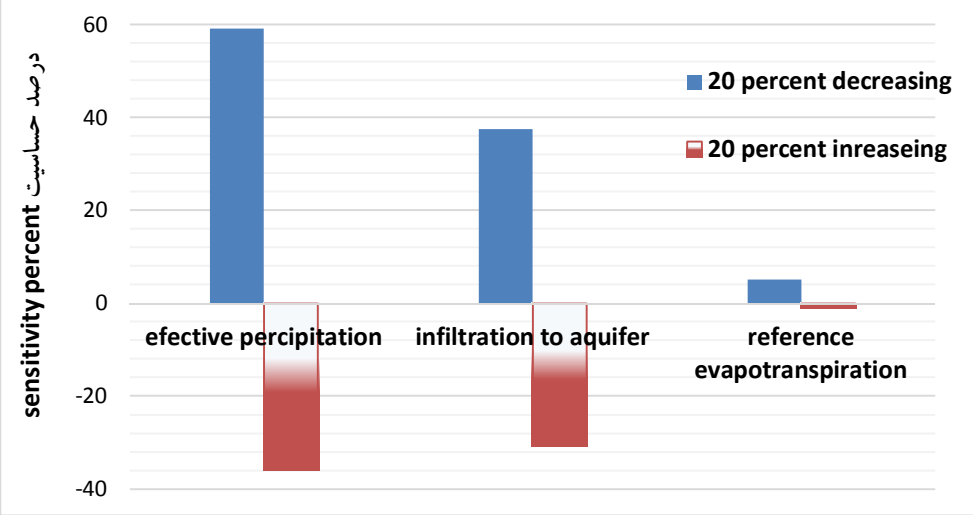
سناریوها: سناریوهای اعمال شده در این پژوهش در سه سطح بود که تعاریف مربوط به هر کدام از آن‌ها به‌طور اجمالی در جدول ۲ ارائه شده است.

تحلیل حساسیت مدل WEAP: در این بخش به ارزیابی حساسیت مدل در قبال تغییر پارامترهای بارش مؤثر، درصد نفوذ به آبخوان و تبخیر و تعرق پرداخته می‌شود. مقادیر هر کدام از این پارامترها به‌طور جداگانه به‌میزان ۲۰ درصد افزایش و کاهش داده شد و سپس تحت این شرایط مدل برای سال‌های شبیه‌سازی اجرا گردید (شکل ۳). با ۲۰ درصد افزایش بارش مؤثر نسبت به سناریوی مرجع حجم آورد رودخانه نسبت به سناریوی مرجع افزایش‌یافته و متقابلاً کاهش ۲۰ درصدی بارش مؤثر منجر به کاهش حجم آورد رودخانه شده است. طبق تعریف بارش مؤثر که در بخش قبل توضیح داده شد، این پارامتر با حجم آورد رودخانه رابطه عکس دارد. همچنین حجم آورد رودخانه با پارامتر نفوذ به آبخوان نسبت عکس دارد، به‌طوری‌که افزایش ۲۰ درصدی این پارامتر منجر به کاهش آورد. رودخانه و کاهش ۲۰ درصدی آن موجب افزایش حجم آورد رودخانه نسبت به سناریوی مرجع خواهد شد. تبخیر و تعرق مرجع نیز تأثیر چندانی بر روی خروجی مدل (آورد رودخانه) ندارد (شکل ۵). به این دلیل که تبخیر و تعرق مرجع در واقع به‌عنوان یک قید در مدل لحاظ می‌شود و تأثیر مستقیم بر روی خروجی آن ندارد. زمانی که تبخیر و تعرق محاسبه‌شده توسط مدل برای یک ماه معین بیش‌تر از تبخیر و تعرق پتانسیل باشد، مدل تبخیر و تعرق پتانسیل را برای آن ماه در ادامه محاسبات در نظر می‌گیرد.

جدول ۲- سناریوهای مختلف مطرح‌شده برای سال‌های شبیه‌سازی.

Table 2. The various proposed scenarios to simulated years.

سطح Level	نام اختصاری symbol	توضیحات comments
یک One	S1	سناریوی مرجع: ادامه اوضاع موجود، بدون تغییر در سیاست‌های مدیریتی Reference scenario: Continue current situation, with no change in policies
دو Two	S21	سناریوی تامین آب شرب بجنورد Drinking water supply for Bojnurd city
	S24	سناریوی اجرای سیستم فاضلاب در شهر بجنورد و بررسی تأثیر آن بر سطح آب زیرزمینی Implementation of Bojnourd city wastewater collection Scenario and its effect on ground water table
سه three	S31	ترکیب سناریوهای S21 و S24 Combined of S21 and S22 Scenarios

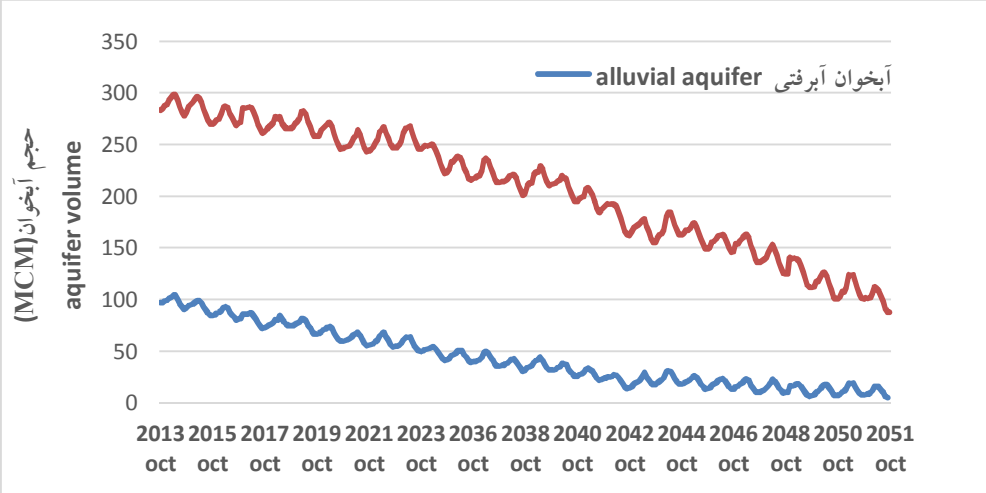


شکل ۳- درصد حساسیت ناشی از تغییر پارامترهای مختلف بر آورد رودخانه.

Figure 3. SensitivityPercent due to the changing various parameters on the river flow.

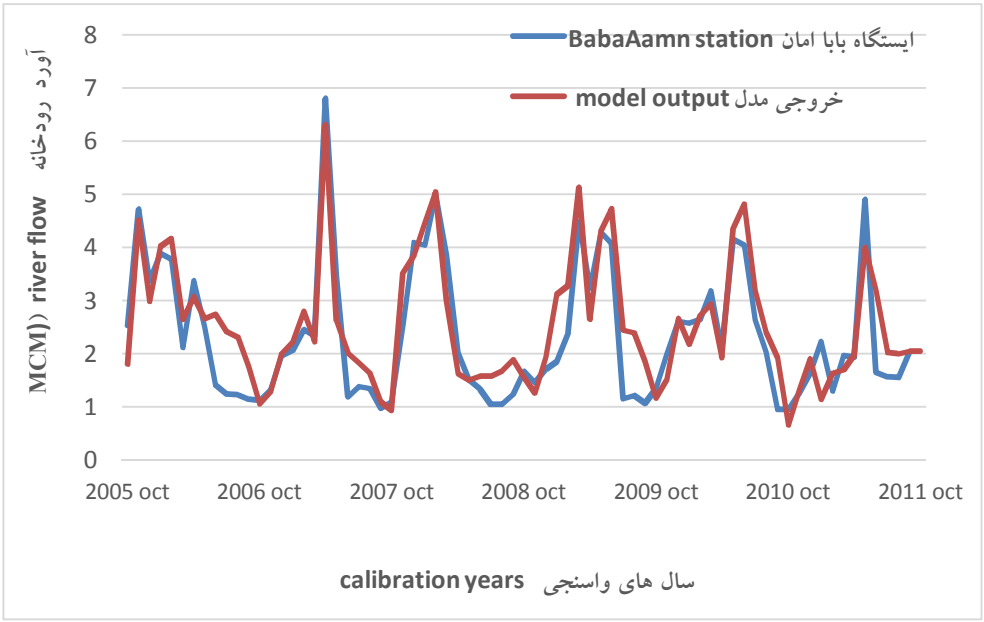
تغییر پارامتر تبخیر و تعرق مرجع فقط در ماه‌های به‌خصوصی روی حجم آورد رودخانه تأثیر گذاشته است.

نتایج واسنجی و واسنجی: فرآیند واسنجی از سال ۸۵-۱۳۸٤ تا سال ۹۰-۱۳۸۹ و اعتبارسنجی سال‌های ۹۱-۱۳۹۰ و ۹۲-۱۳۹۱ برای جریان شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با جریان مشاهده شده در ایستگاه آب‌سنجی باباامان با استفاده از پارامترهای بارش مؤثر و درصد نفوذ به آبخوان صورت گرفت (شکل ۵). نتایج ارزیابی مدل WEAP در ایستگاه باباامان در جدول ۳ نمایش داده شده است.



شکل ٤- حجم آبخوان‌های آبرفتی و آهکی طی سال‌های شبیه‌سازی برای سناریو S1.

Figure 4. The volume of alluvial and limestone aquifers during simulated years for S1scenario.



شکل ٥- نتایج واسنجی مدل WEAP در ایستگاه باباامان.

Figure 5. The WEAP model calibration for Baba Aman station.

جدول ۳- نتایج ارزیابی مدل WEAP در ایستگاه باباامان.

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

اعتبارسنجی Validation			واسنجی Calibration		
RMSE	R^2	Ef	[1]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)

سناریوی مرجع: نتایج به‌دست آمده از اجرای سناریوی مرجع در جدول ٤ نمایش داده شده است. مطابق جدول بیش‌ترین آب تأمین نشده در بخش کشاورزی است که نشان‌دهنده اهمیت مدیریت تقاضای آب در این بخش با استفاده از روش‌های بهره‌وری استفاده از آب، مانند آبیاری نوین است. در بخش شرب و صنعت نیز ضریب اعتمادپذیری تأمین آب شهری، روستایی و صنعت بیش‌تر است. حجم آبخوان‌های آبرفتی و آهکی در سال‌های شبیه‌سازی طبق سناریوی مرجع و با ادامه وضع موجود در شکل ٤ ارائه شده است. هر دو آبخوان از روند نزولی برخوردارند. یزدان‌پناه و همکاران (١٣٨٦) نیز برای حوضه ازغند به کمک مدل ویپ به نتایج مشابه اشاره نمودند (١٣).

جدول ٤- نتایج سناریوی S1 (بر حسب میلیون مترمکعب).

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

حجم کل آب تأمین‌نشده Total water volume that is not supplied				حجم آب برگشتی به آبخوان‌ها Return Flows to Aquifers			
صنعت Industry	کشاورزی Agriculture	روستاها Villages	شهر City	صنعت Industry	کشاورزی Agriculture	روستاها Villages	شهر City
68.71	1641.96	7.51	11.95	175.25	633.39	99.28	472.86

شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)				میانگین افت سالانه آبخوان (متر) The average annual decline in aquifer
صنعت Industry	کشاورزی Agriculture	روستاها Villages	شهر City	آبرفتی Alluvial
33.1	50.2	27.8	55.6	3.27

سناریوی اولویت تامین آب شرب بجنورد (S21): این سناریو با در نظر گرفتن طرح‌های توسعه منابع آب در حال اجرا، انتقال آب از سد شیرین‌دره به شهر بجنورد تدوین شده است. در سال‌های اخیر به‌دلیل آن‌که مقدار قابل‌توجهی از برداشت‌های صورت گرفته از آب زیرزمینی توسط چاه‌های موجود در محدوده شهر به‌منظور تأمین آب شرب شهر است. با اجرای این سناریو مشکل تأمین آب در بخش شرب حل می‌شود و باعث بهبود در بخش صنعت می‌شود به‌طوری‌که کمبود آب صنعت از ٦٨/٧ میلیون مترمکعب در سناریوی مرجع به ٢٣/١٧ میلیون مترمکعب کاهش می‌یابد (جدول ٥)؛ اما در بخش کشاورزی تغییری ایجاد نشد. همچنین اجرای این سناریوی باعث ٤٠ درصد کاهش افت در آبخوان دشت شده است که در جدول ٥ قابل‌مشاهده است؛ که با نتایج سعیدی‌نیا و همکاران (١٣٨٧) برای انتقال آب با تونل بهشت‌آباد از سرشاخه‌های کارون به حوضه‌های مجاور با استفاده از مدل WEAP همخوانی داشت (١١).

داده‌های موردنیاز: سطح ایستابی برای این سناریو که نتیجه لینک دو مدل است اجرای این سناریو باعث بهبود نسبی وضع آبخوان دشت شده است.

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

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

حجم آب برگشتی به آبخوان Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین‌نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
480.67	104.09	634	200.74	0	0	1640.03	23.17
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
میلیون مترمکعب million cubic meters				شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
6.09				100	100	52.1	56.3

اجرای سیستم فاضلاب در شهر بجنورد و بررسی تأثیر آن بر سطح آب زیرزمینی (S24): این سناریو با هدف کم کردن آلودگیناشی تغذیه‌ای آبی است که چاه‌های جذبی محدوده شهر به آب زیرزمینی اضافه می‌کنند. در این سناریو فرض شده است که با اجرای سیستم فاضلاب ۲۰ درصد از آب برگشتی از محدوده شهر تصفیه‌شده و در سایر بخش‌ها مانند فضای سبز یا صنعت استفاده می‌شود. با اجرای این سناریو ٦/٤ درصد از تغذیه آبخوان کاهش می‌یابد. با اجرای این سناریو مشکلی در تأمین آب شرب شهری نبوده و در بخش صنعت درصد تأمین آب افزایش یافته است؛ اما در بخش‌های شرب روستایی و کشاورزی تغییری ایجاد نشده است. این نتایج در توافق با نتایج جعفری (۱۳۹۲) است که نشان داد که با اجرای سیستم جمع‌آوری فاضلاب و حذف چاه‌های جذبی تا ٤٣ درصد از میزان تغذیه آب زیرزمینی کاسته شده و کاهش در تغذیه باعث فروافتادن تراز سطح آب زیرزمینی می‌گردد (٤). با اجرای این سناریو که اگر توسعه سیستم فاضلاب شهری بدون در نظر گرفتن افزایش برداشت و کاهش تغذیه آبخوان صورت گیرد، در آینده‌ای نه‌چندان دور، آبخوان دشت با مشکل روبرو خواهد شد و به حداقل حجم خود می‌رسد. همچنین سایر نتایج این سناریو در جدول ٦ بیان‌شده است.

جدول ٦- نتایج سناریوی S24 (بر حسب میلیون مترمکعب).

Table 6. Results of S24 Scenario (in million cubic meters).

حجم آب برگشتی به آبخوان Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین‌نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
380.93	99.28	633.98	198.04	0	7.5	1640.1	28
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
میلیون مترمکعب million cubic meters				شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
8.65				100	27.8	51.6	49.8

سناریوی (S31): ترکیب سناریوهای S21 و S24: این سناریو به‌منظور بررسی تأثیر هم‌زمان دو سناریوی تأمین آب شرب بجنورد (S21) و سناریوی اجرای سیستم فاضلاب (S24) تدوین‌شده و مدل بر اساس آن اجرا گردید. طبق این سناریو آب موردنیاز در بخش شرب به‌طور کامل شده است و در بخش صنعت نیز درصد تأمین افزایش یافته است؛ اما در بخش کشاورزی تغییری ایجاد نشده است. با توجه نتایج شبیه‌سازی این سناریوی S31 حجم ذخیره آبخوان در این سناریو نسبت به سناریوی مرجع و هم‌چنین سناریوهای والدش (S21 و S24) بیش‌تر است. نتایج این سناریو در جدول ۷ ارائه شده است؛ که نشان‌دهنده، آن است که حجم آب تأمین نشده در دو بخش کشاورزی و صنعت کاهش یافته است. در بخش شرب مشکلی وجود ندارد. همچنین مقدار آب برگشتی به آبخوان نسبت به سناریو مرجع کاهش یافته است.

جدول ۷- نتایج سناریوی S31 (بر حسب میلیون مترمکعب).

Table 7. Results of S31scenario (in million cubic meters).

حجم آب برگشتی به آبخوان‌ها Return Flows to Aquifers				حجم کل آب تأمین‌نشده Total water volume that is not supplied			
شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry	شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
384.59	104.9	634.04	207.06	0	0	1640	10.93
میانگین افت سالانه آبخوان The average annual decline in aquifer				شاخص اعتمادپذیری (درصد) Reliability index (Percent)			
میلیون مترمکعب				شهر City	روستاها Villages	کشاورزی Agriculture	صنعت Industry
5.39				100	100	52.1	65.3

نتیجه‌گیری

در این پژوهش وضعیت آبخوان بجنورد تحت سناریوهای مرجع، تأمین آب با انتقال آب سد شیرین‌دره، احداث سیستم فاضلاب و سناریوی ترکیبی، با اتصال مدل‌های WEAP و MODFLOW شبیه‌سازی شد. براساس سناریو مرجع (S1) که بیانگر وضعیت فعلی مدیریت منابع آب است، با میانگین افت سالیانه 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 موردنیاز 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 به‌ترتیب ۵۵/۶، ۲۷/۸، ۵۰/۲ و ۳۳/۱ درصد بیانگر این موضوع است. با اعمال سناریوی تأمین آب شرب بجنورد با انتقال آب از سد شیرین‌دره (S21)، مشکلی در تأمین آب شرب وجود نخواهد داشت و شاخص اعتمادپذیری برای شرب شهری و روستایی ۱۰۰ درصد می‌شود. همچنین در بخش صنعت نیز با کاهش کمبودها، شاخص اعتمادپذیری از ۳۳/۱ درصد به ۵۶/۳ درصد می‌رسد؛ اما در بخش کشاورزی تغییری ایجاد

نمی‌شود. با اعمال این سناریو ٤٠ درصد کاهش افت در آبخوان نسبت به سناریوی مرجع مشاهده شد. اعمال سناریوی اجرای سیستم فاضلاب (S24) باعث کاهش ٦/٤ درصدی تغذیه آبخوان دشت شد. اعمال این سناریو در تأمین آب موردنیاز شرب شهری و صنعت مؤثر واقع شده اما در بخش‌های شرب روستایی و کشاورزی تغییری ایجاد نکرده است. شاخص اعتمادپذیری برای شرب شهری، شرب روستایی، کشاورزی و صنعت به‌ترتیب ۱۰۰، ۲۸/۸، ۵۱/٦ و ٤۹/۸ درصد شده است. با طرح و اجرای سناریوی ترکیبی (S31) (به‌کارگیری هم‌زمان دو راهبرد تأمین آب شرب از طریق انتقال از سد شیرین‌دره و اجرای سیستم فاضلاب)، وضعیت درصد تأمین آب و ذخیره آب زیرزمینی نسبت به کاربرد منفرد هر کدام از این سناریوها بهتر خواهد بود؛ اما تأثیر چندانی بر بخش کشاورزی نداشته است و نیازمند اجرای سناریوهای تأثیرگذار بر بخش کشاورزی است. شاخص اعتمادپذیری در این سناریو برای بخش‌های شرب شهری، روستایی و صنعت به‌ترتیب ۱۰۰، ۱۰۰ و ٦۵/۳ درصد شده است.

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. 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.
4. Jafari, Z. 2013. Simulation of groundwater table fluctuation in an urban region and Evaluationof the factors affecting. M.Sc. thesis. Agriculture College, Ferdowsiuniversity of Masshad.
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. Ghochanian, E., Etebari, B., Akbarpour, A. 2013. Integrating groundwater management with WEAP and MODFLOW models (Case study: Birjand Plain, east of Iran). CUE conference. Pp: 1-11.
7. 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)
8. Kresic, N. 1997. Quantitative solutions in hydrogeology and ground water modeling. CRC Press LLC, 115p.
9. 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.
10. 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.
11. 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)

12. Sieber, J., and Purkey, D. 2011. Water Evaluation and Planning system (WEAP) user guide, Stockholm Environment Institute (SEI), U.S. Center.10.1016/j.gloenvcha.2010.12.00.

13. Yazdan Panah, T., Khoda Shenas, 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. 26(1), 2019
http://jwsc.gau.ac.ir

Integrated management of water demand in urban and industry sectors by connection of WEAP and MODFLOW models (Case study: Bojnourd basin)

M. Haji Pour[1], *M. Zakerinia[2], A.N. Ziaei[3] and M. Hesam[2]

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad
Received: 05.28.2017; Accepted: 12.20.2018

Abstract

Background and Objectives: Population growth, 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 could serves as a solution to solve these challenges. In other words, sustainable water resources can be achieved through Integrated Water Resources Management, which is the comprehensive approach to all the components that affect and influences the status of water resources. With this approach, the importance of management tools such as integrated water resource simulation models to help planners and managers of this sector is increasingly evident. Connecting the WEAP model to MODFLOW allows the values calculated by WEAP to be sent to the MODFLOW for input on groundwater influxes, river levels, groundwater withdrawals (pumping) and surface runoffs. After it, the groundwater level, sub-streams between the aquifers and the flow between surface and underground water are sent to the WEAP as input of the next step of the calculation. The purpose of this research was to investigate the effects of scenarios related to demand and available water resources, integrated water management in the urban sector and sewage system application in Bojnourd region.

Materials and Methods: In this study, with using a water resources simulation model (WEAP) and its connection to groundwater simulation model (MODFLOW), water consumptions for Bojnourd basin was evaluated. Calibration and validation of both models has done under taken data based on 6 (from 2005-06 to 2010-11) and 2 years (from 2011-12 to 2012-13) respectively. Then different management scenarios, including current state water resources scenario, dam's drinking water supply for Bojnord city via transferring water from Shirin Dareh dam, developing sewage systems and finally combination of 2 last scenarios were considered. Under these scenarios, projections for a period of 28 years (from 2013-14 to 2040-41) and its effects on water resources of Bojnord basin were studied. The hydrometric station data of Babaaman at the outlet of the Bojnourd basin, which is the only hydrometric station representing this basin, was used to calibrate the WEAP model. Also, data from four rain-sensing stations, one evaporation station and one synoptic station were obtained from the year 2001 to 2011.Demographic data and urban water demand and rural demand, population and consumption per person was assessed. Industry sector Water demand is estimated monthly. According to geological studies, the Bojnourd basin has two types of alluvial and limestone aquifers, both of which are defined in the model. Then, sensitive and effective parameters were determined by calculating the sensitivity percentage of the mode. Finally, the results of calibration and validation of the model were done from three indicators of Nash-Sutcliff (Ef),

* Corresponding Author; Email: a_zakerinia@yahoo.com

Coefficient of determination (R^2) and Root Mean Square Error (RMSE), respectively, and the reliability index were used to evaluate the scenarios.

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 and industry purposes were estimated around 100, 100 and 65.3 percent, respectively. As a result of this scenario, the annual recharge of the aquifer with 5.39 million cubic meters per year can be relative balance between harvesting and recharge.

Conclusion: It can be concluded that reliable results will be obtained from simultaneous simulation of drinking and industry water management.

Keywords: Aquifer, Bojnourd, Simulation, Water resources management