Archive of SID

هیدروژئولوژی، سال چهارم، شماره ۱، تابستان ۱۳۹۸
Hydrogeology, Volume 4, No. 1, Summer 2019

مدل‌سازی رابطه هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت صحنه–بیستون با رودخانه گاماسیاب و مدیریت آبخوان

جواد حیدری[1*]، منوچهر چیت‌سازان[2]، سید یحیی میرزایی[3]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲- استاد زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳- استادیار زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
* نویسنده مسئول: : javad71910@gmail.com

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۸/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۰۴

چکیده

افزایش بی‌رویه جمعیت در سه دهه اخیر، محدودیت منابع آب‌های سطحی، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی، شهری و بهره‌برداری بیش‌ازاندازه از آبخوان‌ها باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری ازنظر کمّی و کیفی به منابع آبی کشور ایران شده است. برای جلوگیری از ادامه افت کمّی و کیفی، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به‌عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد. مدیریت منابع آب زیرزمینی مستلزم شناخت کافی از سیستم آبخوان و نیز به‌کارگیری ابزاری است که بتواند عکس‌العمل تنش‌های مختلف کمّی و کیفی وارده به آبخوان را در شرایط فعلی و آینده شبیه‌سازی کند. در این ارتباط با استفاده از مدل می‌توان شرایط واقعی در طبیعت را با دقت مناسبی شبیه‌سازی و به نتایج قابل قبولی دست‌یافت. محدوده مطالعاتی حوزه گاماسیاب در دشت صحنه-بیستون در شرق استان کرمانشاه واقع شده است. در این ناحیه تنها یک مورد تحقیق در بخش کوچکی از آبخوان انجام شده و شرایط حاکم بر سایر نواحی دشت مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در تحقیق حاضر وضعیت آبخوان و ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی در تمامی پهنه آبخوان دشت صحنه-بیستون با استفاده از کد MODFLOW 2000توسط نرم‌افزار GMS v10 شبیه‌سازی شد. نتایج به دست آمده از مدل نشان می‌دهد که بودجه آبی دشت صحنه-بیستون در سال آبی ۸۸-۸۷ منفی و برابر ۲۲/۸۱ میلیون مترمکعب در سال است. عمده‌ترین عامل تغذیه کننده آبخوان نیز تغذیه از رودخانه به میزان ۲۴/۸۸ میلیون مترمکعب در سال است و مهم‌ترین عامل تخلیه کننده آبخوان، پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری به میزان ۳۶/۰۴ میلیون مترمکعب در سال است. به نتایج مدل نشان می‌دهد که رودخانه گاماسیاب آبخوان را در دو ناحیه تغذیه می‌کند و در سایر نواحی آبخوان را تخلیه می‌کند. در مجموع ۱۵/۳۵ میلیون مترمکعب در سال توسط رودخانه آب از آبخوان تخلیه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: بیلان بخشی، حوضه آبریز گاماسیاب، دشت صحنه-بیستون، شبیه‌سازی، واسنجی.

مقدمه

مدیریت صحیح و منطقی منابع آب، نیازمند شناخت ارتباط متقابل منابع سطحی و زیرزمینی است. منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی، سیستم‌های پیوسته‌ای هستند که به‌طور دائم باهم در ارتباط می‌باشند. آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی از لحاظ هیدرولوژیکی سیستمی جدا از هم نبوده، بلکه در بسیاری از مناظر فیزیوگرافی و اقلیمی در تعامل با یکدیگر هستند (سوفوکلئوس، ۲۰۰۲). رودخانه‌ها بر اساس ارتباط با آب

www.SID.ir

Archive of SID

زیرزمینی به سه دسته تقسیم می‌شوند، دسته اول آبخوان را زهکش، دسته دوم آبخوان را تغذیه و دسته سوم نیز به هر دو صورت عمل می‌کنند (وینتر و همکاران، ۱۹۹۸). جهت جریان بین رودخانه و آبخوان اغلب دارای روند ثابتی نیست و ممکن است در طول زمان تغییر کند. در بسیاری از نواحی آب زیرزمینی و آب‌های سطحی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، سدها و...) با آب زیرزمینی ارتباط هیدرولیکی دارند و برداشت از هرکدام از این منابع و یا تغییر کیفیت هر یک می‌تواند بر روی دیگری اثرگذار باشد (جاوید، ۱۳۸۵)، به همین دلیل به‌منظور مدیریت مؤثر منابع آب، درک اصول زیربنایی روابط حاکم بر ارتباط آب زیرزمینی و آب سطحی ضروری و حیاتی است، به‌ویژه در مناطقی که آب‌های سطحی از قبیل رودخانه‌ها و آبراهه‌ها آب زیرزمینی را تغذیه می‌کنند؛ بنابراین شناخت درست و اساسی از چگونگی ارتباط هیدرولیکی منابع آب‌های سطحی با آب زیرزمینی، مخصوصاً رودخانه‌های دائمی که در بخش کم‌عمق آبخوان جریان دارند از اهمیت خاصی برخوردار بوده و در مدیریت بهینه و استفاده درست از این منابع می‌تواند مؤثر واقع گردد. امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی به‌منظور شبیه‌سازی آبخوان و شرایط حاکم بر آن به امری متداول در مبحث آب‌های زیرزمینی تبدیل شده است (چیت‌سازان و همکاران، ۱۳۹۱) مطالعات مدل‌سازی در ایران برای اولین بار در سال ۱۹۹۰ توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) صورت گرفت. در پی این اقدام اولین آبخوانی که مدل آن تهیه شد، آبخوان دشت ورامین (جنوب شرقی تهران) بوده است (عطارزاده، ۱۳۶۰). توسلی و چیت‌سازان (۱۳۷۷) با استفاده از مدل عناصر محدود آبخوان دشت مهیار را شبیه‌سازی و مقدار هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه آبخوان را بهینه کردند. سپس با استفاده از مدل ساخته‌شده، شیوه‌های مختلف بهره برداری تلفیقی از آب زیرزمینی و آب انتقالی از زاینده‌رود به دشت مهیار را بررسی نموده و گزینه برتر را انتخاب کردند. کاظمی (۱۳۸۱) با استفاده از مدل شبیه‌سازی آبخوان دشت قوچان- شیروان را با هدف ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریتی بررسی کرد. احمدی افزدی و چیت‌سازان (۱۳۸۱) از مدل تفاضلات محدود Visual Modflow برای مدیریت منابع آب دشت کرمان استفاده کردند. چیت‌سازان و نوذرپور (۱۳۹۴) ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز را با استفاده از مدل MODFLOW شبیه‌سازی کردند، چیت‌سازان و همکاران (۱۳۹۴) پیش‌بینی اثر متقابل رودخانه-آبخوان در دشت دوسلوق در استان خوزستان با استفاده از MODFLOW را انجام دادند. هدف از ساخت مدل ریاضی یک آبخوان، شبیه‌سازی شرایط طبیعی جریان آب زیرزمینی با استفاده از روابط ریاضی است. در صورتی که شبیه‌سازی یک آبخوان با موفقیت صورت گیرد می‌توان با دقت مناسبی در مباحث مدیریتی از آن بهره گرفت، آگاهی و درک ارتباط بین آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی باعث افزایش قابلیت مدل‌های تفهیمی و ریاضی و بازسازی صحیح رابطه متقابل و پیچیده منابع آب‌های زیرزمینی و سطحی می‌شود. در این ناحیه تنها یک مورد تحقیق در بخش کوچکی از آبخوان انجام شده و شرایط حاکم بر سایر نواحی دشت مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در تحقیق حاضر وضعیت آبخوان و ارتباط آب‌های سطحی و زیرزمینی در تمامی پهنه آبخوان دشت صحنه-بیستون با استفاده از کد MODFLOW 2000توسط نرم‌افزار GMS v10 شبیه‌سازی شد. اهداف این تحقیق درک بهتر رابطه هیدروژئولوژیکی آبخوان دشت صحنه-بیستون با رودخانه گاماسیاب و مدیریت آبخوان تحت تأثیرات سناریوهای مختلف (ترسالی و خشک‌سالی) و پهنه‌بندی آبخوان است.

مواد و روش‌ها

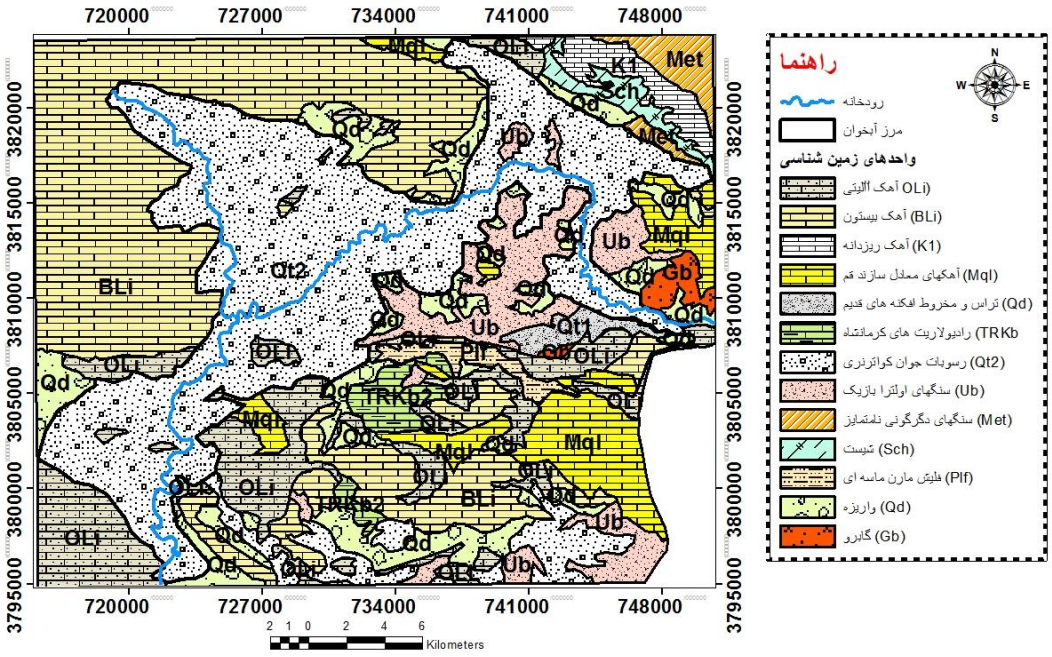
محدوده مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی حوزه گاماسیاب در دشت صحنه-بیستون در شمال شرق استان کرمانشاه بین عرض‌های جغرافیایی ′۱۵ °۳۴ و ′۳۱ °۳۴ شمالی و طول‌های جغرافیایی ′۲۰ °۴۷ و ′۴۳ °۴۷ شرقی واقع‌شده است. این دشت از شمال به سنقر از جنوب به

www.SID.ir

Archive of SID

همدان و هرسین، از شرق به کنگاور و از غرب به شهر کرمانشاه محدود می‌گردد. متوسط ارتفاع محدوده مطالعاتی ۱۳۲۰ متر از سطح آزاد دریا و مساحت آن ۲۹۵ کیلومترمربع است. منطقه موردمطالعه در مسیر راه اصلی کرمانشاه- همدان قرار دارد. رودخانه گاماسیاب، رودخانه اصلی موجود در منطقه است. رودخانه گاماسیاب با طول ۳۲۰ کیلومتر و میانگین دبی سالیانه ۵/۲ مترمکعب در ثانیه یکی از بزرگ‌ترین رودخانه‌های کشور است. این رودخانه از چشمه‌های آهکی واقع در ۲۱ کیلومتری جنوب شرقی نهاوند واقع در غرب استان همدان، از دامنه‌های شمالی ارتفاعات گرین به نام سراب گاماسیاب سرچشمه می‌گیرد .حوزه آبریز این رودخانه ۳۲۶۴ کیلومتر مربع می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه آبریز گاماسیاب ۱۷۹۶ متر و حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۳۳۵۹ و ۱۲۷۰ متر از سطح دریا می‌باشد. این حوضه کشیده و ضریب گراولیوس آن برابر ۱/۷۸ است (خانلری، ۱۳۹۲). محدوده مطالعاتی دشت صحنه-بیستون از لحاظ زمین‌شناسی ناحیه‌ای در مرز بین دو پهنه زاگرس مرتفع و سنندج–سیرجان (نبوی، ۱۳۵۵) و یا زاگرس رورانده و همدان–ارومیه (افتخار نژاد، ۱۳۵۹) قرار گرفته است. در این ناحیه واحدهای چینه‌شناسی مربوط به دوران دوم و سوم رخنمون دارند. قدیمی‌ترین واحدهای چینه‌شناسی که در منطقه مورد مطالعه، متعلق به پهنه سنندج–سیرجان هستند شامل واحدهای آهکی–شیستی ژوراسیک و آهک‌های اوربیتولین‌دار کرتاسه زیرین است (شکل ۱). قدیمی‌ترین واحدهای شناخته شده پهنه زاگرس مرتفع نیز شامل آهک‌های بیستون و رادیوسازهای کرمانشاه بوده که محدوده‌ی سنی آن‌ها از تریاس فوقانی تا کرتاسه‌ی بالایی است (مطیعی، ۱۳۷۲). متوسط بارندگی منطقه ۵۶۴/۳۹ میلی‌متر در سال است که بهمن ماه با ۹۶/۲۲ میلی‌متر بالاترین میزان بارش در سال را دارد و بر اساس روش دمارتن منطقه دارای اقلیم نیمه‌خشک است.



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی و مرز آبخوان منطقه.

بسته‌های زیادی با سطوح مختلفی از پیچیدگی در مورد جریان رودخانه با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW تهیه‌شده است. مفروضات مفهومی تمام بسته‌های رودخانه یکسان است؛ اما در تمام بسته‌های رودخانه مربوط به MODFLOW، جریان

www.SID.ir

Archive of SID

از رودخانه به آبخوان بستگی به ارتباط یا عدم ارتباط هیدرولیکی سیستم دارد و به‌طور متفاوت محاسبه می‌شود. از منظر MODFLOW، ارتباط هیدرولیکی بین رودخانه و آبخوان زمانی برقرار است که سطح ایستابی بالاتر از ارتفاع قاعده رسوبات بستر رودخانه باشد. معادله دیفرانسیل جزئی سه‌بعدی جریان آب‌های زیرزمینی در حالت غیرماندگار در یک محیط متخلخل ناهمگن و ایزوتروپ در آبخوان آزاد یا تحت فشار که تحت تأثیر رابطه متقابل آب‌های سطحی، تخلیه و تغذیه قرار دارد به‌صورت معادلات (۱)، (۲) و (۳) بیان می‌شود (چیت‌سازان و کشکولی، ۱۳۸۱).

$$\frac{\partial}{\partial x}\left[K_{xx}\frac{\partial h}{\partial x}\right]+\frac{\partial}{\partial y}\left[K_{yy}\frac{\partial h}{\partial y}\right]+\frac{\partial}{\partial z}\left[K_{zz}\frac{\partial h}{\partial z}\right]-w=S_s\frac{\partial h}{\partial t} \quad (۱)$$

که در آن K_{xx}، K_{yy}، K_{zz} به ترتیب هدایت هیدرولیکی در امتداد x، y و z، h بار هیدرولیکی، Ss ضریب ذخیره ویژه محیط متخلخل و t زمان است.

$$QRIV = CRIV(HRIV - RBOT)\text{،}\ h_{i,j,k} \le RBOT$$

$$QRIV = CRIV\left(HRIV - h_{i,j,k}\right)\text{،}\ h_{i,j,k} \ge RBOT$$

که در آن CRIV نشان‌دهنده رسانایی هیدرولیکی است و به‌صورت KLM.B تعریف می‌شود که در آن K هدایت هیدرولیکی بستر رودخانه در بازه مورد نظر، L طول بازه، B عرض آن و M ضخامت مواد بستر رودخانه است. در معادله (۲) و (۳)، HRIV بار هیدرولیکی رودخانه، h بار هیدرولیکی در آبخوان (سلول در زیر بستر رودخانه) و RBOT ارتفاع لایه رسوبات بستر رودخانه است. جریان $Q_{h,I,j,k}$ که وارد سلول یا از آن خارج می‌شود متناسب با تفاوت بار هیدرولیکی در سلول $h_{i,j,k}$ و بار هیدرولیکی تخصیص یافته به منبع خارج از سلول $h_{i,j,k}$ است و به‌صورت معادله (۴) محاسبه می‌شود:

$$Q_{b,I,j,k}=C_{b,I,j,k}(h_{b,I,j,k}-h_{i,j,k}) \quad (۴)$$

$C_{b,I,j,k}$ رسانایی هیدرولیکی بین منبع خارج و داخل سلول در آبخوان است. رابطه متقابل آب‌های زیرزمینی دشت صحنه-بیستون و رودخانه گاماسیاب از طریق معادلات (۱) تا (۴) و مشخص بودن جریان یا بار هیدرولیکی در مرزهای آبخوان به‌عنوان شرایط مرزی و معلوم بودن بار هیدرولیکی اولیه و سطح آب رودخانه به عنوان شرایط اولیه شبیه‌سازی می‌شود. پس از اجرای مدل توسط MODFLOW 2000 با نرم‌افزار GMS تأثیر اجرای سناریوهای مختلف مدیریتی از طریق بیلان مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

طراحی و شبیه‌سازی مدل

انتخاب دشت صحنه-بیستون به صورت یک منطقه جدا با در نظر گرفتن اصول گسسته‌سازی حوضه‌های مجاور از یکدیگر، یعنی استفاده از مرزهای زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی انجام شده است که تا حدود زیادی آبخوان منطقه از شرایط فوق پیروی می‌کند. برای تعیین محدوده آبخوان و نوع مرزها (نفوذپذیر یا نفوذناپذیر) از نقشه‌های زمین‌شناسی و هیدروژئولوژی (سطح آب، جهت جریان، گرادیان هیدرولیکی و ...) استفاده شد. همان‌طور که در شکل (۳) مشاهده می‌کنید سلول‌های مشخص شده با مثلث‌های قهوه‌ای رنگ مرزهای ورودی و خروجی آبخوان هستند که با تلفیق نقشه‌ی زمین‌شناسی محدوده و نقشه‌های جهت جریان به دست آمده است. با استفاده از داده‌های ژئوفیزیک، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی منطقه مدل مفهومی آبخوان دشت صحنه-بیستون طراحی شد (شکل ۲). برای شبیه‌سازی آبخوان نیز از کد MODFLOW 2000 در نرم‌افزار GMS v10. استفاده شد. پس از تهیه مدل مفهومی، محدوده موردنظر به ۹۶ ستون و ۱۱۹ ردیف از نوع مرکز بلوکی با طول و عرض ۳۰۰ متر شبکه‌بندی شد که از ۱۱۴۲۴ سلول ایجاد شده تعداد ۳۲۹۴ سلول فعال و تعداد ۸۱۳۰ سلول غیرفعال است. شرایط مرزی برای مدل شامل مرزهای تبادلی در بخش‌های شمالی، شمال شرقی، شمال غربی و غربی هستند که اغلب ورودی بوده و در مدل به‌صورت مرز بار عمومی در نظر گرفته شدند (شکل ۳). با توجه به هیدروگراف معرف دشت و با استناد به آمار و اطلاعات موجود، دوره زمانی واسنجی دشت صحنه-بیستون در حالت ماندگار، مهر ماه سال ۱۳۸۷ و در حالت

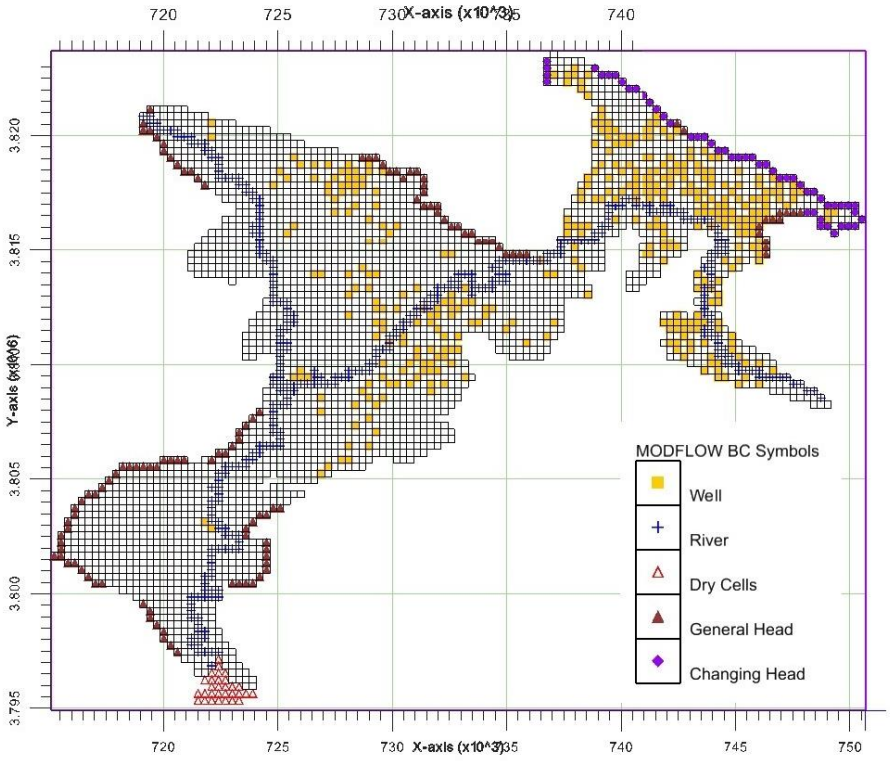
www.SID.ir

Archive of SID

ناماندگار از مهرماه سال ۱۳۸۷ تا شهریورماه سال ۱۳۸۸ به مدت ۳۶۵ روز با ۱۲ دوره و هر دوره یک گام زمانی با استفاده از نرم‌افزار GMS v10 و مقایسه بارهای هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی در نقاط هدف (۲۳ چاه پیزومتری) به‌صورت دستی و خودکار شبیه‌سازی و صحت سنجی آن نیز در یک دوره تنش ۱۲ ماهه از مهرماه ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۸۹ انجام شد. برای حصول اطمینان از توانایی مدل ساخته شده جهت پیش‌بینی آینده آبخوان صحت سنجی برای یک دوره ۱۲ ماهه از مهر ۱۳۹۲ الی شهریور ۱۳۹۳ انجام شد که نتایج به دست آمده نشان می دهند که مدل ساخته شده به خوبی توانایی پیش‌بینی آینده آبخوان را دارد. به‌طور معمول معیار واسنجی با سه معیار خطای میانگین (ME) خطای میانگین مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطاها (RMSE) بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در پیزومترها و بار هیدرولیکی شبیه‌سازی توسط مدل صورت می‌گیرد (باتو، ۲۰۰۶). در جدول (۱) خلاصه آماری خطای میانگین، خطای میانگین مطلق و جذر میانگین مربعات خطاها را در منطقه مدل‌سازی شده دشت صحنه-بیستون نشان داده شده است که مؤید هماهنگی خوب مقادیر بارهای هیدرولیکی محاسباتی بر مقادیر مشاهداتی در زمان واسنجی مدل است.

جدول ۱- مقادیر انواع خطاها در دوره واسنجی در شرایط ناپایدار

Mean error	۰/۰۹
Mean absolute error	۰/۷۶
Root mean squared error	۰/۹۱



شکل ۲- مدل مفهومی دشت صحنه-بیستون.

www.SID.ir

Archive of SID

نتایج و بحث

پس از صحت سنجی و تصحیح پارامترهای بیلان و محاسبه سلول به سلول، عوامل بیلان مدل مشخص شد. بر اساس نتایج به دست آمده، بیلان آب زیرزمینی در سال تهیه مدل ۲۲/۸۱ میلیون مترمکعب در سال منفی است (جدول ۲).

جدول ۲- اجزاء و مقادیر بیلان دشت برحسب میلیون مترمکعب در سال

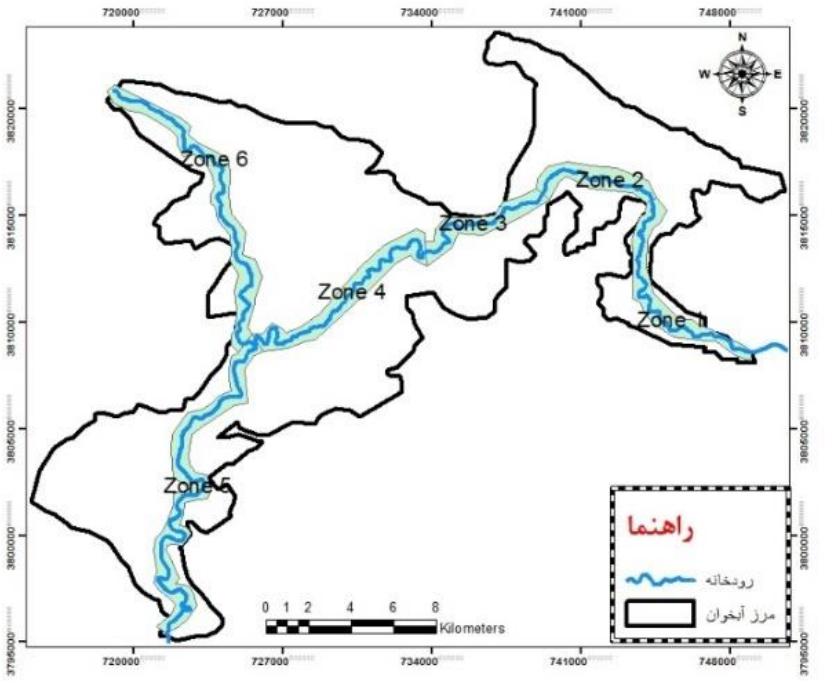
اجزای بیلان	ورودی‌ها (10^6 m^3/year)	خروجی‌ها (10^6 m^3/year)
بار آبی ثابت	۲۸/۸۳	۵/۴۹
چاه‌ها	۰/۰۰	۳۴/۰۱
رودخانه	۲۴/۸۸	۳۷/۵۰
جریان‌های عمیق	۱۳/۱۹	۲۹/۰۰
تغذیه	۱۶/۲۹	۰/۰۰
مجموع	۸۳/۱۹	۱۰۶/۰۰
بیلان	**-۲۲/۸۱**	

الف) روابط هیدرولوژئولوژیکی آبخوان و رودخانه گاماسیاب

رابطه بین سیستم آبخوان آبرفتی و رودخانه تحت تأثیر توزیع مکانی هیدروفاسیس‌ها در مرز رودخانه و آبخوان زیرین قرار دارد (وویسنر، ۲۰۰۰). در بررسی‌های مدل‌سازی روابط رودخانه-آبخوان، تأثیرات منطقه‌ای مدیریت منابع آب و استفاده های توأم از منابع آب باید مدنظر قرار گیرد (ریچارد، ۱۹۹۵). برای مثال صحت برآوردهای جریان ورودی یا خروجی که از اختلاف جریان در ابتدا و انتهای بازه به دست می‌آید، محدود است زیرا تفاوت‌های جریان در مقایسه با جریان کل رودخانه کم است (راشتون، ۲۰۰۷). همچنین ضخامت میانگین منطقه‌ای رسوبات بستر رودخانه و هدایت‌های هیدرولیکی مورد استفاده در مدل‌های بزرگ مقیاس بر روابط رودخانه آبخوان تأثیر دارند (اندرسون و وویسنر، ۱۹۹۲). بررسی‌های اولیه نقشه‌های هم‌تراز آب زیرزمینی نشان از جهت جریان از آبخوان به سمت رودخانه و بالعکس است بررسی‌های دقیق‌تر نشان داد که از نظر مکانی و زمانی رابطه رودخانه و آبخوان بستگی زیادی به سطح آب در رودخانه و سلول‌های مجاور دارد به گونه‌ای که تغییر در هر یک از آن‌ها جهت جریان را تغییر می‌دهد. از طرفی به دلیل قرارگیری موقعیت بستر رودخانه گاماسیاب نسبت به سطح ایستابی آبخوان و با توجه به جنس مواد تشکیل دهنده بستر و دیواره‌های رودخانه و نفوذپذیر بودن آن‌ها تبادل آب بین رودخانه و آبخوان وجود دارد. بسته بیلان بخشی، بیلان آبی را در بخش‌های کوچک‌تری از منطقه مدل محاسبه می‌کند. بر اساس بیلان منطقه در دوره واسنجی، تفاضل حجم تبادل آب بین آبخوان و رودخانه ۱۵/۳۵ میلیون مترمکعب در سال منفی است. برای آنکه آب‌های ورودی از رودخانه گاماسیاب به دشت صحنه-بیستون و آب‌های خروجی از آبخوان (ورودی به گاماسیاب) مشخص شود، مسیر رودخانه بر اساس تراکم چاه‌های بهره‌برداری، شرایط هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی، نقشه‌های سطح آب و جهت جریان و شکل حوضه به ۶ پهنه تقسیم شد (شکل ۳). در این پژوهش با استفاده از بسته River در نرم‌افزار GMS روابط متقابل رودخانه و آبخوان شبیه‌سازی شد و پس از تعریف پارامترهای مورد نیاز برای مدل، میزان تبادل آبی رودخانه و آبخوان محاسبه شد. شکل (۴) پهنه‌بندی رودخانه و جدول (۳) بیلان آبی مدل مربوط به پهنه‌های مختلف رودخانه را در سال آبی ۸۸-۸۷ نشان می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- منطقه بندی رودخانه برای مشخص کردن مقادیر تبادل رودخانه و آبخوان.

جدول ۳- بیلان بخشی آبخوان در سال ۸۸-۸۷ برحسب مترمکعب بر روز

پهنه‌ها	ورودی (رودخانه به آبخوان)	خروجی (آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
۱	۱۸۸۹۳/۴۴	-۴۸۷۱/۱۹	۱۴۰۲۲/۲۴
۲	۳۲۵۳/۷۳	-۱۴۹۲۹/۷۳	-۱۱۶۷۷/۰۱
۳	۸۹/۵۷	-۳۳۱۹۷/۲۳	-۳۳۱۰۷/۶۶
۴	۷۴۸۰/۹۰	-۱۱۴۷۲/۲۲	-۲۹۸۴۳/۳۱
۵	۲۱۲۲/۲۲	-۳۱۹۶۵/۷۶	-۲۹۸۴۳/۵۴
۶	۳۶۵۴۶/۳۶	-۶۶۶۰/۷۴	۲۹۸۸۵/۶۲
مجموع	۶۸۳۸۵/۲۲	-۱۰۳۰۹۶/۸۷	-۳۴۷۱۱/۶۶

ب) سناریو کاهش تغذیه براثر خشک‌سالی و تأثیر آن بر تبادل هیدرولیکی رودخانه و آبخوان

برای پیش‌بینی اثر کاهش تغذیه ناشی از خشک‌سالی، بارندگی‌های منطقه در یک دوره ۴۲ ساله (۱۳۹۰-۱۳۴۸) مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس شاخص SPI دوره خشک‌سالی مشخص (برابر مقدار ۲۱۲/۸ میلی‌متر در سال آبی ۱۳۵۵-۱۳۵۴) و به مدل آب‌های زیرزمینی دشت اعمال شد. نتیجه بیلان بخشی مدل در اثر اعمال این سناریو در جدول (۴) نشان داده‌شده است. مقایسه جدول (۴) و جدول (۳) بیلان بخشی مدل مربوط به مناطق ۱ تا ۶ نشان می‌دهد مقدار تبادل آب بین آبخوان و رودخانه در زمان خشک‌سالی در پهنه ۱ به مقدار ۱۳۲/۴۹ مترمکعب بر روز مثبت‌تر شده و در مناطق ۲ تا ۵ به ترتیب ۲۱۴/۵۰، ۴۴۹/۱۴، ۱۵۳/۲۳، ۳۰۲/۴ و ۵۷۲/۹۱ مترمکعب منفی‌تر شده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٤- بیلان بخشی مدل در دوره خشک‌سالی و تأثیر آن بر تبادل آب بین آبخوان و رودخانه برحسب مترمکعب بر روز

پهنه‌ها	ورودی (رودخانه به آبخوان)	خروجی (آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
۱	۱۸۹۹۸/۳۸	-۴۸۴۳/۶۵	۱۴۱۵۴/۷۳
۲	۳۰۱۰/۳۷	-۱۴۹۰۱/۸۷	-۱۱۸۹۱/۵۰
۳	۵۸/۴۶	-۳۳۶۱۵/۲۶	-۳۳۵۵۶/۸۰
۴	۷۲۶۲/۰۹	-۱۱۴۰۶/۶۳	-۴۱۴۴/۵۴
۵	۲۰۱۹/۵۴	-۳۲۱۶۵/۱۲	-۳۰۱۴۵/۵۷
۶	۳۵۹۴۸/۵۶	-۶۶۳۵/۸۵	۲۹۳۱۲/۷۱
مجموع	۶۷۲۹۷/۴۰	۱۰۳۵۶۸/۳۷	-۳۶۲۷۰/۹۷

ج) سناریو افزایش تغذیه براثر ترسالی و تأثیر آن بر تبادل هیدرولیکی رودخانه و آبخوان

برای پیش‌بینی اثر افزایش تغذیه ناشی از ترسالی، بارندگی‌های منطقه در یک دوره ۴۲ ساله (۱۳۹۰-۱۳۴۸) مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس شاخص SPI دوره ترسالی مشخص (برابر ۹۲۶/۳ میلی‌متر در سال آبی ۱۳۷۴-۱۳۷۳) و به مدل آب‌های زیرزمینی دشت اعمال شد. نتیجه بیلان بخشی مدل در اثر اعمال این سناریو در جدول (۴) نشان داده شده است. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که بیلان پهنه ۱ در دوره ترسالی به مقدار ۷۲/۷۵ مترمکعب در روز منفی‌تر و پهنه‌های ۲ تا ۵ به ترتیب ۱۰۶۴/۶۵، ۱۹۳۳/۵۰، ۱۲۸۱/۱۷، ۱۶۵۳/۳۱ و ۲۶۸۱/۰۶ مترمکعب بر روز مثبت‌تر شده‌اند.

جدول ٥- بیلان بخشی مدل در دوره ترسالی و تأثیر آن بر تبادل آب بین آبخوان و رودخانه برحسب مترمکعب بر روز

پهنه‌ها	ورودی (رودخانه به آبخوان)	خروجی (آبخوان به رودخانه)	حجم تبادل
۱	۱۹۲۱۳/۳۹	-۵۲۶۳/۹۱	۱۳۹۴۹/۴۹
۲	۵۴۱۲/۵۸	-۱۶۰۲۴/۹۴	-۱۰۶۱۲/۳۶
۳	۱۰۴۵/۰۰	-۳۲۲۱۹/۱۶	-۳۱۱۷۴/۱۶
۴	۹۸۰۹/۹۶	-۱۲۵۲۰/۱۱	-۲۷۱۰/۱۵
۵	۴۵۲۸/۸۲	-۳۲۷۱۹/۰۵	-۲۸۱۹۰/۲۳
۶	۴۰۱۷۱/۴۸	-۷۶۰۴/۸۱	۳۲۵۶۶/۶۷
مجموع	۸۰۱۸۱/۲۴	-۱۰۶۳۵۱/۹۷	-۲۶۱۷۰/۷۳

د) پهنه‌بندی و مدیریت آبخوان

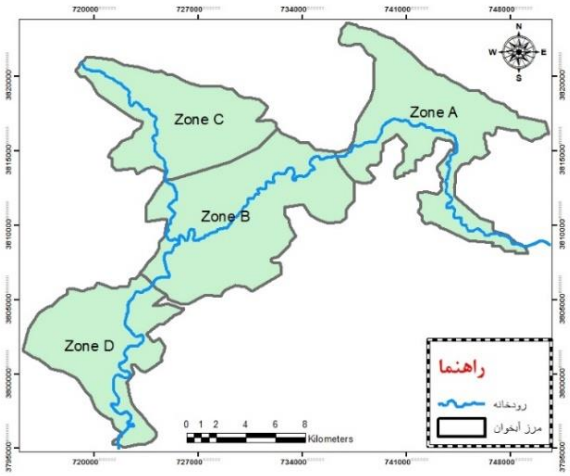
بیلان آبخوان در تمام نواحی آن یکسان نیست و با توجه به عوامل مختلف تغذیه و تخلیه کننده در هر ناحیه، آبخوان دارای بیلان متفاوت از سایر نواحی است. برای درک بهتر و شناخت صحیح رفتار آبخوان می‌توان با توجه به عوامل مختلف تأثیرگذار بر تغذیه و تخلیه، آبخوان را به نواحی مختلف تقسیم و با استفاده از بسته بیلان بخشی رفتار آبخوان را مورد بررسی قرار داد. از بین عوامل تأثیرگذار بر آبخوان دشت صحنه-بیستون رودخانه گاماسیاب و چاه‌های بهره‌برداری بیشترین اثر را دارند، ابتدا تأثیرات رودخانه را بررسی کردیم حال به بررسی تأثیر چاه‌ها بر آبخوان و در نهایت پهنه‌بندی آبخوان برای اجرای طرح‌های مدیریتی می‌پردازیم. در بین عوامل مؤثر در تخلیه آب از آبخوان دشت صحنه-بیستون برداشت آب توسط چاه‌ها تأثیر بسزایی در بیلان این آبخوان دارد، از این‌رو با توجه به تراکم چاه‌ها در مناطق مختلف آبخوان به چهار پهنه بر اساس تعداد چاه در هر کیلومترمربع تقسیم شد (شکل۴). نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که پهنه A با ۳/۴۷ چاه در هر کیلومترمربع بیشترین میزان تراکم را دارند (جدول ۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- مساحت، تعداد و تراکم چاه‌ها در پهنه‌های آبخوان

پهنه	چاه‌ها	مساحت (کیلومتر مربع)	تراکم (در کیلومتر مربع)
A	۲۶۸	۷۷/۱۴	۳/۴۷
B	۱۰۲	۹۶/۴۶	۱/۰۶
C	۴۹	۶۱/۲۵	۰/۸۰
D	۲	۶۰/۷۹	۰/۰۳



شکل ٤- منطقه بندی دشت برای مشخص کردن مقادیر بیلان بخشی آبخوان

بررسی نتایج بیلان بخشی آبخوان نشان می‌دهد پهنه A با بیلان ۱۰/۰۴ میلیون مترمکعب منفی در سال بالاترین مقدار بیلان را در بین پهنه‌های آبخوان دارد. سهم چاه‌های بهره‌برداری از خروجی آبخوان در این ناحیه ۲۱/۴ میلیون مترمکعب در سال است که ۴۱/۹۳ درصد حجم آب خروجی است. پهنه B و C نیز دارای بیلان منفی به میزان ۷/۷۹ و ۵/۵۳ میلیون مترمکعب در سال می‌باشند. بیلان پهنه D، ۱/۳۲ میلیون مترمکعب در سال مثبت بوده که به دلیل کم بودن خروجی‌های این پهنه است. در این پهنه تنها دو چاه بهره‌برداری با مجموع برداشت ۰/۱۷ میلیون مترمکعب در سال قرار دارد.

جدول ۷- بیلان بخشی آبخوان (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

اجزای بیلان		Zone			
		D	C	B	A
ورودی‌ها ($10^6 m^3$)	بار آبی ثابت	۰	۰	۰	۲۸/۹۲
	چاه‌ها	۰/۷۴	۱۱/۷	۴/۴	۸/۱۲
	رودخانه	۷/۳۴	۰/۹	۴/۶۹	۰/۳۵
	جریان‌های عمیق	۳/۳۱	۳/۴۹	۵/۵۲	۴/۱۳
	تغذیه	۰/۳۸	۰/۳۴	۲/۰۸	۰/۵۱
	مجموع ورودی‌ها	۱۱/۷۸	۱۶/۴۴	۱۶/۶۹	۴۲/۰۳
خروجی‌ها ($10^6 m^3$)	بار آبی ثابت	۰	۰	۰	۵/۴۶
	چاه‌ها	۰/۱۷	۴/۸۹	۶/۶۳	۲۱/۸۴
	رودخانه	۷/۸۴	۲	۱۶/۱۸	۱۱/۶۱
	جریان‌های عمیق	۲/۵۱	۱۳/۶۲	۰/۴۴	۱۲/۵۹
	تغذیه	۰/۰۴	۱/۴۶	۱/۲۳	۰/۵۸
	مجموع خروجی‌ها	۱۰/۴۶	۲۱/۹۶	۲۴/۴۸	۵۲/۰۷
بیلان		۱/۳۲	-۵/۵۳	-۷/۷۹	-۱۰/۰۴

www.SID.ir

Archive of SID

بررسی بیلان بخشی آبخوان در ترسالی نشان می‌دهد که بیلان پهنه‌های A تا D به ترتیب به مقدار ۲/۹۵، ۴/۹۵، ۲/۸ و ۲/۲۴ میلیون مترمکعب در سال مثبت‌تر شده‌اند (جدول ۷). در دوره ترسالی بیلان پهنه‌های A، B و c منفی و تنها پهنه D دارای بیلان مثبت است. نتایج حاصل از بیلان بخشی در شرایط خشک‌سالی (جدول ۸) نشان می‌دهد که بیلان پهنه‌های A تا D به ترتیب به مقادیر ۱/۰۶، ۱/۷۶، ۱/۰۷ و ۰/۸۷ میلیون مترمکعب در سال منفی‌تر شده‌اند. پهنه D تنها زونی است که بیلان آن همواره مقداری مثبت است.

جدول ۸- بیلان بخشی مدل در دوره ترسالی (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

اجزای بیلان		Zone			
		D	C	B	A
ورودی‌ها ($10^6 m^3$)	بار آبی ثابت	۰	۰	۰	۲۸/۵۵
	چاه‌ها	۱/۴۶	۱۲/۹۸	۵/۵۳	۹/۳
	رودخانه	۷/۱۶	۰/۸۶	۴/۵۳	۰/۳۵
	جریان‌های عمیق	۵/۶۷	۵/۹۶	۹/۴۱	۷/۰۴
	تغذیه	۰/۳۸	۰/۳۴	۱/۹۹	۰/۴۵
	مجموع ورودی‌ها	۱۴/۶۷	۲۰/۱۳	۲۱/۴۶	۴۵/۶۸
خروجی‌ها ($10^6 m^3$)	بار آبی ثابت	۰	۰	۰	۵۷,۵
	چاه‌ها	۰/۱۷	۴/۸۹	۶/۶۳	۲۱/۸۴
	رودخانه	۸/۴	۲/۳	۱۶/۰۴	۱۲/۰۸
	جریان‌های عمیق	۲/۵	۱۴/۲۸	۰/۴۷	۱۲/۷۱
	تغذیه	۰/۰۳	۱/۴	۱/۱۶	۰/۵۶
	مجموع خروجی‌ها	۱۱/۱	۲۲/۸۶	۲۴/۳	۵۲/۷۷
بیلان		۳/۵۶	-۲/۷۳	-۲/۸۴	-۷/۰۹

جدول ۹- بیلان بخشی مدل در دوره خشک‌سالی (بر حسب میلیون مترمکعب در سال)

اجزای بیلان		Zone			
		D	C	B	A
ورودی‌ها ($10^6 m^3$)	بار آبی ثابت	۰	۰	۰	۲۹/۰۶
	چاه‌ها	۰/۷	۱۱/۴۸	۴/۳۳	۸/۰۵
	رودخانه	۷/۴۱	۰/۹۲	۴/۷۳	۰/۳۶
	جریان‌های عمیق	۲/۳۵	۲/۴۸	۳/۹۲	۲/۹۳
	تغذیه	۰/۳۹	۰/۳۴	۲/۱۱	۰/۵۲
	مجموع ورودی‌ها	۱۰/۸۵	۱۵/۲۲	۱۵/۰۹	۴۰/۹۳
خروجی‌ها ($10^6 m^3$)	بار آبی ثابت	۰	۰	۰	۵/۴
	چاه‌ها	۰/۱۷	۴/۸۹	۶/۶۳	۲۱/۸۴
	رودخانه	۷/۸۲	۲	۱۶/۳۳	۱۱/۶۶
	جریان‌های عمیق	۲/۳۷	۱۳/۴۶	۰/۴۳	۱۲/۵۵
	تغذیه	۰/۰۵	۱/۴۸	۱/۲۵	۰/۵۸
	مجموع خروجی‌ها	۱۰/۴۱	۲۱/۸۲	۲۴/۶۴	۵۲/۰۳
بیلان		۰/۴۵	-۶/۶	-۹/۵۵	-۱۱/۱

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که بیلان دشت صحنه-بیستون در سال آبی ۸۸-۸۷ به میزان ۲۲/۸۱ میلیون مترمکعب منفی است و همچنین نشان می‌دهد که حجم آب‌های ورودی به دشت ۸۳ میلیون مترمکعب است که ۱۹/۵۸ درصد آن تغذیه ناشی از بارندگی، ۲۹/۹۱ درصد مربوط به آب‌های ورودی از رودخانه گاماسیاب به دشت، ۱۵/۵۸ درصد مربوط به آب‌های ورودی از مرزهای آبخوان و ۳۴/۶۶ درصد بار ثابت ورودی به آبخوان است. حجم آب‌های خروجی از دشت نیز ۱۰۶ میلیون مترمکعب است که ۳۲/۰۸ درصد آن را تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری، ۲۷/۳۶ درصد آن را آب‌های خروجی از مرزهای آبخوان، حدود ۳۵/۳۷ درصد آب‌های خروجی از رودخانه و ۵/۱۹ درصد آن را بار ثابت خروجی از آبخوان تشکیل می‌دهد. روابط متقابل آبخوان دشت صحنه-بیستون و رودخانه گاماسیاب در دو سناریو مورد پیش بینی قرار گرفت: الف- نتایج بیلان مدل در سناریو اول (کاهش تغذیه ناشی از خشک‌سالی) نشان می‌دهد که در اثر بروز خشک‌سالی در دشت صحنه-بیستون بیلان بخشی مدل مربوط به مناطق ۱ تا ۶ رودخانه مقدار تبادل آب بین آبخوان و رودخانه در پهنه ۱ به مقدار ۱۳۲/۴۹ مترمکعب بر روز مثبت‌تر شده و در مناطق ۲ تا ۵ به ترتیب ۲۱۴/۵۰، ۴۴۹/۱۴، ۱۵۳/۲۳، ۳۰۲/۴ و ۵۷۲/۹۱ مترمکعب منفی‌تر شده‌اند. افزایش تغذیه رودخانه توسط آبخوان در زمان خشک‌سالی در پهنه‌های ۲ تا ۵ به دلیل افت بیشتر سطح آب رودخانه در زمان خشک‌سالی نسبت به سال مدل‌سازی است، پهنه ۱ از این قاعده مستثنی است که علت آن می‌تواند مساحت کم آبخوان در این ناحیه، تراکم زیاد چاه‌های بهره‌برداری و عدم تغذیه از سازندهای مجاور به دلیل جنس آن‌ها (دگرگونی و آذرینُ) که موجب افت بیشتر آب آبخوان نسبت به رودخانه و در نتیجه افزایش تغذیه آبخوان از منبع آب سطحی می‌شود. در مجموع مقدار تبادل رودخانه و آبخوان در خشک‌سالی نسبت به سال مدل‌سازی مقدار ۱۵۵۹/۳۲ مترمکعب در روز منفی‌تر شده که نشان‌دهنده تخلیه بیشتر آب آبخوان توسط رودخانه نسبت به سال مدل‌سازی است. ب- مقایسه نتایج مدل در سناریو دوم (افزایش تغذیه ناشی از ترسالی) نشان می‌دهد که بیلان پهنه ۱ در دوره ترسالی به مقدار ۷۲/۷۵ مترمکعب در روز منفی‌تر و پهنه‌های ۲ تا ۵ به ترتیب ۱۰۶۴/۶۵، ۱۹۳۳/۵۰، ۱۲۸۱/۱۷، ۱۶۵۳/۳۱ و ۲۶۸۱/۰۶ مترمکعب بر روز مثبت‌تر شده‌اند. علت کاهش تغذیه رودخانه توسط آبخوان در پهنه‌های ۲ تا ۵ در دوره ترسالی به دلیل افزایش بیشتر سطح آب رودخانه در مقایسه با آبخوان و تغییر گرادیان هیدرولیکی است. پهنه ۱ رفتاری عکس سایر پهنه‌ها نشان می‌دهد، به دلیل کاهش نرخ پمپاژ، افزایش بارندگی و افزایش سطح آب رودخانه در فصول تر سطح آب آبخوان بالا آمده و در فصل خشک‌سال به دلیل کاهش بیشتر سطح آب رودخانه نسبت به آبخوان گرادیان هیدرولیکی تغییر کرده و آب بیشتری به رودخانه برمی‌گردد که نتیجه آن کاهش مقدار تبادل آب بین آبخوان و رودخانه در دوره ترسالی نسبت به سال مدل است. به‌منظور درک بهتر رفتار بخش‌های مختلف آبخوان ۴ پهنه برای آبخوان دشت صحنه-بیستون با توجه به تعداد و تراکم چاه‌ها در هر منطقه در نظر گرفته شد که نتایج به دست آمده به شرح زیر می‌باشند: الف- پهنه A که در شمال شرقی دشت قرار دارد با ۳/۴۷ چاه در هر کیلومترمربع بیشترین تراکم و تعداد چاه را به خود اختصاص داده، بیلان پهنه A، ۱۰/۰۴ میلیون مترمکعب در سال منفی است که بیشترین بیلان منفی در بین پهنه‌های دشت است. پهنه‌های ۱، ۲ و ۳ رودخانه گاماسیاب در این بخش جریان دارند که پهنه ۱ رودخانه، آبخوان را به میزان ۱۴۰۲۲/۲۴ مترمکعب در روز تغذیه و پهنه ۲ و ۳ به ترتیب ۱۱۶۷۷/۰۱ و ۳۳۱۰۷/۶۶ مترمکعب در روز تخلیه می‌کنند. در مجموع رودخانه گاماسیاب در این پهنه تخلیه کننده آبخوان است. رودخانه گاماسیاب در سال ۳/۴۹ میلیون مترمکعب آب از آبخوان خارج می‌کند و نسبت به چاه‌های منطقه که حجم برداشت آب از آن‌ها ۲۱/۸۴ میلیون مترمکعب

www.SID.ir

Archive of SID

در سال است سهم کمی از بیلان منفی این پهنه را به خود اختصاص می‌دهد. ب- پهنه B آبخوان در مرکز دشت قرارگرفته که تراکم چاه‌ها در این منطقه ۱/۰۶ چاه در هر کیلومترمربع است و بیلان ۷/۷۹ میلیون مترمکعب منفی در سال دارد. پهنه ۴ و بخشی از پهنه‌های ۳ و ۶ رودخانه در این منطقه قرار گرفته که در مجموع ۱۱/۷۸ میلیون مترمکعب در سال آب از آبخوان خارج می‌کنند، این در حالی است که سهم برداشت چاه‌ها از این پهنه ۶/۶۳ میلیون مترمکعب در سال است. ج- پهنه C با بیلان ۵/۵۳ میلیون مترمکعب منفی در سال در شمال غربی دشت واقع است. تراکم چاه‌های منطقه ۰/۸ چاه در هر کیلومترمربع که حجم برداشت آن‌ها ۴/۸۹ میلیون مترمکعب در سال است. رودخانه در این بخش همواره آبخوان را تغذیه می‌کند که حجم آن در زمان خشک‌سالی ۹/۴۸ و ترسالی ۱۰/۶۸ میلیون مترمکعب در سال است سهم عمده خروجی‌های این ناحیه مربوط به جریان‌های مرزی است. د- در پهنه D تنها دو حلقه چاه وجود دارد. بیلان پهنه D همواره مثبت و در سال مدل‌سازی مقدار آن ۱/۳۲ میلیون مترمکعب در سال مثبت است که در دوره خشک‌سالی به ۰/۴۵ میلیون مترمکعب مثبت در سال کاهش می‌یابد و در دوره ترسالی به ۳/۵۶ میلیون مترمکعب مثبت در سال می‌رسد.

منابع

احمدی افزادی، ع.، چیت‌سازان، م.، ۱۳۸۱. مدل آب زیرزمینی دشت کرمان با تأکید بر راه‌حل‌های مدیریتی جهت مقابله با بالا آمدگی سطح آب زیرزمینی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه زمین-شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۲۸۱ ص.

افتخار نژاد، ج.، ۱۳۵۹. تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی. نشریه انجمن نفت. شماره ۸۲، ص ۱۹-۲۸.

آقا نباتی، س، ع.، ۱۳۸۵. زمین‌شناسی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی. ۵۹۲ ص.

توسلیم. و.، چیت‌سازان، م.، ۱۳۷۷. مدیریت منابع آب دشت مهیار شمالی با استفاده از مدل ریاضی المان‌های محدود. دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، مشهد.

جاوید، ع .۱۳۸۵. آنالیز نتایج اندازه‌گیری دبی رودخانه سنگ سیاه و بررسی ارتباط هیدرولیکی آن با آبخوان دشت دهگلان. دهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

چیت‌سازان، م.، کشکولی، ح.ع. ۱۳۸۱. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدروژئولوژی (ترجمه). انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۷۰۲ ص.

چیت‌سازان، م.، موسوی. ف. ۱۳۹۱. مدیریت کمی و کیفی آبخوان دشت رامهرمز با استفاده از مدل ریاضی درMODFLOW و MD3DMS. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته دانشگاه شهید چمران اهواز، شماره ۵، ص: ۸-۱.

چیت‌سازان، م.، جواد چاوشی، ز.، ناصری، ح. ۱۳۹۴. پیش‌بینی اثر متقابل آبخوان- رودخانه در دشت دوسلق استان خوزستان با استفاده از مدل MODFLOW. نشریه پژوهش آب ایران، دوره ۹، شماره ۴، ص: ۱۴۷-۱۳۹.

چیت‌سازان، م. نوذرپور، ل.، ندری، آ. ۱۳۹۴. ارزیابی ارتباط هیدرولیکی آبخوان دشت لور اندیمشک و رودخانه دز با استفاده از مدل MODFLOW. مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۷، ص: ۳۶-۲۳.

عطارزاده، ع.ا. ۱۳۶۰. مدل ریاضی منابع آب زیرزمینی به کمک روش تفاضل‌های محدود وزارت نیرو، دفتر بررسی‌های منابع آب،۹۲ ص.

کاظمی، ر. ۱۳۸۱. ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان دشت قوچان-شیروان با استفاده از مدل عددیMODFLOW2000. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز. ۱۲۸ ص.

مطیعی، ه. ۱۳۷۲. چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.

نبوی، م. ح. ۱۳۵۵. دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

Anderson M.P., and Woessner W.W. 1992. Applied Groundwater Modeling. San Diego: Academic Press. 102 p.

Reichard E.G. 1995. Groundwater-Surface Water Management with Stochastic Surface Water Supplies-a Simulation Optimization Approach. Journal of Water Resources Research. 31(11): 2845-2865.

Rushton K.R., Tomlinson L.M. 1979. Possible mechanisms for leakage between aquifers and rivers. Journal of Hydrology. 40: 49-65.

Sophocleous, M. 2002. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. Journal of Hydrogeology. 10(1): 52-67.

www.SID.ir

Archive of SID

Woessner W.W. 2000. Stream and fluvial plain groundwater interactions: Rescaling hydrogeological thought. Journal of Ground Water. 38(3): 423-429.

Winter T.C., Judson W.H., Franke O. L., Ally W.M., 1998. Ground Water and Surface Water a Single Resource. Circular 1139U.S. Geological Survey Denver. 79 p.

www.SID.ir