بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه

محسن رضایی[1]* و امین سرگزی[2]

[1] دانشگاه تربیت‌معلم، گروه زمین‌شناسی، تهران، ایران.

[2] اداره امور آب زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۶/۰۹/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۳/۰۳

چکیده

برداشت بیش از حد مجاز از آبخوان آبرفتی دشت گوهرکوه در جنوب باختر زاهدان، منجر به کاهش تراز آب زیرزمینی شده است. به منظور شناخت کامل‌تر آبخوان و بررسی اثرات احتمالی اجرای طرح تغذیه مصنوعی، جریان آب زیرزمینی این دشت، با مدل ریاضی شبیه‌سازی شده است. در این مطالعه از نگاشت(لاگ)های حفاری، آماربرداری از منابع آبی، داده‌های پیزومتری و آزمایش‌های پمپاژ، استفاده شده است. مدل عددی جریان برای پیش‌بینی تغییرات سطح آب در آینده، مورد استفاده قرار گرفته است. به علت نوسانات کمتر در تراز آب زیرزمینی، بهمن‌ماه ۱۳۸۱ به عنوان شرایط پایدار مورد واسنجی قرار گرفت. سپس از اسفند ۱۳۸۱ تا اسفند ۱۳۸۲ واسنجی برای شرایط ناپایدار انجام شد. در انتها نیز تحلیل حساسیت و صحت‌سنجی(برای اسفند ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۸۳) بر روی مدل اعمال شد. پس از اتمام ساخت مدل برای آبخوان دشت گوهرکوه، به بررسی اثرات اجرای طرح تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان دشت گوهرکوه پرداخته شد که بر اساس شرایط موجود، بهترین محل برای اعمال تغذیه مصنوعی بخش‌های شمالی آبخوان (مجاور چاه مشاهده‌ای P9) است. واکنش آبخوان در برابر اعمال تغذیه مصنوعی مثبت است و تغذیه مصنوعی اثر مخربی روی آبخوان ندارد.

کلیدواژه‌ها: مدل‌سازی، آب‌های زیرزمینی، مدل Modflow، آبخوان دشت گوهر کوه

* **نویسنده مسئول:** محسن رضایی

E-mail: m_rezaei@tmu.ac.ir

۱- مقدمه

خشکی در ایران یک واقعیت اقلیمی است که لازم است راه‌کارهای سازگار با آن را جستجو نمود. این امر بویژه در دشت گوهرکوه که از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک وکم‌باران کشور است، از اهمیت بیشتری برخوردار است. این دشت در استان سیستان و بلوچستان و حدفاصل شهرستان زاهدان به شهرستان خاش قرار دارد و به عنوان یک آبخوان مهم مطرح است. با خشکسالی‌های اخیر، کمبود منابع آبی در این دشت نمود بیشتری پیدا کرده است و همچنین به دلیل پراکندگی نامناسب زمانی و مکانی، بارندگی‌ها در زمان خاصی به صورت سیلاب جاری شده، از دسترس خارج و گاه سبب بروز خساراتی نیز می‌شوند. افزون بر این، پیشنهاد ساخت سد نیز در محدوده این دشت وجود دارد. از رواناب‌های موجود در دشت و آب مازاد شبکه سد در حال ساخت، می‌توان در تغذیه مصنوعی به دشت و جلوگیری از افت بیشتر آبخوان استفاده کرد. در این نوشتار، سعی شده تا ضمن مدل‌سازی عددی آبخوان دشت، اثرات احتمالی اجرای طرح تغذیه مصنوعی، مورد پیش‌بینی و ارزیابی قرار گیرد.

مدل‌سازی عددی در آب زیرزمینی مبانی شناخته شده‌ای دارد و این مبانی در کتاب‌های متعدد به خوبی تبیین شده است (Boonstra and Deridder,1981 و Kinzelbach,1986). آبخوان‌های متعددی در دنیا مورد مدل‌سازی عددی قرار گرفته‌اند. در ایران نیز استفاده از روش‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی از سال ۱۹۶۲ با شبیه‌سازی دشت ورامین آغاز شده است و پس از آن استفاده از این روش در مطالعه آبخوان‌های آب زیرزمینی مورد توجه بوده است (خوشنامی، ۱۳۷۲؛ دهقان قهفرخی، ۱۳۸۲؛ کاظمی گلیان، ۱۳۸۱؛ اصلانی، ۱۳۸۲؛ شفیعی‌مطلق، ۱۳۸۴ و رشیدی، ۱۳۸۵).

هدف از این پژوهش، در مرحله اول بررسی و شناخت دقیق وضع موجود آبخوان گوهرکوه بوده است که در این راستا از نرم‌افزار مدل‌سازی ریاضی Visual MODFLOW 4.2 Premium استفاده شده است. مدل Modflow در واقع یک حل تفاضل محدود برای معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر جریان آب زیرزمینی است (Doherty, 2001). این مدل برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی در آبخوان‌های با شرایط مرزی مشخص و با فرض مقادیر لازم برای هدایت هیدرولیکی و دیگر پارامترهای سفره کاربرد دارد (Hoaglund, 2002).پس از مدل‌سازی دشت، تأثیر اجرای طرح تغذیه مصنوعی در دو حالت «با و بدون تأمین آب تغذیه از سد در حال ساخت گوهرکوه» مورد پیش‌بینی و ارزیابی قرار گرفته است.

۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه

دشت گوهرکوه در استان سیستان و بلوچستان با موقعیت جغرافیایی '۱۱ °۶۰ تا '۶۱ خاوری و '۰۷ °۲۸ تا '۴۵ °۲۸ شمالی در ۱۷۰ کیلومتری جنوب باختر زاهدان واقع شده است و به‌وسیله یک جاده آسفالته که از جاده آسفالته زاهدان به خاش منشعب می‌شود، با شهرستان زاهدان ارتباط پیدا می‌کند. این دشت قسمتی از حوضه آبریز گوهرکوه و قلعه‌بید است. این حوضه از خاور به حوضه آبریز لادیز و خاش، از باختر به کویر لوت و از شمال به کورین و شورو محدود است. آبخوان دشت گوهرکوه در مرز جنوبی این حوضه قرار دارد.

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی محدوده دشت گوهرکوه را نشان داده است. حوضه آبریز گوهرکوه در حدفاصل واحدهای زمین‌ساختی نهبندان، خاش، مکران، بلوک لوت و ایران مرکزی واقع شده است. سازندهای سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه را از نظر ساختمانی می‌توان به دو زون فلیش خاور ایران و زون لوت وابسته به ایران مرکزی دانست. ناحیه مورد مطالعه، از نهشته‌های فلیش و سنگ‌های آمیزه‌رنگین خاور و جنوب خاوری ایران تشکیل شده و بیرون‌زدگی‌های موجود، ترکیب و ویژگی‌های خاص سنگ‌های این بخش از ایران را دارا هستند. رسوبات دشت به سن کواترنر هستند و بر اساس نگاشت چاه‌های حفاری رسوبات دشت دارای اندازه‌های مختلف از سیلت تا شن است. تحرک‌های زمین‌ساختی باعث ایجاد گسل‌ها و درزها و شکاف‌های به‌نسبت فراوان در مجموعه سازندهای زمین‌شناسی حوضه آبریز شده است. جهت گسل‌ها عموما" در سه امتداد شمال- جنوب، شمال باختر- جنوب خاور و شمال خاور- جنوب باختر است. کوه آتشفشان تفتان واقع در ضلع شمال خاوری حوضه گوهرکوه محصول فعالیت‌های آتشفشانی در کواترنر و ترشیر است و در حال حاضر فعالیت آن منحصر به خروج گازهای گوگردی از دهانه و اطراف دهانه است. گدازه‌ها و نفوذی‌های آتشفشانی بخشی از سازندهای مربوط به ترشیر را در حوضه آبریز پوشانده است.

بلندترین نقطه ارتفاعی موجود در حوضه آبریز دشت با ارتفاع ۳۱۲۶ متر از سطح دریا، در دامنه‌های تفتان، واقع در شمال خاوری حوضه و پست‌ترین آن، در خروجی دشت با ارتفاع ۱۲۵۰ متر قرار دارد. ارتفاع متوسط حوضه ۱۶۲۳ متر و ارتفاع متوسط دشت ۱۳۵۰ متر است.

برای بررسی شرایط آب و هوایی حوضه آبریز گوهرکوه و نوسانات مربوط به آن، ازآمار میانگین ماهانه ایستگاه سینوپتیک خاش از فروردین سال ۱۳۶۵ تا اسفند سال ۱۳۸۶ استفاده شده است. نتایج بررسی آماری پارامترهای هواشناسی در جدول ۱ ارائه شده است. براساس این آمار میانگین بارندگی سالیانه،۱۴۴/۳ میلی‌متر در سال، دمای میانگین سالانه درطول دوره آماری حدود ۱۹/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین سالیانه تبخیر از تشت، ۱۱۱/۵ میلی‌متر در سال است. تغییرات میانگین ماهیانه این پارامترها در طول سال نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. گرم‌ترین ماه سال تیرماه با درجه حرارت میانگین ۳۰/۴ درجه سانتی‌گراد، سردترین ماه سال نیز دی ماه، با میانگین دمای ۹ درجه سانتی‌گراد است. کمترین میانگین ماهانه بارش ۰/۹ میلی‌متر مربوط به مرداد ماه و بیشترین آن ۳۹ میلی‌متر مربوط به اسفند ماه است. بیشترین میانگین تبخیر مربوط به ماه مرداد و با ۱۵/۱ میلی‌متر تبخیر، کمترین میانگین تبخیر مربوط به ماه دی و با ۳/۱ میلی‌متر تبخیراست. بر اساس اقلیم‌نمای دومارتن محدوده مورد مطالعه دارای اقلیم خشک بیابانی و بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه در اقلیم خشک معتدل قرار می‌گیرد.

۳- مواد و روش‌ها

اطلاعات مورد نیاز این مدل‌سازی از منابع مختلف تأمین شده است. در محدوده مدل‌سازی۸۶ حلقه چاه بهره‌برداری، دو رشته قنات و ۱۷ چاه پیزومتری موجود است. توپوگرافی سطح آبخوان با استفاده از ارتفاع مطلق اندازه‌گیری شده در ۱۷ حلقه پیزومتر تهیه شده است. برای رسم نقشه توپوگرافی سنگ کف از نتایج مطالعات ژئوفیزیک انجام شده، نگاشت‌های اکتشافی و اطلاعات مربوط به چاه‌های بهره‌برداری استفاده شده است. آمار موجود سالیانه چاه‌های بهره‌برداری و ماهیانه اندازه‌گیری تراز آبی آبخوان در محاسبات بیلان مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات تغذیه به آبخوان با استفاده از آمار بارندگی دشت گوهرکوه وآب برگشتی ازچاه‌ها و قنات‌ها به دست آمده است. ضرایب هیدرودینامیکی شامل هدایت هیدرولیکی وآبدهی ویژه با استفاده از نتایج آزمایش‌های پمپاژ سازمان آب منطقه‌ای استان سیستان و بلوچستان، در مناطق مختلف دشت به صورت منطقه‌ای به مدل داده شد(شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان،۱۳۸۳).

۴- بحث

۴-۱. توسعه مدل مفهومی

آبخوان دشت گوهرکوه در نهشته‌های آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ای قرار دارد. این آبخوان از نوع آزاد است. آبخوان از سمت شمال خاور و خاور به واحدهای سنگی از نوع آمیزه‌های رنگین محدود می‌شود؛ که با توجه به نوع ژنز و ترکیب سنگ‌شناختی، این مجموعه نفوذپذیر و مؤثر در تغذیه آبخوان است. از جنوب نیز به واحدهای سنگی آهکی تکتونیزه محدود می‌شوند که پتانسیل آبی نسبتا" خوبی دارند. شرایط مرزی مدل بر اساس این اطلاعات استخراج شده‌اند. سنگ کف محدوده مطالعاتی در بخش‌های مختلف و همچنین ستبرای آبخوان متفاوت هستند. با توجه به نگاشت‌های حفاری، ستبرای آبخوان در شمال دشت ۸۹ متر و جنس سنگ کف مارن سبزرنگ، در جنوب آبخوان ۹۶ متر و جنس سنگ کف، مارن، در خاور آبخوان ۶۰ متر و جنس سنگ کف آهک، در مرکز دشت ۷۵ متر و جنس سنگ کف مارن سرخ رنگ است. نقشه تراز آب زیرزمینی بر اساس اطلاعات ۱۷ حلقه چاه پیزومتری موجود در دشت گوهرکوه تهیه شده است (شکل ۳). جهت جریان آب زیرزمینی از شمال باختر و جنوب به سمت جنوب‌خاور محدوده مدل‌سازی است. میزان شیب هیدرولیکی در بخش‌های شمالی بیشتر و در بخش‌های جنوبی کمتر است.

با استفاده از نتایج آزمون پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری و اکتشافی میزان توانایی انتقال از ۳۶۱۴ مترمربع بر روز در بخش‌های شمالی تا ۴۲۳۰ مترمربع بر روز در بخش‌های جنوبی در تغییر است. میزان قابلیت انتقال اندازه‌گیری شده به صورت منطقه‌ای به کل دشت بسط داده شده است. بیشترین آبدهی ویژه۰/۱۷ مربوط به نواحی مرکزی دشت و کمترین آن ۰/۱۲ مربوط به نواحی خاوری اندازه‌گیری شده است. با روش تیسن و بر اساس داده‌های پیزومتری خردادماه ۱۳۸۱ تا تیرماه ۱۳۸۵ هیدروگراف واحد دشت تهیه شده است (شکل۴) . نتیجه نشان می‌دهد که تراز آب زیرزمینی در طی ۴ سال ۱/۶۳ متر کاهش یافته است.

در یک دوره زمانی از اسفند ۱۳۸۱ تا بهمن ۱۳۸۲ مؤلفه‌های بیلان آب زیرزمینی محاسبه شده است. مؤلفه‌های ورودی به محدوده بیلان شامل نفوذ از بارش‌های جوی در سطح دشت، برگشت آب مصرفی، جریان ورودی زیرزمینی و نفوذ از رواناب‌های سطحی در نظر گرفته شده است. برای محاسبه میزان نفوذ از نزولات جوی، با توجه به بارش انجام شده در سال آبی ۸۲-۱۳۸۱ (۶۶ میلی‌متر)، حجم بارش در محدوده بیلان ۱۵/۴ میلیون‌مترمکعب برآورد شده است. بر اساس میزان تبخیر و تعرق پتانسیل بالای دشت و جنس رسوبات دشت، ۱۵% از این حجم معادل ۲/۳ میلیون مترمکعب به عنوان نفوذ از طریق بارش‌های جوی در محاسبات بیلان استفاده شده است. برای محاسبه آب برگشتی مصرفی، ۲۰% از آب مصرفی کشاورزی و ۷۰% از آب مصرفی شرب به عنوان آب برگشتی به محدوده بیلان و معادل ۶/۹۲ میلیون‌مترمکعب برآورد شده است. برای محاسبه ورودی و خروجی زیرزمینی از محدوده بیلان، از نقشه تراز آب زیرزمینی بهمن‌ماه سال ۸۲ (شکل ۳) و قابلیت انتقال مقاطع ورودی و خروجی که از نتایج آزمون‌های پمپاژ استخراج شده‌اند، استفاده شده است. بر این اساس، حجم ورودی به محدوده بیلان در سال بیلان ۳۳/۱ میلیون مترمکعب محاسبه شد. با توجه به عدم ایستگاه‌های هیدرومتری در سطح دشت، امکان برآورد قابل قبولی از مؤلفه نفوذ از جریان‌های سطحی در سطح دشت وجود ندارد.

مؤلفه‌های خروجی از محدوده بیلان شامل تخلیه توسط چاه‌های بهره‌برداری و قنات‌ها، خروجی زیرزمینی و تبخیر احتمالی از آب زیرزمینی است. بر اساس اطلاعات آماربرداری از منابع آب در سال ۸۲-۱۳۸۱، میزان بهره‌برداری در محدوده بیلان ۳۴/۶ میلیون‌مترمکعب گزارش شده است(شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان وبلوچستان،۱۳۸۲). با روش بیان شده در پاراگراف پیش، حجم خروجی زیرزمینی از محدوده بیلان معادل ۱۴ میلیون مترمکعب محاسبه شد. با توجه به این‌که ژرفای آب زیرزمینی در آبخوان بیشتر از ۵ متر است، تبخیر از آب زیرزمینی انجام نمی‌شود. نتیجه محاسبات بیلان (جدول ۲) نشان می‌دهد که بر آبخوان گوهرکوه در سال آبی ۸۲-۱۳۸۱بیلان منفی معادل ۶/۳- میلیون‌مترمکعب در سال حاکم بوده است. هیدروگراف واحد دشت نیز در محدوده زمانی محاسبه بیلان ۲۵ سانتی‌متر کاهش نشان داده است. با اعمال آبدهی ویژه ۱۲% برای آبخوان کاهش حجم آبخوان ۵/۲- میلیون مترمکعب محاسبه می‌شود که با نتایج بیلان همخوانی دارد. اختلاف بین تغییر حجم مخزن به‌دست آمده از هیدروگراف دشت و نتیجه بیلان، می‌تواند مربوط به مؤلفه نفوذ از جریان‌های سطحی باشد که در محاسبات بیلان اعمال نشده است.

۴-۲. معادله حاکم و انتخاب کد کامپیوتری

فرم کلی معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی از دیدگاه سیستم جریان به صورت زیر است:

$$\partial/\partial x(K_x.h.\partial h/\partial x)+\partial/\partial y(K_y.h.\partial h/\partial y)+\partial/\partial z(K_z.h.\partial h/\partial z)=S_s\,\partial h/\partial t\pm R$$

که Kx، Ky و Kz مؤلفه‌های تنسور هدایت هیدرولیکی، S_s ظرفیت ویژه و R مؤلفه تغذیه یا تخلیه به آبخوان است.

در انتخاب کد کامپیوتری به معیارهایی مانند کارایی مدل، عمومیت مدل و سهولت کاربرد مدل توجه می‌شود. همچنین مدلی که مراحل مختلف ورود و خروج داده‌ها، تنظیم و ارائه نتایج با استفاده از ابزارهای گرافیکی با دقت قابل قبول را داشته باشد؛ برتری دارد. با توجه به موارد بالا و اهداف این نوشتار، از نسخه پیشرفته مدل MODFLOW یعنی Visual MODFLOW 4.2 که تمامی معیارهای بالا را دارد؛ استفاده شده است. این نرم‌افزار دارای قابلیت‌های بسیاری از جمله اعمال بسیاری از بسته‌های نرم‌افزاری مورد نیاز آبخوان، توانایی ورود داده‌هایی با پسوندهای مختلف، توانایی نمایش سه‌بعدی، توانایی محاسبه سلول‌های بیشتر و افزایش چشمگیر در سرعت محاسبات نسبت به نسخه پیشین است.

۴-۳. طراحی مدل دشت، تعیین مرزها

برای مدل‌سازی آب زیرزمینی منطقه مورد نظر، سلول‌ها با ابعاد ۵۰۰ متر انتخاب شده‌اند؛ که در ۳۴ ستون و ۵۸ ردیف قرار می‌گیرند. سطح آبخوان به عنوان مرز بالایی و واحدهای کف آبخوان به‌عنوان مرز پایین مدل در نظر گرفته شده‌اند. در محدوده مورد مطالعه، به دلیل نبود توده نفوذناپذیر سنگی و حجم زیادی از آب سطحی، تنها می‌توان از مرزهای هیدرولیکی استفاده کرد. مرزهای آبخوان در دشت گوهرکوه ازنوع بارثابت انتخاب شده‌اند؛ و برای وارد کردن مرزهای مدل، از نقشه‌های تراز آبی مربوط به هر دوره استفاده شده است. در حالت پایدار مرزها با بار آبی ثابت (Constant Head) و در حالت ناپایدار در خروجی‌ها چاه با دبی منفی و در ورودی‌ها چاه با دبی مثبت و در بقیه نقاط مرز با بار صفر در نظر گرفته می‌شود(شکل۵).

۴-۴.ورود اطلاعات به مدل

با استفاده از ارتفاع مطلق پیزومترها، نقشه توپوگرافی سطح آبخوان تهیه و به مدل داده می‌شود (شکل ۶- الف). مرز زیرین آبخوان آب زیرزمینی را سنگ کف تشکیل می‌دهد. در شکل ۶- ب توپوگرافی سنگ کف آبخوان دشت گوهرکوه نشان داده شده است. این نقشه با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی، نگاشت‌های اکتشافی و چاه‌های بهره‌برداری رسم شده است.

مؤلفه‌های تخلیه و تغذیه به مدل بر اساس نتایج مطالعات هیدروژئولوژیکی توسط بسته‌های نرم‌افزاری مربوطه به مدل وارد شده‌اند. در محدوده مدل‌سازی ۸۶ حلقه چاه بهره‌برداری دو رشته قنات و ۱۷ چاه پیزومتری موجود است (شکل۷). برای ورود اطلاعات آنها به مدل، از بسته نرم‌افزاری Wells استفاده می‌شود. تغذیه ناشی از بارش، آب برگشتی از چاه‌های بهره‌برداری، قنات‌ها و چشمه‌ها محاسبه و توسط بسته تغذیه به مدل وارد می‌شوند. چنانچه در مبحث بیلان توضیح داده شد، در دشت گوهرکوه میزان تغذیه ناشی از بارندگی ۱۵ درصد بارندگی در نظر گرفته شده است. در هر دوره ۱۵ درصد بارندگی محاسبه و در مناطقی که منبع تغذیه دیگری وجود ندارد، همین مقدار به عنوان تغذیه به آن سلول منظور شده است. ضرایب هیدرودینامیکی شامل هدایت هیدرولیکی وآبدهی ویژه با استفاده از نتایج آزمایش‌های پمپاژ در مناطق مختلف دشت به صورت منطقه‌ای به مدل داده می‌شود. اطلاعات وارد شده به مدل در جدول ۳ ارائه شده است.

برای اجرای مدل باید شرایط اولیه بار آبی به مدل داده شود؛ تا مدل بتواند بر اساس بار آبی اولیه داده شده به آن برای حل معادلات دیفرانسیل، بار آبی در کل آبخوان را محاسبه نماید. بدین منظور، آمار سطح آب آبخوان دشت گوهرکوه در بهمن ماه ۱۳۸۱ که دارای کمترین نوسان است، به‌عنوان بار آبی اولیه به مدل داده شد. زمان اجرای مدل و مراحل زمانی موازنه (کالیبراسیون) نیز به تعدادی تنش دوره تناوب وگام زمانی تقسیم می‌شود. برای شبیه‌سازی دشت گوهرکوه، زمان واسنجی شرایط ناپایدار به مدت یک سال از اسفند ۱۳۸۱ تا اسفند ۱۳۸۲ در ۱۲ دوره تنش در نظر گرفته شده است.

۴-۵. واسنجی مدل

در واسنجی حالت ماندگار، از داده‌های سطح آب بهمن‌ماه ۱۳۸۱ که دارای کمترین نوسان است، استفاده شده است. در این مرحله با اجرای پیاپی مدل هدایت هیدرولیکی بهینه شود تا بین سطح آب محاسبه‌ای توسط مدل و سطح آب مشاهده‌ای (سطح آب در بهمن ماه ۱۳۸۱) انطباق مطلوبی حاصل شود. مقادیر اولیه هدایت الکتریکی با توجه به نتایج آزمایش‌های پمپاژ و بررسی نگاشت‌های اکتشافی انتخاب شد. بر این اساس، مقدار ضریب هدایت هیدرولیکی اولیه از ۰/۰۰۰۴۹ متر بر ثانیه در بخش‌های شمالی تا ۰/۰۰۰۵۰ متر بر ثانیه در بخش‌های جنوبی منظور شده است. نقشه هدایت هیدرولیکی بهینه‌شده بعد از واسنجی در شکل ۸- الف نشان داده شده است. در واسنجی پایدار NormalizdRMS برابر ۰/۵۹% است، که مقدار قابل قبولی است. شکل ۸- ب انطباق مناسب بین ترازهای مشاهده‌ای و محاسباتی در حالت پایدار را نشان داده است.

بعد از واسنجی مدل درحالت پایدار، این کار در حالت ناپایدار صورت می‌گیرد. در این مرحله آبدهی ویژه بهینه شد. مقادیر اولیه آبدهی ویژه بر اساس آزمون‌های پمپاژ و از بیشینه ۰/۱۷ مربوط به نواحی مرکزی دشت تا کمینه ۰/۱۲ مربوط به نواحی خاوری دشت منظور و به صورت منطقه‌ای به مدل وارد شد. برای واسنجی مدل در حالت ناپایدار از آمار سطح آب مربوط به اسفند ۱۳۸۱ الی اسفند ۱۳۸۲ استفاده شده است. نقشه آبدهی ویژه بهینه شده در شکل ۹ نشان داده شده است. در جدول ۴ خطاهای محاسباتی در طی ۱۲ دوره تنش در واسنجی ناپایدار و در شکل ۱۰ مقایسه ترازهای مشاهداتی و محاسباتی برای دوره‌های ۶۰ روزه از شروع شبیه‌سازی نشان داده شده است. خطاها در محدوده قابل قبول واقع شده است.

۴-۶. تحلیل حساسیت

در حالت پایدار حساسیت مدل نسبت به تغییر میزان هدایت هیدرولیکی و در حالت ناپایدار نسبت به تغییرات تغذیه، تخلیه و آبدهی ویژه بررسی شد. نتیجه بررسی نشان داده است که مدل، بیشترین حساسیت را به تغییر در هدایت هیدرولیکی دارد و میزان تغذیه و تخلیه و ضریب آبدهی ویژه از نظر حساسیت، در رده‌های بعدی هستند. شکل ۱۱ میزان حساسیت مدل را نسبت به پارامترهای مختلف نشان می‌دهد.

۴-۷. صحت‌سنجی

بعد از واسنجی در حالت ناپایدار مدل نیازمند تأیید یا صحت‌سنجی است تا بتوان به آن اطمینان کرد. بدین منظور از اسفند ۱۳۸۲ تا اسفند ۱۳۸۳ صحت‌سنجی صورت گرفت. جدول ۵ خطاهای محاسباتی در طی ۱۲ دوره تنش در حالت صحت‌سنجی نشان می‌دهد. مقایسه بین ارتفاع آب مشاهداتی و محاسباتی در طول دوره صحت‌سنجی در شکل ۱۲ برای پیزومترهای انتخابی، نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در دوره صحت سنجی روند تغییرات ترازهای محاسباتی به‌طور کامل از روند تغییرات ترازهای مشاهداتی پیروی نموده است. بیشترین اختلاف بین تراز مشاهداتی و محاسباتی در این دوره ۰/۵ متر بوده است و در بیشتر موارد این اختلاف به کمتر از ۲۰ سانتی‌متر رسیده است. این موضوع نشان می‌دهد که مدل‌سازی با خطای قابل قبولی انجام شده است و نتایج پیش‌بینی را می‌توان از صحت قابل قبولی برخوردار دانست.

۴-۸. بررسی اثرات تغذیه مصنوعی بر روی آبخوان

بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی، در قالب دو حالت متفاوت: یکی بدون در نظر گرفتن اجرای سد گوهرکوه و دیگری با در نظر گرفتن اجرای سد گوهرکوه انجام شده است. لازم به یادآوری است که اثر سد گوهرکوه تنها به عنوان تأمین کننده آب مورد نیاز برای تغذیه در نظر گرفته شده است.

حالت اول: برای تعیین مکان مناسب برای تغذیه مصنوعی به آبخوان دشت گوهرکوه ضمن بازدید صحرایی به هدف شناخت محل مناسب، عوامل تأثیرگذار در موفقیت

تغذیه مصنوعی مانند امکان تأمین آب مورد نیاز برای تغذیه، نفوذپذیری مناسب، ضریب آبدهی ویژه مناسب، داشتن ستبرای غیراشباع کافی، داشتن فاصله مناسب از محل چاه‌های بهره‌برداری، حفظ ژرفای مناسب از سطح ایستابی (بیش از ۷ متر) برای جلوگیری از آلودگی آب زیرزمینی پس از تغذیه مصنوعی، فاصله مناسب از خروجی آب زیرزمینی، فاصله کوتاه‌تر تا محل سدی که در آینده بتواند آب تغذیه‌ای را تأمین نماید و کاربری اراضی از نظر امکان تأمین زمین کافی برای ایجاد حوضچه‌های تغذیه، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این عوامل، محل تغذیه مصنوعی تعیین شد. در شکل ۱۳ – ج محل مناسب برای تغذیه مصنوعی نشان داده شده است.

در حالتی که امکان انتقال آب از سد به منظور تغذیه در نظر گرفته نشود، آب مورد نیاز از راه مهار رواناب‌های سطحی تأمین می‌شود. میزان میانگین ماهیانه آب سطحی محل ساختگاه قابل تأمین و انتقال به محل حوضچه‌های تغذیه در جدول ۶ آورده شده است. بر اساس این جدول سالیانه معادل ۱۴/۳ میلیون‌مترمکعب از رواناب‌های سطحی را می‌توان به آب‌های زیرزمینی تغذیه نمود. با توجه به نبود ایستگاه هیدرومتری در منطقه میزان رواناب سطحی با محاسبه بیلان هیدرو کلیماتولوژی در محدوده مطالعاتی گوهرکوه برآورد شده است. اعمال این حالت و تغذیه ۱۴/۳ میلیون‌مترمکعب آب به سلول‌های تغذیه مصنوعی باعث افزایش در تراز آب زیرزمینی شده است. مقایسه نقشه‌های تراز آبی بهمن ۸۴ (شکل ۱۳– الف) و بهمن ۸۶ (شکل۱۳– ب) نشان می‌دهد؛ که بیشترین افزایش سطح آب در محل تغذیه رخ داده است. در عین حال این افزایش به گونه‌ای نیست که منجر به تبخیر از آب زیرزمینی یا افزایش پتانسیل آلودگی در آب‌های زیرزمینی شود. این امر در نقشه هم‌ژرفا و تراز آبی بهمن ۸۶ که در شکل ۱۳– د به نمایش درآمده، مشخص است. شبیه‌سازی با اعمال سناریوی تغذیه مصنوعی نشان داده است که، به طور میانگین از بهمن ۸۴به بهمن ۸۶، میزان افزایش سطح ایستابی ۱/۱۸متر محاسبه شده است.

حالت دوم: از آنجا که منطقه مورد مطالعه از نظر اقلیمی یک منطقه خشک است، اعتماد کافی برای تأمین آبدهی سطحی ارائه شده در جدول ۶ در تمامی سال‌ها وجود ندارد. بر این اساس مطمئن‌تر این است که آب مورد نیاز تغذیه از طریق سد در حال ساخت تأمین شود. بر این اساس در حالت دوم بدون مهار سیلاب‌های سطحی فرض می‌شود، که سالیانه ۱۴ میلیون‌مترمکعب آب را بتوان از سد به محل اجرای تغذیه مصنوعی منتقل نمود. در حالت تأمین آب تغذیه از طریق سد، می‌توان مقدار تغذیه را تعیین کرد و در هر دوره تنش حجم خاصی از آب را به آبخوان تغذیه نمود. فرض شده است که ۵% از آب انتقالی از سد، در زمان انتقال و تغذیه کاهش یابد. با کم کردن مقدار هدر رفت آب، حجم ورودی به حوضچه‌های تغذیه تعیین شد. در این حالت مقدار مساوی به تمام دوره‌های زمانی نسبت داده شد. شکل ۱۴– الف منحنی‌های تراز آبی بهمن ۸۴ و در شکل ۱۴– ب منحنی‌های تراز بهمن ۸۶ را نشان می‌دهد. میانگین افزایش سطح آب از بهمن ۸۴به بهمن ۸۶، ۱/۱۲ متر است. نتیجه نهایی افزایش تراز آب در این حالت کمتر از حالت بدون در نظر گرفتن سد به دست آمده است. این امر به این دلیل است که آب قابل تأمین از سد کمتر از آب قابل تأمین از رواناب سطحی فرض شده است. با توجه به این‌که وقوع رواناب سطحی در سال‌های خشک قابل انتظار نیست، نتیجه حالت دوم از اعتماد بالاتری برخوردار است. از طرفی چنانچه میزان آب قابل تأمین از سد افزایش یابد (بیشتر از ۱۴ میلیون‌مترمکعب در سال)، تغییر تراز آب نیز افزایش خواهد یافت. در شکل ۱۴–د نقشه هم ژرفای سطح ایستابی و تراز آبی بهمن ۸۶نشان داده شده‌اند. در این حالت نیز پس از افزایش تراز آب، سطح ایستابی با فاصله مناسبی از سطح زمین قرار می‌گیرد.

۵– نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش، به صورت زیر خلاصه می‌شود:

– از شمال به جنوب آبخوان رسوبات موجود در دشت درشت دانه‌تر می‌شوند و نفوذپذیری نیز در همین جهت افزایش می‌یابد.

– جهت جریان آب زیرزمینی از شمال باختر و جنوب به سمت جنوب‌خاور محدوده مدل‌سازی است. میزان شیب هیدرولیکی در بخش‌های شمالی بیشتر و در بخش‌های جنوبی کمتر است.

– روند کلی هیدروگراف واحد دشت نزولی است. از خردادماه ۱۳۸۱ تا تیرماه ۱۳۸۵ به میزان ۱/۶۳ متر افت سطح آب زیرزمینی را در آبخوان دشت گوهرکوه شاهد هستیم.

– نبود مطابقت هیدروگراف واحد با بارندگی از آذر ۱۳۸۳ تا فروردین ۱۳۸۴ به دلیل افزایش بی‌رویه برداشت ازآب زیرزمینی در این دوره زمانی است.

– بیلان آبخوان دشت گوهرکوه در طی دوره بیلان (از اسفند۱۳۸۱ تا بهمن ۱۳۸۲) منفی است. تغییرات ذخیره آبخوان که بر اساس هیدروگراف واحد دشت محاسبه شده است نیز، ۵/۲ میلیون‌مترمکعب کاهش نشان می‌دهد.

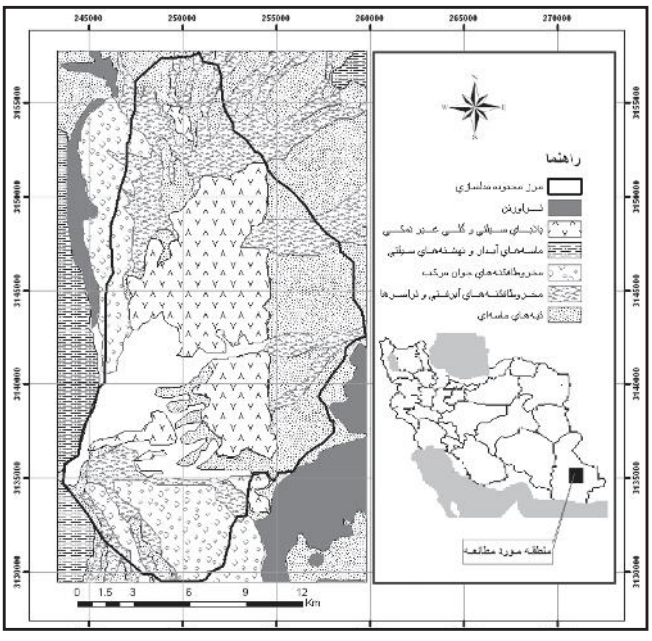
– در حالت واسنجی پایدار ۰/۵۹: Normalized RMS% محاسبه شد. کمترین مقدار هدایت هیدرولیکی بهینه شده برای بخش‌های شمالی آبخوان (۰/۰۰۰۴۴m/s) و بیشترین مقدار آن برای جنوب آبخوان (۰/۰۰۰۴۸ m/s) محاسبه شد.

– در واسنجی ناپایدار، آبدهی ویژه بهینه شد که از ۰/۱ در بخش‌های خاوری تا ۰/۱۶ در بخش‌های مرکزی در تغییر است.

– بیشترین افت در بخش خاوری آبخوان رخ می‌دهد؛ که دارای ستبرای رسوب کمی است و تراکم چاه‌های بهره‌برداری نیز در منطقه زیاد است.

– تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که مدل بیشترین حساسیت را به تغییر در هدایت هیدرولیکی دارد و میزان تغذیه و تخلیه و ضریب آبدهی ویژه از نظر حساسیت در رده‌های بعدی هستند.

– واکنش آبخوان دشت گوهرکوه نسبت به طرح تغذیه مصنوعی مثبت است. در حالت اول، آب مورد نیاز برای تغذیه مصنوعی از طریق مهار رواناب‌های سطحی و در حالت دوم، آب مورد نیاز از طریق سد در حال ساخت گوهرکوه تأمین می‌شود. اگرچه در حالت دوم، میزان بالا آمدن تراز آب کمتر از حالت اول است، اما اعتماد بیشتری به تأمین آب مورد نیاز تغذیه از طریق سد وجود دارد. به عبارتی حالت اول را می‌توان فقط مربوط به یک سال ترسالی دانست در حالی که حالت دوم در تمامی سال‌ها قابل پیش‌بینی است.



شکل ۱– موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه گوهرکوه

جدول ۱- پارامترهای هواشناسی منطقه مورد مطالعه

پارامتر	کمینه	زمان اتفاق	بیشینه	زمان اتفاق	میانگین	زمان اتفاق
بارش سالیانه	۲۸/۹	۱۳۸۴	۵۱۳/۱	۱۳۷۴	۱۴۴/۳	۱۳۶۵-۸۶
دمای سالیانه	۱۸/۸	۱۳۷۵	۲۰/۹	۱۳۸۱	۱۹/۹	۱۳۶۵-۸۶
تبخیر از تشتک	۹۳/۴	۱۳۷۶	۱۲۲	۱۳۸۳	۱۱۱/۵	۱۳۶۵-۸۶

جدول ۲- نتایج محاسبات بیلان آبی آبخوان دشت گوهرکوه (سال آبی ۸۲-۱۳۸۱)

پارامترهای بیلان	تغذیه(میلیون‌متر مکعب)	تخلیه(میلیون‌متر مکعب)
جریان ورودی آب زیرزمینی	۳۳/۱	_
ورودی از طریق نزولات جوی و برگشت آب مصرفی	۹/۲۲	_
نفوذ از طریق جریان‌های سطحی	X	_
جریان خروجی آب زیرزمینی	_	۱۴/۰
تخلیه از طریق چاه‌ها و قنوات	_	۳۴/۶
تبخیر از آبخوان	_	۰
مجموع	۴۲/۳۱	۴۸/۶
تغییرات حجم مخزن		-۶/۳

جدول ۳- پارامترهای مورد استفاده در مدل

پارامتر	کمینه	بیشینه	واحد
هدایت هیدرولیکی اولیه	۴۰	۴۳/۲	متر بر روز
ضریب ذخیره	۰/۱۲	۰/۱۷	درصد
ارتفاع سطح آبخوان	۱۳۵۰	۱۴۳۰	متر
ارتفاع سنگ کف	۱۲۹۰	۱۳۳۰	متر

جدول۴- خطاهای محاسباتی در طی ۱۲ دوره تنش در واسنجی ناپایدار

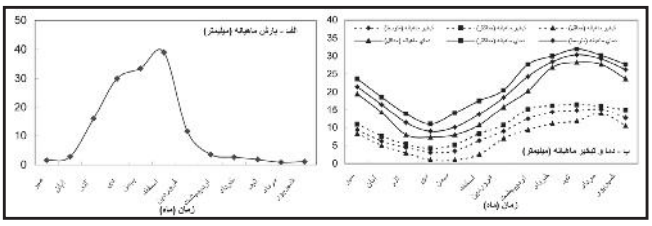
مرداد ۸۲	تیر ۸۲	خرداد ۸۲	اردیبهشت ۸۲	فروردین ۸۲	اسفند ۸۱	دوره
۰/۲۹۹	۰/۵۴۹	۰/۵۰۵	۰/۵۷۸	۰/۶۴۲	۰/۵۴۵	درصد خطای محاسباتی
بهمن ۸۲	دی ۸۲	آذر ۸۲	آبان ۸۲	مهر ۸۲	شهریور ۸۲	دوره
۰/۴۹۳	۰/۴۱۳	۰/۵۱۳	۰/۳۵۸	۰/۵۲۰	۰/۷۰۷	درصد خطای محاسباتی

جدول ۵- خطاهای محاسباتی درطی ۱۲ دوره تنش در حالت صحت‌سنجی

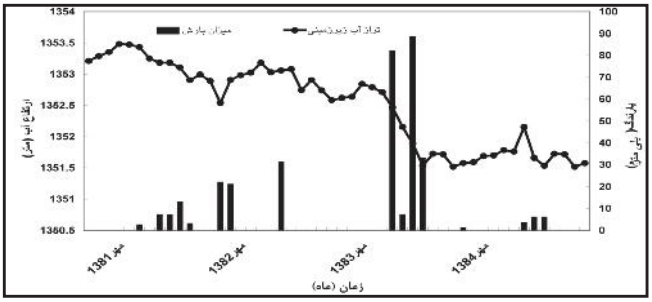
مرداد۸۳	تیر۸۳	خرداد۸۳	اردیبهشت۸۳	فروردین۸۳	اسفند۸۲	دوره
۰/۶۰۱	۰/۵۴۶	۰/۵۱۸	۰/۵۷۶	۰/۶۶۸	۰/۵۶۹	درصدخطای محاسباتی
بهمن۸۳	دی۸۳	آذر۸۳	آبان۸۳	مهر۸۳	شهریور۸۳	دوره
۰/۵۴۵	۰/۵۳۱	۰/۵۳۱	۰/۵۹۲	۰/۵۶۳	۰/۵۶۸	درصدخطای محاسباتی

جدول ۶- میانگین آبدهی ماهانه (مترمکعب بر ثانیه) محل پیشنهادی طرح تغذیه مصنوعی در دشت گوهرکوه

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
آبدهی	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۷۴۳	۱/۶۰۴	۱/۲۶۹	۱/۴۳۳	۰/۲۳۹	۰/۰۰۵	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	۰/۰۲۸	۰/۰

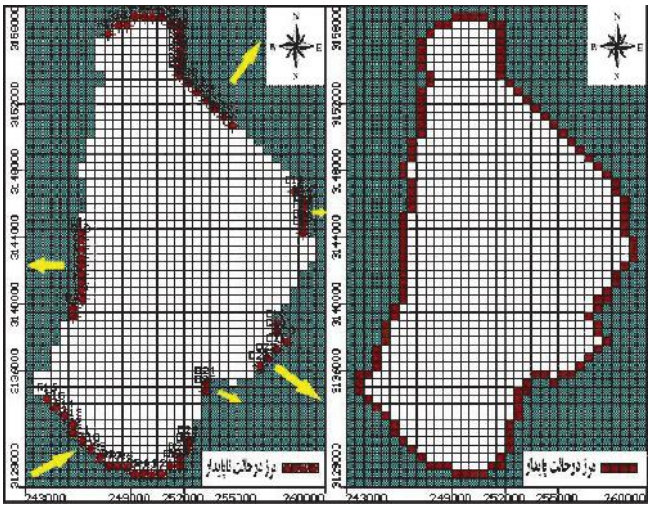


شکل۲- نوسانات ماهیانه پارامترهای هواشناسی حوضه آبریزگوهرکوه

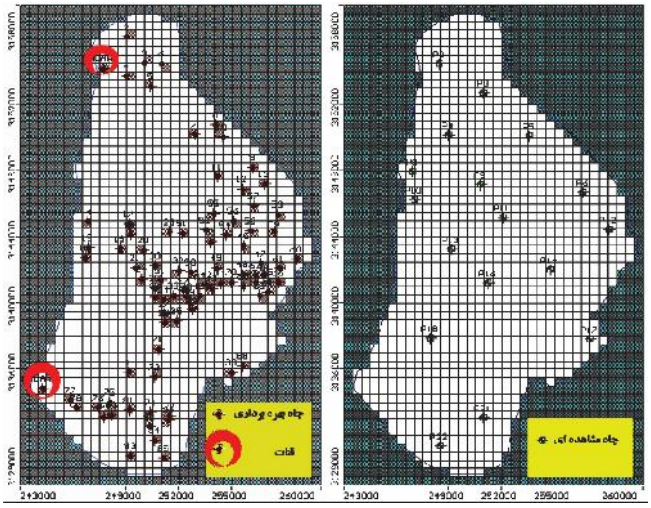


شکل ۴- هیدروگراف واحد دشت گوهر کوه

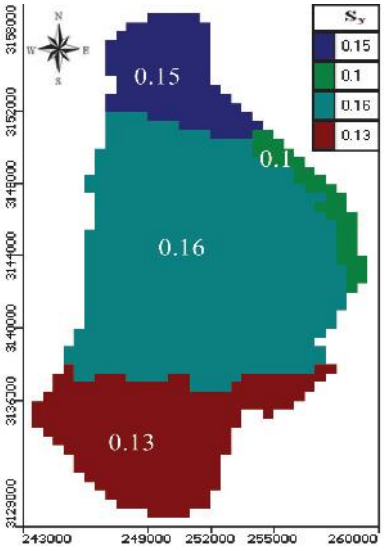
شکل ۳- خطوط تراز آب زیرزمینی نشان‌دهنده جهت جریان آب زیرزمینی



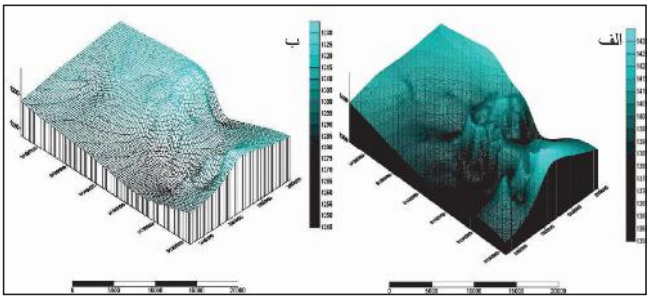
شکل ۵ – مرزهای مدل



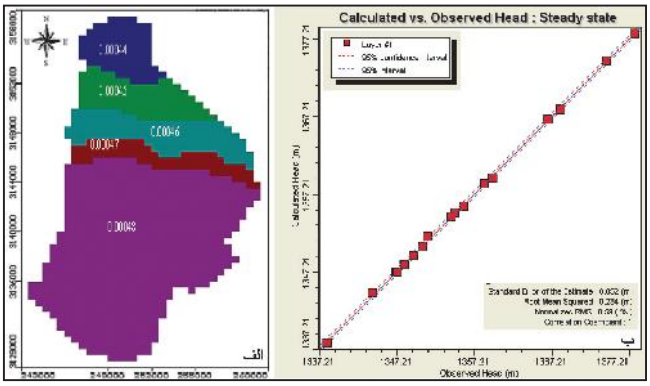
شکل۷– موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای، چاه‌های بهره‌برداری و قنوات در محیط مدل



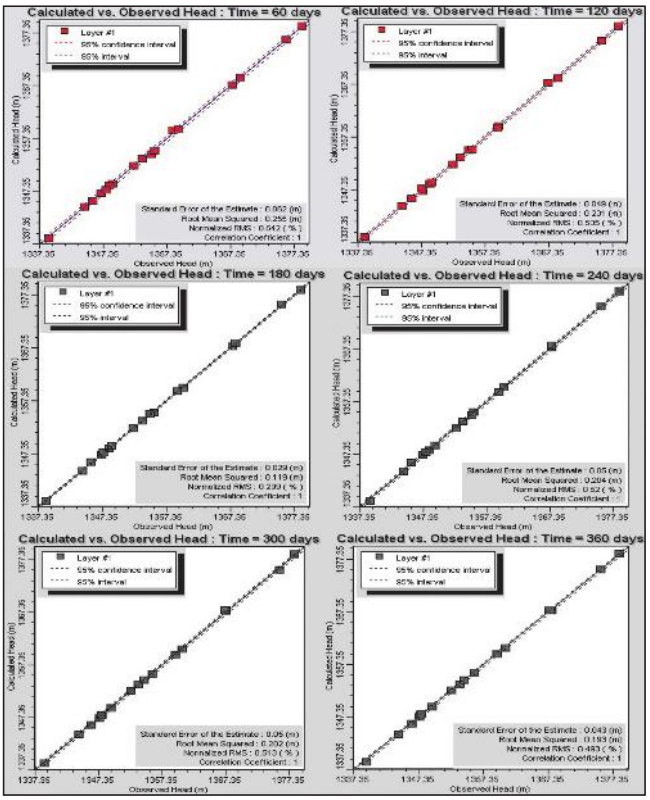
شکل۹– نقشه آبدهی ویژه بهینه شده



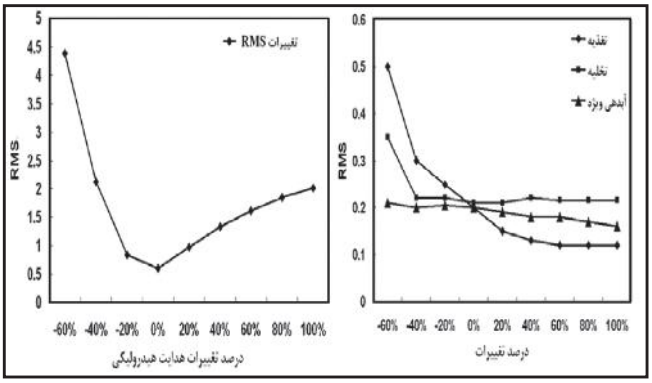
شکل۶– الف) توپوگرافی سطح آبخوان و ب) توپوگرافی سنگ کف



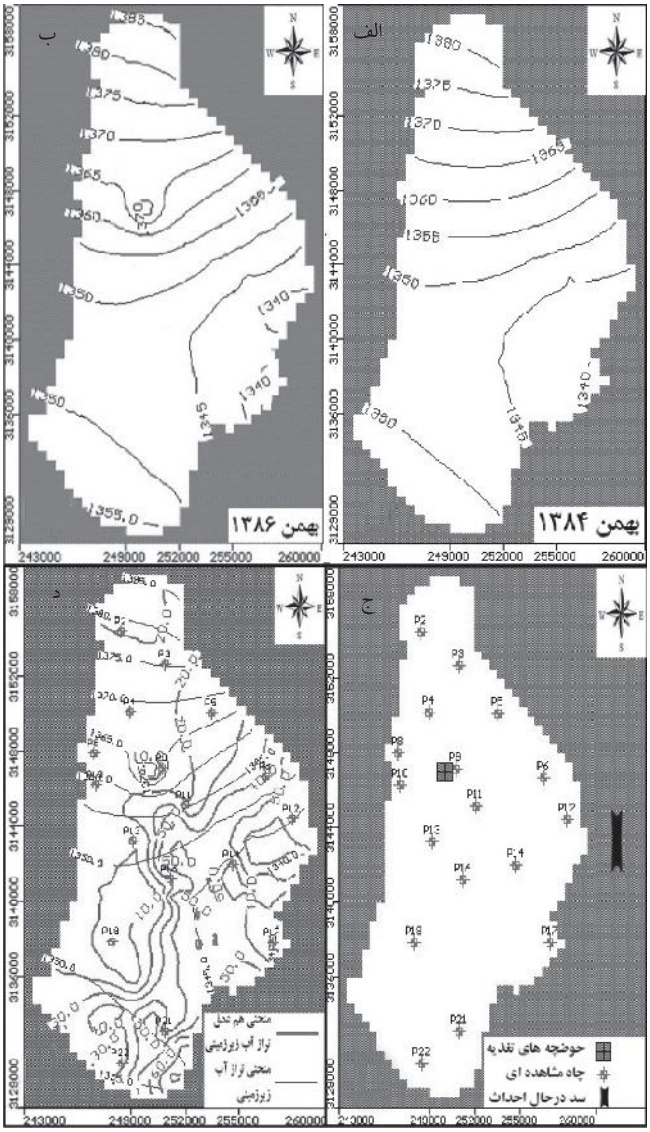
شکل ۸ – الف) نقشه هدایت هیدرولیکی بهینه شده (بر حسب متر بر ثانیه) ب)مقایسه تراز مشاهده‌ای و محاسباتی



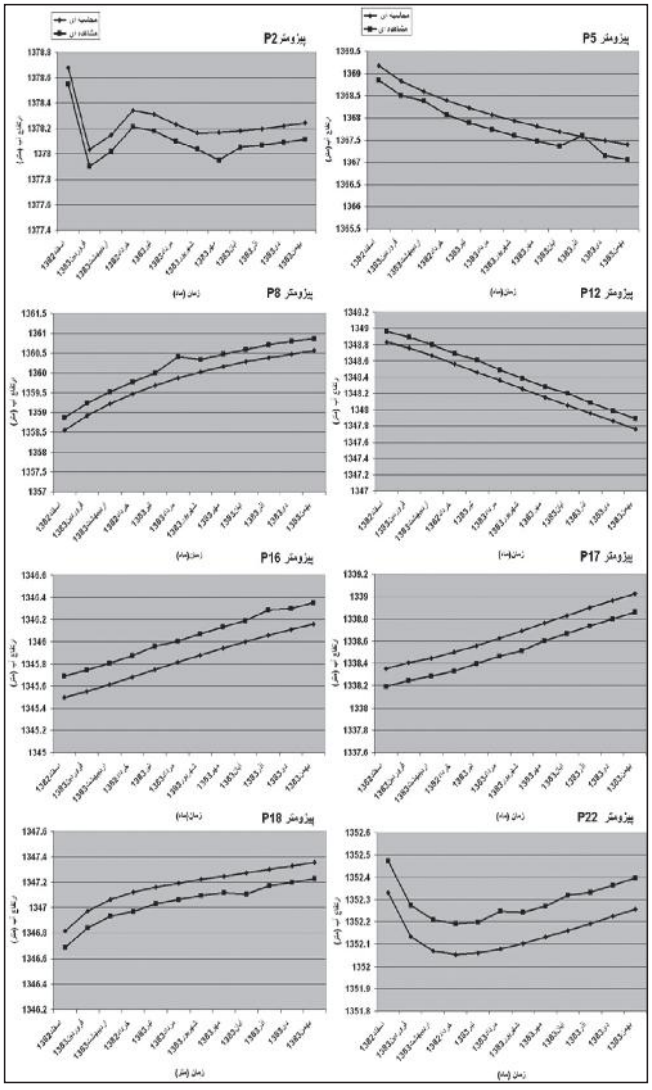
شکل ۱۰– مقایسه ترازهای محاسباتی و مشاهداتی طی دوره‌های ۶۰ روزه از واسنجی در حالت ناپایدار



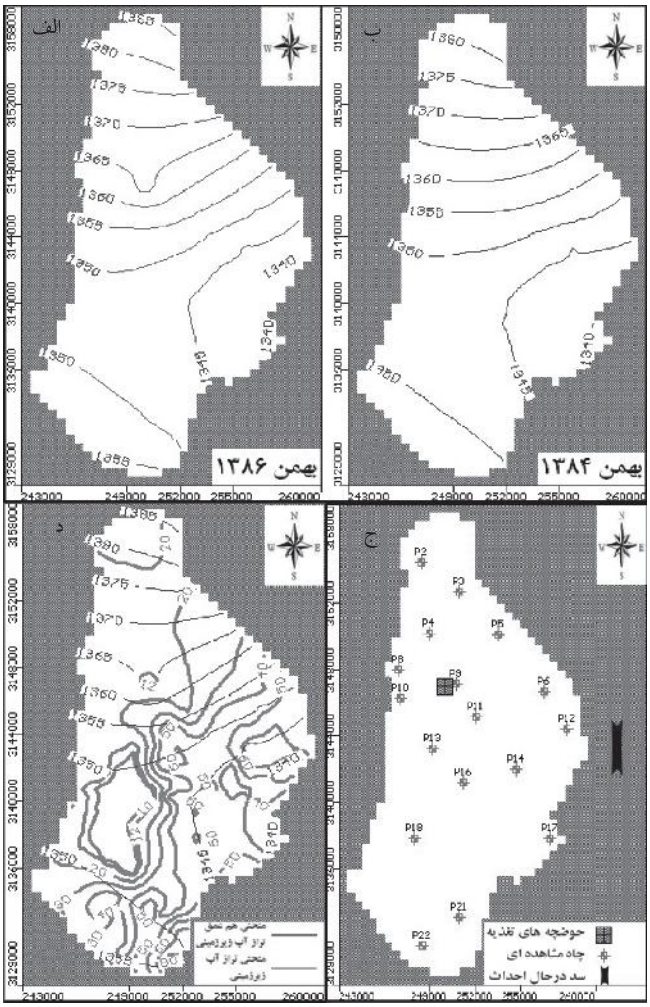
شکل ۱۱- میزان حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف



شکل ۱۳- الف) منحنی تراز بهمن ۸۴ ب) منحنی تراز بهمن ۸۶ در حالت تغذیه مصنوعی به آبخوان ج) محل حوضچه‌های تغذیه، سد در حال ساخت و چاه‌های مشاهده‌ای د) نقشه هم‌ژرفا و تراز آبی بهمن ۸۶ در حالت تغذیه مصنوعی به آبخوان بدون فرض تأمین آب از سد



شکل ۱۲- مقایسه تراز مشاهداتی و محاسباتی در چاه‌های مشاهده‌ای



شکل ۱۴- الف) منحنی‌های تراز بهمن ۸۴ ب) منحنی‌های تراز بهمن ۸۶ در حالت تغذیه مصنوعی ج) محل حوضچه‌های تغذیه، سد در حال ساخت و چاه‌های مشاهده‌ای د)نقشه هم ژرفا و تراز آبی بهمن ۸۶ درحالت تغذیه مصنوعی به آبخوان با فرض تأمین آب تغذیه از سد

کتاب‌نگاری

اصلانی، ح.، ۱۳۸۲- شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی دشت لادیز، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

خوشنامی، م.، ۱۳۷۲- کاربرد روش شبیه‌سازی در مدیریت منابع آب دشت خفر با تأکید بر بهره‌برداری تلفیقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

دهقان‌قهفرخی، ا.، ۱۳۸۲- کاربرد مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی در مدیریت آبخوان دشت شهرکرد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

رشیدی، م.،۱۳۸۵- تهیه مدل آبخوان دشت سرچاهان شرقی و بررسی اثر طرح تغذیه مصنوعی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۳- گزارش مطالعات آب زیرزمینی دشت گوهرکوه.

شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان،۱۳۸۳- مطالعات تکمیلی مرحله اول و دوم سدگوهرکوه(گزارش هواشناسی).

شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۳۸۲- مطالعات آماربرداری از منابع آب استان.

شفیعی‌مطلق، خ.، ۱۳۸۴- کاربرد مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی در مدیریت آبخوان دشت حصاروئیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

کاظمی‌گلیان، ر.، ۱۳۸۱- ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان قوچان- شیروان با استفاده از مدل عددی Modflow 2000، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

References

Boonstra, J., de Ridder, N. A., 1981- Neumerical modeling of Ground Water basins userOriented manual, International Institute Foreland Reclamation and Improvement/ ILRI P.O.Box 45,67000 AA Wageningen, The Netherlands.

Doherty, G., 2001- QuantitativeHydrogeology, Academic Press.Inc, Orlando, Florida.

Hoaglund, T. N., 2002- Artificial water recgarge,Pitman Advanced Publishing Program.

Kinzelbach, W., 1986- Groud water modeling:An introduction with sample programes in BASIC Developments in water Science, Elsevier.

Assessing the Effects of Artificial Recharge on the Goharkoh Plain Aquifer

M. Rezaei[1*] & A. Sargezi[2]

[1] Tarbiat Moallem University, Geology Department, Tehran, Iran.

[2] Zabol Water affairs Office, Zabol, Iran.

Received: 2007 December 18 Accepted: 2009 May 24

Abstract

Over-exploitation from Goharkuh plain aquifer, southwest of Zahedan, resulted in water table drawdown. In order to assessing the effect of artificial recharge, numerical model of groundwater flow of the aquifer was developed. Well loges, hydrogeologic parameters, pizometric heads and results of pumping tests were used in this study. The flow model is well calibrated and used to simulate future water level fluctuations. Steady state condition has been considered in January of 2003 because of low fluctuation in groundwater level in this period. The Sensivity analysis related to a few parameters and verification for period of February of 2004 to February of 2005 has performed. The results indicate that groundwater level is reducing in Goharkuh plain aquifer. Maximum drawdown occurs in the east part of the aquifer. Aquifer reaction has been assessed by definition of different scenarios to identify the best location for artificial recharge. Based on the result, the north part of the aquifer (close to pizometer P9) is the best location for performing artificial recharge.

Keywords: Modeling, Groundwater, Modflow, Ghoharkuh plain aquifer

For Persian Version see pages 99 to 106

*Corresponding author: M. Rezaei ; E-mail: m_rezaei@tmu.ac.ir

The Strategies for the Development of Gemstones Industry in Iran

M. H. Basiri[1*] & S. Seyed Salmasi [2]

[1] Mining Engineering Department, Faculty of Eng., Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

[2] Bank of Industry & Mine, Ministry of Industries and Mines, Tehran, Iran.

Received:2007 November 17 Accepted:2009 October 27

Abstract

The precious stones are one of the vast and high profit potential of national income for many countries. Nowadays exploration, processing and exports of gemstones play important role in the economy of the many countries such as South Africa, Burme, Thailand, China, India, the United States and so on. So omitting this industry from these countries is equivalent with excluding oil industry in our country. Unfortunately in spite of having high quality of some gemstones such as Turquoise and Demantoid Garnet in Iran, the substantial amount of jewels are imported illegally. This is a central threat for enhancement of this industry. Having several thousand years heritage of art and Islamic culture are the important facts for developing this industry in Iran. In this paper the precious stones industry is analyzed. Finally by implementing the SWOT method the main strategies needed to renovate and ameliorate this industry in the country are presented.

Key words: Precious stones(Gemstones), Industry renovation, Strategies for Development, SWOT

For Persian Version see pages 107 to 112

* Corresponding author: M. H. Basiri ; E- mail: mhbasiri@modares.ac.ir