



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۳۹۹، دوره ۳، شماره ۲

مدل‌سازی تراز آب زیرزمینی و بررسی وضعیت آبخوان دشت میناب

جلیل دستواره^{۱*}، زهرا ناصریان اصل^۲، سحر امیری دوماری^۳، هانیه حسنونند^۴

۱- کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، مدیریت حوزه‌های آبخیز، دانشگاه ملایر

۳- کارشناسی ارشد بیانزدایی، دانشگاه اردکان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، مدیریت حوزه‌های آبخیز، دانشگاه ملایر

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۶

چکیده

یکی از راه‌های مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی، مدل کردن تراز آب زیرزمینی دشت‌ها به منظور شناسایی پتانسیل‌های آبی و برنامه‌ریزی بلندمدت براساس وضعیت آبخوان‌ها می‌باشد. در این پژوهش جهت شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت میناب از کد *MODFLOW* که از کدهای موجود در نرم افزار *GMS7.1* می‌باشد، استفاده شد. برای بررسی تراز مشاهده‌ای و محاسباتی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از اطلاعات مربوط به سطح ایستابی ۱۶ چاه مشاهداتی سطح دشت استفاده گردید. مدل ساخته شده در ابتدا با فرض ثابت بودن جریان واسنجی شد و پارامترهای تاثیرگذار بر مدل شامل هدایت هیدرولیکی و تغذیه بهینه شدند. سپس مدل با فرض ناپایدار بودن جریان در ۱۲ گام زمانی (مهر ۹۱ تا شهریور ۹۲) واسنجی شد و پارامتر آبدی و ویژه نیز بهینه گردید. براساس بیلان محاسبه شده آبخوان، مجموع تغذیه آبخوان ۱۴۰۹/۴۳۳ میلیون مترمکعب، و مجموع تخلیه از آبخوان ۱۶۴۰/۱۰۱ میلیون متر مکعب می‌باشد که به دلیل بیشتر بودن میزان خروجی از آبخوان نسبت به ورودی، بیلان دشت منفی می‌باشد و موجب افت شدید تراز آب زیرزمینی در سال‌های آینده خواهد شد.

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، *MODFLOW*، دشت میناب، تراز آب زیرزمینی

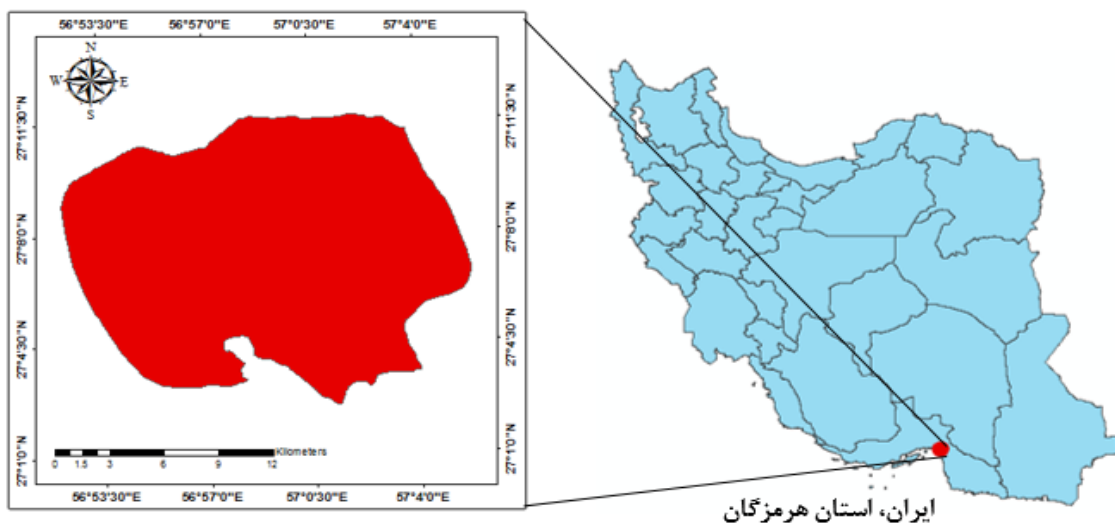
مقدمه

منابع آب زیرزمینی نقش بسیار مهمی در تامین آب مورد نیاز جوامع امروزی دارند و در نواحی خشک و نیمه خشک مانند ایران، بیشترین برداشت آب از این منابع صورت می‌گیرد. اهمیت و نقش حیاتی آب در توسعه پایدار شهرها، وجود عوامل محدود کننده طبیعی برای تشکیل منابع آب با کمیت و کیفیت مناسب، پدیده تغییر اقلیم، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، افزایش روز افزون جمعیت و... از جمله عواملی هستند که مطالعه و بررسی وضعیت موجود آب‌های زیرزمینی و امکان توسعه بهره‌برداری از منابع آب در آینده را اجتناب ناپذیر می‌نماید. پناهی و همکاران (۱۳۹۷)، شبیه سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی را با استفاده از نرم افزار *GMS* برای دشت زنجان انجام دادند و دریافتند که با فرض مقدار تغذیه ثابت برای فاصله زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲، تراز آب زیرزمینی با افت شدید ناشی از برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی آبخوان زنجان مواجه می‌شود. محمد زاده و همکاران (۲۰۱۷)، آب زیرزمینی دشت بجنورد را با نرم افزار *GMS* شبیه‌سازی کردند و نتایج نشان داد در صورتی که آب پشت سد شیرین دره آزاد شود، تراز آب زیرزمینی تا ۳ متر افزایش می‌یابد. شستا و همکاران (۲۰۱۶)، مدل‌سازی آب زیرزمینی آبخوان دلتای مکنونگ ویتنام را انجام دادند و به ریز مقیاس سازی داده‌های مدل گردش عمومی جو پرداختند که نتایج نشان داد در آینده میزان دما افزایش و بارندگی در فصول خشک کاهش می‌یابد و موجب کاهش ذخیره آب زیرزمینی می‌شود. دبارما و همکاران (۲۰۱۶)، آب زیرزمینی آبخوان آگرتلا در هند را با نرم‌افزار *GMS* به منظور تخمین حجم آب زیرزمینی برای بودجه بندی آب، مدل‌سازی کردند و دریافتند که هد هیدرولیکی در اثر تخلیه از چاه‌ها کاهش و در اثر تغذیه چاه‌ها افزایش می‌یابد. کلاو و همکاران (۲۰۱۴)، منابع آب زیرزمینی را تجدید ناپذیر دانستند و پیش‌بینی کردند که کاهش بارش و افزایش دما که در اثر تغییر اقلیم پدید می‌آیند موجب کاهش نرخ تغذیه و افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

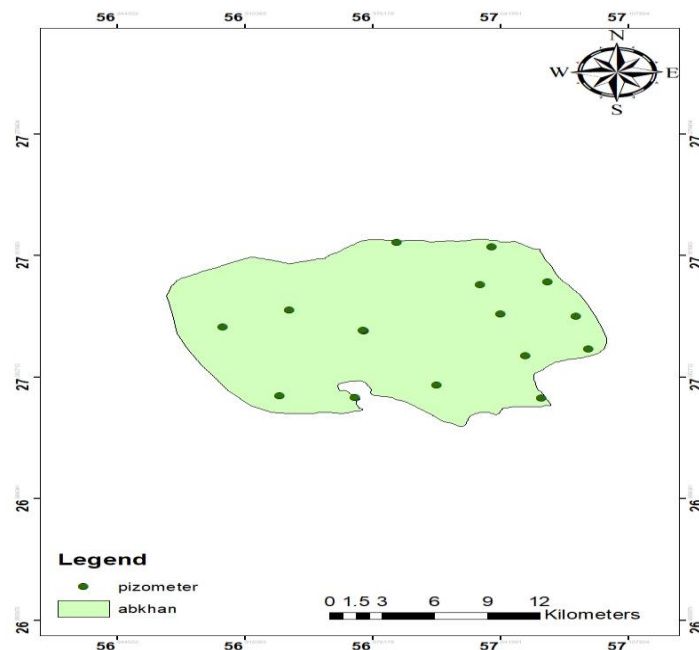
دشت میناب با وسعت ۸۵۶/۹۵ کیلومتر مربع در فاصله ۷۰ کیلومتری شرق بندرعباس واقع شده است. این دشت به صورت مستطیلی به مساحت تقریبی ۸۲۴/۵ کیلومتر مربع که بخش جنوبی محدوده مطالعاتی شمیل - تخت را در ناحیه شمالی، محدوده مطالعاتی میناب را در نواحی مرکزی و جنوبی و حدود یک سوم محدوده مطالعاتی بمانی را در منتهی الیه ناحیه جنوبی خود در برگرفته و بین طول‌های ۵۶° ۴۷' و ۵۷° ۸' شرقی و عرض‌های ۲۶° ۵۸' و ۲۷° ۲۵' شمالی واقع با شیب ملایمی از غربی‌ترین بیرون‌زدگی‌های تشکیلات مکران به طرف ساحل خلیج

فارس سرازیر و به وسیله پهنه‌های گلی محصور گردیده است. به طور کلی این دشت از شمال به ارتفاعات سفید لیمو-سورجم، سرزه خاروک، از غرب به آبریز رودخانه حسن لنگی و خلیج فارس، از شرق به کوه‌های زندان، خکو و سفید بازو، از جنوب به آبریز رودخانه زرانی محدود می‌گردد. حداقل ارتفاع دشت برابر صفر در نزدیکی ساحل خلیج فارس و حداکثر آن ۹۰ متر در نزدیکی روستای گوربند و با متوسط ارتفاع ۱۸/۵ متر از سطح دریا است. میانگین تبخیر از سطح آزاد سالیانه حدود ۱۹۰۷/۵ میلیمتر می‌باشد. میانگین ماهیانه درجه حرارت ۲۸/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد و میانگین بارندگی نیز در دشت میناب ۲۱۲/۵ میلیمتر در سال است. موقعیت جغرافیایی دشت میناب در شکل (۱) مشاهده می‌شود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت میناب

جهت شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت میناب از کد *MODFLOW* که از کدهای موجود در نرم‌افزار *GMS7.1* می‌باشد، استفاده شده است. برای بررسی تراز مشاهده‌ای و محاسباتی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از داده‌های دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵) شرکت آب منطقه‌ای استان هرمزگان، مربوط به سطح ایستابی ۱۶ چاه مشاهداتی سطح دشت استفاده گردید شکل (۲). سپس شبیه‌سازی در دو حالت پایدار و ناپایدار صورت گرفت.



شکل ۲- چاه‌های مشاهداتی دشت میناب

مدل مفهومی آب زیرزمینی

اولین قدم در مدل‌سازی، تهیه مدل مفهومی و شمای پایه سفره آب زیرزمینی آبخوان جهت درک بهتر از شرایط منطقه و توسعه مدل عددی می‌باشد. مدل مفهومی به ساده‌سازی منطقه پرداخته و اطلاعات را برای تحلیل با هم ترکیب می‌کند. همچنین موجب ورود اطلاعات به مدل شده و نیاز وارد کردن اطلاعات به صورت سلولی را نیز برطرف می‌کند. مدل دارای بسته‌های نرم‌افزاری مختلف است که جهت ایجاد مدل در ابتدا باید ورودی‌های مورد نیاز به شکل مناسبی تهیه و فراخوانی گردند.

بسته نرم‌افزاری پایه (*Basic Package*)

در این بسته نرم‌افزاری کلیه داده‌های پایه مربوط به مدل داده می‌شود. داده‌های پایه شامل شکل آبخوان، شرایط مرزی، تعداد و مدت زمان گام‌های زمانی، انواع پدیده‌های هیدرولوژیکی بازسازی شده، واحدهای به کار رفته و شرایط اولیه مدل است.

بسته نرم‌افزاری جریان در سلول‌های شبکه‌های منفصل (*Flow Package*)

اندازه سلول‌های شبکه، ضرایب هیدرودینامیکی لایه‌های مختلف آبدار یا پیوند بین لایه‌ها در این بسته نرم‌افزاری به مدل داده می‌شود. این بسته نرم‌افزاری می‌تواند لایه‌های آبدار تحت فشار و یا آزاد را بازسازی نماید. در این بسته نرم‌افزاری همچنین انتقال آب از لایه‌های گوناگون آبدار به یکدیگر با توجه به فشار سطح آب آن‌ها و مقدار هدایت هیدرولیکی در جهت عمودی در لایه‌های نیمه تراوای بین لایه‌های آبدار در هر پله‌ی زمانی محاسبه می‌کند.

بسته نرم‌افزاری چاه

این بسته نرم‌افزاری برای اعمال برداشت آب از آبخوان تهیه شده و بدین ترتیب که مقدار برداشت چاه‌های هر شبکه با هم جمع و برای مراکز شبکه‌ها منظور می‌شود. هر دو دسته‌ی چاه‌های تخلیه‌کننده و تغذیه‌کننده را می‌توان در این بسته نرم‌افزاری اعمال نمود. بدین ترتیب که برداشت آب چاه‌ها با علامت منفی و تغذیه آب چاه‌ها با علامت مثبت مشخص می‌گردد. پاره‌ای از انواع تغذیه مانند جریان‌های زیر بستری به آبخوان نیز به کمک این بسته نرم‌افزاری شبیه سازی می‌شود.

بسته نرم‌افزاری تغذیه سطحی آبخوان

این بسته‌ی نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی تغذیه آبخوان از نفوذ مستقیم ریزش‌های آسمانی در سطح منطقه به کار می‌رود. مقدار تغذیه در هر شبکه در این مجموعه با در نظر گرفتن میزان بارندگی، سطح باران‌گیر و ضریب نفوذ بارندگی محاسبه و به عنوان تغذیه طبیعی در آن شبکه اعمال می‌کند.

بسته نرم‌افزاری رودخانه

ویژگی‌های فیزیکی، هیدرولیکی و هیدرودینامیکی بستر رودخانه‌ها، زهکش‌ها و آبراهه‌های هر شبکه به مدل داده می‌شود. مدل در هر پله زمانی با توجه به تراز سطح آب زیرزمینی، تراز کف بستر و تراز سطح آب رودخانه، وضعیت تبادل آب بین رودخانه و آبخوان را مشخص می‌کند. همچنین مقادیر تغذیه یا تخلیه آبخوان از رودخانه در آن شبکه و در آن پله زمانی تعیین و در محاسبات منظور می‌گردد.

بسته نرم‌افزاری زهکش

این بسته نرم‌افزاری برای شبیه‌سازی اثر زهکش‌ها بر روی آبخوان به کار می‌رود. در این بسته‌ی نرم‌افزاری باید ویژگی‌های فیزیکی، هیدرودینامیکی، تراز سطح آب و تراز کف زهکش را به مدل داد.

بسته نرم‌افزاری تبخیر و تعرق

در بخش‌هایی از آبخوان که آب زیرزمینی در نزدیکی سطح زمین قرار دارد مقداری از آب آبخوان به صورت تبخیر و تعرق تخلیه می‌شود. در این بسته نرم‌افزاری مقادیر تراز سطح زمین هر شبکه و تبخیر پتانسیل منطقه در هرپله زمانی به مدل داده می‌شود. مدل در هر پله زمانی با توجه به سطح تراز آب زیرزمینی که محاسبه کرده، مقدار ژرفای آب زیرزمینی را تعیین و به کمک آن مقدار تلفات تبخیر و تعرق را محاسبه و در مدل اعمال می‌کند. بسته نرم‌افزاری مانع در برابر جریان افقی شبیه‌سازی ساختارهای زمین‌شناسی کوچک، قائم و با نفوذپذیری کم توسط بسته مانع در برابر جریان افقی انجام می‌گیرد.

بسته نرم‌افزاری مرز با بار هیدرولیکی عمومی

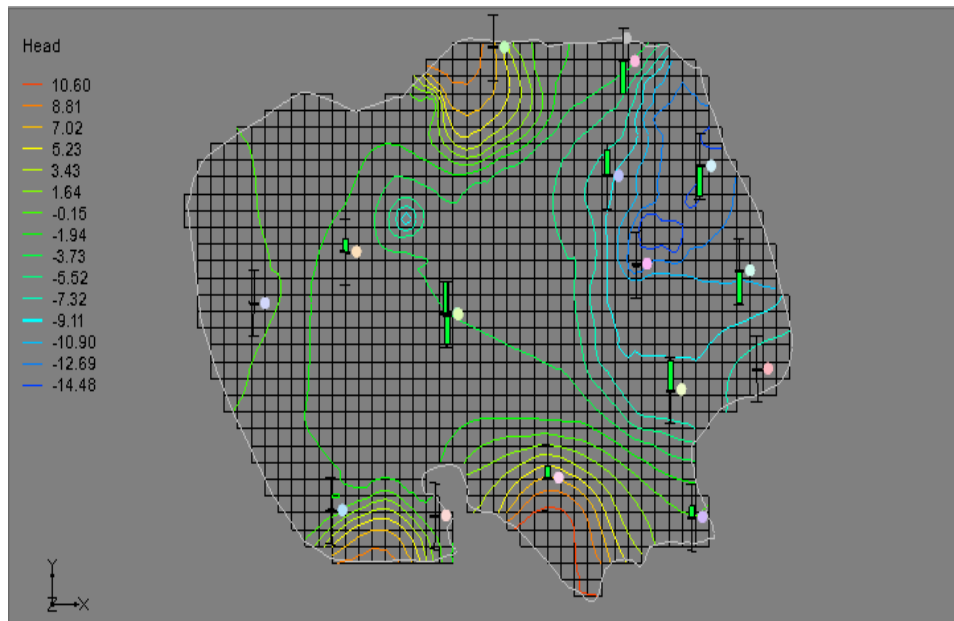
این بسته یکی از بسته‌های شبیه‌ساز مرزهای مدل است. با فعال بودن این بسته، سطح آب و کاندکتانس سلول مرزی بایستی به مدل داده شود.

نتایج و بحث

واسنجی در حالت پایدار

واسنجی مدل در حالت ماندگار برای شروع دوره شبیه‌سازی یعنی مهر ۹۱ انجام شد. مقدار بارش، تخلیه و تراز ثابت فرض شد و هدایت هیدرولیکی نیز افقی در نظر گرفته شد. میزان تطابق نوسان تراز آب زیرزمینی و تغییرات آن در مدل با نقاط مشابه در چاه‌های مشاهده‌ای، نشانگر دقت و صحت مدل است. معیار واسنجی بیانگر چگونگی عمل واسنجی است. این معیار یک حد بالا و یک حد پایین دارد که مقدار مجاز برای تخمین بیشتر از حد و کمتر از حد را نشان می‌دهد. محدوده مجاز این معیار را ± 1 در نظر گرفتیم. قسمت میانی این معیار مقدار خطای بین مشاهداتی و محاسباتی را نشان می‌دهد که اگر در محدوده مجاز قرار داشته باشد به رنگ سبز نشان داده می‌شود، اگر خطا در محدوده قابل قبول و کمتر از ۲۰٪ خطای قابل قبول باشد به رنگ زرد نشان داده می‌شود، اگر خطا بیش از ۲۰٪ خطای قابل قبول باشد به رنگ قرمز نشان داده می‌شود. عمل واسنجی با تغییر پارامترهای هدایت هیدرولیکی و تغذیه به دلیل تاثیر زیاد آن‌ها در شبیه‌سازی و حساسیت بالای مدل نسبت به آن‌ها صورت گرفت. ابتدا از روش اتوماتیک واسنجی نرم‌افزار که به روش *PEST* انجام می‌شود استفاده شد، سپس واسنجی دستی با روش سعی و خطا صورت گرفت و تغییر در مقادیر پارامترها تا رسیدن به مقدار خطای کمتر از یک متر در تمامی چاه‌های مشاهده‌ای و مقادیر بهینه پارامترها ادامه یافت.

میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا به ترتیب برابر $۰/۳۱$ ، $۰/۵۸$ و $۰/۸۷$ شدند. پس از واسنجی، تغذیه با مقدار حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب برابر $۰/۰۰۰۰۰۱$ ، $۰/۰۰۰۸$ و $۰/۰۰۱۳$ متر مکعب در روز حاصل شد. هدایت هیدرولیکی نیز با مقادیر حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب $۰/۲۹$ ، ۳۴۰ و $۷۹/۳$ متر مربع بر روز به دست آمد. در شکل (۳) تراز آب زیرزمینی و شاخص واسنجی آبخوان مشاهده می‌گردد.

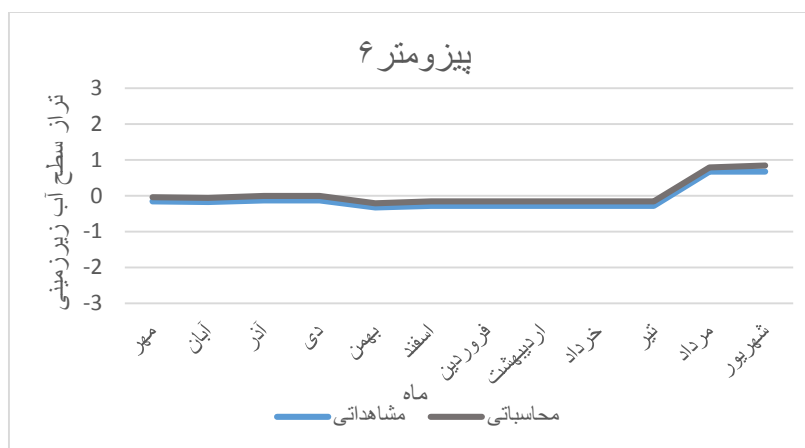


شکل ۳- نقشه تراز آب زیرزمینی محاسباتی و شاخص واسنجی

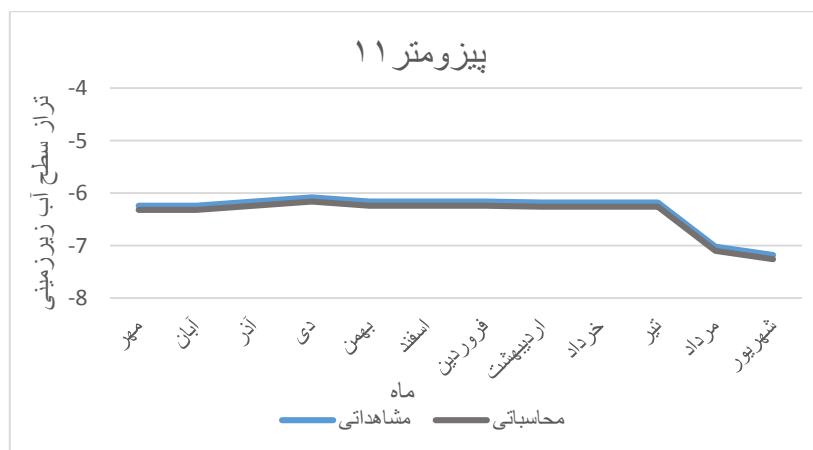
واسنجی در حالت غیر ماندگار

در این مرحله، از مدل واسنجی شده در حالت ماندگار استفاده شد و بازه زمانی، از مهر ۹۱ تا شهریور ۹۲ به صورت ۱۲ گام زمانی در نظر گرفته شد. پوشش آبدهی ویژه نیز براساس گزارشات چاه‌های پمپاژ، با تخمین اولیه به مدل اضافه شد و زون‌بندی آن نیز براساس زون‌بندی هدایت هیدرولیکی صورت گرفت. آبدهی ویژه همراه هدایت هیدرولیکی، به دلیل حساسیت بالای مدل به این دو پارامتر، به عنوان پارامترهای تاثیرگذار، بهینه شدند. مقادیر تراز سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای، تغذیه، برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، سلول-های مرزی، برای تمامی ماه‌های در نظر گرفته شده، به صورت سری زمانی به مدل فراخوانی شدند. مقادیر تراز سنگ کف و توپوگرافی سطح آبخوان تغییری نکردند و تراز اولیه سطح آب زیرزمینی نیز مهر ۹۱ در نظر گرفته شد. از مدل با موفقیت اجرا گرفته شد و عمل واسنجی نیز با میانگین خطای زیر یک متر صورت گرفت.

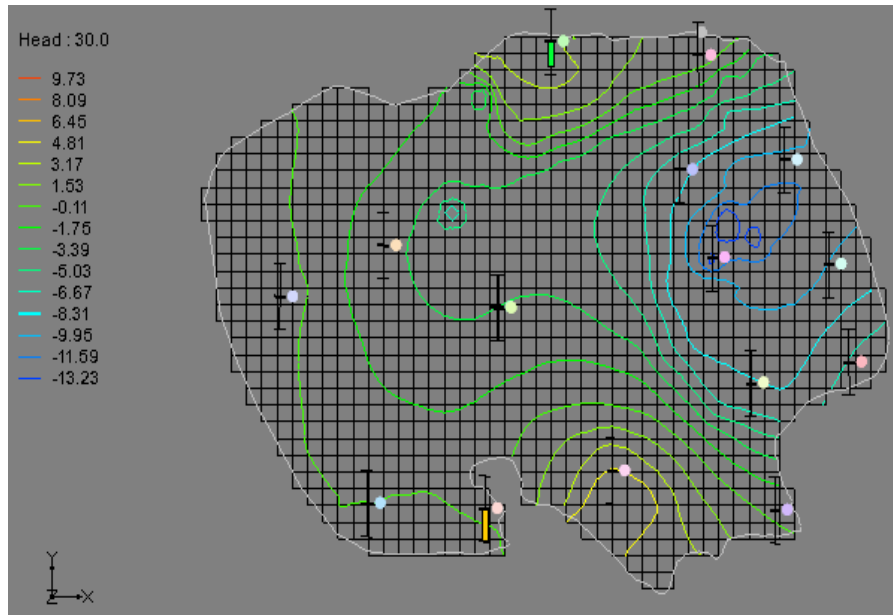
واسنجی مدل با میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و ریشه میانگین مربعات خطا با مقادیر به ترتیب ۰/۱۵، ۰/۹۸ و ۱/۲۶ انجام شد. پارامتر آبدهی ویژه به عنوان پارامتر تاثیر گذار بر مدل، واسنجی شد که نقشه زون بندی شده بهینه آن با حداقل، حداکثر و میانگین به ترتیب ۰/۰۱، ۰/۴۵ و ۰/۱۸ به دست آمد. در شکل (۴) و (۵) مقایسه تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی در دو پیزومتر نشان داده شده‌اند. و در شکل (۶) تراز آب زیرزمینی محاسباتی در انتهای مهر ۹۱ و شاخص واسنجی مشاهده می‌گردد.



شکل ۴- مقایسه تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی در پیزومتر ۶



شکل ۵- مقایسه تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی در پیزومتر ۱۱



شکل ۶- تراز سطح آب زیرزمینی محاسباتی در مهر ۹۱ در حالت غیر ماندگار

نتیجه گیری

براساس بیلان آبخوان، مجموع تغذیه آبخوان ۱۴۰۹/۴۳۳ میلیون مترمکعب، و مجموع تخلیه از آبخوان ۱۶۴۰/۱۰۱ میلیون مترمکعب می باشد که به دلیل بیشتر بودن میزان خروجی از آبخوان نسبت به ورودی، بیلان دشت منفی می باشد و موجب افت شدید تراز آب زیرزمینی در سال های آینده خواهد شد. به منظور جلوگیری از ضرر و زیان وارده به آبخوان، توسعه بهره برداری از آبخوان باید به مدت چند سال ممنوع اعلام شود و پس از پایان ممنوعیت دشت، جهت حفظ آبخوان باید الگوها و راهکارهای مدیریتی جدیدی جایگزین شوند.

منابع

پناهی، م.، میثاقی، ف.، عسگری، پ. (۱۳۹۷). شبیه سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از *GMS* (بررسی موردی دشت زنجان). فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۱، ۱-۱۴.

Klove, B., Ala-Aho, P., Bertrand, G., Gurdak, J. J., Kupfersberger, H., Kvaemer, J., Pulidovelazquez, M. (2014). Climate change impacts on groundwater and dependent ecosystems. Journal of Hydrology, 518 (PB), 250-266.

Shrestha, S., Bach, T. V., & Pandey, V. P. (2016). Climate change impacts on groundwater resources in Mekong Delta under representative concentration pathways scenarios. Environmental science and policy, 61, 1-13.

Debbarma, J., Roy, P.K., Halder, S., Banerjee, G. & Pal, M. (2016). Estimating groundwater volumetric mass balance with hydraulic head using groundwater modeling system in Tripura, India. Asian Journal of current research, 1(1), 19-22.

Mohammad, H., Ddgar, M. A. & Nassery, H. (2017). Prediction of the effect of water supplying from Shirindare dam on the Bojnourd aquifer using MODFLOW 2000. Water Resources, 44(2), 216-225.