

«اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساملی»
دانشگاه علوم کشاورزی و منابع ساری، گروه مهندسی آب
17 الی 18 آذر ماه

بررسی تراز سطح آب زیرزمینی در سه حالت ترسالی، خشکسالی و نرمال (مطالعه موردی: حوزه نرماب استان گلستان)

نسرین کوهستانی¹، مهدی مفتاح هلقی²، امیراحمد دهقانی³، محمدابراهیم یخکشی⁴

1. کارشناس ارشد مهندسی منابع آب n.koohestani@yahoo.com

2. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

3. استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

4. معاون طرح و توسعه شرکت سهامی آب منطقه‌ای گلستان

چکیده

امروزه دسترسی به منابع آب یکی از مهمترین چالش‌های دولت‌ها و ملت‌هاست. چرا که با افزایش جمعیت و فعالیت انسانها مصرف آب نیز زیادتر می‌شود. این در حالیست که مقدار آب کره زمین ثابت است و در نتیجه نیاز و وابستگی انسان به آب بیشتر می‌شود. از آنجایی که آب زیرزمینی یکی از منابع اصلی تأمین نیازهای محسوب می‌گردد، لذا پیش بینی سطح آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. در استان گلستان نیز از ظرفیت حداکثری آب زیرزمینی برای مصارف گوناگون استفاده می‌شود. پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی به روشهای مختلف انجام می‌شود که از آن جمله می‌توان به استفاده از مدل‌های ریاضی و روش‌های زمین آمار اشاره کرد. در این تحقیق از مدل **Visual Modflow 3.1** برای شبیه‌سازی آبخوان نرماب در سه سناریو ترسالی، خشکسالی و نرمال بررسی گردید. نتایج نشان داد که مدل به خوبی با شرایط منطقه تطبیق داشته و در سه شرایط خشک، تر و نرمال موقعیت تراز سطح آب را بازگو است.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، پیش‌بینی، مدل ریاضی، **Visual Modflow**، استان گلستان.

مقدمه

بموازات رشد سریع جمعیت و افزایش نیازهای بشری، تأمین آب برای مصارف شرب، کشاورزی و صنعتی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار گردیده است. در این میان منابع آبهای زیرزمینی بمنزله منابعی مطمئن جهت تأمین مصارف فوق تعلق می‌گردند. در سالهای اخیر برداشت بی رویه از منابع مزبور از یک سو و فعالیت بشر در جهت تأمین غذا از سوی دیگر باعث لطمات جبران ناپذیری به این منابع از نقطه نظر کمی و کیفی گردیده است. بمنظور ارزیابی اثرات ناشی از توسعه در شرایط موجود و پیشنهادی بر روی منابع آبهای زیرزمینی چه از نقطه نظر کمی و چه کیفی، شبیه‌سازی ریاضی و کامپیوتری این منابع ابزاری قوی در بهره‌برداری بهینه از این منابع محسوب می‌گردد. در سالهای اخیر مدل‌های ریاضی و کامپیوتری متعددی بمنظور شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی منابع آبهای زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است. اکثریت قریب به اتفاق این مدلها برای یک آبخوان خاص تبیین نگشته و عملاً کاربردی نمودن مدل مستلزم انطباق با شرایط خاص منطقه مورد مطالعه میباشد. (هاشمی، 1387). دهقان(2000) با استفاده از **VisualModflowV5.2** در دشت شهر کرد شبیه‌سازی

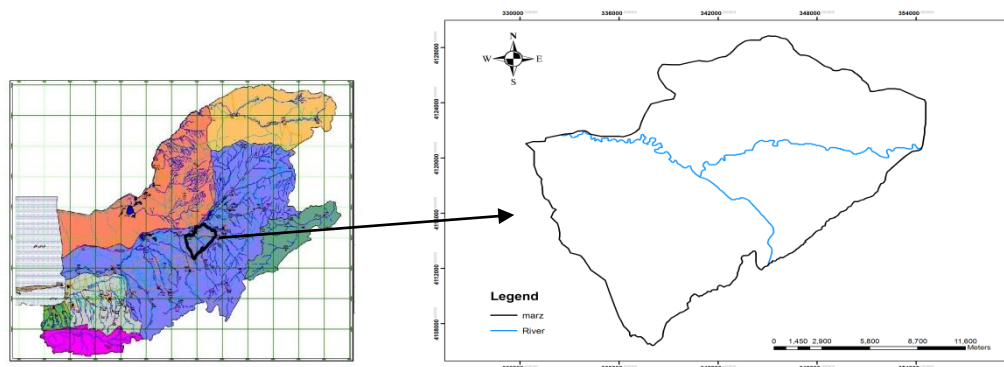
جریان آب زیرزمینی و اعمال راهکارهای مدیریتی صحیح جهت محفوظ نگهداشتن آبخوان انجام داد و با بررسی روند سطح ایستابی در چندین سال متوالی مناطق مناسب و بحرانی از نظر سطح ایستابی را در دشت مذکور مشخص نمود. مزروعی (2001) با استفاده از مدل Modflow منابع آب زیرزمینی دشت آذرشهر را مورد بررسی قرار داد و راه حل های مدیریتی برای استفاده بهینه از این آبخوان ارائه داد. شهسواری (2001) آبخوان دشت عجب شیر را با استفاده از مدل Modflow و بهره گیری از دو تکنولوژی GIS و RS توانست جهت حرکت آب زیرزمینی در دوره های کم آبی مشخص نماید. سعیدی-فر (2004) به مدل سازی هیدرولیکی آب زیرزمینی در دشت یاسوج و بررسی پخش و انتقال آلودگی در آن به کمک نرم افزار PMWIN پرداخته است. در بخش اول این تحقیق، اطلاعات مربوط به چشمه ها و چاه های واقع در آبخوان دشت یاسوج از لحاظ مالکیت (خصوصی یا دولتی)، نوع چاه، عمق، تعداد و سایر خصوصیات هیدرولیکی جمع آوری و بررسی شده است. در ادامه با توجه به اطلاعات هیدرولیکی چشمه ها و چاه ها به شبیه سازی هیدرولیکی آبخوان به کمک نرم افزار PMWIN اقدام شده و پارامترهای آبخوان، نظیر ضریب هدایت هیدرولیکی (K)، ضریب آبدهی ویژه آبخوان (Sy) تعیین شده است. نتایج نشان دهنده تطابق بسیار خوب بین هدهای محاسباتی و مشاهداتی و مثبت بودن بیلان سالانه آب زیرزمینی در دشت می باشد، لذا می توان بیان کرد که این دشت در دراز مدت پتانسیل استحصال بیشتر آب زیرزمینی را دارد. در بخش دوم این تحقیق، اطلاعات مربوط به منابع آلاینده و کیفیت آب زیرزمینی در دشت یاسوج از لحاظ فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی به طور اجمالی و کلی مورد بررسی قرار گرفته است. پخش و انتقال آلودگی در دشت یاسوج با استفاده از نرم افزار PMWIN شبیه سازی گردید. نتایج نشان دهنده تأثیر زیاد چشمه های پر آب بر حرکت ذرات (آلاینده-ها) در دشت می باشد که این امر می تواند در دراز مدت اثرات بسیار خطرناکی برجای بگذارد. شهابی فرد (2004) با استفاده از مدل Modflow تأثیرات برداشت آب از آبخوان دشت ایرانشهر را بر دبی پایه رودخانه بمپور بررسی نمود. صادقی راد (2005) با استفاده از مدل Modflow توانست استفاده از سیستم قنات را جهت پایین انداختن سطح آب زیرزمینی در دشت شیراز بررسی نماید. چیت سازان و همکاران (2005) به کاربرد مدل ریاضی Modflow در بررسی گزینه های مختلف منابع آب دشت رامهرمز پرداختند. مدل ریاضی Modflow به عنوان یک ابزار کارآمد و باصرفه جهت بررسی گزینه های مختلف مدیریتی مورد بررسی و استفاده واقع گردید. ابتدا داده های مختلف هواشناسی، هیدرولوژیکی، زمین شناسی و هیدروژئولوژیکی منطقه جمع آوری و مورد تجزیه تحلیل واقع شده است. پس از تهیه مدل مفهومی، داده های لازم در بسته های نرم افزاری مختلف Modflow V.6.2 تعریف گردیده، سپس واسنجی مدل توسط کد نرم افزاری PEST، صحت سنجی شده است. نهایتاً گزینه های مختلف مدیریتی شامل: ادامه روند کنونی برداشت، توسعه آبخوان با حفر چاه های جدید، تأثیر زهکش ها در مناطق زهدار و بررسی عملکرد آبخوان با انجام عمل انتقال آب و آبیاری مورد استفاده قرار گرفته است. بدین ترتیب نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داده که ادامه روند کنونی برداشت از نظر مدیریتی گزینه قابل قبولی نمی باشد و برعکس حفر چاه های بهره برداری در مناطق شرقی و مرکزی و اعمال زهکشی در شمال و جنوب دشت، گزینه مناسبی برای استفاده توأم منابع آب سطحی و زیرزمینی خواهد بود. مظفری زاده و همکاران (2006) به تصحیح ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از مدل تفاضلات محدود (Modflow) و روش کریجینگ پرداختند. یکی از روش های مؤثر در مطالعه منابع آب زیرزمینی استفاده از مدلسازی عددی است. در این تحقیق آبخوان دشت گتوند در شهرستان شوشتر با استفاده از روش عددی تفاضلات محدود و نرم افزار PMWIN 3.5 شبیه سازی گردید. یکی از مشکلات موجود در این دشت توزیع نامناسب هدایت هیدرولیکی (K) در محدوده دشت می باشد. بنابراین ابتدا با استفاده از داده های آزمون های پمپاژ منطقه، هدایت هیدرولیکی با روش کریجینگ درونایی گردیده و در 7 زون با مقادیر اولیه وارد مدل گردید. سپس با استفاده از مدلسازی معکوس و مقایسه سطح آب زیرزمینی در چاه های مشاهده ای و سطح آب زیرزمینی محاسبه شده در مدلسازی با هدف کمینه کردن اختلاف بین داده های مشاهداتی و پاسخ مدل (کالیبراسیون مدل)، داده های اولیه K بهینه و تصحیح گردیدند. با توجه به مطالب ارائه شده و با توجه به اینکه در استان گلستان اصلی ترین منبع تأمین آب، منابع آب زیرزمینی است و تقریباً از ظرفیت حداکثری آن برای امور مختلف استفاده می شود، ضرورت

دارد با انجام مطالعه بر روی تغییرات آب‌زیرزمینی و اعمال شرایط مدیریتی، افت سطح سفره در حد مجاز کنترل شود تا اصلی‌ترین منبع تأمین آب استان با خطرات جدی در آینده مواجه نشود.

3. مواد و روشها

3-1- محدود جغرافیایی منطقه

محدوده مورد مطالعه در شمال ایران، در استان گلستان و در بخش میانی حوضه آبریز رودخانه گرگان در ساحل چپ این رودخانه و در 120 کیلومتری شمال شرقی شهر گرگان بین عرض‌های شمالی $37^{\circ}-5'$ تا $37^{\circ}-18'$ و طول‌های شرقی $55^{\circ}-7'$ تا $55^{\circ}-20'$ قرار گرفته است. این محدوده سرشاخه قسمتی از رودخانه گرگان را تشکیل می‌دهد. مرز شمالی منطقه رودخانه قلی تپه و گرگانرود و مرز شمال شرقی آن ارتفاعات البرز می‌باشد و منطقه از غرب به اگریکال محدود می‌شود. رودخانه‌های خرمالو و چهل‌چای در محدوده مورد مطالعه قرار دارند. مساحت اراضی محدوده طرح حدود 300 کیلومتر مربع می‌باشد شکل شماره 1 موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل شماره 1- موقعیت محدوده مورد مطالعه

3-2- خصوصیات لایه آبدار

محدوده مورد مطالعه قسمتی از دشت گرگان واقع در استان گلستان با مساحت حدود 300 کیلومترمربع می‌باشد که یک آبخوان آزاد یک لایه فرض شده است. نتایج آزمایشات پمپاژ 15 حلقه چاه که در سطح دشت انجام گرفته ضریب ذخیره متوسط برای کل منطقه را 3٪ ارائه نموده است که این مقدار در مرحله واسنجی مدل در این بررسی اصلاح گردید. میزان نفوذپذیری آبخوان از 0/5 تا 3 متر در روز متغیر است. عمق برخورد به آب زیرزمینی از حداقل 3 متر تا حداکثر 21 متر متفاوت می‌باشد. جهت جریان آب زیرزمینی از جنوب شرقی به سمت شمال غربی می‌باشد.

3-3 - روش انجام تحقیق

با توجه به مساحت منطقه مورد مطالعه و وجود رودخانه‌های خرمالو و چهل‌چای و نقش مهم آن در تغذیه و تخلیه سفره و از همه مهمتر جریان‌های ورودی و خروجی متعدد که از آبخوان صورت می‌گیرد، ابعاد شبکه 1000 متر در 1000 متر در نظر گرفته شده است. داده‌هایی از قبیل رقوم ارتفاعی (توپوگرافی)، آمار سطح آب در پیژومترها، نقشه‌های هم‌قابلیت انتقال، نقشه عمق سنگ کف آبخوان، میزان تخلیه از چاه‌های دشت، دبی رودخانه‌ها و ... تهیه، مورد بررسی و صحت‌سنجی قرار گرفت و طی مراحل زیر به مدل جریان اعمال گردید:

در محدوده مطالعاتی سلول‌های فعال و غیر فعال مشخص گردید. توپوگرافی سطح زمین با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس 1/25000 سازمان نقشه‌برداری کشور، و پس از بازبینی به مدل انتقال یافت. در این منطقه مرتفع‌ترین قسمت در سمت شرق و پست‌ترین منطقه در شمال غربی، واقع گردیده است. با داشتن نقشه توپوگرافی سنگ کف و استفاده از نرم‌افزار Arc GIS Desktop ضخامت سنگ بستر برای هر سلول به دست آمد. بار هیدرولیکی اولیه اعمال شده به مدل جریان در شرایط ماندگار، متوسط سطح آب مشاهده شده در 15 پیژومتر در مهرماه 1382 (به دلیل دارا بودن کمترین نوسانات سطح آب زیرزمینی) در نظر گرفته شد. مقادیر ضریب قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی سفره از اطلاعات هیدروژئولوژی که توسط کارشناسان سازمان آب در برخی نقاط آن اندازه‌گیری شده است بر حسب متر در روز استخراج گردید. با توجه به توصیه کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای استان گلستان و نوع آبخوان مورد مطالعه، مقدار آبدهی ویژه در سفره دشت نرماب 0/03 در نظر گرفته شده است. مختصات جغرافیایی و تراز سطح آب مشاهده شده در 15 پیژومتر واقع در محدوده مطالعاتی به مدل اعمال گردید. محاسبه میزان جریان ورودی زیرزمینی با استفاده از نقشه‌های ایزوپیز متوسط سال آبی 73-1372 و نقشه‌های هم‌قابلیت انتقال و فرمول‌داری صورت پذیرفت. با توجه به آمار چاه‌های بهره‌برداری تهیه شده از سال 1382 در محدوده مورد مطالعه، تعداد 54 حلقه چاه وجود دارد که 32 میلیون مترمکعب در سال از منابع آب زیرزمینی استخراج می‌نمایند. داده‌های بدست آمده در مدل وارد شد. سطح آب رودخانه‌های موجود در محدوده با استفاده از آمار موجود مشخص و ضریب نفوذ¹ میزان تغذیه از کف رودخانه‌ها، محاسبه و به مدل اعمال گردید. در بسته تغذیه مواردی از قبیل آب برگشتی کشاورزی، نفوذ مستقیم از بارش بر سطح محدوده در هر سلول مشخص و به مدل اعمال گردید. واسنجی مدل جریان در محدوده مطالعاتی با استفاده از تراز سطح آب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده صورت پذیرفت. بعد از اتمام انتقال داده‌ها، مدل جریان اجرا گردید و با استفاده از نتایج حاصله (سطح آب شبیه‌سازی شده) اقدام به واسنجی مدل جریان گردید. از بین داده‌های ورودی به مدل، هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه دارای بیشترین اهمیت و حساسیت در واسنجی مدل جریان می‌باشد. نتیجه مطلوب پس از حدود 20 اجرای مدل جریان حاصل گردید.

4. نتایج و بحث

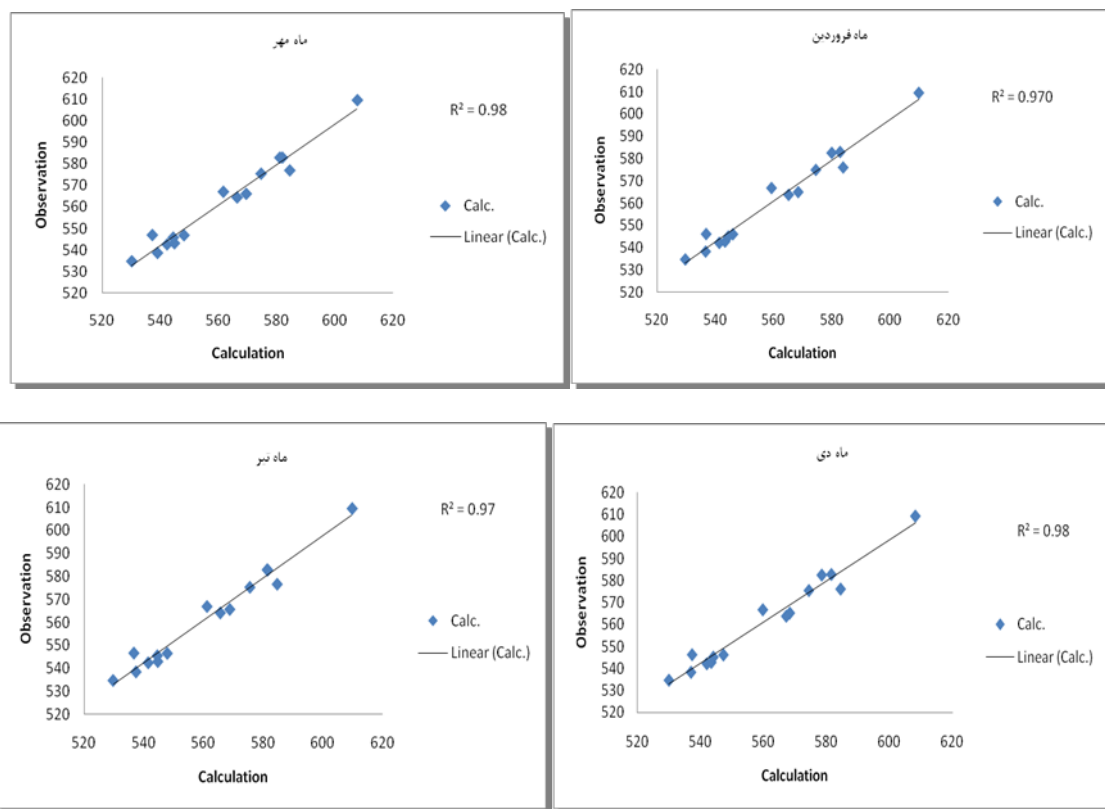
آمار نوسانات سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای از سال آبی 1370-1371 تا 1387-1388 مورد بررسی قرار گرفت و با بررسی میانگین بارندگی سالانه، سال آبی 83-1382 سال نرمال، سال آبی 87-1386 سال خشک و سال آبی 86-1385 سال مرطوب مشخص گردید. در مرحله ماندگار مدت زمان مدل یک ماه (ماه مهر) و طول 30 روز در نظر گرفته شد. برای مشاهده تغییرات سطح آب زیرزمینی از مدل ریاضی استفاده شده است. کاربرد مدل‌های ریاضی برای شبیه‌سازی آبخوان‌ها مستلزم وجود اطلاعات و آمار در یک دوره طولانی مدت و شناخت درست و صحیح از خصوصیات هیدرودینامیکی آبخوان‌ها است. در

¹ Conductance

صورتی که این اطلاعات موجود باشد، استفاده از این مدل‌ها بعد از واسنجی می‌تواند در ارزیابی پتانسیل آبخوان، بررسی تغذیه، افزایش برداشت و یا تهیه مدل بهینه بهره‌برداری و آینده‌نگری و وضعیت آبخوان کمک موثری برای برنامه ریزان و کارشناسان باشد. واسنجی و آنالیز حساسیت مدل برای سال مینا، در اینجا همان سال نرمال است، انجام شد.

4-1 واسنجی مدل:

برای واسنجی مدل از آمار سطح آب مهر 1382 تا مهر 1383 استفاده گردید. با داشتن ضرائب هیدرودینامیکی و فرض ثابت بودن میزان تخلیه چاه‌های پمپاژ، اقدام به کالیبراسیون مدل و برآورد میزان تغذیه دشت شد. مقادیر تغذیه در این دوره با استفاده از بسته *Recharge* و میزان حدس اولیه توسط شماره پارامتر به کد *Pest* معرفی گردید. نتایج کالیبراسیون بصورت مقایسه بار آبی محاسباتی و مشاهداتی در چاه‌های مشاهده‌ای در شکل شماره 2 نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل با واسنجی خودکار به خوبی توانسته است با شرایط طبیعت، خود را تطبیق دهد.

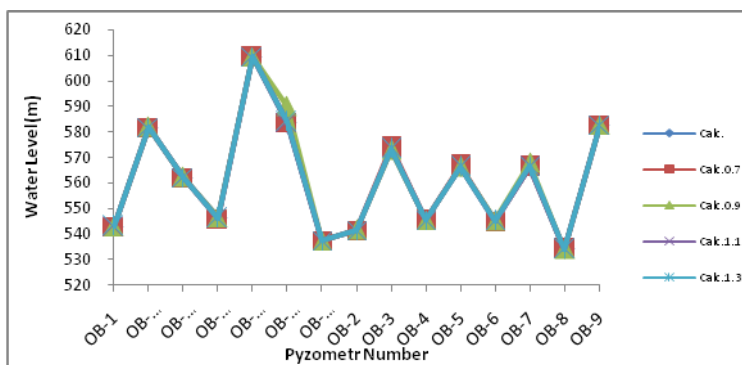


شکل 2- نمودار مقایسه‌ای بین مقادیر مشاهده شده هد آب در منطقه و محاسبه شده توسط مدل

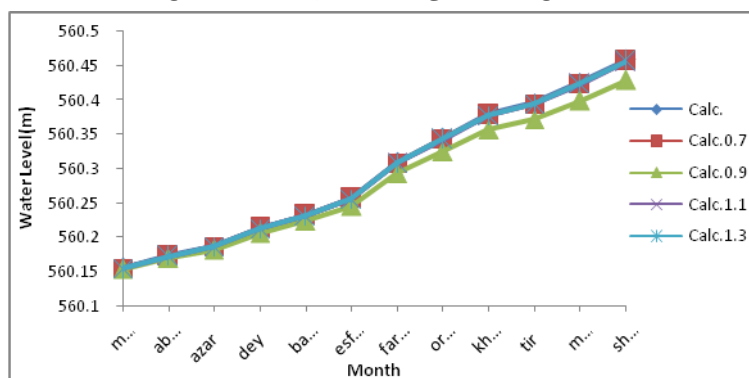
4.3 آنالیز حساسیت مدل

پس از تطبیق مدل تدوین شده بر آبخوان در حالت‌های پایدار و ناپایدار، حساسیت مدل به تغییر پارامترهای موثر بر تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت. در صورتیکه حساسیت مدل تدوین شده به تغییر مقادیر پارامترهای موثر بر آبخوان زیاد باشد، نیاز به اندازه‌گیری دقیق‌تر در صحرا می‌باشد. به همین منظور حساسیت مدل تدوین شده به تغییر پارامترهای مهمی از قبیل هدایت هیدرولیکی (k) و آبدهی ویژه (Sy) مورد بررسی قرار گرفت. این دو پارامتر از این جهت انتخاب شد که معمولاً دارای بیشترین تاثیر و عدم قطعیت در مدلسازی می‌باشند. ابتدا مقادیر Sy و k به اندازه 10 و 30 درصد کاهش و افزایش داده شد، سپس مقادیر جدید وارد نرم افزار شد و مدل با توجه به مقادیر جدید اجرا گردید. با مقایسه تراز آب زیرزمینی محاسبه شده در حالت اخیر با مقادیر اندازه‌گیری شده حساسیت مدل تدوین شده نسبت به پارامترهای فوق

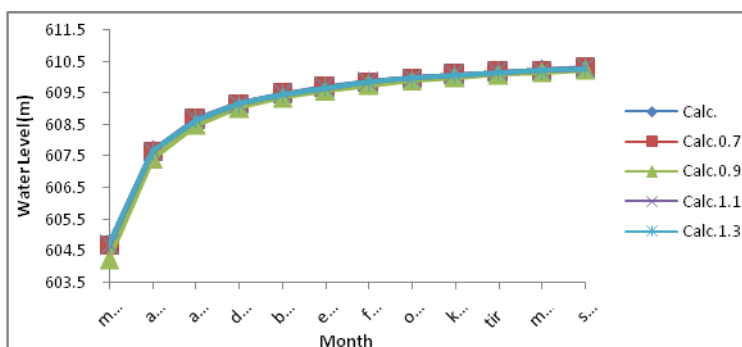
بررسی شد. شکل‌های شماره 3 و 4 و 5 به ترتیب تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر پارامتر K و Sy در سطوح 10 و 30 درصد را نشان می‌دهند. نتایج نشان داد که مقادیر K تخمین‌زده شده در حالت تطبیق مدل در شرایط پایدار از روی مقادیر اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه تا حد زیادی بر شرایط طبیعی آبخوان منطبق می‌باشد و حساسیت مدل به این پارامتر پائین می‌باشد، همچنین نتایج نشان داد که مقدار آبدهی ویژه تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر سطح آب زیرزمینی نگذاشته است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر آبدهی ویژه تخمین‌زده شده از روی آبدهی ویژه توصیه شده از طرف کارشناسان سازمان آب منطقه‌ای در حالت تطبیق در شرایط ناپایدار تا حد زیادی بر مقادیر واقعی آبخوان انطباق دارد.



شکل 3- تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر پارامتر K در سطوح 10 و 30 درصد



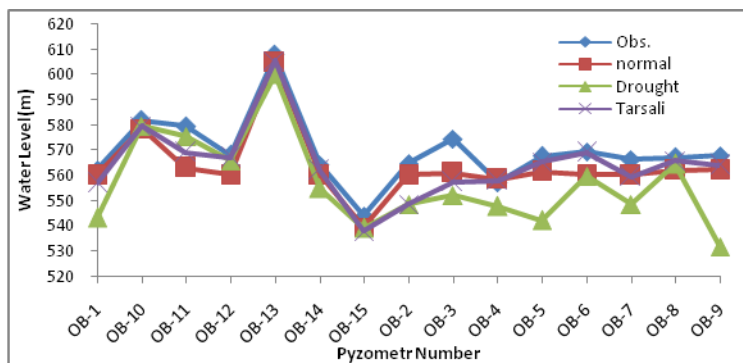
شکل 4- تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر پارامتر Sy در سطوح 10 و 20 و 30 درصد، پیژومتر 1



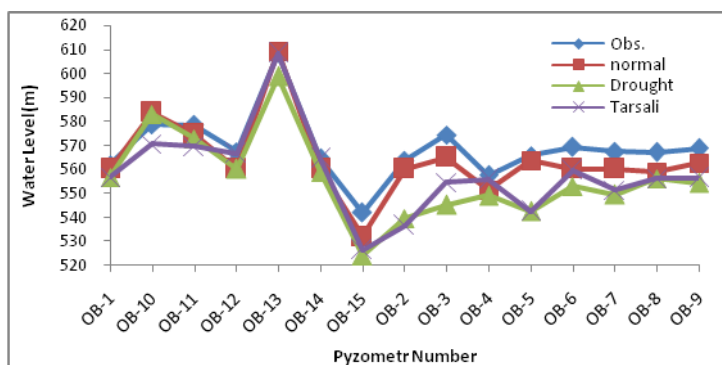
شکل 5- تغییرات سطح آب زیرزمینی در اثر تغییر پارامتر Sy در سطوح 10 و 20 و 30 درصد، پیژومتر 13

5-4- برآورد سطح آب زیرزمینی در سه حالت ترسالی، خشکسالی و نرمال

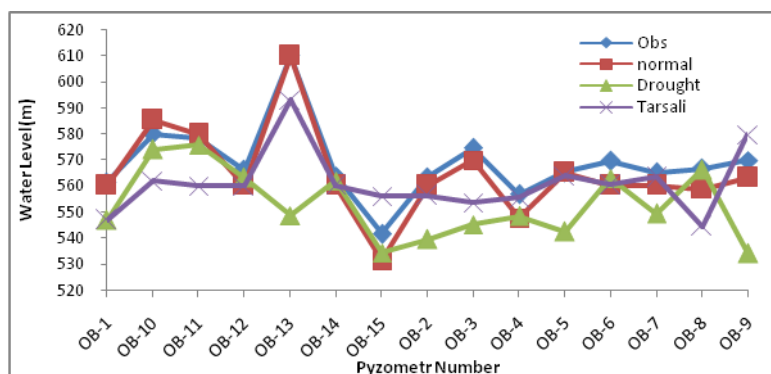
یکی از اهداف اصلی این تحقیق مقایسه سطح آب زیرزمینی در سه حالت مختلف آب و هوایی می‌باشد. مدل برای سه حالت اجرا و نتایج به صورت شکل‌های 5 و 6 و 7 و 8، برای چهار ماه از سال، مشخص گردید. نتایج نشان می‌دهد که مدل به خوبی قادر به شبیه‌سازی آبخوان بوده و از آن می‌توان برای پیش‌بینی سال‌های آتی نیز استفاده کرد.



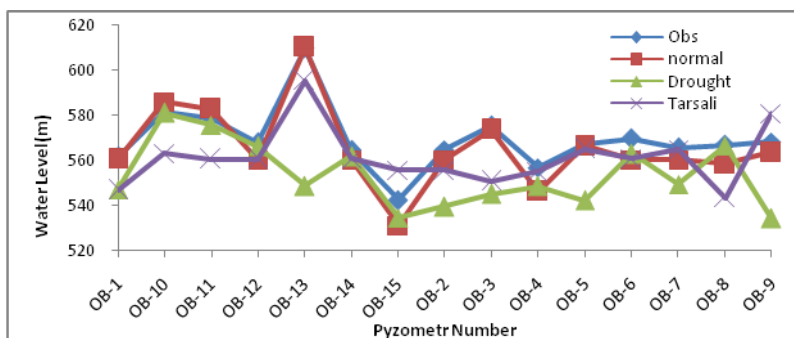
شکل 5- نمودار مقایسه‌ای سطح آب زیرزمینی در سه حالت ترسالی، خشکسالی و نرمال (ماه مهر)



شکل 6- نمودار مقایسه‌ای سطح آب زیرزمینی در سه حالت ترسالی، خشکسالی و نرمال (ماه دی)



شکل 7- نمودار مقایسه‌ای سطح آب زیرزمینی در سه حالت ترسالی، خشکسالی و نرمال (ماه فروردین)



شکل 8- نمودار مقایسه‌ای سطح آب زیرزمینی در سه حالت ترسالی، خشکسالی و نرمال (ماه تیر)

5- نتیجه‌گیری کلی

با کمک نرم افزار *Visual Modflow* مدل شبیه ساز حرکت آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد حوزه نرماب تهیه گردید. مدل ساخته شده به خوبی رفتار لایه آبدار آزاد را شبیه سازی می کند. در طول دوره‌های زمانی اجرای مدل، شرایط خشک، تر و نرمال، رقوم سطح آب محاسبه شده توسط مدل در محل کلیه پیزومترها با رقوم مشاهده شده سطح آب زیرزمینی در پیزومترها تطابق خوبی دارند. به کمک مدل پیشنهادی می توان وضعیت سفره را در صورتیکه مقادیر تخلیه و تغذیه سفره در مدت زمان مورد نظر مشخص باشند، پیش‌بینی نمود.

6. منابع

1. ابریشمی، ج.، علوی‌مقدم، م.، بهرامی جویینی، ر. 1380. مدل کیفی آب‌های زیرزمینی غرب کویر طبس، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران.
2. احمدی، ا. 1380. شبیه‌سازی جریان در آبخوان دشت ایذه با استفاده از مدل ریاضی عددی تفاضلات محدود (کد کامپیوتری *Visual Modflow V6.2* به منظور اعمال مدیریتی بهینه، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
3. چیت‌سازان، م.، ساعت‌ساز، م. 1384. کاربرد مدل ریاضی *Modflow* در بررسی گزینه‌های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز، مجله علوم دانشگاه شهید چمران، شماره 14، قسمت ب.
4. دهقان، ا. 1381. کاربرد مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی در مدیریت آبخوان دشت شهرکرد، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
5. سالاری، م. 1386. بررسی اثرات احداث سد دودر بر روی آبخوان دشت لادیز و مدیریت آبخوان توسط مدل ریاضی آب‌های زیرزمینی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
6. سعیدی‌فر، غ. 1383. مدل‌سازی هیدرولیکی آب‌زیرزمینی در دشت یاسوج و بررسی پخش و انتقال آلودگی در آن به کمک نرم‌افزار *PMWIN*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در رشته عمران دانشگاه شیراز.
7. شهابی‌فرد، ف. 1383. تأثیرات برداشت آب از آبخوان دشت ایرانشهر بر دبی پایه رودخانه بمپور، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.
8. شهنساری، ع. 1382. تهیه بیلان آبی و مدل ریاضی آبخوان دشت عجب‌شیر با استفاده از *GIS* و *Modflow*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز، 170 صفحه.
9. شمسایی، ا. و حمزه پور، خ. 1385. بهره‌برداری تلفیقی بهینه از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی با بالابردن اطمینان‌پذیری سیستم، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
10. صادقی‌راد، م.ع. 1384. پایین انداختن سطح آب‌زیرزمینی در دشت شیراز با استفاده از سیستم قنات، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شیراز، شیراز.
11. قادری، ک. 1385. بهره‌برداری بهینه تلفیقی از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی دشت‌تهران - شهریار. رساله دکترا، دانشگاه تربیت مدرس.
12. کاظمی، ر. 1381. ارزیابی هیدروژئولوژیکی و مدیریت آبخوان قوچان - شیروان با استفاده از مدل عددی *Modflow 2000*، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه شیراز.
13. مزروعی، ع. 1382. مطالعه آب‌زیرزمینی دشت آذرشهر و ارائه راه‌حل‌های مدیریتی با استفاده از مدل ریاضی، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه تبریز، تبریز، 150 صفحه.

14. مظفری زاده، ج.، چیت سازان، م.، ماجدی، ح. 1385. تصحیح ضرائب هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از مدل تفاضلات محدود (*Modflow*) و روش کریجینگ، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور.

15. همایون، ک.، حافظی، س. 1383. بکارگیری مدل *Modflow* مدیریت بهره برداری از آب های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد، نشریه آب و فاضلاب، شماره 50، ص 45-50.

16. Emace, R., Chodhury, A., Anaya, R., Way, S.C. 2000. A numerical groundwater flow model of the upper and middle Trinity aquifer, Hill Country area, Texas Water Development Board, Open _ file Report 00