

Simulation and Groundwater Utilization Management of Ajabshir Plain Aquifer

Rasoul Mirabbasi Najafabadi^{1*}, Mohammad Taghi Sattari², Vahid Barghi Velinjagh³

Abstract

Groundwater is one of the most important resources for supplying drinking and agricultural water in Ajabshir plain aquifer. In the recent years, because of overexploitation of groundwater resources in this plain, the water table has declined significantly leading to salt water intrusion from Urmia Lake to Ajabshir aquifer and deterioration of the water quality of nearby regions. In this study, water table fluctuation of Ajabshir aquifer was simulated with PMWIN software. The model was calibrated based on automatic inverse modeling by using the Pest package in PMWIN software. The results of the model verification showed that the developed model could predict the water table with acceptable accuracy. After model verification, we defined three groundwater discharge management scenarios for the next 4 years and investigated accomplishment of these scenarios impressions. These scenarios included continuing current condition, decreasing groundwater recharge by 10, 20 and 30 percent, decreasing of groundwater discharge by 10, 20 and 30 percent comparing to the current amounts. The results of applying the above-mentioned scenarios to the models revealed that the groundwater level decline would continue in this plain, but with a lower slope which might be probably due to constructing a dam on Ghaleh Chay River in recent years and decreasing the groundwater discharge by agricultural wells. The results also showed that decreasing of groundwater discharge by 30 percent, the groundwater level would increase in the next 4 years.

Keywords: Ajabshir plain, Urmia Lake, Groundwater, PMWIN, Pest.

Received: 2016/01/14
Accepted: 2016/05/28

شبیه سازی و مدیریت بهره برداری از آب زیرزمینی دشت عجب شیر

رسول میرعباسی نجف آبادی^{۱*}، محمدتقی ستاری^۲، وحید برقی ولینجق^۳

چکیده

آب های زیرزمینی یکی از مهمترین منابع تامین آب شرب و کشاورزی در دشت عجب شیر می باشد. در سال های اخیر به دلیل برداشت بی رویه از منابع زیرزمینی، سطح آب این دشت به شدت افت کرده است که این امر باعث هجوم آب شور دریاچه ارومیه و کاهش کیفیت آب زیرزمینی در نقاط مجاور دریاچه شده است. در این مطالعه، تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب شیر با استفاده از مدل مادفلو شبیه سازی گردید. واسنجی مدل به روش خودکار و با استفاده از کد Pest در نرم افزار PMWIN انجام شد. نتایج صحت سنجی مدل نشان داد که مدل ایجاد شده با دقت نسبتاً قابل قبولی می تواند شرایط آبی آبخوان را شبیه سازی نماید. پس از صحت سنجی مدل، وضعیت آبخوان تحت سه سناریو برای ۴ سال آینده مورد بررسی قرار گرفت. این سه سناریو شامل ادامه وضعیت کنونی، کاهش تغذیه به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و کاهش برداشت از آبخوان به میزان ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وضعیت کنونی بود. نتایج اعمال این سه سناریو به مدل نشان داد که به طور کلی سطح آب زیرزمینی در دشت عجب شیر روند کاهشی را با شیب کمتری نسبت به گذشته طی می کند که دلیل آن احتمالاً احداث سد بر روی رودخانه قلعه چای در سال های اخیر و کاهش برداشت به منظور کشاورزی در این دشت می باشد. همچنین نتایج نشان داد که در صورت اعمال ۳۰ درصد کاهش برداشت از چاه ها تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان در ۴ سال آینده افزایش خواهد یافت.

واژه های کلیدی: آب زیرزمینی، دریاچه ارومیه، دشت عجب شیر، PMWIN، Pest.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۸

1- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Shahrekord University. E-mail: mirabbasi_r@yahoo.com.

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Tabriz.

3- MSc of Civil Engineering, Islamic Azad University of Maragheh.

*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد.

۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز.

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه آزاد مراغه.

*- نویسنده مسئول

اعمال مدیریت صحیح استفاده کرد. هرچند صحت پیش بینی، به وجود اطلاعات دقیق و جامع هیدروژئولوژیکی و به عدم محدودیت مدل در شبیه سازی کلیه شرایط آبخوان بستگی دارد (میرعباسی و رهنما، ۱۳۸۶). تاکنون مطالعات زیادی به منظور شبیه سازی آب های زیرزمینی با استفاده از مدل های کامپیوتری در نقاط مختلف دنیا انجام شده است که در اینجا به برخی از آنها اشاره می شود:

تاد و همکاران (۲۰۰۱) به منظور تعیین محدوده تغذیه چاههای آب شرب شهر استراگون بای در ایالت ویسکانسین آمریکا، آبهای زیرزمینی این منطقه را با نرم افزار مادفلو^۱ شبیه سازی نمودند. عبدالغنی و الطیب (۲۰۰۳) آبهای زیرزمینی شهر موصل در عراق به وسعت حدود ۵۲۸ کیلومتر مربع را با نرم افزار مادفلو شبیه سازی نمودند. آنها از داده های ۴۳ چاه کم عمق در طول ۷ ماه برای مدل سازی استفاده کردند. پس از واسنجی مدل و تعیین ضریب هدایت هیدرولیکی، نمودارهای خطوط هم پتانسیل و شبکه جریان را برای این منطقه رسم نمودند. گیسک و میرانزاده (۲۰۰۲) تغییرات سطح آب زیرزمینی در منطقه جنوبی لجنانات یکی از زیر حوضه های زاینده رود را با نرم افزار PMWIN مدل کردند. دانائیان (۱۳۷۹) تاثیر طرحهای تغذیه مصنوعی اجرا شده در دشت ابراهیم آباد مهریز بر روی آبخوان زیرزمینی را با استفاده از مدل مادفلو مورد بررسی قرار داد. برای ارزیابی تاثیر تغذیه مصنوعی، مدل را در دو حالت واقعی و فرضی شامل: (۱) پس از انجام طرحها و تغذیه (۲) قبل از انجام آنها، اجرا نمود که نتایج حاصل نشان داد اجرای طرحهای تغذیه منابع آب زیرزمینی تا حد محدودی بر روی آبخوان منطقه مورد مطالعه تاثیر داشته است. تورلی و کالاندر (۲۰۰۵) با استفاده از نرم افزار ویزوال مادفلو آبهای زیرزمینی شهر کریستورس در زلاندنو در ساحل غربی اقیانوس آرام را مدل سازی کردند. آنها برای مدل سازی از داده های ماهیانه ۱۵۷ چاه تأمین آب شرب شهر استفاده کردند. فقیهی و همکاران (۲۰۱۰) واکنش آبخوان دشت قزوین در برابر روشهای مختلف آبخوان داری و مدیریت منابع آب را با شبیه سازی به وسیله نرم افزار ویزوال مادفلو پیش بینی کردند. پس از واسنجی و صحت سنجی مدل، تغییرات مختلف محتمل

آب زیرزمینی یکی از منابع مهم تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است. استفاده از آبهای زیرزمینی در بسیاری از کشورهای واقع در نواحی خشک و نیمه خشک، بیش از ۸۰ درصد کل منابع آبی است. حتی در ایالات متحده، تقریباً ۴۰ درصد آب شیرین برای کشاورزی و شرب از آبهای زیرزمینی تأمین می شود. رشد سریع جمعیت در ۲۰ سال اخیر، توسعه مناطق شهری و کشاورزی و محدودیت منابع آبهای سطحی و در نتیجه برداشت بیش از اندازه از آبخوانها، باعث خسارات جبران ناپذیری به منابع طبیعی کشور، بویژه در سالهای آینده خواهد شد. بر اساس برآوردهای آماری، سطح آبهای زیرزمینی در آبخوان های ایران طی ۱۵ سال اخیر به طور میانگین هر سال نیم متر کاهش داشته است. با پایین رفتن سطح آب، خاک و زمین های کشاورزی حامی خود را از دست داده و این مساله موجب افزایش رانش زمین و نشست آن می شود. مطالعات انجام شده در سالهای اخیر، جدی بودن این مشکل در برخی نقاط ایران نشان داده است (کاظمی آذر و رهنما، ۱۳۸۵؛ حسینی و صادقی فرد، ۱۳۸۵؛ لشگری پور و همکاران، ۱۳۸۴؛ غفوری و موسوی، ۱۳۸۹؛ نوروزی و همکاران، ۱۳۹۰). به منظور کاهش خسارت ناشی از افت تراز آب زیرزمینی، بایستی مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد. مدیریت منابع آبهای زیرزمینی نیازمند شناخت وضعیت آبخوان در شرایط طبیعی و سپس پیش بینی اثرات برداشت و یا تغذیه می باشد. شناخت رفتار یک سیستم آب زیرزمینی، نیازمند حفر تعداد زیادی چاه اکتشافی و انجام عملیات پمپاژ و آزمایشات ژئوفیزیک و انجام یکسری تحقیقات طولی المدت است که با صرف هزینه های فراوان عملی می گردد. شبیه سازی جریان آب زیرزمینی توسط مدل ریاضی یک روش غیرمستقیم مطالعه است که با صرف هزینه کمتر نسبت به روش های مستقیم می تواند شرایط آبخوان با دقت قابل قبولی توصیف نماید و مشکلات موجود را تا حد زیادی رفع کند. در واقع، هدف از تهیه مدل ریاضی، شبیه سازی شرایط طبیعی آبخوان با استفاده از یکسری روابط ریاضی می باشد. اگر یک مدل ریاضی به طور دقیق بکار گرفته شود، از آن می توان برای پیش بینی وضعیت منابع آبی در آینده و همچنین روشن ساختن تأثیر شرایط اعمال شده بر روی یک آبخوان جهت

1- Modflow

سرگزی (۱۳۸۶) آبخوان گوهرکوه را برای بررسی اثرات اجرای تغذیه مصنوعی بر روی آن، با استفاده از مدل مادفلو شبیه سازی کردند. نتایج نشان داد که بهترین محل برای اعمال تغذیه مصنوعی بخش های شمالی آبخوان می باشد. آبایی و همکاران (۱۳۹۰) با تلفیق نرم افزار مادفلو و الگوریتم بهینه سازی ژنتیک، یک الگوریتم بهره برداری بهینه توسعه دادند و آنرا در یک آبخوان فرضی مورد آزمایش قرار دادند. آنها عنوان کردند که در صورت عدم امکان حذف منابع آلوده کننده می توان با برنامه بهینه بهره برداری، غلظت آلاینده ها را تا حد امکان در سطح آبخوان یکنواخت کرد و همچنین با استفاده از این برنامه برداشت بهینه، می توان محل مناسب چاه و دبی پمپاژ یک ساله مناسب برای آنرا تعیین نمود.

صافی (۱۳۹۰) به منظور بررسی هجوم آب شور دریاچه ارومیه به آبخوان دشت بناب، مدل آب زیرزمینی این دشت را با نرم افزار ویژوال مادفلو ایجاد نمود و وضعیت تراز آب زیرزمینی این دشت و پیشروی آب شور را برای ۲۰ سال آینده مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که با ادامه وضعیت کنونی تراز آب زیرزمینی دشت بناب به شدت افت خواهد کرد که با ارائه سناریوهای تغذیه مصنوعی مشاهده کردند افت سطح آب به ۰/۳ متر در سال کاهش خواهد یافت. نخعی و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات آب زیرزمینی آبخوان ساحلی ارومیه را با نرم افزار ویژوال مادفلو مدل کردند و نرخ پمپاژ چاههای بهره برداری را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه کردند. نتایج نشان داد که نرخ بهینه برداشت از چاههای بهره برداری در جنوب دشت برابر نصف برداشت کنونی است ولی در بخش های شرقی دشت نرخ بهینه بهره برداری با نرخ کنونی برداشت تفاوت چندانی ندارد.

در سال های اخیر، برداشت بی رویه از آب زیرزمینی باعث منفی شدن بیلان آب و در نتیجه افت شدید سطح آب زیرزمینی در دشت عجب شیر شده است که در آینده نزدیک علاوه بر کاهش شدید کیفیت آب با خطر خالی شدن آبخوان نیز مواجه خواهد شد. با توجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی دشت عجب شیر، مدیریت صحیح منابع آبی در این دشت ضروری می باشد. در این مطالعه، آب زیرزمینی دشت عجب شیر با استفاده از مدل مادفلو شبیه سازی می شود و

در سالهای آتی در مدل اعمال و واکنش آبخوان به این تغییرات پیش بینی گردید. چیت سازان و ساعت ساز (۱۳۸۴) از مدل مادفلو برای بررسی گزینه های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز استفاده کردند. آنها پس از واسنجی و صحت سنجی مدل، گزینه های مختلف مدیریتی، شامل ادامه روند کنونی برداشت، توسعه آبخوان با حفر چاه های جدید، تاثیر زهکش ها در مناطق زهدار و بررسی عملکرد آبخوان با انجام عمل انتقال آب و آبیاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که ادامه روند کنونی برداشت از نظر مدیریتی گزینه قابل قبولی نبوده 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. اصغری و همکاران (۱۳۸۴) آبخوان دشت برخوار اصفهان را به منظور پیش بینی عملکرد بهینه آن شبیه سازی کردند. آنها با بررسی گزینه تأثیر روند بهره برداری کنونی بر روی سطح آب آبخوان در سال های آتی، به این نتیجه رسیدند که حداکثر افتی برابر با ۴۸ متر مورد انتظار می باشد. آنها به منظور ارائه یک راهکار عملی برای بهبود وضعیت آبخوان، گزینه کنترل بهره برداری آبخوان با اعمال کاهش ۳۰ درصد دبی تخلیه چاه های بهره برداری را بررسی کردند. از مهم ترین نتایج اجرای این سناریو، کاهش افت ۲۶ درصدی سطح آب آبخوان بود. همچنین با توسعه یک مدل بهینه سازی و اعمال محدودیت های لازم در نقاط بحرانی منطقه و نیز انتقال آب از دیگر نقاط منطقه، روند افت آب در حد قابل قبولی (کمتر از ۱۰ متر تا سال ۱۳۹۰) قابل کنترل به نظر می رسید. میرعباسی و رهنما (۱۳۸۶) آبخوان دشت سیرجان در استان کرمان را با استفاده از مدل مادفلو شبیه سازی کرده و اثرات احداث سد تنگونیه را بر روی آن بررسی نمودند. آنها پارامترهای هدایت هیدرولیکی ضریب ذخیره و میزان تغذیه را با استفاده از نرم افزار پست با تطابق سطح ایستابی اندازه گیری شده و به دست آمده از اجرای مدل تخمین زدند و واسنجی مدل را در یک دوره ۹ ساله (۸۳-۱۳۷۴) انجام دادند. پس از صحت سنجی مدل در یک دوره ۱۲ ماهه (سال ۱۳۸۴)، میزان تغذیه دشت، قبل و بعد از احداث سد تنگونیه توسط مدل محاسبه شد و مشخص گردید که احداث سد مذکور موجب کاهش تغذیه آبخوان دشت سیرجان شده است. رضایی و

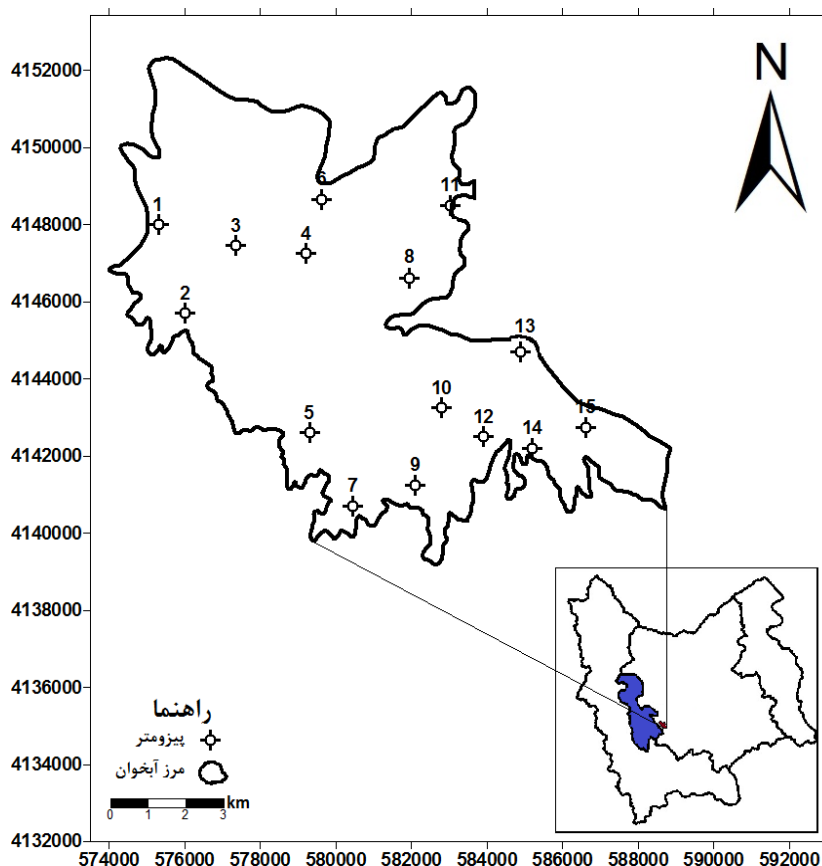
استان آذربایجان شرقی و پیزومترهای مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است. آب و هوای منطقه عجب شیر از نوع نیمه خشک بوده و بر اساس اطلاعات هواشناسی موجود متوسط سالانه بارندگی منطقه حدود ۲۳۳ میلیمتر و متوسط بلندمدت سالانه تبخیر از سطح تشتک ۱۶۰۰ میلیمتر می باشد. متوسط سالانه دمای منطقه در دراز مدت برابر ۱۲/۹۶ درجه سانتیگراد می باشد. مهمترین رودخانه منطقه قلعه چای می باشد که دارای جهت شمال شرق - جنوب غرب بوده که منبع اصلی تغذیه آبخوان عجب شیر محسوب می شود (درختی و علاف نجیب، ۱۳۸۳).

ضمن تعریف سناریوهای محتمل، اثر هر کدام از آنها بر تغییرات تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار می گیرد.

مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه و داده های مورد استفاده

دشت عجب شیر با وسعتی در حدود ۱۳۱/۱۳ کیلومتر مربع در جنوب غربی استان آذربایجان شرقی و در ۹۲ کیلومتری جنوب تبریز قرار گرفته است. این دشت قسمتی از حوضه آبریز دریاچه ارومیه بوده و جزو مناطق نیمه خشک محسوب می شود. در شکل ۱ موقعیت دشت عجب شیر در



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی آبخوان عجب شیر و پیزومترهای مورد استفاده

این دشت از سال ۱۳۷۰ ممنوع شده است و از آن تاریخ تاکنون همه ساله ممنوعیت آن تمدید شده است. بر اساس حفاریهای اکتشافی انجام گرفته در دشت عجب شیر، ضخامت آبرفت دشت از ۴۰ متر در حاشیه های دشت تا حدود ۱۰۰ متر

افزایش تعداد و تخلیه چاههای بهره برداری در سالهای اخیر و کاهش نزولات جوی، باعث پایین رفتن سطح آب زیرزمینی و کاهش آبدی منابع آب اعم از چاه، چشمه و قنات در منطقه شده است. بطوریکه صدور مجوز بهره برداری از

آورده شده است. برداشتهای بی رویه از چاههای مذکور در دهه گذشته و ادامه این روند تاکنون باعث افت شدید سطح آب زیرزمینی دشت و نفوذ آب شور دریاچه ارومیه به آبهای زیرزمینی دشت شده است. در منطقه عجب شیر تعداد ۲۰ حلقه چاه پیژومتریکی وجود دارد که از بین آنها تعداد ۱۵ حلقه که از پراکنندگی مناسبی در سطح دشت برخوردار بوده و آمار مطالعاتی کاملی از سال ۸۰ تا ۸۹ داشتند، در این مطالعه انتخاب شدند (شکل ۴). در این مطالعه، به منظور بازسازی داده های مفقود تراز آب زیرزمینی از روش ایجاد همبستگی با پیژومترهای اطراف استفاده شد.

بررسی مرزهای هیدرولیکی آبخوان

مرزهای فیزیکی آبخوان عجب شیر از نوع مرکزکوه و دشت و مرز دریا و دشت است که با استفاده از نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی و منابع آب مشخص گردید و عبارتند از کوههای شمال شرقی که جریان آب در دشت از آنها به سمت دریاچه در جنوب و غرب و جنوب غربی دشت برقرار است. مرزهای هیدرولیکی در قسمت شمالی، شمال غربی و جنوب شرقی دشت واقع می شوند و شامل خطوط جریان و خطوط هم پتانسیل می باشند که از روی نقشه سطح ایستابی مشخص شده است. این مرزها از نوع مرز با بار آبی ثابت می باشند (شکل ۴). از آنجائیکه آبخوان دشت عجب شیر از نوع آزاد می باشد، سطح زمین قسمت فوقانی آبخوان را تشکیل می دهد. لذا با استفاده از نقشه های توپوگرافی منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ارتفاع مطلق (نسبت به سطح دریا)، نقشه توپوگرافی سطح آبخوان تهیه گردید. ارقام ارتفاعی موجود به صورت فایل GRD برای بلوکها به مدل وارد گردید. نقشه سنگ کف نیز با کم کردن عمق سنگ کف در محل سونداژهای الکتریکی، از توپوگرافی سطح زمین تهیه و به صورت فایل GRD به مدل وارد گردید. شکل ۵ نمای سه بعدی از تراز سنگ بستر، سطح آب و سطح زمین را نشان می دهد.

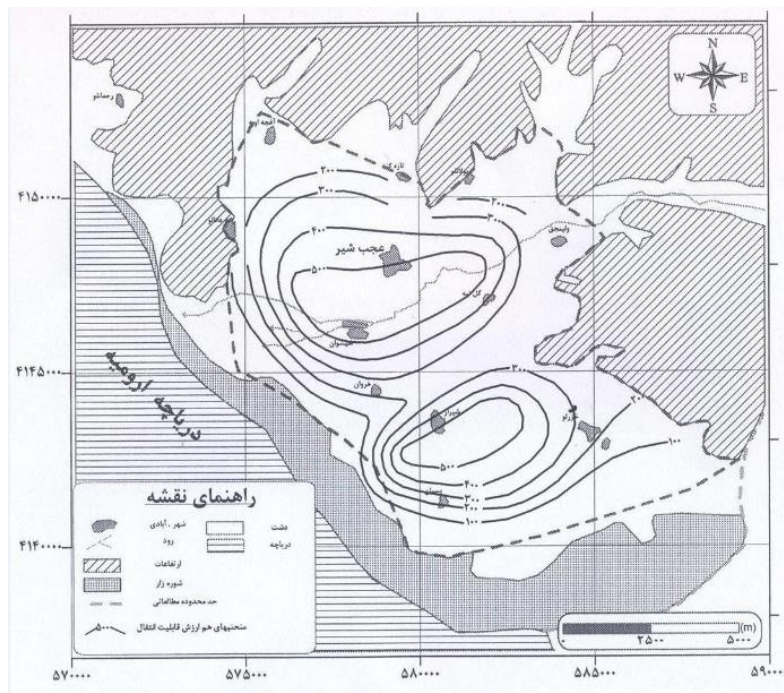
در نزدیکی شیشوان متغیر است. حجم کل ذخیره آبخوان حدود ۱۷۴ میلیون متر مکعب است (درختی و علاف نجیب، ۱۳۸۳). ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان (S و T) در دشت با استفاده از نتایج آزمایش پمپاژ ۵ حلقه چاه اکتشافی و تعدادی چاههای بهره برداری با بهره گیری از روشهای مختلف از جمله ژاکوب^۱، تیس^۲ و نیومن^۳ توسط مهندسين مشاور بندآب بدست آمده است (تاد و میز، ۲۰۰۵). شکل ۲ نقشه قابلیت انتقال دشت عجب شیر را نشان می دهد که با توجه به نقشه مذکور مقادیر قابلیت انتقال در وسط دشت، به دلیل ضخامت زیاد آبرفت و بافت نسبتاً درشت دانه به ویژه در محل رودخانه قلعه چای، بیشترین مقدار را داشته است. در حالیکه در نواحی غربی و جنوب غربی دشت به دلیل بالا بودن سنگ کف، ضخامت کم آبرفت و کاهش نفوذپذیری به دلیل دانه ریز بودن رسوبات، مقدار قابلیت انتقال کم می باشد و به سمت دریاچه ارومیه کاهش می یابد. ضریب ذخیره متوسط آبخوان برابر ۴ درصد تعیین گردیده است (درختی و علاف نجیب، ۱۳۸۳).

بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت نشان می دهد که سطح آب زیرزمینی در این دشت طی سالهای ۸۰ تا ۸۹ رو به کاهش بوده است که دلیل آن کاهش میزان نزولات جوی در سالهای مورد مطالعه و از طرفی افزایش میزان برداشت آب از چاههای بهره برداری به جهت افزایش سطح زیرکشت و تغییر الگوی کشت به سمت محصولات پرمصرف از نظر نیاز به آب بوده است. هرچند با آبیگری سد قلعه چای در سال ۱۳۸۵ که بر روی بزرگترین رودخانه دشت به نام قلعه چای احداث شده، روند کاهشی سطح آب زیرزمینی به دلیل تامین آب مورد نیاز کشاورزی منطقه طی چند ماه از فصل کشاورزی و کاهش چشمگیر نیاز به برداشت از چاههای کشاورزی، تعدیل شده بود، ولی نتایج مطالعات قبلی نشان داده است که روند کاهشی سطح آب زیرزمینی (با شیب کمتر) همچنان ادامه دارد. تعداد کل چاههای برداشت در دشت عجب شیر ۷۵۰ حلقه بوده که به صورت پراکنده در نقاط مختلف دشت توزیع شده اند. موقعیت چاههای بهره برداری دشت عجب شیر در شکل ۳

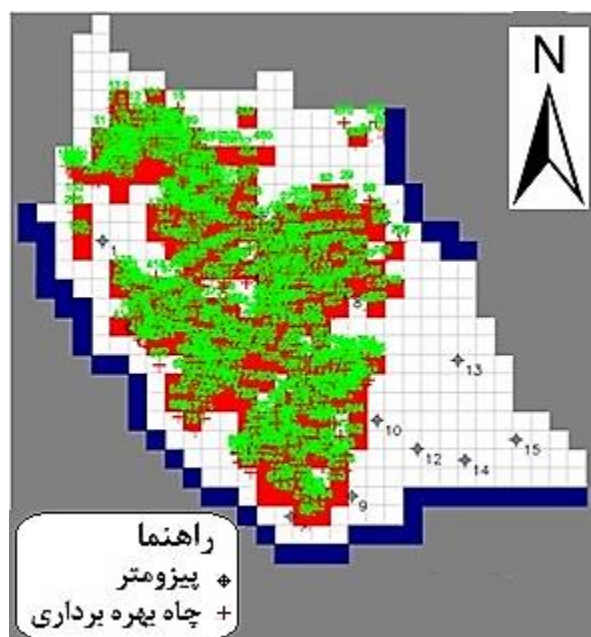
1- Jacob

2- Theis

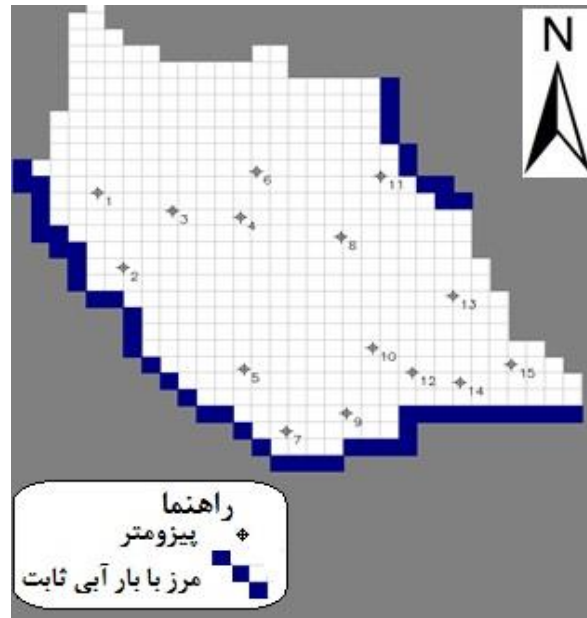
3- Newman



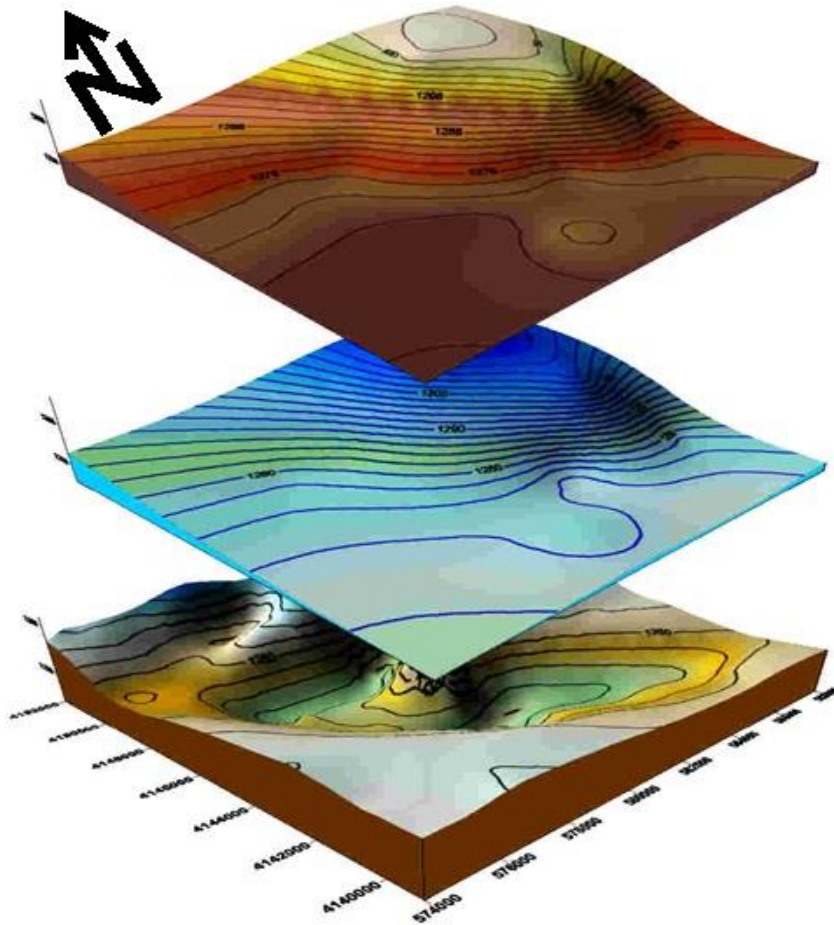
شکل ۲- نقشه قابلیت انتقال دشت عجب شیر (بی نام، ۱۳۷۹)



شکل ۳- موقعیت چاههای بهره برداری دشت عجب شیر



شکل ۴- شبکه بندی آبخوان به همراه موقعیت چاههای مشاهده ای



شکل ۵- توپوگرافی سطح زمین (بالا) و سطح آب زیرزمینی (وسط) و سنگ بستر (پایین) در محدوده مورد مطالعه از دشت عجب شیر

در این رابطه، T قابلیت انتقال برحسب متر مربع بر روز، i گرادیان هیدرولیکی و W عرض مقطع (متر) می باشد. اعمال تغذیه و تخلیه زیرزمینی به صورت چاه در مرز صورت گرفته است که تخلیه به صورت چاههای با دبی منفی و تغذیه به صورت چاههای با دبی مثبت در نظر گرفته شدند. در این تحقیق، برای شبیه سازی آبخوان دشت عجب شیر از نرم افزار Processing Modflow یا PMWIN 5.1 به خاطر کارایی بالای مدل در شبیه سازی جریان آب زیرزمینی، واسنجی خودکار با استفاده از کدهای Pest و Ucode و سهولت کاربرد مدل استفاده شده است.

معادله حاکم بر جریان در محیط متخلخل اشباع در

فرم سه بعدی به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial}{\partial x} [K_x \frac{\partial h}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [K_y \frac{\partial h}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [K_z \frac{\partial h}{\partial z}] = S_s \frac{\partial h}{\partial t} - I \quad [2]$$

که در آن K_x, K_y, K_z مقادیر هدایت هیدرولیکی در جهات سه گانه مختصات کارتزین (LT^{-1})، I جریان حجمی بر واحد حجم (T^{-1})، h بار هیدرولیکی (L)، S_s ذخیره ویژه مواد متخلخل (L^{-1}) و t زمان می باشد. معادله ۲ جریان آب زیرزمینی را در شرایط غیرماندگار در یک محیط ناهمگن و ناهمسان نشان می دهد. به جز سیستم های خیلی ساده، حل تحلیلی معادله فوق ممکن نیست، بنابراین از روشهای مختلف عددی برای حل تقریبی معادله استفاده می شود. نرم افزار PMWIN برای حل این معادله از روش تفاضل محدود استفاده می کند.

تهیه مدل آب زیرزمینی

برای ایجاد مدل آب زیرزمینی در محیط نرم افزار PMWIN ابتدا محدوده آبخوان برای مدل تعریف و شبکه بندی شد. همچنین شرایط مرزی و تقسیمات زمانی مدل، مطابق با موارد اشاره شده در بخش قبل برای مدل تعریف شدند. در این مطالعه واحد زمانی بر حسب روز، گام زمانی به صورت ماهانه، و دوره های تنش به صورت سه ماهه یا ۹۰ روزه در نظر گرفته شد. در مرحله بعد لایه های سطح زمین، سنگ بستر و تراز سطح آب اولیه (فروردین ۱۳۸۰) به صورت ماتریس به مدل

پارامترهای زمانی باید با توجه به هدف، اطلاعات موجود، شرایط حاکم بر آبخوان، هزینه و وقت لازم برای مدل سازی، انتخاب گردد. تقسیمات زمانی در تمامی بخش های مدل اثر می نماید. هرچه طول گام زمانی کوتاهتر انتخاب شود، دقت محاسبات بیشتر خواهد بود. این امر در صورتی میسر می گردد که اطلاعات مورد نیاز برای هر گام در دسترس بوده و مقادیر مقایسه ای در گامها موجود باشد. آمار چاههای مشاهدهای در دشت عجب شیر بصورت ماهانه برداشت شده است، همچنین پس از بررسی آمار چاههای بهره برداری مشخص شد که در اکثر این چاهها برداشت آب ۲۷۰ روز در سال انجام می گیرد. بنابراین در این مدل از واحد زمانی روزانه، دوره های تنش ۳ ماهه و گام زمانی ۳۰ روزه (یک ماهه) استفاده شد.

سطح ایستابی فروردین سال ۱۳۸۰ به عنوان بار هیدرولیکی اولیه در محل گره ها استفاده شده که این ارقام به صورت فایل GRD وارد مدل گردید. آبدهی ویژه معمولاً از طریق آزمایشهای پمپاژ محاسبه می شود. در دشت عجب شیر محاسبه آبدهی ویژه با استفاده از آزمایش پمپاژ تنها در چاههای اکتشافی انجام گرفته است. بنابراین داده های موجود برای میان یابی در کل منطقه کافی نیستند و این ضریب در حین واسنجی مدل در شرایط غیرماندگار بدست آمد. در طول دوره انتخابی برای مدل سازی، یکبار در سال ۱۳۸۷ میزان برداشت چاه های بهره برداری دشت عجب شیر ثبت شده است. در محدوده بیلان هیچ چشمه ای قرار نگرفته است و بر طبق آماربرداری سال ۱۳۸۷ در دشت عجب شیر تعداد ۷۵۰ حلقه چاه عمیق و نیمه عمیق وجود دارد که تخلیه سالیانه این چاهها حدود ۳۲ میلیون مترمکعب و میزان تخلیه از قنوات حدود ۲/۴ میلیون مترمکعب می باشد. با توجه به نقشه هم عمق آب زیرزمینی دشت عجب شیر، سطح آب زیرزمینی در عمقی بسیار بیش از ۴ متر از سطح زمین قرار دارد؛ بنابراین تبخیر از آب زیرزمینی ناچیز فرض شد. مقطع ورودی آب زیرزمینی با استفاده از نقشه سطح ایستابی مشخص شد. با توجه به گرادیان هیدرولیکی، ضریب قابلیت انتقال و عرض هر مقطع و با استفاده از فرمول زیر میزان جریان ورودی و خروجی برای هر مقطع محاسبه گردید:

$$Q = T.i.W \quad [1]$$

با کم شدن یک مجهول می توان با داشتن تعداد مجهولات کمتر، پارامترهای مورد نظر را بهتر بدست آورد.

واسنجی در شرایط ماندگار

پس از بررسی هیدروگراف چاههای مشاهداتی دشت عجب شیر مشخص شد که در سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد ۱۳۸۷ تغییرات آنها ناچیز می باشد می توان فرض کرد که در این سه ماه بین میزان تخلیه و تغذیه آبخوان تعادل برقرار بوده است. پس میزان تخلیه چاههای بهره برداری و میزان تغذیه آبخوان برابر در نظر گرفته می شود و در معادله حاکم بر آبخوان این دو پارامتر حذف می گردند. بنابراین میزان تغذیه آبخوان و تخلیه چاهها به مدل وارد نمی شود و مدل در این سه ماه در حالت ماندگار واسنجی گردیده و تنها مجهول معادله در حالت ماندگار، یعنی ضریب هدایت هیدرولیکی آبخوان، توسط کد Pest تخمین زده شد که در شکل ۶ ارائه شده است.

واسنجی در شرایط غیرماندگار

در معادله حاکم بر آبخوان برای حالت غیرماندگار ضریب ذخیره نیز اعمال اثر می نماید. پس از آنکه واسنجی مدل در حالت ماندگار انجام شد و پارامتر هدایت هیدرولیکی مشخص گردید، می توان مدل را برای شرایط غیرماندگار واسنجی نمود. با توجه به اینکه میزان تغذیه آبخوان و آبدی ویژه مجهول می باشند، پس مانند حالت قبل، ابتدا مدل برای سه ماه فروردین، اردیبهشت و خرداد ۱۳۸۷ که میزان تغذیه و تخلیه آبخوان تقریباً در تعادل هستند، واسنجی شده و پارامتر آبدی ویژه توسط کد Pest تخمین زده شد. پس از مشخص شدن آبدی ویژه، تنها مجهول باقی مانده میزان تغذیه آبخوان در هر گام زمانی است که با اجرای مدل در طول ۴۰ دوره زمانی سه ماهه، یعنی از فروردین ۱۳۸۰ تا اسفند ۱۳۸۹ میزان تغذیه آبخوان نیز توسط کد Pest تخمین زده شد.

صحت سنجی

پس از طراحی مدل، ورود داده ها، اجرای مدل و در نهایت آنالیز حساسیت و واسنجی، برای تأمین اعتبار مدل و سنجش دقت مدل و اثبات اینکه مدل قابلیت پیش گویی های صحیح را خواهد داشت، صحت سنجی^۶ مدل صورت می گیرد.

وارد گردید. سپس مقادیر ضریب انتقال میان یابی و به مدل وارد گردید. ضرایب هدایت هیدرولیکی و آبدی ویژه در زمان واسنجی بدست آمدند. مقادیر برداشت نیز از قسمت well به سلول هایی که در آنها چاه برداشت وجود داشت اعمال شدند. نقطه مشترک در تمامی روشهای محاسباتی، معیار تغییر بار هیدرولیکی برای همگرایی^۱ و حداکثر تعداد تکرار مجاز می باشد. در این مطالعه از روش PCG2^۲ با معیار همگرایی ۰/۰۱ متر استفاده شد.

واسنجی مدل

واسنجی عبارتست تعیین پارامترهای مدل به نحوی که اختلاف مابین بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی به حداقل مقدار ممکن برسد. به طور کلی دو روش واسنجی وجود دارد:

روشهای دستی مبتنی بر سعی و خطا^۳

روشهای خودکار مبتنی بر بهینه سازی^۴

در این مطالعه، از روش اتوماتیک برای واسنجی مدل استفاده شد که برای این منظور از کد Pest در نرم افزار PMWIN استفاده گردید. در روش خودکار، در واقع برای واسنجی مدل از روش مدل سازی معکوس^۵ برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی استفاده می شود. در حل معکوس، مقادیر سطح آب و بعضی از پارامترها به عنوان ورودی داده می شود و مقدار ضرائب هیدرودینامیکی آبخوان و یا تغذیه و تخلیه به عنوان خروجی مدل خوانده می شود. سپس نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج حاصل از مشاهدات مقایسه می شود، تا جائیکه کمترین اختلاف را داشته باشند. واسنجی در آبخوان ها باید بنا به شرایط حاکم صورت گیرد و از آنجائیکه آبخوان های طبیعی عمدتاً دارای شرایط غیرماندگار می باشند، واسنجی نیز باید در حالت غیرماندگار صورت گیرد. اما بنا به دلایلی از جمله تصحیح هدایت هیدرولیکی، واسنجی در شرایط ماندگار نیز انجام می گیرد. در حالت ماندگار بنا به معادله حاکمی که بر آبخوان اعمال می شود، عملاً آبدی ویژه حذف می گردد، لذا

1- Convergence

2- Preconditioned Conjugate Gradient

3- Manual Calibration- Trial and Error

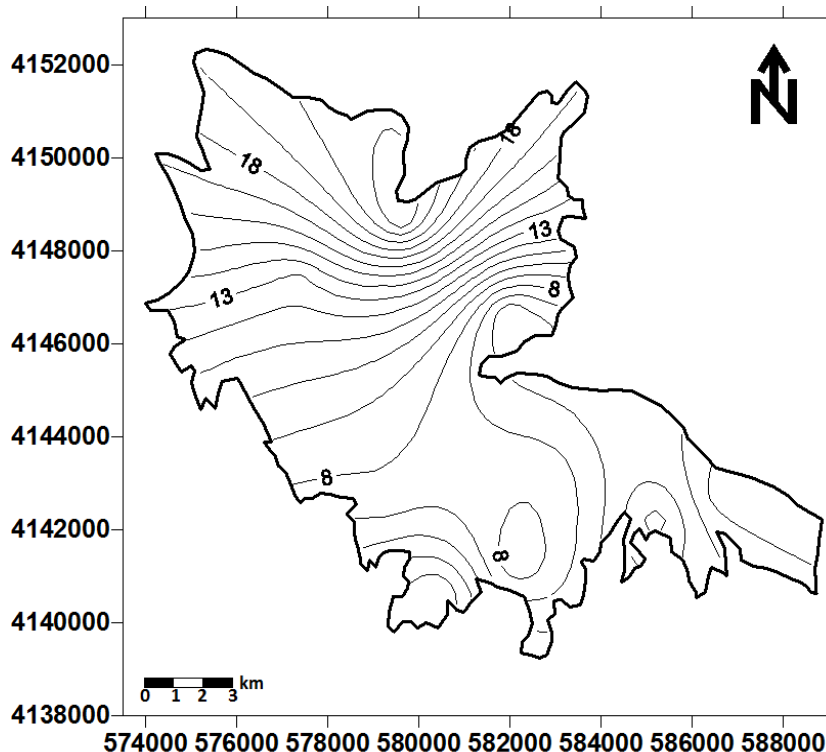
4- Automatic Calibration

5- Inverse modeling

6- Verification

سنجی مدل آب زیرزمینی دشت عجب شیر ابتدا سطح آب برای ۲۴ ماهه فروردین ۹۰ تا اسفند ۹۱ توسط مدل پیش بینی شد و نتایج بدست آمده با آمار مشاهداتی واقعی مقایسه گردید.

در صحت سنجی، یک مدل باید بتواند تحت تنش های متفاوت، مانند تغییرات برداشت یا تغییر در میزان تغذیه، بدون تغییر در ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان و منطقه بندی های بدست آمده برای هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه، شرایط طبیعی را تا حد قابل قبولی شبیه سازی نماید. برای صحت



شکل ۶- نقشه تغییرات مکانی هدایت هیدرولیکی دشت عجب شیر بر حسب متر بر روز از واسنجی مدل در شرایط ماندگار

بیشتر بوده یا به عبارتی مدل نسبت به آنها حساسیت بیشتری نشان می دهد از اهمیت بیشتری برخوردارند، زیرا با تغییر کمتر در این پارامترها می توان گام بزرگتری در جهت نزدیکتر شدن به مقادیر مشاهده ای برداشته و خطاها را به حداقل رسانید. اگر مدل نسبت به پارامتری حساسیت کمتری داشته باشد، واسنجی آن با تغییرات زیاد و گاه غیرمجاز آن پارامتر میسر می گردد؛ در حالیکه تغییرات جزئی در پارامترهایی که مدل نسبت به آن حساسیت زیادی دارد موجب واسنجی شدن سریع و درست مدل می گردد.

آنالیز حساسیت

آنالیز حساسیت^۱ در واقع به معنی مشخص نمودن حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف آن می باشد. در خلال آنالیز حساسیت، مقادیر واسنجی شده پارامترهای هیدرودینامیکی، مقادیر تغذیه و شرایط مرزی به صورت سیستماتیک تغییر داده می شود. بزرگی تغییرات بار هیدرولیکی نسبت به مقادیر بار هیدرولیکی واسنجی شده، معیار حساسیت حل مسئله نسبت به آن پارامتر خاص می باشد. در این بین عواملی که عکس العمل مدل به تغییراتشان

1- Sensitivity Analysis

حالتی که شرایط فعلی ادامه پیدا کند، بررسی می شود. در سناریوی دوم تغییرات سطح آب زیرزمینی در حالتی که ۱۰ تا ۳۰ درصد از میزان تغذیه آبخوان کم شود و در سناریوی سوم تغییرات سطح آب زیرزمینی در حالتی که ۱۰ تا ۳۰ درصد میزان برداشت از چاهها کاهش یابد، مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه، به منظور رعایت اصل خلاصه نویسی، فقط نتایج مربوط به پیژومتر شماره ۴ برای نمونه ارائه می گردد.

واسنجی مدل در دوره ۸۹-۱۳۸۰ انجام گرفت که نتایج آن در پیژومتر شماره ۴ در شکل ۶ ارائه شده است. همانگونه که در شکل ۷ مشخص است تراز آب محاسباتی در دوره واسنجی از تطابق خوبی با تراز آب مشاهداتی در این پیژومتر برخوردار می باشد. قابل ذکر است که خطوط نمودار بعد از سال ۱۳۸۹ (ماه ۱۲۱ به بعد) مربوط به پیش بینی سطح آب زیرزمینی برای ۴ سال آینده می باشد که در واقع نتایج مربوط به اعمال حالت (سناریوی) اول به مدل آب زیرزمینی دشت عجب شیر است.

به منظور تحلیل حساسیت بخش‌های مختلف آبخوان عجب شیر نسبت به عوامل ورودی، ابتدا منطقه مورد مطالعه به ناحیه‌هایی^۲ تقسیم شد به نحوی که در هر ناحیه فقط یک چاه مشاهده ای وجود داشته باشد، سپس با تغییر پارامترهای ورودی به مدل، از قبیل ضریب هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه و میزان تغذیه، میزان بار آبی محاسبه شده توسط مدل با مقادیر مشاهداتی مقایسه شد و مقادیر خطای RMSE محاسبه گردید.

تغییر عوامل ورودی برای میزان افزایش و کاهش ۵، ۱۰ و ۲۰ درصد انجام گردید. نتایج آنالیز حساسیت مربوط ناحیه ای که پیژومتر شماره (۴) در آن قرار دارد در شکل ۸ آورده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود در حالت کلی مدل نسبت به تغییرات مقادیر آبدهی ویژه نسبت به دو پارامتر دیگر از حساسیت بیشتری برخوردار است و همچنین حساسیت مدل نسبت به تغییر در مقادیر تغذیه حداقل می باشد.

آنالیز حساسیت در مدل‌سازی عموماً در دو حالت صورت می گیرد؛ مرحله اول پس از اولین اجرای مدل است، در این مرحله با استفاده از آنالیز حساسیت می توان دامنه تغییرات مورد نیاز بر روی پارامترهای متفاوت که حساسیت مدل نسبت به آنها بیشتر می باشد را تعیین نمود تا دامنه تغییرات آنها بهتر تعیین شود. اما مرحله دیگری که آنالیز حساسیت در آن صورت می گیرد، مرحله پس از واسنجی مدل می باشد. آنالیز حساسیتی که در این مرحله صورت می گیرد بیشتر جنبه راهنمایی برای مدل سازی های آینده را دارد، یعنی اینکه در این آنالیز حساسیت پارامترها دارای حساسیت بالاتر در مدل تعیین می شود. به عبارتی این پارامترها عمدتاً شامل آن دسته از پارامترهایی هستند که تعیین آنها دارای دقت کمی بوده و عامل کم بودن دقت نیز معمولاً ناشی از فقر اطلاعات و آمار می باشد. لذا با استفاده از نتایج این آنالیز حساسیت مشخص می شود در صورت امکان چه آزمون‌هایی برای تعیین چه پارامترهایی صورت گیرد تا دقت در مدل‌سازی افزایش یافته و تخمین‌های مدل حداکثر نزدیکی به واقعیت را داشته باشد.

معیار ارزیابی

در این مطالعه به منظور ارزیابی مدل از معیار ریشه مربعات خطا^۱ (RMSE) استفاده شد که از رابطه زیر بدست می آید (میرعباسی و رهنما، ۱۳۸۶):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{mo del,i})^2}{n}} \quad [3]$$

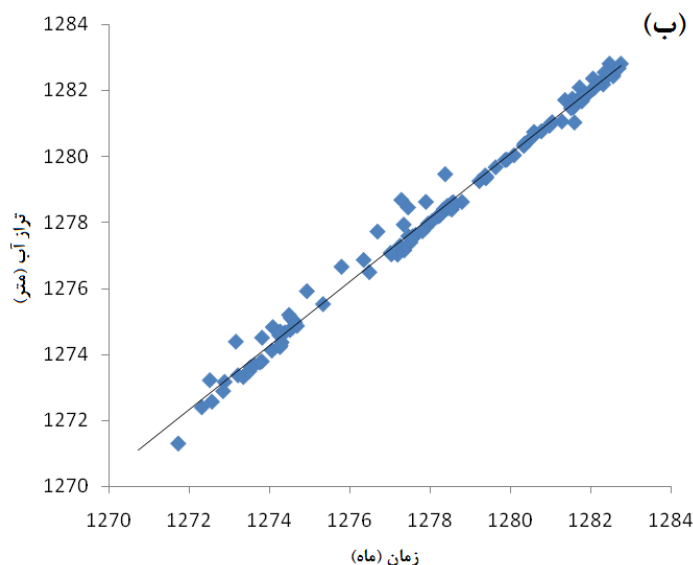
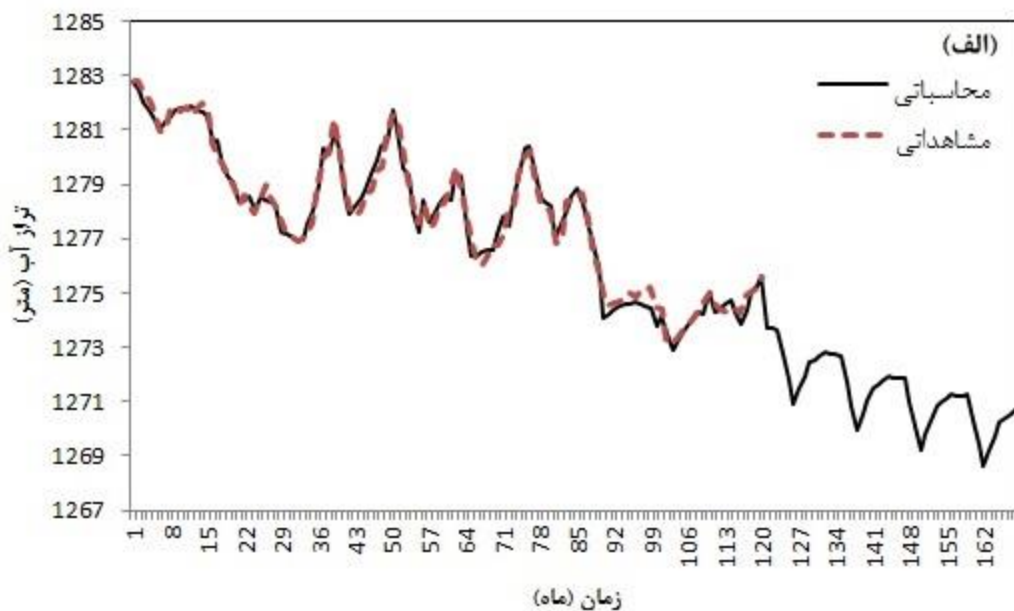
که در آن n تعداد داده ها، $X_{obs,i}$ داده مشاهداتی i ام و $X_{mo del,i}$ داده محاسباتی i ام می باشد.

بحث و نتایج

در این مطالعه، تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت عجب شیر از فروردین سال ۱۳۸۰ تا اسفند سال ۱۳۸۹ با استفاده از نرم افزار PMWIN شبیه سازی گردید و تغییرات آن در ۴ سال آینده در سه حالت (سناریو) مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در سناریوی اول تغییرات سطح آب زیرزمینی در

2- Zone

1- Root mean square error



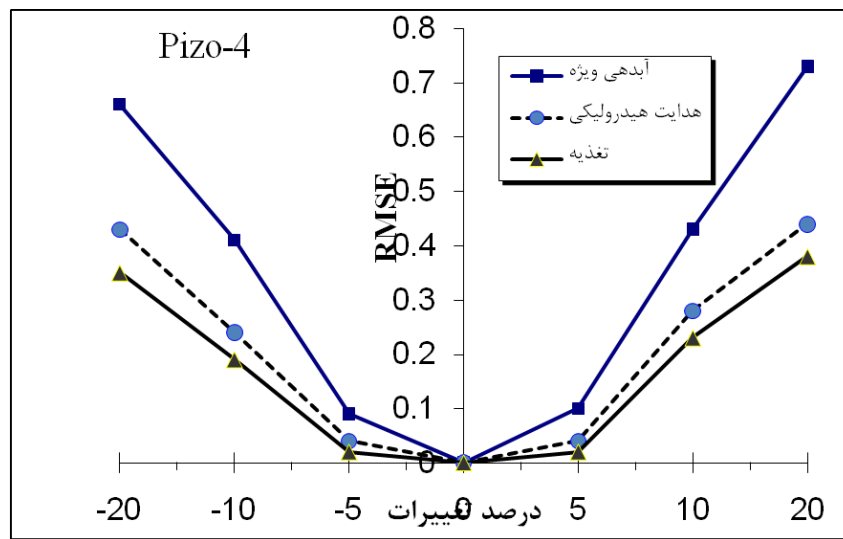
شکل ۷-الف- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) و ب- همبستگی بین بار آبی محاسباتی و مشاهداتی در پیژومتر شماره ۴ (خط پررنگ نیمساز ۴۵ درجه می باشد)

پیش بینی تغییرات سطح آب در این ۲۴ ماه با مقادیر مشاهداتی جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه گردید. در اینجا برای نمونه هیدروگراف محاسبه شده توسط مدل برای دوره صحت سنجی در پیژومتر شماره (۱۱) به همراه داده های مشاهداتی در شکل ۹ آورده شده است. همچنین مقایسه بار آبی محاسباتی و مشاهداتی در پیژومتر شماره (۱۱)

برای صحت سنجی مدل ساخته شده در آبخوان دشت عجب شیر لایه های اطلاعاتی مورد نیاز برای ۲۴ ماه آینده (فروردین ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۱) با فرض اینکه روند تغییرات تنش در سیستم مثل سالهای قبل باشد، به مدل وارد گردید. پس از اجرای مدل نتایج بدست آمده از مدل با مقادیر مشاهداتی در همه پیژومترها مقایسه گردید. برای مقایسه نتایج

است شرایط حاکم بر آبخوان را شبیه سازی کند، بنابراین از مدل ساخته شده می توان برای پیش بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی در آینده استفاده کرد، همچنین می توان با تعریف کردن شرایط مختلف تغذیه و برداشت نتایج حاصل از اعمال گزینه های مدیریتی گوناگون را براحتی بررسی کرد.

در شکل ۱۰ آمده است. مقدار RMSE برای این پیژومتر برابر ۰/۱۱۱۷ متر بدست آمد. مقایسه نتایج حاصل از پیش بینی و مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهد که این دو مقدار از همبستگی بالائی برخوردارند (شکل ۱۰) و مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰/۹۱۵ بدست آمده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که در مجموع مدل واسنجی شده به خوبی توانسته



شکل ۸- نتایج آنالیز حساسیت ناحیه مربوط به پیژومتر شماره (۴)

آینده در پیژومترهای مختلف محاسبه گردید که نتایج مربوط به پیژومتر شماره (۴) برای نمونه در شکل های ۱۱ تا ۱۳ ارائه شده است.

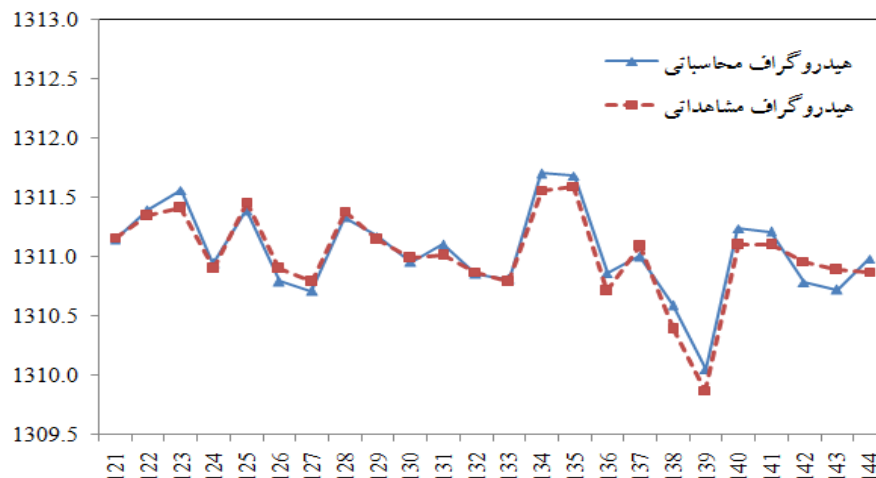
در سناریوی سوم که در واقع شامل سه سناریو می- باشد، فرض می شود که میزان تغذیه آبخوان دشت عجب شیر مشابه سالهای قبل باشد، ولی میزان برداشت آب از چاههای بهره برداری به ترتیب به مقدارهای ۱۰ یا ۲۰ یا ۳۰ درصد کاهش یابد. پس از اعمال این تغییرات در مدل آب زیرزمینی و اجرای مدل سطح آب برای ۴ سال آینده در پیژومترهای مختلف محاسبه گردید که نتایج مربوط به پیژومتر شماره (۴) برای نمونه در شکل های ۱۴ تا ۱۶ ارائه شده است.

بررسی گرافهای مربوط به این سه سناریو نشان می دهد که به طور کلی سطح آب زیرزمینی در دشت عجب شیر روند کاهشی را با شدت کمتری نسبت به گذشته طی می کند. اما در صورت اعمال ۳۰ درصد کاهش برداشت از چاهها این مشکل مرتفع شده و سطح آب زیرزمینی آبخوان بالاتر خواهد

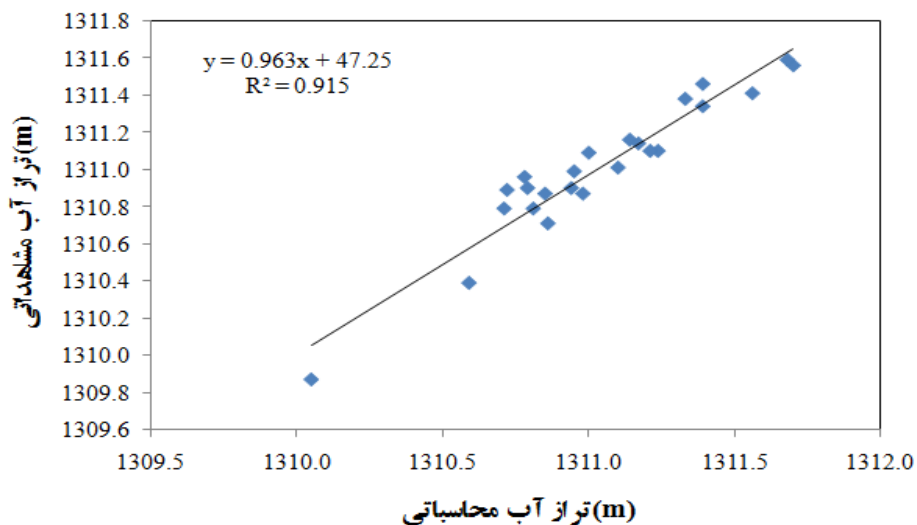
در این مطالعه، رفتار آبخوان عجب شیر برای ۴ سال آینده (فروردین ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۳) تحت سه سناریو پیش بینی شده است. در سناریوی اول، لایه های اطلاعاتی مورد نیاز بر اساس روند تغییرات ۱۰ سال گذشته تهیه شد. نتایج پیش بینی به صورت نمودارهای تراز سطح آب نسبت به زمان (بر حسب روز) از زمان شروع شبیه سازی یعنی فروردین ۱۳۸۰ تا اسفند ۱۳۹۳ برای نمونه در چاه مشاهده ای شماره ۴ در شکل ۷-الف ارائه شده است. ۱۰ سال اول (تا ماه ۱۲۰) تراز سطح آب محاسباتی در دوره واسنجی و ۴ سال دوم (ماه ۱۲۱ تا ۱۶۸م) تراز سطح آب محاسباتی در دوره پیش بینی را نشان می دهد.

در سناریو دوم که در واقع شامل سه سناریو می باشد فرض می شود که میزان برداشت از آبخوان دشت عجب شیر مشابه سالهای قبل باشد، ولی میزان تغذیه آبخوان به ترتیب ۱۰ یا ۲۰ یا ۳۰ درصد کاهش یابد. پس از اعمال این تغییرات در مدل آب زیرزمینی و اجرای مدل سطح آب برای ۴ سال

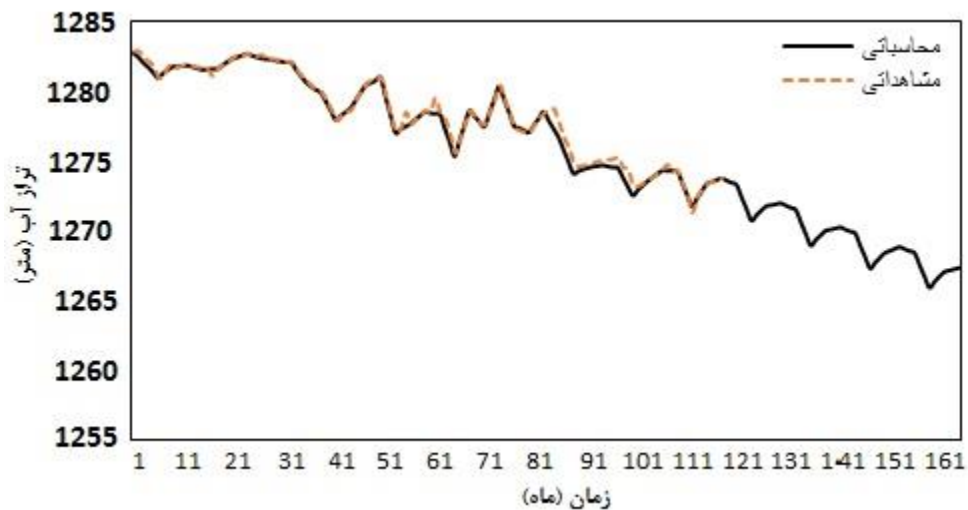
آمد. بررسی نتایج مربوط به سناریوی دوم با فرض ۳۰ درصدی کاهش تغذیه آبخوان با توجه به نمودارها اثبات می کند سطح آب زیرزمینی دشت ارتباط مستقیمی با میزان تغذیه داشته و این خود موید صحت کار مدل می باشد. نتایج بدست آمده در این مطالعه با نتایج صافی (۱۳۹۰) و نخعی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.



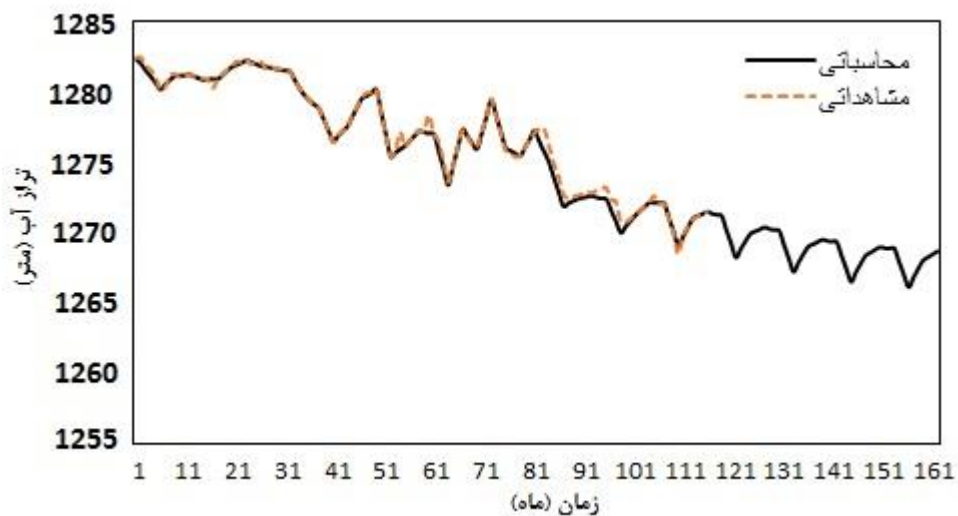
شکل ۹- مقایسه هیدروگراف محاسباتی و مشاهداتی در انتهای دوره صحت سنجی پیزومتر (۱۱)



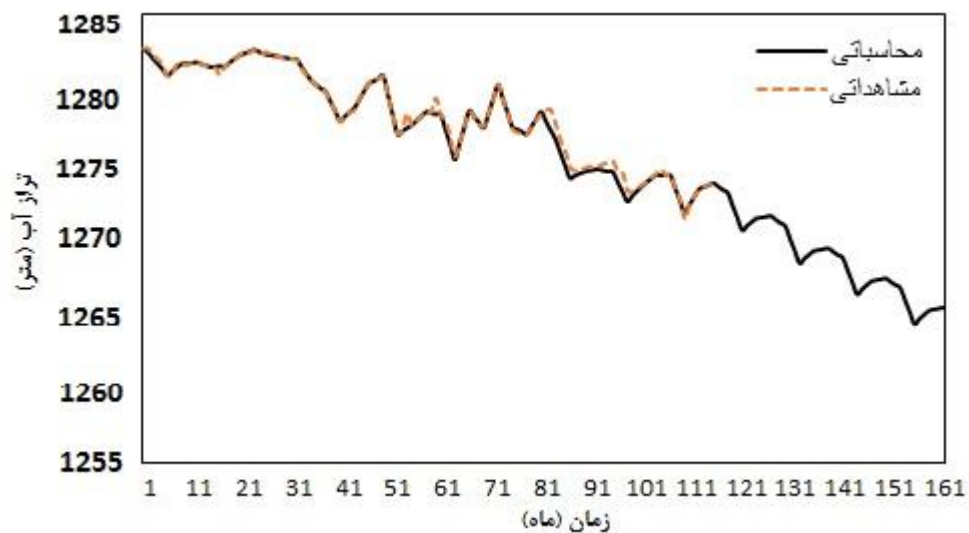
شکل ۱۰- مقایسه مقادیر هد محاسباتی و مشاهداتی در انتهای دوره صحت سنجی پیزومتر (۱۱)



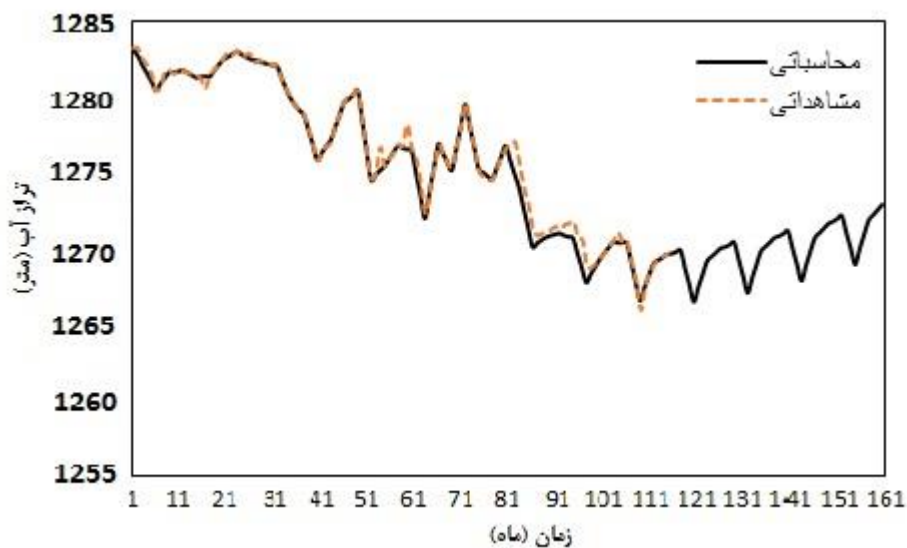
شکل ۱۱- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) با ۱۰ درصد کاهش تغذیه آبخوان در سالهای پیش بینی در پیزومتر شماره ۴



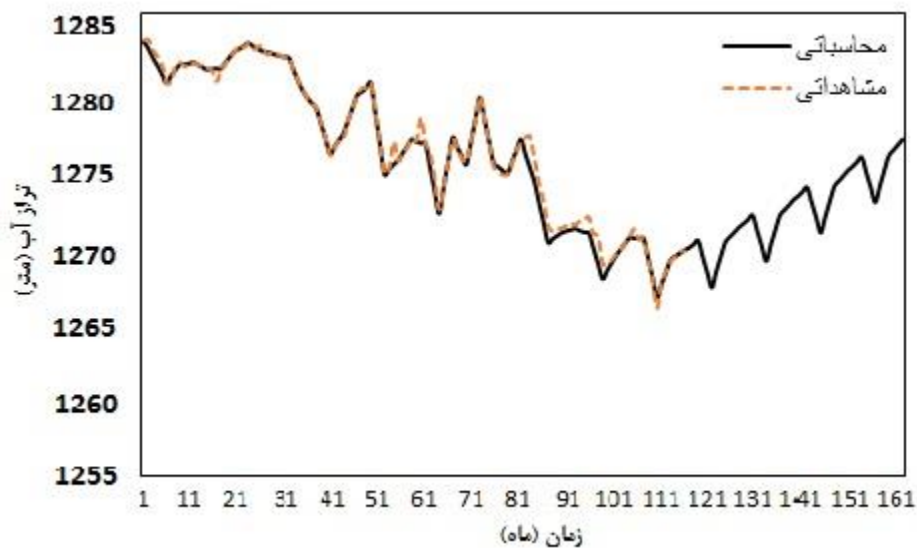
شکل ۱۲- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) با ۲۰ درصد کاهش تغذیه آبخوان در سالهای پیش بینی در پیزومتر شماره ۴



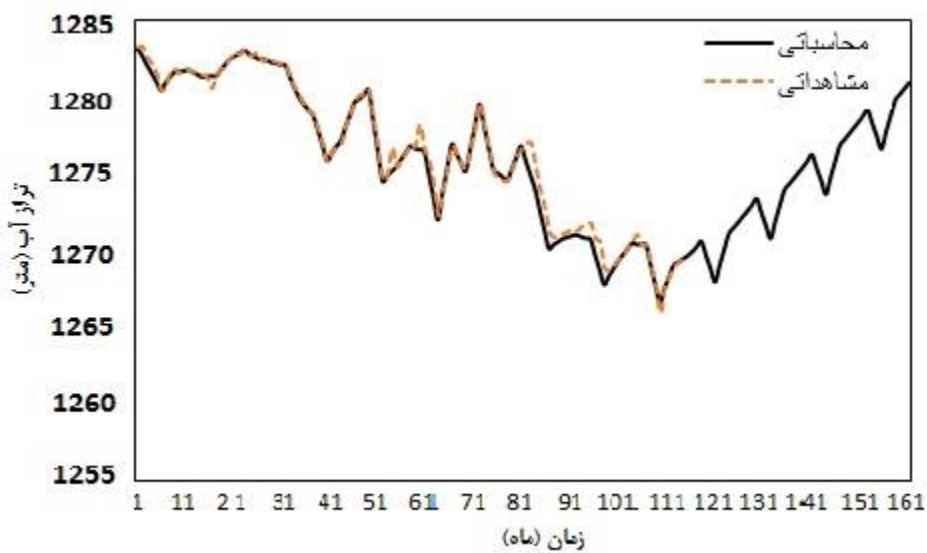
شکل ۱۳- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) با ۳۰ درصد کاهش تغذیه آبخوان در سالهای پیش بینی در پیزومتر شماره ۴



شکل ۱۴- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) با ۱۰ درصد کاهش برداشت از چاههای بهره برداری طی سالهای پیش بینی در پیزومتر شماره ۴



شکل ۱۵- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) با ۲۰ درصد کاهش برداشت از چاههای بهره برداری طی سالهای پیش بینی در پیزومتر شماره ۴



شکل ۱۶- مقایسه هیدروگراف محاسباتی (خط پررنگ) و مشاهداتی (خط چین) با ۳۰ درصد کاهش برداشت از چاههای بهره برداری طی سالهای پیش بینی در پیزومتر شماره ۴

نتایج اعمال سناریوهای ادامه روند کنونی بهره برداری از آبخوان، کاهش برداشت توسط چاههای بهره برداری به میزان ۳۰ درصد و کاهش تغذیه آبخوان به میزان ۳۰ درصد برای ۴ سال آینده (فروردین ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۳) در جدول ۱ آورده شده است. همانطور که در جدول ۱ مشاهده می شود، کاهش برداشت اثر بیشتری بر تغییرات سطح آب زیرزمینی نسبت به کاهش تغذیه آبخوان دارد.

جدول ۱- نتایج اعمال سناریوهای ادامه روند کنونی بهره برداری از آبخوان، ۳۰ درصد کاهش برداشت توسط چاههای بهره برداری و ۳۰ درصد کاهش تغذیه آبخوان طی سالهای پیش بینی (فروردین ۱۳۹۰ تا اسفند ۱۳۹۳)

کاهش ۳۰٪ تغذیه	کاهش ۳۰٪ برداشت	ادامه روند کنونی	پیزومتر
۱۲۷۴/۸۹	۱۲۷۸/۹۵	۱۲۷۶/۵۶	۱
۱۲۷۱/۳۴	۱۲۷۶/۳۲	۱۲۷۳/۰۵	۲
۱۲۷۰/۷۱	۱۲۷۹/۷۴	۱۲۷۴/۹۷	۳
۱۲۶۹/۱۱	۱۲۷۸/۶۱	۱۲۷۵/۵۵	۴
۱۲۶۲/۳۲	۱۲۷۸/۱۱	۱۲۷۱/۴۳	۵
۱۲۷۴/۸۳	۱۲۸۱/۳۴	۱۲۷۷/۱۴	۶
۱۲۷۱/۷۴	۱۲۷۶/۵۴	۱۲۷۴/۶۷	۷
۱۲۸۶/۶۵	۱۳۰۴/۰۴	۱۲۹۵/۶۷	۸
۱۲۷۱/۸۶	۱۲۷۵/۱۷	۱۲۷۳/۵۱	۹
۱۲۷۰/۶۳	۱۲۸۰/۸۵	۱۲۷۴/۱۷	۱۰
۱۳۰۵/۰۷	۱۳۱۳/۳۰	۱۳۱۱/۳۳	۱۱
۱۲۷۴/۱۱	۱۲۷۹/۶۵	۱۲۷۶/۳۱	۱۲
۱۲۹۹/۳۶	۱۳۱۵/۰۶	۱۳۰۶/۱۱	۱۳
۱۲۷۶/۱۳	۱۲۷۸/۴۹	۱۲۷۷/۲۴	۱۴
۱۲۷۵/۷۸	۱۲۸۱/۰۲	۱۲۷۸/۰۲	۱۵

نتیجه گیری

داد که که به طور کلی سطح آب زیرزمینی در دشت عجب شیر روند کاهشی را با شیب کمتری نسبت به گذشته طی می کند که دلیل آن احتمالا احداث سد بر روی رودخانه قلعه چای در سال های اخیر و کاهش برداشت به منظور کشاورزی در این دشت می باشد. همچنین نتایج نشان داد که در صورت اعمال ۳۰ درصد کاهش برداشت از چاهها، تراز سطح آب زیرزمینی آبخوان در ۴ سال آینده افزایش خواهد یافت. بررسی نتایج مربوط به سناریوی دوم با فرض ۳۰ درصدی کاهش تغذیه آبخوان حاکی از آن بود که سطح آب زیرزمینی دشت ارتباط مستقیمی با میزان تغذیه داشته و این خود موید صحت کار مدل می باشد. پیشنهاد می شود روش های عملی برای کاهش میزان برداشت از آبخوان، همچون بررسی الگوی کشت مناسب با نیاز آبی کمتر در این دشت مورد مطالعه قرار گیرد.

در این مطالعه، تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان دشت عجب شیر با استفاده از داده های تراز آب زیرزمینی ۱۵ پیزومتر در خلال سال های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۹ با مدل مادفلو شبیه سازی گردید. نتایج آنالیز حساسیت مدل نشان داد که مدل نسبت به تغییرات مقادیر آبدهی ویژه نسبت به دو پارامتر هدایت هیدرولیکی و میزان تغذیه آبخوان از حساسیت بیشتری برخوردار است و همچنین حساسیت مدل نسبت به تغییر در مقادیر تغذیه حداقل می باشد. در این مطالعه پس از واسنجی و صحت سنجی مدل، وضعیت آبخوان تحت سه سناریو برای ۴ سال آینده مورد بررسی قرار گرفت. این سه سناریو شامل ادامه وضعیت کنونی، کاهش تغذیه به میزان، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد و کاهش برداشت از آبخوان به میزان، ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد وضعیت کنونی بود. نتایج اعمال این سه سناریو به مدل نشان

منابع

- اصغری، ک.، سوری نژاد، ج.، و ذوالانوار، ع. ر. ۱۳۸۴. پیش بینی عملکرد بهینه دشت برخوار به روش شبیه سازی-بهینه سازی. مجله علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۹(۳): ۲۵-۱۳.
- آبائی، ع.، قاهری، ع.، و سعیدی، م. ۱۳۹۰. تهیه الگوریتم بهره برداری بهینه از آخوان به منظور تعدیل غلظت آلاینده ها. مجله آب و فاضلاب، شماره ۴، ۱۳۸-۱۳۲.
- بی نام، ۱۳۷۹. طرح جامع آب کشور، حوضه آبریز ارومیه. شرکت مهندسی مشاور جاماب.
- چیت سازان، م. و ساعت ساز، م. ۱۳۸۴. کاربرد مدل ریاضی MODFLOW در بررسی گزینه های مختلف مدیریت منابع آب دشت رامهرمز. مجله علوم دانشگاه چمران اهواز، شماره ۱۴، ۱-۱۵.
- حسینی، س. ع.، صادقی فرد، م. ر.، ۱۳۸۵. بررسی علل پدیده نشست در دشت مشهد. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب. ۳ و ۴ بهمن، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- درختی، ک. و علاف نجیب، م. ۱۳۸۳. گزارش توجیهی برای تمدید ممنوعیت دشت عجب شیر، نشریه شماره ۱۰۰۹. سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان شرقی.
- غفوری، م.، موسوی مداح، س. م.، ۱۳۸۹. بررسی اثرات نشست زمین برگسیختگی لوله های جدار چاههای آب در دشت مشهد و ارائه راهکارهای مناسب. پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، ۱۴ تا ۱۶ اردیبهشت، دانشگاه فردوسی مشهد.
- لشگری پور، غ. ر.، غفوری، م.، سویزی، ز.، پیوندی، ز.، ۱۳۸۴. افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت مشهد. نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران. ۴ تا ۶ شهریور، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- میرعباسی، ر. و رهنما، م. ر. ۱۳۸۶. شبیه سازی آبخوان دشت سیرجان با استفاده از مدل MODFLOW و بررسی اثرات احداث سد تنگویی بر آن مجله پژوهش آب ایران، شماره ۱، ۹-۱.
- نخعی، م.، محمدی، خ.، و رضایی ح. ۱۳۹۳. بهینه یابی مدل عددی برداشت از آبخوان با استفاده از الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: آبخوان ساحلی ارومیه). مجله تحقیقات منابع آب ایران، ۱۰، شماره ۲، ۹۴-۹۷.
- نوروزی، غ. م.، احمدی دستگرد، ع.، رهنما، ج.، درمیانی، ع.، ۱۳۹۰. افت سطح آب زیرزمینی و بررسی نشست زمین در دشت درمیان. سی امین گردهمایی علوم زمین. ۱ تا ۳ اسفندماه، تهران.
- صافی، ا.، ۱۳۹۰. تهاجم و پیشروی آب شور دریاچه ارومیه در آبخوان ساحلی دشت مراغه- بناب (مطالعه موردی منطقه بناب). پایان نامه کارشناسی ارشد رشته عمران آب. دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران ۱۳۵ ص.
- Abdolghani A., H., Al- Taieeb, T.M., 2003. Groundwater high elevations damaging the environment at Mosul city, proceeding of 4th groundwater modeling conference, 11 Jun, Baghdad
- Faghihi, N., Kave, F. Babazadeh, H., 2010. Prediction of aquifer reaction to different hydrological and management scenarios using visual MODFLOW model-Case study of Qazvin plain. Journal of Water Sciences Research, 2(1): 39-45.
- Gieske, A., Miranzadeh, M., 2002. Groundwater Resources Modeling of the Lenjenat Aquifer System. IAERI-IWMI Research Reports 15.
- Thorley, M., Callander, P., 2005. Christchurch city groundwater model. Environment Canterbury report U05/53. 10p.
- Todd, W.R., Kenneth R. B., Maureen, R.B., 2001. Report: Delineation of capture zones for municipal wells in fractured dolomite, Sturgeon Bay, Wisconsin, USA, Hydrogeology Journal, 9(5): 432-450.
- Todd, D.K., Mays L.W., 2005. Groundwater Hydrology. Third Edition, John Wiley & Sons, Inc. 636 p.