فصلنامه علوم محیطی، دوره شانزدهم، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷

۱-۱۴

شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از GMS (بررسی موردی دشت زنجان)

مهدی پناهی*، فرهاد میثاقی و پریسا عسگری

گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۸/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۱/۲۴

پناهی، م.، میثاقی، ف. و عسگری، پ. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی و تخمین نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده ازGMS (بررسی موردی دشت زنجان). فصلنامه علوم محیطی. ۱۶(۱): ۱۴-۱.

سابقه و هدف: در چند دهه اخیر تغییر اقلیم و بارش‌های ناکافی و به‌موقع و درنتیجه عدم تامین آب مورد نیاز گیاهان کشت‌شده، محدودیت اراضی قابل‌کشت و منابع آب، توزیع ناهمگون زمانی، مکانی و کمبود آب شیرین و همچنین رشد سریع جمعیت جهان ازجمله کشور ایران سبب بروز مشکلات روزافزون در تامین منابع آب مورد نیاز در مصارف مختلف شده است. یکی از شروط اصلی تامین نیازهای غذایی جمعیت جهان دسترسی به کشاورزی پایدار و توسعه آن است. برای دست‌یابی به چنین هدفی باید با اتخاذ راهکارهای مناسب از وارد آمدن خسارت به سیستم منابع آب‌وخاک محدود هر منطقه‌ای جلوگیری شود. آب‌های زیرزمینی همواره به‌عنوان یک منبع تامین آب شیرین جایگاه ویژه‌ای در بررسی منابع آب دارد. مدیریت منابع آب زیرزمینی در مرحله اول نیاز به شناخت و عملکرد آبخوان در شرایط طبیعی دارد. در بیشتر مسائل هیدرولوژیکی و بررسی منابع آب زیرزمینی، در دسترس بودن آمار و اطلاعات منابع آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌منظور ارزیابی اثرات ناشی از توسعه در شرایط موجود و ارائه روش‌های مدیریتی بر منابع آب زیرزمینی، چه از نظر کمی و چه کیفی، شبیه‌سازی ریاضی و کامپیوتری این منابع، ابزاری قوی در بهره‌برداری بهینه از این منابع محسوب می‌شود. هدف از این پژوهش بررسی آب زیرزمینی دشت زنجان است.

مواد و روش‌ها: مدل‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم برای مدیریت منابع آب در آبخوان‌ها است. این مدل‌ها می‌توانند برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی و همچنین مدیریت منابع آب استفاده شوند. هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی به وسیله نرم‌افزار GMSدر آبخوان زنجان واقع در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۹ درجه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه شمالی است. مدل ریاضی که ترکیبی از مدل آب زیرزمینی MODFLOW و GIS است، با استفاده از روش عددی تفاضل محدود، تراز آب زیرزمینی را شبیه‌سازی می‌کند. برای انجام این تحقیق اطلاعات مورد نیاز که شامل موقعیت مرز آبخوان، تراز ارتفاعی سطح زمین، تراز سنگ کف، موقعیت و میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری، موقعیت و تراز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای، لایه هدایت هیدرولیکی و تغذیه هستند. پس از تهیه مدل مفهومی و تعیین شرایط مرزی و اولیه، شبیه‌سازی در شرایط پایدار انجام و سپس مدل واسنجی شد.

*Corresponding Author. *E-mail Address*: m.panahi@znu.ac.ir

نتایج و بحث: نتایج حاصل از واسنجی مدل در حالت پایدار نتایج معقولی میان تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده در سپتامبر ۲۰۰۲ نشان داد. مقادیر ریشه مربع میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین خطا به ترتیب ۱۷/۴۱، ۱۵/۲۲ و ۰/۶- به دست آمد. بعد از انجام واسنجی مقدار تغذیه ۰/۰۰۰۳۲۱ متر در روز به دست آمد که این مقدار ۱/۹۸ برابر مقدار تغذیه ورودی برای مدل است. مقدار هدایت هیدرولیکی افقی لایه‌های (ماسه، سیلت) و (ماسه، شن) نیز به ترتیب ۲۸/۵۷ و ۴۰/۴ متر در روز به دست آمد. سپس واسنجی مدل در حالت جریان ناپایدار برای فواصل سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ با روش سعی و خطا برای رسیدن به بهترین نتیجه میان تراز مشاهده‌شده روزانه و تراز محاسبه‌شده انجام شد. مقادیر ریشه مربع میانگین خطا و میانگین خطا به ترتیب با مقادیری برابر با ۲۶/۲۹ و ۸/۴۳- نشان‌دهنده دقت نسبتاً خوب مدل است. طبق محاسبه تراز آب برای مدل، جریان آب‌های زیرزمینی از جنوب شرقی به شمال غربی است که این جریان با شیب غالب منطقه مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری: مدل با فرض نرخ کاهش آب‌های زیرزمینی و مقدار ثابت تغذیه برای فاصله زمانی ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ اجرا شد که نقشه‌های به‌دست‌آمده برای تراز آب‌های زیرزمینی در این سال‌ها نشان‌دهنده افت شدید تراز آب با ادامه برداشت‌های بی‌رویه از ذخیره آب‌های زیرزمینی آبخوان زنجان است.

واژه‌های کلیدی: GIS، دشت زنجان، شبیه‌سازی، MODFLOW ، نوسانات سطح آب زیرزمینی.

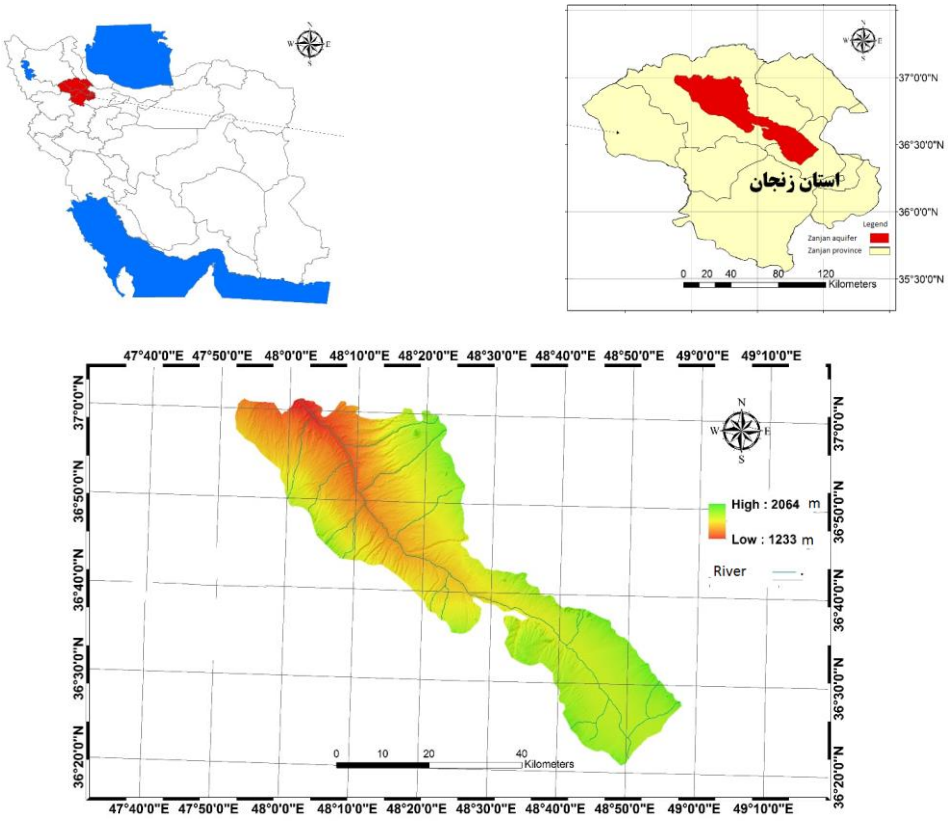
مقدمه

منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین بخش از آب‌های شیرین قابل‌استفاده و در دسترس بشر را تشکیل می‌دهند. کاهش بارش و خشک‌سالی در سال‌های اخیر چرخه‌ی تجدیدپذیر آب‌های زیرزمینی را با نقص و چالش روبه‌رو ساخته است. با افزایش سطح توقعات بشر و همچنین توسعه صنعت کشاورزی، این کاهش در بارندگی با افزایش برداشت از منابع آب زیرزمینی همراه شده است. دو عامل مذکور در نهایت منجر به کاهش منابع آب زیرزمینی و افت در سطح آبخوان‌های آب زیرزمینی شده است. بیلان آبی کشور نشان می‌دهد که میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی بیشتر از میزان تغذیه آنها بوده و باعث افت سطح آب در آنها شده است. یکی از مناسب‌ترین ابزارها برای کنترل و مدیریت افت ایجادشده استفاده از مدل ریاضی آبخوان است. با استفاده از کد عددی MODFLOW منطقه سوئیدنیکا[1] واقع در کشور لهستان که چندین آبخوان دارد، بررسی و در دو حالت واسنجی شد. در حالت اول مدل به‌صورت پایدار و بدون در نظر گرفتن مقدار برداشت از چاه‌ها واسنجی شد. در حالت دوم به‌صورت پایدار و با در نظر گرفتن مقدار برداشت آب از چاه‌ها واسنجی شد. به‌دلیل پیچیدگی مدل از روش سعی و خطا برای واسنجی استفاده کردند. مقایسه میان دو مدل نشان داد که برداشت از چاه‌ها از ۵۳۰۰۰ به ۱۸۰۰۰۰ متر مکعب در روز افزایش یافته و نفوذ آب از رودخانه به آب‌های زیرزمینی افزایش یافته و مقدار زهکشی رودخانه نیز کاهش یافته است (Gurwin and Lubczynski, 2005). مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی برای اندازه‌گیری و کالیبراسیون حالت پایدار با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW در حوضه رودخانه ماهش[2] هند انجام شد. نتایج نشان دادند که یک مدل مفهومی لازم است که تعریف شد. واسنجی مدل در سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ انجام شد و به این نیجه رسیدند که آبخوان در تعادل بوده است (Khadri and Pande, 2016). هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی به وسیله نرم‌افزار GMS در آبخوان دشت زنجان است.

مواد و روش‌ها

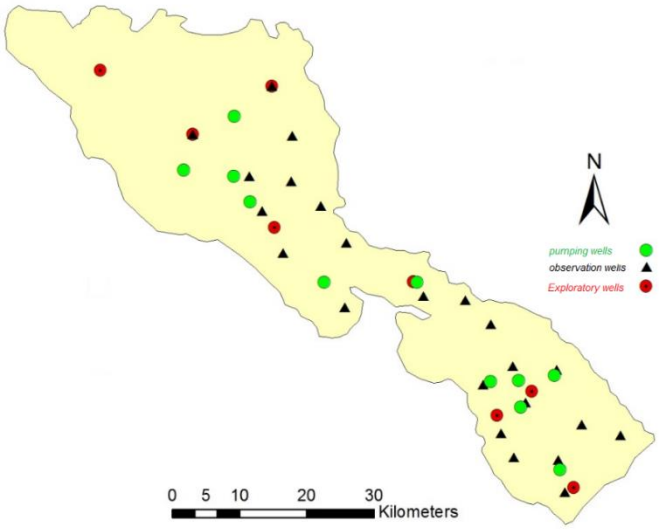
منطقه مورد بررسی در دشت زنجان واقع شده و یکی از دشت‌های حوضه رودخانه زنجان‌رود است. آبخوان دشت زنجان از نوع آزاد است. منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت زنجان شامل چاه، چشمه و

قنات است. شیب عمومی دشت از جنوب شرقی به طرف شمال غربی است. وسعت حوضه آبریز دشت زنجان حدود ۴۷۰۵ کیلومتر مربع، مستطیل شکل و در فاصله طول‌های ۴۷ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۹ درجه شرقی و عرض ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۷ درجه شمالی قرار دارد، ۲۱۵۴ کیلومتر مربع مساحت آبخوان است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی را در شکل ۱ می‌توان مشاهده کرد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت زنجان

Fig. 1- Geographical location of Zanjan plain



شکل۲- موقعیت چاه‌های اکتشافی، مشاهده‌ای و چاه‌های پمپاژ در سطح

Fig. 2- The location of exploratory wells and pumping wells on the surface

با استفاده از اطلاعات جمع‌شده آب منطقه‌ای و هواشناسی و به کمک نرم‌افزارهای GIS و برای شبیه‌سازی منطقه مورد بررسی از کد کامپیوتری GMS استفاده می‌شود. در این پژوهش از اطلاعات ۸ چاه اکتشافی موجود در منطقه برای ساخت مدل سه‌بعدی هیدروژئولوژیکی استفاده شد. عمق این چاه‌ها از ۷۰ تا ۳۸۹ متر متغیر است. همچنین از اطلاعات تراز آب ۲۳ چاه مشاهده‌ای برای مقایسه تراز محاسبه‌شده توسط MODFLOW و تراز مشاهده‌ای استفاده شد. برای شبیه‌سازی مدل جریان در حالت ناپایدار نیز از اطلاعات دبی ۱۱ چاه در طول دوره آماری ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ استفاده شد. برای محاسبه تغذیه به آب‌های زیرزمینی از روش بیلان آب ارائه‌شده توسط تورنت وایت استفاده شد (Thornthwaite and Mather, 1957). موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای و اکتشافی و پمپاژ در شکل ۲ قابل مشاهده است.

تو سعه مدل عددی برای شبیه سازی جریان آب‌های زیرزمینی:

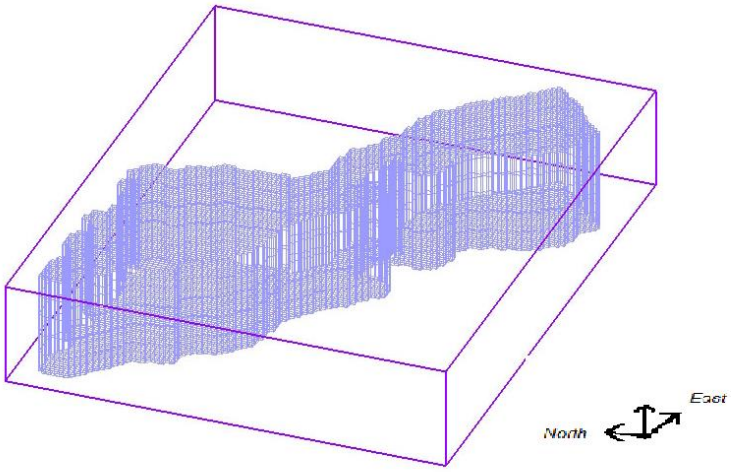
مدل جریان در آب‌های زیرزمینی با چگالی ثابت و مواد متخلخل با شرایط متعادل توسط معادله ۱ نمایش داده می‌شود.

$$\partial\partial x k_{xx} \partial h \partial x + \partial\partial y k_{yy} \partial h \partial y + \partial\partial z k_{zz} \partial h \partial z = 0 \quad (۱)$$

که در این معادله k_{yy}، k_{xx} و k_{zz} به ترتیب هدایت هیدرولیکی در جهت‌های x، y و z (LT^{-1}) و h تراز پیزومتریک (L) است (Harbaugh, 2005) MODFLOW به مدت ۲۰ سال توسط محققان در مسائل مربوط به آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته است. در MODFLOW فرض می‌شود چگالی آب ثابت بوده و آب در سه جهت x و y و z می‌تواند حرکت کند و شرایط برای تمام سلول‌های مدل به صورت همگن در نظر گرفتـــه می‌شود (Yang *et al.*, 2009). ابتدا اطلاعات لاگ چاه‌ها وارد GMS می‌شود و هر لاگ به‌طور جداگانه ترسیم شده و لایه‌های با جنس مشابه توسط رسم مقطع میان آنها به یکدیگر وصل می‌شوند. و در مرحله بعد با استفاده از این اطلاعات مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی دشت تهیه می‌شود. هدف از ترسیم مدل زمین‌شناسی این است که پارامترهای هیدرولیکی نظیر هدایت هیدرولیکی، تخلخل و غیره به‌طور مستقیم در آن وارد شده و در مراحل شبیه‌سازی جریان توسط MODFLOW به شبکه جریان انتقال پیدا کند.

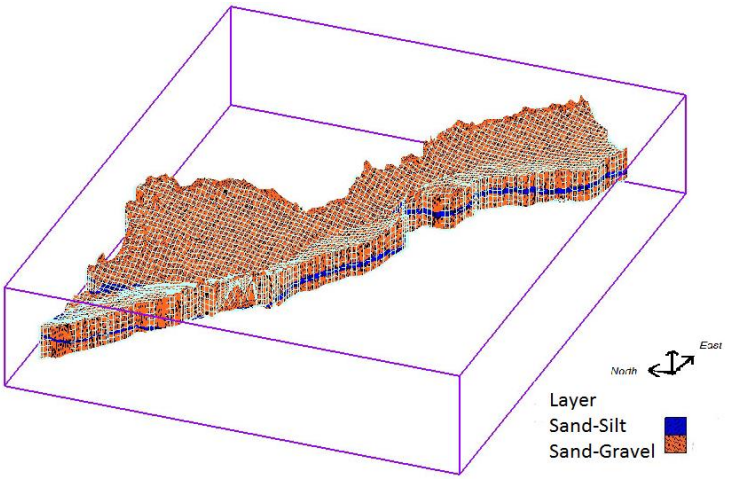
MODFLOW معادله جریان را با استفاده از روش تفاضل محدود حل می‌کند. برای حل عددی معادله دیفرانسیل جزئی، حرکت سه‌بعدی آب‌های زیرزمینی آبخوان به سلول‌های کوچکتری تقسیم شده و معادله جریان برای هر سلول به‌طور جداگانه حل می‌شود، پس نیاز به شبکه‌بندی آبخوان داریم. برای این منظور شبکه سه‌بعدی اولیه با توجه به اطلاعات موجود و شرایط هیدروژئولوژیکی در ابعاد ۱۰۰ در ۱۰۰ سلول در جهت x و y ساخته شد. محدوده شبکه سه‌بعدی اولیه فراتر از محدوده دشت است که باید آن را با توجه به محدوده دشت اصلاح کرد. شکل ۳ نحوه این کار را نشان می‌دهد. این شبکه دارای ۱۲۰۱۳ سلول است که ابعاد سلول‌ها در جهت x برابر ۱۰۶۰ متر، در جهت y برابر ۸۴۰ و در جهت z برابر ۲۶۰ متر است.

شکل ۴ - نقشه سه‌بعدی زمین‌شناسی به شبکه سه‌بعدی انتقال یافته را نشان می‌دهد و لایه سطحی آن با اطلاعات ارتفاعی منطقه و از طریق روش وزن‌دهی معکوس فاصله تصحیح شده است.



شکل۳- محدود شدن شبکه سه‌بعدی به مرز منطقه

Fig. 3- Limiting the network to the regional boundary three-dimensional network



شکل ۴ - نقشه سه‌بعدی زمین‌شناسی به شبکه سه‌بعدی و تصحیح لایه سطحی توسط اطلاعات ارتفاعی

Fig. 4- Three-dimensional map of geology to three-dimensional network and correction of surface layer by altitude information

مدل مفهومی

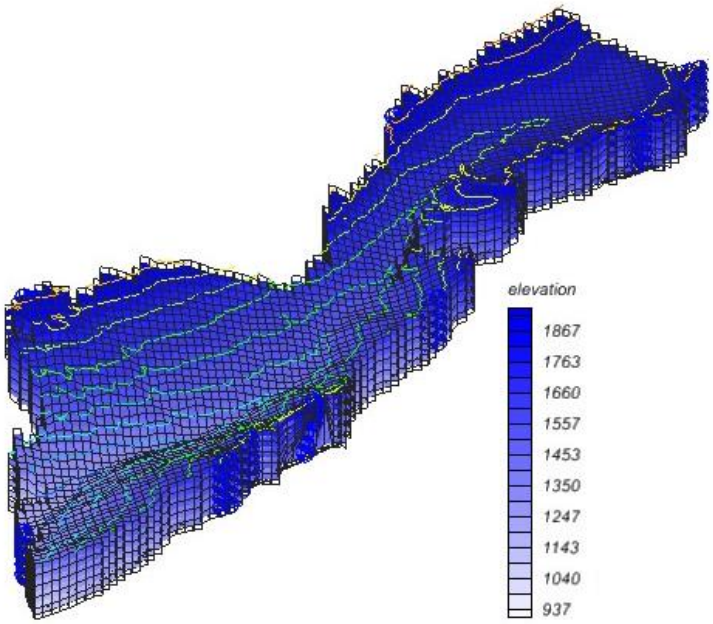
در این بررسی برای ورود اطلاعات به مدل هیدروژئولوژیکی در چند پوشش مجزا مدل مفهومی ساخته شد. پوشش اول مربوط به میزان تغذیه به آب‌های زیرزمینی است که این مقدار از محاسبات انجام‌شده توسط بارش و تبخیر ثبت‌شده در منطقه، محاسبه شد. مقدار ورودی برابر ۰/۰۰۰۳۲۱ متر در روز در نظر گرفته شد و فرض شد این مقدار به‌طور یکنواخت در کل منطقه اتفاق می‌افتد.

پوشش دوم مربوط به تراز آب ۲۳ چاه مشاهده‌ای موجود در منطقه است که لازم است اطلاعات تراز آب این چاه‌ها نیز برای استفاده از آنها در واسنجی مدل و مقایسه تراز مشاهده‌ای و محاسبه‌ای وارد مدل مفهومی شود. پس از وارد شدن اطلاعات تراز آب چاه‌ها و حل مدل جریان، GMS به‌طور خودکار میان تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده مقایسه‌ای را انجام داده و نتایج حاصل از این مقایسه را به‌صورت گرافیکی نمایش می‌دهد. محدوده هر دو پوشش در لایه اول تعریف و سپس مدل مفهومی وارد مدل سه‌بعدی هیدروژئولوژیکی می‌شود.

شرایط مرزی و شرایط اولیه

خصوصیات هیدرولوژیکی مجاور و درون محدوده مدل باید توسط شرایط مرزی نمایش داده شوند. خطوط مرزی دشت به‌صورت مرزهای بدون جریان در نظر گرفته شد در حالی که محل ورود رودخانه زنجان‌رود و شاخه‌های آن به دشت، به‌صورت مرز با تراز ثابت در نظر گرفته شد. تراز اولیه آب‌های زیرزمینی برای اجرای اولیه مدل با استفاده از توپوگرافی منطقه تعریف شد زیرا طبق یافته‌های هابرت تراز آب از سطح زمین تبعیت می‌کند (Hubbert, 1940).

بعد از تعریف شرایط مرزی با استفاده از بسته LPF که در MODFLOW برای حل جریان و تراز آب‌های زیرزمینی قرار داده شده است جریان آب‌های زیرزمینی دشت در دو حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی شد. این بسته به صورت مجزا هر ساختار هیدرولوژیکی را شبیه‌سازی کرده و به محاسبه جریان در هر سلول می‌پردازد (Yang et al., 2009). مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی افقی طبق اعداد ارائه شده توسط (تاد دی کا) برای لایه‌های ماسه و سیلت، ماسه و شن به ترتیب ۱۸/۲۸ و۴۳/۲ متر در روز در نظر گرفته شد. شکل ۵ توزیع اولیه تراز آب زیرزمینی دشت برای ورود به مدل تعریف‌شده توسط نقشه توپوگرافی منطقه را نشان می‌دهد (Todd, 1959).



شکل۵- توزیع اولیه تراز آب‌های زیر زمینی دشت برای ورود به مدل
Fig. 5- Initial distribution of the groundwater level of the plain to enter the model

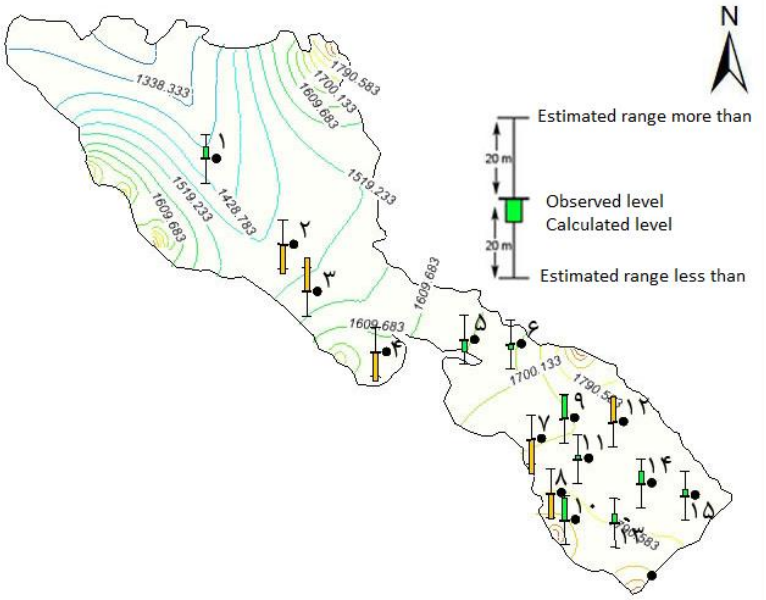
نتایج و بحث

واسنجی برای حالت پایدار

عمل واسنجی برای مدل در حالت پایدار برای شروع دوره آماری یعنی مهر سال ۱۳۸۱ انجام شد. این کار با فرض بارش ثابت، تخلیه و تراز ثابت آب‌های زیرزمینی انجام شد. در این بررسی فرض شد که هدایت هیدرولیکی افقی و تغذیه از پارامترهای ناشناخته جریان بوده و روش PEST برای تخمین آنها به کار گرفته شد. بعد از انجام واسنجی مقدار تغذیه ۰/۰۰۰۳۲۱ متر در روز به دست آمد که این مقدار ۱/۹۸ برابر مقدار تغذیه ورودی برای مدل است. مقدار هدایت هیدرولیکی افقی لایه‌های ماسه-سیلت و ماسه-شن نیز به ترتیب ۲۸/۵۷ و ۴۰/۴ متر در روز به دست آمد. شکل ۶ نمودارهای رسم‌شده برای مقایسه میان‌تراز مشاهده‌ای و محاسبه‌ای را در مهر ۱۳۸۱

نشان می‌دهد. در شکل ۶ شاخص واسنجی بیانگر چگونگی انجام عمل واسنجی است. این شاخص دارای یک حد پایین و بالا است که میزان حد مجاز برای تخمین بیش از حد و تخمین کمتر از حد را نشان می‌دهد که در اینجا ۲۰± متر در نظر گرفته شده است.

قسمت میانی این شاخص میزان خطای موجود بین محاسبه و مشاهده را نشان می‌دهد. خطای قرار گرفته در دامنه مجاز به رنگ سبز است (Yang *et al.*, 2009).



شکل ۶- نمودارهای مقایسه میان تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده

Fig. 6- Comparison diagrams between predefined and calculated

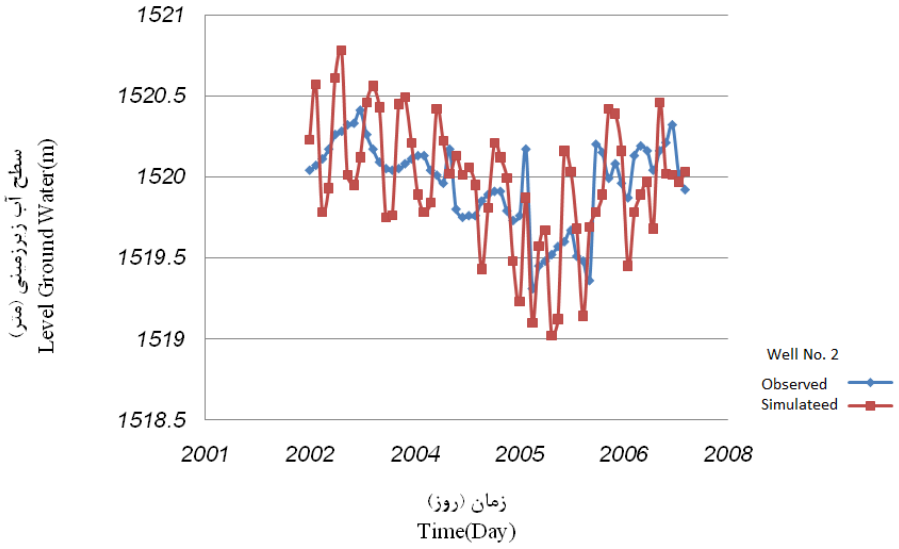
نحوه واسنجی با پارامترهای آماری ریشه مربع میانگین خطا ، میانگین خطای مطلق و میانگین خطا بررسی شد که این پارامترها به ترتیب ۱۷/۴۱، ۱۵/۲۲ و ۰/۶- به دست آمد. با توجه به مقدار میانگین خطا مدل تمایل به تخمین کمتر از حد تراز آب را دارد. از تفاضل جریان ورودی و خروجی به آبخوان که۳۴۴۸۳ متر مکعب در روز است می‌توان نتیجه گرفت که مقدار سالانه آب ذخیره‌شده در آبخوان به‌طور متوسط عددی برابر با ۲۱ میلیون متر مکعب است. این در حالی است که میزان تخلیه سالانه آب از این آبخوان توسط چاه‌ها و چشمه‌ها چیزی حدود ۳۵۷ میلیون متر مکعب است که ۱۷ برابر ذخیره سالانه آب در آبخوان است. این امر نشان‌دهنده برداشت بسیار بی‌رویه از آبخوان و استفاده از ذخیره آب موجود در آن است که با ادامه این روند آبخوان دشت به‌طور کامل نابود خواهد شد.

واسنجی در حالت ناپایدار

واسنجی در حالت جریان ناپایدار با روش سعی و خطا انجام شد. روش‌های رگرسیون مانند PEST که در حالت پایدار استفاده می‌شوند به‌دلیل داشتن روند پارامتری که در حالت ناپایدار بامعنی و باثبات نیست، در فرآیند واسنجی حالت ناپایدار استفاده نشدند. در حالت جریان ناپایدار اطلاعات کمّی از حالت جریان پایدار بیشتر بوده و دارای توزیع مکانی متفاوتی هستند. روش سعی و خطا برای حالت ناپایدار نتایج خوبی را به همراه خواهد داشت.

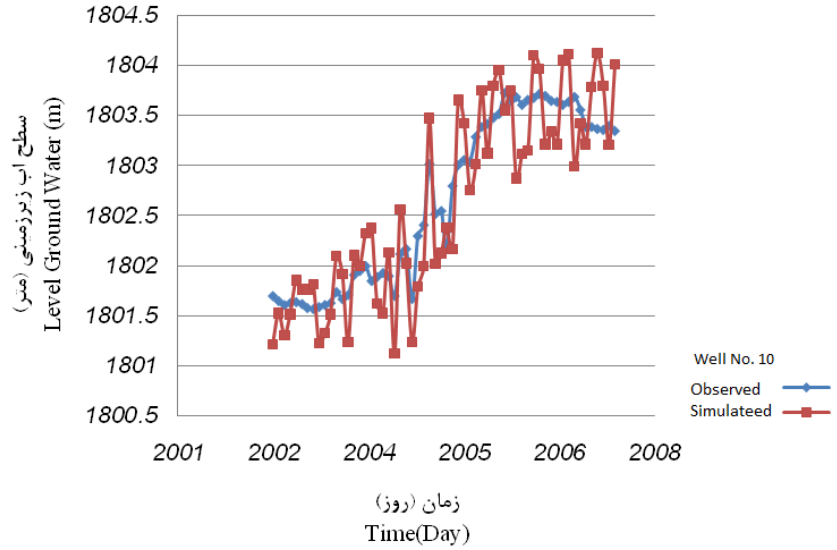
برای واسنجی جریان در حالت ناپایدار نیز مدلی با ساختار استفاده‌شده در واسنجی حالت پایدار به کار گرفته شد. با این تفاوت که دبی ماهانه برداشتی از ۱۱ چاه پمپاژ در فواصل سال‌های میلادی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ برای محاسبه نوسان تراز آب‌های زیرزمینی در این فاصله زمانی وارد مدل

شد. همچنین ضرایب ذخیره و آب‌دهی ویژه در کنار ضریب هدایت هیدرولیکی افقی به لایه‌های زمین‌شناسی تعریف‌شده برای مدل اضافه شد. واسنجی در حالت ناپایدار را می‌توان با مقادیر پارامترهای به‌دست‌آمده در حالت پایدار انجام داد و فقط ضریب ذخیره و آب‌دهی ویژه برای رسیدن به بهترین نتیجه میان تراز مشاهده‌ای و محاسبه‌شده در چاه‌های مورد نظر را تعدیل کرد. جریان در حالت ناپایدار با اطلاعات ماهانه تراز آب در ۱۵ چاه مشاهده‌ای در فاصله زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ میلادی واسنجی شد. در این بررسی از ۱۱ دوره استرس در فاصله سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ استفاده شد و طول هر دوره ۱۸۴ روز بود. واسنجی مدل ناپایدار با مقادیر ریشه مربع میانگین خطا و میانگین خطا به ترتیب با مقادیری برابر با ۲۶/۲۹ و ۸/۴۳- به دست آمد که نشان‌دهنده دقت نسبتاً خوب مدل است. اشکال ۷ و ۸ مقایسه‌ای میان تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده در ۲ چاه مشاهداتی پراکنده در سطح منطقه است، حاکی از دقت خوب مدل در شبیه‌سازی نوسان تراز آب در فواصل سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ است.



شکل۷- برازش تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ در چاه مشاهده‌ای ۲

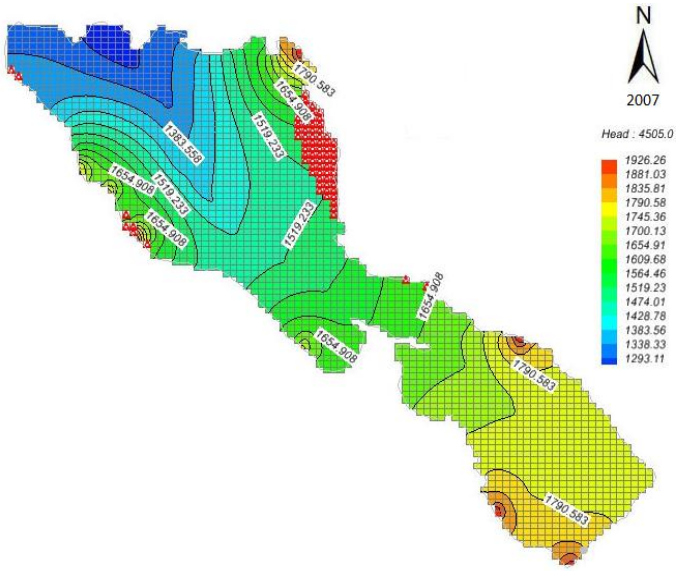
Fig. 7- Fit the observed and calculated levels in the period 2002-2007 in observation well 2



شکل ۸- برازش تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده در دوره زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ در چاه مشاهده‌ای ۱۰

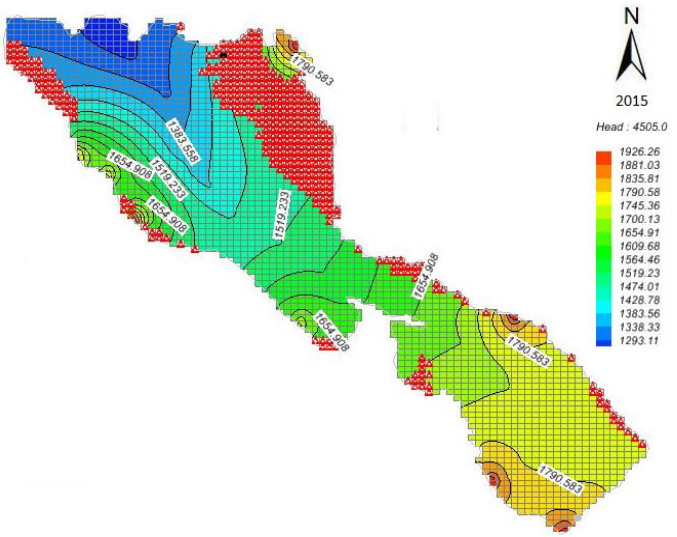
Fig. 8- Fit the observed and calculated levels in the period 2002-2007 in observation wells

بعد از واسنجی در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ در شرایط ناپایدار، برای پیش‌بینی روند تراز آب در ۱۵ سال بعدی یعنی از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ مدل اجرا شد تا بتوان مناطقی که در سال‌های آینده با بحران آب روبه‌رو می‌شوند را مشخص کرد. مدل با فرض نرخ کاهش آب‌های زیرزمینی و مقدار ثابت تغذیه اجرا شد. شکل ۹ از سه قسمت الف، ب و ج تشکیل شده که به ترتیب تراز سطح آب‌های زیرزمینی برای سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد. مطابق اشکال به‌دست‌آمده می‌توان دید که سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه با ادامه روند موجود در برداشت از آنها به شدت کاهش می‌یابد که نقاط قرمز رنگ موجود در شکل مربوط به مناطقی است که کاملاً خشک شده و جریان آب‌های زیرزمینی در آنها برقرار نیست. با توجه به اشکال به‌دست‌آمده قسمت‌های شمالی منطقه زودتر خشک خواهند شد زیرا در این قسمت ضخامت آبخوان کمتر از نواحی جنوبی و شرقی است.



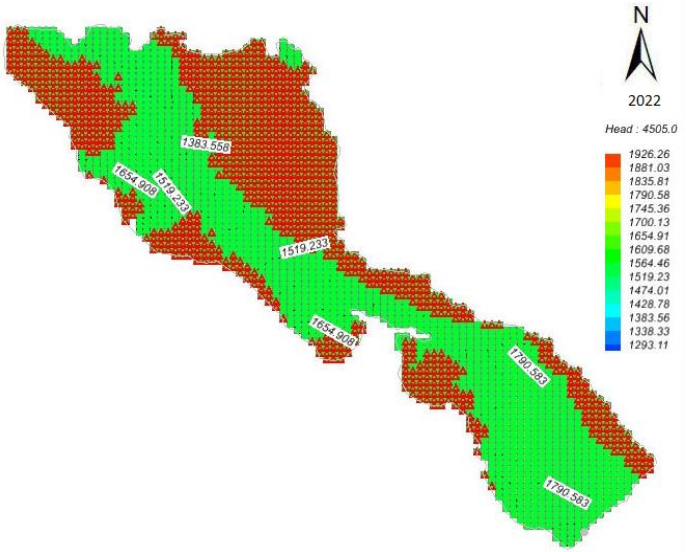
شکل۹ الف – افت پیش‌بینی‌شده سطح آب‌های زیرزمینی بر اساس اجرای مدل برای سال ۲۰۰۷

Fig. 9a- Groundwater level predicted decline based on model implementation for 2007



شکل ۹ب- افت پیش‌بینی‌شده سطح آب‌های زیرزمینی بر اساس اجرای مدل برای سال ۲۰۱۵

Fig. 9b- Groundwater level predicted decline based on model implementation for 2015



شکل ۹ ج - افت پیش‌بینی‌شده سطح آب‌های زیرزمینی بر اساس اجرای مدل برای سال ۲۰۲۲
Fig. 9c- Forecast drop of groundwater level based on model implementation for 2022

آبخوان غیرمحصور دشت زنجان با استفاده از کد عددی MODFLOW برای شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان آب‌های زیرزمینی در حالت شرایط پایدار و ناپایدار ارزیابی شد. برای ساخت مدل ریاضی پارامترهای مختلفی جمع‌آوری شدند. نتایج حاصل از واسنجی مدل در حالت پایدار نتایج معقولی میان تراز مشاهده‌شده و محاسبه‌شده در مهر ماه سال ۱۳۸۱ نشان داد. مقادیر ریشه مربع میانگین خطا، میانگین خطای مطلق و میانگین خطا به ترتیب ۱۷/۴۱، ۱۵/۲۲و ۰/۶- به دست آمد. بعد از انجام واسنجی مقدار تغذیه ۰/۰۰۰۳۲۱ متر در روز به دست آمد که این مقدار ۱/۹۸ برابر مقدار تغذیه ورودی برای مدل است. مقدار هدایت هیدرولیکی افقی لایه‌های ماسه-سلیت و ماسه-شن نیز به ترتیب ۲۸/۵۷ و ۴۰/۴ متر در روز به دست آمد. طبق محاسبه تراز آب برای مدل، جریان آب‌های زیرزمینی از جنوب شرقی به شمال غربی است که این جریان با شیب غالب منطقه مطابقت دارد. مطابق اعداد محاسبه‌شده در مدل و تفاضل جریان ورودی و خروجی به آبخوان ۳۴۴۸۳ متر مکعب در روز می‌توان نتیجه گرفت که مقدار سالانه آب ذخیره‌شده در آبخوان به‌طور متوسط ۲۱ میلیون متر مکعب است. این در حالی است که طبق اعداد ارائه شده در گزارش‌ها، میزان تخلیه سالانه آب از این آبخوان توسط چاه‌ها و چشمه‌ها چیزی حدود ۳۵۷ میلیون متر مکعب است که ۱۷ برابر ذخیره سالانه آب در آبخوان است. این امر نشان‌دهنده برداشت بسیار بی‌رویه از آبخوان و استفاده از ذخیره آب موجود در آن است که با ادامه این روند آبخوان دشت به‌طور کامل نابود خواهد شد. واسنجی مدل در حالت جریان ناپایدار برای فواصل سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ با روش سعی و خطا برای رسیدن به بهترین نتیجه میان تراز مشاهده‌شده روزانه و تراز محاسبه‌شده انجام شد. مقادیر ریشه مربع میانگین خطا و میانگین خطا به ترتیب با مقادیری برابر با ۲۶/۲۹ و ۸/۴۳- نشان‌دهنده دقت نسبتاً خوب مدل است.

نتیجه‌گیری

مدل با فرض نرخ کاهش آب‌های زیرزمینی و مقدار ثابت تغذیه برای فاصله زمانی ۱۵ ساله از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ اجرا شد که نقشه‌های به‌دست‌آمده برای تراز آب‌های زیرزمینی در این سال‌ها نشان‌دهنده افت شدید تراز آب با ادامه برداشت بی‌رویه از ذخیره آب‌های زیرزمینی آبخوان دشت زنجان است.

پی نوشت‌ها

[1] Swidnica
[2] Mahesh

منابع

Hubbert, M.K., 1940. The theory of ground-water motion. The Journal of Geology. 48, 785-944.

Mohebzadeh, H., Banejhad, H., Ghobadi, H. and Heydari, M., 2011. Numerical simulation of groundwater of Nahavand plain aquifer. In Proceedings 4th Iran Water Resources Management Science Congress, 3th-4th May, Tehran, Iran.

Thornthwaite, C.W. and Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance (No. 551.57 T515i). Drexel Institute of Technology, Centerton, NJ (EUA). Laboratory of Climatology.

Todd, D.K., 1959. Ground water hydrology. John Wiley and Sons, Inc, New York.

Yang, F.R., Lee, C.H., Kung, W.J. and Yeh, H.F., 2009. The impact of tunneling construction on the hydrogeological environment of “Tseng-Wen Reservoir Transbasin Diversion Project” in Taiwan. Engineering Geology. 103, 39-58.

Gurwin, J. and Lubczynski, M., 2005. Modeling of complex multi-aquifer systems for groundwater resources evaluation—Swidnica study case (Poland). Hydrogeology Journal. 13, 627-639.

Harbaugh, A.W., 2005. MODFLOW- 2005, The U.S. Geological Survey modular ground-water model the Ground-Water Flow Process: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A16, variously p. US Department of the Interior, US Geological Survey. Washington, D.C.

Khadri, S.F.R. and Pande, C., 2016. Ground water flow modeling for calibrating steady state using MODFLOW software: a case study of Mahesh River basin, India. Modeling Earth Systems and Environment. 2, 39.

Environmental Sciences Vol.16 / No.1 / Spring 2018

1-14

Simulation and estimate of groundwater level fluctuations using GMS (case study: Zanjan plain)

Mehdi Panahi, Farhad Misagi and Parisa Asgari*
Departemant of Water Management, Faculty of Agriculture, University of Zanjan, Zanjan, Iran

Received: 2017.11.6 **Accepted:** 2017.2.12

Panahi, M., Misagi, F. and Asgari, P., 2018. Simulation and Estimate Groundwater Level Fluctuations Using GMS (Zanjan plain). Environmental Sciences. 16 (1), 1-14.

Introduction: Over recent decades, climate change and the lack of adequate and timely rainfall, leading to a lack of adequate water for irrigated plants and limited renewable land and water resources, has resulted in the heterogeneous spatial and temporal distribution of fresh water as well as rapid population growth, including in Iran, There are increasing problems in providing water resources for various uses. One of the main requirements for meeting global food needs is access to sustainable agriculture and its development. In order to achieve this, appropriate measures should be adopted to prevent damage to the system of limited resources in each region. Groundwater is always an important source of fresh water and groundwater management, at the first stage, requires the identification and operation of aquifers under natural conditions. In most hydrological questions and groundwater resource studies, the availability of groundwater resource data and statistics is of great importance. In order to assess the effects of development in existing conditions and to provide management methods for groundwater resources, both quantitatively and qualitatively, mathematical and computer simulation of these resources is a powerful tool for the optimal utilization of these resources.

Materials and methods: Numerical modeling of groundwater in aquifers is an important tool for the management of water resources. This model can be used to estimate the hydraulic parameters as well as water resource management. The aim of this study was to simulate fluctuations in groundwater levels in the aquifer Zanjan located at a latitude of 47 degrees 50 minutes 49 ° East and latitude 36 degrees 20 minutes north and 37 degrees using GMS software. This model is a combination of code Modflow and GIS using the finite difference method, the ground water level simulation. For this research the information needed to run the model that were introduced to the model, included: positions of border aquifers, at different heights above ground level bedrock aquifer; the amount of withdrawals from well tapping positions; the position of and water level in observation wells; the hydraulic conductivity layer; and nutrition. After the preparation of the conceptual model and the determination of initial and boundary conditions, the simulation will be discussed. The flow simulation model was calibrated in a steady flow.

*Corresponding Author. *E-mail Address*: m.panahi@znu.ac.ir

Results and discussion: The results of the calibration results in a steady state showed a reasonable balance between the observed and calculated results in October 2002. After calibrating the nutritional value 0/000321 meters per day, it was found that this amount is 1/98 times the amount of power input to the model. The amount of horizontal hydraulic conductivity layers of sand,/silt and sand,/gravel were measured at 28.57 and 40.4 km per day, respectively, and then the unsteady flow model calibration mode for distances between 2002 and 2007, using trial and error to achieve the best balance between the level observed daily. Projected drops in groundwater levels were calculated, based on the implementation of the model for 2007 and 2015 and 2022. The root mean square error, mean absolute error and mean error, respectively, were 17/41, 15/22 and -0.6. The root mean square error and average error with respect to the amount equal to 26/29 and -8/43 showed the good accuracy of the model. The water level calculated for the converter, groundwater flow is from the southeast to the northwest of the current slope correspond area.

Conclusion: The model was implemented with the assumption of the rate of groundwater abatement and constant nutrition for a 15-year interval from 2007 to 2022. Maps obtained for the groundwater level in the years reflect a sharp drop in the water level as the result of continued indiscriminate harvesting of the Zanjan underground water aquifer.

Keywords: GMS, MODFLOW, Model groundwater level fluctuations, Zanjan plain, Simulation.