نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۲۱۶-۱۲۰۳

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1203-1216

شبیه‌سازی عددی روند تغییرات کروم در آبخوان دشت بیرجند

افسانه فرپور[۱]، یوسف رمضانی[۲*] و ابوالفضل اکبرپور[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۲۵

چکیده

شبیه‌سازی عددی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم برای مدیریت منابع آب آبخوان می‌باشد. مطابق اندازه گیری‌های صورت گرفته از غلظت کروم چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان بیرجند مقدار کروم بیش از حد مجاز بود (غلظت بیش از mg/Lit ۰/۰۵). هدف این تحقیق شبیه‌سازی کمی و کیفی آب زیرزمینی در آبخوان آزاد بیرجند با استفاده از مدل ریاضی و روند تغییرات غلظت کروم می‌باشد. برای انجام این کار از کد عددی MODFLOW و MT3D که در نرم‌افزار مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS) قرار دارد، استفاده شد. در ابتدا آمار و اطلاعات موردنیاز جهت تهیه مدل مفهومی آبخوان جمع‌آوری گردید. سپس مدل‌سازی منطقه در نرم‌افزار انجام و مدل اجرا گردید. عملیات واسنجی مدل ریاضی کمی و کیفی آبخوان بیرجند در شرایط غیرماندگار انجام شد. مقادیر هدایت هیدرولیکی و آب‌دهی ویژه برای مدل کمی و مقادیر ضریب پخشودگی طولی و تخلخل برای مدل کیفی واسنجی شد. در نهایت شبیه‌سازی برای یک بازه زمانی یکساله انجام گردید. پیش‌بینی ۶ سال بعد از شبیه‌سازی با شرایط ۳۰ ٪ کاهش و افزایش میزان برداشت انجام گرفت. در مدل کمی بیش‌ترین تراز سطح آب در ناحیه شرقی آبخوان ۱۳۹۶ متر و کم‌ترین تراز سطح آب در منطقه جنوب‌غربی آبخوان ۱۲۶۳ متر، نزدیک به زهکش آب زیرزمینی برآورد گردید. خروجی مدل کیفی بیش‌ترین غلظت کروم را در قسمت میانی آبخوان نشان داد. هم‌چنین حرکت تدریجی منحنی حداکثر غلظت کروم آبخوان از مناطق مرکزی به سمت شرق و غرب آبخوان بود. به منظور ارزیابی واسنجی، از امکانات نر افزار GMS مانند خطای میانگین (ME)، خطای میانگین مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد که مقادیر این پارامترهای آماری به ترتیب ۰/۰۹، ۰/۹۴۴ و ۱/۰۷۱ متر برای مدل کمی و ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در لیتر برای مدل کیفی بود. نتایج مدل‌سازی کمی و کیفی آبخوان بیرجند نشان داد افت سطح آب زیرزمینی در مناطق غربی بیش‌تر از سایر نقاط می‌باشد و میزان غلظت کروم در مناطق میانی آب زیرزمینی بیرجند بیش‌تر از ۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر، حد مجاز استاندارد WHO برای آب شرب است. طی زمان شبیه‌سازی این غلظت افزایش پیدا می‌کند و به ۰/۰۹ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد. هم‌چنین تغییرات غلظت این آلاینده به نوسانات سطح آب زیرزمینی بستگی دارد و با افزایش سطح تراز آب می‌توان میزان کروم را در آبخوان کاهش داد. هم‌چنین طی سالیان اخیر میزان غلظت کروم در آبخوان همواره روند افزایشی داشته است. با اعمال سناریو کاهش برداشت از آبخوان مساحت ناحیه بحرانی کم‌تر شده است و سناریو افزایش برداشت در مقایسه با کاهش برداشت تغییر کم‌تری را در غلظت و مساحت ناحیه بحرانی نشان داد.

واژه‌های کلیدی: آب زیرزمینی، دشت بیرجند، مدل‌سازی کمی، مدل‌سازی کیفی ، MODFLOW، MT3D

مقدمه

افزایش بی‌رویه جمعیت در کشور، محدودیت منابع آب‌های سطحی و بهره‌برداری بیش از اندازه از آبخوان‌ها باعث وارد آمدن خسارات جبران‌ناپذیری به منابع طبیعی کشور در سال‌های گذشته شده است. علاوه بر افت شدید سطح آب در آبخوان‌ها، فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و شهری آلاینده‌های مختلفی را به آبخوان‌ها تحمیل می‌کنند که برای جلوگیری از ادامه افت کمی و کیفی، مدیریت بهره‌برداری و حفاظت از آب‌های زیرزمینی باید به عنوان یک اصل و پایه در برنامه‌ریزی‌های کشور قرار گیرد.

با وجود آن که روش‌های تحلیلی بسیاری برای بررسی انتقال آلودگی در سفره‌های آب زیرزمینی ارایه شده است، به دلیل شرایط اولیه و شرایط مرزی ایده‌آلی که در روش‌های تحلیلی در نظر گرفته می‌شود، این روش‌ها قابل کاربرد در تمام شرایط نمی‌باشند. بدین جهت که چنین شرایطی در طبیعت کم‌تر دیده می‌شود و بیش‌تر این روش‌ها حالت تحقیقاتی داشته و قابلیت کاربرد کم‌تری دارند. در چنین شرایطی روش‌های عددی به دلیل توانایی زیاد برای حل مسایل انتقال محلول در سفره‌های آب زیرزمینی استفاده می‌شوند. تاکنون

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند
۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند
(*- ایمیل نویسنده مسئول: (Email: y.ramezani@birjand.ac.ir

مدل‌های عددی بسیاری برای این منظور بر اساس حل معادله پخش انتشار ارایه شده‌اند (Sun and Yeh., 1987).

مدل‌سازی عددی آب‌های زیرزمینی ابزاری مهم برای مدیریت منابع آب در آبخوان‌ها می‌باشد. این مدل‌ها می‌توانند برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی و مدیریت منابع آب و پیش‌بینی چگونگی تغییر یک آبخوان در مقابل تغییرات آب و هوایی و پمپاژ استفاده شوند (Regli et al., 2003).

از جمله مدل‌هایی که دارای قابلیت‌های بسیارخوبی در مطالعات آب زیرزمینی دارد و در بسیاری از کشورهای جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل GMS است که عمدتا به روش‌های عددی تفاضل محدود و اجزای محدود به شبیه‌سازی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی می‌پردازد. GMS محیطی جامع و گرافیکی برای شبیه‌سازی‌های جریان آب زیرزمینی است که شامل یک رابط کارتوگرافی کاربردوست تعداد کدهای تحلیلی مستقل نظیر MODFLOW، MT3DMS، MODPATH و غیره می‌باشد.

مدل آب زیرزمینی در واقع فرم ساده شده‌ای از یک سیستم واقعی آب‌های زیرزمینی است که به طور تقریبی همبستگی بین عمل و واکنش هیدرودینامیکی را در یک سیستم ارایه می‌دهد (اکبرپور و همکاران، ۱۳۸۹).

در ایران استفاده از روش‌های عددی برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی از سال ۱۹۶۲ با شبیه‌سازی دشت ورامین آغاز شده و پس از آن استفاده از این روش در مطالعه آبخوان‌های آب زیرزمینی مورد توجه بوده است (خوش‌نامی، ۱۳۷۲). کتیبه و حافظی (۱۳۸۳) آب‌های زیرزمینی دشت آب‌باریک بم را با نرم‌افزار Modflow شبیه‌سازی نموده و عملکرد طرح تغذیه مصنوعی این دشت را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان نتیجه گرفتند که تغذیه مصنوعی آبخوان به کمک روش پخش سیلاب موجب افزوده شدن سالیانه ۱۲/۶ میلیون متر مکعب به ذخیره شده است. محتشم و همکاران (۱۳۹۰) تحقیقی را با هدف پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی دشت بیرجند به انجام رساندند. آن‌ها مدل ریاضی Modflow را برای دو حالت ماندگار و غیرماندگار و در سه سناریو ترسالی، نرمال و خشک‌سالی اجرا و مورد مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از مدل ریاضی GMS تا ۲۴ ماه آینده و با دقت مناسب می‌توان تغییرات سطح آب را پیش‌بینی نمود. اکبرپور و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های حفاری چاه‌های اکتشافی و نتایج ژئوفیزیکی، مدل مفهومی دشت بیرجند را در نرم‌افزار GMS تهیه کردند. نتایج این تحقیق نشان داد تفاوت اندکی بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده وجود دارد و اختلاف بین مقادیر ورودی و خروجی مدل ناچیز و قابل قبول می‌باشد اکبرپور و همکاران (۱۳۹۱) در پژوهشی با هدف انجام مدیریت، حفاظت و استفاده پایدار از منابع آب‌زیرزمینی، خاک و توسعه یک ابزار کاربرپسند، کارآمد و ارزان برای مدیریت منابع آب به بررسی مدیریت آب زیرزمینی با استفاده از مدل WEAP و Modflow و چگونگی تغییرات سطح آب زیرمینی در دشت بیرجند پرداختند. همراز و همکاران(۱۳۹۲) جریان آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند را توسط مدل عددی Modflow کدنویسی شده در MATLAB شبیه‌سازی کردند و عدم قطعیت پارامترهای آن را توسط روش GLUE ارزیابی کردند.

ابارشی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از مدل شبیه‌ساز حرکت آب زیرزمینی در لایه آبدار آزاد دشت زرین‌گل با استفاده ازنرم‌افزار GMS در دو حالت ماندگار و غیرماندگار تهیه کردند. نتایج نشان داد در صورت کاهش ۱۰ درصدی مقادیر بارش در فصل بهار، سطح آب زیرزمینی حدود ۱۷سانتی متر افت خواهد داشت.

پارساصدر و همکاران (۱۳۹۵) از مدل عددی به منظور شبیه‌سازی آبخوان دشت روداب سبزوار استفاده کردند. در این مدل‌سازی اثرات احداث سد روداب بر آبخوان بررسی شد. نتایج مدل نشان داد با توجه به اختلاف اندک بیلان آب زیرزمینی آبخوان در قبل و بعد از احداث سد و به علت تاثیرپذیری کم در اثر تغذیه سطحی تقریبا مشابه یکدیگر می‌باشند.

سعیدی و همکاران (۱۳۹۴) یک مدل شبیه‌ساز آب زیرزمینی با امکان دسترسی به کد برنامه‌باز، در نرم‌افزار MATLAB ارایه دادند. استفاده از مدل ارایه شده سبب ایجاد انعطاف‌پذیری بیش‌تر در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی نسبت به سایر روش‌های شبیه‌سازی آب زیرزمینی می‌شود. مدل مذکور برای شبیه‌سازی آبخوان دشت بیرجند مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد، ارتفاع سطح آب زیرزمینی از شرق به غرب و جنوب‌غربی آبخوان کاهش می‌یابد. سعیدی و همکاران (۱۳۹۴) مدل شبیه‌ساز بهینه‌ساز آب‌های زیرزمینی، با هدف کمینه نمودن گرادیان غلظت در محدوده آبخوان ارایه کردند. مدل مذکور از تلفیق مدل‌های شبیه‌ساز کمی و کیفی آبخوان با الگوریتم بهینه‌سازی هوشمند فاخته در محیط برنامه‌نویسی MATLAB حاصل شد. نتایج نشان داد، اختلاف غلظت EC در چاه‌های منتخب، پس از اجرای سیاست برداشت بهینه، نسبت به حالت اولیه، به مقدار ۲۵۰ واحد کاهش می‌یابد و تا حدودی گرادیان غلظت EC در سطح آبخوان تعدیل می‌گردد.

یاکیروویچ و همکاران پژوهشی را به منظور توسعه مدل عددی با توانایی شبیه‌سازی تاثیر جریان برگشتی از آبیاری و مرتبط ساختن جریان آب و مواد محلول از سطح خاک با کیفیت آب پمپاژ شده از آبخوان انجام دادند. مدل برای شبیه‌سازی تاثیرآبیاری بر شوری آبخوان آلتوپیورا (واقع در شمال پرو) به مدت ۳۰ سال بکاربرده شد. ایشان با اصلاح کد (Modflow و MT3D) این مدل‌سازی را انجام داده‌اند (Yakirevich et al., 2013).

بوقریرا و همکاران با هدف بررسی تاثیر پساب صنعتی و خانگی بر رودخانه مبودجا (واقع در الجزایر) و آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه از مدل visual Modflow و MT3D استفاده نمودند و به

این نتیجه رسیدند که آب زیرزمینی دارای میزان هدایت الکتریکی و کلراید و سدیم بسیار بالاست و تجمع فلزات سنگین (۱/۲۵-۰/۲ mg/lit کروم) را در چاه‌ها مشاهده کردند. هم‌چنین ایشان بیان کردند که جنوب سیبوس باعث انتقال آلودگی سریع‌تر در ناحیه تحت استخراج می‌باشد (Bougherira et al., 2014).

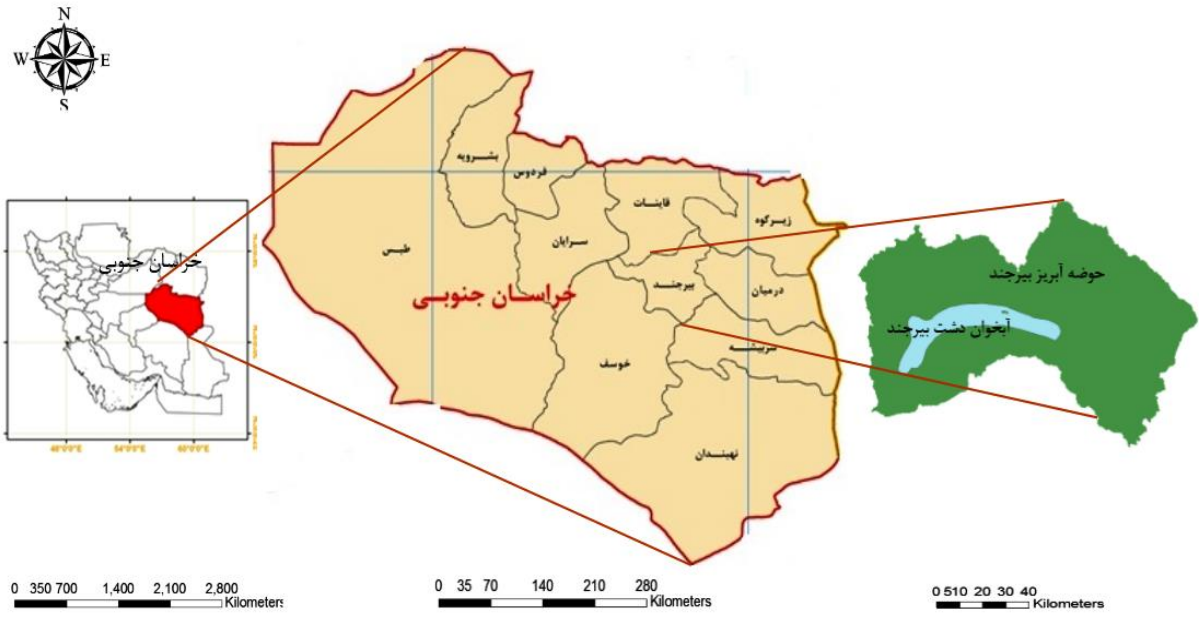
شهر بیرجند از نظر زمین‌شناسی عمدتا شامل تشکیلات افیولیتی، اوئولیتی و آمونیتی اواخر دوران اول و دوران دوم و سوم زمین‌شناسی است. مطابق اندازه‌گیری‌های صورت گرفته از مقدار کروم چاه‌های آب شرب شبکه توزیع آب شهری بیرجند مقدار کروم بیش از حد مجاز بوده است (غلظت بیش از ۰/۰۵ میلی گرم بر لیتر). منش عناصر سنگین در دشت و شهر بیرجند متعلق به کرتاسه، که افیولیت‌ها و آمیزه‌های رنگین را شامل می‌شود. بنابراین آلودگی کروم آب بیرجند منشا زمین‌شناسی دارد (شهریاری و همکاران، ۱۳۹۰).

این آلاینده در منابع آب بصورت کروم سه ظرفیتی و شش ظرفیتی یافت می‌شود (Selvi et al., 2001). به‌دلیل این‌که کروم شش ظرفیتی از سوی آژانس بین المللی تحقیقات سرطان و از سوی EPA در گروه مواد سرطان‌زا طبقه‌بندی شده است (Levankumar et al., 2009). ضروری به نظر می‌رسد که مطالعات وسیع‌تری در زمینه رفع این مشکل صورت گیرد.

بررسی کمیت و کیفیت آب‌های زیرزمینی دشت بیرجند به دلیل این‌که تنها بخش تامین آب کشاورزی و آشامیدنی می‌باشد از اهمیت خاصی برخوردار است. با دانستن کیفیت آب‌های زیرزمینی این منطقه و شبیه‌سازی انتقال آلودگی موجود در این آب‌ها می‌توان به جهت و سرعت انتقال آلودگی پی برد و مناطقی را که در سال‌های آینده با خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی مواجه می‌شوند را تعیین کرد و برای جلوگیری از انتشار بیش‌تر آلودگی اقداماتی را انجام داد. با توجه به بحرانی بودن غلظت کروم آب زیرزمینی بیرجند شبیه‌سازی حرکت این آلاینده ضروری می‌باشد. هدف این تحقیق شبیه‌سازی عددی روند تغییرات کروم در آبخوان دشت بیرجند و تغییرات غلظت آلاینده مذکور با اعمال سناریوهای کاهش و افزایش برداشت از آب زیرزمینی است.

مواد و روش‌ها

دشت بیرجند بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی جزو مناطق خشک محسوب می‌شود. شیب زمین در قسمت‌های شرقی زیاد و در قسمت‌های غربی دشت شیب کم‌تر و سطح زمین حالت مسطح دارد. سفره‌ی آب زیرزمینی دشت از نوع آزاد و ناهمگن می‌باشد. آبخوان دشت بیرجند با مساحت ۲۶۵ کیلومترمربع و متوسط ضخامت اشباع ۳۰ متر، در مختصات ۳۲° و ۳۴′ تا ۳۳° و ۸′ عرض شمالی و ۵۸° و ۴۱′ تا ۵۹° و ۴۴′ طول شرقی در استان خراسان‌جنوبی واقع گردیده است. وسعت کل حوضه آبریز دشت بیرجند در حدود ۳۴۰۸ کیلومترمربع بوده که از این میزان حدود ۱۳۸۳ کیلومترمربع را دشت و مابقی را ارتفاعات تشکیل می‌دهد. شکل ۱ موقعیت شهرستان بیرجند را نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

مدل‌سازی آب زیرزمینی

مدل ریاضی مشتمل بـر مجموعـه‌ای از معادلـه‌هـای دیفرانسـیل می‌باشد که جریان را تحت حاکمیت خود دارد. قطعیت پیش‌بینی‌هـای انجام شده بر اساس مدل‌های آب زیرزمینی در ارتباط بـا ایـن مسـاله است، که مدل تا چه حد بتواند شرایط واقعی را تخمین بزند. استفاده از مدل‌سازی کامپیوتری از راهکارهای اساسی در ایـن راسـتا بـه شـمار می‌روند.

معادلات حاکم بر جریان و انتقال در آب‌های زیرزمینی

فرم کلی معادله حاکم بر جریان آب‌های زیرزمینی عبارت است از (معادله ۱):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{k_x \partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{k_y \partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{k_z \partial h}{\partial z}\right)=\frac{S_s \partial h}{\partial t}\mp R \qquad (۱)$$

کـه در معادلـه فـوق، k_x، k_y و k_z مولفـه‌هـای تانسـور هـدایت هیدرولیکی، h بار پتانسیل، S_s ذخیره ویژه و R مولفه تغذیه‌کننـده یـا تخلیه‌کننده (به ترتیب با علامت مثبت یا منفی) آبخوان می‌باشند.

در آبخوان‌های آزاد ضخامت لایه اشباع با تغییر ارتفاع سـطح آب زیرزمینی تغییر می‌کند. برای حل معادله جریان در این حالت دوپـویی در سال ۱۸۶۳ فرضیاتی را وضع کرد (Anderson and Woessner., 1992) که عبارتند از:

الف) جریان افقی است.

ب) شیب هیدرولیکی مساوی شیب سطح آزاد می‌باشد.

معادله‌ای که بر اساس فرضـیات دوپـویی و معادلـه پیوسـتگی در شرایط وجود جریان سه‌بعدی و ناماندگار استخراج گردیده عبارت است از (معادله ۲):

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(k_x h\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(k_y h\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(k_z h\frac{\partial h}{\partial z}\right)=S_y\frac{\partial h}{\partial t} \qquad (۲)$$

که در این معادله، S_y آب‌دهی ویژه است.

معادله دیفرانسیل جزیی انتقال برای k آلاینده، در حالـت جریـان غیرماندگار و سه‌بعدی در آب زیرزمینی بدین طریق می‌باشـد (معادلـه ۳).

$$\frac{\partial(\theta C^k)}{\partial t}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left(\theta D_{ij}\frac{\partial C^k}{\partial x_j}\right)-\frac{\partial}{\partial x_i}(\theta v_i C^k)+q_s C_s^k+\sum R_n \qquad (۳)$$

که در این معادله

Θ: تخلخل مفید رسوبات، Ck: غلظـت آلاینـده محلـول k ام، t: زمان، qs: نرخ جریان حجمی بر حجم واحد که نشان‌دهنده تغذیـه یـا تخلیه می‌باشد، Xi,j: فاصله در طول محور مختصات کارتزین متناظر، Dij: تانسور ضریب پخـش هیـدرودینامیکی، v_i: سـرعت آب منفـذی خطی، C_s^k: غلظت شار تغذیه یا تخلیه بـرای گونـه k ام و در نهایـت ΣR_n: ترم واکنش شیمیایی می‌باشد.

معادله ۳ بیان موازنه جرم می‌باشد، یعنی تغییرات در ذخیـره جـرم در هر زمانی، با اختلاف جرم جریان ورودی و خروجی به دلیل پخش، انتقال، تغذیه/ تخلیه و واکنش‌هـای شـیمیایی معـادل اسـت. معادلـه انتقال با معادله جریان از طریق قانون دارسی در ارتباط اسـت (معادلـه ۴).

$$V_i=\frac{q_i}{\theta}=-\frac{k_i}{\theta}\frac{\partial h}{\partial x_i} \qquad (۴)$$

که در این معادله

V_i: سرعت آب منفذی خطی، k_i مولفه‌های هدایت هیـدرولیکی، ∂h اختلاف بار پتانسیل.

برای حل این معادلات از روش شـبکه‌بنـدی تفاضـل محـدود در GMS استفاده می‌شود.

مدل کمی و کیفی آبخوان

Modflow یک مدل شبیه‌سازی سه‌بعدی بر پایـه روش تفاضـل محدود است و مدل MT3DMS نیز معادلات پخش، انتقال، جـذب و زوال آلاینده‌ها در آب زیرزمینی را به روش تفاضل محدود حـل مـی-نماید.

مدل مفهومی کمی

اولین گام در مدل‌سازی، تهیه مدل مفهومی و شمای پایه سیستم سفره آب زیرزمینی منطقه است که بر اساس آن بتوان مـدل ریاضـی نمایش‌گر سیستم را ارایه داد. یک مـدل مفهـومی در واقـع نمایـانگر طبیعت سیستم آب‌های زیرزمینی، ورودی و خروجی آبخـوان، شـرایط زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی و ژئوتکتونیکی آن می‌باشد. طبیعتا مـدل مفهومی می‌بایست براساس مطالعات پایه و

کامل آب‌های زیرزمینی منطقـه انجـام شـود. (Anderson and Woessner., 1992). آبخوان مورد مطالعه فاقد مرز فیزیکـی و تنهـا دارای مرز هیدرولیکی بود. این مرزها شـامل ۹ جبهـه ورودی و یـک جبهه خروجی آب زیرزمینی به صورت زهکش بود. نوسانات سطح آب مشاهداتی در ۱۰ پیزومتر موجود در آبخوان، مورد استفاده قرار گرفت. تعداد ۱۹۰ حلقه چاه شامل ۱۳۹ چاه کشاورزی، ۳۱ چـاه شـرب و ۲۰ چاه صنعتی در مدل مفهومی گنجانده شد.

اطلاعات ورودی مدل به وسیله GIS

استفاده از GIS در شبیه‌سازی آبخـوان بیرجنـد بـه منظـور تهیـه لایه‌های اطلاعاتی مدل است. نقشه برای انجام محاسـبات در حالـت غیرماندگار، متغییر زمان در معادلات وارد می‌شـود. لازم اسـت زمـان مورد مطالعه (t) به اجزای کوچک‌تر (Δt) تقسیم شود. هـر قـدر ایـن جزو زمانی کوچک‌تر باشد، دقت محاسبات بیش‌تر می‌شود امـا حجـم

محاسبات افزایش می‌یابد. مدل‌سازی دشت بیرجند برای یک سال، از ابتدای مهر سال ۱۳۹۰ تا انتهای شهریور سال ۱۳۹۱ انجام گرفت. از ۱۲ تنش یک ماهه با گام زمانی ۱۰ روز استفاده شد.

شرایط اولیه و مرزی

شرط اولیه در مدل کمی، مقدار هد اولیه در ابتدای دوره شبیه‌سازی در سلول‌هاست.

انتخاب شرایط مرزی، یک مرحله حساس و مهم در طراحی مدل بوده و مرحله‌ای است که می‌تواند بیش‌ترین خطا را در نتایج بوجود آورد. برای حل معادلات حاکم تعیین شرایط مرزی ضروری می‌باشد. سه نوع شرط مرزی اصلی در مدل‌سازی وجود دارد. که به شرح زیر می‌باشد:

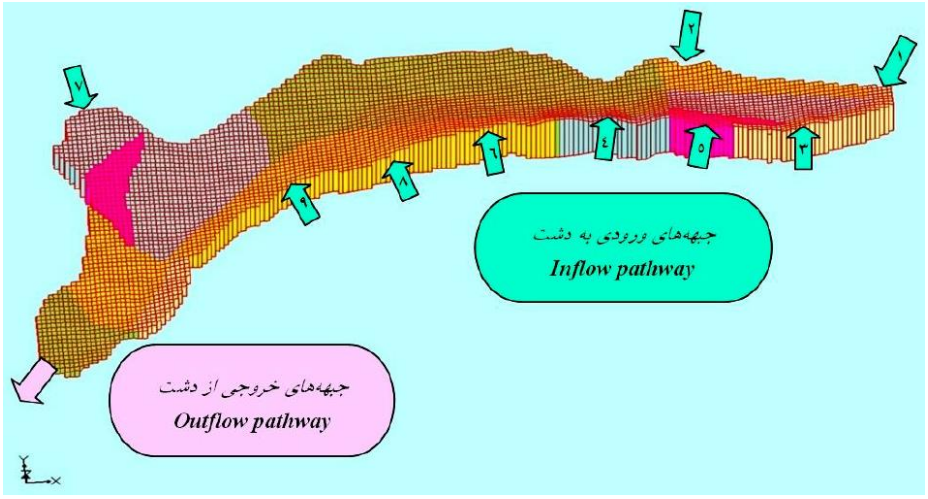
۱: مرز با پتانسیل معلوم (شرایط دریچله)

۲: گرادیان پتانسیل معلوم در مرز (شرایط نیومن)

۳: ترکیبی از شرایط ۱ و ۲ (شرایط کوچی)

مرز اعمال شده در این تحقیق از نوع شرط مرزی دریچله می‌باشد.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است آبخوان دشت بیرجند شامل ۹ جبهه ورودی(از ۱ به ۹ بیش‌تر می‌شود) و یک جبهه خروجی می باشد (Hamraz et al., 2015).



شکل۲- جبهه‌های ورودی و خروجی آبخوان دشت بیرجند (Hamraz et al., 2015)

واسنجی مدل در حالت ماندگار

حالت ماندگار معرف وضعیتی است که سیستم تغذیه و تخلیه آبخوان در حالت طبیعی بوده و پمپاژ از سفره، صفر یا حداقل مقدار ممکن باشد. در ابتدا با داشتن مقادیر پارامترهای ورودی مدل شامل هدایت هیدرولیکی و تخلخل، تغذیه ناشی از بارندگی و نیز میزان زهکشی دشت تخمین زده می‌شود و برای مدل تعریف می‌شود و سپس بر اساس روش سعی و خطا این مقادیر مرتبا تغییر داده می‌شود و مدل اجرا خواهد شد. نتایج به دست آمده از مدل در پیزومترها با مقدار واقعی سطح ایستابی در نقاط مذکور مقایسه می‌شود؛ تا هنگامی که مقادیر بدست آمده و مشاهده شده در آن نقاط به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک شوند. اصطلاحا مدل در حالت ماندگار برای شبیه-سازی در حالت غیرماندگار نهایی می‌شود.

واسنجی مدل در حالت غیرماندگار

هدف از مدل‌سازی در حالت غیرماندگار شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی در چاه‌های مشاهداتی طی بهره‌برداری از چاه‌ها در یک دوره زمانی مشخص و پیش‌بینی وضعیت سفره در آینده می‌باشد. این دوره زمانی برای تحقیق حاضر یک ساله در نظر گرفته شد. در این مرحله تنها مقادیر ضریب ذخیره با روش حدس و خطا تغییر داده شد و مدل اجرا گردید تا این‌که در نهایت ارتفاع سطح ایستابی بدست آمده از مدل برای چاه‌های مشاهده‌ای با میزان ارتفاع اندازه‌گیری شده چاه‌ها به اندازه کافی به یکدیگر نزدیک شوند. این کار به صورت مرحله به مرحله انجام شد و پس از نزدیک شدن نتایج بدست آمده از هر مرحله با مقادیر اندازه‌گیری شده، اطلاعات مرحله جدید تعریف شد و مرحله جدید در اجرای مدل وارد شد. در این مرحله پس از این‌که سطح آب مشاهداتی و محاسبه شده توسط مدل به زیر یک متر رسید نتایج مدل قابل‌قبول شد.

مدل مفهومی انتقال

پس از واسنجی مدل کمی از مدل مفهومی انتقال برای ورود به مدل عددی انتقال استفاده می‌شود. داده‌های غلظت چاه‌ها بصورت ماهانه، ضریب پخشیدگی طولی و تخلخل برای تهیه مدل مفهومی

کیفی استفاده می‌شود. غلظت کروم چاه‌ها بصورت ماهیانه و بر حسب میلی‌گرم بر لیتر به هر پیزومتر اختصاص داده شد. حداکثر غلظت مجاز کروم بر اساس سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آب آشامیدنی ۰/۰۵ mg/lit می‌باشد. که در تعدادی از چاه‌های دشت بیرجند از حد مجاز بیش‌تر می‌باشد. جهت اعمال مقادیر ضریب پخشیدگی طولی و تخلخل، سطح دشت به زون‌های مختلف تقسیم و مقادیر اولیه به آن‌ها اختصاص داده شد.

مدل عددی انتقال

دوره‌های تنش و گام‌های زمانی بطور اتوماتیک از مدل کمی وارد مدل کیفی می‌شوند. در این مرحله شرایط مرزی بایستی تعیین گردد. شرایط مرزی در مدل جریان شرایط دریچله همان مرز با هد معلوم است که بصورت منبع ورود آب یا زهکش خروج آب در طول دامنه عمل می کند. در مدل انتقال مرز با غلظت معلوم به عنوان منبع ورود توده املاح یا منطقه خروج املاح در آبخوان در نظر گرفته می‌شود. مرز با هد معلوم در مدل جریان ممکن است مرز با غلظت معلوم در مدل انتقال باشد و یا ممکن است نباشد. شرایط اولیه برای مدل ریاضی کیفی همان غلظت‌های اولیه‌ای است که به مدل اختصاص داده می‌شود. برای این کار به هر پیزومتر که غلظت کروم آن معلوم بود منطقه‌ای اختصاص داده شد و بصورت داده GIS به مدل عددی وارد شد.

اجرای مدل برای ٦ سال آینده

در انتها به منظور بررسی تفاوت میان اعمال سیاست تغییر در برداشت از آبخوان و عدم تغییر در میزان برداشت و پیش‌بینی غلظت کروم در ۶ سال پس از دوره شبیه‌سازی، با اعمال سناریو ۵٪ برداشت سالانه به صورت صعودی و نزولی مدل اجرا شد.

نتایج و بحث

مدل کمی MODFLOW

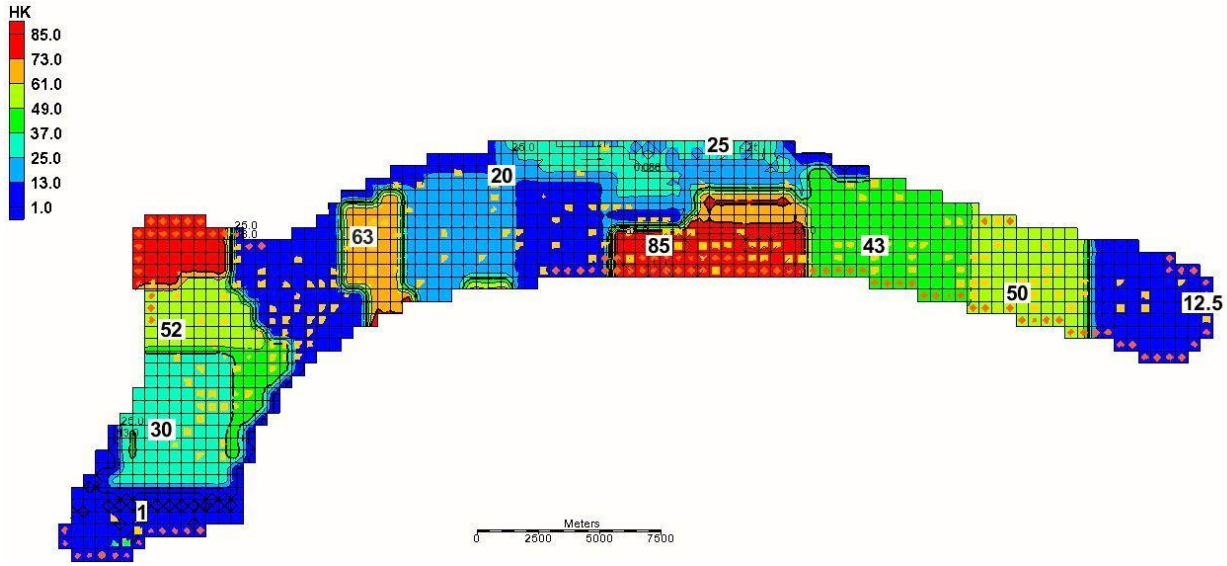
خروجی مدل ماندگار

بعد از کالیبره کردن مدل حجم خطاها پیزومترها در شرایط ماندگار کم‌تر از ۲ متر در یک دوره تنش بود. بعد از واسنجی مدل در حالت ماندگار سطح آب زیرزمینی تخمین زده می شود. بدلیل این‌که شیب توپوگرافی سطح زمین و سنگ بستر منطقه مورد مطالعه در قسمت میانی دشت از جنوب به سمت شمال آبخوان می‌باشد، جهت حرکت آب زیرزمینی هم بدین صورت می‌باشد.

اصلاحات هدایت هیدرولیکی در حالت ماندگار

توانایی حرکت آب در خاک یکی از خواص قابل اندازه‌گیری خاک است که به آن هدایت هیدرلیکی می‌گویند. هدایت هیدرولیکی اساسی‌ترین پارامتر در مدل‌سازی جریان و انتقال است. برای بدست‌آوردن اطلاعات هیدرودینامیکی آبخوان دشت بیرجند از روش پمپاژ استفاده شد. ولی در آزمایش پمپاژ تعیین هدایت هیدرولیکی بصورت منطقه‌ای انجام می‌پذیرد. که برای تعمیم آن به کل دشت از روش درون‌یابی استفاده شد. این مقادیر تنها تخمینی از مقدار هدایت هیدرولیکی دشت می‌باشند و باید تصحیح گردند. منطقه مورد مطالعه به ۱۱ بخش برای تصحیح هدایت هیدرولیکی تقسیم شده است، تصحیح (K) قدری مشکل است.

شکل۳ هدایت هیدرولیکی دشت را پس از تصحیح نشان می‌دهد.



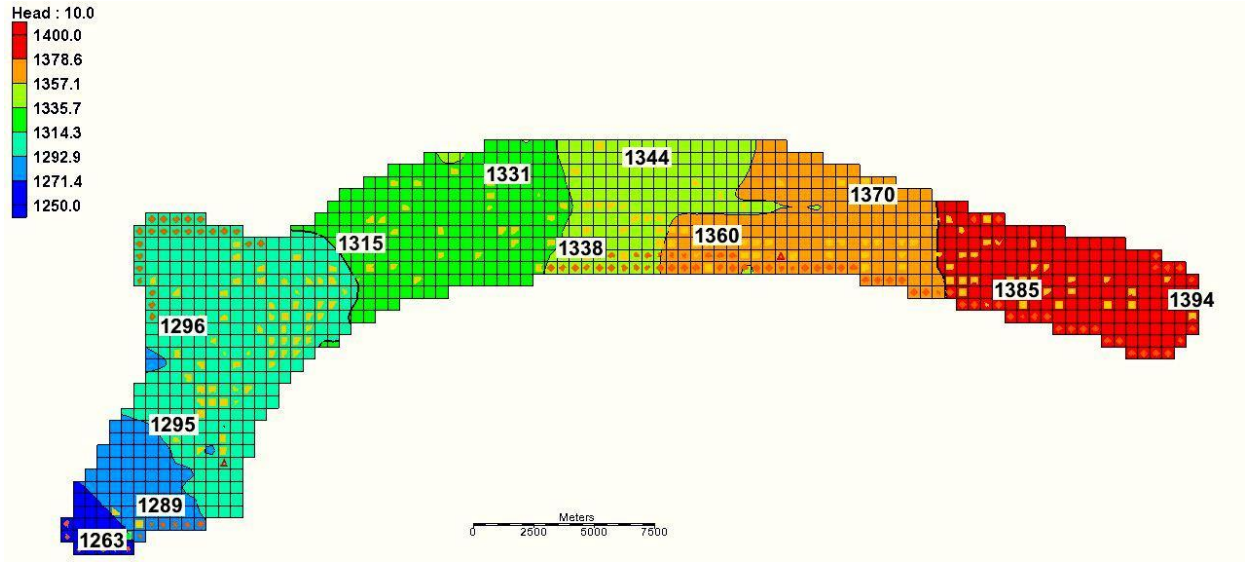
شکل ۳- مقادیر هدایت هیدرولیکی پس از واسنجی

خروجی حالت غیرماندگار

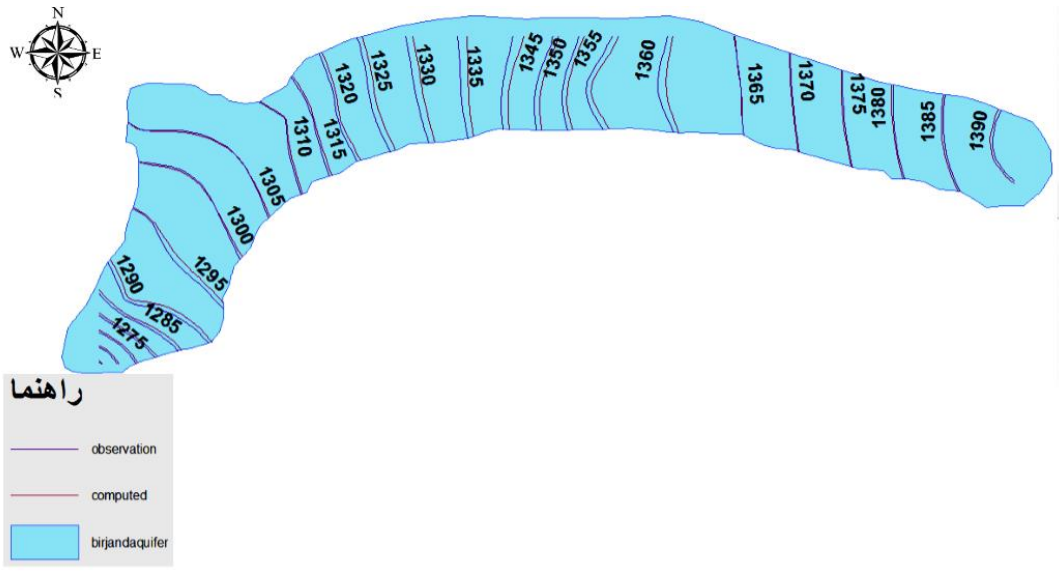
بعد از کالیبره کردن مدل، خطا در تمام پیزومترها در حالت غیرماندگار برای تمام ۱۲ دوره تنش کم‌تر از ۲ متر است و RMSE در حالت غیرماندگار۱/۰۷۱ متر است. شکل۴ سطح آب تخمین زده شده را در حالت غیرماندگار بعد از کالیبره‌کردن نشان می‌دهد. همان-طور که مشاهده می‌شود بیش‌ترین سطح آب در آبخوان ۱۳۶۹ در شرق منطقه مطالعاتی می‌باشد و در جهت جنوب‌غربی منطقه مطالعاتی سطح آب زیرزمینی به ۱۲۶۳ کاهش پیدا می‌کند. شکل ۵ تفاوت بین سطح آب مشاهداتی و سطح آب محاسباتی توسط مدل را نشان می‌دهد.

اصلاحات آب‌دهی ویژه در حالت غیرماندگار

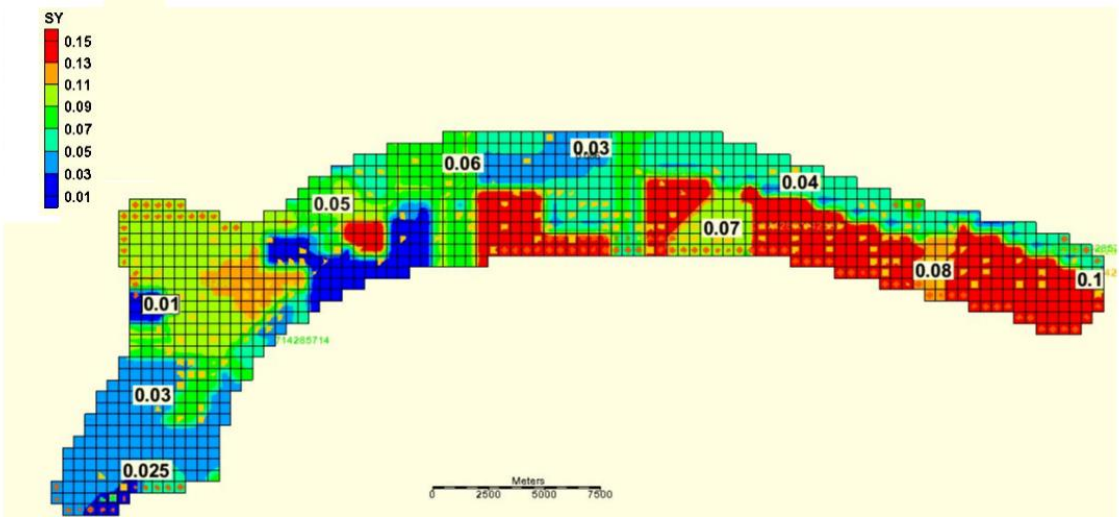
در شکل۶ مقادیر آب‌دهی ویژه آبخوان بیرجند بعد از واسنجی نشان داده شده است.



شکل ٤- سطح آب تخمین زده شده در حالت غیرماندگار



شکل ٥- تفاوت بین خطوط مشاهداتی و محاسباتی مدل modflow



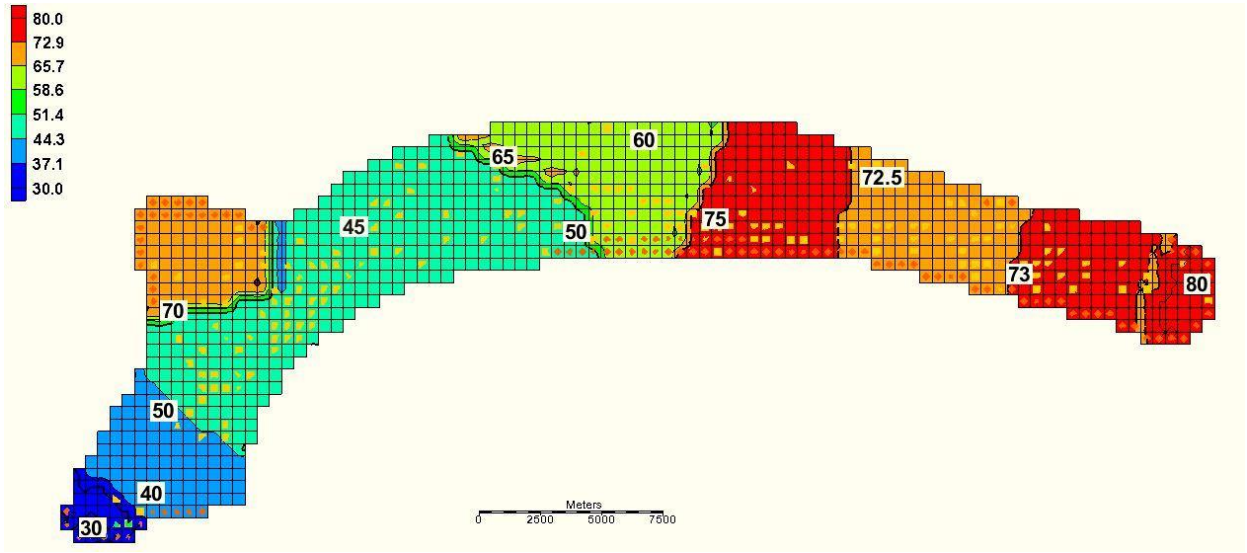
شکل ٦- مقادیر آبدهی ویژه پس از واسنجی

آبدهی ویژه در نوسان فصلی سطح آب زیرزمینی و جهت حرکت آن تاثیر می‌گذارد طبق این تغییرات تصحیحاتی برای آبدهی ویژه انجام شد و مقادیر صحیح آب‌دهی ویژه بعد از واسنجی در شکل ۶ نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود آبدهی ویژه در نواحی شرقی و میانی دشت ۰/۱-۰/۰۷ است و بیش‌تر از قسمت‌های غربی می‌باشد. می‌توان نتیجه گرفت حرکت آلاینده در این نواحی راحت‌تر از نقاطی با آبدهی ویژه کم‌تر خواهد بود. در ناحیه غربی آبخوان موردنظر آب‌دهی ویژه ۰/۰۳-۰/۰۱ است.

مدل کیفی MT3DMS

ضریب پخش طولی در مدل کیفی

در شکل ۷ مقادیر پخش ضریب طولی در آب زیرزمینی بیرجند نشان داده شده است.



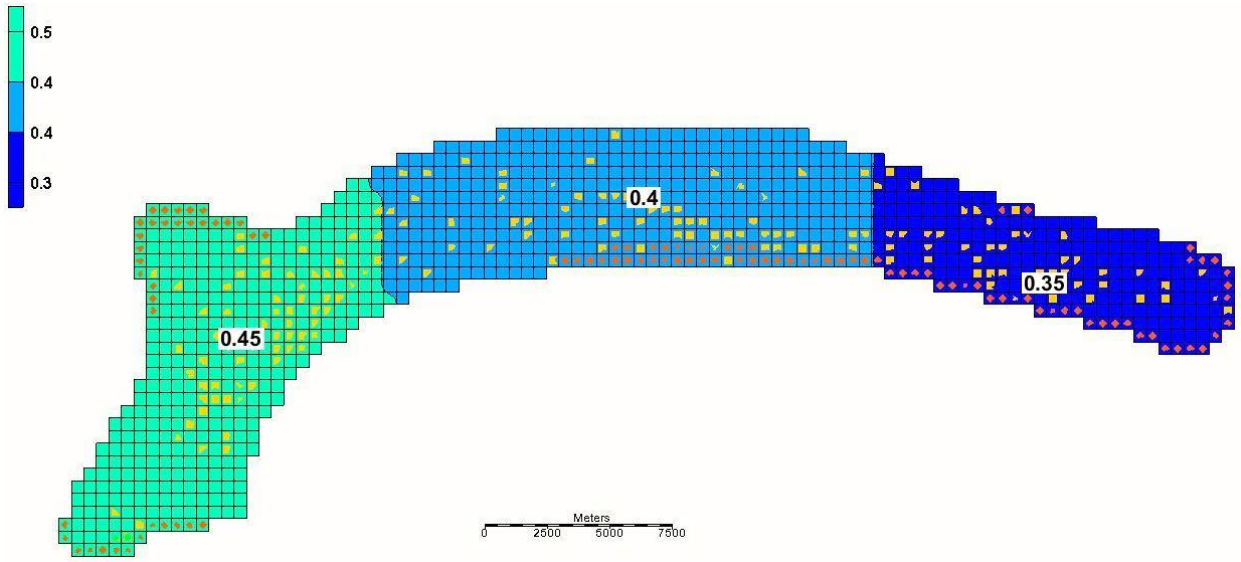
شکل ۷- مقادیر ضریب پخش طولی در آبخوان

ضریب پخش طولی در مدل ریاضی آلودگی یکی از پارامترهای موثر در نتایج مدل می‌باشد. این پارامتر ظرفیت قابلیت پراکندگی محلول را در آکیفر نشان می‌دهد. با توجه با این‌که تخمین واقعی این پارامتر احتیاج به تست ردیابی و اندازه‌گیری آزمایشگاهی دارد. ولی هیچ‌گونه تست ردیابی در منطقه مطالعاتی وجود ندارد. در ابتدا آبخوان بیرجند به ۸ منطقه برای ورود اعداد ضریب پخش طولی بصورت تصادفی به مدل تقسیم شد و بعد از کالیبره شدن نقشه ضریب پخش طولی بصورت شکل۷ نمایش داده شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود

ضرایب پخش طولی از ناحیه شرقی با عدد ۸۰ شروع می‌شود و در جهت نواحی غربی آبخوان این ضریب کاهش پیدا می‌کند. در قسمت زهکش آبخوان ضریب پخشیدگی طولی به ۳۰ می‌رسد.

تخلخل

شکل شماره ۸ مقادیر ورودی تخلخل به مدل کیفی را نشان می‌دهد.

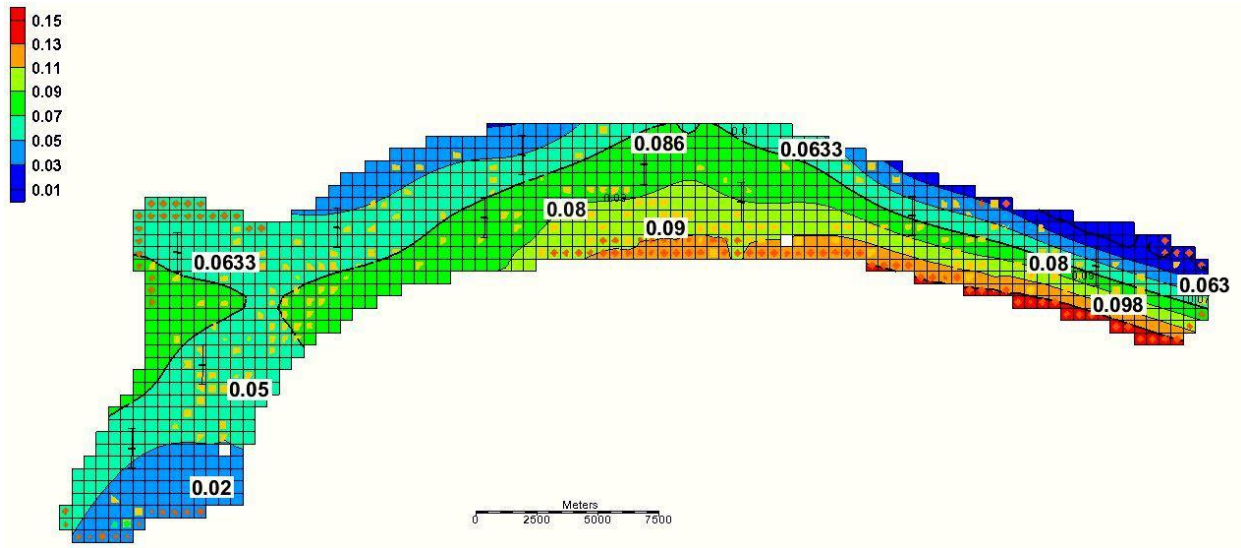


شکل ۸- مقادیر ورودی تخلخل به مدل کیفی

تخلخل برای محاسبه سرعت در مدل انتقال باید وارد گردد. بدین منظور ابتدا ناحیه‌بندی صورت گرفت و براساس جنس زمین مقادیر تخلخل به نواحی اختصاص یافت. با توجه به بافت درشت‌دانه آبخوان که غالبا شن است، میزان تخلخل در حدود ۰/۴۵-۰/۳ در نظر گرفته شد.

خروجی مدل کیفی

شکل شماره ۹ نقشه خروجی کیفی را در شهریور ۱۳۹۱ نشان می‌دهد.



شکل ۹- مقادیر اولیه غلظت کروم در مدل کیفی

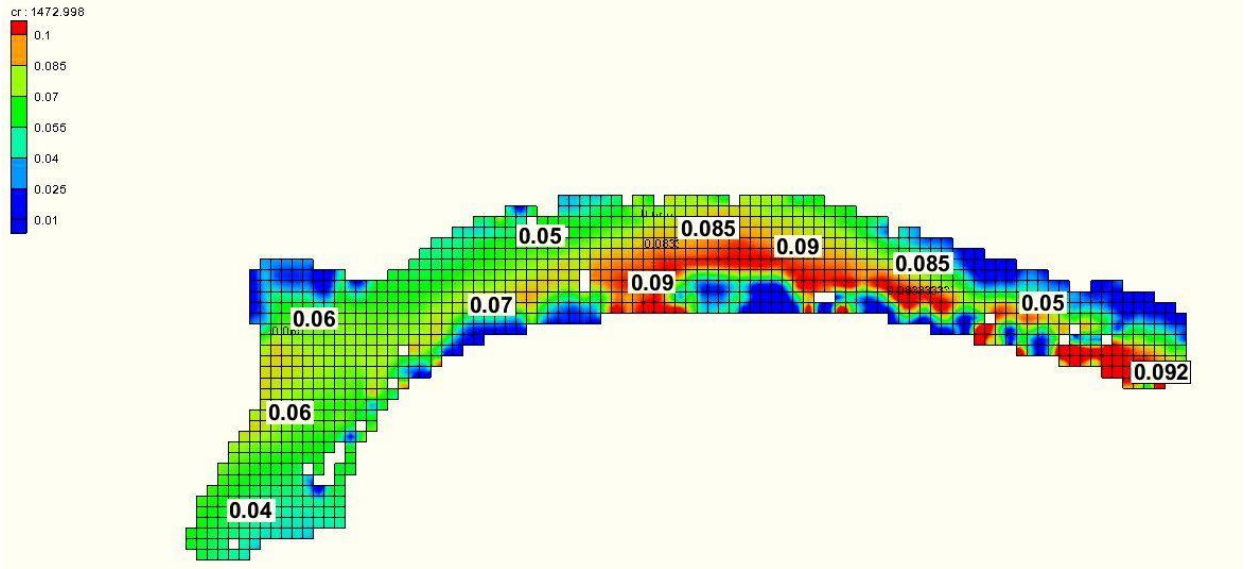
بعد از واسنجی مدل کیفی مقدار RMSE به حد قابل‌قبولی می‌رسد. RMSE در مدل کیفی برابر با ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در لیتر است. این نقشه بیان می‌کند که در قسمت میانی دشت غلظت کروم بسیار بالاست و از حدود ۰/۰۵ mg/lit(استاندارد WHO) فراتر می‌رود. در بعضی از نواحی این مقدار به حدود ۰/۰۹ می‌رسد و در سایر قسمت‌های منطقه مورد مطالعه مقدار غلظت از حد استاندارد پایین‌تر می‌باشد (۰/۰۵-۰/۰۳).

صحت‌سنجی

پس از واسنجی مدل برای اطمینان از قابلیت مدل برای پیش‌بینی سطح آب در آینده، باید مدل در شرایط زمانی متفاوت نسبت به دوره شبیه‌سازی مورد امتحان قرار گیرد و یا به عبارتی دیگر صحت‌سنجی شود. بدین منظور به مدل اصلی داده‌های سال بعد افزوده شده و شبیه‌سازی برای سال بعد انجام گرفت و سطح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده با مشاهداتی مقایسه شد. خطای میانگین (ME)، خطای میانگین مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) به ترتیب ۰/۰۳-، ۱/۴۳ و ۲/۱۵ محاسبه شد. ملاحظه می‌گردد که مدل به درستی شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در آبخوان را انجام داده است.

نتایج پیش‌بینی

شکل ۱۰ اجرای مدل کیفی پس از ۱۴۷۲ روز از اولین روز شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰- اجرای مدل کیفی پس از ۱۴۷۲ روز برای کروم

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود مساحت نواحی بحرانی (رنگ قرمز) افزایش پیدا کرده است. این در حالی است که نرخ برداشت از آبخوان دشت بیرجند افزایش پیدا نکرده است. با توجه به شکل ۱۰ غلظت کروم از منطقه شرقی تا ناحیه مرکزی آبخوان به عدد ۰/۹ mg/lit نزدیک شده است.

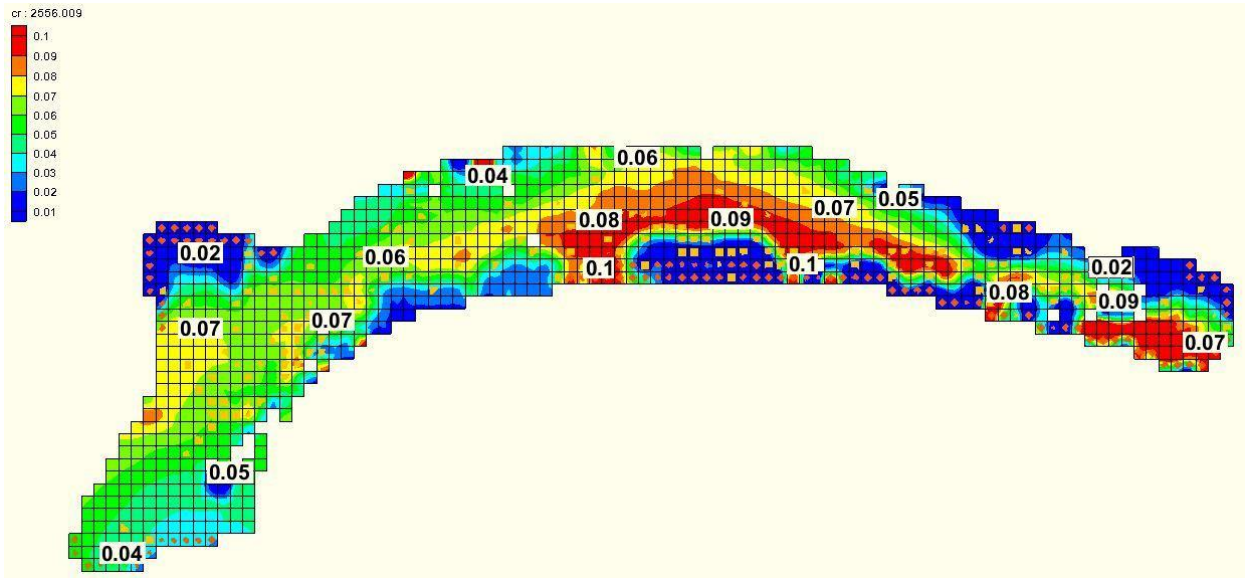
شکل ۱۱ تغییرات غلظت کروم با اعمال سناریو افزایش برداشت سالانه ۵ ٪ تا سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

با اعمال سناریو افزایش ۵٪ برداشت بصورت صعودی از سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ مشاهده می‌شود غلظت کروم نسبت به شرایط عدم تغییر در برداشت مقداری افزایش پیدا کرده است و محدوده شهری آبخوان بیرجند دارای غلظت کروم معادل دو برابر حد مجاز است. در شکل ۱۱ تغییرات غلظت این آلاینده در پایان روز ۲۵۵۶ ام در پهنه آبخوان مشاهده می‌شود. این تغییر غلظت بدلیل کاهش سطح آب زیرزمینی در اثر افزایش برداشت سالانه است. هر چه کسری ذخیره آبخوان افزایش پیدا کند آلاینده کروم فرصت بیش‌تری برای گسترش در پهنه آبخوان پیدا خواهد کرد.

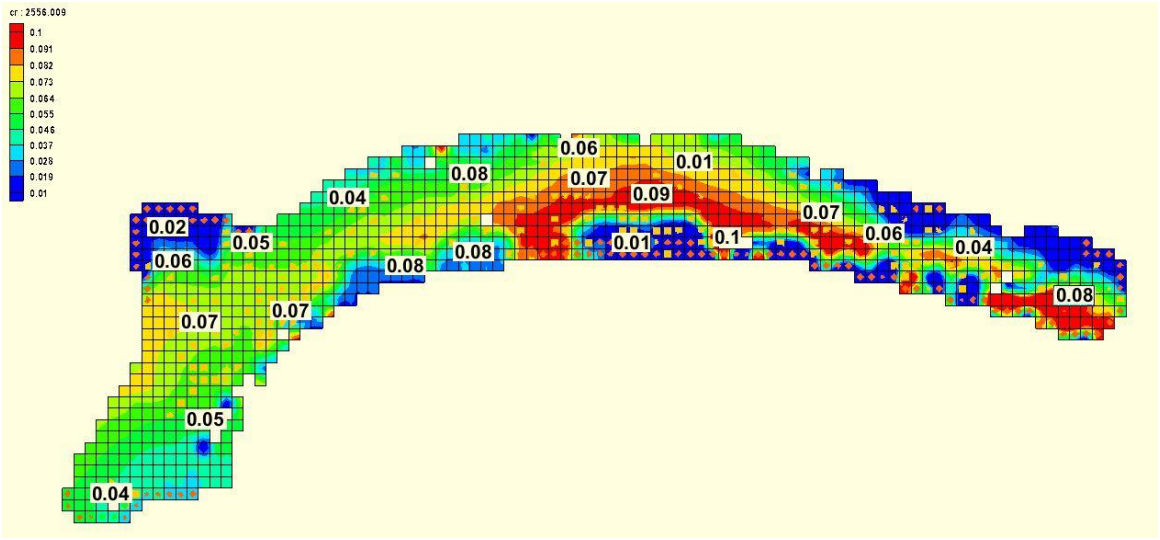
شکل ۱۲ تغییرات غلظت کروم با اعمال سناریو کاهش برداشت سالانه ۵ ٪ تا سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ را نشان می‌دهد.

با اعمال سناریو کاهش ۵٪ برداشت بصورت نزولی از سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰ تا سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ مشاهده می‌شود مساحت مربوط به عدد mg/lit ۰/۱ برای آلاینده کروم نسبت به سناریو افزایش برداشت کم‌تر شده است. در شکل ۱۲ تغییرات غلظت این آلاینده در

پایان روز ۲۵۵۶ ام در پهنه آبخوان مشاهده می‌شود. با کاهش برداشت بصورت سالانه و تدریجی و کنترل تخلیه آبخوان، کسری مخزن آب زیرزمینی بیرجند کاهش پیدا می‌کند و می‌توان در دراز مدت غلظت آلاینده کروم را کاهش داد.



شکل ۱۱- تغییرات غلظت کروم آبخوان در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ (با افزایش ۳۰٪ برداشت نسبت به سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰)



شکل ۱۲- تغییرات غلظت کروم آبخوان در سال ۱۳۹۸-۱۳۹۷ (با کاهش ۳۰٪ برداشت نسبت به سال ۱۳۹۱-۱۳۹۰)

نتیجه‌گیری

مدل کمی و کیفی آبخوان غیرمحصور دشت بیرجند با استفاده از کد عددی MODFLOW و MT3D شبیه‌سازی شد. ارزیابی دقت واسنجی مدل با استفاده از معیارهای ارزیابی میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) انجام گرفت. مقادیر معیارهای فوق در دوره واسنجی به ترتیب برای مدل کمی ۰/۰۹، ۰/۹۴۴ و ۱/۰۷۱ متر و برای مدل کیفی ۰/۰۰۳، ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۸ میلی‌گرم در لیتر حاصل گردید. با تحلیل نتایج حاصل می‌توان دریافت که مدل دقت بسیار بالایی در تخمین پارامترهای آبخوان دارد. هم‌چنین ملاحظه شد ارتفاع سطح آب زیرزمینی از شرق به غرب روند نزولی دارد و در نتیجه جهت عمومی جریان آب زیرزمینی در دشت بیرجند در همین راستا است. مقدار افت سطح آب زیرزمینی در منطقه غربی آبخوان نسبت به سایر نقاط بیش‌تر است. این موضوع بدلیل تغذیه طبیعی آبخوان از ناحیه شرق و وجود زهکش در جنوب‌غربی آب زیرزمینی بیرجند است. مقادیر تراز

آب در منطقه شرقی حدود ۱۳۹۶ متر و در جنوب‌غربی آبخوان که آب در حال خروج از زهکش می‌باشد مقدار تراز آب به ۱۲۶۳ متر می‌رسد. میزان غلظت کروم در قسمت میانی دشت بیش‌تر از حد مجاز استاندارد WHO می‌باشد. حرکت تدریجی منحنی حداکثر غلظت کروم آبخوان از مناطق مرکزی به سمت شرق و غرب آبخوان مشاهده می‌شود. با توجه به پایین آمدن سطح تراز آب زیرزمینی به مرور زمان حرکت حداکثر غلظت کروم افزایش پیدا می‌کند. در نتیجه تغییرات غلظت کروم آبخوان به نوسانات سطح آب زیرزمینی بستگی دارد.

حداکثر غلظت این آلاینده در ناحیه شرقی آبخوان است. این ناحیه محل سکونت می‌باشد و می‌تواند آسیب جدی به سلامت ساکنین شهر بیرجند وارد کند. بدلیل غلظت بسیار پایین کروم در محدوده پهناور آبخوان تغییر غلظت این آلاینده نسبت به زمان‌های کوتاه مدت بسیارکم می‌باشد. در نتیجه نیاز به برنامه‌ریزی بلندمدت برای تعدیل غلظت کروم احساس می‌شود.

منابع

اکبرپور،ا.، عزیزی،م و شیرازی،م. ۱۳۸۹. مدیریت بهره‌برداری آب‌های زیرزمینی دشت مختاران با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS . نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران.

اکبرپور،ا.، قوچانیان حق‌وردی،ا و اعتباری،ب. ۱۳۹۱. مدیریت آب‌های زیرزمینی با استفاده از تلفیق مدل‌های WEAP و Modflow. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

خوش‌نامی،م. ۱۳۷۲. کاربرد روش شبیه‌سازی در مدیریت منابع آب دشت خفر با تاکید بر بهر برداری تلفیقی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

ابارشی،ف.، مفتاح هلقی،م.، دهقانی،ا.، کابلی،ع و رحیمیان،م. ۱۳۹۳. مدیریت آبخوان دشت زرین‌گل در استان گلستان با استفاده از مدل آب زیرزمینی. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۱. ۶: ۲۸۱-۲۹۲

پارساصدر،ح.، محمدزاده،ح و ناصری،ح. ۱۳۹۵. شبیه‌سازی عددی آبخوان دشت رواب سبزوار و بررسی اثرات احداث سد رواب بر آن. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۳. ۱: ۱۳۵-۱۱۹

سعیدی،ح.، اکبرپور،ا.، باغوند،ا.، نیک‌سخن،م و صادقی طبس،ص.، ۱۳۹۴. ارایه مدل شبیه‌ساز- بهینه‌ساز کمی و کیفی بهره‌برداری از آبخوان به منظور تعدیل غلظت آلاینده‌ها با استفاده از الگوریتم فاخته. مجله پژوهشی حفاظت آب و خاک گرگان. ۲۳ :۵. ۸۷-۱۰۳

سعیدی،ح.، باغوند،ا.، نیک‌سخن،م.، اکبرپور،ا و صادقی طبس،ص.، ۱۳۹۴. پیش‌بینی روند یک‌ساله تغییرات سطح آب زیرزمینی با استفاده از کد منبع باز، مطالعه موردی: دشت بیرجند، استان خراسان‌جنوبی. فصل‌نامه بین‌المللی پژوهشی تحلیلی منابع آب و توسعه.۳ .۲ :۱۰-۱

شهریاری،ط.، معاشری،ب.، شریف‌زاده،غ. ۱۳۸۹. غلظت کروم در آب-های زیرزمینی و شبکه توزیع آب آشامیدنی بیرجند در سال ۱۳۸۹-۱۳۸۸ . مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی بیرجند. ۱۸. ۱: ۶۲-۶۷

کتیبه،ه و حافظی،س. ۱۳۸۳. بکارگیری مدل Modflow و مدیریت بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی و ارزیابی عملکرد طرح تغذیه مصنوعی دشت آب باریک بم .مجله آب و فاضلاب. ۵۰ . ۱ :۵۸-۴۵

محتشم،م.، دهقانی،ا.، اکبرپور،ا.، مفتاح هلقی،م و اعتباری،ب. ۱۳۹۰. پیش‌بینی سطح ایستابی در آبخوان با بکارگیری نرم‌افزار GMS (مطالعه موردی: آبخوان بیرجند). چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران.

همراز،ب.، اکبرپور،ا و پوررضا بیلندی،م. ۱۳۹۲. تحلیل عدم قطعیت در شبیه‌سازی مدل آب زیرزمینی. اولین همایش ملی بهینه‌سازی مصرف آب. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

Anderson,M and Woessner,W. 1992 .Applied groundwater modeling Academic press. 381. 22

Bougherira,N., Hani,A., Djabri,L., Toumi,F., Chaffai,H., Haied,N., Nechem,D and Sedrati,N. 2014. Impact of the urban and industrial waste water on surface and groundwater, in the region of Annaba, (Algeria). Energy Procedia 50 :692-701

Hamraz,B., Akbarpour,A. , Pourreza Bilondi,M and Sadeghi Tabas,S. 2015. On the assessment of ground water parameter uncertainty over an arid aquifer. Arabian Journal of Geosciences. In press

Levankumar,L., Muthukumaran,V and Gobinath,M.B. 2009. Batch adsorption and kinetics of chromium (VI) removal from aqueous solutions by Ocimum americanu, seed pods. Journal of Hazardous Materials. 161. 20 : 709-13.

Regli,C, Rauber,M and Huggenberger,P. 2003. Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: a case study from the river.

Selvi,K., Pattabhi,S and Kadirvelu,K. 2001. Removal of Cr (VI) from Aqueous Solution by Adsorption onto Activated Carbon. Bioresource Technology. 80 .1 : 87-89.

Sun,N and Yeh,W.W. 1987. A Proposed Upstream

Ferrando,D. 2013. Modeling the impact of solute recycling on groundwater salinization under irrigated lands: A study of the Aloto Piura aquifer, Peru. Journal of Hydrology. 482.16:25-3

Weight Numerical Method for Simulating Pollutant Transport in Groundwater. Water Resource Research. 19 .1 : 1489-1500.

Yakirevich,A., Weisbrod,N., Kuznetsov,M., Riveria Villarreyes,C,A., Benavent,I., Chavez,A,M.,

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 12, Des.-Jan. 2018, p. 1203-1216

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره۵، جلد ۱۲، آذر - دی ۱۳۹۷، ص. ۱۲۱۶-۱۲۰۳

Numerical Simulation of Chromium Changes Trend in Aquifer of Birjand Plain

A. Farpoor[1], Y. Ramezani[2]* and A. Akbarpour[3]
Recived: Apr.30, 2018 Accepted: Jul.16, 2018

Abstract

Numerical quality and quantity simulation of groundwater, is an important tool for managing groundwater resources. According to the measurements taken from the density of chromium in drinking water wells of urban water in distribution network of Birjand, the chromium content is higher than permissible limit (Density of more than 0.05 mg/lit). Therefore, the purpose of this research is quantitative and qualitative simulation of groundwater in unconfined aquifer of Birjand using mathematical model and change trend of chrome density. To do this, numerical codes of MODFLOW and MT3D which is in groundwater modelling software (GMS), were used. At first, needed statistics and information for preparing a conceptual model of plain was collected. Then the simulation was done in the software and the model was ran. Then the calibration of qualitative and quantitative mathematical model in Birjand aquifer was done in transient conditions. Hydraulic conductivity and specific yield values for the quantitative model and longitudinal diffusivity coefficient values and porosity was calibrated for qualitative model. Finally, the simulation was performed for a one-year period. The forecast was done for 6 years after the simulation with 30% reduction and increase of harvest. In the quantitative model, the highest water level was estimated in the eastern part of the aquifer is 1296 m and the lowest water level is 1263 m close to the groundwater drainage in the southwest aquifer region. Qualitative model output indicated the highest density of chromium in the middle of the aquifer. Also the gradual movement curve of the maximum chromium aquifer density was from the central zones toward the east and west of the aquifer. For evaluating the calibration, features of GMS software such as Mean Error, Mean Absolute Error and Root Mean Square Error was used that the values of these statistical parameters were 0.09, 0.944 and 1.071 m for quantitative model and 0.003, 0.004 and 0.008 mg/lit for quantitative model. The results of qualitative and quantitative modelling of Birjand aquifer shows that the density of chromium in the central areas of Birjand groundwater is more than 0.05 mg/lit, which is more than WHO standards for drinking water. This density increases during simulation and chromium Density and reaches 0.09 mg/lit. Also the density variation of this contaminant depends on fluctuations in groundwater levels and by increasing the water level, chromium levels can be reduced in the aquifer. As well as during recent years, chromium density in the aquifer always have increasing trend. By applying the reduction scenario of harvest from the aquifer, the area of the critical zone has decrease and increasing scenario of harvest, in comparison with harvest reduction, shows less changes in density and area of the critical zone.

Keywords: Birjand aquifer, Groundwater, MODFLOW, MT3D, Qualitative modelling, Quantitative modelling

1- Graduated Master, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of birjand
2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of birjand
3- Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of birjand
(* - Corresponding Author Email: y.ramezani@birjand.ac.ir)