



Investigating Effect of Climate Change and Human Activities on Groundwater Level and Quality in Semiarid Regions

M. Khalaj¹, M. Kholghi^{2*}, B. Saghafian³,
and J. Bazrafshan⁴

Abstract

Recognition of performance and prediction of how climate change and human activities affect the groundwater resources is necessary in Groundwater resources management. Groundwater resources play an important role in supplying domestic, agricultural and industrial water in semi arid regions. In such regions, increasing population and water demand along with the climate change, causes negative effect on groundwater quality and quantity. In this research important factors influencing groundwater quality and quantity changes has been investigated. In the first step, GMS10.05 software was used for determining and simulating characteristics of Mahabad aquifer, in western Iran. After calibration and validation of model, we researched about effective factors influencing groundwater change. To this aim, results was obtained without human activity factors in the first run. In this condition average of groundwater level was obtained to be 3 meters higher than the groundwater level observations. Investigating the construction of dam as an anthropogenic activity factor showed that the dam construction causes groundwater level to be 1.11 meters lower than the pervious condition. We then predicted the groundwater EC and SAR using GEP as a function of groundwater level. We concluded that anthropogenic activities in comparison to the natural changes are the primary force which demolishes the groundwater level and quality and changing the irrigation of groundwater class to C3S1. The result of this study is applicable in developing criteria for adaptation groundwater resource management in future.

Keywords: Mahabad Plain, Groundwater, Climate Change, Anthropogenic Factors.

Received: March 15, 2018

Accepted: April 21, 2019

بررسی تأثیر عوامل انسانی و اقلیمی بر تغییرات تراز و کیفیت آب زیرزمینی در مناطق نیمه خشک

معصومه خلیج^۱، مجید خلقی^{۲*}، بهرام ثقفیان^۳
و جواد بذرافشان^۴

چکیده

مدیریت منابع آب زیرزمینی، نیازمند شناخت عملکرد آن و پیش‌بینی تأثیر عوامل مختلف اقلیمی و انسانی می‌باشد. منابع آب زیرزمینی، نقش اساسی در تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعت در مناطق نیمه خشک به عهده دارند. در این مناطق رشد سریع جمعیت و تقاضای آب به همراه تغییر اقلیم، تأثیرات منفی بر کیفیت و کمیت منابع آب زیرزمینی دارد. در این تحقیق بررسی عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی مورد توجه قرار گرفته است. به این منظور، ابتدا جهت شناخت و شبیه‌سازی ویژگی‌های آبخیز دشت مهاباد از مدل GMS10.05 استفاده شد. پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، عوامل تأثیرگذار بر تراز آب زیرزمینی مورد بررسی قرار گرفت و به این منظور، ابتدا مدل با حذف عوامل اصلی انسانی تأثیرگذار شامل برداشت از منابع آب زیرزمینی و احداث سد اجرا شد. در مرحله دوم، تأثیر احداث سد به عنوان یک عامل انسانی تأثیرگذار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی در حالت اول و دوم به ترتیب، تراز آب زیرزمینی را به طور متوسط به اندازه ۳ متر و ۲/۸۹ متر بالاتر از مقدار کنونی پیش‌بینی کرد. به منظور بررسی تأثیر عوامل مذکور بر کیفیت آب زیرزمینی از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن استفاده شد. به این منظور پارامتر شوری آب زیرزمینی به عنوان تابعی از تراز آب زیرزمینی شبیه‌سازی شد. نتایج بررسی نشان داد تأثیر عوامل انسانی بر کیفیت و کمیت آن غالب بوده و موجب تغییر کلاس آب آبیاری شده است. نتایج تحقیق در اعمال سیاست‌های مدیریت تطبیقی در آینده قابل استفاده خواهد بود.

کلمات کلیدی: دشت مهاباد، آب زیرزمینی، تغییر اقلیم، عوامل انسانی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۲/۱

1- Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch of Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Email: khalaj.m25@gmail.com

2- Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Agricultural and Natural Resources College, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: mkholghi@gmail.com

3- Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch of Islamic Azad University, Tehran, Iran. Email: b.saghafian@gmail.com

4- Associate Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Agricultural and Natural Resource College, University of Tehran, Karaj, Iran. Email: jbazr@ut.ac.ir

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران.

۲- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران - کرج.

۳- استاد گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی تهران.

۴- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران.

*- نویسنده مسئول

بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۸ امکانپذیر است.

۱- مقدمه

منابع آب زیرزمینی رابطه مستقیمی با موجودیت انسان و توسعه پایدار دارد؛ چرا که این منابع نقش مهمی در منابع آب ایفا می‌کنند. بسیاری از انسان‌ها، در سراسر جهان، نیاز روزانه خود به آب را از طریق منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کنند.

منابع آب زیرزمینی از فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی تأثیر می‌پذیرند. به عنوان مثال تغییر اقلیم موجب افزایش دما شده و از این طریق الگوی بارش را تغییر می‌دهد که تأثیر مستقیمی بر تراز آب زیرزمینی دارد. تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی انجام شده است. Shamir et al. (2015) در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که در اثر تغییر اقلیم تغذیه سفره آب زیرزمینی کاهش یافته و در نتیجه اطمینان‌پذیری از تأمین آب نیز در منطقه آریزونا کاهش می‌یابد. در تحقیق دیگری که توسط Touhami et al. (2015) در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی در اسپانیا انجام شد، نتیجه به دست آمده حاکی از کاهش ۳ تا ۵ درصدی تغذیه سفره آب زیرزمینی در اثر تغییر اقلیم بود. Ali et al. (2012) در تحقیقی که بر روی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی انجام دادند، تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی را، به علت مدت زمان طولانی مورد نیاز جهت تغییرات تغذیه و تراز آب زیرزمینی، نسبتاً کم پیش‌بینی کردند. Kurylyk et al. (2013) از ۷ سناریوی اقلیمی که ترکیبی از مدل‌های GCM و روش‌های ریزمقیاس‌سازی و سناریوهای انتشار بود برای بررسی تغییرات تغذیه سفره آب زیرزمینی و عدم قطعیت ناشی از آنها در شرایط تغییر اقلیم در شرق کانادا استفاده کردند و تغییرات تغذیه را در رنج وسیع ۵۸٪ تا ۶٪- نسبت به دوره پایه پیش‌بینی کردند. Guomin and Yuan (2013) مخروط افت آب زیرزمینی را بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۱ در منطقه‌ای از چین بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مخروط افت از سال ۱۹۷۰ شروع شده و پروژه انتقال آب می‌تواند در کاهش برداشت از آبخوان و بازیافت آن بسیار مؤثر باشد. Xue et al (2014) عوامل مؤثر بر تغییرات تراز آب زیرزمینی را با استفاده از آنالیز منطقی‌گری بررسی کردند و نتیجه به دست آمده حاکی از غالب بودن تأثیر عامل انسانی برداشت از آبخوان بود. Havril et al. (2018) تأثیر تغییر اقلیم بر تغذیه سفره آب زیرزمینی را بررسی کردند و نتایج نشان داد روند تغییر اقلیم در آینده، موجب از بین رفتن سیستم جریان آب زیرزمینی می‌شود. Quintana et al. (2018) مدل دینامیکی به منظور برداشت از منابع آب زیرزمینی در شرایط تغییر اقلیم توسعه دادند و افزایش برداشت به میزان ۲۹/۵ درصد را در ۲۳ سال آینده پیش‌بینی

کردند. Bayat et al. (2018) نوسانات عمق آب زیرزمینی تحت تأثیر خشکسالی هواشناسی را در آبخوان کمیجان بررسی کردند. بررسی‌ها براساس آزمون همبستگی پیرسون در مقیاس ماهانه انجام گرفت. نتایج نشان داد وقوع شاخص خشکسالی هواشناسی با تأخیر ۹ ماهه، بیشترین تأثیر را در شاخص آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه دارد. مقایسه میانگین عمق آب در سال‌های خشک و تر نیز بیانگر آن بود که وقوع خشکسالی منجر به افت ارتفاع آب به میزان ۱/۱۷ متر می‌شود. Bayat and Gheisari (2018) اثر پدیده انسو بر تغییرات تراز آب زیرزمینی ماهانه را در دو استان اصفهان و هرمزگان بررسی کردند. نتایج نشان داد بیشترین همبستگی تراز آب زیرزمینی، به ترتیب به شاخص نوسان شمالی (NOI¹) و شاخص چند متغیره انسو (MEI²) تعلق دارد.

روشن است که سیستم‌های آب زیرزمینی متأثر از تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی شامل ساخت سد، حفر چاه و متعاقباً برداشت مضاعف از منابع آب زیرزمینی به علت سوء مدیریت در منطقه، توسعه کشاورزی و تغییر الگوی کشت، رشد جمعیت و توسعه صنعت هستند. از سال ۱۹۶۰ و در پی دسترسی به سیستم پمپاژ در چاه‌ها شاهد توسعه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی به منظور تأمین نیازهای مربوط به کشاورزی و صنعت و تأمین نیاز شرب بودیم. ترکیبی از تغییر اقلیم و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی موجب کاهش تراز آب زیرزمینی و تخلیه منابع آب زیرزمینی، نشست زمین و هجوم آب شور شده است. برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی مناطق وسیعی از جمله نواحی مرکزی ایالات متحده، شمال چین و هند و همچنین مناطقی از ایران را تحت تأثیر قرار داده است (Custodio, 2014). Nadiri et al. (2017) از مدل‌های هوش مصنوعی شامل شبکه‌های عصبی پیشرو (FNN³)، شبکه‌های عصبی برگشتی (RNN⁴) و برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP⁵) جهت بررسی تغییرات سطح آب زیرزمینی دشت استفاده کردند. آنها با استفاده از نتایج مدل هوش مصنوعی مرکب، تأثیر کاهش ۳۰ و ۵۰ درصدی تخلیه از چاه‌های بهره‌برداری بر روی سطح آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان دهنده تأثیر بالای مقادیر پمپاژ نسبت به تغییرات آب و هوایی در تغییرات سطح آب زیرزمینی منطقه مطالعاتی می‌باشد.

در این تحقیق پس از بررسی تأثیر عوامل تأثیرگذار بر منابع آب زیرزمینی، به منظور بررسی تأثیر عوامل مذکور بر کیفیت و تغییرات کلاس آب آبیاری، از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن (GEP) استفاده شده است. این مدل در رابطه با علوم آب بسیار مورد استفاده قرار گرفته است.

به عنوان اصلی‌ترین رودخانه در جهت جنوب به شمال این محدوده در جریان است در ابتدای دشت از سال ۱۳۸۰ سد مهاباد بر روی رودخانه مهاباد احداث شده است.

بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در دشت مهاباد اکثراً از طریق چاه‌ها انجام می‌گیرد. در سال‌های اخیر به دلیل کاهش نزولات جوی و تغییر الگوی کشت و کشت گیاهان پرمصرف نظیر چغندر قند و سبزیجات، روند حفر چاه در دشت افزایش داشته است که بیشترین مناطق برای حفر چاه بخش‌های ابتدای دشت و در حاشیه ارتفاعات دشت بوده است. علت این امر را می‌توان بیشتر به دلیل افت کیفی منابع آب زیرزمینی در بخش مرکزی و انتهایی دشت دانست. مطابق آماربرداری سال ۱۳۹۰ میزان تخلیه بهره‌برداری از آبهای زیرزمینی دشت مهاباد توسط چاهها ۲۳/۹ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده و تعداد چاه‌ها برابر با ۱۳۶۹ عدد می‌باشد. لازم به ذکر است هر ساله به تعداد چاه‌های بهره‌برداری و میزان تخلیه از چاه‌ها افزوده می‌شود.

با استفاده از نتایج اندازه‌گیری طولانی مدت سطح آب چاه‌های مشاهده‌ای و هیدروگراف معرف تغییرات سطح آب آبخوان ابرفتی دشت مهاباد، در طول دوره آماری ۱۵ ساله سطح آب زیرزمینی ۱/۵ متر افت داشته است که متوسط سالیانه آن برابر با ۶ سانتی‌متر می‌باشد. مطابق بررسی‌های انجام شده هدایت الکتریکی از مرکز دشت به سمت ارتفاعات مشرف بر دشت افزایش می‌یابد بررسی کموگراف ابرفتی دشت نشان می‌دهد طی سال‌های اخیر روند تغییرات متوسط شوری در دشت به صورت افزایشی بوده است. در شکل ۲، تغییرات میانگین EC و SAR ارائه شده است.

(2010) Khatibi et al. در رابطه با قابلیت مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و انفیس (ANFIS⁶) و برنامه‌ریزی بیان ژن، در پیش‌بینی جریان رودخانه قزل ایرماق ترکیه، تحقیق کردند. نتایج عملکرد مدل برنامه‌ریزی بیان ژن را در پیش‌بینی سری‌های زمانی با پیک واحد و چندگانه، بهتر از مدل‌های دیگر ارزیابی کرد. در رابطه با آب زیرزمینی، (2016) Nadiri et al.، به کمک مدل GEP و Neuro-fuzzy، آسیب‌پذیری آب زیرزمینی نسبت به آلودگی‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی ارزیابی کردند و مطابق نتایج به دست آمده در رابطه با آبخوان اردبیل، شیوه استفاده شده توسط آنها قادر به تخمین آسیب‌پذیری سفره بوده است. (2008) Guven et al. از مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به منظور پیش‌بینی مقدار تبخیر استفاده کرده و عملکرد آن را قابل قبول ارزیابی کردند.

هدف از این تحقیق بررسی علل کاهش تراز آب زیرزمینی و تغییر کیفیت آن است تا روشن شود که هر کدام از عوامل انسانی و عوامل طبیعی چقدر تأثیرگذار بوده‌اند. بررسی این تأثیرات می‌تواند در اعمال سیاست‌های مدیریت تطبیقی در آینده، در دشت مورد مطالعه مورد استفاده قرار گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

محدوده مطالعاتی مهاباد حدود ۲/۹٪ از مساحت کل حوزه آبریز دریاچه ارومیه را شامل می‌شود که از این میزان ۲۴۹ کیلومتر مربع مربوط به وسعت دشت است. در شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. میانگین دمای سالانه دشت مهاباد ۱۱/۷ درجه سانتیگراد و میانگین سالانه بارش دشت مهاباد ۳۰۲ میلی‌متر است. رودخانه مهاباد

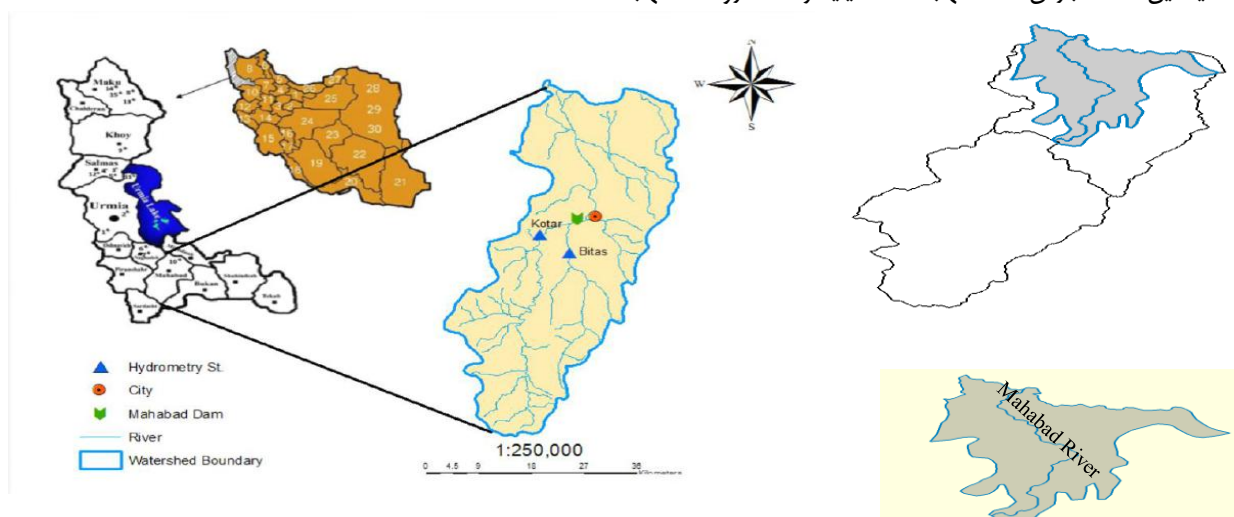


Fig. 1- Location of the study area
شکل ۱- نقشه منطقه مورد مطالعه



Fig. 2- Variation of EC and SAR in Mahabad plain groundwater resources

شکل ۲- تغییرات EC و SAR در دشت مه‌آباد

شده و شامل ۲۱ حلقه چاه مشاهداتی است. به کمک داده‌های مربوط به ۲۱ حلقه چاه مشاهداتی در محدوده مطالعاتی، مدل‌سازی تغییرات سطح آب زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی، محل تغذیه و تخلیه، تبادلات هیدرولیکی منابع آب سطحی و سایر ارزیابی‌های هیدروژئولوژیکی به دست آمد مکان این پیژومترها و محل قرارگیری آنها در دشت در شکل ۴ و جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۲- مدل آب زیرزمینی

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی از مدل GMS10 استفاده شد که به روش مفهومی جریان آب زیرزمینی را شبیه‌سازی می‌کند. این نرم‌افزار قابلیت تلفیق کد Modflow با نرم‌افزار GIS را دارد. این مدل جریان را به صورت سه بعدی و به روش تفاضل محدود برای حالت پایدار و ناپایدار شبیه‌سازی می‌کند.

معادله حاکم در این مدل‌سازی به صورت زیر بیان می‌شود. این معادله معادله عمومی جریان در آبخوان آزاد غیر ایزوتروپ ناهمگن می‌باشد که ناپایدار آن به صورت رابطه (۱) ارائه شده است:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h^2}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h^2}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h^2}{\partial z} \right) \pm w = s_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (1)$$

حال سؤال این است که چه مقدار از این تغییرات مربوط به عوامل انسانی و چه مقدار مربوط به عوامل اقلیمی است.

در طی سال‌های اخیر تغذیه و تخلیه سفره‌های آب زیرزمینی تغییر کرده است که این تغییرات تحت تأثیر عوامل انسانی و عوامل اقلیمی بوده است. در شرایط طبیعی تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی ناشی از نفوذ مربوط به بارش و جریان زیرزمینی ورودی و تغذیه مربوط به رودخانه است و تخلیه آب زیرزمینی نیز مربوط به خروجی از مرزها و تبخیر و زهکشی توسط رودخانه می‌باشد. در صورت دخالت عوامل انسانی استخراج آب زیرزمینی به وسیله پمپاژ از چاه‌ها به عوامل تخلیه آب زیرزمینی اضافه می‌شود.

ساخت سد به علت تأثیر در تغذیه و زهکشی جریان به عنوان یک عامل انسانی مطرح بوده و به علت متأثر شدن حجم آب ذخیره شده در مخزن سد به عنوان یک عامل اقلیمی نیز مطرح می‌باشد. جریان خروجی از سد بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ مطابق شکل ۳ می‌باشد.

در این تحقیق با توجه به کوهستانی بودن منطقه از بررسی عامل تبخیر به عنوان یک عامل اقلیمی تأثیرگذار صرف نظر شده است.

شبکه چاه‌های مشاهده‌ای به منظور اندازه‌گیری تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان آبرفتی از سال ۱۳۶۹ در این محدوده مطالعاتی ایجاد

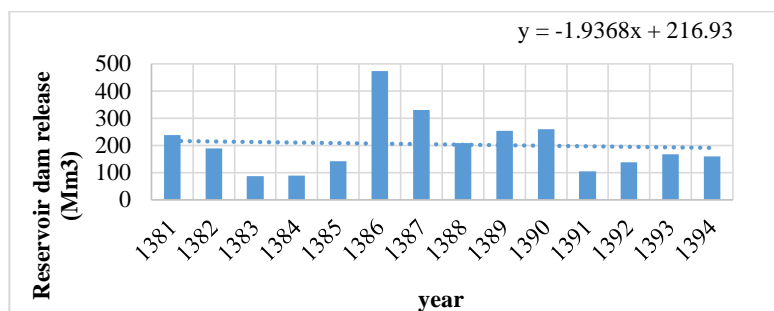


Fig. 3- Mahabad reservoir dam release variations from (Iranian) year 1381 to 1394

شکل ۳- حجم جریان خروجی از سد مه‌آباد بین سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴

Table 1- Spatial distribution of observed well in Mahabad plain

جدول ۱- مکان چاه‌های مشاهده‌ای در دشت مهاباد			
Piezometer location	Piezometer number	Piezometer location	Piezometer number
agrigash	12	Kose kahriz	1
Ghom ghale	13	Kose kahriz lands	2
laj	14	Ghere gheslagh	3
Ghare khan	15	Kohne deh	4
fakhrigah	16	Ghere gheslagh	5
Ghare khan lands	17	Ghezel gapi	6
hajikhosh	18	Ghezel gapi lands	7
gerdgorvi	19	Darлак lands	8
gabazle	20	gapis	9
Gorg tape	21	darлак	10
		daryas	11

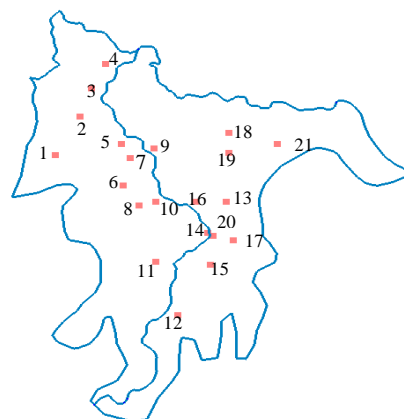


Fig. 4- Observed well in Mahabad plain
شکل ۴- چاه‌های مشاهده‌ای دشت مهاباد

برازش برای سنجش برازش فرمول‌ها. در واقع در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، کارایی یا سازگاری هر عضو جمعیت کروموزوم‌ها به کمک تابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تابع برازش مورد استفاده در این تحقیق به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f_i = \sum_{j=1}^n R - \left| \left(\frac{P_{ij} - T_j}{T_j} 100 \right) \right| \quad (2)$$

در رابطه بالا R محدوده انتخابی، P_{ij} مقدار پیش‌بینی شده به وسیله برنامه i برای مورد برازش j (از میان n مورد برازش) است و T_j مقدار هدف برای مورد برازش j است. بدین ترتیب به کمک تابع برازش و حفظ جواب‌های برتر و حذف جواب‌های ضعیف‌تر به تدریج به جواب مطلوب نزدیک می‌شویم.

۴. تعیین پارامترهای کنترل‌کننده اجرای برنامه (اندازه جمعیت، احتمال مربوط به بکارگیری عمل‌های ژنتیکی و جزئیات دیگر مربوط به اجرای برنامه)، ۵. معیار پایان و ارائه نتایج اجرای برنامه (مثل، تعداد تولید جمعیت جدید، تعیین یک مقدار مشخص برای برازش فرمول‌ها که اگر میزان برازش برابر یا بیشتر از آن مقدار شد، اجرا متوقف شود)

۲-۳-۱- الگوریتم تحقیق

فرآیند اجرایی گام به گام مدل برنامه‌ریزی بیان ژن به صورت مراحل زیر است: ۱- تولید یک جمعیت اولیه از فرمول‌ها که این فرمول‌ها از ترکیب تصادفی مجموعه توابع و ترمینال‌ها ایجاد می‌شوند، ۲- هر یک از افراد جمعیت مذکور با استفاده از توابع برازش مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، ۳- تولید یک جمعیت جدید از فرمول‌ها، که مراحل زیر برای تولید یک جمعیت جدید دنبال می‌شود: الف. یکی از عملگرهای ژنتیکی تلافی^۷، جهش^۸ و تولید مثل^۹ انتخاب می‌شود، ب. تعداد مناسبی از افراد جمعیت حاضر انتخاب می‌شوند، ج. از عملگر ژنتیکی

در معادلات فوق h ، S_y ، w و k به ترتیب سطح آب، آبدهی ویژه، میزان تخلیه یا تغذیه و ضریب هدایت هیدرولیکی می‌باشد.

در این تحقیق جریان آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به صورت غیر همگن؛ غیر ماندگار و سه بعدی شبیه‌سازی شد. مدل عددی به کار برده شده در تحقیق دارای ۱۰۰۰۰ سلول فعال است و مش‌بندی در ابعاد ۱۰۰ متر در ۱۰۰ متر انجام شده است.

بعد از ایجاد مدل به صورت مفهومی و شبکه‌بندی آن به صورت سه بعدی، مدل مذکور در شرایط غیر ماندگار برای سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۹۰ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ اجرا شد. اجرای مدل در سال‌های مذکور به ترتیب به منظور کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل انجام شده است.

۲-۳-۲- مدل برنامه‌ریزی بیان ژن

GEP روشی مناسب برای مدل‌سازی فرایندهای غیرخطی و پیچیده است. این نوع الگوریتم افرادی کدگذاری شده به شکل کروموزوم‌های خطی با طول ثابت و قابل بیان به شکل ساختارهای شاخه‌ای هستند. ساختار خطی کروموزوم‌ها موجب می‌شود که استفاده از عملگرهای ژنتیکی همیشه ساختارهای صحیح و معتبری تولید کند (Ferreira, 2001). نرم‌افزار مورد استفاده در این تحقیق GeneXproTools است. اولین مرحله در تخمین پارامترهای کیفی به کمک این نرم‌افزار، تولید جمعیت اولیه از راه حل‌ها است که به کمک یک سری توابع و ترمینال‌ها صورت می‌گیرد لذا قبل از مراحل اجرایی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، گام‌های مقدماتی تعیین می‌شوند.

۱. مجموعه ترمینال‌ها (متغیرهای مسأله، اعداد ثابت تصادفی)، ۲. مجموعه عملگرهای ریاضی مورد استفاده در فرمول‌ها، ۳. انتخاب تابع

هیدرولیکی، تغذیه سطحی، نقاط چاه‌های بهره‌برداری و نقاط چاه‌های مشاهده‌ای تعریف شد.

در این تحقیق از مجموعه رودخانه در نرم‌افزار GMS، برای محاسبه تبادل جریان بین رودخانه و آب زیرزمینی استفاده شد. در مرحله بعد شرایط مرزی و شرایط اولیه تعریف شد، شرایط مرزی شامل مرز بدون جریان و مرزهای با بار عمومی در نظر گرفته شد. آن چنان که در شکل ۵ ارائه شده است، صرفاً مرزهای شمال آبخوان (۱ و ۲)، مرزهای خروجی می‌باشند و سایر مرزها (۳ تا ۱۲)، مرزهای ورودی جریان هستند. همچنین، ماه شهریور به عنوان یک ماه بدون بارش، به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته شد و مدل‌سازی در مقیاس ماهانه انجام گرفت. منحنی‌های تراز آب زیرزمینی در ماه شهریور در شکل ۶ ارائه شده است. آن‌گونه که در شکل مشخص است در دشت مهاباد، رقوم تراز آب زیرزمینی از جنوب به شمال کاهش یافته و جهات جریان آب زیرزمینی نیاز تابع شیب توپوگرافی سطح زمین از جنوب به شمال می‌باشد.

پس از چندین بار اجرای مدل از بین پارامترهای ورودی، ضریب هدایت هیدرولیکی و آدهی ویژه به عنوان پارامترهای دارای بیشترین حساسیت تشخیص داده شد.

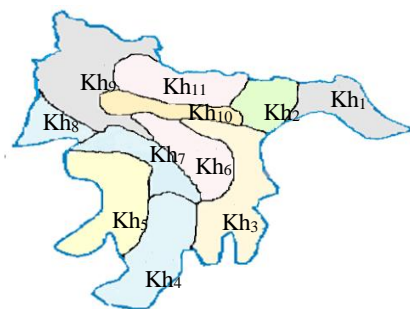


Fig. 5b- Hydraulic conductivity polygons
شکل ۵-ب- پلیگون بندی هدایت هیدرولیکی

انتخاب شده برای تولید فرزند استفاده می‌شود. د. فرزند تولید شده در یک جمعیت جدید وارد می‌شود. ه. مدل مورد نظر با استفاده از تابع برازش مورد ارزیابی واقع می‌شود. ۴- گام سوم تا نیل به حداکثر تعداد تولید، تکرار خواهد شد.

مدل برنامه‌ریزی بیان ژن بین متغیرهای ورودی و خروجی رابطه‌ای را برقرار می‌کند، لذا رابطه علت و معلولی بین تراز آب زیرزمینی و پارامترهای EC و SAR به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} SAR_{t+\delta\Delta t} &= f(H_t, H_{t-\Delta t}, \dots, H_{t-w\Delta t}) \\ EC_{t+\delta\Delta t} &= f(H_t, H_{t-\Delta t}, \dots, H_{t-w\Delta t}) \end{aligned} \quad (3)$$

در رابطه بالا EC هدایت الکتریکی خاک، SAR نسبت جذبی سدیم و H تراز آب زیرزمینی می‌باشد. ($\delta = 1, 2, \dots$) پارامتری است که نشان می‌دهد تا کجا تخمین EC و SAR مطلوب است. پارامتر w نشان‌دهنده این است که تا کجا داده‌های تراز آب زیرزمینی، روی تخمین EC و SAR با فواصل Δt تأثیر دارد.

۳- بحث و نتایج

۳-۱- کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل آب زیرزمینی

اولین مرحله در شبیه‌سازی مدل آب زیرزمینی، تهیه مدل مفهومی است، به این منظور ۵ پوشش شامل پلیگون مرز آبخوان، هدایت

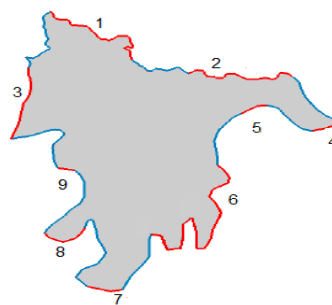


Fig. 5a- Boundary with general head condition
شکل ۵-الف- مرزهای با بار عمومی

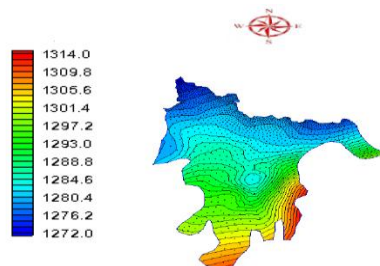


Fig. 6- Groundwater levels
شکل ۶- منحنی‌های تراز آب زیرزمینی

بعد از واسنجی و اعتبارسنجی مدل آب زیرزمینی، در ادامه تأثیر عوامل طبیعی و انسانی بر تغییرات تراز آب زیرزمینی آبخوان و پارامترهای کیفی در ۱۴ سال اخیر مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

۳-۲- مدل برنامه‌ریزی بیان ژن

در این تحقیق به منظور به دست آوردن پارامترهای کیفی EC، SAR آب زیرزمینی از مقادیر مشاهداتی این پارامترها و تراز آب زیرزمینی بین سال‌های (۱۳۹۴-۱۳۸۱) استفاده شد. ۷۰ درصد از داده‌های مذکور به منظور آموزش و ۳۰ درصد به منظور تست مدل مورد استفاده قرار گرفت. به این منظور دو مجموعه از عملگرهای ریاضی به صورت زیر مورد استفاده قرار گرفت.

مجموعه یک = $\{\pm, \times, /, \sqrt{\cdot}, \sin, x^2, x^3\}$

مجموعه دو = $\{\pm, \times, /, \}$

همچنین، پارامترهای لازم جهت تجزیه و تحلیل در این تحقیق که جزء گام‌های اولیه مدل برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشند به صورت جدول ۴ می‌باشد.

۳-۲-۱- نتایج حاصل از مدل‌سازی با مجموعه عملگرهای ریاضی یک و دو

با استفاده از هر کدام از عملگرهای ۱ و ۲ و به منظور انتخاب بهترین ترکیب جهت تخمین پارامترهای کیفی، متغیرهای ورودی در مقیاس‌های زمانی مختلف به مدل معرفی شد تا بهترین حالت ممکن انتخاب گردد (Faribodnam et al., 2010). به کمک مقادیر تابع برازش، ضریب همبستگی و جذر میانگین مربعات خطا، مربوط به تخمین پارامترهایی که برای آموزش مدل انتخاب شده اند و پارامترهایی که برای تست مدل انتخاب شده است، بهترین الگو به صورت تابع زیر انتخاب می‌شود.

از این‌رو در این تحقیق مقادیر هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه به عنوان پارامترهای ناشناخته جریان فرض شده و واسنجی به منظور تخمین آنها انجام گرفت. همچنین در مرحله اجرای مدل مقادیر توانایی برای عبور جریان، از بستر رودخانه و مرزهای با بار عمومی جریان ورودی و خروجی اصلاح گردید و مقادیر ۰/۱، ۱/۲ و ۱۲۳ m²/d/m به ترتیب برای مرزهای ورودی و خروجی و رودخانه به دست آمد. شایان ذکر است که مقدار بهینه آبدهی ویژه مربوط به دشت مهاباد در این تحقیق برابر با ۳/۲ درصد به دست آمد و هدایت هیدرولیکی مطابق جدول ۲، طی مرحله کالیبراسیون، محاسبه گردید.

Table 2- Hydraulic conductivity values

جدول ۲- مقادیر هدایت هیدرولیکی

name	Hydraulic conductivity (m/day)
KH-01	2
KH-02	30
KH-03	6
KH-04	3
KH-05	5
KH-06	9
KH-07	9
KH-08	40
KH-09	9
KH-10	0.001
KH-11	0.001

نتایج پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی محاسباتی و تراز آب زیرزمینی مربوط به پیژومترهای مختلف به ترتیب در شکل‌های ۷، ۸ و جدول ۳ ارائه شده است بررسی نمودار پراکنش که در شکل مذکور ارائه شده است عملکرد مدل را در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف موفقیت‌آمیز ارزیابی می‌کند. همچنین، مقادیر پارامترهای آماری ارائه شده در جدول ۳، نشانگر دقت قابل قبول مدل در شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در محل پیژومترهای مختلف است. لازم به ذکر است در جدول ۳، پیژومترهای ۱ تا ۲۱ معرف پیژومترهای ارائه شده در شکل ۴ هستند.

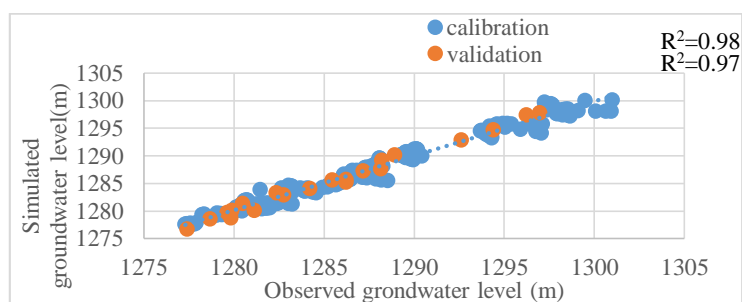


Fig. 7- Simulated vs Observed groundwater head level

شکل ۷- نمودار پراکنش مربوط به پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی

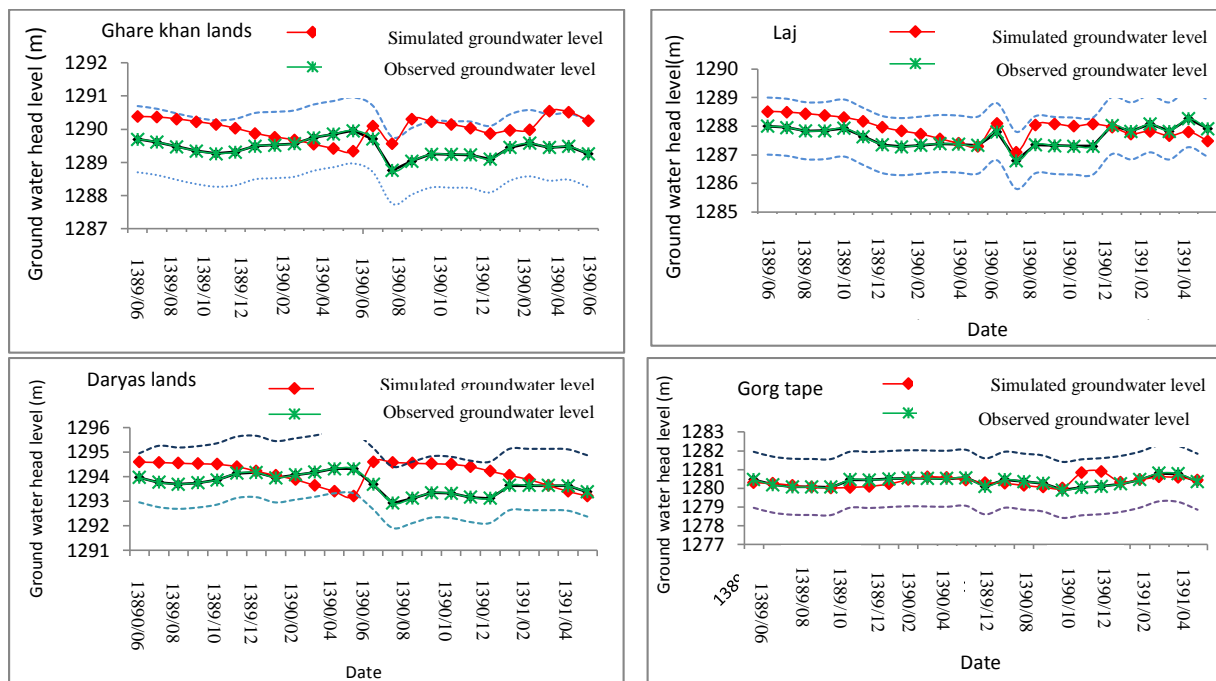


Fig. 8- Calculated vs observed groundwater level for 4 different piezometer location

شکل ۸- تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی در محل پیزومترهای مختلف

Table 3- Statistical comparison of model performance in predicting groundwater level

جدول ۳- مقایسه آماری عملکرد مدل در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی

Validation		Calibration		Piezometer
RMSE(m)	MAE(m)	RMSE(m)	MAE(m)	
1.05	1.21	1.06	1.35	1
1.16	1.23	1.154	1.13	2
0.89	0.755	0.678	0.544	3
0.35	0.233	0.162	0.133	4
0.866	0.78	0.708	0.611	5
0.526	0.445	0.417	0.341	6
0.986	1.52	0.716	0.704	7
0.998	0.705	0.995	0.863	8
0.995	1.21	1.21	1	9
0.62	0.56	0.664	0.597	10
0.852	1.69	0.663	0.573	11
1.67	1.64	1.78	1.63	12
1.45	1.97	1.39	0.97	13
0.45	0.41	0.45	0.41	14
1.39	0.97	1.37	1.15	15
1.57	1.63	0.97	0.93	16
0.87	0.835	0.62	0.56	17
0.545	0.641	0.532	0.485	18
1.85	0.969	0.943	0.752	19
0.62	0.485	0.611	0.391	20
0.285	0.256	0.188	0.143	21

Table 4- The parameters used in GEP
جدول ۴- پارامترهای استفاده شده در مدل برنامه‌ریزی بیان ژن

Parameter	Value
Head size	10
Chromosomes	40
Number of gens	5
(Mutation Rate)	0.044
(One –point Recombination Rate)	0.3
(Two –point Recombination Rate)	0.3
(Gene Recombination Rate)	0.3
(IS Transposition Rate)	0.1
(Fitness Function Error Type)	RMSE
(Linking Function)	(+)

در جدول ۵ و شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. بررسی شاخص‌های آماری و نمودار پراکنش عملکرد مدل را در پیش‌بینی این پارامترها موفقیت‌آمیز ارزیابی می‌کند.

۳-۳- بررسی عوامل اقلیمی و انسانی مؤثر بر تراز آب زیرزمینی
 به منظور بررسی تأثیر عوامل طبیعی بر آبخوان دشت مهاباد ابتدا کلیه چاه‌های بهره‌برداری به منظور تأمین نیاز کشاورزی و تأمین نیاز شرب و همچنین سد مهاباد حذف شد و مدل GMS بین سالهای ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ بدون در نظر گرفتن هیچ‌گونه عامل انسانی تأثیرگذار، اجرا شد.

این رابطه ساختار مقدماتی مدل برنامه‌ریزی بیان ژن می‌باشد. همچنین از بین عملگرهای شماره ۱ و ۲، عملگرهای شماره ۱ انتخاب می‌شوند:

$$SAR = f(H_{t-1} \text{ و } H_{t-2} \text{ و } H_{t-3}) \quad (۵)$$

$$EC = f(H_{t-1} \text{ و } H_{t-2} \text{ و } H_{t-3})$$

در رابطه بالا، H_{t-1} ، H_{t-2} و H_{t-3} به ترتیب تراز آب زیرزمینی در زمان‌های $t-1$ و $t-2$ و $t-3$ می‌باشند.

نتایج تخمین پارامترهای SAR و EC که به عنوان داده‌های تست به مدل معرفی شده‌اند به کمک الگوی شماره ۵ و عملگرهای شماره ۱

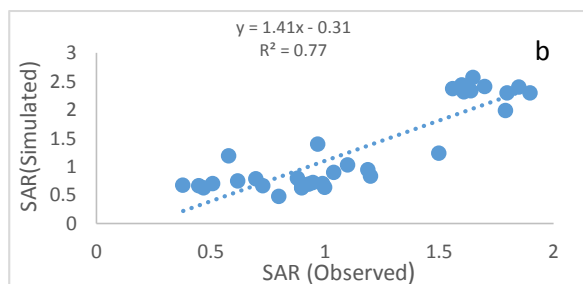


Fig. 9.b- Simulated vs observed SAR in testing step
 شکل ۹- ب- نمودار پراکنش پیش‌بینی SAR در مرحله تست

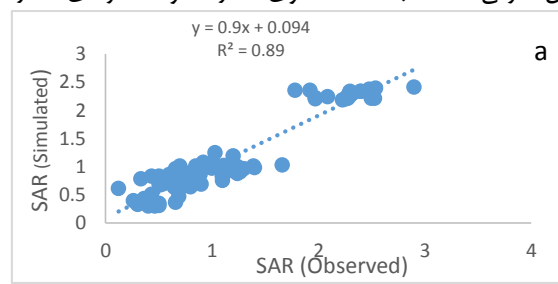


Fig. 9.a- Simulated vs observed SAR in training step

شکل ۹- الف- نمودار پراکنش پیش‌بینی SAR در مرحله آموزش

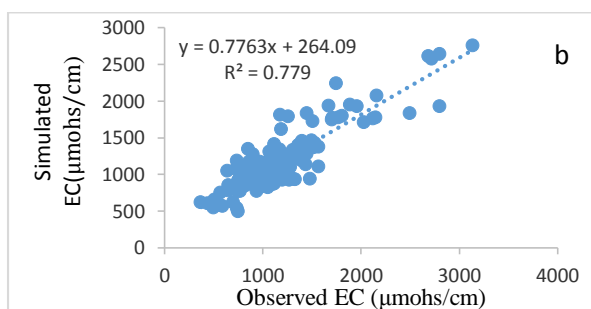


Fig 10.b- Simulated vs observed EC in testing step
 شکل ۱۰- ب- نمودار پراکنش پیش‌بینی EC در مرحله تست

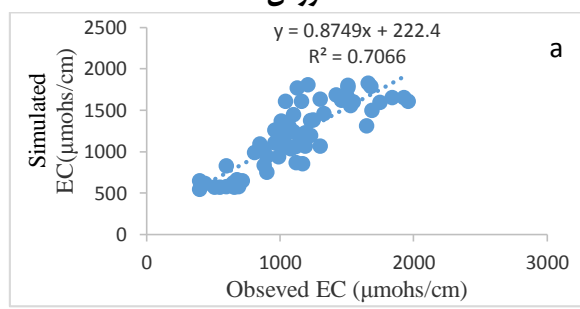


Fig 10.a- Simulated vs observed EC in training step

شکل ۱۰- الف- نمودار پراکنش پیش‌بینی EC در مرحله آموزش

Table 5- Statistical comparison between GEP Model forecasts and observed EC and SAR

جدول ۵- پارامترهای آماری دقت مدل حاصل از برنامه‌ریزی بیان ژن

Parameter	Test		Train		Fitness Function Value
	RMSE	MAE	RMSE	MAE	
SAR	0.42	0.36	0.22	0.17	757.3
EC	0.17 μ mohs/cm	0.14	0.14 μ mohs/cm	0.33	664

در مرحله بعد به منظور بررسی تأثیر احداث سد به عنوان یکی از عوامل انسانی تأثیرگذار، مدل با لحاظ سد و بدون در نظر گرفتن چاه‌های بهره‌برداری اجرا شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت.

همان‌طور که نتایج ارائه شده در شکل ۱۲ نشان می‌دهد احداث سد بر تراز آب زیرزمینی تأثیرگذار بوده است. در این شرایط میانگین اختلاف تراز آب زیرزمینی محاسبه شده با تراز آب زیرزمینی مشاهداتی برابر با ۱/۸۹ متر است که این مقدار تقریباً به اندازه ۱ متر کمتر از حالتی است که فقط عوامل اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته است. بدیهی است عامل تأثیرگذار در این حالت، تغذیه ناشی از رودخانه است که مطابق محاسبات انجام شده، به اندازه ۱۰٪ کاهش یافته است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهد، در این حالت، تراز آب زیرزمینی از سال ۸۱ تا ۹۴ به اندازه ۱/۴۹ متر کاهش می‌یابد.

۳-۴- بررسی عوامل اقلیمی و انسانی مؤثر بر کیفیت آب زیرزمینی

بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر کیفیت آب زیرزمینی مطابق آنچه در شکل ۱۳ ارائه شده است نشان می‌دهد در صورتی که همه عوامل انسانی نادیده گرفته شود پارامتر EC به طور متوسط ۷۴۰ میکرو موس بر سانتی‌متر و پارامتر SAR، ۱/۳۷ کمتر از مقدار مشاهداتی بوده و مطابق نمودار ویلکوکس کلاس آب در محدوده C2S1 می‌باشد.

لازم به ذکر است تأثیر سد مهاباد بر روی رژیم رودخانه مهاباد لحاظ شده است.

بدیهی است که با احداث سد جریان طبیعی رودخانه قطع شده و تزریق دائم به سفره کاهش پیدا می‌کند. درصد قابل ملاحظه‌ای از آب سد صرف تأمین آب شرب و صنعت می‌شود و در نتیجه باعث افت سطح آب زیرزمینی از طریق عدم تغذیه از رودخانه می‌شود.

نتایج این بررسی که در شکل ۱۱ ارائه شده است تغییرات تراز آب زیرزمینی را در مقایسه با تراز آب زیرزمینی مشاهداتی در سال‌های بین ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در شکل ۱۱ تراز آب زیرزمینی به صورت میانگین تراز آب زیرزمینی در ماه‌های مختلف در دشت ارائه شده است.

بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورت حذف عوامل انسانی تأثیرگذار، تراز آب زیرزمینی از سال ۸۱ تا ۹۴ تغییراتی به صورت کاهشی را تجربه می‌کند. وجود عوامل انسانی، آنچنان که در شکل مشخص است این تغییرات را تشدید کرده است. بررسی تأثیر عوامل اقلیمی بر تراز آب زیرزمینی نشان می‌دهد، در صورت عدم وجود عوامل انسانی، به طور متوسط تراز آب زیرزمینی به اندازه ۳ متر بالاتر بوده و تراز آب زیرزمینی از سال ۸۱ تا ۹۴ به اندازه ۱/۳۵ متر کاهش می‌یابد.

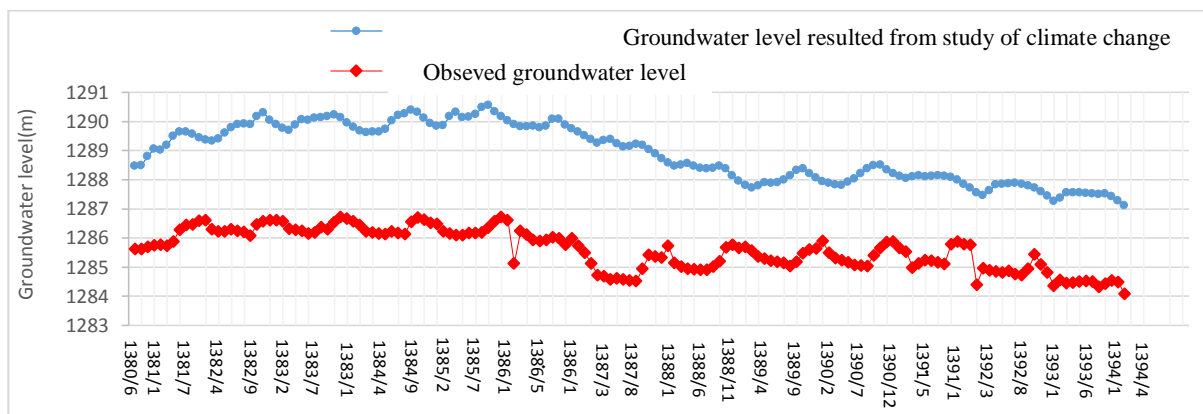


Fig. 11- Groundwater level resulted from modelling the effects of climatic factors and the observed groundwater level

شکل ۱۱- تراز آب زیرزمینی منتج از بررسی تأثیر عوامل اقلیمی و تراز آب مشاهداتی

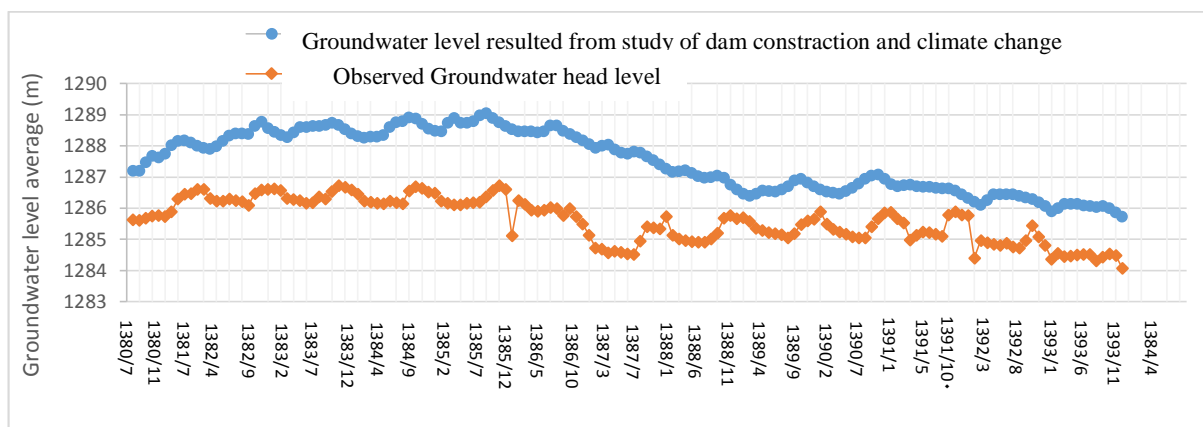


Fig. 12- Groundwater level resulted from modelling the effects of the dam construction and the observed groundwater level

شکل ۱۲- تراز آب زیرزمینی منتج از بررسی تأثیر احداث سد و تراز آب مشاهداتی

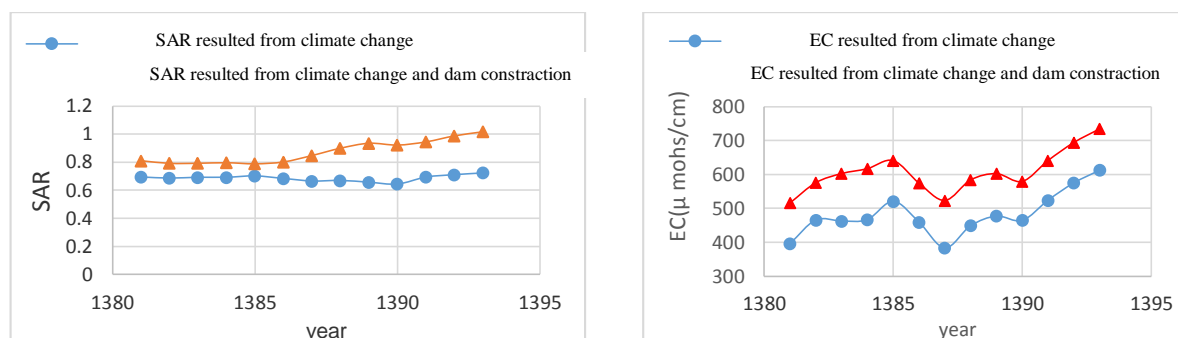


Fig. 13- Qualitative parameter resulted from the study of natural and anthropogenic factors

شکل ۱۳- پارامترهای کیفی منتج از بررسی تأثیر عوامل طبیعی و انسانی

کیفیت آن از نظر کلاس آب آبیاری به کمک مدل برنامه‌ریزی بیان ژن، در دشت مهاباد مورد توجه قرار گرفت. روشن است که در سال‌های اخیر کاهش بارش و افزایش دما بر تراز آب زیرزمینی تأثیرگذار بوده است. کاهش تراز آب زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه در طی ۱۳ سال اخیر برابر با ۱/۵ متر بوده است که متأثر از عوامل اقلیمی و انسانی است.

در این تحقیق به منظور مقایسه تأثیر هر کدام از عوامل مذکور بر آب زیرزمینی از نظر کیفی و کمی، از مدل‌های GMS و GEP استفاده شد. بعد از صحت‌سنجی و اعتبارسنجی مدل‌های مذکور، به منظور بررسی تأثیر تغییر اقلیم، کلیه عوامل انسانی تأثیرگذار حذف و روشن شد که در این شرایط تراز آب زیرزمینی، به طور میانگین ۳ متر بالاتر از تراز آب مشاهداتی خواهد بود و تغییراتی برابر با ۱/۳ متر از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ تجربه خواهد کرد. در صورت اضافه کردن عامل سد به عوامل مذکور به عنوان عامل انسانی مؤثر، تراز آب زیرزمینی مجدداً شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد در این صورت

در صورت در نظر گرفتن عوامل اقلیمی و سد به عنوان عامل انسانی مقدار EC طور متوسط ۶۱۵ میلی‌موس بر سانتی‌متر و پارامتر SAR ۱/۱۹ کمتر از مقدار مشاهداتی می‌باشد و کلاس آب آبیاری همچنان در محدوده C2S1 خواهد بود.

با توجه به بررسی مقادیر پارامترهای کیفی مشاهداتی که به صورت میانگین سالانه برآورد شده است مقدار EC در دشت مهاباد بین ۱۰۸۲ تا ۱۳۵۶ بوده است و از نظر گروه سدیمی آب آبیاری زیرزمینی متعلق به گروه S1 می‌باشد و از این رو کلاس آب زیرزمینی در محدوده C3S1 قرار دارد. لذا با توجه به نتایج مشخص است که عامل انسانی برداشت از آب‌های زیرزمینی بیشترین تأثیر را در تغییر کلاس آب آبیاری و تغییر کیفی آن داشته است. به طوری که کلاس آب آبیاری C3S1 از نوع شوری زیاد و سدیم کم می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق، بررسی عوامل تأثیرگذار بر کاهش تراز آب زیرزمینی و

- Province). Journal of Iran-Water Resources Research 14(1):114-124 (In Persian)
- Bayat-Varkeshi M and Gheysari P (2018) The effect of Enso phenomenon on groundwater table (Case study: Isfahan and Hormozgan Provinces). Journal of Iran-Water Resources Research 14(2):1-11 (In Persian)
- Custodio E (2002) Aquifer overexploitation: What does it mean? Journal of Hydrogeology 10(2):254-277
- Faribodnam N, Ghorbani MA and Almi AT (2010) Prediction river streamflow using GP. Journal of Agricultural Science 19(4):107-123
- Güven A, Aytak A, Yüce MI and Aksoy H (2008) Genetic programming-based empirical model for daily reference evapotranspiration estimation. Journal of Clean- Soil, Air, Water 36(10-11):905-912
- Havril T, Tóth Á, Molson JW, Galsa A and Mádl-Szőnyi J (2018) Impacts of predicted climate change on groundwater flow systems: Can wetlands disappear due to recharge reduction? Journal of Hydrology 563:1169-1180
- Ferreira C (2001) Gene expression programming: a new adaptive algorithm for solving problems. Journal of Complex Systems 13(2):87-129
- Kurylyk B and MacQuarrie K (2013) The uncertainty associated with estimating future groundwater recharge: A summary of recent research and an example from a small unconfined aquifer in northern humid- continental climate. Journal of Hydrology 492:244-253
- Nadiri A, Gharekhani M, Sadeghfam S and Asghari MA (2016) Groundwater vulnerability indices conditioned by Supervised Intelligence Committee Machine (SICM). Journal of Science of the Total Environment 574:691-706
- Nadiri AA, Taherkhani Z and Sadeghi AF (2017) Prediction of groundwater level of Bostan Abad using combining artificial intelligence models. IranWater Resources Research 13(3):43-55 (In Persian)
- Quintana A, Peterson JM and Hendricks NP (2018) Optimal groundwater management under climate change and technical progress. Journal of Resource and Energy Economics 51:67-83
- Shamir E, Megdal SB, Carrillo C, Castro CL, Chang HI, Chief K, Corkhill FE, Eden S, Georgakakos KP, Nelson KM and Prietto J (2015) Climate change and water resources management in the Upper Santa Cruz River, Arizona. Journal of Hydrology. 521:18-33
- به طور میانگین، تراز آب زیرزمینی به اندازه ۱/۱۱ متر نسبت به حالت اول پایین می‌آید. در این حالت اختلاف ۱/۸۹ متری با تراز مشاهداتی، بیانگر تأثیر برداشت از منابع آب زیرزمینی به وسیله چاه‌های بهره‌برداری است. همزمان بررسی تأثیر عوامل مذکور بر کیفیت منابع آب زیرزمینی با مدل GEP نشان داد استخراج از منابع آب زیرزمینی، موجب تغییر کلاس آب آبیاری از C2S1 به C3S1 شده است. بدیهی است با توجه به تغییرات اقلیم در آینده و افزایش دما و کاهش بارش و عدم کنترل برداشت از منابع آب زیرزمینی و استخراج مطابق با آنچه که امروز انجام می‌شود شاهد بدتر شدن شرایط خواهیم بود.
- به این ترتیب لزوم تحقیق و اعمال مدیریت به صورت تطبیقی آشکار می‌شود. به این منظور لازم است که الگوی کشت اصلاح شده و یا اینکه با اجرای بیشتر سیستم‌هایی آبیاری تحت فشار، راندمان آبیاری افزایش یابد چرا که در زمین‌های کشاورزی در منطقه، آبیاری به صورت سنتی انجام می‌شود. همچنین لازم است که در زمینه آب شرب و راندمان انتقال آن تحقیقاتی انجام شود چرا که از طرفی در صورت صرفه‌جویی در این قسمت، می‌توان آب سطحی بیشتری به بخش‌های دیگر از جمله کشاورزی اختصاص داد و از سوی دیگر با توجه به رشد جمعیت در آینده، لازم خواهد بود که آب سطحی بیشتری به شرب اختصاص یابد که خود دلیلی بر کنترل و افزایش راندمان در بخش مربوط به آب شرب است. همچنین پیشنهاد می‌شود گزینه‌هایی مثل استفاده از پساب جهت تأمین نیازها مورد بررسی قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

- 1- Northern Oscillation Index
- 2- Multivariate Enso Index
- 3- Feedforward Neural Network
- 4- Recurrent Neural Network
- 5- Gene-Expression Programming
- 6- Adaptive Neuro Fuzzy Inference System
- 7- Crossover
- 8- Mutation
- 9- Reproduction

۵- مراجع

- Ali R, McForlane D, Varma S, Dawes W, Emelyanova I, Hodgson G and Charles S (2012) Potential climate change impacts on groundwater resources of southwestern Australia. Journal of Hydrology 475:456-472
- Bayat-Varkeshi M, Farahani M and Ghabaei M (2018) Effect of meteorological drought on groundwater resources (Case study: Komijan Aquifer in Markazi

- China Plain with grey relational analysis. *Journal of Water* 6:1581-1600
- Zhang Y and Li G (2013) Long-term evolution of cones of depression in shallow aquifers in the North China Plain. *Journal of Water* 5:677-697
- Touhami I, Chirino E, Andreu J M, Sánchez JR, Moutahir H and Bellot J (2015) Assessment of climate change impacts on soil water balance and aquifer recharge in a semiarid region in south east Spain. *Journal of Hydrology* 527:619-629
- Xue L, Guomin L and Yuan Z (2014) Identifying major factors affecting groundwater change in the North