

Investigation of groundwater status of Hengam plain using quantitative and qualitative models (MODFLOW and MT3DMS)

Ardavan Ranjbar¹, Bahareh Pirzadeh^{2*}

¹ Master Graduated, Department of Civil Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

² Associate Professor, Department of Civil Engineering, Shahid Nikbakht Faculty of Engineering, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

*Corresponding Author: b_pirzadeh@eng.usb.ac.ir

Received: 14 Sep. 2021
Accepted: 20 Feb. 2022



Homepage: ijwer.uoz.ac.ir

Abstract: In this study, the groundwater resources of Dasht-e Hengam were simulated with MODFLOW software and MT3DMS particle transfer model and calibrated using data from 10 observation wells in both permanent and non-permanent states. The average horizontal hydraulic conductivity and specific flow rate were 17.3 m/day and 11.7%, respectively. After that, in unsteady state, the quantitative model for 5 years (October 2014 to September 2017) and qualitative model for 3 years (October 2009 to September 2012) were validated. The results show that the volume of incoming water from the surface to groundwater is 10.9 Mm³/year, and the discharge is 39.9 Mm³/year. Furthermore, the groundwater-surface hydrograph is nonlinear and descending so that, at the end of the period, the groundwater level shows a drop of 17.8 meters. Moreover, the qualitative model display TDS is increasing and expanding from the boundaries to the center of the plain.

Keywords: Groundwater, Hengam Plain, Simulation, GIS, MODFLOW, MT3DMS

Introduction: The primary source of water supply in Dasht-e Hengam is groundwater; therefore, it is necessary to study the qualitative and quantitative status of groundwater resources in this area due to its high agricultural use. Groundwater researchers have used mathematical models, MODFLOW and MT3DMS, to simulate groundwater and evaluate their efficiency (Sadeghi Goghari, 2013; Abbasi, 2014; Paliz, 2014; Yousefi et al., 2014).

Simulation of groundwater resources shows that droughts and wetlands have little effect on groundwater in Sarvestan plain (Torshizi et al., 2015) and the main reason for declining aquifers is the uncontrolled extraction of wells from the groundwater aquifer (Jabbari et al., 2015; Torshizi et al., 2015; Runama and Jafari, 2017). In addition, the level of pollution has increased in some plains (Deymehkar, 2016; Fasihi et al., 2018; Shahnava, 2019). For improving the quality of aquifers, aquifer feeding (Ghafari et al., 2020), a suitable hydraulic system (Ghafari et al., 2020), and (or) reactive-nano-iron barriers have been used (Divya et al., 2020).

In this research, with the help of two powerful specialized tools of water resources, MODFLOW and MT3DMS particle transfer model, the plain aquifer during the simulation and the quantitative and qualitative status of groundwater is investigated.

Methodology: Dasht-e Hengam, with approximately 525 square kilometers, is located in 76 kilometers of Qirokarzin city and 220 kilometers south of Shiraz city. Geological conditions, alluvial sediment status, location of available groundwater resources, and observation wells are plain alluvial aquifers (Regional Water Company of Fars, 2012). Fig. 1 shows the geographical location of Hengam Plain (Regional Water Company of Fars, 2012), and Table 1 shows the monthly distribution of rainfall in the plain. Data from ten observation wells in the groundwater aquifer, Fig. 2, were used to calibrate quantitative and qualitative models of the plain.

The amount of feed from the surface includes returned water from agricultural and drinking wells, from the river (runoff), drainage, annual rainfall at the aquifer level, and sewage, the information of which is listed in (Regional Water Company of Fars, 2012). Piezometers per month were first interpolated in GIS software and then transferred to the model. The model network cell size for all possible observation wells in the area with a cell size of 150 m was considered. A series of pilot points (Fig. 3) were designed at the range level for more accurate and faster calibration.

Results and Discussion: By calibrating the model over 36 months, the optimal hydraulic conductivity value with an average of 17.3 and a standard deviation of 24.9 m/day was obtained (Fig. 5). The highest hydraulic conductivity coefficient is related to the northern and northwestern parts of the plain, and the lowest coefficient occurs at the highest accumulation of exploitation wells. Also, the amount of specific storativity varies between 0.00167 and 0.636, with an average of 0.103 and a standard deviation of 0.117.

The slight difference between the computational and observational data, Fig. 6 to Fig. 9, indicates desired modeling in the scope of the study. The correlation between computational and observational values (Fig. 10, typically shown for the simulation month 60) also shows this.

The quantitative model, MODFLOW, shows that the aquifer volume decreases daily during the 36-month modeling period (Fig. 11 and Fig. 12); as a result, the amount of groundwater discharge from the boundary of the plain vanishes due to falling groundwater levels. Also, the volume of groundwater inflow is about 24.4 Mm³/year, the recharge into the aquifer from the surface is approximately 10.97 Mm³/year, discharge from alluvial groundwater and complex formation (often wells) is about 39.43 Mm³/year, and the volume of output due to natural drainage is almost 0.546 Mm³/year. The aquifer storage volume is 12.1, and the reservoir withdrawal volume is about 13.5 Mm³/year (Fig. 13); thus, the reservoir deficit is 1.36 Mm³/year.

Fig. 14 shows the groundwater level of the Hengam aquifer in the last step of the 36 months, which, compared to the beginning of the period, indicates a drop in water after three years of groundwater abstraction. Fig. 15 shows that the water level decreased by about 4.5 m during the simulation period, equivalent to an average annual drop of about 1.5 m.

MT3DMS package and chemical quality data related to 10 agricultural wells were used to prepare a qualitative model. Information about the location of sampling wells and initial concentration of qualitative parameters in the aquifer in Table 4 and the calibrated value of qualitative parameters are presented in Table 5 for the last calibration step. The distribution of TDS in Figs. 19 to 21 shows that the contamination is constantly expanding during these three years, and Fig. 22 shows that as the groundwater level decreases, the TDS contamination increases during the simulation period.

Conclusions: In this study, using MODFLOW and MT3DMS, the quantitative and qualitative status of Hengam plain was investigated. The groundwater flow model created the slightest statistical deviation on the optimization parameters according to the automated calibration and validation approach. The results showed the nonlinear trend of groundwater level sagging with the final year conditions in an optimistic manner.

© 2022 University of Zabol, Zabol, Iran.



This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

بررسی وضعیت آب‌های زیرزمینی دشت هنگام با کمک مدل‌های کمی و کیفی MODFLOW و MT3DMS

اردوان رنجبر^۱، بهاره پیرزاده^{۲*}

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
^۲ دانشیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

* پست الکترونیکی نگارنده مسئول: b_pirzadeh@eng.usb.ac.ir

وب‌گاه نشریه: ijwer.uoz.ac.ir



تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۱

چکیده

در این پژوهش، جریان کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت هنگام با استفاده از نرم‌افزارهای MODFLOW و MT3DMS در دو حالت ماندگار و غیرماندگار شبیه‌سازی و با تلفیق روش خودکار با تحلیل حساسیت واسنجی شد. میانگین ضریب هدایت هیدرولیکی افقی و آب‌دهی ویژه آبخوان، به ترتیب، ۱۷/۳ متر در روز و ۱۱/۷ درصد به دست آمد. پس از آن در حالت غیرماندگار، مدل کمی برای ۵ سال (مهر ۱۳۹۳ تا شهریور ۱۳۹۸) و مدل کیفی برای ۳ سال (مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۱) صحت‌سنجی شد. در اولین روز مدل‌سازی، مقدار غلظت اولیه TDS در آبخوان به عنوان داده اولیه در نظر گرفته شد و در مابقی دوره‌ها اقدام به واسنجی شد. نتایج بیانگر روند غیرخطی افتادگی سطح آب زیرزمینی با امتداد شرایط سال پایانی وضع موجود، به صورت خوش بینانه بود. همچنین، عوامل تغذیه از سطح ۱۰/۹ میلیون مترمکعب و تخلیه از منابع زیرزمینی ۳۹/۹ میلیون مترمکعب در سال برآورد گردید. در نهایت، پیش‌بینی به مدت ۱۲۰ ماه انجام گرفت که نتیجه افت ۱۷/۸ متر تراز آب در پایان دوره پیش‌بینی بود. مدل کیفی نیز با خطای ۱۲۰ PPM نسبت به داده‌های مشاهده‌ای برای TDS واسنجی گردید. نتایج نشان داد که TDS از مرزهای ورود آب و خود دشت (مرکز دشت تا جنوب آبخوان) در حال افزایش و گسترش می‌باشد. علت این امر احتمالاً به ساختار و نوع سازند سفره و چاه‌های جذبی و همچنین به کاربری اراضی متراکم کشاورزی باز می‌گردد.

کلیدواژگان: آب زیرزمینی، دشت هنگام، شبیه‌سازی، GIS، MODFLOW، MT3DMS

۱- مقدمه

کیفیت آب‌های زیرزمینی می‌تواند باعث بروز مشکلات مدیریتی از نظر بهداشتی و سلامت جامعه و همچنین توسعه در بخش کشاورزی در مناطق مختلف کشور شود. لذا بایستی برای مدیریت صحیح، آگاهی از کیفیت آب‌های زیرزمینی، تغییرات و کنترل آن را در نظر داشت.

منابع آب زیرزمینی بیش از نیمی از منابع آب کشور را تامین می‌کند و در اکثر مناطق شهری و روستایی کشور بویژه مناطق جنوبی و شرقی، آب‌های زیرزمینی به عنوان تنها منابع تامین‌کننده آب می‌باشد. عدم توجه و آگاهی از

نتایج مدل‌سازی دشت سروستان نشان داد که دوره‌های خشکسالی و ترسالی تاثیر چندانی بر آب‌های زیرزمینی این دشت ندارد و علت اصلی کاهش تراز آبخوان، برداشت بی‌رویه چاه‌های بهره‌برداری از سفره آب زیرزمینی بود (Torshizi et al., 2015).

(Jabbari et al., 2015) به پیش‌بینی وضعیت آبخوان دشت ایسین پرداختند و نشان دادند که سطح آب زیرزمینی در دوره مدل‌سازی به طور میانگین $3/32$ متر با کاهش تراز آب همراه بود که علت آن، برداشت بی‌رویه و غیر اصولی از آبخوان بود. البته، خشکسالی‌های اخیر نیز باعث سرعت بخشیدن روند کاهش تراز آب در محدوده مورد مطالعه شده بود.

نتایج شبیه‌سازی دشت ساری (نکا) نشان داد آبخوان در بخش شمالی و جنوبی دشت، قابلیت برداشت آب اضافی به میزان $10/7$ میلیون متر مکعب در سال را دارد، اما در بخش مرکزی دشت باید $5/3$ میلیون مترمکعب از حجم برداشت کاسته شود (Gudarzian et al., 2016).

بررسی میزان تغییرات نیترات در آبخوان دشت شمیرانات با استفاده از مدل کیفی با 4 گام زمانی نشان داد که ناحیه جنوب و جنوب شرق بیشترین تغییرات نیترات را به همراه دارد (Yahri and Abdeh Kolahchi, 2016).

با توجه به افت سطح ایستابی در مدل‌سازی دشت فیروزآباد فارس، پیشنهاد مدیریت و برنامه‌ریزی بهره‌برداری از این آبخوان داده شد (Bahrami et al., 2016). نتیجه و پیشنهاد مشابهی، توسط (Akbari et al., 2017) نیز برای دشت ایرانشهر ارائه شد.

(Kamali et al., 2017) پس از تحلیل و بررسی آبهای زیرزمینی شهر کرمان، به این نتیجه رسیدند که اندازه ذرات تشکیل‌دهنده دشت از حاشیه دشت به سمت مرکز ریزتر شده و در مرکز به دانه‌های رسی تبدیل می‌شد. همچنین، آب‌دهی آبخوان در نواحی مرکزی و شمال شرقی نسبت به بقیه نواحی بهتر بود که دلیل آن هم درشت‌دانه‌تر بودن تشکیلات آبرفتی این مناطق و نیز قرار داشتن مسیل‌ها و رودخانه‌های فصلی در این نواحی بود.

مدل‌های ریاضی MT3DMS و MODFLOW برای مدل‌سازی آب زیرزمینی توسط محققین مختلفی استفاده شده و کارایی آن تایید شده‌است.

(Sadeghi Goghari, 2013) به منظور بررسی اثر سد خاکی لاورفین بر آب زیرزمینی، این آبخوان را شبیه‌سازی کردند. بدین منظور از داده‌های مشاهده‌ای در سال 1380 تا 1390 استفاده کردند که نتایج نشان داد حضور سد باعث افزایش تراز آب زیرزمینی به اندازه $0/78$ متر می‌شد اگرچه این میزان افزایش نمی‌توانست افت ناشی از برداشت را جبران کند.

(Paliz, 2014) به منظور بررسی عددی انتقال آلودگی، دشت خاش را شبیه‌سازی و از داده‌های مشاهده‌ای مهر 1388 تا دی ماه 1389 برای حالت غیرماندگار و برای مدل‌سازی کیفی از داده‌های 4 حلقه چاه مشاهده‌ای از سال 1382 تا 1388 استفاده کرد. نتایج شبیه‌سازی این محقق، افزایش آلودگی در طول دوره شبیه‌سازی بود.

(Yousefi et al., 2014) شبیه‌سازی و بررسی روند انتشار TDS در جریان آب زیرزمینی دشت لردگان را انجام دادند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در مدل واسنجی شده کیفی، مقدار مجموع باقیمانده خشک TDS از حاشیه ارتفاعات شمالی دشت به سمت نواحی غرب در حال افزایش بود؛ بطوریکه مقدار حدودی 325 میکرومگوس بر سانتیمتر در نواحی شرقی و جنوبی به بیشتر از 500 میکرو مگوس بر سانتیمتر به سمت مقاطع خروجی (در غرب آبخوان) میرسید. روند تغییرات TDS نشان داد که جریان‌ات تغذیه کننده ورودی از حواشی شرقی و جنوبی دشت دارای کیفیت مناسبی بودند. در مجموع، منابع آبهای زیرزمینی این ناحیه در حد آبهای شیرین قابل تقسیم‌بندی بود.

(Abbasi, 2014) به منظور شبیه‌سازی اثرات کیفی ورود آب چاه‌نیمه به دشت، آبخوان زاهدان را از مهر 1387 تا مهر 1389 مورد بررسی قرار داد. نتایج حاکی از بهبود وضعیت آبخوان بود که به طور متوسط در محدوده مورد بررسی، TDS بین 1000 تا 6000 میلی‌گرم کاهش پیدا می‌کرد.

کردند. نتایج نشان داد که ساخت این سیستم باعث کاهش نفوذ آب با TDS ۱۳۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر از رودخانه شوراب به آبخوان شد. این امر می‌توانست کیفیت آبخوان را بهبود بخشد و سطح TDS را تا ۲۰٪ در چاه‌های اطراف رودخانه طی ۱۲ سال آینده کاهش دهد. علاوه بر این، شاخص بهبود کیفیت تا ۶ درصد افزایش می‌یافت، که نشان‌دهنده بهبود کیفیت آبخوان با ساخت سیستم هیدرولیکی بود. اگرچه، از بین بردن کامل این آلودگی به زمان بسیار طولانی (حدود ۳۰ سال) نیاز داشت.

(Divya et al., 2020) به منظور تعیین میزان آلودگی آب‌های زیرزمینی بر روی سفره‌های آبریز ساحلی به دلیل وجود محل دفن زباله واقع در منطقه‌ای در هند، از نانو آهن استفاده کردند. نتایج نشان داد که علیرغم تأخیر ایجاد شده توسط خاک جانی، مسیر آلودگی با سرعت ۰/۱۵ m/day در جهت پایین دست گسترش می‌یافت. هنگامی که مانع واکنش پذیر نانو آهن که می‌توانست تقریباً ۶۵ درصد از نیاز اکسیژن شیمیایی را جذب کند، نصب شده بود، نتایج نشان داد که انتشار منبع می‌توانست به ۴۰۰ mg/l در چاه مشاهده‌ای واقع در ۱ کیلومتر از محل دفن زباله کاهش یابد.

اگرچه در زمینه مدلسازی کیفی و کمی آب زیرزمینی، در مناطق مختلف دنیا و ایران، کار شده اما در دشت هنگام تاکنون چنین مطالعه‌ای صورت نگرفته است. از طرفی، منبع اصلی تامین آب این دشت، آب زیرزمینی است. لذا بررسی وضعیت کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی این منطقه، با توجه به مصارف کشاورزی بسیار در آن، ضروری است که در این تحقیق، به کمک دو ابزار قدرتمند تخصصی منابع آب، به آن پرداخته شده‌است. این تحقیق، علاوه بر بررسی وضع کمی موجود و پیش بینی آن در آینده، به بررسی وضع کیفی آب زیرزمینی دشت هنگام می‌پردازد که در ادامه با جزئیات بیشتر، بیان می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت هنگام به وسعت تقریبی ۵۲۵ کیلومترمربع در ۷۶

(Runama and Jafari, 2017) آبخوان دشت اهرم در استان بوشهر را برای بررسی اثر تغذیه مصنوعی و نوسانات سطح ایستابی آبخوان شبیه‌سازی کردند. آنان، سطح ایستابی در دوازده حلقه چاه پیژومتری، حالت ماندگار و غیر ماندگار را در ۱۵ دوره زمانی مدلسازی کردند. سپس همین مدل را بدون تغذیه مصنوعی انجام دادند. نتایج نشان داد که سیلاب تأثیرات نسبی بر تغذیه مصنوعی دشت اهرم دارد. البته برداشت بی رویه و عدم مدیریت صحیح، بسیار تأثیرگذارتر بود بطوریکه بیلان آبی این دشت در بازه یک ساله شبیه‌سازی غیر ماندگار منفی بود.

(Abedi Koopae et al., 2017) وضع منابع آب زیرزمینی دشت نجف‌آباد را از نظر کمی و کیفی و نحوه پخش و انتقال پارامترهای EC و TDS مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج آنان، شوری آب در دشت نجف‌آباد از نوع متوسط بود و قسمت جنوب‌شرقی دشت از لحاظ شوری نامناسب بود.

(Deymehkar, 2016) به منظور بررسی اثرات احداث کارخانه فولاد بر آلودگی آب زیرزمینی، دشت بالادست خضری را شبیه‌سازی کردند. پس از واسنجی و صحت-سنجی در دو حالت کمی و کیفی به این نتیجه رسیدند که حرکت آلودگی به سمت مرکز آبخوان و مقدار آن دو برابر حد مجاز بود.

بررسی عددی آبخوان دشت همدان با استفاده از مدل MT3DMS توسط (Fasihi et al., 2018) نشان داد که مقدار غلظت کلراید طی دوره‌های مختلف افزایش و جهت حرکت آن همسو با گرادیان هیدرولیکی دشت است.

(Shahnavaz, 2019) به منظور پیش‌بینی تغییرات سولفات، آبخوان دشت خاش را مورد بررسی قرار داد که طبق نتایج ایشان، بیشترین غلظت سولفات در بخش جنوبی آبخوان ۱۵۳۰ میلی‌گرم در لیتر بود. در همین دوران، (Bijari, 2018) با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت بیرجند، نشان داد که افت تراز آب در این آبخوان حدود ۷ متر است.

(Ghafari et al., 2020) به منظور حذف شارژ مجدد منابع آلودگی به آبخوان سمنان، یک سیستم هیدرولیکی را ارائه

و ایستگاه تبخیرسنج تنگ کارزین بعنوان ایستگاه معرفی دمای ارتفاعات این محدوده انتخاب شده است. بر این اساس متوسط دمای سالانه آبخوان آبرفتی هنگام ۲۲/۹ درجه سانتیگراد و متوسط دما در ارتفاعات مشرف به این آبخوان ۲۲ درجه، همچنین متوسط دما سالانه سایر ارتفاعات ۲۴/۳ درجه سانتیگراد برآورد گردیده است (Regional Water Company of Fars, 2012). بر مبنای ایستگاه باران‌سنجی هنگام، میانگین بارندگی دشت هنگام در طول دوره آماری ۲۲ ساله معادل ۲۷۳/۵ میلی‌متر است که بر این اساس کمترین میزان بارندگی ۱۲۴/۷ میلی‌متر و بیشترین مقدار بارندگی به میزان ۶۸۳ میلی‌متر بوده است (Regional Water Company of Fars, 2012). جدول ۱، توزیع ماهانه باران در دشت را نشان می‌دهد.

کیلومتری شهرستان فیروکارزین و ۲۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان شیراز واقع شده است. محدوده مطالعاتی هنگام شامل حوزه آبریز رودخانه هنگام است. آبراهه واقع در این محدوده، فاقد جریان است که ۴۹/۲ کیلومتر طول دارد (شکل ۱). وسعت آبخوان هنگام ۵۱/۸ کیلومترمربع می‌باشد که ۸۲ درصد را ارتفاعات و ۱۸ درصد را دشت فرا گرفته است. با توجه به شرایط زمین‌شناسی، وضعیت رسوبات آبرفتی و موقعیت منابع زیرزمینی موجود و چاه‌های مشاهده‌ای، آبخوان آبرفتی برآورد گردیده است (Regional Water Company of Fars, 2012).

با توجه به عدم وجود ایستگاه ثبت‌کننده درجه حرارت، ایستگاه تبخیرسنج دژگاه بعنوان ایستگاه معرف دمای دشت

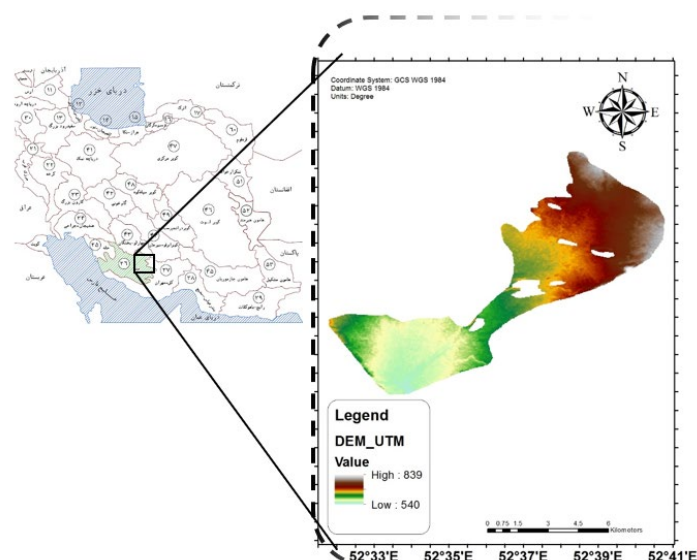


Fig. 1 Geographical location of the study area – Dasht-e-Hengam (Regional Water Company of Fars, 2012)
شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه – دشت هنگام (Regional Water Company of Fars, 2012)

مدل تفاضل محدود MODFLOW و MT3DMS شبیه‌سازی شده است. موقعیت ۱۰ حلقه چاه مشاهده‌ای در محدوده سفره آب زیرزمینی دشت در شکل ۲ نمایش داده شده است. حجم کل تخلیه و برداشت از منابع آب زیرزمینی در سطح محدوده ۴۹/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که ۴۶/۵۶ میلیون مترمکعب از چاه‌ها، ۰/۷۵۷ میلیون متر مکعب از قنوات و ۱/۹۳۲ میلیون مترمکعب از چشمه‌های محدوده تأمین می‌شود (گزارش مطالعات بهنگام‌سازی بیلان

۲-۲- روش انجام پژوهش

مشکل اصلی آبخوان دشت هنگام، کاهش تراز آب زیرزمینی در کل دشت به علت خشکسالی و نبود برنامه مدیریتی صحیح جهت به حداقل رساندن تأثیرات برداشت از آب زیرزمینی این دشت است. کاهش سطح آب در دشت موجب کاهش آبدهی چاه‌ها، خشک شدن برخی چاه‌ها شده است. با توجه به مشکل فوق در این تحقیق جریان آب زیرزمینی دشت هنگام بر اساس داده‌ها و اطلاعات موجود به کمک

جدول ۱ توزیع ماهانه باران در ارتفاعات و دشت محدوده مطالعاتی هنگام (میلی‌متر) (Regional Water Company of Fars, 2012)
Table 1 Monthly distribution of rain (mm) in highlands and plains of study area (Regional Water Company of Fars, 2012)

Plains and Highlands	Annual	Monthly											
		September	August	July	June	May	April	March	February	January	December	November	October
Hengam reagent station	273.5	0.3	1	0	0	7.7	25	36.3	55.7	75	61.6	10.5	0.3
Plains	281.8	0.4	1	0	0	7.9	25.8	37.4	57.4	77.3	63.5	10.8	0.3
Highlands	327.2	0.4	1.2	0	0	9.2	29.9	43.4	66.7	89.7	73.7	12.6	0.4

سپس به مدل انتقال داده شده‌است.

تحقیقات انجام شده نشان داد تخمین پارامترهای هیدرولیکی آب‌های زیرزمینی در محدوده دشت هنگام تاکنون انجام نشده و این محدوده فاقد پارامتر هیدرولیکی می‌باشد. در این تحقیق، با توجه به توانایی نرم‌افزار GIS به روش معکوس، اقدام به حدس و ضرایب هیدرولیکی شد. سنگ کف شمال دشت شیراز را سازندهای آهکی آسماری - جهرم و رازک تشکیل می‌دهد و بافت بخشهای جنوبی ذرات رسوبی ریزدانه است. همچنین، تغییرات عمقی سنگ کف دشت بسیار زیاد است (Sahraee and Asadi, 2011).

به منظور وارد کردن سنگ کف از عمق چاههای بهره‌برداری با استفاده از داده‌های دریافتی از آب منطقه‌ای برای چندین چاه در سال ۲۰۱۹ و نسبت آن‌ها به عمق در سال ۲۰۰۹

جدول ۲ تغذیه از سطح (Regional Water Company of Fars, 2012)

Table 2 Feeding from the surface (Regional Water Company of Fars, 2012)

No.	Volume (MCM)	Feeding
1	6.999	Agricultural
2	0.441	Drink
3	4.037	Rainfall
4	0.446	Runoff
Total	11.923	

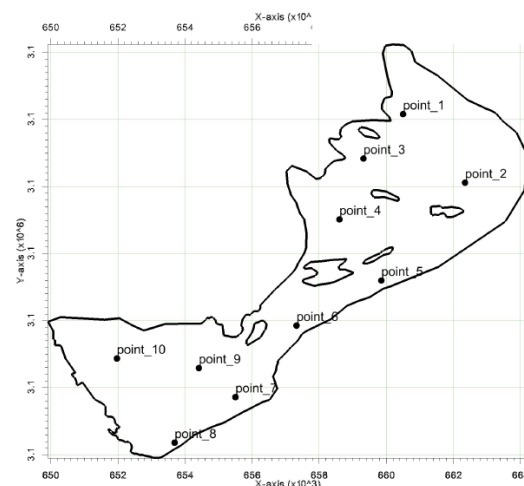


Fig. 2 Drilling position of observational wells in the aquifer area (Regional Water Company of Fars, 2012).
 شکل ۲ موقعیت حفر چاه‌های مشاهداتی در محدوده آبخوان هنگام (Regional Water Company of Fars, 2012)

منابع آب حوضه مطالعاتی هنگام، ۱۳۹۳). میزان تغذیه از سطح شامل آب برگشتی از چاه‌های بهره‌برداری کشاورزی و شرب، تغذیه از رودخانه (رواناب)، زهکش، بارندگی سالانه در سطح آبخوان و همین طور فاضلاب‌ها می‌باشد که اطلاعات آن در جدول ۲ ذکر شده‌است (Regional Water Company of Fars, 2012).

مرزهای نفوذ ناپذیر سنگ کف و کوه‌ها به عنوان مرز محدوده مدل‌سازی و به عنوان مرز نفوذ ناپذیر تعیین شد. برای وارد کردن تراز آب در مرز ورود آب نیز، ابتدا تراز پیژومترها در هر ماه، در نرم‌افزار GIS درون‌یابی شده و

پس از ساخت مدل مفهومی، در حالت ماندگار و غیرماندگار از موتور محاسباتی PCG2 با ۱۰۰ تکرار Outer و Inner و با حد بحرانی تغییرات همگرایی ۰/۰۱ متر و همچنین حد بحرانی خطای همگرایی ۰/۰۱ متر مکعب در روز استفاده شد.

به منظور انجام واسنجی در شرایط پایا، ابتدا ماه اول دوره شروع مدل‌سازی (مهر ۸۸)، به عنوان دوره ماندگار در نظر گرفته شد. برای واسنجی دقیق‌تر و سریع‌تر، یک سری نقاط پایلوت (مطابق شکل ۳) در سطح محدوده طراحی گردید. همچنین برای واسنجی پارامتر هدایت هیدرولیکی از همین نقاط پایلوت در حالت ماندگار استفاده شد. با اجرای معکوس مدل برای واسنجی پارامترهای کلیدی، مقادیر خطا در حالت ماندگار به دست آمد. نتایج مدل‌سازی هد (شکل ۴) در حالت ماندگار برای آبخوان دشت هنگام، نشان‌دهنده خطای زیر یک متر بود. نتیجه مدل‌سازی ضریب هدایت هیدرولیکی افقی در حالت ماندگار نیز در شکل ۵ نشان داده شده است. خلاصه آماری پایلوت‌های هدایت هیدرولیکی افقی مقدار میانگین ۱۴/۷۴ متر بر روز و انحراف معیار ۱۹/۰۱ را برای این پارامتر نشان می‌دهد.

برآورد گردید که به طور میانگین ۲ تا ۲/۵ برابر عمق آنها افزایش پیدا کرده‌بود. به عنوان ارتفاع سنگ کف در محدوده مطالعاتی پس از درون‌یابی خطی کریجینگ در نرم‌افزار GIS به نرم‌افزار GMS فراخوانی شد که در جدول ۳ تعدادی از تراز سنگ کف در محدوده مطالعاتی ارائه گردیده‌است.

برای شبیه‌سازی آبخوان مورد مطالعه اندازه سلول‌های شبکه مدل برای تمامی چاه‌های مشاهداتی ممکن در منطقه، با اندازه سلولی ۱۵۰ متر در نظر گرفته شد.

ضریب ذخیره برای آبخوان تحت فشار بین 10^{-3} تا 10^{-7} متغیر می‌باشد (Fasihi et al., 2018). در این مدل به منظور اینکه نرم‌افزار تمام پارامترها را شناسایی کند، مقدار این پارامتر برای کل محدوده برابر 10^{-4} در نظر گرفته شد. در آبخوان آزاد از مفهوم آبدهی ویژه استفاده می‌شود که به خاطر عدم مطالعات اکتشافی در محدوده هنگام از مقادیر توصیه شده در نشریه ۱۷۴ وزارت نیرو، برای تخمین اولیه استفاده است. مقدار اولیه پارامتر تخلخل نیز، از مقادیر توصیه شده توسط همین نشریه و با لحاظ ساختار تشکیل - دهنده شن/ریز برای آبخوان، معادل ۳۰ درصد، در گام اول قبل واسنجی در نظر گرفته‌شد (Office of Water and (ABFA Standards and Designs, 2017).

جدول ۳ تراز سطح زمین، سنگ کف و سطح آب در بعضی از نقاط محدوده (Regional Water Company of Fars, 2012).

Table 3 Ground level, floor stone and water level in some parts of the area (Regional Water Company of Fars, 2012).

Area	Y	X	Floor stone elevation (m)	Water level (m)	Ground level (m)
Abu Askar	3144058	661024	534.762	649.59	669
Abu Askar	3143977	659762	560.532	627.987	660
Abu Askar	3144049	658596	555.994	610.682	650
Abu Askar	3143888	657634	511.075	602.113	635
Aliabad	3146448	660526	629.534	680.324	709
Tang-e Badi	3145975	662349	634.215	683.332	711
Abu Askar	3143788	662507	578.046	666.302	703
No Abad	3142552	661043	498.728	634.580	657
New No Abad	3142198	659165	514.882	596.967	631
Baghno	3141513	657505	534.128	584.995	616
Baghno	3139757	656978	522.713	578.157	602
Hengam	3138058	655708	468.376	545.145	586
Hengam	3136849	652750	443.397	537.918	558
Hurz	3138503	651665	455.126	538.796	586
Hengam	3139254	653155	457.658	542.936	576
Hengam	3138179	654360	456.084	539.167	570

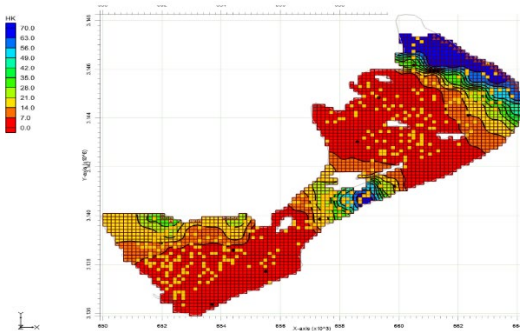


Fig. 5 Graphical representation of horizontal hydraulic conductivity in calibration mode of the stationary model
 شکل ۵ نمایش گرافیکی ضریب هدایت هیدرولیکی افقی در حالت واسنجی مدل ماندگار.

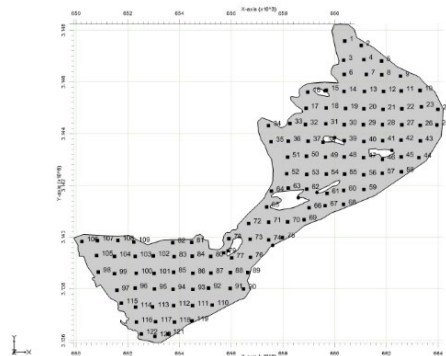


Fig. 3 Pilot points dedicated to horizontal hydraulic conductivity

شکل ۳ نقاط پایلوت اختصاص داده شده به هدایت هیدرولیکی افقی.

قسمت شمالی و شمال غربی دشت می‌باشد. بیشترین جریان ورودی از مرزهای تراوا در این قسمت‌ها وارد محدوده مطالعاتی می‌شود و به مرور زمان به سایر نقاط آبخوان انتقال پیدا می‌کند. کمترین ضریب نیز در قسمت‌هایی اتفاق افتاده که شامل بیشترین تجمع چاه‌های بهره‌برداری می‌باشد.

مقدار آب‌دهی ویژه نیز در گام سوم مدل‌سازی با توجه به مقادیر پیشنهادی در (Office of Water and ABFA Standards and Designs, 2017)، به طور متوسط به شبکه‌های مدل معرفی گردید. سپس در گام واسنجی غیرماندگار، همین مقادیر به عنوان اولیه در نقاط پایلوت به مدل معرفی شده و مقادیر بهینه در این مرحله حاصل گردید. در دوره واسنجی بلندمدت، برای پارامتر آب‌دهی ویژه با میان‌یابی IDW نقاط پایلوت، فایل رستری حاصل گردید که مقادیر در آن بین دو عدد ۰/۰۱۶۷ و ۰/۰۶۳۶ با میانگین ۰/۰۳ و انحراف معیار ۰/۱۱۷ متغیر است.

۳-۲- تحلیل حساسیت

در گام واسنجی غیرماندگار به منظور کاهش خطا و جلوگیری از طولانی‌شدن محاسبات و شناسایی دقیق‌تر مناطق با حساسیت بالا، تحلیل حساسیت برای ضرایبی که به صورت معکوس، واسنجی بر روی آنها انجام شده بود، صورت گرفت. با توجه به داده‌های منطقه، به دلیل اختلاف ارتفاعی که نقاط مختلف محدوده با هم داشتند، تعداد نقاط پایلوت برای کل محدوده برای ضریب هدایت هیدرولیکی،

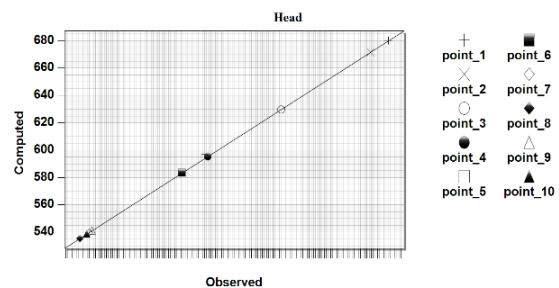


Fig. 4 Correlation between observational and computational values of piezometers in a stationary state
 شکل ۴ همبستگی بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی پیزومترها در حالت ماندگار

۳- نتایج و بحث

۳-۱- واسنجی در شرایط غیرماندگار

در این مرحله از مدل‌سازی، بر اساس خطای کاسته شده در حالت ماندگار، علاوه بر پارامتر هدایت هیدرولیکی افقی، پارامتر آب‌دهی ویژه هم مورد واسنجی قرار گرفت. ضرایب هیدرودینامیکی با دوره زمانی ۳۶ ماهه واسنجی شد. به منظور تخمین مقادیر مجهول در گام ۳۶ ماهه، بایستی یک حد کمینه و یک حد بیشینه به موتور محاسباتی معکوس معرفی شود. به دلیل نبود مطالعات، خروجی مدل در حالت ماندگار به عنوان شرایط اولیه در نظر گرفته شد. مقدار بهینه هدایت هیدرولیکی با میانگین ۱۷/۳ و انحراف معیار ۲۴/۹ (متر بر روز) به دست آمد (شکل ۵). مشاهده می‌شود که، بزرگترین ضریب هدایت هیدرولیکی مربوط به

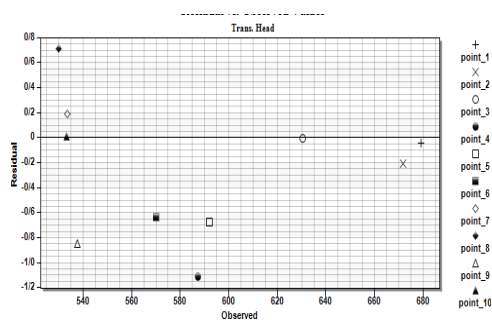


Fig. 9 Residual error of observational and computational values of piezometers (36th month).

شکل ۹ خطای باقیمانده مقادیر تراز آب مشاهداتی و محاسباتی پیزومترها (ماه سی و ششم).

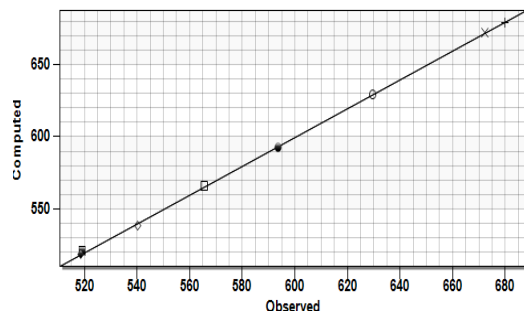


Fig. 10 Error of computational values versus observational data in verification stage (60th month).

شکل ۱۰ خطای مقادیر محاسباتی در مقابل داده‌های مشاهداتی تراز آب در مرحله صحت‌سنجی (ماه شصتم).

تحلیل حساسیت و آنالیز آن، نشان داد که پارامترهای هیدرودینامیکی در بعضی از پایلوت‌ها تاثیر بسزایی در واسنجی آبخوان داشته است. بر همین اساس ویرایش‌های لازم بر روی مرزهای تراوا و پارامتر حساس انجام گرفت تا خطای کل در آخرین مرحله به حداقل برسد. بررسی اختلاف داده‌های محاسباتی با مشاهده‌ای، در نمودار خطای باقیمانده‌ها نشان داد که مقدار این خطا، نزدیک به صفر است که نمایانگر یک مدل‌سازی مطلوب در محدوده مطالعاتی هنگام می‌باشد. در شکل ۶ الی شکل ۹ خطای باقیمانده برخی از دوره‌ها در مدل‌سازی، ارائه گردیده است.

۳-۳- صحت‌سنجی

برای اطمینان از مدل ساخته شده در آبخوان هنگام، فرآیند واسنجی در یک دوره ۶۰ ماهه، با واردکردن اطلاعات چاه‌های بهره‌برداری و پیزومتری و ارتفاع آب ورودی، صورت گرفت که نتیجه بیانگر مقدار خطای RMS برابر با ۱/۴۵

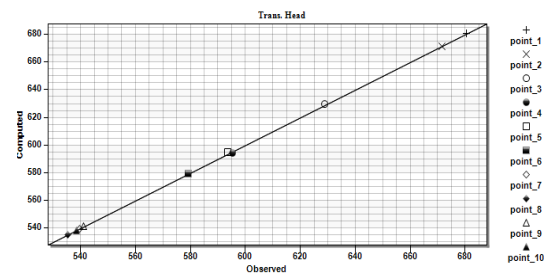


Fig. 6 Comparison of observational and computational values of piezometers (the first month of modeling).

شکل ۶ مقایسه مقادیر تراز آب مشاهداتی و محاسباتی پیزومترها (ماه اول مدل‌سازی).

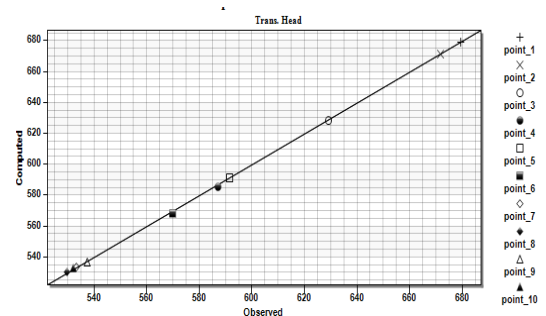


Fig. 7 Comparison of observational and computational values of piezometers (36th month).

شکل ۷ مقایسه مقادیر تراز آب مشاهداتی و محاسباتی پیزومترها (ماه سی و ششم).

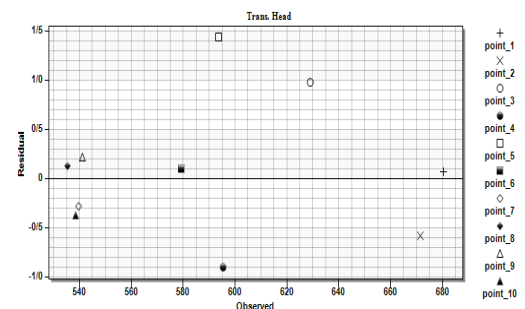


Fig. 8 Residual error of observational and computational values of piezometers (first month).

شکل ۸ خطای باقیمانده مقادیر تراز آب مشاهداتی و محاسباتی پیزومترها (ماه اول).

۱۲۲ نقطه در نظر گرفته شد. پس از آن بدلیل حساسیت کمتر ضریب آبدهی ویژه نسبت به ضریب هدایت هیدرولیکی، ۳۱ نقطه، برای ضریب آبدهی ویژه مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، از تلفیق روش تحلیل حساسیت با مرحله واسنجی استفاده گردید. نتایج خروجی

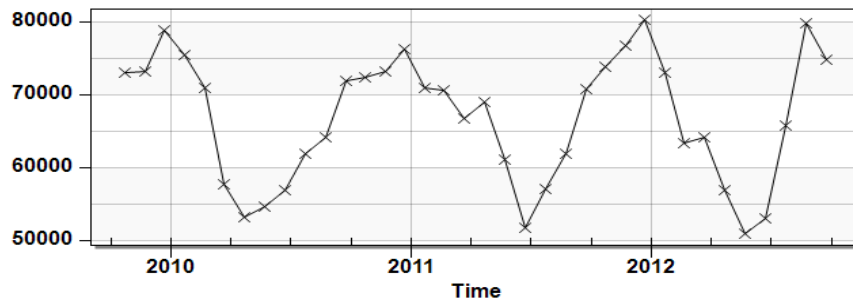


Fig. 11 The volume of inflow from the boundaries with dynamic load in Hengam aquifer
شکل ۱۱ حجم جریان ورودی از مرزهای با بار پویا در آبخوان هنگام.

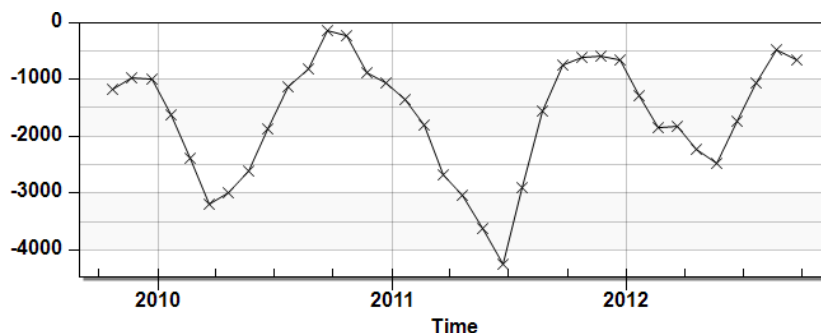


Fig. 12 The volume of outflow from the boundaries with dynamic load in Hengam aquifer
شکل ۱۲ حجم جریان خروجی از مرزهای با بار پویا در آبخوان هنگام.

هزارمترمکعب در سال است. حجم ذخیره آبخوان ۱۲/۱ و حجم برداشت از مخزن حدود ۱۳/۵ میلیون مترمکعب در سال برآورد شد (شکل ۱۳)، که به این ترتیب، کسری مخزن ۱/۳۶ میلیون مترمکعب در سال است.

شکل ۱۴ سطح آب زیرزمینی آبخوان هنگام را در آخرین گام زمانی بازه ۳۶ ماهه نشان می‌دهد که مقایسه آن با ابتدای دوره، بیانگر افت آب پس از ۳ سال برداشت از آب زیرزمینی است. به منظور بررسی تغییرات تراز آب زیرزمینی و تعیین دوره‌های صعود و نزول آن، هیدروگراف واحد آبخوان برای دوره ۳۶ ماه مدل‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۱۵ نشان می‌دهد که تراز سطح آب در طول دوره شبیه‌سازی حدود ۴/۵ متر کاهش یافته که معادل میانگین افت سالانه حدود ۱/۵ متر در آبخوان در این ۳۶ ماه است. در این دشت از ماه مهر تا آذر به دلیل بهره برداری از آب‌های زیرزمینی و کمبود بارش، سطح آب زیرزمینی نزول نموده و از آذرماه تا اسفندماه در اثر بارش نزولات جوی، سطح آب صعود نموده‌است. به دنبال آن به علت

متر برای هد بود که بیانگر صحت پارامترهای کالیبره شده در مرحله واسنجی غیرماندگار است. همبستگی مقادیر محاسباتی و مشاهداتی (شکل ۱۰ که بطور نمونه برای ماه ۶۰ شبیه‌سازی نشان داده‌شده) نیز بیانگر این مطلب است. ارقام خروجی از موتور FlowBudget اعمالی در مدل واسنجی شده در MODFLOW نمایانگر آن است که در دوره ۳۶ ماهه مدل‌سازی به طور متوسط روزانه مقدار مشخصی از ذخایر آبخوان کاهش پیدا کرده‌است (شکل ۱۱ و شکل ۱۲). این افت با توجه به کاهش سطح آب در آبخوان هنگام، برابر با کسری مخزن در طول دوره ۳ ساله می‌باشد. نتایج خروجی مدل ۳۶ ماهه دشت هنگام نشان داد که حجم جریان زیرزمینی ورودی حدود ۲۴/۴ میلیون مترمکعب در سال، حجم جریان زیرزمینی خروجی از این دشت نیز به دلیل بالا آمدن سنگ کف در انتهای دشت صفر، حجم جریان ورودی به آبخوان از تغذیه از سطح حدود ۱۰/۹۷ میلیون مترمکعب، تخلیه از منابع زیرزمینی آبرفتی و سازند سخت (غالباً چاه) حدود ۳۹/۴۳ میلیون مترمکعب و حجم خروجی ناشی از زهکش طبیعی حدود ۵۴۶/۱

جهت جریان آب زیرزمینی برای محدوده آبخوان رسم شد. همچنان که در شکل ۱۶ نمایش داده شده، سرعت جریان آب زیرزمینی در شمال آبخوان از رقم بالایی برخوردار است. با این حال به وضوح می‌توان تغییرات عمده در جهت‌گیری را در همین نواحی مشاهده کرد. همچنین، بیشترین مقدار سرعت، در نواحی مرزی و در محدوده حاشیه مرزهای تراوا قابل مشاهده است.

۳-۴- پیش‌بینی کمی

برداشت‌های بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی دشت هنگام منجر به افت سطح آب زیرزمینی دشت شده است. این امر به معنای استخراج بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی می‌باشد. با این کار سطح آب زیرزمینی در منطقه هنگام مداوم در حال افت بوده تا جایی که آبی برای برداشت وجود نخواهند داشت که پیامدهای اصلی این پدیده کاهش تراز آب چاه‌ها، نشست زمین، گسترش بیابان، از دست رفتن سرمایه در بخش کشاورزی، کاهش جمعیت منطقه و در انتها فقر و مهاجرت است. لذا مطالعه وضعیت کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی دشت هنگام در این مقاله مورد توجه قرار گرفته و در ادامه، پیش‌بینی شرایط برای دوره ۱۰ ساله انجام شده است. تغییرات میانگین تراز آب در شکل ۱۷، حاکی از افت تراز آب در ۲۰ سال مدل‌سازی و پیش‌بینی به اندازه ۱۷/۸ متر می‌باشد که مدیریت صحیح منابع آب زیرزمینی این منطقه را طلب می‌کند.

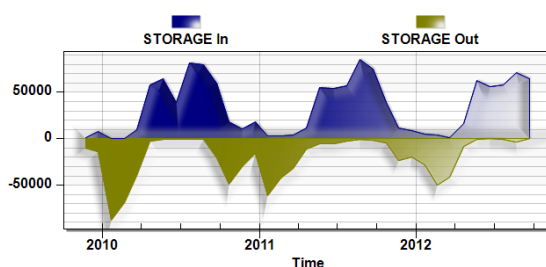


Fig. 13 The volume of the inlet and outlet storage flow of Hengam plain.

شکل ۱۳ حجم جریان ذخیره ورودی و خروجی دشت هنگام.

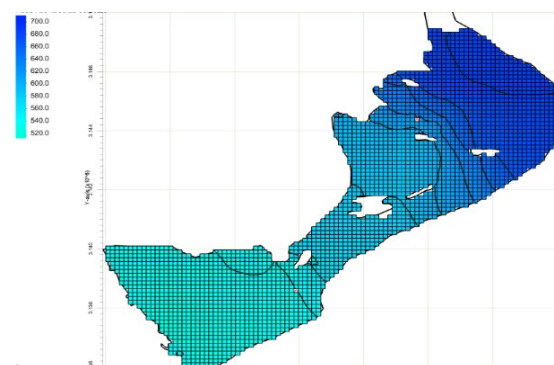


Fig. 14 Groundwater level of the aquifer at the end of the period with the continuation of the current harvesting process from wells.

شکل ۱۴ تراز آب زیرزمینی آبخوان هنگام در پایان دوره با ادامه روند برداشت حاضر از چاه‌ها.

کاهش یا قطع بارندگی و افزایش بهره‌برداری، سطح آب تا آخر سال آبی سیر نزولی پیدا کرده است.

همچنین بر اساس نقشه تراز آب زیرزمینی دشت هنگام و با استفاده از ابزار محیط نرم‌افزار GMS خطوط سرعت و

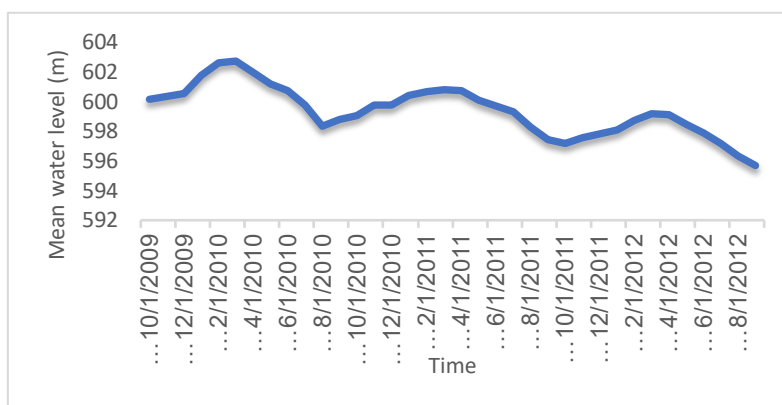


Fig. 15 Unit hydrograph unit of aquifer- output model of nonstationary modeling period

شکل ۱۵ هیدروگراف واحد آبخوان هنگام - خروجی مدل دوره مدل‌سازی غیر ماندگار

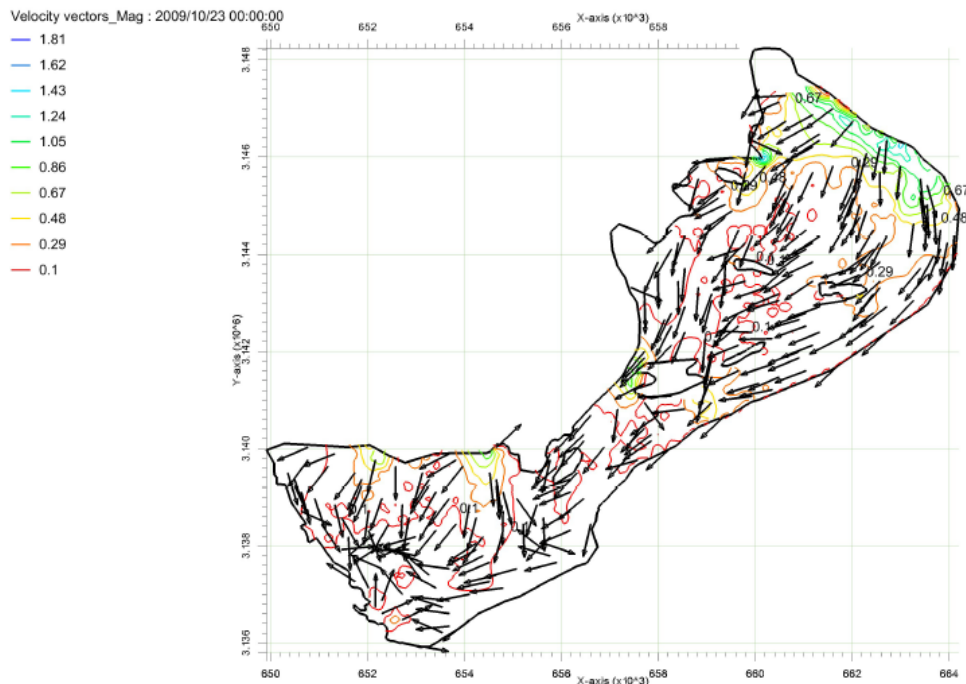


Fig. 16 Vectors of direction and flow velocity of the nonstationary model of Hengam plain
 شکل ۱۶ بردارهای جهت و سرعت جریان مدل غیرماندگار دشت هنگام

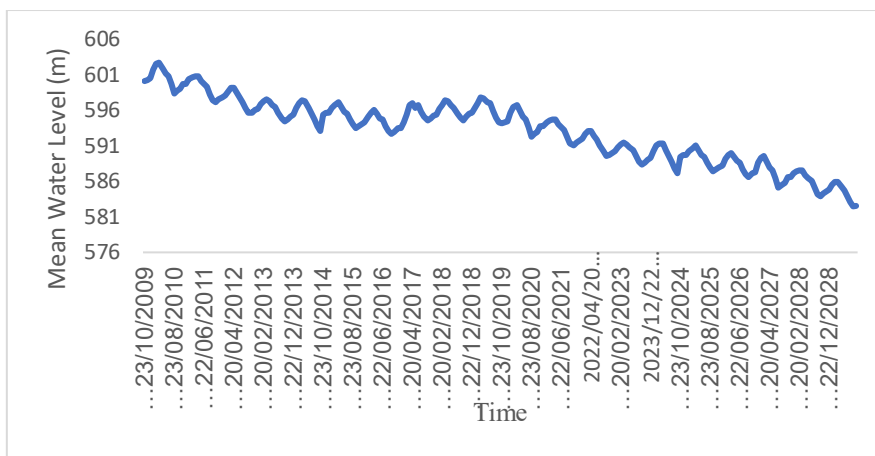


Fig. 17 Unit hydrograph of the average water level in the forecast period
 شکل ۱۷ هیدروگراف واحد میانگین تراز سطح آب در دوره پیش‌بینی

۳-۵- مدل‌سازی کیفی

در مدل‌سازی کیفی، مرزهای ورودی و خروجی و تغذیه از سطح به عنوان منابع آلوده‌کننده آب زیرزمینی و ابتدای دوره مدل‌سازی به عنوان آلودگی اولیه آب در نظر گرفته شد. با توجه به دوره مدل‌سازی کمی، مدل‌سازی کیفی نیز برای دوره تنش ۳ ساله شبیه‌سازی شد که داده‌ها با توجه به دوره آماربرداری فصلی، به صورت فصلی وارد مدل گردید. اطلاعات مربوط به موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری، تغذیه از

برای تهیه مدل کیفی از بسته MT3DMS و داده‌های کیفیت شیمیایی مربوط به ۱۰ حلقه چاه کشاورزی استفاده شد که در شکل ۱۸ نمایش داده شده است. اندازه‌گیری کیفی در دشت هنگام به صورت فصلی انجام گرفته که در این تحقیق پارامتر TDS برای ۹ دوره ۴ ماهه (در مجموع ۳۶ ماه) مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۴ میزان TDS در ابتدای دوره مدل‌سازی

Table 4 TDS at the beginning of the modeling period

Area	P	X	Y	TDS (PPM)
Aliabad	P1	660601	3145618	787
Hajiabad	P2	662331	3144309	503
Abu Askar	P3	659533	3144538	794
SarGhanat	P4	658792	3143146	1369
No Abad	P5	659465	3141214	560
Hengam	P6	654141	3136766	1675
Hurz	P7	651692	3139042	1209
Hurz	P8	655219	3138805	1701
Baghno	P9	657362.4	3139602	2425
Baghno	P10	658283	3140664	702

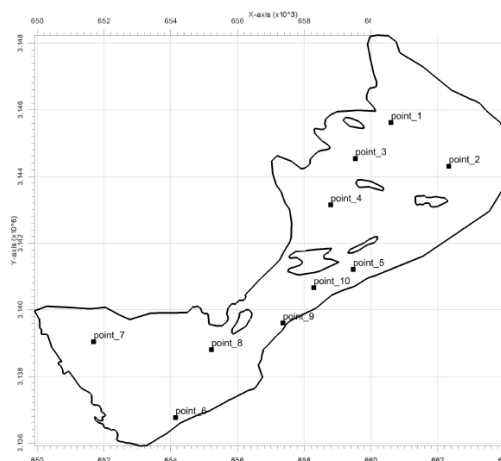


Fig. 18 Position of quality sampling wells
شکل ۱۸ موقعیت چاه‌های نمونه‌برداری کیفی

در جدول ۵ مقدار کالیبره شده پارامترهای لازم در مطالعه کیفی، در آخرین مرحله واسنجی ارائه گردیده است. توزیع TDS در شکل ۱۹ الی شکل ۲۱ نشان می‌دهد که آلودگی در طول این سه سال همواره در حال گسترش است. علت اصلی آن را می‌توان افزایش مواد محلول در طول دوره مدل‌سازی، وجود چاه‌های جذبی، شهری، لندفیل‌های دفع زباله شهری و بارندگی‌ها یا رواناب که بر روی سطح دشت جاری گردیده‌است، دانست. یکی دیگر از دلایل افزایش، می‌تواند عدم خروج جریان آب زیرزمینی از دشت باشد؛ زیرا از نظر زمین‌شناسی و چینه‌شناسی، بالابودن سنگ کف در جنوب دشت باعث می‌شود که جریان آب خارج نشده و آلودگی‌های ناشی از آب، که به وسیله جریان آب به جنوب دشت رسیده، انباشته شود و باعث کم‌شدن کیفیت آن گردد.

همان‌طور که در شکل ۱۹ الی شکل ۲۱ مشخص است TDS موجود در آب در قسمت شمال‌شرقی در پایین‌ترین تراز است و در مرکز دشت تا جنوب شرقی در بالاترین تراز خود قرار دارد. این مقادیر با گذر زمان در حال تغییر بوده حتی در بعضی از زمان‌ها به دو برابر مقدار اولیه خود می‌رسند. در این دشت مرزهای تراوای ورودی جریان آب (بخش جنوبی) باعث انتقال آلودگی به آبخوان می‌شوند و از غرب به جنوب شرقی آبخوان انتقال پیدا می‌کنند. شکل ۲۲

سطح، غلظت اولیه در آبخوان (جدول ۴)، ضریب پخشیدگی طولی (عددی بین ۳ تا ۵ متر)، درصد تخلخل (باتوجه به نوع سازند منطقه، مقدار اولیه آن ۳۰٪ لحاظ شد) نیز در به طور مجزا در نرم‌افزار تعریف گردید.

روش در نظر گرفته شده برای ترم همرفت در این تحقیق روش هیبرید خطوط مشخصه است که از نقاط مثبت دو روش خطوط مشخصه و روش خطوط مشخصه اصلاح شده، استفاده می‌کند (Golchin and Kayseri, 2012). در قسمت مسیریابی ذرات، مدل از سه نوع الگوریتم بهره می‌گیرد. استفاده از FEA^1 که باعث به وجود آمدن خطاهای عددی بزرگ می‌شود؛ مگر اینکه گام‌های انتقال کوچک استفاده شود. ایده اصلی روش FRA^2 نیز در محاسبه سرعت ذره، چهار زمان برای هر گام می‌باشد که یک سرعت وزنی بر اساس مقدار ارزیابی شده در هر چهار نقطه برای حرکت ذرات به موقعیت جدید، استفاده می‌شود. با این روش می‌توان از گام‌های مسیریابی بزرگتر استفاده کرد. تلاش محاسباتی برای روش دوم نسبت به روش اول بیشتر است و به همین دلیل در MT3DMS روشی با خصلت هر دو روش پدید آمده که در این مدل‌سازی نیز از آن استفاده شد. به منظور محاسبه انتشارپذیری ذرات، از بسته انتشارپذیری^۳ استفاده شد.

³ Dispersion Package

¹ First-order Euler algorithm

² Fourth-order Runge-Kutta algorithm

جدول ۵ پارامترهای کالیبره شده در مدل‌سازی کیفی

Table 5 Calibrated parameters in qualitative modeling

Operation Well Number	Porosity	Longitudinal Dispersion (m)	Transverse Dispersion (m)	Vertical Dispersion (m)
1	0.001	3.325	1.6625	0.03325
2	0.03	3.25	1.625	0.0325
3	0.02	5	2.5	0.05
4	0.0157	2.25	1.125	0.0225
5	0.1	3.75	1.875	0.0375
6	0.012	4.75	2.375	0.0475
7	0.22	2.5	1.25	0.025
8	0.3	3.25	1.625	0.0325
9	0.15	3.5	1.75	0.035
10	0.03	3	1.5	0.03
Mean	0.08787	3.4575	1.72875	0.034575

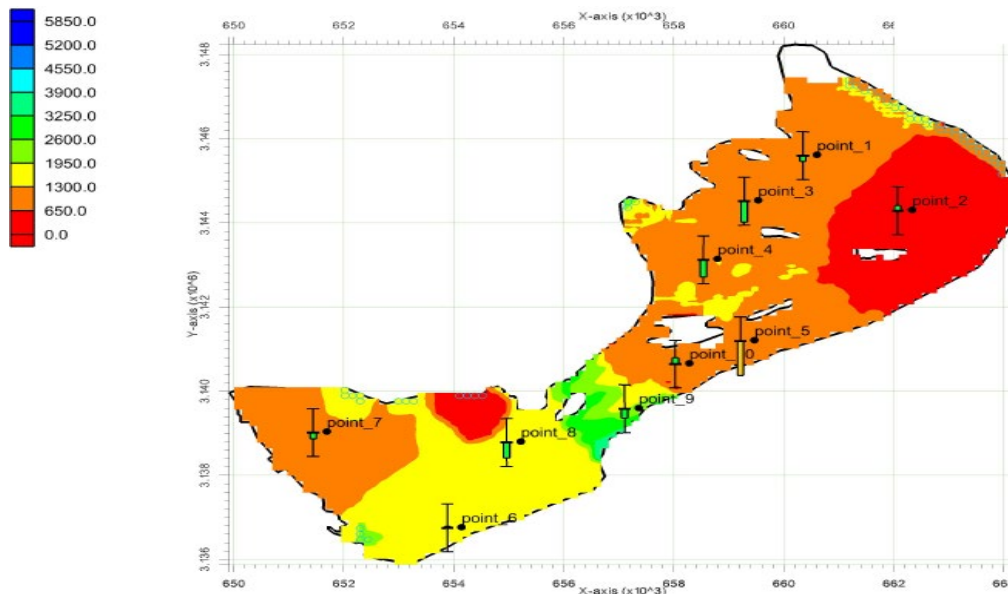


Fig. 19 Distribution of TDS in plains (First modeling period)

شکل ۱۹ نحوه توزیع TDS در دشت (دوره اول مدل‌سازی).

دوره، کاهش حدود ۴/۵ متر تراز آب متناظر با افزایش TDS تا مقدار ۱۲۵/۱۳ PPM می‌باشد که معادل ۱۱/۵۲ درصد افزایش است. با توجه به افت تراز آب در پیش‌بینی ۱۰ ساله، قطعاً افزایش TDS در این دوره انتظار می‌رود.

نشانه آن است که با کاهش تراز آب زیرزمینی، آلودگی TDS در طول دوره شبیه‌سازی ۳۶ ماهه (مهر ۱۳۸۸ تا شهریور ۱۳۹۱) افزایش می‌یابد. همچنین، در طول این

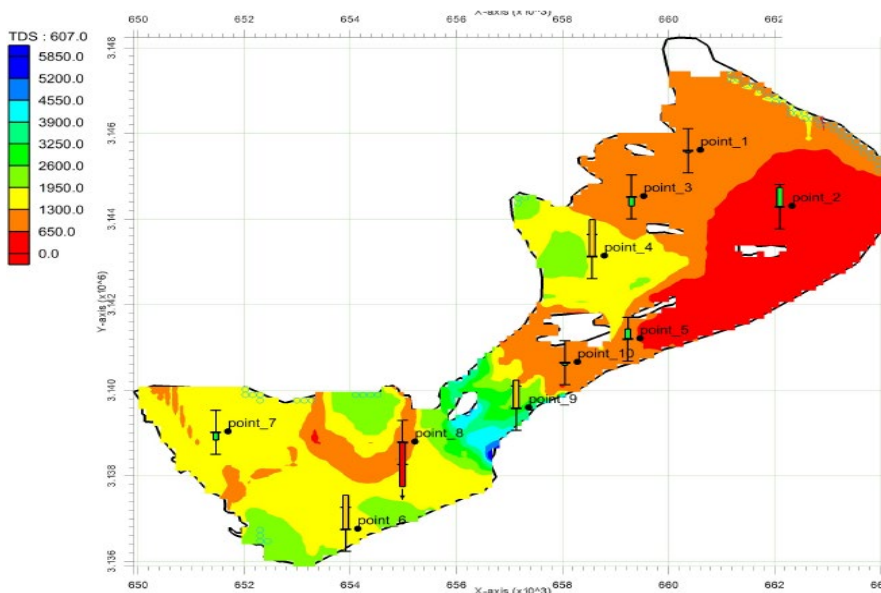


Fig. 20 Distribution of TDS in plains (Sixth modeling period)
 شکل ۲۰ نحوه توزیع TDS در دشت (دوره ششم مدل‌سازی)

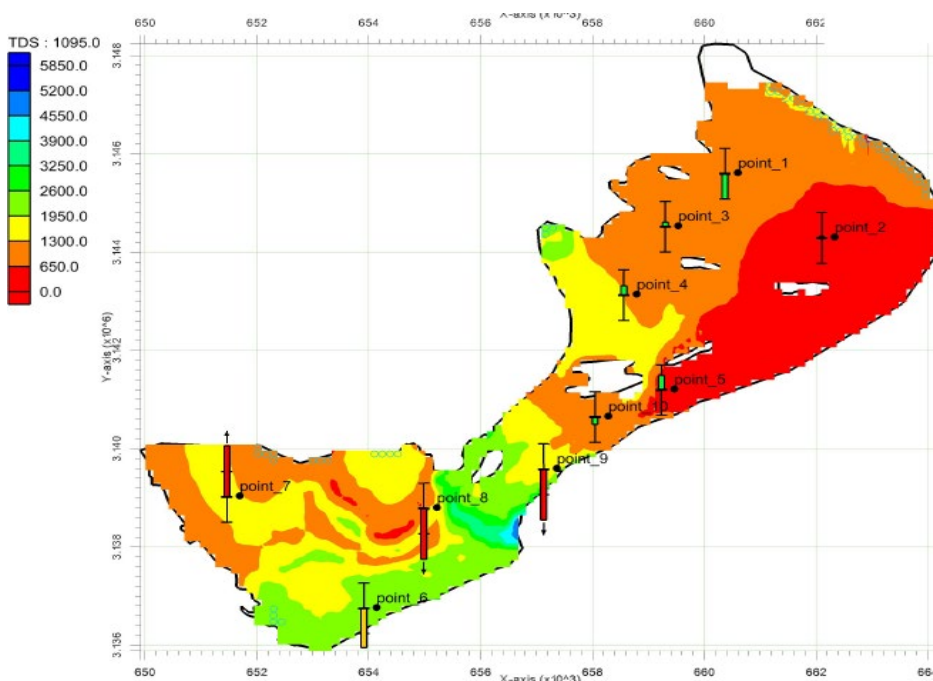


Fig. 21 Distribution of TDS in plains (Ninth modeling period)
 شکل ۲۱ نحوه توزیع TDS در دشت (دوره نهم مدل‌سازی).

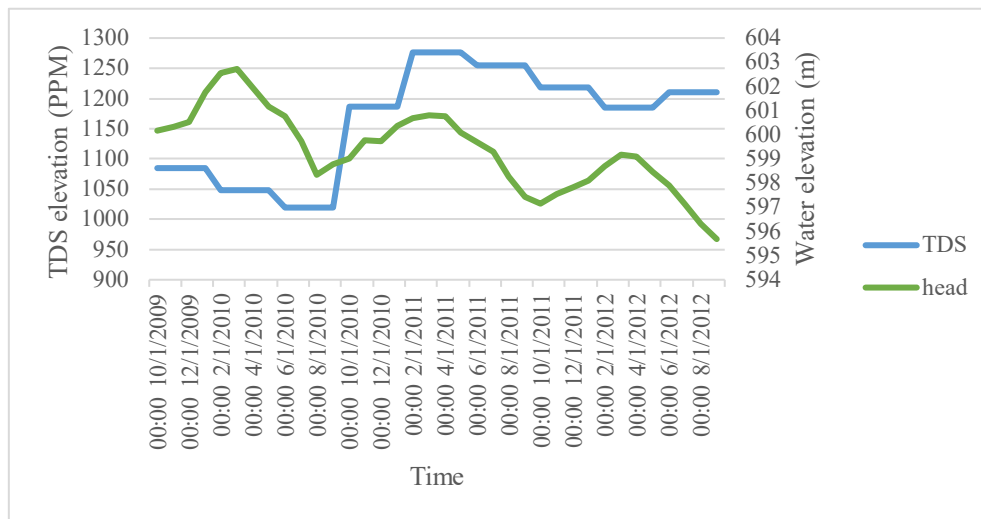


Fig. 22 Changes in TDS relative to water level

شکل ۲۲ تغییرات TDS نسبت به تراز آب

و چاه‌های جذبی و همچنین به کاربری اراضی متراکم کشاورزی باز می‌گردد.

۵- سپاسگزاری

نویسندگان مقاله از اداره آب منطقه‌ای استان فارس، به دلیل اجازه استفاده از گزارشات مربوط به منطقه و در اختیار قراردادن داده‌های مورد نیاز، تشکر و قدردانی می‌نمایند.

References

- Abbasi M. 2014. Investigating the qualitative effects of Chah-Nimeh water entering Zahedan plain. University of Sistan and Baluchestan. [in Persian].
- Abedi Koopae G, Tootian A, Badri SB. 2017. Determining how to spread and transfer pollutants to groundwater in Najafabad plain using MODFLOW software. Paper presented at the Second National Hydrology Conference., Shahrkord, [in Persian].
- Akbari E, Hashemi Monfared SA, Azhdary Moghaddam M. 2017. The forecasting water level of Iranshahr aquifer with MODFLOW software. Paper presented at the Fourth International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urbane Planning, Tehran, Iran, [in Persian].
- Bahrami M, Bazrkar Shamsabadi S, Bagheri F, Dehkhoodae F. 2016. Applying MODFLOW in groundwater utilization management and

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از یک مدل تفاضل محدود جریان آب زیرزمینی، اقدام به توسعه مدل مفهومی برای مدل‌سازی وضعیت کمی و کیفی دشت هنگام گردید. مدل جریان آب زیرزمینی با توجه به رویکرد خودکار واسنجی و صحت-سنجی، کمترین انحراف آماری را بر روی پارامترهای بهینه-سازی ایجاد نمود. دوره پیش‌بینی پس از تهیه مدل شبیه-ساز جریان به مدت ۳۶ ماه و صحت‌سنجی در دو دوره یکی به مدت ۲۴ ماه و دیگری ۶۰ ماه انجام شد. پس از آخرین ماه شبیه‌سازی در مرحله صحت‌سنجی، پیش‌بینی کمی به مدت ۱۲۰ ماه انجام گرفت که افت قابل توجه ۱۷/۸ متر تراز آب را نشان داد. نتایج، روند غیرخطی افتادگی سطح آب زیرزمینی با ادامه شرایط سال پایانی وضع موجود را به صورت خوش‌بینانه نشان می‌داد.

همچنین کیفیت آب زیرزمینی جهت تخمین انباشت مقدار TDS و تغییرات آن در طول دوره شبیه‌سازی به عنوان عامل اصلی در بررسی کیفیت منابع آب، مدل‌سازی شد که با خطای ۱۲۰ PPM نسبت به داده‌های مشاهده‌ای واسنجی گردید. نتایج نشان داد مقدار TDS از مرزهای ورود آب به میزان ۱۱/۵۲ درصد افزایش پیدا کرده و در مرکز دشت، از روستای باغنو تا جنوب آبخوان در حال افزایش و گسترش می‌باشد. علت این امر احتمالاً، به ساختار و نوع سازند سفره

- and Urban Development of Contemporary Iran, Tehran, Iran, [in Persian].
- Office of Water and ABFA Standards and Designs (2017) Guidelines for preparing groundwater mathematical model vol 174-N. Ministry of Energy, Iran [in Persian].
- Paliz T. 2014. Numerical modeling of pollution transmission in Khash plain aquifer. University of Sistan and Baluchestan. [in Persian].
- Regional Water Company of Fars (2012) Report on update studies of water resources balance in Hengam study area. Department of Southwest Studies (Firuzabad), Shiraz, Iran [in Persian].
- Runama R, Jafari A. 2017. Modeling and calculation of artificial recharge changes of Ahrom aquifer under the influence of flood distribution using MODFLOW. Paper presented at the The Second National Conference on Hydrology of Iran, Shahrkord. Iran, [in Persian].
- Sadeghi Goghari H. 2013. Investigation of Laverfin Earth Dam on Quantity of Groundwater Resources Using MODFLOW Mode. University of Sistan and Baluchestan. [in Persian].
- Sahraee H, Asadi A. 2011. Floor depth investigation of Shiraz plain using well logs and geoelectric results. Paper presented at the The first national geological conference of Iran, Shiraz. Iran, [in Persian].
- Shahnavaz E. 2019. Modeling and prediction of sulfate concentration changes in groundwater aquifer of Khash plain. University of Sistan and Baluchestan. [in Persian].
- Torshizi S, Haghghatjoo P, Sheybanian A, Rooeintan T. 2015. Modeling groundwater flow in Sarvestan plain using MODFLOW mathematical model. Paper presented at the Water Engineering Conference and Exhibition, Tehran, Iran, [in Persian].
- Yahri M, Abdeh Kolahchi A. 2016. Simulation of nitrate changes in Shemiranat plain aquifer with MT3DMS model. Paper presented at the Sixth National Conference on Water Resources Management of Iran, Sanandaj. Iran, [in Persian].
- Yousefi M, Soltani G, Tavana B. 2014. Modeling TDS Release in Groundwater by MT3D Model (Case Study: Lordegan Aquifer). Paper presented at the Fifth Conference on Water Resources Management of Iran, Tehran. Iran, [in Persian]
- determination of water table drop in Firoozabad plain of Fars. Paper presented at the 11th National Conference on Watershed Management Sciences and Engineering, Yasooj, Iran, [in Persian].
- Bijari E. 2018. Simulation of climate change effects on groundwater (Case Study: Birjand Plain). University of Sistan and Baluchestan. [in Persian].
- Deymehkar M. 2016. Modeling and investigation of the effects of steel factory construction on groundwater pollution under upstream basin. University of Sistan and Baluchestan. [in Persian].
- Divya A, Shrihari S, Ramesh H. 2020. Predictive simulation of leachate transport in a coastal lateritic aquifer when remediated with reactive barrier of nano iron. *Groundwater for Sustainable Development*, 11(100382).
- Fasihi R, Zare Abyaneh H, Bayat Varkeshi M. 2018. Quantitative and qualitative simulation of Hamedan Bahar aquifer using GNS7.1 and MT3DMS. Paper presented at the 11th National Congress of Biosystems Engineering and Mechanization of Iran, Hamedan. Iran, [in Persian].
- Ghafari S, Banihabib ME, Javadi S. 2020. A framework to assess the impact of a hydraulic removing system of contaminate infiltration from a river into an aquifer (case study: Semnan aquifer). *Groundwater for Sustainable Development*, 10(100301).
- Golchin A, Kayseri N. 2012. Basics of Quantitative and Qualitative Modeling of Groundwater. Simin Publication, Tehran, Iran [in Persian].
- Gudarzian M, Shahnazari A, Ziatabar Ahmadi M. 2016. Simulation of groundwater in Sari-Neka plain using MODFLOW. Paper presented at the Fourth International Congress on Civil Engineering, Architecture and Urban Development, Tehran, Iran, [in Persian].
- Jabbari R, Vagharfad H, Zare S. 2015. Predicting the status of the Isin aquifer using GMS software. Paper presented at the Third National Conference on Agriculture and Sustainable Natural Resources, Tehran, Iran, [in Persian].
- Kamali G, Panjalizadeh N, Panjalizadeh A. 2017. Analysis and investigation of groundwater utilization using MODFLOW software in Kerman. Paper presented at the International Conference on Civil engineering, Architecture