Research Paper

Evaluation of Maydavood_Dallan Aquifer in Various Management Scenarios Using the Mathematical Model

Seyed Yahya Mirzaee[1], Roghayeh Amiri[2*], Manouchehr Chitsazan[3], Arash Nadri[4]

[1] Assistant professor of hydrology, Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, +989163096940, Yahyamirzee@scu.ac.ir
[2] Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, +989168687062, R.amiri172@gmail.com
[3] Professor of hydrogeology, Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, +989163114998, M-chitsazan@yahoo.com
[4] Assistant professor of hydrogeology, Arizona Department of Water Resources, Arizona, United States, +1 515-537-7041, Arash_n@yahoo.com

10.22125/IWE.2023.173303

Received:
September 13, 2022
Accepted:
March 3, 2022
Available online:
June 25, 2023

Keywords:
Mathematical model, Maydavood_Dallan plain, water resources management, GMS

Abstract

Decreased rainfall and increased discharge from aquifers affected by industrial and agricultural development have put double pressure on groundwater resources. Accordingly, the use of new water management methods, especially in aquifers, is essential. Groundwater models are a practical tool for investigating and predicting possible changes in aquifer storage volume that can analyze and evaluate the future conditions of an aquifer in different management scenarios. In this study, the aquifer model of the Maydavood_Dallan plain was calibrated using Modflow code in GMS software for 12 months from September 2013 to September 2014 and validated for six months from September 2014 to March 2015. In order to investigate the effects of water stresses on the aquifer, various scenarios, including drought, wet conditions, 25% reduction in discharge, and the combined effect of drought and increase in aquifer discharge, were applied to the model. According to the results, the groundwater budget of the Maydavood_Dallan aquifer in the water year 93-92 is about 2.6 million cubic meters. Groundwater budget values in the scenarios of drought, wet conditions, and discharge reduction by 25%, and drought with an increase of discharge by 15% were estimated to be 1.828, 3.161, 3.341, and 1.5466 million cubic meters, respectively. In general, according to these results, the groundwater balance in the studied aquifer is always a positive value by applying different scenarios.

1. Introduction

Industrial and agricultural development and the reduction of precipitation in recent years have increased the utilization of groundwater resources and decreased water levels in Iran's aquifers. Therefore, managing water resources and consumption in the country is necessary. Investigating the region's water balance and evaluating dry and wet periods is one of the essential methods in water resources management. Accurate assessing groundwater level fluctuations can help plan for reliable water supply and optimal management of water resources and reduce the high costs of development and operation of these resources. For this purpose,

[*] **Corresponding Author:** Seyed Yahya Mirzaee
Address: Department of Geology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
Email: Yahyamirzaee@scu.ac.ir
Tel: +989163096940

the capabilities of groundwater models can be used for optimal water resources management. Groundwater models can be used to optimize conceptual models, estimate aquifer hydraulic parameters, or predict climate effects and pumping changes on groundwater. The study area is Maydavood_Dallan plain, located in Khuzestan province. According to studies, this region has a semi-arid climate. Therefore, it is necessary to study the groundwater balance in climatic boundary conditions and change the amount of groundwater abstraction. This study aims to simulate the aquifer of Maydavood_Dallan plain using the GMS model to evaluate and predict aquifer balance in different management scenarios. The studied methods include different climatic conditions (wet and dry) and the combined effect of drought, increasing water abstraction and decreasing water abstraction from groundwater sources.

2. Materials and Methods

In this study, to investigate the effect of applying different management scenarios on the aquifer balance of Maydavood_Dallan plain, first, the aquifer's mathematical model was designed and implemented using GMS software and Modflow code for twelve months (October 2013-September 2014). Modeling steps include: preparing a conceptual model, selecting a numerical model, model design, model calibration in both steady and transient states, sensitivity analysis, and validation. The mean error (ME), mean absolute error (MAE), and root means square error (RMSE) was used to evaluate and measure the accuracy of the calibrated and validated model, which indicates the amount of error in estimating variables relative to the observed value. In order to apply wet and dry conditions to the numerical model of the Maydavood_Dallan aquifer, the results of the SPI index were used. For determining the normal, wet, and dry conditions, the SPI index was used for 33 years (1361-1360 to 1394-1393), and the effect of these conditions on the water balance of the area was evaluated using the GMS model in different scenarios. These scenarios include forecasting the groundwater balance in a 25% reduction in harvest, wet and dry conditions, dry conditions, and developing a 15% harvest.

3. Discussion and Conclusion

In the model design stage, the basic information was applied to the model, and then the layers related to the physical and hydraulic structure and flow boundaries were defined. The initial hydraulic conductivity values and specific yield parameters were applied to the model. The RMSE error of the transient model in the calibration and validation periods was estimated to be 0.566 and 0.643 m, respectively. After sensitivity analysis, the model showed the highest sensitivity to surface nutrition, river water level, and hydraulic conductivity at the boundaries and the least sensitivity to the topography and the bedrock. Based on the SPI index, 2007-2008, 1998-1998, and 2006-2007 water years were determined as dry, wet, and normal years, respectively. Then the precipitation values of each of these years were used as climatic scenarios in the model. In dry and wet scenarios, the annual water balance of the Maydavood_Dallan plain model was estimated to be about 1.83 and 3.2 million cubic meters. In the second scenario, the discharge of wells was reduced by 25%, and this stress was investigated in the model. The water balance values of the model under the application of this scenario were estimated to be about 3.34 million cubic meters. In drought conditions and with an increase in discharge from wells by 15%, the region's water balance decreased from about 2.6 to about 1.5 million cubic meters.

4. Results

Application of different scenarios to the Maydavood_Dallan aquifer showed that the groundwater balance of this aquifer in different climatic conditions is also a change in positive harvest values. Evaluation of hydrological parameters of the region showed that the presence of surface recharge in this aquifer has caused the total groundwater balance of this aquifer to be positive despite the negative balance of subsurface flows and the aquifer to maintain its positive balance in different conditions

5. References

1) Akbarpour, A., and E. Ghoochanian. 2019. Assessment Scenarios of Water Resources Management in Arid Areas (Case Study: Birjand Plain, Iran). Journal of Hydrosciences and Environment. ISSN: 2345-5608.

2) El Alfy, M. 2014. Numerical groundwater modeling as an effective tool for the management of water resources in arid areas, Hydrological Sciences Journal, 59(6):1259-1274.

3) Mahmoodzadeh, D., H. Ketabchi, B. Ataie-Ashtiani and CT. Simmons. 2014. Conceptualization of a fresh groundwater lens influenced by climate change: a modeling study of an arid-region island in the Persian Gulf, Iran. J Hydrol 519:399–413.

4) Mckee, T.B, N.J. Doesken and J. Kleist .1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales" 8 Confj, Applied climatology.

5) Panagopoulos, G. 2012. Application of modflow for simulating groundwater flow in the Trifilia karst aquifer, Greece. Environmental Earth Sciences, 67(7): 1877-1889.

6) Singh, A. 2014. Groundwater resources management through the applications of simulation modeling: A review. Science of the Total Environment, 499: 414–423.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران سال سیزدهم. شماره پنجاه و دو .تابستان ۱۴۰۲

ارزیابی آبخوان دشت میداود-دالون در سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل ریاضی

سید یحیی میرزایی[۱]، رقیه امیری[۲]، منوچهر چیت‌سازان[۳]، آرش ندری[۴]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۶/۲۲
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۲/۱۲

مقاله پژوهشی

چکیده

کاهش نزولات جوی همچنین افزایش میزان تخلیه از آبخوان‌ها متأثر از توسعه صنعتی و کشاورزی باعث فشار مضاعف بر منابع آب زیرزمینی شده است. بر این اساس بهره‌گیری از روش‌های جدید مدیریت آب خصوصاً در مدیریت آبخوان‌ها ضروری است. مدل‌های آب زیرزمینی ابزاری کاربردی جهت بررسی و پیش‌بینی تغییرات احتمالی حجم ذخیره‌ی آبخوان هستند که می‌توانند شرایط آتی یک آبخوان را در سناریوهای مختلف مدیریتی تحلیل و ارزیابی نمایند. در این تحقیق مدل آبخوان دشت میداود-دالون با استفاده از کد Modflow در نرم‌افزار GMS برای یک دوره ۱۲ ماهه از آغاز مهرماه ۱۳۹۲ تا پایان شهریورماه ۱۳۹۳ واسنجی و برای یک دوره ۶ ماهه از مهرماه ۱۳۹۳ تا اسفندماه ۱۳۹۳ صحت‌سنجی شد. جهت بررسی اثرات اعمال تنش‌های آبی به آبخوان سناریوهای مختلفی شامل خشک‌سالی، ترسالی، کاهش ۲۵ درصدی برداشت همچنین تأثیر توأم خشک‌سالی و افزایش برداشت از آبخوان، به مدل اعمال شد. بر اساس نتایج، بیلان آبخوان دشت میداود در سال آبی ۹۳-۹۲ حدود ۲/۶ میلیون مترمکعب می‌باشد و مقادیر بیلان در سناریوهای مختلف شامل: خشک‌سالی، ترسالی، کاهش برداشت به میزان ۲۵ درصد و خشک‌سالی همراه با افزایش برداشت به میزان ۱۵ درصد به ترتیب برابر ۱/۸۲۸، ۳/۱۶۱، ۳/۳۴۱ و ۱/۵۴۶ میلیون مترمکعب برآورد شد. به‌طورکلی با توجه به این نتایج با اعمال سناریوهای مختلف، بیلان آبی آبخوان موردمطالعه همواره مقداری مثبت است.

واژه‌های کلیدی: مدل ریاضی، دشت میداود-دالون، مدیریت منابع آب، GMS

۱- استادیار هیدرولوژی، عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۳۰۹۶۹۴۰، Yahyamirzee@scu.ac.ir (نویسنده مسئول)

۲- دانشجوی دکتری هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۸۶۸۷۰۶۲، R.amiri172@gmail.com

۳- استاد هیدروژئولوژی، عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز ،اهواز، ایران، ۰۹۱۶۳۱۱۴۹۹۸ -M chitsazan@yahoo.com

۴- دکتری هیدروژئولوژی، گروه منابع آب آریزونا، ایالات متحده، 7041-537-515 1+، Arash_n@yahoo.com

مقدمه

طبق پیش‌بینی‌ها جمعیت جهان از ۷/۵ میلیارد نفر در حال حاضر به ۹/۵ میلیارد نفر در سال ۲۰۵۰ خواهد رسید (Singh, 2014). این افزایش جمعیت باعث افزایش تقاضا برای آب در بخش‌های مختلف صنعت، کشاورزی، شرب و مصارف خانگی خواهد شد (Sethi et al, 2010). افزایش تقاضا برای آب و همچنین کاهش بارش و جریان‌های سطحی می‌تواند اثر منفی بر منابع آب زیرزمینی که گاهی اوقات تنها منابع آب قابل‌دسترس در مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند داشته باشد (Ostrom. 1990; Esteban and Dinar 2013; Mahmoodzadeh et al. 2014; Huang et al. 2016; Norouzi Khatiri, et al. 2020). بنابراین مدیریت منابع آب به چالشی جهانی در برابر عواقب ناشی از این افزایش تقاضا تبدیل خواهد شد (Singh, 2014). آب زیرزمینی یکی از باارزش‌ترین منابع طبیعی است که سلامت بشر، توسعه اقتصادی و تنوع اکولوژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Rejani, 2007). به دلیل قرارگیری ایران در منطقه خشک و نیمه‌خشک و کاهش بارندگی کشور در سال‌های اخیر بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی افزایش‌یافته است که نتیجه‌ی آن افت سطح ایستابی در بیشتر دشت‌های کشور بوده است. با بررسی دقیق نوسانات سطح آب زیرزمینی می‌توان از آن در برنامه‌ریزی تأمین آب قابل‌اطمینان و نیز در مدیریت بهینه منابع آب استفاده نمود و از مخارج سنگین توسعه و بهره‌برداری این منابع کاست (ایزدی و همکاران،۱۳۸۷). در این راستا می‌توان از مدل‌های جریان آب زیرزمینی جهت مدیریت بهینه منابع آب استفاده نمود. مدل‌های عددی جریان آب زیرزمینی ابزاری ارزشمند در برنامه‌های ترکیبی مدیریت منابع آب هستند (Xi et al. 2010, Alvarez. 2011, Yidana.2011). از این مدل‌ها می‌توان در بهینه‌سازی مدل‌های مفهومی، تخمین پارامترهای هیدرولیکی آبخوان یا پیش‌بینی اثرات آب‌وهوا و تغییرات پمپاژ بر روی آب‌های زیرزمینی استفاده کرد (Panagopoulos, 2012). توسعه مناسب مدل‌های شبیه‌سازی و بهینه‌سازی برای تشخیص عملکرد چاه‌های پمپاژ جهت اطمینان از حداکثر پوشش آبی موردنیاز بسیار حائز اهمیت است (Antoniou et al., 2019). مدل‌های دقیق و پیچیده دوبعدی و سه‌بعدی معمولاً توسط روش‌های تفاضلات محدود یا عناصر محدود و بعد از مشخص شدن شرایط مختلف مرزی برای آبخوان‌های متفاوت پیشنهادشده‌اند (Norouzi Khatiri, et al. 2020).

ال آلفی (۲۰۱۴) با استفاده از نرم‌افزار MODFLOW آبخوان ماسه‌سنگی نوبیان در مصر را در شرایط نا ماندگار شبیه‌سازی کرد. هدف از این مطالعه توسعه نرخ پمپاژ بهینه بود که تحت این شرایط انتظار می‌رفت آب موردنیاز آبیاری مناطق تازه احیاشده تأمین گردد. وی به این منظور از سه سناریوی مختلف مدیریتی استفاده کرد. در سناریوی اول فرض بر این بود که برداشت آب زیرزمینی در طی سال ۲۰۱۱ بدون تغییر ادامه یافته است و مناطق تحت آبیاری حدود ۱۱۰ هزار هکتار و حداکثر افت سطح آب حدود ۱۵ متر است. در سناریوی دوم برداشت از آبخوان ماسه‌سنگی نوبیان ۱۵۰ درصد نسبت به سناریوی اول افزایش یافت و فرض شد مساحت تحت پوشش آبیاری ۱۴۷ هزار هکتار است در این صورت حداکثر افت سطح آب تا پایان سال ۲۰۴۱ حدود ۲۳/۳ متر به دست آمد و در سناریوی سوم برداشت از آبخوان۲۰۰ درصد نسبت به سناریوی اول افزایش یافت و مساحت تحت پوشش آبیاری ۲۲۰ هزار هکتار فرض شد در این شرایط و تا پایان سال ۲۰۴۱ حداکثر افت سطح آب بیش از ۳۰ متر تخمین زده شد. طبق نتایجی که به دست آمد درنهایت سناریوی دوم به‌عنوان بهترین سناریو جهت مدیریت آبخوان در منطقه موردمطالعه انتخاب شد. همچنین El Alfy بیان کرد که از روش‌های مشابه می‌توان برای بهبود بخشیدن به مدیریت آب زیرزمینی در مناطق دیگر کشور مصر و حتی دیگر مناطق خشک مشابه استفاده کرد (El Alfy, 2014). ساهو و همکاران

(۲۰۱۷) با استفاده از MODFLOW یک مدل سه‌بعدی نا ماندگار برای سیستم جریان آب زیرزمینی دلتای ماهانادی در شرق هند شبیه‌سازی کردند. آن‌ها یک آبخوان سه لایه شامل یک آبخوان آزاد در زیر و یک آبخوان محصور در بالا را که توسط یک‌لایه‌ی نفوذناپذیر از هم جداشده بودند توسط MODFLOW مدل‌سازی کردند. آن‌ها به‌منظور واسنجی مدل در حالت ناپایدار از داده‌های ۱۳ چاه کم‌عمق و ۱۱ چاه عمیق از سال ۱۹۹۷تا سال ۲۰۰۶ و برای صحت‌سنجی از داده‌های همان چاه‌ها از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ استفاده کردند. پارامترهای آبخوان و لایه نیمه نفوذپذیر را نیز از طریق آزمون‌های پمپاژ به دست آوردند. طبق نتایج حاصل از تحلیل حساسیت هر دو آبخوان آزاد و محصور بیشترین حساسیت را نسبت به هدایت هیدرولیکی نشان دادند. درنهایت نتایج مطالعات آنان نشان داد که پمپاژ تأثیر بسیار زیادی روی رژیم جریان آبخوان محصور در مقایسه با آبخوان آزاد دارد (Sahoo et al, 2017). اکبرپور و قوچانیان (۲۰۱۹) با استفاده از مدل‌های آب زیرزمینی با اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی آبخوان دشت بیرجند را موردبررسی قراردادند. هدف آن‌ها از این تحقیق بررسی و پیش‌بینی تغییرات سطح آب زیرزمینی و مدیریت رابطه عرضه و تقاضا بود.

آن‌ها به این منظور از چهار سناریوی مدیریتی مختلف که شامل ارزیابی نرخ عرضه و تقاضای آب زیرزمینی، افزایش رشد جمعیت، کاهش مساحت زیر کشت و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای به‌جای آبیاری سنتی تا سال ۲۰۲۰ می‌شد، استفاده کردند. نتایج نشان داد با کاهش۲۰ درصدی مناطق زیر کشت تا سال ۲۰۲۰ و استفاده از روش آبیاری قطره‌ای باراندمان ۹۰ درصد به‌جای آبیاری سنتی نیاز آبی تا ۱۴ درصد کاهش می‌یابد و درنتیجه از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۰ در مصرف آب به‌طور متوسط ۸/۲ میلیون مترمکعب صرفه‌جویی می‌شود (Akbarpour.and Ghoochanian, 2019) .

هدف از این تحقیق شبیه‌سازی آبخوان دشت میداود-دالون و بررسی و پیش‌بینی بیلان آبخوان تحت اعمال سناریوهای مختلف مدیریتی شامل: شرایط اقلیمی متفاوت (ترسالی و خشک‌سالی) و تأثیر توأم خشک‌سالی و افزایش برداشت آب و کاهش برداشت آب از منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل GMS می‌باشد.

منطقه موردمطالعه

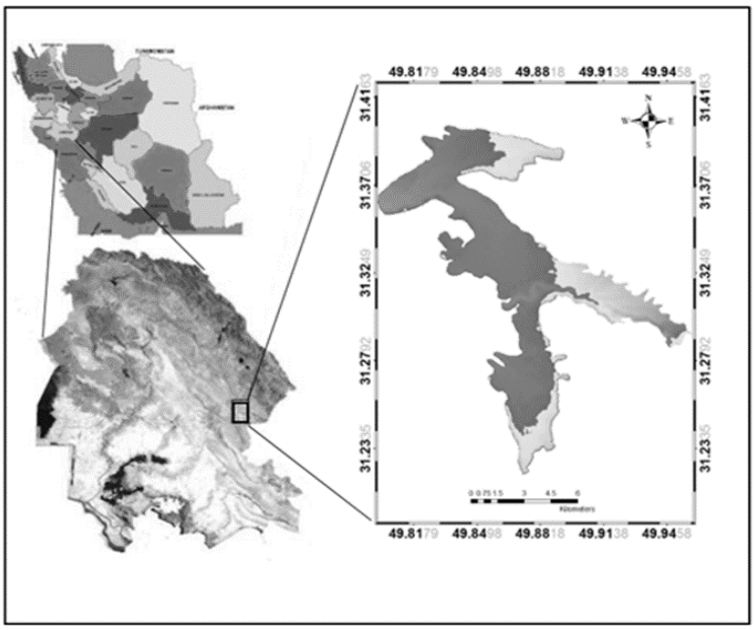
موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه موردمطالعه، دشت میداود-دالون واقع در استان خوزستان می‌باشد. مساحت این دشت حدود ۶۸ کیلومترمربع است که در شمال شرقی شهرستان رامهرمز و در طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۵۶ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و در سلسله جبال زاگرس قرار دارد (شکل ۱). میزان بارندگی سالانه در این دشت حدود ۳۶۷/۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت حدود ۲۲/۴ درجه سانتی‌گراد است.

رژیم هیدروژئولوژیکی و زمین‌شناسی

شناسایی رفتار هیدرولیکی منابع آب زیرزمینی همواره مستلزم درک صحیحی از چهارچوب فیزیکی و هیدرولیکی آبخوان است. در این راستا باید وضعیت مرزها، توپوگرافی سطحی، وضعیت سنگ کف، جنس سازندها، پارامترهای هیدرودینامیکی و مکان‌های تغذیه و تخلیه کننده آبخوان شناسایی گردد. سنگ کف دشت میداود-دالون از لایه‌های گچی و مارنی سازند گچساران تشکیل‌شده است. اما این سنگ‌ها به‌مرورزمان براثر فرسایش فیزیکی سنگ‌های آهکی آسماری و تشکیل واریزه‌های کوهی مدفون‌شده‌اند. دیواره‌های چاه‌های عمیق که در این دشت به‌منظور دستیابی به ذخایر آب‌های زیرزمینی حفاری‌شده است به‌طورکلی از واریزه‌های کوهی شامل قطعه‌های ریزودرشت سنگ پوشیده شده است. در این بخش به علت عملکرد گسل معکوسی که در راستای محور طاقدیس می‌باشد، شیب لایه‌بندی تند و همین عامل باعث شده تا ارتباط

هیدرولیکی دشت و سازند آهکی و آبدار آسماری فقط از طریق شکستگی‌های عرضی صورت گیرد (آرام، ۱۳۹۱). در دشت میداود-دالون درمجموع ۱۰۱ حلقه چاه بهره‌برداری و ۱۰ حلقه چاه مشاهده‌ای در دوره مدل‌سازی (آغاز مهرماه ۱۳۹۲ تا پایان شهریورماه ۱۳۹۳) فعال بوده است. با توجه به نقشه توپوگرافی، شیب عمومی منطقه از شمال شرق به غرب دشت می‌باشد و به‌طورکلی منطقه دارای شیب ملایمی است (حدود دو در هزار). ضخامت متوسط آبرفت ۷۰ متر، ضخامت متوسط بخش اشباع نیز حدود ۵۰ متر می‌باشد. میانگین سطح ایستابی منطقه در بخش وسیعی از دشت میداود- دالون بین ۴۷۰ تا ۴۸۶ متری از سطح دریا می‌باشد.



شکل (۱):موقعیت منطقه موردمطالعه (امیری، ۱۳۹۵)

مواد و روش‌ها

تهیه مدل مفهومی

معمولاً پس از مشخص شدن هدف از مدل‌سازی یعنی اینکه از ابتدا مشخص باشد در انتهای مدل‌سازی چه انتظاری از مدل وجود دارد و نتایج آن تا چه اندازه می‌تواند نیازهای مدیریت آبخوان را برآورده نماید، مدل مفهومی منطقه که دومین گام در فرآیند مدل‌سازی و در حقیقت مهم‌ترین مرحله در مطالعات مدل می‌باشد، تهیه می‌شود. مدل مفهومی درواقع نمایش تصویری سیستم جریان آب زیرزمینی به شکل بلوک دیاگرام یا مقطع برش است. هدف از تهیه مدل مفهومی ساده کردن وضعیت پیچیده طبیعت است. اولین مرحله در فرموله کردن مدل مفهومی، تعریف ناحیه موردنظر است به‌عبارت‌دیگر باید مرزهای مدل را مشخص نمود. ساخت مدل مفهومی سه مرحله دارد: تعریف واحدهای هیدرواستراتیگرافی، مهیا نمودن بیلان آب و تعریف سیستم جریان که درواقع شامل معرفی واحدهای هیدرواستراتیگرافی و مرزهای سیستم می‌باشد.

انتخاب مدل عددی

انتخاب کد رایانه‌ای باید به‌گونه‌ای باشد که بتواند به بهترین وجه، درک مفهومی از آبخوان را شبیه‌سازی کند و هدف تهیه مدل را برآورده نماید. کد همان برنامه‌ی کامپیوتری است که شامل الگوریتمی برای حل مدل ریاضی به‌صورت عددی است (Anderson and

Woessner, 1992). انتخاب کد مناسب شامل انطباق نیازهای مدل با توانایی‌ها و کاربری‌های کدهای موجود و در دسترس می‌باشد.

طراحی مدل

پس از توصیف مدل مفهومی و انتخاب نرم‌افزار مناسب، مرحله ساخت مدل آغاز می‌شود که شامل طراحی شبکه مدل، انتخاب گام‌های زمانی، تعیین مرزها و شرایط اولیه و انتخاب مقدار مناسب برای پارامترهای آبخوان و تنش‌های هیدرولوژیکی است. شبکه‌بندی آبخوان باید بر اساس مدل مفهومی و نیز شرایط مرزی تعیین‌شده صورت پذیرد، همچنین شکل هندسی، ابعاد و تعداد شبکه باید به‌گونه‌ای باشد که تغییرات شدید ساختار فیزیکی آبخوان و شرایط هیدرولیکی حاکم را به‌خوبی نمایش دهد. گام زمانی درواقع جداسازی زمانی معادلات جریان و تعیین مقاطع زمانی شبیه‌سازی می‌باشد. گام‌های زمانی باید کوچک انتخاب شوند، اما نه آن‌قدر کوچک که از توان عملی محاسبات تجاوز نماید. این عامل نقش کنترل‌کننده‌ای بر روی شرایط مرزی دارد و طراحی اولیه آن بر اساس تجربه و نیز استفاده از نتایج تحلیل حساسیت می‌باشد. در مدل‌های آب زیرزمینی چهار نوع مرز در نظر گرفته می‌شود. نوع مرز انتخابی باید سازگاری کاملی با بیلان آبی و شرایط مرزی تعریف‌شده در مدل مفهومی داشته باشد (آرام ۱۳۹۰، امیری ۱۳۹۵).

واسنجی

واسنجی عبارت است از، فرآیند پیدا کردن مجموعه‌ای از شرایط مرزی، تنش‌ها و پارامترهای هیدروژئولوژیک که نتایج به‌دست‌آمده از آن به‌صورت بسیار نزدیکی بر اندازه‌گیری‌های بار هیدرولیکی و جریان‌های صحرایی برازش دارد. در موارد متعدد، کیفیت واسنجی به مقدار قابل‌اعتماد بودن داده‌های موجود بستگی دارد. در فرآیند واسنجی ساختار و مقادیر پارامترهای مدل تنظیم می‌شود و بهترین انطباق بین مقادیر جریان و بار هیدرولیکی اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی‌شده صورت می‌گیرد (Panagopoulos, 2012) واسنجی مدل را می‌توان برای شرایط ماندگار، نا ماندگار و یا هردو انجام داد.

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت عبارت است از ارزیابی کمی تغییرات خروجی‌های مدل نسبت به تغییرات ورودی‌های آن. تحلیل حساسیت مشخص‌کننده پارامترهایی است که باید به‌منظور تعیین صحیح و دقیق پیش‌گویی مدل تغییر داده شوند. در طی تحلیل حساسیت مدل به‌دفعات متعددی اجرا می‌شود که در هر اجرا فقط یک پارامتر با درصد مشخص تغییر می‌یابد و نوسانات مثبت و منفی آن موردبررسی قرار می‌گیرد. از تحلیل حساسیت می‌توان جهت توصیف و تفسیر مدل به‌وسیله تعریف ورودی‌های موردنیاز کمک گرفت.

صحت‌سنجی

اساس بسیاری از مفاهیم ارزیابی مدل‌ها صحت‌سنجی و اعتبار سنجی مدل می‌باشد (Scheiber et al, 2015). یک مدل زمانی صحت‌سنجی شده است که ثابت‌شده باشد که صحت و قابلیت پیش‌بینی آن در محدودیت‌های قابل قبولی از آزمون‌های مستقل از داده‌های واسنجی واقع می‌شود. در صحت‌سنجی مدل با استفاده از پارامترهای واسنجی شده توسط مدل و نیز تنش‌های واردشده به مدل، مجموعه دیگری از داده‌های مشاهداتی را شبیه‌سازی می‌کند. بعدازاینکه مدل با موفقیت، داده‌های اندازه‌گیری شده در صحرا را در زمان واسنجی و در زمان صحت‌سنجی شبیه‌سازی کرد، مدل می‌تواند به‌منظور پیش‌بینی مورداستفاده قرار گیرد.

معیارهای ارزیابی و سنجش دقت مدل:

برای ارزیابی و سنجش دقت مدل واسنجی و صحت‌سنجی شده از سه پارامتر میانگین خطا (ME)، میانگین خطای مطلق (MAE) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) که بیانگر میزان خطای برآورد متغیرها نسبت به مقدار مشاهداتی است استفاده شد.

فرمول این پارامترها به شرح زیر است:

$$ME = \frac{\sum_{i=1}^{n}(h_0 - h_s)_i}{n} \quad (۱)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|(h_0 - h_s)_i|}{n} \quad (۲)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}((h_0 - h_s)_i)^2}{n}} \quad (۳)$$

در روابط بالا: h_s مقدار بار هیدرولیکی شبیه‌سازی‌شده توسط نرم‌افزار، h_0 مقدار بار هیدرولیکی چاه‌های مشاهداتی دشت و n تعداد پیزومترها می‌باشد.

شاخص SPI

به‌منظور اعمال شرایط ترسالی و خشک‌سالی به مدل عددی آبخوان میداود-دالون از نتایج حاصل از شاخص SPI استفاده شد. جهت تعیین این شاخص از یک دوره آماری بلندمدت و دلخواه بارندگی برای هر منطقه استفاده می‌شود این شاخص بر اساس اختلاف بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست می‌آید و تنها فاکتور موردنیاز برای محاسبه آن بارندگی می‌باشد. مقدار مثبت این شاخص نشان‌دهنده بارندگی بیش از مقدار میانه و مقدار منفی آن معنای عکس دارد (Mckee et al, 1993). مقدار شاخص SPI از رابطه زیر قابل‌محاسبه است.

$$SPI = \frac{(P_i - \bar{P})}{Sd} \quad (۴)$$

که در آن SPI شاخص بارندگی سالانه، P_i مقدار بارندگی در دوره موردنظر، $\bar{P}$ میانگین بلندمدت بارش و Sd انحراف معیار بارندگی در طول دوره آماری است (آل بوعلی و همکاران، ۱۳۹۵). پس از محاسبه میزان شاخص، مقادیر SPI طبق جدول (۱) طبقه‌بندی می‌شود (Hyes Michael, 2000، آبکار و همکاران، ۱۳۸۹). پس از تعیین شرایط نرمال همچنین تعیین شرایط ترسالی و خشک‌سالی در منطقه موردمطالعه با استفاده از شاخص SPI برای یک دوره زمانی ۳۳ ساله (۱۳۶۰-۱۳۶۱ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۳) تأثیر این شرایط بر بیلان آبی منطقه با استفاده از مدل GMS در قالب سناریوهای ب، ج و د مورد ارزیابی قرار گرفت.

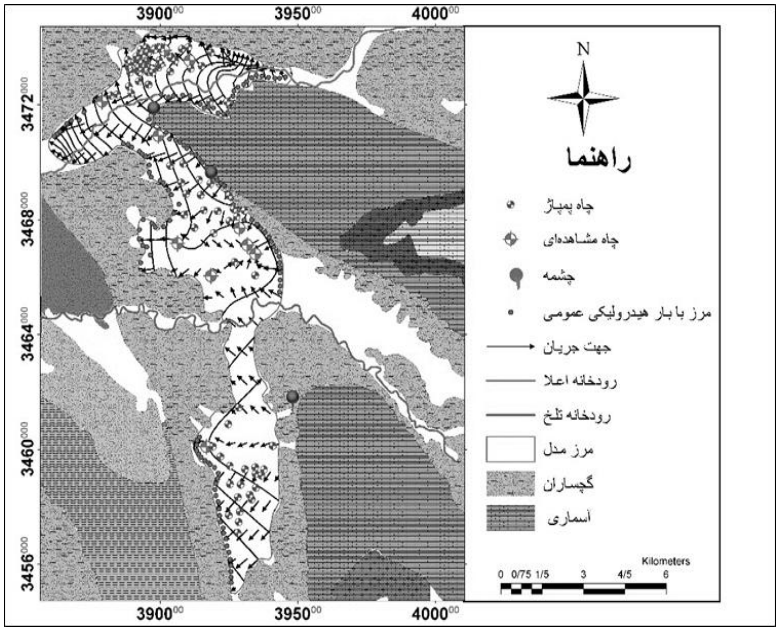
جدول۱- طبقه‌بندی شاخص SPI

ردیف	وضعیت	مقدار SPI
۱	فرا مرطوب	بزرگ‌تر یا مساوی با ۲
۲	بسیار مرطوب	۱.۵ تا ۱.۹۹
	نسبتاً مرطوب	۱ تا ۱.۴۹
۳	نزدیک نرمال	۰.۹۹- تا ۰.۹۹
۴	نسبتاً خشک	۱- تا ۱.۴۹-
۵	بسیار خشک	۱.۵- تا ۱.۹۹-
۶	فرا خشک	کوچک‌تر یا مساوی ۲-

بحث و نتایج

تهیه مدل مفهومی

یک بخش مهم از تولید مدل مفهومی آبخوان آبرفتی میداود-دالون تعیین منابع آبی تغذیه‌کننده و تخلیه کننده سیستم آب زیرزمینی است که بر اساس داده‌های موجود تعیین گردید. جریان‌های ورودی به سیستم آب زیرزمینی دشت میداود-دالون شامل تغذیه از بارندگی، تغذیه از کف رودخانه‌های موجود در دشت، تغذیه از جریان‌های سطحی ناشی از چشمه‌های موجود در منطقه و تغذیه زیرزمینی از سازند آسماری در شمال شرق دشت همچنین آب برگشتی آبیاری مزارع کشاورزی می‌باشد. جریان‌های خروجی از سیستم آبخوان دشت میداود شامل پمپاژ از چاه‌ها و جریان‌های تخلیه کننده زیرزمینی می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- مدل مفهومی آبخوان دشت میداود- دالون

انتخاب مدل عددی

با توجه به این‌که آبخوان دشت میداود-دالون از نوع آزاد است معادله حاکم بر جریان آب زیرزمینی رابطه غیرخطی بوزینسک می‌باشد که به‌صورت زیر تعریف‌شده است:

$$\frac{\partial}{\partial_x}\left(k_x\frac{\partial h}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial_y}\left(k_y\frac{\partial h}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial_z}\left(k_z\frac{\partial h}{\partial z}\right)=S_s\frac{\partial h}{\partial t}\pm R \quad (۵)$$

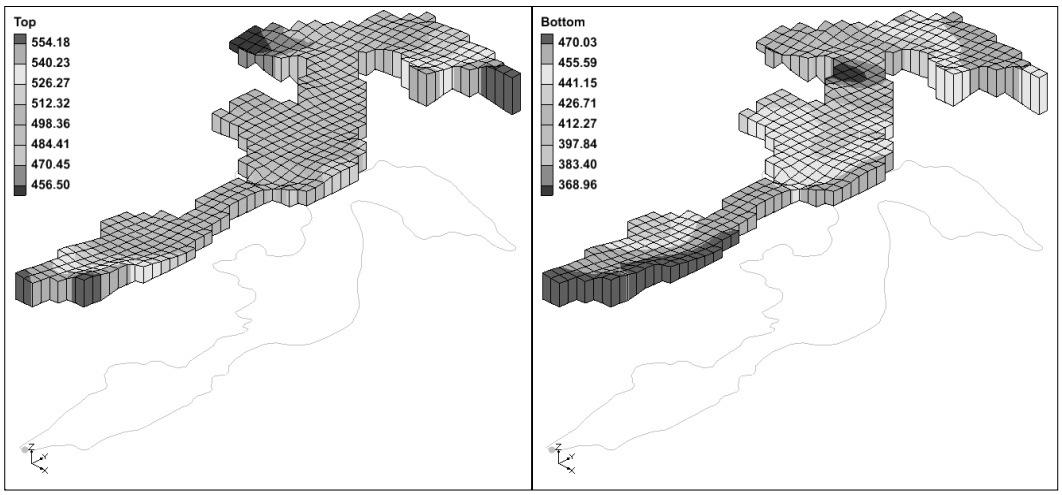
در رابطه (۵)، R مؤلفه تغذیه یا تخلیه، Ss آبدهی ویژه،h بار هیدرولیکی و Kx، Kz و Ky مؤلفه‌های تنسور هدایت هیدرولیکی آبخوان می‌باشند. در انتخاب کد کامپیوتری به معیارهایی مانند کارایی مدل، عمومیت کاربری، دقت در محاسبات و ارائه مناسب نتایج به‌صورت گرافیکی توجه شده است؛ بنابراین از مدل عددی MODFLOW که با روش تفاضل محدود معادلات دیفرانسیل را محاسبه می‌کند، استفاده شد.

طراحی مدل و ورود اطلاعات اولیه

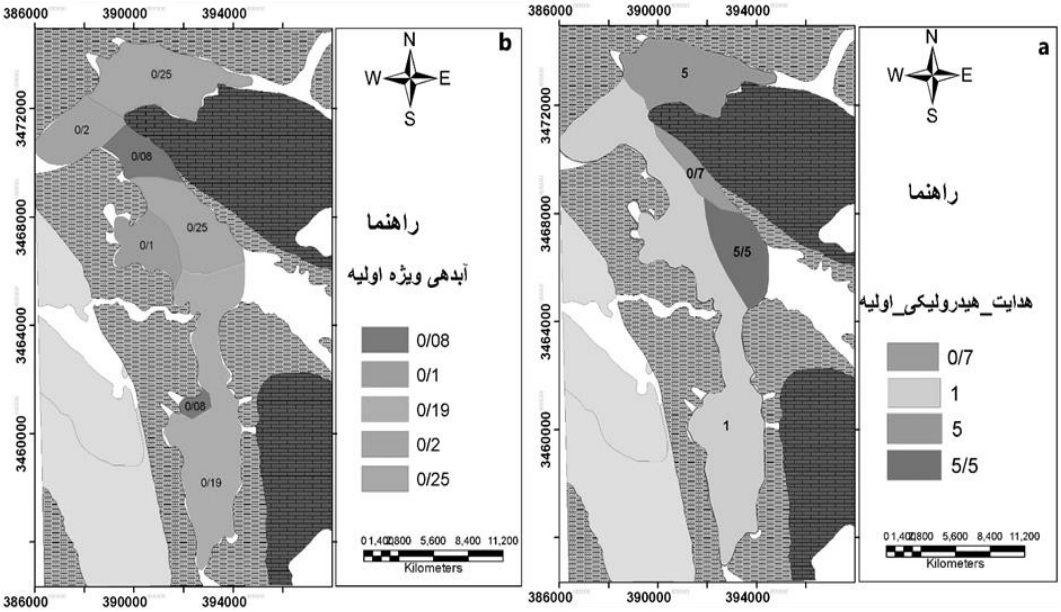
طراحی مدل به این معنی است که مدل مفهومی به مدل عددی تبدیل شود. با توجه به درجه ناهمگنی پارامترهای هیدرولیکی، شرایط مرزی، اندازه محدوده مطالعاتی، تفکیک‌پذیری موردنیاز جهت رسیدن به اهداف مدل‌سازی و با در نظر گرفتن محدودیت‌های محاسباتی، اندازه سلولی ۳۵۰ در ۳۵۰ متر برای مدل‌سازی جریان آبخوان دشت میداود-دالون، مناسب تشخیص داده شد. شبکه‌ای شامل ۶۲ ردیف (بعد x)و ۳۳ ستون (بعد y) با اندازه سلولی ۳۵۰ در ۳۵۰ متر طراحی شد که در بعد Z به دلیل تک لایه بودن شامل یک سلول است. سه پارامتر سنگ کف، توپوگرافی و بار هیدرولیکی اولیه بعد از ایجاد شبکه و تعریف سلول‌های فعال به مدل اعمال شد. آبخوان دشت میداود-دالون به‌صورت یک‌لایه‌ای و از نوع آزاد است به همین دلیل مرز فوقانی مدل را سطح زمین و به عبارتی توپوگرافی منطقه تشکیل می‌دهد. توپوگرافی کف آبخوان میداود (مرز زیرین) بر اساس اطلاعات لاگ چاه‌ها و سوندژهای ژئوفیزیکی (مهندسین مشاور ژرف پویا،۱۳۸۰) و کیفیت منابع آب استخراج گردید و به شکل فایل text با استفاده از ماژول 2D Scatter point در محیط نرم‌افزار GMS7.1 فراخوانی و در همین ماژول به روش Kriging درون‌یابی و به سلول‌های شبکه مدل MODFLOW نسبت داده شد (شکل ۳). بار هیدرولیکی اولیه مقادیر سطح ایستابی است که باید به مدل داده شود تا مدل بر اساس آن شروع به محاسبه

بار هیدرولیکی برای هر سلول فعال نماید. در مدل ناپایدار سطح آب اسفندماه ۱۳۹۲ به‌عنوان بار هیدرولیکی اولیه به مدل داده‌شده است. در منطقه میداود مرز هیدروژئولوژی از نوع هیدرولیکی است، برای مشخص کردن محدوده مرز هیدرولیکی نقشه جریان آب زیرزمینی به کمک داده‌های سطح ایستابی پیزومترهای میداود برای دوره مدل‌سازی (مهر۱۳۹۲-شهریور۱۳۹۳) در محیط نرم‌افزار Surfer10 ترسیم و بر اساس این نقشه‌ها مرزهای ورودی و خروجی منطقه تعیین گردید (شکل ۲). با توجه به خطوط تراز چاه‌های مشاهده‌ای و نقشه‌های موجود، در قسمت‌هایی از دشت که تغذیه‌ای صورت نمی‌گرفت مرز فاقد جریان یا نفوذناپذیر و سایر مرزها به‌عنوان مرز با بار هیدرولیکی عمومی (General Head Boundary) یا GHB در نظر گرفته شدند. علت استفاده از مرز با بار هیدرولیکی عمومی این است که برخلاف مرز با بار مشخص، سطح آب در این نوع مرز ثابت نمی‌باشد و ممکن است با رسیدن اثر تنش‌های داخلی به مرز، سطح آب تغییر نماید. دبی جریان ورودی یا خروجی با توجه به گرادیان هیدرولیکی در مرز و گذردهی یا کنداکتانس سلول مرزی تغییر می‌نماید. از طرف دیگر حساسیت بارهای هیدرولیکی محاسباتی مدل به پارامتر مرزی نوع GHB کمتر از سایر مرزهاست. بنابراین اگر فرضیات مرزی به‌کاررفته در مرز درست نباشد و یا در اثر رسیدن اثر تنش‌ها، مرزها رفتار غیرواقعی نشان دهند، نتایج مدل کمتر تحت تأثیر قرار خواهد گرفت. از دیگر اطلاعات اولیه موردنیاز، پارامترهای هیدرولیکی (هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه) می‌باشد. جهت اعمال هدایت هیدرولیکی اولیه به مدل داده‌های قابلیت انتقال حاصل از آزمون پمپاژ دشت میداود-دالون ابتدا در محیط نرم‌افزار GIS به روش Kriging درون‌یابی شد. سپس بر اساس مطالعات ژئوالکتریک، لاگ چاه‌ها و قضاوت هیدروژئولوژیکی تصحیح گردید، با تقسیم کردن این لایه درون‌یابی شده بر لایه ضخامت اشباع در محیط نرم‌افزار GIS، لایه هدایت هیدرولیکی آبخوان میداود-دالون تهیه و با فرمت مناسب وارد نرم‌افزار GMS7.1 شد. در محیط این نرم‌افزار پلی‌گون‌های مجزایی از هدایت هیدرولیکی بر اساس زون‌بندی نقشه هدایت هیدرولیکی GIS ایجاد و مقداردهی و درنهایت به MODFLOW وارد شد. میزان هدایت هیدرولیکی اولیه در زون‌های مختلف بین مقادیر ۰/۷ تا ۵ متر بر روز متغیر بود. به‌منظور اعمال آبدهی ویژه اولیه به مدل، مقادیر اولیه آبدهی ویژه از داده‌های تفسیر شده آزمون پمپاژ، مطالعات ژئوالکتریک، لاگ چاه‌ها، و قضاوت هیدروژئولوژیکی تعیین و استخراج شد. مقادیر اولیه آبدهی ویژه به شکل نقاط از ماژول 2D Scatter point نرم‌افزار GMS7.1 وارد این نرم‌افزار شد و بعد از درون‌یابی به روش Kriging، زون‌بندی و مقداردهی شد. مقادیر آبدهی ویژه اولیه نیز بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۵ در زون‌های مختلف متغیر بود در شکل (۴) زون‌بندی و مقادیر اولیه هدایت هیدرولیکی و آبدهی ویژه نشان داده‌شده است. از دیگر اطلاعات مهم موردنیاز در طراحی مدل تشخیص مناطقی است که تبخیر و تعرق از آب زیرزمینی در آنجا صورت می‌گیرد. با توجه به جنس رسوبات و جنس خاک در دشت میداود-دالون، عمق تبخیر از سطح ایستابی آب زیرزمینی ۵ متر در نظر گرفته شد. درنتیجه نقشه‌های هم عمق آبخوان میداود-دالون برای هر ۱۲ ماه دوره مدل در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد و نواحی دارای عمق کمتر از ۵ متر به‌عنوان مناطق مستعد تبخیر از آب زیرزمینی تفکیک و برای مدل ریاضی دشت میداود-دالون تعریف گردیدند. ازجمله عوامل تغذیه سطحی آبخوان میداود عامل بارندگی و تا حدودی سه چشمه موجود در منطقه می‌باشد. جهت اعمال تغذیه اولیه ناشی از این دو عامل مرزهای تغذیه‌ای داخلی دشت میداود- دالون بر اساس ویژگی‌های متفاوت خاک‌شناسی، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، شیب زمین و نقشه تراکم آبراهه‌ها در نقاط مختلف، تعیین و به مدل جریان وارد شدند. بر اساس این ویژگی‌ها به لحاظ تغییرات مکانی تغذیه، سطح دشت میداود- دالون برای تغذیه از بارندگی و چشمه‌ها

زون‌بندی شد و برای هر زون نرخ نفوذ مناسب طراحی و تغذیه آن محاسبه گردید (۷، a). همچنین با یک تخمین اولیه ۱۵٪ برداشت از چاه‌های کشاورزی به‌عنوان آب برگشتی به آبخوان در نظر گرفته شد، به همین جهت ۱۵٪ میزان کل برداشت از هر چاه کشاورزی کسر گردید. در مورد چاه‌های شرب و صنعت نیز به ترتیب ۲۰٪ و ۱۸٪ به‌عنوان آب برگشتی به آبخوان در نظر گرفته شد و این مقادیر از میزان کل برداشت از چاه‌های با مصرف شرب و صنعت کسر و در قالب بسته چاه به مدل اعمال شد. تمام اطلاعات موردنیاز جهت تهیه مدل مفهومی و مدل‌سازی آبخوان دشت میداود-دالون از سازمان آب و برق خوزستان گرفته شد.



شکل (۳): اعمال اطلاعات اولیه(توپوگرافی و سنگ کف) به مدل آبخوان دشت میداود- دالون



شکل (۴): اعمال اطلاعات اولیه (هدایت هیدرولیکی (a) و آبدهی ویژه (b)) به مدل آبخوان دشت میداود- دالون

نتایج واسنجی

مدل عددی جریان آب زیرزمینی دشت میداود-دالون در دو حالت پایدار و ناپایدار واسنجی شد که نتایج آن به‌صورت زیر است:

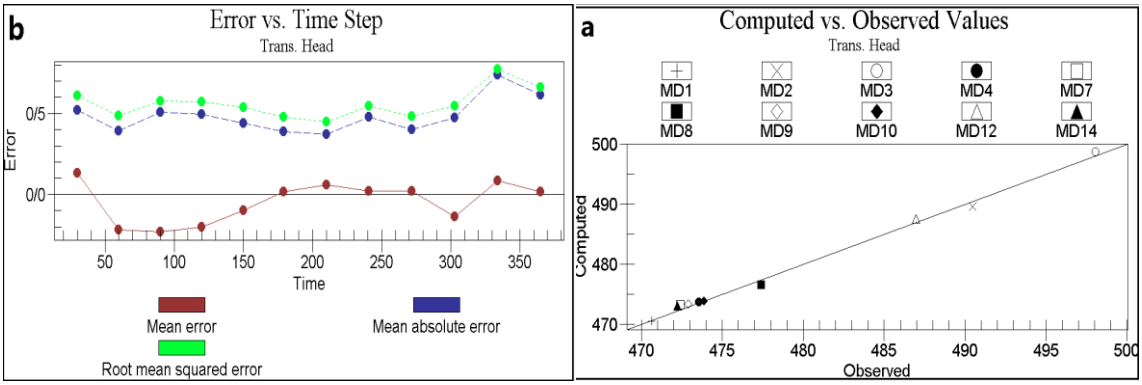
نتایج واسنجی در حالت پایدار

طی مراحل واسنجی مدل دشت میداود-دالون برخی خصوصیات آبخوان ازجمله ویژگی‌های هیدرولیکی آبخوان برای رسیدن به انطباقی نزدیک‌تر بین تراز آب زیرزمینی مشاهده‌ای و محاسبه‌ای تنظیم و تعدیل شد. در جدول (۲) میانگین خطای اجرای مدل دشت میداود-دالون پس از واسنجی در حالت پایدار آورده شده است. شکل (۵، a) برازش بار هیدرولیکی محاسباتی و مشاهداتی اجرای مدل دشت میداود-دالون در حالت پایدار را نشان می‌دهد که بیان‌کننده برازش مناسب بارهای هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی حاصل از مدل است. بر اساس نتایج میزان خطای واسنجی برای مدل دشت میداود کمتر از یک می‌باشد. در اجرای مدل ناپایدار از نتایج مدل واسنجی شده حالت پایدار برای تخمین دیگر پارامترهای هیدرولیکی و میزان تغذیه استفاده‌شده است.

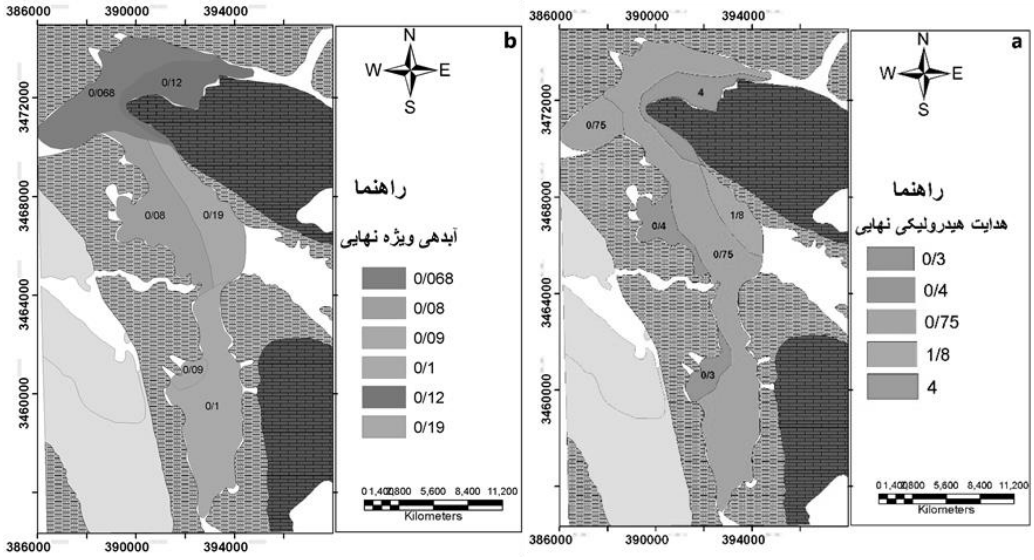
نتایج واسنجی در حالت ناپایدار

مدل‌سازی جریان و انتقال آب‌های زیرزمینی دشت میداود-دالون از تاریخ ۱۳۹۲/۷/۱ تا تاریخ ۱۳۹۳/۶/۳۱ انجام گرفت. جهت انجام مدل‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی دشت میداود-دالون، دوازده دوره تنش یک‌ماهه (۲۹، ۳۰ و ۳۱ روزه) در نظر گرفته شد. مدل‌سازی جریان آب‌های زیرزمینی دشت میداود-دالون در هر دوازده دوره تنش در حالت نا ماندگار انجام شد. در همین راستا تقسیمات زمانی ذکرشده برای تمام چاه‌های مشاهده‌ای و بهره‌برداری، شرایط مرزی (ورودی‌ها، خروجی‌ها)، رودخانه، تغذیه ناشی از بارندگی و دیگر تنش‌های موجود در دشت به مدل اعمال شد.

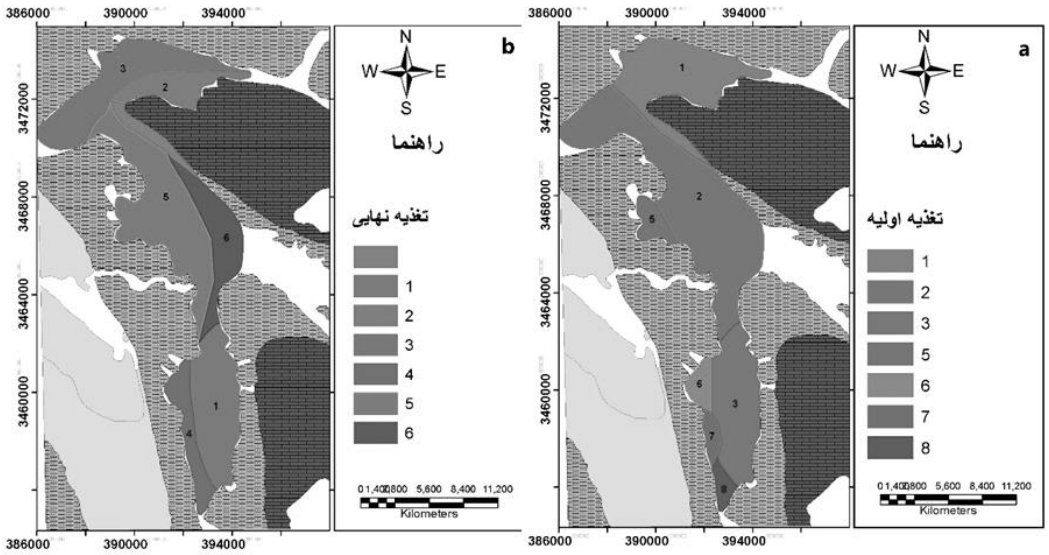
پس از واسنجی مدل در شرایط ماندگار، مدل برای مدت ۳۶۵ روز در حالت ناپایدار اجرا گردید. کلیه داده‌های موردنیاز در مدل ناپایدار که وابسته به زمان می‌باشند نظیر تراز آب در چاه‌های مشاهداتی برای ماه‌های مختلف، پمپاژ از آب زیرزمینی، تغذیه سطحی، تبخیر از آب زیرزمینی و تراز سطح آب بسته مرزی GHB برای دوره‌های تنش به مدل اعمال و مدل برای حالت ناپایدار اجرا شد. پس از تصحیح مقادیر هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، جریان‌های ورودی و خروجی و تغذیه سطحی مدل واسنجی شد. مقادیر انواع خطاها در دوره‌های تنش و همچنین میانگین خطای آخرین اجرای مدل در حالت ناپایدار در جدول (۲) و شکل (۵، b) آورده شده است. زون‌بندی و مقادیر نهایی هدایت هیدرولیکی (بین ۰/۲ تا ۳/۵) و آبدهی ویژه (بین ۰/۰۳ تا ۰/۱۱) در پایان واسنجی در شکل (۶) و زون‌بندی نهایی تغذیه نیز در شکل (۷، b) در نشان داده‌شده است



شکل ۵) a: برازش بار هیدرولیکی مشاهداتی و محاسباتی در حالت پایدار، b: انواع میانگین خطا در دوره‌های تنش نا ماندگار



شکل(۶) :مقادیر نهایی هدایت هیدرولیکی (a) و آبدهی ویژه (b) بعد از واسنجی



شکل (۷): a: زون‌بندی اولیه تغذیه ، b: زون‌بندی نهایی تغذیه

تحلیل حساسیت

تحلیل حساسیت عملیاتی است که طی آن میزان تأثیر پارامترهای مختلف ورودی بر روی خروجی مدل سنجیده می‌شود. در طول تحلیل حساسیت میزان درک مدل‌ساز از فرآیند شبیه‌سازی توسط مدل و سیستم شبیه‌سازی‌شده افزایش می‌یابد و به‌وسیله آن حساسیت کلیه پارامترهای سیستم شناخته می‌شود (آرام، ۱۳۹۱). پس از اجرای مکرر مدل دشت میداود-دالون، مشخص گردید که مدل نسبت به تغذیه سطحی، سطح آب رودخانه، و بار هیدرولیکی در مرزها بیشترین حساسیت و نسبت به توپوگرافی سطح زمین و سنگ کف کمترین حساسیت را دارد.

نتایج صحت‌سنجی

برای اطمینان از مدل واسنجی شده، مدل برای یک دوره ۶ ماهه از مهرماه ۱۳۹۳ الی اسفندماه ۱۳۹۳ مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. در دوره صحت‌سنجی خطای RMSE مدل ۰/۶۴۳ و کم‌تر از یک متر به دست آمد. بررسی نتایج خطای بار محاسباتی و مشاهداتی در

چاه‌های مشاهداتی نشان داد جز در چند گام زمانی و تنها برای چند چاه مشاهداتی این رقم به ۱ تا ۱/۵ متر می‌رسد لذا این میزان خطا صحت مدل ساخته‌شده را تائید می‌کند (جدول۲).

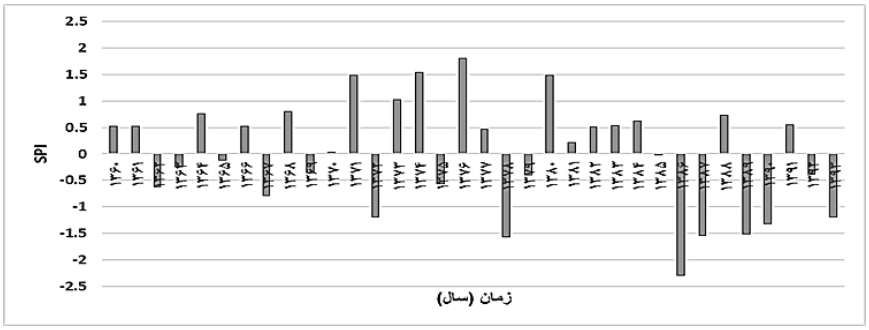
جدول(۲): خلاصه پارامترهای مختلف خطا در مدل عددی آبخوان میداود پس از واسنجی و صحت‌سنجی

ردیف		ME	MAE	RMSE
۱	نتایج واسنجی پایدار	۰/۵۱۵	۰/۵۹۱	۰/۶۵۷
۲	نتایج واسنجی ناپایدار	-۰/۰۴۵	۰/۴۸۴	۰/۵۶۶
۳	نتایج صحت‌سنجی	-۰/۱۶۰	۰/۵۸۷	۰/۶۴۳

نتایج حاصل از شاخص SPI

جهت پایش روند خشک‌سالی و ترسالی‌های منطقه موردمطالعه از شاخص بارش استانداردشده (SPI) ایستگاه مطالعاتی میداود و دوره آماری ۳۳ ساله (۱۳۶۰-۱۳۹۳) استفاده شد. در شکل (۸) مقادیر SPI به‌دست‌آمده برای ایستگاه موردمطالعه نشان داده‌شده است.

با توجه به نمودار SPI ایستگاه میداود شاهد دوره‌های متناوب خشک‌سالی و ترسالی هستیم. بعلاوه همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد تعداد سال‌هایی که منطقه موردمطالعه (در طول دوره آماری به‌کاررفته) با خشک‌سالی و ترسالی مواجه بوده تقریباً برابر است اما در سال‌های اخیر شاهد خشک‌سالی‌های نسبتاً مداومی هستیم. با توجه به مقدار شاخص SPI سال آبی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ با وضعیت نرمال مواجه بوده همچنین شدیدترین خشک‌سالی در سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ و شدیدترین ترسالی در سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ اتفاق افتاده است. بنابراین در این تحقیق جهت اعمال سناریوهای ترسالی و خشک‌سالی به مدل ریاضی از آمار بارش سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۷۶ و ۱۳۸۶-۱۳۸۵ استفاده شد.



شکل(۸): نمودار مقادیر SPI برای ایستگاه میداود

برآورد بیلان آب زیرزمینی آبخوان

به‌منظور بررسی وضعیت آبخوان میداود-دالون بیلان آبی دشت محاسبه و موردبررسی قرار گرفت. با آگاهی از بیلان آب منطقه می‌توان مدیریت مناسبی را برای استحصال و تأمین آب اعمال نمود. معادله کلی محاسبه بیلان آب‌های زیرزمینی برای هر دوره تنش با استفاده از رابطه (۶) قابل‌محاسبه می‌باشد:

$$[(Q_{in}+Q_p)-(Q_{out}+Q_w+Q_e)]\ \ t=\pm\Delta S \quad (۶)$$

در این معادله Qin جریان ورودی زیرزمینی از طریق مرز GHB، Qp آب نفوذی از ریزش‌های جوی از طریق

مرز Recharge، Qout جریان خروجی زیرزمینی از طریق مرز GHB، Qw آب خروجی از چاه‌ها، Qe تبخیر و تعرق از آبخوان، t طول دوره بیلان (سال آبی) و ΔS± تغییرات حجم آب ذخیره‌شده در آبخوان می‌باشد. بیلان آبخوان میداود-دالون مربوط به دوره مدل‌سازی (مهر ۱۳۹۲ تا شهریور ۱۳۹۳) به کمک نرم‌افزار GMS7.1 و توسط کدهای MODFLOW وZone Budget این نرم‌افزار، پس از انجام دوره صحت‌سنجی و به‌صورت محاسبه سلول به سلول عوامل بیلان انجام شد. بر اساس نتایج بیلان همان‌طور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود بیلان آبخوان میداود-دالون در سال آبی (۹۳-۹۲) حدود ۲/۶ میلیون مترمکعب در سال محاسبه شد.

جدول (۳): ا جزا و مقادیر بیلان آبی مدل دشت میداود- دالون در دوره مدل‌سازی

ردیف	اجزای بیلان	ورودی (مترمکعب)	خروجی (مترمکعب)
۱	چاه‌ها	۰	۳۶۸۵۵۲۳/۲۷۴
۲	رودخانه	۲۵۳۱۱۳۶۰/۰۳	۲۱۲۴۸۶۹۰/۴۱
۳	جریان‌های زیرزمینی	۱۷۵۸۱۰۷/۸۵۳	۳۱۵۹۸۱۷/۵۴۲
۴	تغذیه	۳۹۳۹۴۹۹/۶۴۱	۰
۵	تبخیر	۰	۳۲۳۱۵۹/۸۹۱۵
۶	مجموع	۳۱۰۰۸۹۶۷/۵۳	۲۸۴۱۷۱۹۱/۱۲
۷	تفاضل ورودی-خروجی	۲۵۹۱۷۷۶/۴۰۹	

اعمال سناریوهای مدیریتی به مدل

اصولاً شبیه‌سازی یک آبخوان به‌منظور پیش‌بینی رفتار آینده سیستم در مقابل گزینه‌های مختلف تغذیه یا تخلیه صورت می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال با استفاده از مدل ریاضی می‌توان اثر توسعه بهره‌برداری بر روی آبخوان را در آینده بررسی نمود و روش بهینه برای مدیریت آبخوان را انتخاب کرد. جهت بررسی وضعیت آبخوان میداود-دالون از سناریوهای مختلف مدیریتی استفاده شد که در ادامه به شرح و نتایج آن‌ها پرداخته می‌شود.

الف) پیش‌بینی وضعیت آبخوان در شرایط کاهش ۲۵ درصد برداشت

نظارت بر ساعات کار چاه‌های بهره‌برداری در آبخوان‌ها می‌تواند تا ۲۵ درصد باعث کاهش برداشت گردد. در این سناریو آب برداشتی از هر چاه با استفاده از نرم‌افزار Excel به میزان ۲۵ درصد کاهش یافت و از نرخ پمپاژ هر چاه کسر شد. سپس نرخ پمپاژ جدید به بسته‌ی چاه نرم‌افزار GMS اعمال شد و آبخوان نسبت به این تنش موردبررسی قرار گرفت. بیلان آبی مدل تحت اعمال این سناریو حدود ۳/۳۴ میلیون مترمکعب برآورد شد. مقادیر بیلان آبی مدل در شرایط کاهش پمپاژ به میزان ۲۵ درصد در جدول (۳) ارائه‌شده است.

ب) پیش‌بینی وضعیت آبخوان در شرایط ترسالی

جهت بررسی وضعیت آبخوان دشت میداود-دالون در شرایط ترسالی، با توجه به مقدار بیشینه بارندگی در دوره ۳۳ ساله (۱۳۶۱-۱۳۶۰ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۳) و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شاخص SPI سال آبی ۱۳۷۷-۱۳۷۶ با میزان ۵۱۱ میلی‌متر بارش به‌عنوان سال‌تر در نظر گرفته شد و این میزان بارش به بسته تغذیه نرم‌افزار GMS اعمال و دبی معادل همین سال به‌عنوان دبی رودخانه در شرایط ترسالی در نظر گرفته شد. سپس با محاسبه کنداکتانس مقادیر مربوطه، به بسته رودخانه اضافه و مدل برای مدت یک سال اجرا شد. مقادیر بیلان آبی مدل در شرایط ترسالی در جدول (۳) ارائه‌شده است. با توجه به این نتایج و در شرایط ترسالی بیلان سالانه دشت به میزان حدود ۳/۲ میلیون مترمکعب می‌باشد که با اجرای یک برنامه مدیریتی مناسب در آبخوان می‌توان در سال‌های پرآب با توجه به مقدار آب در دسترس حداکثر بهره‌وری را از منابع آب زیرزمینی انجام داد.

ج) پیش‌بینی وضعیت آبخوان در شرایط خشک‌سالی

برای بررسی وضعیت آبخوان دشت میداود-دالون در شرایط خشک‌سالی نیز با توجه به مقدار کمینه بارندگی در دوره ۳۳ ساله (۱۳۶۱-۱۳۶۰ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۳) و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از شاخص SPI سال آبی ۱۳۸۷-۱۳۸۶ با میزان بارش ۱۳۵/۵ میلی‌متر به‌عنوان سال خشک در نظر گرفته شد و همانند سناریوی (ب) این میزان بارش به بسته تغذیه نرم‌افزار GMS اعمال و دبی معادل این سال برای رودخانه در نظر گرفته شد و بعد از محاسبه کنداکتانس و اعمال به بسته رودخانه مدل برای مدت یک سال اجرا شد. طی اعمال این سناریو میزان ورودی از رودخانه به آبخوان به دلیل افت سطح آب زیرزمینی و تغییر جهت جریان افزایش یافت.دلیل این امر تغییر وضعیت رودخانه در مقاطعی است که تا قبل از اعمال سناریو به‌عنوان گیرنده و بعدازآن به‌عنوان دهنده آب به آبخوان عمل می‌کنند. در شرایط خشک‌سالی بیلان آبی سالانه مدل دشت میداود-دالون حدود ۱/۷ میلیون مترمکعب برآورد شد که در مقایسه با سناریوی ترسالی، بیلان آبخوان در حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب منفی‌تر می‌شود.

د) پیش‌بینی وضعیت آبخوان در شرایط خشک‌سالی و توسعه برداشت ۱۵ درصدی

در شرایط خشک‌سالی و توسعه برداشت از آبخوان در سال‌های آتی به میزان ۱۵درصد، بیلان مدل حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب برآورد شد. بررسی توزیع مکانی افت سطح ایستابی در این سناریو نشان داد بیشترین افت سطح ایستابی پس از اعمال این سناریو در بخش‌های مرکزی آبخوان رخ می‌دهد. در جدول (۳) اجزا و مقادیر بیلان تحت اعمال این سناریو ارائه‌شده است.

جدول (۴):خلاصه محاسبات مربوط به پارامترهای بیلان مدل دشت میداود تحت سناریوهای مختلف مدیریتی (برحسب میلیون مترمکعب

ردیف	اجزاء بیلان	کاهش ۲۵ ٪ برداشت		ترسالی		خشک‌سالی		خشک‌سالی و افزایش ۱۵٪ برداشت	
		ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی
۱	بار ثابت	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲	چاه‌ها	۰	۲/۷۶۴	۰	۳/۶۸۵	۰	۳/۶۸۵	۰	۴/۲۳۸
۳	رودخانه	۲۵/۲۳۳	۲۱/۲۵۳	۲۵/۱۶۶	۲۱/۲۴۶	۲۶/۰۱۳	۲۱/۷۳۵	۲۶/۳۵۲	۲۱/۸۴۳
۴	جریان‌های زیرسطحی	۱/۷۳۳	۳/۲۲۲	۱/۷۵۵	۳/۲۴۲	۱/۸۸۳	۲/۹۰۵	۱/۹۰۲	۲/۸۷۶
۵	تغذیه	۳/۹۴	۰	۴/۶۵۱	۰	۲/۵۶۰	۰	۲/۵۶۰	۰
۶	تبخیر	۰	۰/۳۲۶	۰	۰/۲۳۸	۰	۰/۳۱۲	۰	۰/۳۱۱
۷	مجموع	۳۰/۹۰۶	۲۷/۵۶۵	۳۱/۵۷۲	۲۸/۴۱۱	۳۰/۴۵۶	۲۸/۶۳۷	۳۰/۸۱۴	۲۹/۲۶۸
۸	ورودی-خروجی	۳/۳۴۱		۳/۱۶۱		۱/۸۲۸		۱/۵۴۶	

دشت میداود-دالون توسط محققین دیگری ازجمله عطایی‌زاده، ۱۳۸۶ و آرام، ۱۳۹۰ موردمطالعه قرارگرفته است. نتایج مربوط به پارامترهای هیدرولیکی شبیه‌سازی‌شده در این تحقیق باوجود اختلاف اندک تقریباً مشابه نتایج به‌دست‌آمده توسط محققین مذکور است. بیلان آبخوان در مطالعات آرام منفی و در مطالعات عطایی‌زاده مثبت برآورد شده است. باوجود تفاوت در مقدار عددی، بیلان به‌دست‌آمده از این تحقیق مشابه مطالعات عطایی‌زاده مقداری مثبت به دست آمد.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج مدل در حالت ناپایدار میزان خطا RMSE برابر با ۰/۵۶۶ متر می‌باشد. این خطا برای دوره صحت‌سنجی ۰/۶۴۳ متر برآورد شد که نشان‌دهنده صحت مدل میداود-دالون می‌باشد.

بر اساس نتایج اجرای مدل، بیلان آبخوان میداود-دالون در سال آبی ۹۳-۹۲ حدود ۲/۶ میلیون مترمکعب و نشان‌دهنده‌ی بیلان مثبت این آبخوان می‌باشد. بررسی روند نوسانات سطح ایستابی در هیدروگراف واحد طی دوره‌ی مدل‌سازی نیز منطبق بر همین روند بوده که صحت مدل عددی آبخوان را تأیید می‌نماید.

در شرایط خشک‌سالی بیلان آبی سالانه‌ی مدل دشت میداود-دالون به میزان حدود ۱/۸۳ میلیون مترمکعب می‌باشد.

در شرایط ترسالی بیلان سالانه دشت به میزان حدود ۳/۲ میلیون مترمکعب مثبت می‌باشد.

براثر کاهش پمپاژ از چاه‌های بهره‌برداری منطقه مطالعاتی به میزان ۲۵ درصد، بیلان آبی منطقه از حدود ۲/۶ به حدود ۳/۳۴ میلیون مترمکعب خواهد رسید.

در شرایط خشک‌سالی و براثر افزایش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری منطقه‌ی مطالعاتی به میزان ۱۵ درصد، بیلان آبی منطقه از حدود ۲/۶ به حدود ۱/۵ میلیون مترمکعب خواهد رسید.

با توجه به نتایج، در تمام شرایط مقادیر جریان‌های زیرسطحی خروجی از آبخوان بیشتر از مقادیر ورودی به آن است و درنتیجه بیلان آبخوان ازنظر جریان‌های زیرسطحی مقداری منفی است..

مجموع نتایج حاصل از اعمال سناریوهای مختلف به آبخوان میداود-دالون نشان داد بیلان آب زیرزمینی این آبخوان در شرایط مختلف اقلیمی همچنین تغییر در مقادیر برداشت مثبت می‌باشد. بررسی عوامل هیدرولوژیکی موجود در منطقه نشان داد وجود جریان‌های آب سطحی در این آبخوان باعث شده علیرغم منفی بودن بیلان جریان‌های زیرسطحی، بیلان کلی آب زیرزمینی این آبخوان مثبت گردد و آبخوان بیلان مثبت خود را در شرایط مختلف حفظ نماید.

منابع

آبکار، ع. ا.، م. بروغنی و م. طایی سمیرمی. ۱۳۸۹. تحلیل مکانی خشک‌سالی استان خراسان رضوی با استفاده از GIS، مجموعه مقالات همایش ملی، ژئوماتیک، تهران.

آل بوعلی، ع. قضاوی، ر. و س. ج. ساداتی نژاد. ۱۳۹۵. بررسی اثرات خشک‌سالی بر منابع آب زیرزمینی با استفاده از شاخص SPI (مطالعه‌ی موردی: دشت کاشان)، مجله‌ی علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، سال پنجم، شماره‌ی دهم، بهار ۱۳۹۵، ص ۲۲-۱۳.

آرام، ا. ۱۳۹۱. شبیه‌سازی منابع آب زیرزمینی دشت میداود-دالون با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

امیری، ر. ۱۳۹۵. استفاده‌ی تلفیقی از مدل‌های ریاضی و استوکستیک در مدیریت منابع آب دشت میداود-دالون. پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

ایزدی، ع.، ک. داوری، ا. علیزاده. و ب. قهرمان.۱۳۸۷. کاربرد مدل داده‌های ترکیبی در پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی. مجله آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۲، شماره‌ی ۲، ص۱۳۳-۱۴۴.

مهندسین مشاور ژرف پویا. ۱۳۸۰. گزارش مطالعات ژئوفیزیک دشت‌های جایزان، میداود و دالون با استفاده از روش ژئوالکتریک، سازمان آب و برق خوزستان.

Alvarez, M.P., M. M. Trovatto, M.A. Herna´ndez and N. Gonza´lez. 2011. Groundwater flow model, recharge estimation and sustainability in an arid region of Patagonia, Argentina. Environ Earth Science, 66(7):2097–2108.

Anderson, M. P. and W. W. Woessner, 1992. Applied Groundwater Modeling: simulation of flow and advective transport. Academic Press. San Diego, CA. 381p.

Antoniou, M., N. Theodossiou and D. Karakatsanis. 2019. Groundwater management optimization with the combined use of Harmony Search Algorithm and modular finite- difference flow model Modflow.groundwater hydrogeochemical quality parameters via geostatistical approaches.

El Alfy, M. 2014. Numerical groundwater modeling as an effective tool for the management of water resources in arid areas, Hydrological Sciences Journal, 59(6):1259-1274.

Esteban, E., and A. Dinar. 2013. Cooperative management of groundwater resources in the presence of environmental externalities. Environ Resour Econ 54(3):443–469.

Hayes, M.J., M.D. Svoboda, D.A. Wilhite and O.V. Vanyarkho. 1999. Monitoring the 1996 drought using the Standardized Precipitation Index. Bulletin of the American Meteorological Society, 80(3): pp. 429- 437.

Huang, Y., P. Janovsky, S. Das, SM. Welch and S. DeLoach. 2015. multi-agent system for groundwater depletion using game theory. arXiv preprint arXiv:1607.02376.

Mahmoodzadeh, D., H. Ketabchi, B. Ataie-Ashtiani and CT. Simmons. 2014. Conceptualization of a fresh groundwater lens influenced by climate change: a modeling study of an arid-region island in the Persian Gulf, Iran. J Hydrol 519:399–413.

Mckee, T.B, N.J. Doesken and J. Kleist .1993. "The relationship of drought frequency and duration to time scales" 8 Confj, Applied climatology.

Norouzi Khatiri K, MH. Niksokhan and A. Sarang. 2020. Choosing various likelihood functions on uncertainty assessment in groundwater simulation-optimization model. Water Supply 20(2):737–750.

Ostrom, E. 1990. Governing the commons: the evolution of institutions for collective action. Cambridge university press.

Panagopoulos, G. 2012. Application of modflow for simulating groundwater flow in the Trifilia karst aquifer, Greece. Environmental Earth Sciences, 67(7): 1877-1889.

Rejani, R., K. Jha. Madan, S. N. Panda and R. Mull. 2007. Simulation Modeling for Efficient Groundwater Management in Balasore Coastal Basin, India. Water Resour Manage, 22:23–50.

Sahoo, S., and K. Jha. Madan. 2017. Numerical groundwater-flow modeling to evaluate potential effects of pumping and recharge: implications for sustainable groundwater management in the Mahanadi delta region, India. Hydrogeology Journal.

Scheiber, F., H. Motra, D. Legatiuk and F. Werner. 2016. Uncertainty-based evaluation and coupling of mathematical and physical models. Probabilistic Engineering Mechanics, 45: 52-60.

Sethi, R.R., A. Kumar, S.P. Sharma, and H.C. Verma. 2010. Prediction of water table depth in a hard rock basin by using an artificial neural network. Int J Water Resour Environ Eng, 2(4):95–102.

Singh, A. 2014. Groundwater resources management through the applications of simulation modeling: A review. Science of the Total Environment, 499: 414–423.

Xi, H., Q. Feng, W. Liu, J. Si, Z. Chang and Y. Su. 2010. The research of groundwater flow model in Ejina Basin, Northwestern China. Environ Earth Sci, 60:953–963.

Yidana, S. M., S. Ganyaglo, B. B. Yakubo and T. Akabzaa. 2011. A Conceptual Framework of Groundwater Flow in some Crystalline Aquifers in Southeastern Ghana, Journal of African Earth Sciences, 59(2–3):185-194.

Evaluation of Maydavood_Dallan Aquifer in Various Management Scenarios Using a Mathematical Model

Seyed Yahya Mirzaee*[1], Roghayeh Amiri[2], Manouchehr Chitsazan[3], Arashe Nadri[4]

Abstract

Decreased rainfall and increased discharge from aquifers affected by industrial and agricultural development have put double pressure on groundwater resources. Therefore, new water management methods, particularly in aquifers, are essential. Groundwater models are practical tools for investigating and predicting changes in aquifer storage volume. They can analyze and evaluate the future conditions of an aquifer in different management scenarios. In this study, the Modflow code in GMS software was used to develop an aquifer model for the Maydavood_Dallan plain. The model was calibrated for 12 months from September 2013 to September 2014 and validated for the next six months. Various scenarios were applied to the model, such as drought, wet conditions, a 25% reduction in discharge, and a combined effect of drought and increased Aquifer discharge, to investigate the effects of water stresses on the aquifer. According to the study results, the groundwater budget of the Maydavood_Dallan aquifer for the water year 93-92 was about 2.6 million cubic meters. The groundwater budget values for the drought, wet conditions, and discharge reduction by 25% scenarios were estimated at 1.828, 3.161, and 3.341 million cubic meters, respectively. For the drought with a 15% increase in discharge scenario, the groundwater balance was estimated at 1.5466 million cubic meters. In general, according to these results, the groundwater balance in the studied aquifer is always a positive value by applying different scenarios.

Keyword: Mathematical model, Maydavood_Dallan plain, water resources management, GMS

[1] Assistant professor of hydrology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, +989163096940, Yahyamirzee@scu.ac.ir
[2] Ph.D. student of hydrogeology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, +989168687062, R.amiri172@gmail.com
[3] Professor of hydrogeology, Faculty of Geosciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran, +989163114998, M-chitsazan@yahoo.com
[4] Ph.D. of hydrogeology, Arizona Department of Water Resources, Arizona, United States, +1 515-537-7041, Arash_n@yahoo.com