

Research Paper

Simulation of Groundwater Gesture and Prediction of Groundwater Level Fluctuations by Applying a Management Scenario in Nahavand Plain Aquifer, Hamadan Province

Samira Torabi¹, Abdollah Taheri Tizro² *, Rojin Fasihi³

1 Graduated of Water Resource engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran, Email: torabysamira91@gmail.com

2 Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran, Email: ttizro@yahoo.com, (*Corresponding Author)

3 Ph.D Student of Water Resource engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran, Email: rojin.fasihi@yahoo.com



10.22125/IWE.2021.259220.1446

Received:
Nonember. 26.2020
Accepted:
May.02.2020
Available online:
October.05.2022

Keywords:
Groundwater Modeling System (GMS), Groundwater level decline, Spatial Zoning, Nahavand Plain

Abstract

Groundwater aquifers is the main source of water supply required by the country in recent years and the use of simulation models for proper aquifer management is essential. In this study, the water table variations in the Nahavand aquifer were simulated with a GMS (computer-based model) in a steady state for the month of October and unsteady state for 9 years from October 2006 to September 2015. To calibrate the model, the field measured data from piezometric wells were used from 2015 to 2016. The estimation of hydrodynamic parameters of the aquifer using PEST package was carried out with the adaptation of the depth to water table by implementation to model. The results of the model include prediction of water table variations in Nahavand Plain by considering with or without three management scenarios which shows reducing at the time of wells Operation in the next 10 years. The results showed that lowering the withdrawal from the wells by less than 10% could not stop the downward trend of the aquifer potentials. The reduction of 30% of the utilized may resulted in the establishment of fixed conditions and a reduction of more than that to a value of 50% capable of compensating for the deficit in a long-term period. Finally, the average depth of the groundwater level was determined by the Theisen method during the study period for each year, and the zoning and groundwater level map was processed by GIS software, it's found that, groundwater level has been reduced in different areas of the plain from 1.5 to 13 m and the average of the total aquifer was 5.7 m declination during the study period

1. Introduction

Simulation of the aquifer in order to investigate variations in the level, trend and direction of movement of ground water as well as sensitivity analysis, planning and optimal management of water resources to improve the conditions of the aquifer by using the available accurate information is very

important task (Eftekhari et al., 2013). The models can be used to estimate hydraulic parameters and manage water resources and simulate how an aquifer changes in response to climate change and pumping operation (Regli et al., 2003). Sustainable supply of water in watersheds is hardly possible without evaluating the quantity and chemical quality of underground water and, as a result, its environmental and social effects. Therefore, for the sustainable management and planning of water and soil resources, spatial and temporal monitoring of the quantity and chemical quality of ground water seems necessary in times of climatic maxima. In order to estimate the spatial variables of a region, geostatistical methods are used. Regarding the application of geostatistical methods, many studies have been conducted by various scientists in Iran and the world (Kamani and Shams, 2011).

2. Materials and Methods

In this research, the Nahavand plain, which is the Karkheh operational basin, which is located in the northeast of the Zagros highlands, was investigated. There are unconfined and confined artesian water layers in the Nahavand plain, and the elevations are surrounded by mainly hard rocks of karstic formations. Information such as the topography of the land surface, the absolute height of the alluvial bedrock, the thickness of the alluvial sediments of the Nahavand plain, the coefficient of transferability, hydraulic conductivity, the groundwater balance in the Nahavand plain, Mashhadati wells, and time were used for modeling by GMS model. In this research, in a 10-year period, using GIS software and simulating the plain aquifer using GMS software, the trend of spatial changes of quantitative parameters of ground water was investigated. Groundwater level maps of 33 wells of 2006-2007 and 2015-2016 were analyzed using kriging interpolation method.

3. Results

After the implementation of the model, the calibration of the steady and unsteady model was done in advanced mode, and then the validation of the model was obtained. The kriging interpolation method, which shows the amount of groundwater level drop for a period of 10 years, was prepared annually. The results of studying and simulating the fluctuations of the ground water level in the region show the decrease of ground water in many parts of the plain. Under 3 management scenarios, the average level of ground water in the next 10 years with a 10% reduction scenario will lead to 1.96 meters, a 30% reduction scenario will lead to a 0.57-meter drop, and a 50% reduction scenario will lead to an increase. The water level will rise to 1.03 meters.

4. Discussion and Conclusion

Due to the need to investigate the ground water in recent years and its lack, the results of the water level for this period show that the water level in most parts of the plain is always decreasing. Also, the results show that assuming that the amount of discharge and recharge of the plain is the same as in previous years, most of the observation wells will face an increase in the slope of the water level drop. If the groundwater extraction situation continues in the same way. In addition to the reduction of the groundwater reserves of the plain, the quality of the ground water reserves will also decrease. This causes more serious problems in the agricultural situation of the region.

5. Six important references

- 1) Eftekhari, M. A., Rakhshande Ro, Gha. R., and Mir Arabi, A. 2013. Modeling and sensitivity analysis of underground water flow in Niriz plain using GMS software. The 32nd meeting and the first international specialized congress of earth sciences. Ministry of Industry, Mining and Trade, Tehran: Organization of Geology and Mineral Exploration.

- 2) Qadir, A., Ahmad, Z., Khan, T., Zafar, M., Qadir, A., and Murata, M. 2016. A spatio-temporal three-dimensional conceptualization and simulation of Dera Ismail Khan alluvial aquifer in visual MODFLOW: a case study from Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences*. 9(2): 1-9.
- 3) Kamani, M., and Shams, F. 2018. Presentation of methods to find the best method of interpolation of groundwater level (case study). 30th Earth Sciences Meeting, March 1 to 3, Organization of Geological and Mineral Explorations of Iran- Tehran
- 4) McDonald, M., and Harbaugh, A. 1996. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. U.S. Geological Survey. Open File Report. 96-485.
- 5) Mohanty, S. Jha, M. K., Kumar, A., and Panda, D. K. 2013. Comparative evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi–Surua Inter-basin of Odisha, India. *Journal of Hydrology*. 495, 38-51.
- 6) Regli, C., Rauber, M., and Huggenberger, P. 2003. Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: a case study from the river Wiese. Switzerland. *Aquat. Scienc.* 65(2): 111-128

Conflict of Interest

The author(s) of the article declare that in relation to the publication of the presented article, they have completely avoided publishing ethics, including plagiarism, misconduct, falsification of data, or double submission and publication, and commercial interests. In this regard, there is none and the authors have not received any money for presenting their work. The responsible author also declares that this work has not been published elsewhere and has not been submitted to another publication at the same time. Also, all rights to use the content, tables, images, etc. have been assigned to the publisher.

Acknowledgments

We are grateful to regional water West Company for providing us possible data which were used to carry out this research work

شبیه‌سازی رفتار آب زیرزمینی و پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با اعمال سناریوی مدیریتی در آبخوان دشت نهاوند، استان همدان

سمیرا ترابی^۱، عبدالله طاهری تیزرو*^۲، روژین فصیحی^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۲

مقاله پژوهشی - کاربردی

چکیده

سفره‌های آب زیرزمینی منبع تامین آب مورد نیاز کشور طی سال‌های اخیر بوده و استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی به‌منظور مدیریت مناسب آبخوان ضروری می‌باشد. در این مطالعه تغییرات سطح ایستابی آبخوان نهاوند با مدل کامپیوتری GIS در حالت پایدار برای مهر ماه ۸۵ و در حالت ناپایدار برای ۹ سال از مهر ۱۳۸۵ تا مهر ۱۳۹۴ شبیه‌سازی شد. برای واسنجی مدل از داده‌های اندازه‌گیری شده چاه‌های پیژومتری سال‌های ۱۳۹۴ تا ۱۳۹۵ استفاده گردید. تخمین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان با استفاده از پکیج PEST با تطابق ارتفاع سطح ایستابی اندازه‌گیری شده و بدست آمده از اجرای مدل انجام پذیرفت. نتایج مدل شامل شبیه‌سازی تغییرات سطح ایستابی آبخوان دشت نهاوند بدون و با اعمال ۳ سناریوی مدیریتی کاهش میزان برداشت از چاه‌های بهره‌برداری در ۱۰ سال آینده می‌باشد. نتایج نشان داد که کاهش برداشت کمتر از ۱۰ درصد نمی‌تواند روند نزولی تراز آبخوان را متوقف نماید. مقدار کاهش ۳۰ درصدی دبی بهره‌برداری منجر به ایجاد شرایط ثابت و کاهش بیش از آن تا مقدار ۵۰ درصد قادر به جبران کسری مخزن در دوره‌ای بلند مدت است. در نهایت نقشه پهنه‌بندی و افت سطح آب زیرزمینی در نرم‌افزار GIS رسم شد. نتایج نشان داد که سطح آب زیرزمینی در نواحی مختلف دشت ۱/۵ تا ۱۳ متر و به طور متوسط در کل آبخوان ۵/۷ متر طی دوره مطالعاتی کاهش پیدا کرده است.

واژه‌های کلیدی: سیستم مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS)، افت سطح ایستابی، پهنه‌بندی مکانی، دشت نهاوند.

^۱ کارشناسی ارشد علوم مهندسی آب - منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

Email: torabysamira91@gmail.com

^۲ * دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران Email: ttizro@yahoo.com

^۳ دانشجوی دکتری علوم مهندسی آب - منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

Email: rojin.fasahi@yahoo.com



مقدمه

شبیه‌سازی آبخوان بمنظور بررسی تغییرات حجم، سطح، روند حرکت و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی در سال‌های پیش‌رو و تغییرات تراز آب زیرزمینی، آنالیز حساسیت آبخوان و برنامه‌ریزی و مدیریت بهینه منابع آب برای بهبود شرایط آبخوان در آینده با استفاده از اطلاعات دقیق موجود میسر می‌باشد (افتخار و همکاران، ۱۳۹۲). مدل‌ها می‌توانند برای تخمین پارامترهای هیدرولیکی و مدیریت منابع آب و شبیه‌سازی چگونگی تغییر یک آبخوان در مقابل تغییرات آب و هوایی و پمپاژ استفاده شوند (رجلی و همکاران، ۲۰۰۳). نقش منابع آب‌های زیرزمینی در تأمین نیازهای مختلف بشر انکار ناپذیر بوده و دسترسی به آب‌های شیرین و سالم یکی از معضلات بزرگ بشر است. لایه‌های آبدار زیرزمینی کشور ایران هر سال با ۵/۵ میلیارد مترمکعب کسری مخزن مواجه هستند (کلینهو و همکاران، ۲۰۰۵). این امر حساسیت بیشتر آب‌های زیرزمینی را نسبت به استفاده‌های بی‌رویه روشن می‌سازد. افت سطح آب زیرزمینی، کسری مخزن، نشست زمین و در نواحی مستعد، پیشروی آب شور پیامدهای استفاده‌های بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی هستند. تأمین پایدار آب در حوضه‌های آبخیز بدون ارزیابی کمیت و کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی و در نتیجه آثار زیست محیطی و اجتماعی آن به سختی امکان پذیر باشد. از این رو برای مدیریت و برنامه‌ریزی پایدار منابع آب و خاک پایش مکانی و زمانی کمیت و کیفیت شیمیایی آب زیرزمینی در مواقع حداکثرهای اقلیمی ضروری به نظر می‌رسد. امروزه به‌منظور تخمین متغیرهای مکانی یک منطقه از روش‌های زمین آمار استفاده می‌گردد. در مورد کاربرد روش‌های زمین آمار، در علوم مختلف به ویژه هیدرولوژی در سطح ایران و جهان مطالعات زیادی انجام شده است (کمائی و شمس، ۱۳۹۰).

خدری و پنده (۲۰۱۶) حوضه رودخانه ماهش در هند را به کمک نرم‌افزار GMS1 شبیه‌سازی نمودند و تراز آب زیرزمینی را برای ادوار آینده شبیه‌سازی کردند. غدیر و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از کد MODFLOW دره

آبرفتی اسماعیل خان در پاکستان را شبیه‌سازی کردند و مقدار تغذیه ورودی و خروجی آبخوان و تراز آب زیرزمینی و خروجی آبخوان را بررسی کردند و افت تدریجی را تا سال ۲۰۲۰ ارائه نمودند، موهانتی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به ارزیابی عملکرد مدل MODFLOW و شبکه‌ی عصبی مصنوعی در شبیه‌سازی سطوح آب زیرزمینی در آبخوان آبرفتی پرداختند. سطوح آب زیرزمینی شبیه‌سازی شده توسط مدل آب زیرزمینی و شبکه‌ی عصبی مصنوعی با سطوح مشاهداتی مقایسه شدند؛ نتایج نشان دادند که شبکه‌ی عصبی مصنوعی نسبت به مدل عددی پیش‌بینی بهتری برای دوره‌های زمانی کوتاه تولید می‌کند. کامبهاو و همکاران (۲۰۱۱) طی تحقیقی بهترین سطح تراز از آب زیرزمینی دشت Calsbad از ایالات New Mexico را با روش کریجینگ جهانی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصله از این تحقیق نشان داد که اختلاف سطح تخمین زده شده با این روش و سطح آب مشاهداتی، بین ۰/۶ تا ۴/۵ متر می‌باشد و ضریب اطمینان ۰/۹۰٪ تعیین گردید. بیات ورکشی و فصیحی (۱۳۹۷) در پژوهشی سطح آب زیرزمینی آبخوان بهار را به کمک نرم‌افزار GMS کد MODFLOW و روش‌های هوشمند عصبی و زمین آمار تخمین زدند که حاصل پژوهش نشان‌دهنده برتری کاربرد روش‌های ترکیبی هوشمند عصبی به‌ویژه نظریه موجک نسبت به روش زمین آمار و مدل عددی بود. بیات ورکشی و همکاران (۱۳۹۷) جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان بهار را به کمک مدل GMS، کد MODFLOW شبیه‌سازی نمودند حاصل پژوهش نشان داد که اختلاف سطح آب شبیه‌سازی شده و مشاهده شده در بازه قابل قبول است و انتقال جریان از مرز آبخوان به سمت خروجی و مرکز است. قبادیان و همکاران (۱۳۹۵) مدل کمی آبخوان دشت خزل نهبوند را با بسته نرم‌افزاری GMS، کد MODFLOW تهیه و در دو حالت جریان ماندگار و غیرماندگار نوسانات سطح آب برای ۱، ۳ و ۱۰ سال آینده با شرایط کنونی و با اعمال سناریوی مدیریتی کاهش ۱۰ درصدی پمپاژ چاه‌ها، پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد بیشترین افت سطح آب زیرزمینی در نواحی شمال شرق

رفتار آب زیرزمینی آبخوان و پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با اعمال سناریوی مدیریتی کاهش ۱۰٪، ۳۰٪ و ۵۰٪ حجم پمپاژ چاه‌های بهره‌بردار برای ۱۰ سال آینده و در نهایت درون‌یابی و پهنه‌بندی تغییرات عمق سطح آب زیرزمینی به وسیله نرم‌افزار GIS و ترسیم نقشه‌های مربوطه است.

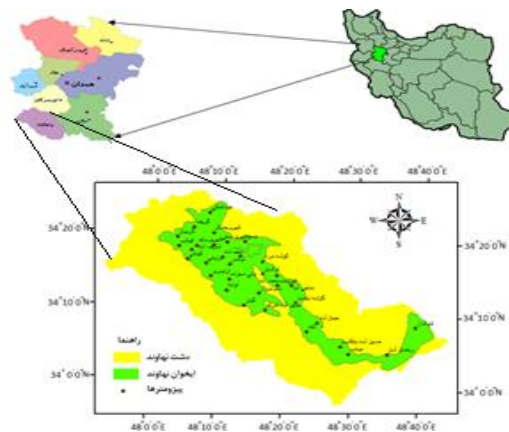
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های عمومی منطقه مورد مطالعه

دشت نهاوند با وسعت حوضه آبریز ۱۶۹۰ کیلومتر مربع یکی از دشت‌های حوضه عملیاتی آبریز کرخه می‌باشد که در شمال شرق ارتفاعات زاگرس قرار گرفته است. وسعت آبخوان دشت ۵۱۳ کیلومتر مربع می‌باشد. شیب عمومی دشت نهاوند از جنوب شرق بطرف شمال غرب بوده و مرتفع‌ترین نقطه با ارتفاع بیش از ۳۴۰۰ متر و پست‌ترین نقطه ارتفاعی کمتر از ۱۴۰۰ متر دارد (لشگری پور، ۱۳۸۴). در دشت نهاوند لایه‌های آبدار آزاد و محبوس آرتزین وجود دارد و دشت نهاوند و ارتفاعات پیرامون آن (محدوده طبیعی نهاوند) یک حوضه بازااست. شکل ۱ موقعیت آبخوان دشت نهاوند را به همراه پیژومترها نشان می‌دهد. علاوه بر این که شبکه‌های جاری داخل این حوضه به خارج از آن زهکشی می‌شوند، همچنین دارای جریان‌های ورودی از حوضه‌های مجاور نیز می‌باشد، که عبارت‌اند از: رودخانه خرم‌آباد ملایر و قُلُقُل رود توپسرکان. با توجه به اطلاعات بر گرفته از سازمان آب منطقه‌ای استان همدان منابع آبی دشت شامل چاه‌ها (کشاورزی، شرب و صنعتی)، چشمه‌ها و قنات‌ها می‌باشد

دشت رخ می‌دهد. حاصل پژوهش طاهری تیزرو و کمالی (۱۳۹۵) در آبخوان دشت توپسرکان که با استفاده از مدل MODFLOW طی دوره ۱۲ ساله شبیه‌سازی شده بود نشان داد که سطح ایستابی در پیژومترهای دشت کاهش می‌باشد. همچنین در پژوهش علیخانی و همکاران (۱۳۹۵) که نوسانات سطح آب زیرزمینی دشت هشتگرد را مورد بررسی قرار دادند، نشان دادند بیشترین رقوم افت تراز سطح آب زیرزمینی به میزان ۱۶ متر برای نواحی شمال شرق و مرکز دشت می‌باشد. افضلی و شاهدی (۱۳۹۳)، به منظور بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل - بابل، تغییرات کمی آب زیرزمینی در سال‌های ۱۳۷۷، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۶ و تغییرات عوامل کیفی در ابتدا و انتهای دوره مذکور در محیط Arc GIS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج تحقیق بیانگر کاهش ناچیز سطح آب زیرزمینی و بهبود وضعیت کیفی آب زیرزمینی در منطقه یاد شده می‌باشد.

کمبود آب در سال‌های اخیر موجب افت سطح آب زیرزمینی خصوصا در مناطق خشک و نیمه خشک کشور شده که بررسی روند تغییرات دشت‌ها را ضروری می‌نماید. در این مطالعه بنا به ضرورت مطالعه نوسانات سطح آب زیرزمینی جهت اعمال مدیریت مناسب برای ادوار آینده آبخوان دشت نهاوند استان همدان که جز دشت‌های مهم استان می‌باشد مورد بررسی قرار گرفت. بنابراین در این پژوهش در یک دوره ۱۰ ساله با استفاده از نرم‌افزار GIS و شبیه‌سازی آبخوان دشت با استفاده از نرم‌افزار GMS روند تغییرات مکانی پارامترهای کمی آب زیرزمینی بررسی شد. لذا اهداف اصلی پژوهش حاضر شامل استفاده از مدل MODFLOW در قالب نرم‌افزار GMS برای مدل‌سازی

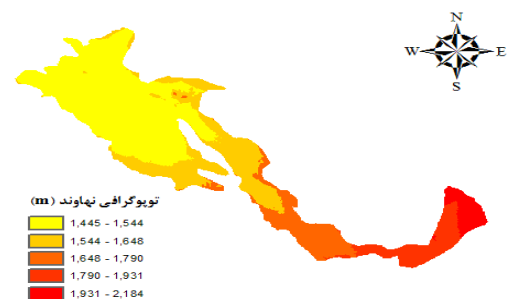


شکل (۱): موقعیت آبخوان دشت نهاوند

اندازه سلولی ۳۰ متر در ۳۰ متر در دسترس بود. کلاسه- بندی این لایه در شکل ۲ نمایش داده شده است. به منظور توسعه مدل، این لایه با حداقل فاصله (سایز سلولی) به نقاط تبدیل شده و سپس در رابط گرافیکی بین این نقاط با روش IDW^۱ جهت حصول سطح پیوسته میان‌یابی انجام شد.

توپوگرافی سطح زمین

توپوگرافی سطح زمین در محدوده آبخوان، با استفاده از لایه سامانه اطلاعات جغرافیایی DEM و یا به عبارت دقیق- تر مدل رقومی ارتفاع دریافت شده از سنجنده ASTER با



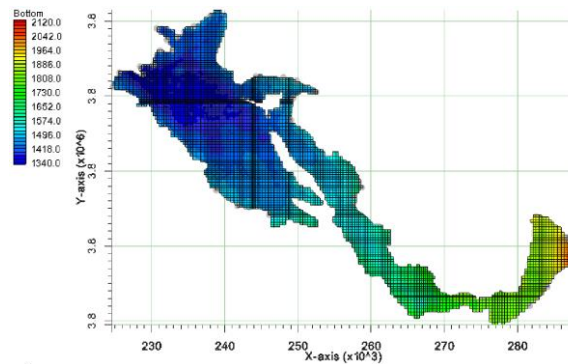
شکل (۲): لایه توپوگرافی سطح آبخوان نهاوند

الکتریکی مشخص گردید، اقدام به تهیه نقشه هم ارتفاع مطلق سنگ کف رسوبات آبرفتی دشت نهاوند شده است. ارتفاع سنگ کف در محدوده آبخوان نهاوند از ۱۳۴۰ تا ۲۱۲۰ متر نسبت به تراز دریا متغیر می‌باشد (شکل ۳).

ارتفاع مطلق سنگ کف رسوبات آبرفتی

با توجه به ارتفاع سونداژهای الکتریکی و همچنین مقدار ضخامت رسوبات آبرفتی که از تعبیر و تفسیر سونداژهای

^۱ Inverse Distance Weighted

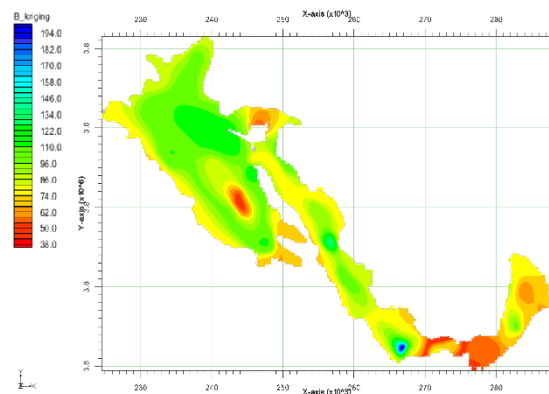


شکل (۳): خطوط هم مقدار ارتفاع سنگ کف (متر) آبخوان نهاوند

هم مقدار، این خطوط در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به نقاط با تراکم بالا تبدیل و سپس با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ پس از تنظیم فاکتورهای واریوگرام‌های تجربی و تئوری، مطابق آنچه در شکل ۴ آمده است به سطح پیوسته تبدیل شد.

ضخامت رسوبات آبرفتی دشت نهاوند

به‌منظور بررسی ضخامت رسوبات آبرفتی از نقشه ضخامت آبرفت سازمان آب منطقه‌ای استفاده شد. با توجه به در دسترس بودن مقدار ضخامت آبرفت به شکل خطوط

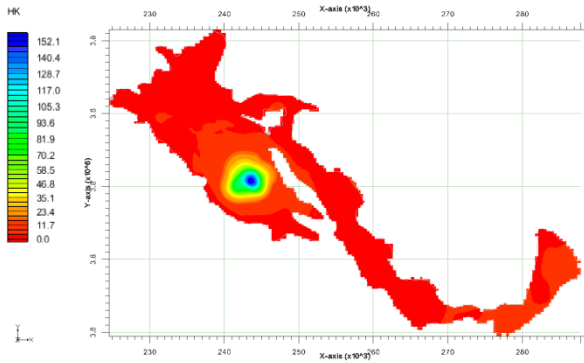


شکل (۴): خطوط هم ضخامت آبخوان نهاوند

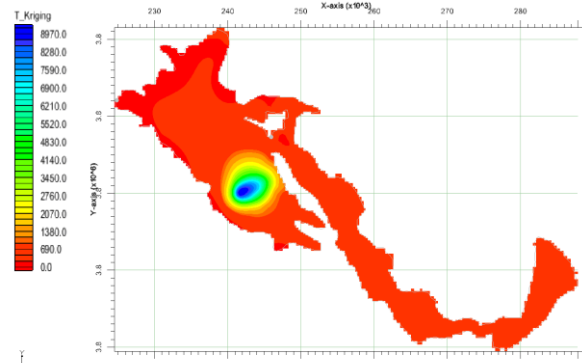
حاشیه دشت، میزان ضریب قابلیت انتقال از حدود ۲۰۰ متر مربع در روز تا ۴۰۰ متر مربع در روز به سمت مرکز افزایش می‌یابد. با توجه به در دسترس بودن مقدار قابلیت انتقال به شکل خطوط هم مقدار، این خطوط در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی به نقاط با تراکم بالا تبدیل و سپس با استفاده از روش میان‌یابی کریجینگ پس از تنظیم فاکتورهای واریوگرام‌های تجربی و تئوری، مطابق آنچه در شکل ۵ آمده است به سطح پیوسته تبدیل شد

نقشه ضریب قابلیت انتقال

به منظور بررسی ضریب قابلیت انتقال از نقشه قابلیت انتقال سازمان آب منطقه‌ای استفاده شد (دفتر مطالعات پایه منابع آب، ۱۳۹۰). براساس نقشه ضریب قابلیت انتقال ترسیمی، میزان این فاکتور بین ۳۷ تا ۹۱۰۰ متر مربع در روز متغیر است. حداکثر ضریب قابلیت انتقال در حوالی پیزومترهای توانه و ولی سیراب در جنوب غربی آبخوان در حدود ۹۱۰۴ متر مربع در روز می‌باشد. طبق این نقشه در



شکل (۶): نقشه ضریب هم‌هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)
آبخوان نهاوند



شکل (۵): نقشه ضریب هم‌قابلیت انتقال (متر مربع بر روز)
آبخوان نهاوند

بیان آب زیرزمینی در دشت نهاوند

برای تهیه بیان منابع آب زیرزمینی دشت، محدوده‌ی آبخوان با وسعت ۵۱۳ کیلومتر مربع انتخاب گردید. عوامل تغذیه یا عوامل ورودی عبارتند از: نفوذ مستقیم از ریزش‌های جوی، نفوذ از جریان‌های سطحی، آب برگشتی زراعی، آب برگشتی مصارف شرب و صنعت، و جریان‌های ورودی آب زیرزمینی. عوامل تخلیه نیز عبارتند از: برداشت از آب زیرزمینی، خروجی زیرزمینی و تبخیر از آبخوان. از مهم‌ترین پارامترهای تغذیه آبخوان دشت‌ها در نواحی مختلف بیان، جریان‌های ورودی آب زیرزمینی هستند که از طریق مقاطع جریان با گرادیان معین و قابلیت انتقال مشخص آب را وارد آبخوان می‌نمایند. حجم جریان‌های ورودی در هر یک از مقاطع، با استفاده از نقشه تراز آب زیرزمینی و نقشه قابلیت انتقال و اندازه‌گیری طول جبهه جریان و گرادیان هیدرولیکی آن‌ها با استفاده از معادله داریسی^۱ به شرح معادله (۱) است محاسبه گردید.

$$Q_{in} = T \times L \times \frac{dh}{dx} \times t \quad (1)$$

که در آن T معادل متوسط ضریب قابلیت انتقال برحسب مترمربع در روز، $\frac{dh}{dx}$ معادل متوسط گرادیان هیدرولیکی، t معادل زمان بیان که برحسب روز می‌باشد و L معادل طول هریک از مقاطع برحسب متر است. جمع همه مقادیر ورودی ۶۰/۸۳ میلیون متر مکعب در سال به‌دست آمد.

نقشه هدایت هیدرولیکی

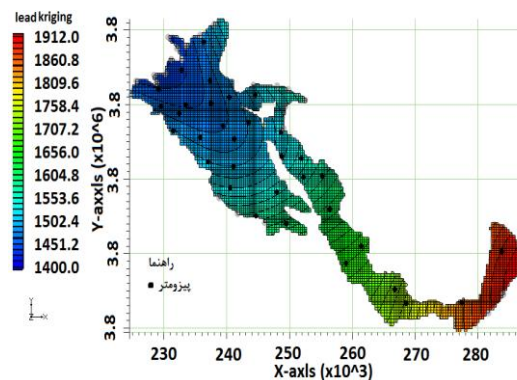
ضریب هدایت هیدرولیکی بحرانی‌ترین و حساس‌ترین پارامتر در تهیه مدل است. در وحله اول بایستی سعی شود که طراحی مدل با استفاده از مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی که در صحرا و توسط آزمون‌های پمپاژ به دست آمده‌اند، صورت گیرد. تخمین اولیه‌ی پارامترهای هیدرودینامیکی با استفاده از نتایج تنها آزمایش پمپاژ انجام شده در منطقه به‌دست می‌آید. در نرم‌افزار GMS با توجه به نوع بسته جریان انتخاب شده می‌توان ضریب قابلیت انتقال را مستقیماً به مدل وارد کرد و یا ابتدا ضریب هدایت هیدرولیکی براساس ضریب قابلیت انتقال و ضخامت اشباع آبخوان تخمین زده می‌شود و سپس به مدل وارد می‌شود (مک دونالد و هارباگ، ۱۹۹۶) بنابراین با استفاده از همین نتایج و همچنین با استفاده از نقشه‌ی هم‌قابلیت انتقال و ضخامت اشباع آبخوان در شرایط اولیه‌ی ساخت مدل، تخمین اولیه‌ی ضریب هدایت هیدرولیکی به دست آمده که در شکل ۶ نشان داده شده است و در سلول‌های مدل وارد شد

¹ Darcy Law

چاه‌های مشاهداتی در دشت نهاوند

در محدوده مطالعاتی آبخوان نهاوند، ۳۳ چاه مشاهداتی که بتوان داده‌های آن‌ها را برای مطالعه ناپایدار حاضر بازسازی کرد، تأیید گردید؛ که با توجه به پراکندگی مناسب آن‌ها در سطح آبخوان، از این مجموعه در نهایت به منظور توسعه شبیه‌سازی استفاده شد. روش بازسازی مقادیر مفقود و برداشت نشده در چاه‌های مشاهداتی با استفاده از روش ضریب تشخیص (R^2) بوده است (افروزی و زارع ایبانه،

۱۳۹۶). برای این منظور با ایجاد جدول متناظر ضرایب تعیین، هر یک از چاه‌های با داده‌های مفقود با استفاده از چاه‌های با نزدیکی مکانی بیشتر بازسازی شد. معیار ضریب تعیین، بالاتر بودن از ۶۰ درصد است (چیت سازان و کشکولی، ۱۳۸۱) در شکل ۷ میان یابی کریجینگ تمامی-چاه‌های مشاهداتی در مدل مفهومی برای ماه ابتدایی به عنوان پایه و حالت پایدار نمایش داده شده است.



شکل (۷): موقعیت چاه‌های مشاهداتی و سطح پیوسته میان‌یابی شده (متر) در حالت پایدار (ماه اول)

$$NRMSE = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}}}{\bar{O}} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

در این روابط O_i مقدار سطح آب زیرزمینی مشاهده شده (متر)، \bar{O} میانگین مقدار سطح آب زیرزمینی مشاهده شده (متر)، P_i مقدار سطح آب زیرزمینی برآورد شده (متر) و n تعداد داده‌ها می‌باشند.

پهنه‌بندی تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت نهاوند

در این پژوهش از روش درون‌یابی کریجینگ در نرم‌افزار GIS جهت تهیه نقشه‌های هم‌پتانسیل آب زیرزمینی استفاده گردید. در فرآیند درون‌یابی ارزش‌های داده‌های معلوم به تمام منطقه تعمیم داده می‌شود. در این پژوهش نقشه‌های سطح آب زیرزمینی ۳۳ چاه در سال‌های ۸۶ -

پارامتر زمان

تقسیمات زمانی در تمامی بخش‌های مدل اثر می‌نماید. بازه زمانی مدل‌سازی بر اساس ارقام سطوح آب موجود و قابل بازسازی در حداکثر چاه‌های مشاهداتی از تاریخ ۱۳۸۵/۷/۱۵ به عنوان اولین ماه (حالت پایدار) تا تاریخ ۱۳۹۵/۶/۱۵ (حالت ناپایدار) با گام‌های ۱ ماهه تعیین گردید. از بازه مذکور ۱۰۸ ماه ابتدایی به منظور اجرای مدل معکوس انتخاب شده است.

در نهایت، برای کالیبره کردن مدل، از روش PEST به عنوان روشی متداول جهت متعادل ساختن پارامترهای مدل از یک شبیه‌سازی به شبیه‌سازی دیگر استفاده شد. بدین منظور از اطلاعات سطح آب زیرزمینی منطقه در سال ۱۳۹۰ به عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده شد. دقت کالیبراسیون با پارامترهای آماری ریشه میانگین مربع خطای نرمال^۱ (NRMSE) و ریشه میانگین مربع خطا^۲ (RMSE) بررسی شد.

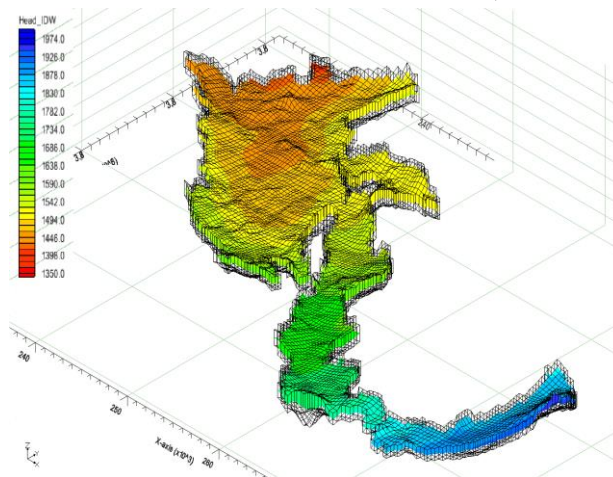
² Root Mean square Error (r)

¹ Normal Root Mean square Error (NRMSE)



سطح آبخوان به منظور ایجاد امکان اجرای مدل معکوس کد PEST و حل معادلات جریان، و با تولید دسته‌های آبراه‌های از نظر ضریب قابلیت انتقال به تعداد کمتر از تعداد چاه‌های مشاهداتی تعریف شد. فرآیند واسنجی پایدار در ۵۷ مرحله و هر مرحله بر اساس تعداد مجموع ۷۳ پارامتر انجام گشت. مقدار انحراف از عدد ابتدایی مذکور در خطای نسبی RMSE در نهایت به مقدار ۱/۲۸ مترکاهش پیدا نمود. در نهایت مقدار NRMSE پس از کالیبراسیون ۰/۲۱ محاسبه گردید که این عدد نشان از مدل‌سازی مناسب می‌باشد.

در شکل ۸ سطح آب محاسباتی در محدوده فعال آبخوان، پس از پایان فرآیند واسنجی، در محیط رابط گرافیکی GMS نمایش داده شده است.



شکل (۸): سطح آب محاسباتی (متر) در مدل سه‌بعدی هیدروژئولوژیکی بهینه شده آبخوان نهاوند

نکته مهم آن‌که روش بهینه‌سازی پارامتر تغذیه حتی در مدل‌های با مقیاس زمانی و مکانی گسترده به شکل نقاط پایلوت و زون‌بندی محدود می‌باشد. از این رو در تعیین سری زمانی پارامتر تغذیه از سطح، هدایت هیدرولیکی افقی، آنیزوتراپی هدایت هیدرولیکی، مرزهای تراوا و شبکه آبراه‌های مقادیر واسنجی پایدار هر یک از نقاط پایلوت به عنوان الگو تناسب انتخاب شده، و سپس اعداد محاسباتی بیان سطحی آبخوان، متشکل از تمامی عناصر (تبخیر، بارش، آب بازگشتی شرب و صنعت و کشاورزی و غیره) با انجام تبدیل متناسب به هر یک از پایلوت‌ها اعمال شده و در نتیجه با تولید یک مجموعه گام زمانی از نقاط پراکنده، این اعداد به صورت سطوح پیوسته با روش میان‌یابی IDW

۱۳۸۵ و ۹۵ - ۱۳۹۴ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

اجرای مدل پایدار در حالت پیشرو و الزام واسنجی

اجرای مدل در حالت پیشرو پس از توسعه مدل مفهومی منجر به ایجاد خطای بالا گردید. مقدار خطای RMSE با در نظر گرفتن انحراف معیار پیش‌فرض، برابر ۲۲/۳۴ متر بود. به منظور انجام واسنجی، لازم بود تا کاهش خطا به حد مطلوب در فرآیند بهینه‌سازی صورت پذیرد. شرایط عمده پارامترهای درگیر در توسعه مدل به فرم قطعی مد نظر خواهد بود. تمامی پارامترهای تأثیرگذار در جواب نهایی، با استفاده از فرآیند تعریف اعداد کلیدی به صورت پایلوت بهینه شد. تعداد اعداد کلیدی تعریف شده با پوشش گستره

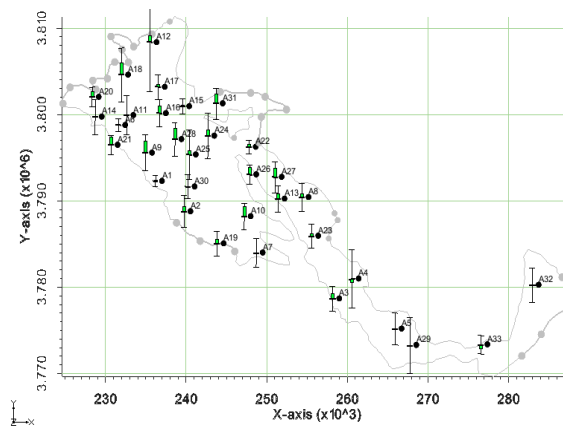
اجرای مدل ناپایدار در حالت پیشرو و الزام واسنجی

در گام ناپایدار، با وجود انجام واسنجی و کاهش خطا بر روی عمده پارامترهای ممکن در مدل شبیه‌سازی پایدار، اما با تعریف ۱۰۸ ماه گام زمانی، همچنان نتایج با خطای بالا مواجه گردید. بنابراین لازم بود تا نتایج تمامی پارامترهای واسنجی شده در گام پایدار، مجدداً در گام ناپایدار در روند مدل‌سازی معکوس با استفاده از کد PEST وارد شوند (یاری و نفت چالی، ۱۳۹۶).

به منظور انجام واسنجی مدل ناپایدار، عموماً در مدل‌سازی‌های متداول از دو پارامتر اصلی هدایت هیدرولیکی افقی و تغذیه به شکل توأمان استفاده می‌گردد.

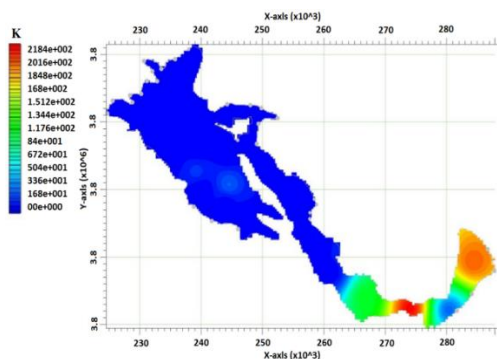
صحت‌سنجی

به منظور انجام عملیات صحت‌سنجی، دوازده ماه متوالی به گام‌های زمانی حاضر در مرحله واسنجی اضافه گردید. عدم افزایش خطای نسبی RMSE در این مرحله موید صحت عملیات مدل‌سازی معکوس در روند متداول آن است. در شکل ۹ رنگ سبز شماتیک به معنی قرار گیری اعداد محاسباتی در یک آستانه فاصله مطلوب از مقادیر مشاهداتی است. به این معنی که با محاسبه مقدار انحراف استاندارد هر یک از ارقام ۱۲۰ ماهه چاه‌های مشاهداتی، با فرض ۹۵٪ اطمینان حدود آستانه فاصله مطلوب به شکل خودکار محاسبه می‌گردد.



شکل (۹): مقدار مطلوب اعداد محاسباتی سطح آب در معیار شماتیک فاصله مطلوب

روز و انحراف معیار ۵۲/۵۷۰۶ متر بر روز متغیر است که با توجه به مطالعات دفتر مطالعات پایه آب منطقه‌ای (۱۳۹۰) نتیجه منطقی به نظر می‌رسد.



شکل (۱۰): سطح میان‌یابی حاصل از واسنجی ارقام پایلوت‌های هدایت هیدرولیکی افقی (متر بر روز) در گام ناپایدار

به قالب مدل ریاضی MODFLOW و به صورت پارامتر قطعی وارد شد. این تبدیل تناسبی را می‌توان درست به مانند فرآیند واسنجی دستی در دیگر ماه‌های گام زمانی ناپایدار و متناظر با ضریب تصحیح دانست. در پایان مقادیر بهینه پارامترهای هدایت هیدرولیکی، ناهمسان‌گردی هدایت هیدرولیکی، آبدهی ویژه، مرزهای تراوا و ضریب قابلیت انتقال شبکه آبراهه‌ای حاصل گردید.

هدایت هیدرولیکی

مقدار هدایت هیدرولیکی (K) با توجه به نبود اطلاعات برداشتی ضریب انتقال، پس از تخمین محاسبه شده و با استفاده از محاسبات روابط قابلیت انتقال به منطقه اطلاق گردید. تخمین اولیه این سطح پیوسته بر پایه بافت آبخوان به صورت عمده گراول دانه درشت و بر طبق دومینیکو و شوآرتز^۱ (۱۹۹۰) بوده است، در نهایت در دوره واسنجی بلند مدت ۱۰۸ ماهه، برای پارامتر مذکور با میان‌یابی IDW نقاط پایلوت، فایل رستری (Grid) شکل ۱۰ حاصل گردید که مقادیر هدایت هیدرولیکی در آن بین دو عدد ۰/۰۰۱۰۱۶۶۸۵ متر بر روز و ۲۲۰/۹۸۲۲ متر بر روز، با میانگین ۲۴/۳۷۸۹۹ متر بر روز، میانه ۲/۳۵۵۰۱۲ متر بر

¹Domenico and Schwartz



هیدرولیکی افقی چندین برابر هدایت هیدرولیکی کل و عمودی می‌تواند باشد. جدول ۱ ارقام بهینه شده هدایت هیدرولیکی را در ۲۵ پیزومتر (شکل ۱) تعبیه شده نشان می‌دهد.

مقدار بیشینه هدایت هیدرولیکی اگرچه در نگاه اول زیاد به نظر می‌رسد اما باید توجه داشت که در مدل MODFLOW آنچه به عنوان هدایت هیدرولیکی شناخته می‌شود، معادل هدایت هیدرولیکی افقی است و نه مقدار کل این ضریب و آنچنان که دانسته می‌شود، مقدار هدایت

جدول (۱): ارقام بهینه شده هدایت هیدرولیکی.

پیزومتر	UTM X	UTM Y	HK
۱	۲۳۷۸۶۰	۳۸۰۸۰۳۷	۰/۴۵
۲	۲۳۵۲۲۶	۳۸۰۴۲۴۰	۰/۰۰۱
۳	۲۲۸۶۴۰	۳۸۰۰۹۰۹	۰/۲۰
۴	۲۳۳۷۵۴	۳۷۹۹۸۲۴	۰/۳۴
۵	۲۳۴۹۲۰	۳۷۹۵۲۵۰	۰/۰۰۲
۶	۲۳۹۷۲۰	۳۸۰۰۹۸۶	۰/۰۰۱
۷	۲۳۹۴۹۰	۳۷۹۶۱۸۰	۰/۰۰۱
۸	۲۴۴۴۴۶	۳۷۹۵۲۵۳	۰/۰۷
۹	۲۴۰۱۱۰	۳۷۹۰۰۶۰	۰/۰۰۱
۱۰	۲۴۷۱۵۸	۳۷۸۶۱۸۸	۳/۱۰
۱۱	۲۴۹۸۷۰	۳۷۹۴۰۹۰	۰/۹۹
۱۲	۲۴۹۰۲۰	۳۸۰۱۳۷۰	۳/۹۲
۱۳	۲۵۴۹۱۰	۳۷۸۹۶۰۰	۰/۰۰۴
۱۴	۲۵۷۲۳۰	۳۷۸۳۴۰۰	۰/۰۰۶
۱۵	۲۶۱۱۸۰	۳۷۷۷۵۱۰	۱/۵۲
۱۶	۲۶۶۸۴۰	۳۷۷۴۰۲۰	۱۰۳/۷۸
۱۷	۲۷۴۰۴۰	۳۷۷۲۴۷۰	۲۲۱/۲
۱۸	۲۸۰۳۲۰	۳۷۷۲۱۶۰	۲۵/۷۱
۱۹	۲۸۴۳۵۰	۳۷۷۹۲۹۰	۲۰۰/۲۶
۲۰	۲۴۴۵۲۴	۳۷۹۰۷۵۹	۲۲/۷۲
۲۱	۲۳۹۲۶۰	۳۷۹۲۷۰۰	۱۳/۲۱
۲۲	۲۴۴۰۶۰	۳۷۸۷۸۹۰	۱/۷۷
۲۳	۲۵۱۵۷۰	۳۷۹۱۰۷۰	۴/۴۹
۲۴	۲۳۲۹۸۰	۳۸۰۲۲۳۰	۱/۸۰
۲۵	۲۵۸۲۴۰	۳۷۸۰۷۶۰	۳/۷۹

مقدار اولیه به مدل معرفی و مقادیر بهینه پارامتر در این گام حاصل شد. در نهایت در دوره واسنجی بلند مدت ۱۰۸ ماهه، برای پارامتر مذکور، فایل رستری (Grid) شکل ۱۱ حاصل گردید که در آن اعداد بین دو عدد ۰/۰۰۱۲۳۷۸۲ و ۰/۰۰۰۰۵۷۴۶۳۲۴ میلیمتر بر روز و ۰/۰۰۰۴۹۰۸۷۵۱ میلیمتر بر روز،

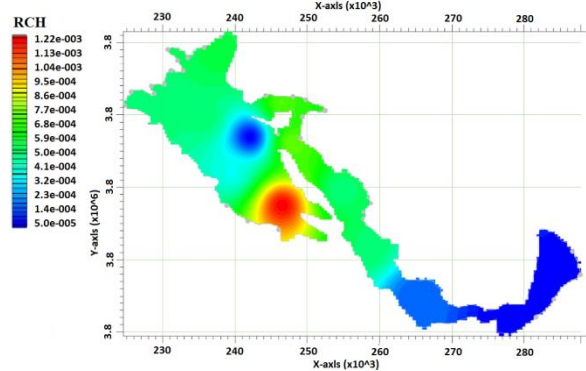
تغذیه

مقدار تغذیه یا RCH با استفاده از اطلاعات موجود از بیلان آبی منطقه محاسبه و با استفاده از زون بندی (یک زون کلی) با اعداد برابر به حوضه اطلاق گردید. مقدار اخیر در قالب مدل مفهومی به شبیه سازی در فرم پایدار معرفی گردید، سپس در گام واسنجی فرم پایدار، همین مقدار با پایلوت دهی مشابه با پلیگون هدایت هیدرولیکی، به عنوان

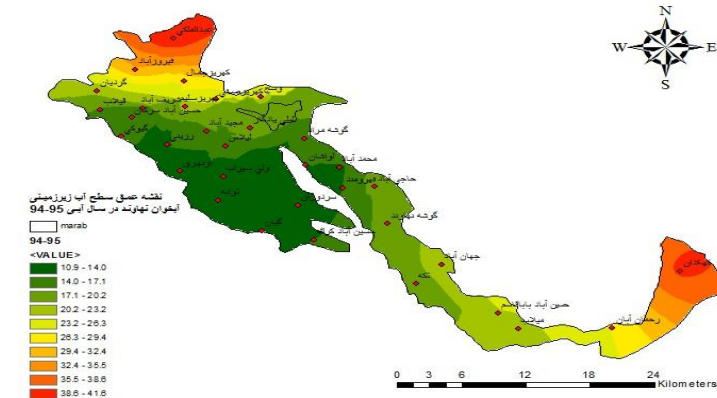
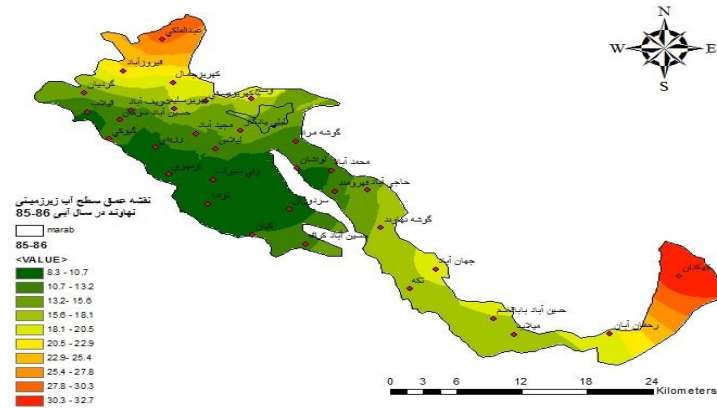
میانگین 0.0005155097 میلیمتر بر روز و انحراف معیار 0.0002547103 میلیمتر بر روز متغیر است

درون‌یابی و پهنه‌بندی تغییرات عمق آب زیرزمینی آبخوان دشت نهاوند

همانگونه که در بخش مواد و روش‌ها ذکر گردید نقشه سطح آب زیرزمینی ۳۳ چاه در سال‌های ۸۶ - ۱۳۸۵ و ۹۵ - ۱۳۹۴ با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ که نشان‌دهنده میزان افت سطح آب زیرزمینی برای این دوره ۱۰ ساله به صورت سالانه تهیه گردید و در شکل ۱۲ ارائه گردیده است



شکل (۱۱): میان‌یابی حاصل از واسنجی ارقام پایلوت‌های تغذیه در گام ناپایدار



شکل (۱۲): نقشه عمق سطح آب زیرزمینی آبخوان نهاوند در سال‌های آبی ۸۶ - ۱۳۸۵ و ۹۵ - ۱۳۹۴

عمق کاسته شده تا اینکه در نواحی شمالی مجدد مقدار عمق افزایش پیدا می‌کند، مقدار عمق سطح ایستابی از $8/3$ متر تا $32/7$ متر در محدوده دشت متغیر است . همچنین

با توجه شکل ۱۲ عمق آب زیرزمینی در سال ۸۶ - ۱۳۸۵ در قسمت جنوب شرقی بیشترین مقدار ($32/7$ متر) و هر چقدر که به سمت غرب و شمال غرب پیش می‌رود از



پژوهشگران داخلی و خارجی انجام شده است از جمله غفاریان (۱۳۹۲) در تحقیق خود بعد از واسنجی و صحت سنجی مدل کمی دشت کاشمر، پیش‌بینی کرد با ادامه روند کنونی بهره‌برداری متوسط سطح آب زیرزمینی در دشت یاد شده، سالانه ۱ متر افت خواهد کرد. همچنین پورحقی و همکاران (۱۳۹۴) با توجه به هیدروگراف پیش‌بینی آب زیرزمینی بر مبنای مدل MODFLOW نتیجه گرفتند که میزان افت سطح سفره آب زیرزمینی طی دو سال آینده برابر ۱/۵۵ متر خواهد بود. با مقایسه‌ی نتیجه‌ی پیش‌بینی مدل مطالعه حاضر با تحقیقات انجام شده، می‌توان گفت که مدل MODFLOW در صورتی که به درستی واسنجی و صحت سنجی شود، ابزاری مناسب برای پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی به شرایط پیش‌بینی پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی و همچنین وضعیت زمین شناسی آبخوان بستگی دارد.

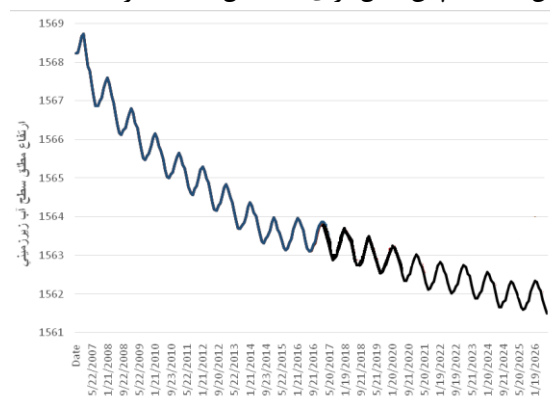
سناریوهای کاهش ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصدی میزان برداشت از آب چاه‌ها

یکی از راه‌کارهای مناسب برای جلوگیری از افت شدید سطح آب زیرزمینی در منطقه، کاهش میزان برداشت از چاه‌هاست. از این‌رو، براساس چهار سناریوی پیش‌بینی بر روی مدل شبیه‌سازی کمی آبخوان، اقدام به تولید رقوم سطح آب در ده سال متوالی پس از ابتدای ماه پایانی شبیه‌سازی در نرم‌افزار GMS شد. بر این طریق که تمامی شرایط بر طبق آخرین سال در نظر گرفته شد. دبی چاه‌های بهره‌برداری به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین عناصر تاثیرگذار بر تغییرات سطح آبدر آبخوان به مقادیر ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد کاهش داده شد. این کاهش در کل آبخوان یکسان بود. دبی پایه در هر سناریو آنچنان که اشاره شد، ۱۲ ماهه منتهی به آخرین تاریخ مدل‌سازی اولیه بود. نتایج متوسط سطح آبدر آبخوان به قرار شکل ۱۴ می‌باشد.

در سال ۹۵ - ۱۳۹۴ عمق سطح آب زیرزمینی با روندی مشابه سال ۸۶ - ۱۳۸۵ در حال تغییر است کمترین مقدار ۱۰/۹ متر و بیشترین مقدار ۴۱/۶ متر می‌باشد که این ارقام نشان دهنده افزایش عمق سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر بوده است.

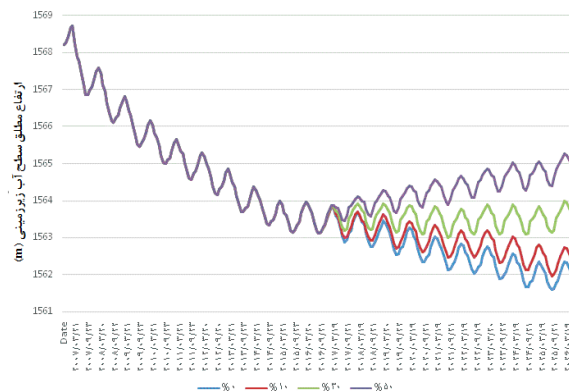
شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در آینده

در این بخش نوسانات سطح آب زیرزمینی در آینده بدون اعمال شرایط مدیریتی خاص شبیه‌سازی شد. بدین منظور فرض شد پارامترهای هواشناسی و هیدرولوژیکی در منطقه معادل مقادیر بلند مدت و برداشت از آبخوان همانند قبل باشد. سپس مدل برای ۱۰ سال آینده اجرا شد.



شکل (۱۳): هیدروگراف پیش‌بینی آبخوان نهاوند

نتایج بررسی و شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در منطقه بیانگر سرعت روند کاهشی منابع آب زیرزمینی در سال‌های متمادی است که مقدار متوسط سطح آب زیرزمینی در شهریور ۱۳۹۵، ۱۵۶۳/۱ متر و برای شهریور ماه ۳، ۵ و ۱۰ سال آینده به ترتیب ۱۵۶۲/۵، ۱۵۶۲/۰۱، ۱۵۶۱/۴ متر شبیه‌سازی می‌شود و در شهریور ماه ۱۰ سال آینده ۱/۶۱۲ متر افت خواهد داشت. تحقیقاتی با موضوع شبیه‌سازی سطح آب زیرزمینی در مناطق مختلف، توسط



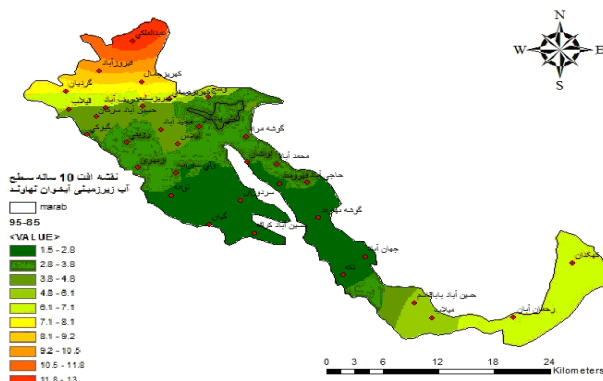
شکل (۱۴): هیدروگراف پیش‌بینی آبخوان نهاوند بدون و با اعمال سناریوهای مدیریتی

نقشه‌های پهنه‌بندی استفاده شد. حسن روحی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی که در دشت نهاوند با استفاده از نرم‌افزار (ArcGIS) طی سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۷ انجام دادند روش درون‌یابی کریجینگ معمولی را روشی مناسب برای این آبخوان معرفی کردند، با توجه به نقشه رسم شده افت ۱۰ ساله سطح آب زیرزمینی این دشت از ۱/۵ تا ۱۳ متر می‌باشد و در قسمت شمالی آبخوان بیشترین میزان افت را دارا می‌باشد. میزان افت سطح آب زیرزمینی در این دوره سالانه ۰/۵۶ متر است. بیشترین میزان افت در سال آبی ۹۲-۱۳۹۱ به میزان ۱/۵۱۳ متر و کمترین میزان افت سطح آب زیرزمینی در سال آبی ۹۰-۱۳۸۹ به میزان ۰/۳۳۷ متر رخ داده است، در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ به دلیل بارندگی‌هایی که رخ داد سطح آب زیرزمینی به میزان ۰/۷۲۷ متر بالا آمده است. با توجه به اینکه محدوده کارستیکی است و میزان تغذیه‌پذیری بالاست و در این تحقیق با پیمایش صحرایی و بازدید منطقه کارستیک بودن محدوده مطالعاتی مشخص گردیده تاثیر بارندگی بر تغییر سطح آب زیرزمینی مورد تایید است (قبادیان و همکاران، ۱۳۹۵).

می‌توان بیان داشت که کاهش برداشت کمتر از ۳۰ درصد نمی‌تواند روند نزولی تراز آبخوان را متوقف نماید. مقدار کاهش ۳۰ درصدی دبی بهره‌بردار منجر به ایجاد شرایط ثابت و کاهش بیش از آن تا مقدار ۵۰ درصد قادر به جبران کسری مخزن در دوره‌های بلندمدت است. نکته مهم در تاخیر جبران کسری مخزن با وجود کاهش ۵۰ درصدی برداشت را می‌توان در دست رفتن بخشی از قابلیت ذخیره سفره دانست. به این ترتیب باید از راه‌کارهای دیگری چون روش‌های تغذیه مصنوعی نیز استفاده شود. متوسط سطح آب زیرزمینی در ۱۰ سال آینده با سناریو کاهش ۱۰٪ برداشت از چاه‌ها منجر به ۱/۹۶ متر و سناریو کاهش ۳۰٪ منجر به ۰/۵۷ متر افت خواهد شد و سناریو کاهش ۵۰٪ منجر به بالا آمدن سطح آب به میزان ۱/۰۳ متر خواهد شد.

نتایج پهنه‌بندی مکانی تغییرات سطح آب زیرزمینی آبخوان نهاوند

براساس شکل ۱۵ که پهنه‌بندی تغییرات مکانی افت سطح آب زیرزمینی ۱۰ ساله را نشان می‌دهد، از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی با واریوگرام کروی برای تهیه



شکل (۱۵): پهنه‌بندی تغییرات مکانی افت سطح آب زیرزمینی آبخوان نهاوند

نتیجه‌گیری

با توجه به لزوم بررسی آب زیرزمینی طی سال‌های اخیر و کمبود آن نتایج سطح آب برای این مدت نشان می‌دهد که سطح آب در بیشتر قسمت‌های دشت، همواره در حال پایین رفتن بوده و میزان بالا آمدگی آن در دوره‌های تر همواره کمتر از میزان پایین افتادگی آن در دوره‌های خشک است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که با فرض اینکه میزان

تخلیه و تغذیه دشت همانند سال‌های قبل باشد، اکثر چاه‌های مشاهده‌ای با تشدید شیب افت سطح آب مواجه خواهند شد. چنانچه وضعیت برداشت آب زیرزمینی به همین صورت ادامه یابد، علاوه بر کاسته شدن از ذخائر آب زیرزمینی دشت، کیفیت ذخایر آب زیرزمینی باقی‌مانده نیز کمتر خواهد شد. این امر موجب بروز مشکلات جدی‌تر در وضعیت کشاورزی منطقه می‌شود.

منابع

- افتخار، م. ع.، رخشنده رو، غ. ر.، و میرعربی، ع. ۱۳۹۲. مدل‌سازی و آنالیز حساسیت جریان آب زیرزمینی دشت نیریز با استفاده از نرم‌افزار GMS. سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین. وزارت صنعت، معدن و تجارت، تهران: سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.
- افروزی، ع.، و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۶. مدل‌سازی و پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی با کاربرد مدل‌های سری زمانی (مطالعه موردی: دشت‌های استان همدان). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ۸، شماره ۱۵، ص ۱۰۲-۱۱۱
- افضلی، آ.، و شاهدی، ک. ۱۳۹۳. بررسی روند تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی دشت آمل - بابل. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۰، ص ۱۴۴ - ۱۵۶
- بیات ورکشی، م.، و فصیحی، ر. ۱۳۹۷. مقایسه مدل عددی، روش‌های هوشمند عصبی و زمین‌آمار در تخمین سطح آب زیرزمینی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. سال ۱۸، شماره ۴۸، ص ۱۶۵ - ۱۸۲.
- بیات ورکشی، م.، فصیحی، ر.، و زارع ابیانه، ح. ۱۳۹۷. شبیه‌سازی عددی مسیر جریان آب زیرزمین آبخوان دشت همدان - بهار. مجله سلامت و محیط زیست. دوره ۱۱، شماره ۱، ص ۴۹ - ۶۲.
- پورحقی، ا.، رادمنش، ف.، و ملکی، ع. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی آبخوان دشت لرستان-دلفان و بررسی سناریوهای مدیریتی با استفاده از مدل MODFLOW. نشریه آب و خاک. دوره ۲۹، شماره ۴، ص ۱۸۶ - ۱۹۷.
- دفتر مطالعات پایه منابع آب. ۱۳۹۰. مطالعه نیمه‌تفصیلی منابع آب زیرزمینی دشت نهاوند - گزارش زمین‌شناسی. وزارت نیرو، شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی آب منطقه‌ای همدان.
- چیت‌سازان، م.، و کشکولی، ح. ع. ۱۳۸۱. مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی و حل مسائل هیدرولوژی. تالیف: نون کرسیک. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

روحی، ح.، کلانتری، ن.، زارع صفت، م.، و میرزایی، ی. ۱۳۸۹. بررسی تأثیرپذیری کمی و کیفی آبخوان دشت نهاوند از افزایش برداشت آب زیرزمینی. نخستین کنفرانس پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران. ص ۹-۱.

طاهری تیزرو، ع.، و کمالی، م. ۱۳۹۵. مدل‌سازی آبخوان دشت توپسرکان با مدل MODFLOW و ارزیابی وضعیت هیدروژئولوژیکی تحت شرایط موجود و آینده. مجله مهندسی منابع آب. سال ۹. ص ۴۵ - ۶۰.

علیخانی، ه.، طاهری تیزرو، ع.، و نوذری، ح. ۱۳۹۵. پیش‌بینی زمانی و مکانی سطح آب زیرزمینی با استفاده از مدل ترکیبی سری زمانی - زمین. نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی). سال ۲۰. شماره ۷۶. ص ۹۹ - ۱۱۳.

غفاریان سالی، ا. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی با استفاده از کد MODFLOW و پیش‌بینی فرونشست در دشت کاشمر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه فردوسی مشهد.

قبادیان، ر.، بهرامی، ز.، و دباغ باقری، س. ۱۳۹۵. اعمال سناریوی مدیریتی در پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی با مدل مفهومی و ریاضی MODFLOW، مطالعه موردی: دشت خزل - نهاوند. اکوهیدرولوژی، دوره ۳، شماره ۳، ص ۳۱۹-۳۰۳.

کمانی، م.، و شمس، ف. ۱۳۹۰. ارائه شیوه‌ای جهت یافتن بهترین روش درون‌یابی سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی). سی-امین گردهمایی علوم زمین، ۱ الی ۳ اسفند ماه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور- تهران

لشگری پور، غ. ۱۳۸۴. بررسی اجمالی آب‌های زیرزمینی دشت نهاوند. بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.

یاری، ر.، و نفت چالی، ع. ۱۳۹۶. پیش‌بینی نوسانات سطح آب زیرزمینی تحت سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل Modflow. فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب. سال ۸، شماره ۳۰. ص ۱۰۳-۱۱۵

Domenico and Schwartz (1990) www.aqtesolv.com

Kambhammettu, B., Praveena, A. and King, J. 2011. Application of evaluation of universal kriging for optimal contouring of ground water levels. *Journal of system. Science.* 120 (3):413-422.

Khadri, S. F. R., and Pande, C. 2016. Ground water flow modeling for calibrating steady state using MODFLOW software: a case study of Mahesh River basin, India. *Modeling Earth Systems and Environment.* 2(1): 1-17.

Kelin Hu, a, Yuangfang Huang, a, Hong Li a,b, Baoguo, Li a, and Deli Chen, c, Robert Edlin White. 2005. Spatial variability of shallow groundwater level, electrical conductivity and nitrate concentration, and risk assessment of nitrate contamination in North China Plain. *Environment International.* 31:896 – 903.

McDonald, M., and Harbaugh, A. 1996. A modular three-dimensional finite difference groundwater flow model. U.S. Geological Survey. Open File Report. 96-485.

Mohanty, S. Jha, M. K., Kumar, A., and Panda, D. K. 2013. Comparative evaluation of numerical model and artificial neural network for simulating groundwater flow in Kathajodi-Surua Inter-basin of Odisha, India. *Journal of Hydrology.* 495, 38-51.

Qadir, A., Ahmad, Z., Khan, T., Zafar, M., Qadir, A., and Murata, M. 2016. A spatio-temporal three-dimensional conceptualization and simulation of Dera Ismail Khan alluvial aquifer in visual MODFLOW: a case study from Pakistan. *Arabian Journal of Geosciences.* 9(2): 1-9.

Regli, C., Rauber, M., and Huggenberger, P. 2003. Analysis of aquifer heterogeneity within a well capture zone, comparison of model data with field experiments: a case study from the river Wiese. Switzerland. *Aquat. Scienc.* 65(2): 111-128



Simulation of Groundwater Gesture and Prediction of Groundwater Level Fluctuations by Applying a Management Scenario in Nahavand Plain Aquifer, Hamadan Province

Rojin Fasihi³ Abdollah Taheri Tizro^{2*}, Samira Torabi,¹

Abstract

Groundwater aquifers is the main source of water supply required by the country in recent years and the use of simulation models for proper aquifer management is essential. In this study, the water table variations in the Nahavand aquifer were simulated with a GMS (computer based model) in a steady state for the month of October and unsteady state for 9 years from October 2006 to September 2015. To calibrate the model, the field measured data from piezometric wells were used from 2015 to 2016. The estimation of hydrodynamic parameters of the aquifer using PEST package was carried out with the adaptation of the depth to water table by implementation to model. The results of the model include prediction of water table variations in Nahavand Plain by considering with or without three management scenarios which shows reducing at the time of wells Operation in the next 10 years. The results showed that lowering the withdrawal from the wells by less than 10% could not stop the downward trend of the aquifer potentials. The reduction of 30% of the utilized may resulted in the establishment of fixed conditions and a reduction of more than that to a value of 50% capable of compensating for the deficit in a long-term period. Finally, the average depth of the groundwater level was determined by the Theisen method during the study period for each year, and the zoning and groundwater level map was processed by GIS software, It's found that, groundwater level has been reduced in different areas of the plain from 1.5 to 13 m and the average of the total aquifer was 5.7 m declination during the study period.

Keywords: Groundwater Modeling System (GMS), Groundwater level decline, Spatial Zoning, Nahavand Plain.

¹ Graduated of Water Resource engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran Email: torabysamira91@gmail.com

^{2*}Associate Professor, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran , Email: ttizro@yahoo.com

³ Ph.D Student of Water Resource engineering, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, Iran Email: rojin.fasihi@yahoo.com