

Research Paper

Simulation of groundwater flow in Fars Nobandegan plain using GMS software

Seyed Amir Bijan Elhamian¹, Gholam Reza Rakhshandehroo², Amir Hossein Javid³

¹Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²Professor, Department of Civil & Environmental Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

³Professor, Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 2021/11/22

Revised: 2021/12/14

Accepted: 2022/03/12

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2023.29343.2343](https://doi.org/10.30495/wej.2023.29343.2343)

Keywords:

Water resources management, simulation, groundwater, GMS software, Nobandegan plain

Abstract

Introduction:

Managing and monitoring the quantity of groundwater resources, along with assessing the intensity and direction of their flow, constitute fundamental principles for sustainable utilization of such resources. This study aims to utilize GMS software to simulate and analyze groundwater resources in Nobandegan plain, Fars, Iran. The objectives include deriving long-term variations in these resources, evaluating the water balance, and ascertaining the direction and intensity of groundwater flow.

Methods: Data related to pumping wells, observation wells, topographic features of the plain, and rainfall, among other pertinent information, were gathered using reports from Fars Regional Water Company. Subsequently, a comprehensive hydraulic model was developed to simulate, calibrate, and validate the groundwater flow within the plain. Following this, the overall trajectory and flow intensity within the plain aquifer were simulated.

Findings:

The hydrograph pertaining to groundwater within the plain reveals a ~50 meter water table drop over the course of the investigation period. The predominant groundwater flow within this plain is directed from the northern mountainous regions toward the southwestern expanses. The maximum hydraulic head is recorded at approximately 1283 meters, while the minimum stands at 1175 meters above mean sea level, indicating a 108-m drop in the aquifer water table elevation. The simulation results of the groundwater flow within the plain reveal an increased velocity in the northern regions and, to some extent, in the southern reaches of the plain. The findings of this study may be employed for groundwater quality studies on this plain.

Citation: Elhamian S A B, Rakhshandehroo G R, Javid A H. Simulation of groundwater flow in Fars Nobandegan plain using GMS software, Water Resources Engineering Journal. 2023; 16 (58): 115- 128.

***Corresponding author:** Seyed Amir Bijan Elhamian

Address: Department of Environmental Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Tel: 09334927676

Email: bijanelhamian@gmail.com

Extended Abstract

Introduction

Water, constituting over 70% of Earth's surface, plays a vital role in sustaining life on the planet. Despite its abundance, a mere 2% is freshwater, with its majority being frozen in polar regions. Human reliance on this limited freshwater underscores the importance of understanding groundwater dynamics. Modeling these systems involves creating mathematical representations based on flow equations, often solved using numerical analyses. This study focuses on simulating Nobandegan plain groundwater resources in Fars, Iran, using GMS software. Nobandegan region located in Mond river basin, is 20 km far from Fasa city towards Darab, encompassing highlands as well as plains. Life in the area relies on groundwater resources, primarily wells, for drinking, industrial, and agricultural needs, given an average annual rainfall of 366.3 mm. Given the vast need for water in the plain, understanding hydraulics of the aquifer behavior becomes crucial for resource management. The study acknowledges the challenge of predicting aquifer characteristics due to various natural and artificial influences on groundwater flow. Employing simplified models with reasonable assumptions, this study aims to predict aquifer behavior and assess long-term changes, water balance, and flow dynamics in the plain.

Materials and Methods

In this study, data from plains around Nobandegan were analyzed using reports from Fars Regional Water Company's information bank. Nobandegan Plain was chosen for its fertile agricultural lands, numerous pumping wells, and significant irrigation importance. Utilizing GMS software, known for its graphic diversity and compatibility with other simulation tools, a conceptual model was developed. Calibration, using the PEST code, focused on hydraulic conductivity parameters across the plain during 2013-2014 water year. Verification over subsequent years confirmed the model's accuracy. Hydraulic conductivity coefficients were obtained, guiding unsteady calibration for specific yield coefficients. The study ultimately

revealed direction and intensity of groundwater flow in the plain, providing insights for tracking and predicting pollution advection there. This comprehensive approach demonstrates the integration of field data, cutting-edge software, and modeling approaches for a robust hydrogeological analysis.

Findings

The study focuses on Nobandegan plain and employs a conceptual model and GMS software to assess its hydrological characteristics. The plain hosts 141 pumping wells, with 95 being actively utilized for agricultural and drinking water purposes. Pumping wells are almost evenly distributed across the plain, except in the east where aquifer thickness is low, limiting agricultural activity. Five observation wells, placed where pumping wells and agricultural lands predominate, aided the modeling. The plain was subdivided into a grid of 200 x 200-m cells, totaling 5920 cells. Topographical analysis revealed varying elevations, affecting aquifer thickness. The hydrograph illustrated a 50-meter drop in water table elevation from 1975 to 1998 due to excess withdrawals, highlighting the aquifer's critical state. Zoning the plain into seven areas aided in estimating hydraulic conductivities, revealing higher values in the north due to coarser grain sizes. More than 100 meters water table drop was observed across the plain, with the maximum hydraulic head being at ~1283 meters and the minimum at 1175 meters above mean sea level. The findings indicate that the northern, and to a lesser extent the southern, parts of the plain experience increased groundwater flow intensities.

Discussions and Conclusion

In this study, Nobandegan plain aquifer was simulated. The hydrogeological behavior of the plain suggests a directional groundwater flow from the northern mountains to the southwestern regions. Groundwater flow intensities, align with hydraulic conductivities, water table slopes, and cross-sectional areas were determined. The 15-year steady drop in water table indicates the aquifer's vulnerability, necessitating its optimal groundwater resource

management. Soil analysis aligns with expectations, indicated coarse-grained soil in the mountainous north and fine-grained in the central and southern regions. Plain zoning facilitated hydraulic conductivity estimation across the plain, revealing higher values in the north due to coarser grains. Erratic specific yield coefficients, derived from model calibration, reflected topographical and material variations. Simulation results predicted potential pollution advection paths and confirmed limited groundwater interaction with adjacent plains. The study provides a comprehensive understanding of the aquifer system, aiding sustainable water resource management in the plain.

Ethical considerations compliance with ethical guidelines

Cooperation of the authors in the present study was voluntarily, accompanied by their consents.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Each 33.3%
Methodology and data analysis: Each 33.3%
Supervision and final writing: Each 33.3%

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest in the present study.

مقاله پژوهشی

شبیه سازی جریان آب زیرزمینی دشت نوبندگان فارس با نرم افزار GMS

سید امیر بیژن الهامیان^۱، غلامرضا رخشنده رو^۲، امیر حسین جاوید^۳

۱. دانشجوی دکتری بخش مهندسی محیط زیست، گرایش آب و فاضلاب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

۲. استاد بخش مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز

۳. استاد گروه مهندسی محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

چکیده

مدیریت و نظارت بر کمیت منابع آب زیرزمینی و شدت و مسیر جریان در آنها، از اصول مهم و اساسی در استفاده پایدار از این منابع هستند. هدف از انجام این مقاله، شبیه سازی و تجزیه و تحلیل منابع آب زیرزمینی دشت نوبندگان فارس و بدست آوردن تغییرات دراز مدت این منابع، بیلان آب و تعیین مسیر و شدت جریان با استفاده از نرم افزار GMS می باشد. آمار و اطلاعات چاه های برداشت، چاه های مشاهده ای، توپوگرافی دشت، میزان بارندگی و... با همکاری شرکت آب منطقه ای فارس جمع آوری گردید. هیدرولیک جریان آب زیرزمینی در این دشت شبیه سازی، واسنجی و صحت سنجی شد. سپس مسیر کلی حرکت و شدت جریان برای آبخوان دشت شبیه سازی گردید. هیدروگراف آب زیرزمینی دشت، افت حدود ۵۰ متر در طی دوران تحقیق را نشان میدهد. جریان کلی آب زیرزمینی در این دشت از نواحی کوهستانی شمالی به سمت نواحی جنوب غرب دشت برقرار است. بیشینه هد آن حدود ۱۲۸۳ متر و کمینه آن ۱۱۷۵ متر از سطح دریاهای آزاد می باشد، که بیشتر از ۱۰۰ متر افت هد در سطح ایستابی آبخوان را نشان میدهد. شبیه سازی جریان آب زیرزمینی دشت نشان میدهد که در نواحی شمالی، و تا حدودی جنوبی دشت، سرعت جریان آب زیرزمینی افزایش می یابد. نتایج این تحقیق میتواند در مطالعات کیفی آب زیرزمینی دشت نیز مورد استفاده قرار گیرد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۱

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۹/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2023.29343.2343](https://doi.org/10.30495/wej.2023.29343.2343)

واژه های کلیدی:

مدیریت منابع آب، شبیه سازی، آب زیرزمینی، نرم افزار GMS، دشت نوبندگان

* نویسنده مسئول: سید امیر بیژن الهامیان

نشانی: دانشجوی دکتری بخش مهندسی محیط زیست گرایش آب و فاضلاب، دانشگاه علوم و تحقیقات

تلفن: ۰۹۳۳۳۹۲۷۶۷۶

پست الکترونیکی: bijanelhamian@gmail.com

۱. مقدمه

GMS 10 بعنوان یکی از چند نرم افزار قدرتمند، بسیار پیچیده و جامع برای مدل سازی آب های زیرزمینی توسط آزمایشگاه تحقیقات مدل سازی محیط زیست دانشگاه خصوصی Brigham Young در ایالت یوتا و با مشارکت بخش مهندسی آب ارتش آمریکا تهیه گردیده و توسعه داده شده است (۳). در طی سالهای گذشته محققین بسیاری از مدل های مختلف مدیریت کمی و کیفی، برای شبیه سازی رفتار هیدرولیکی آبخوانهای مختلف استفاده کرده اند که در زیر به تعدادی از تحقیقات اخیر در این زمینه اشاره می شود. شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و شناسایی سیستم هیدرولوژیکی آبخوان با کمک نرم افزار Visual MODFLOW، پیش بینی وضعیت آینده آن در اثر تنشهای وارده و بررسی پارامترهای مختلف مدیریتی از قبیل امکان اجرای تغذیه مصنوعی در دشت ایذه (۴). تهیه یک مدل سه بعدی برای آبخوان فوقانی و میانی ترینیتی با به کار گیری نرم افزار MODFLOW در منطقه هیل کانتی در جنوب تگزاس به منظور شناسایی سیستم هیدروژئولوژی و کمک به تخمین میزان آب و نوسانات سطح آب نسبت به پمپاژ و پتانسیل خشکسالی در آینده (۵). پیدا کردن راه حلی برای مشکل بالآمدگی سطح آب زیرزمینی ناحیه یوما در ایالت آریزونا، که مدل تهیه شده شامل چهار لایه و بیش از ۳۰۰ عنصر است و مساحت کل منطقه ۹۰۰ مایل مربع بوده و اندازه زیر بخشهای آن از ۴۰ تا ۶۴۰ هکتار متغیر بوده است. در این مدل به بررسی پمپاژ آب توسط چاهها، تغذیه آب کشاورزی، تبخیر و تعرق از طریق کانالها و رودخانه های کلرادو و گیلا پرداخته شده و در انتها این نتیجه حاصل می شود که در اثر کم شدن تغذیه آب در آن ناحیه و علیرغم آبیاری زمینهای کشاورزی طی چهار سال، کاهش تراز سطح آب زیرزمینی مشاهده شده است (۶). اثرات احداث سد دودر بر روی دشت لادیز و مدیریت آبخوان توسط مدل ریاضی Visual MODFLOW و اقدام به شناسایی بهترین مکان و مناسبترین زمان برای تغذیه آبخوان توسط آب جمع آوری شده پشت سد و ساخت یک حوضچه تغذیه مصنوعی برای تزریق آب به آبخوان و تعیین ماههای اسفند، فروردین، اردیبهشت و خرداد به عنوان بهترین گزینه ها (۷). در تحقیقی دیگر با استفاده از مدل های عددی، روشی مناسب برای انجام همزمان توسعه زیرساختهای صنایع نفتی و شیمیایی و استفاده از داده های چاههای پایش آلودگی آب زیرزمینی ارائه شده و همچنین روشی برای یافتن موقعیت نشت احتمالی در سایت های صنعتی و شیمیایی نفتی تدوین شده است. در این تحقیق برای مدل سازی جریان از نرم افزار PMWIN و برای مدل سازی آلودگی از موتور MT3D استفاده گردیده است (۸). مطالعه مدیریت بهره برداری از آبهای زیرزمینی دشت مختاران به کمک مدل ریاضی تفاضلات محدود در محیط GMS (۹) صورت پذیرفت. در تحقیقی دیگر، با به کارگیری نرم افزار GMS تاثیر خشکسالی بر دشت شاهرود مورد مطالعه قرار گرفته، ابتدا مدل مفهومی برای دشت تهیه شده، سپس داده های سال آبی ۸۵-۸۶ به مدل داده شده و واسنجی صورت گرفته است. بعد از تأیید مدل به منظور بررسی تاثیر خشکسالی سال ۸۶-۸۷ به آبخوان دشت شاهرود، داده های این سال به مدل وارد و مدل اجرا شده است. در این شرایط نیز انطباق خوبی بین داده های مشاهده ای و محاسباتی مربوط به تراز سطح آب زیرزمینی وجود داشته است

آب یکی از مواد مایع و فراوان ترین ماده مرکب بر روی سطح کره زمین و بستر اولیه حیات به شکلی که امروزه می شناسیم، است. بیش از ۷۵٪ وزن یک انسان را آب تشکیل داده است و نیز بیش از ۷۰٪ سطح کره زمین را آب پوشانده است (نزدیک به ۳۶۰ میلیون از ۵۱۰ میلیون کیلومتر مربع). با وجود این حجم عظیم آب، تنها ۲ درصد از آبهای کره زمین شیرین و قابل شرب است و باقی آن به علت محلول بودن انواع نمک ها در آن (خصوصاً نمک طعام) قابل استفاده نیست. قابل توجه آنکه، از همین دو درصد آب شیرین موجود، بیش از ۹۰ درصد آن به صورت منجمد در دو قطب زمین و دور از دسترس بشر واقع شده است (۱).

از آنجا که جریان آب زیرزمینی در آبخوانها و انتقال و پخش آلودگی در آنها تابع خصوصیات و فرایندهای طبیعی و مصنوعی متنوعی است، شناخت دقیق رفتار آبخوان و خصوصیات آن در تمام نقاط مقدور نمی باشد. لذا، $\dot{m}_{in} - \dot{m}_{out} = 0$ معمولاً از مدل های ساده شده و با فرضیات مشخص برای شبیه سازی وضعیت آبخوان و پیش بینی رفتار آینده آن استفاده می شود. شبیه سازی آبخوان شامل تهیه و اجرای مدلی مفهومی و ریاضی و بر اساس معادلات جریان است که شامل معادلات دیفرانسیلی بوده و به کمک روشهای تقریبی به ویژه آنالیز عددی (عناصر محدود - تفاضل محدود) قابل حل می باشد.

در این مقاله به تجزیه و تحلیل منابع آب زیرزمینی دشت نوبندگان فارس در طی ۲۳ سال گذشته و بدست آوردن تغییرات دراز مدت این منابع و مسیر و شدت جریان با استفاده از نرم افزار GMS پرداخته شده است. در این تحقیق سال آبی ۹۴-۹۳ برای واسنجی و سالهای دیگر برای صحت سنجی هیدرولیک آبخوان در نرم افزار تفاضل محدود Groundwater Modeling System; GMS 10 در نظر گرفته شده است. تئوری این شبیه سازی بر اساس قانون بقا جرم در حالت پایدار و ناپایدار و در نهایت با استفاده از معادله جریان می باشد (معادله ۱ و ۲). در این تحقیق، بررسی روند افت تراز ایستایی و حرکت جریان آبهای زیرزمینی این دشت در شرایط مختلف نیز صورت پذیرفته است. تلفیق معادله بقای جرم و داری در حالات پایدار و ناپایدار معادلات جریان را بصورت زیر بیان میکند (۳):

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(K_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_{yy} \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = S_s \frac{\partial h}{\partial t} + S_y \frac{\partial h}{\partial t} \quad (2)$$

با استفاده از نتایج این تحقیق می توان پیش بینی کرد که اگر در نقطه ای از دشت آلودگی فرضی وارد آب زیر زمینی گردد، این آلودگی بر اثر پدیده های پخش و انتقال به کدام محدوده و کدام چاه (ها) خواهد رسید.

زیرزمینی در شرایط گذرا صورت گرفته و نشان داده شده که مدل سازی آب های زیرزمینی یک روش مهم برای شناخت رفتار سیستم های آبخوان و تشخیص تراز آب زیرزمینی تحت تنش های مختلف هیدرولوژیکی است (۲۰). تجزیه و تحلیل تغییرپذیری و روند تغییرات تراز آب زیرزمینی با استفاده از kriging معمولی در مطالعه موردی دشت Sylhet، بنگلادش صورت گرفته و یافته های حاصل از مدل سازی، به شناسایی مناطق آسیب پذیر کمک کرده است. این مطالعه به سیاست گذاران در تصمیم گیری آگاهانه برای مدیریت پایدار منابع آب زیرزمینی در این منطقه حساس کمک می کند (۲۱).

همانطور که در تحقیقات پیشین دیده میشود ضروری است تا دشتهای و آبخوانهای شبیه سازی و مدیریت شوند، مخصوصاً آنهایی که بیلان آب زیرزمینی آنها (نظیر دشت نوبندگان) منفی است. امید است که با این شبیه سازیها بتوان از آسیبهای احتمالی آینده بر منابع آب زیرزمینی با مدیریت بهتر جلوگیری کرد. در این تحقیق علاوه بر شبیه سازی منابع دشت با نرم افزار قدرتمند GMS، سعی بر آن شده که علاوه بر مسیر و شدت جریان آب زیرزمینی، مناطق آسیب پذیر نیز بررسی گردند.

۲. معرفی دشت مورد مطالعه و روش انجام

تحقیق

محدوده مطالعاتی نوبندگان با کد ۲۶۳۲ یکی از محدوده های حوزه آبریز رودخانه مند می باشد (۲۲). موقعیت دشت در ۲۰ کیلومتری شهرستان فسا به سمت داراب می باشد، محدوده مطالعاتی نوبندگان از دو بخش ارتفاعات و دشت تشکیل شده که به ترتیب ۲۰۴،۵ و ۱۶۲،۵ کیلومتر مربع وسعت داشته و بطور کامل در استان فارس واقع شده است. مهمترین شهر این محدوده نوبندگان است. واصل آباد، شیدانک، صدرآباد و شورابه از روستاهای مهم محدوده مورد مطالعه می باشند. متوسط بارندگی سالانه در سطح این محدوده ۳۶۶،۳ میلیمتر می باشد. در این محدوده، منابع آب زیرزمینی تنها منابع آب مصرفی موجود می باشند و بیشترین مصارف شرب، صنعت و کشاورزی از منابع آب زیرزمینی توسط چاهها تأمین می شوند. بطوریکه از مجموع سالانه ی ۳۵،۱۳۷ میلیون مترمکعب تخلیه از منابع زیرزمینی، ۳۰،۵۵ میلیون مترمکعب به مصرف کشاورزی و ۴،۵۸۷ میلیون مترمکعب به مصرف شرب و صنعت می رسد. شکل ۱ موقعیت این دشت در استان فارس را نشان می دهد.

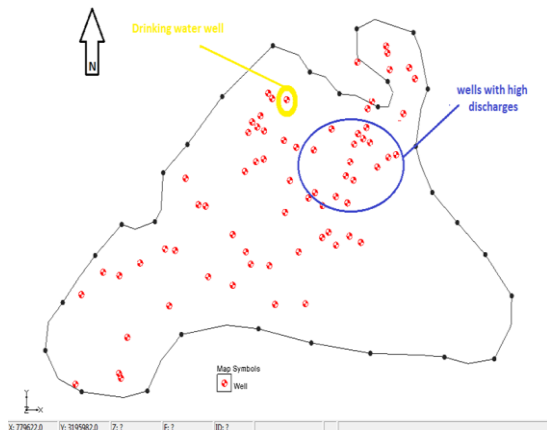
(۱۰،۱۱) مدلسازی عددی جریان آب زیرزمینی در آبخوان محصور به روش ایزوژئومتریک را انجام داده و نتایج بدست آمده دقت بالای این روش در مدلسازی آب زیرزمینی را نشان داده است به طوری که حداکثر خطای نسبی سطح آب زیرزمینی در این روش نسبت به حل دقیق ۰،۰۰۰۱ بوده است. در شبیه سازی عددی مسیر جریان آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان، ابتدا مدل هیدرولوژیکی دشت همدان - بهار تهیه و سپس جریان در دشت با کد عددی MODFLOW شبیه سازی شده است (۱۲). شبیه سازی جریان آب زیرزمینی و نفوذ آب شور در آبخوان دشت ملکان نیز انجام شده و مدل توانسته رفتار سیستم را به خوبی نشان دهد و تطبیق خوبی بین نتایج شبیه سازی مدل با داده های مشاهداتی برقرار کند (۱۳). بررسی پتانسیل نفوذ شورابه به منابع آب زیرزمینی آبخوان ساحلی ارومیه با استفاده از مدل سازی عددی صورت گرفته و نشان داده که در وضعیت کنونی منطقه، ارتباط بین آبخوان ارومیه و دریاچه ارومیه در کمترین مقدار ممکن می باشد و احتمال نفوذ آب شور به این آبخوان بسیار کم است (۱۴). شبیه سازی منابع آب زیرزمینی در جنوب شرقی دریاچه بوستن با GMS صورت گرفته و نتایج نشان می دهد که منابع آب زیرزمینی قابل بهره برداری در منطقه شبیه سازی شده حدود ۲۲ میلیون مترمکعب در هر ساعت است. تغییر شیوه مصرف آب کشاورزی تحت شرایط تعادل آب زیرزمینی موجود می تواند به طور موثری هدر رفت منابع آب زیرزمینی را کاهش دهد (۱۵). شبیه سازی کمی آب های زیرزمینی به روش مدلسازی عددی در آبخوان رودخانه موژو با استفاده از GMS صورت گرفته و نتایج نشان می دهد که منابع آب زیرزمینی موجود بحرانی می باشد و لذا پیشنهاد شده که بهره برداری از آب های زیرزمینی کمتر شده و برداشت از برخی چاه های کشاورزی متوقف گردد (۱۶) شبیه سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل ریاضی تفاضلات محدود با استفاده از نرم افزار GMS (مطالعه موردی: دشت قاین) صورت گرفته و آنالیز حساسیت مدل نشان داده که مدل به تغییرات هدایت هیدرولیکی حساسیت بالایی داشته است (۱۷). شبیه سازی تغییرات غلظت نیترا در آبخوان دشت قزوین با استفاده از سیستم مدل سازی آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار GMS صورت گرفته و نتیجه گیری گردیده که در بخش های وسیعی از آبخوان، غلظت نیترا کمتر از حد مجاز استاندارد ملی است. البته در مناطقی غلظت بالا مشاهده می شود که بنظر میرسد دلیلش تخلیه فاضلاب و نفوذ آن به آبخوان منطقه بوده است. خروجی مدل نشان داده که ادامه این شرایط می تواند سبب آلودگی بیشتر آبخوان شده و قسمت های مرکزی آبخوان را نیز آلوده کند (۱۸). شبیه سازی کمی منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت بهشهر - بندرگز با استفاده از مدل SWAT صورت گرفته و نتایج تحلیل حساسیت، ۱۴ پارامتر را به عنوان حساس ترین پارامترها نشان داده است. از جمله این پارامترها میتوان صعود آب از آبخوان کم عمق، زمان تأخیر انتقال آب از آخرین پروفیل لایه خاک به سطح آب زیرزمینی، عمق اولیه آب در آبخوان کم عمق و عمیق، میزان نفوذ به آبخوان عمیق، ظرفیت آب قابل دسترس خاک، شماره منحنی رواناب، متوسط بیشترین شیب، ضریب جبران تبخیر خاک و ضریب زبری مانینگ را نام برد (۱۹). در یک مطالعه، مفهوم سازی و توسعه مدل چند لایه آب

نقاط دشت صورت گرفته و ضرائب هدایت هیدرولیکی در نواحی مختلف بدست آمده اند. در این تحقیق سال آبی ۹۴-۹۳ به علت تغییرات اندک هیدروگراف و نزدیک بودن رفتار آبخوان به حالت پایدار، برای واسنجی انتخاب شده است. سپس صحت سنجی بر اساس دوره ی آماری در چند سال اخیر صورت گرفته است. پس از به دست آوردن ضرائب هدایت هیدرولیکی در حالت پایدار، مدل در حالت ناپایدار برای ضرائب آبدهی ویژه با داشتن ضرائب هدایت هیدرولیکی بدست آمده از حالت پایدار، کالیبره گردیده است. در نهایت مسیر و شدت جریان آب زیرزمینی مشخص گردیده، که بر اساس آن و همین طور سرعت جریان می توان انتقال آلودگی را نیز در دشت ردیابی و پیش بینی کرد.

۳. نتایج و بحث

۳-۱ مدل مفهومی دشت

موقعیت چاه های بهره برداری در محدوده مورد مطالعه به مدل داده شده است (شکل ۲). همانطور که دیده میشود، تعداد ۱۴۱ حلقه چاه بهره برداری در این محدوده وجود دارند که تعداد ۹۵ عدد از آن ها فعال می باشند، که اعم از چاه های برداشت آب برای مصارف کشاورزی و آب شرب می باشند.



شکل ۲ پراکنش چاه های برداشت در محدوده تحقیق

همان طور که در شکل ۲ دیده می شود چاه های برداشت در کل سطح دشت به گونه نسبتاً مناسبی پراکنده شده اند. در ناحیه شرقی دشت تعداد کمتری چاه برداشت داریم که در ادامه خواهیم دید که در این ناحیه ضخامت آبخوان کم می باشد و به همین دلیل در این ناحیه زمین های کشاورزی کمی وجود دارند. در ناحیه آبی رنگ، چاه های پر برداشت دشت را مشاهده می کنید. در ناحیه زرد رنگ، تنها چاه آب شرب دشت دیده می شود که نزدیک شهر نوبندگان بوده و میزان برداشت آب ثابت و نسبتاً بالائی دارد.

تعداد ۵ حلقه چاه مشاهده ای (پیزومتر) در محدوده ی دشت قرار گرفته اند که همه آنها در مدلسازی مورد استفاده قرار گرفته اند (شکل ۳).

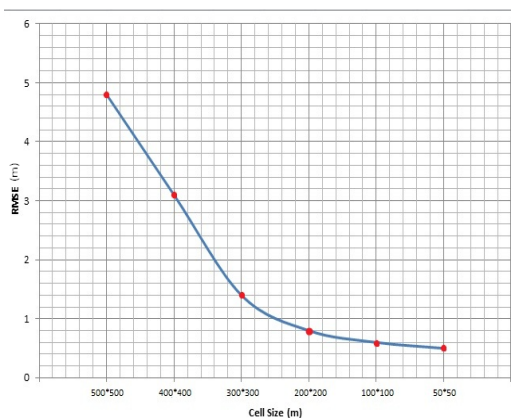


شکل ۱ موقعیت دشت نوبندگان در استان فارس

در این تحقیق ابتدا به مطالعه و بررسی آمار، داده ها و مطالعات انجام شده در دشتهای مختلف استان فارس بر اساس گزارشهای موجود در بانک اطلاعات شرکت آب منطقه ای استان فارس پرداخته شده است. بر همین اساس انتخاب دشت نوبندگان بدلیل وجود زمینهای کشاورزی و حاصلخیز و چاههای برداشت متعدد که از نظر آبدهی اهمیت بالائی دارند و نیز منفی بودن بیلان آبی آن، صورت پذیرفته و اطلاعات چاههای برداشت، مشاهده ای، چشمه ها، قنوات و سایر خصوصیات هیدرولیکی آن از گزارشها استخراج گردیده است. نرم افزار های مختلف شبیه سازی جریان آب زیرزمینی بر روی داده ها و بدلیل تنوع گرافیکی بالا، قابلیت لینک شدن با دیگر نرم افزارهای شبیه ساز کمی و کیفی، نرم افزار GMS انتخاب گردیده است. بکمک این نرم افزار مدل مفهومی آبخوان تهیه و داده های موجود به نرم افزار وارد گردیده است. پس از تهیه مدل مفهومی، واسنجی (کالیبراسیون) با کمک کد PEST برای پارامترهایی مانند هدایت هیدرولیکی در تمام

قرارگیری جداگانه هر چاه برداشت در سلول ها و دقت مناسب شبیه سازی می باشد. نقاط زرد رنگ، نشان دهنده موقعیت چاههای فعال برداشت در دشت می باشند.

در شکل ۵ میزان تغییرات مجذور میانگین مربع خطا (Root Mean Squared Error; RMSE) نسبت به تغییرات اندازه سلول را مشاهده می کنید که برای انتخاب بهترین اندازه سلول به کار گرفته شده است.

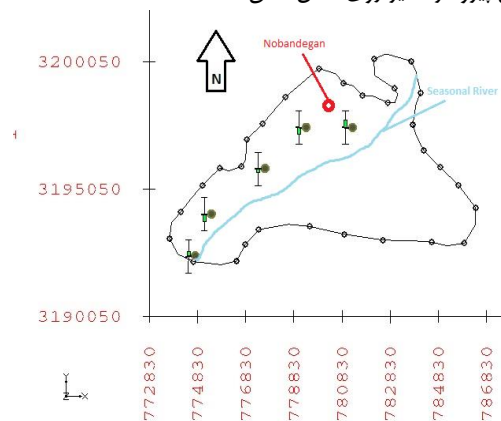


شکل ۵ تغییرات مجذور میانگین مربع خطا نسبت به تغییرات اندازه سلول ها

همان طور که مشاهده می شود با افزایش اندازه سلول ها، خطا افزایش می یابد که به علت کاهش دقت در مدل سازی است. بر همین اساس، در اندازه سلولهای کمتر از ۲۵۰ در ۲۵۰ متر، میزان خطا به میزان قابل قبول کمتر از ۱ متر رسیده و به دلیل اینکه زمان اجرای برنامه نیز بسیار طولانی نشود، اندازه ۲۰۰ در ۲۰۰ متر برای سلولهای شبیه سازی در این پروژه انتخاب گردیده است.

شکل ۶ نقشه توپوگرافی سطح زمین دشت را به صورت خطوط هم تراز و طیف رنگی نشان می دهد، که با اعمال نقاط UTM برداشت شده از دشت تهیه گردیده است. فاصله ارتفاعی خطوط هم تراز از یکدیگر حدود ۶ متر می باشد.

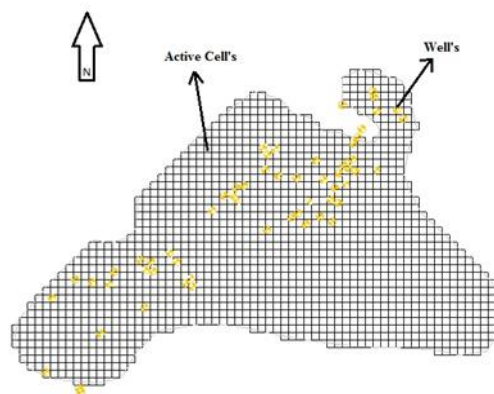
میزان خطای تراز آب زیرزمینی در حالت واسنجی مدل در حالت پایدار در این پیژومترها نیز روی شکل نشان داده شده است.



شکل ۳ جایگیری پیژومترها در دشت

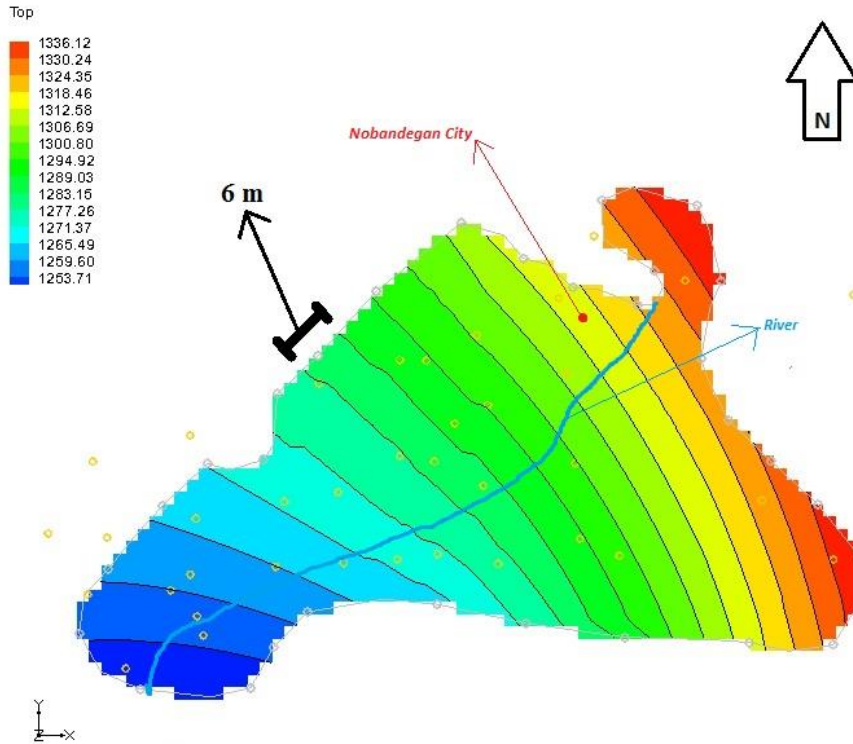
همان طور که مشاهده می شود چاههای مشاهداتی نیز عمدتاً در محدوده ای از دشت قرار گرفته اند که چاه های برداشت و زمین های کشاورزی بیشتری وجود دارند. پراکنش چاه های مشاهده ای در طول دشت نسبتاً مناسب می باشد و می توان در ادامه برای زون بندی از این پراکنش بهره برد. خط آبی نشان دهنده مسیر رودخانه فصلی دشت می باشد که در راستای شیب سطح دشت و به علت وجود ارتفاعات اطراف دشت و بارندگی حاصل از آنها به وجود آمده است. مختصات جغرافیایی دشت نیز به صورت UTM در دو محور X و Y در شکل نشان داده شده است.

در یک مدل مفهومی، دشت مورد مطالعه به یک شبکه بندی بر اساس وسعت دشت، فواصل بین چاه های برداشت و زمین های کشاورزی تقسیم میگردد. در این تحقیق، شبکه ای با اندازه ی سلولهای ۲۰۰ در ۲۰۰ متر به صورت یکسان برای اینکار انتخاب گردیده است.



شکل ۴ نمای شبکه بندی و سلول سازی دشت

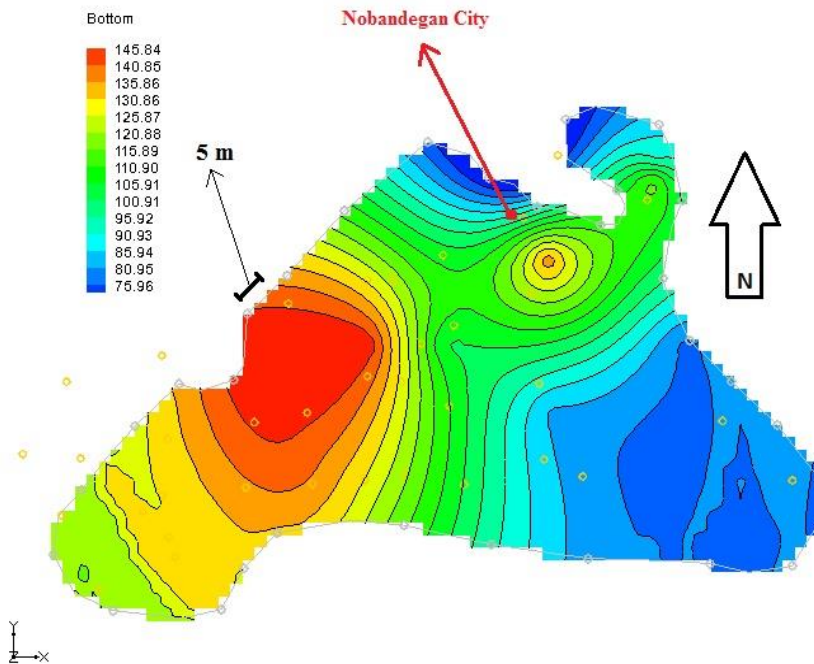
نتیجه حاصله از شبکه بندی دشت، ایجاد تعداد ۵۹۲۰ سلول بوده است که از این میان آنها ۱۴۲۵ فعال هستند. شکل ۴ سلولهای فعال در سطح دشت را نشان می دهد و این سلول ها به گونه ای انتخاب شده اند که تمامی مساحت دشت، مخصوصاً مرز و کناره های آن را با دقت مناسبی در بر گیرند. از دیگر دلایل انتخاب این اندازه برای سلول بندی،



شکل ۶ مدل بدست آمده از توپوگرافی سطح دشت بعد از درون یابی با برنامه GMS

دنبال می کند. نقاط زرد رنگ تعداد و مکان نقاط برداشت های ارتفاعی دشت بوده که به نرم افزار وارد گردیده است. شکل ۷ نقشه هم ضخامت آبخوان دشت را نشان می دهد که توسط نقاط برداشتی در سطح دشت به صورت خطوط هم تراز و طیف رنگی نشان داده شده و به نرم افزار وارد و مدل گردیده است. فاصله اندازه ای این خطوط هم ضخامت، حدود ۵ متر می باشد که رنگ آبی کمترین ضخامت آبخوان و رنگ قرمز بیشترین ضخامت را نشان می دهد.

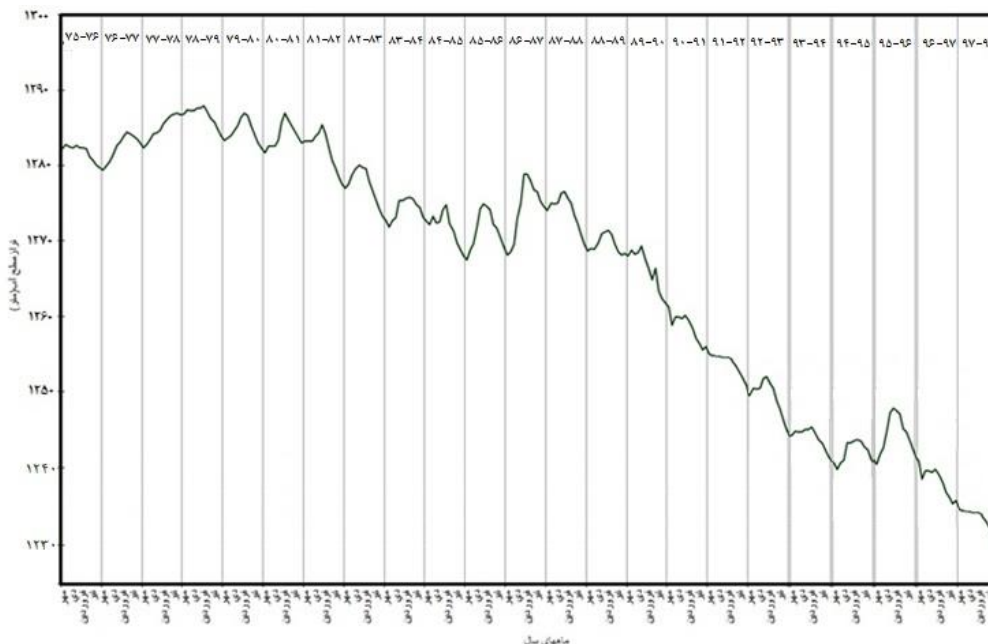
همان طور که در شکل مشاهده می شود ارتفاعات و کوههای منطقه در شمال و شمال شرق دشت بوده و هر چه به سمت جنوب غرب دشت می رویم، ارتفاع سطح زمین کاهش می یابد. تغییرات ارتفاع از بیشترین مقدار که ۱۳۳۶ متر بوده به ۱۲۵۳ متر از سطح دریا رسیده است که اختلافی در حدود ۸۳ متر می باشد. همان گونه که انتظار می رود موقعیت رودخانه موجود در دشت نیز مسیر کاهش توپوگرافی را



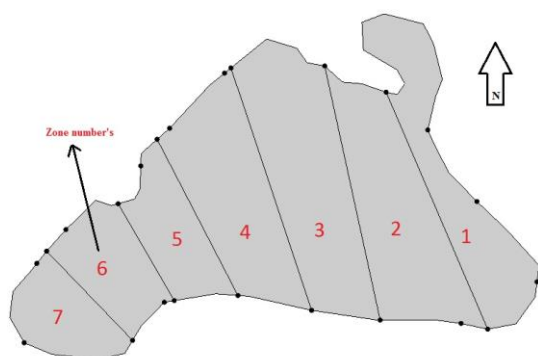
شکل ۷ مدل بدست آمده از کنتورهای هم ضخامت دشت با اطلاعات گمانه زنی دشت به وسیله نرم افزار GMS

نمودار هیدروگراف تراز سطح ایستابی دشت برای سال های ۷۵ تا ۹۸ در شکل ۸ نشان داده شده است. نوسانات سالانه تراز آب زیرزمینی در دشت و روند کلی تغییرات دراز مدت آن در شکل نشان داده شده است. بهتر است مدل سازی پایدار دشت از نقطه ای روی هیدروگراف شروع شود که روند متعادلی داشته باشد. این روند در مهر ماه ۹۳ وجود دارد و لذا نقطه تراز اولیه سطح ایستابی برای واسنجی مدل، از این زمان در نظر گرفته شده است. در حالت ناپایدار این روند برای ماههای بعد از نتایج واسنجی مدل شده است تا روند دقیق تری بدست آید.

همان طور که در شکل مشاهده می شود ضخامت آبخوان در نواحی شرقی دشت کمتر می باشد (حدود ۷۶ متر) که این خود دلیلی بر کوهستانی بودن این نواحی و کم بودن تعداد چاه های برداشت و زمین های کشاورزی در این نواحی می باشد. در نواحی شمال شرقی و غربی دشت عمق آبخوان به بیشترین حد خود می رسد که حدود ۱۴۵ متر بوده و این می تواند دلیلی بر وجود آب زیر زمینی به مقدار زیاد و در نتیجه تعداد زیاد چاه های پر برداشت در این نواحی باشد. نقاط زرد رنگ مکان نقاط برداشت برای اطلاعات سنگ بستر در دشت می باشند.



شکل ۸ هیدروگراف سطح ایستابی دشت نوبندگان



شکل ۹ نقشه زون بندی دشت برای تخمین پارامتر هدایت هیدرولیکی

همان طور که مشاهده می شود تراز سطح ایستابی در آبخوان دشت در طی یک دوره ۱۵ ساله از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ نزدیک به ۵۰ متر افت داشته است. این خود گواه بر بحرانی بودن شرایط آبخوان دشت است که نشان میدهد بهره برداری از منابع آب زیرزمینی آن، نیازمند اعمال یک شیوه مدیریتی بهینه و صحیح می باشد.

۲-۳ زون بندی و اجرای مدل

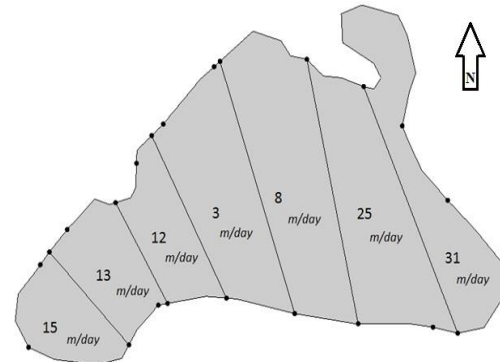
شکل ۹ نحوه زون بندی دشت به ۷ ناحیه برای تخمین پارامتر هدایت هیدرولیکی آبخوان را نشان می دهد. دلیل اینگونه زون بندی در دشت به علت وجود ارتفاعات در نواحی شمال شرقی دشت و سطح نسبتاً مسطح دشت در نواحی جنوب غربی می باشد. به همین دلیل انتظار می رود که در نواحی شمالی به علت وجود آبرفت های درشت دانه، پارامتر هدایت هیدرولیکی بزرگتر و در نواحی جنوبی به علت وجود ریزدانه ها پارامتر هدایت هیدرولیکی کمتر باشد.

همان طور که مشاهده می شود در قسمت شمالی دشت فرورفتگی کوه در دشت وجود دارد که به علت وجود ارتفاعات می باشد. برای انجام واسنجی ۱۰ مدل مختلف زون بندی دشت امتحان گردید که زون بندی شکل بالا به نظر منطقی تر بوده و نتیجه یکنواخت تری داده است.

شکل ۱۰ میزان محاسباتی ضریب هدایت هیدرولیکی دشت را برای زون های تعریف شده نشان می دهد.



شکل ۱۱ نقشه زون بندی و مقادیر محاسباتی ضریب آبدهی ویژه طی کالیبراسیون مدل در شرایط ناپایدار



شکل ۱۰ مقدار محاسباتی ضریب هدایت هیدرولیکی در نواحی مختلف دشت

ارقامی که در شکل ۱۱ مشاهده می کنید نشان دهنده ضریب آبدهی ویژه می باشد. در بالادست این میزان بیشتر و در نواحی جنوبی کمتر می باشد که این می تواند به دو دلیل باشد:

۱. تفاوت در توپوگرافی منطقه؛ به طوری که بالادست مرتفع تر بوده و در نتیجه بارندگی بیشتر و تراز آب زیر زمینی بالاتر و تخلخل بزرگتری دارد، درحالی که نواحی جنوبی پست تر بوده و در تراز پایین تری است، بنابراین بارندگی و تخلخل کمتری دارد.
۲. بالادست درشت دانه تر در نتیجه نفوذپذیری بالاتر و ضریب ذخیره بیشتری دارد و نواحی جنوبی ریزدانه تر با نفوذپذیری کمتر بوده و ذخیره آب کمتری دارد.

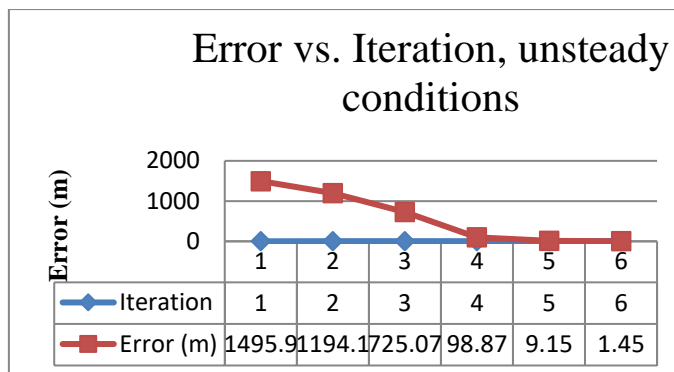
در جدول ۱ مقادیر محاسباتی ضرائب هدایت هیدرولیکی بر حسب متر بر روز و آبدهی ویژه در زونهای مختلف مشاهده می شوند. در ستون دوم جدول، میزان متوسط خطای محاسباتی (تفاوت تراز آب محاسباتی و مشاهداتی در ۵ چاه مشاهده ای) بر حسب متر آمده است. در شکل ۱۲ تغییرات خطای محاسباتی تراز آب بر حسب تعداد آزمون و خطا در حالت ناپایدار برگرفته از جدول ۱ نشان داده شده است.

همان طور که مشاهده می شود این میزان در نزدیک ارتفاعات که در نواحی شمال شرق دشت می باشد، بیشتر می باشد و هر چه به مرکز دشت می رسد کاهش می یابد. به نظر می رسد ضخامت کمتر آبخوان در نواحی جنوب غربی همراه با درشت دانه بودن مصالح آبخوان بوده و توجه کننده هدایت هیدرولیکی بالای آن می باشد. با توجه به جدول استاندارد به نظر می رسد خاک محدوده مورد مطالعه در نواحی شمالی از جنس ماسه درشت دانه در بالادست و در نواحی مرکزی دشت از جنس ماسه ریز دانه باشد. این نشان دهنده درشت تر بودن ذرات خاک در نواحی شمالی نسبت به نواحی مرکزی می باشد.

شکل ۱۱ نقشه زون بندی و مقادیر ضریب آبدهی ویژه به دست آمده پس از کالیبراسیون مدل در شرایط ناپایدار را نشان می دهد. با داشتن ضرائب هدایت هیدرولیکی بدست آمده در شرایط پایدار، نرم افزار ضریب آبدهی ویژه را در حالت ناپایدار کالیبره کرده و آنرا برای هر زون بدست می آورد.

جدول ۱ میزان خطای محاسباتی در تراز آب برای تخمین ضریب آبدهی ویژه در حالت ناپایدار در زونهای مختلف

Iteration	Error (m)	HK-1	HK-2	HK-3	HK-4	HK-5	HK-6	HK-7	SY-1	SY-2	SY-3	SY-4
1	1495.87	31.32	25.06	14.87	12.94	12.59	7.87	2.7	0.1	0.1	0.1	0.1
2	1194.14	31.32	25.06	14.87	12.94	12.59	7.87	2.7	0.075194	0.079669	0.0599	0.019477
3	725.07	31.32	25.06	14.87	12.94	12.59	7.87	2.7	0.07019	0.026866	0.0209	0.010407
4	98.87	31.32	25.06	14.87	12.94	12.59	7.87	2.7	0.03519	0.069676	0.0599	0.009077
5	9.15	31.32	25.06	14.87	12.94	12.59	7.87	2.7	0.02901	0.036866	0.009	0.00223
6	1.45	31.32	25.06	14.87	12.94	12.59	7.87	2.7	0.00951	0.006899	0.0045	0.002

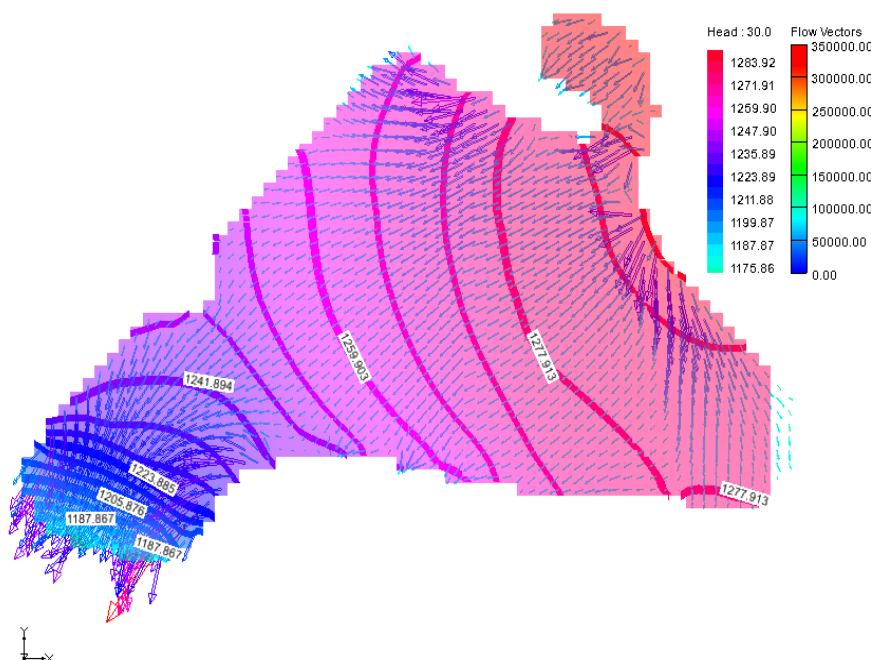


شکل ۱۲ تغییرات خطای محاسباتی تراز آب بر حسب تعداد آزمون و خطا در حالت ناپایدار

زمینی در دشت نشان داده شده است. خطوط هم تراز سطح آب زیرزمینی به صورت خطوط کنتور و با طیف رنگی نشان داده شده اند به گونه که فاصله ارتفاعی بین خطوط تراز حدود ۸ متر می باشد. خطوط هم تراز قرمز رنگ بیشترین تراز آب زیرزمینی و خطوط آبی رنگ کمترین تراز آب زیرزمینی را نشان می دهند. همچنین تراکم خطوط هم تراز و نزدیک بودن آنها به یکدیگر نشان دهنده شیب زیاد سطح آب زیرزمینی بوده که با توجه به ضریب هدایت هیدرولیکی سرعت بالای عبور آب زیرزمینی را هم توجیه می کند.

همان طور که مشاهده می شود، میزان خطا با بیشتر شدن تعداد آزمون و خطا کم می شود، بگونه ای که با تعداد قابل قبولی آزمون و خطا (۶ عدد) حداکثر خطا حدود ۱٫۵ متر شده است که با توجه به تراز حدود ۱۲۰۰ متری آب در پیژومترها قابل قبول به نظر می رسد. مقادیر ضریب هدایت هیدرولیکی در حالت پایدار قبلا کالیبره گردیده اند و مقادیرشان در جدول ۱ ثابت است. مقادیر به دست آمده برای ضریب آبدی و ویژه در ششمین آزمون به عنوان مقادیر نهایی تلقی شده و در جدول ۱ و شکل ۱۱ نشان داده شده اند.

بعد از واسنجی دشت در حالت پایدار و صحت سنجی مدل در حالت ناپایدار، مدل مفهومی دشت بدست می آید که خروجی اصلی نرم افزار GMS می باشد. در شکل ۱۳ نمای کلی از وضعیت جریان آب زیر



شکل ۱۳ نتایج شبیه سازی شدت و مسیر جریان آب زیرزمینی در آبخوان دشت نوبندگان

آب زیرزمینی از نواحی کوهستانی شمالی به سمت نواحی جنوب غرب دشت برقرار است که بیشینه تراز آب حدود ۱۲۸۳ متر و کمینه آن

در شکل ۱۳ فلش ها مسیر جریان آب زیر زمینی و طول آنها شدت جریان در آن نقطه را نشان می دهند. همان طور که دیده میشود جریان

افزایش می یابد که می تواند به دلیل بالاتر بودن ضریب هدایت هیدرولیکی، شیب سطح ایستابی و همچنین کم شدن سطح مقطع عبور آب در این نواحی باشد. تراز متوسط سطح ایستابی در آبخوان دشت در طی یک دوره ۱۵ ساله از سال ۱۳۸۳ تا ۱۳۹۸ نزدیک به ۵۰ متر افت داشته و وضعیت آب زیرزمینی دشت را بحرانی کرده است. ضخامت آبخوان در نواحی شرقی کم است و باعث گردیده تا در این ناحیه فعالیت های کشاورزی کاهش بسیار داشته باشد. بر اساس تراز سطح ایستابی مشاهده شده در درون دشت و گزارش بیان، در نواحی کناری تعاملی بین آبخوان با دشت های مجاور وجود ندارد و ورودی جریان از شمال و شمال شرق آبخوان و خروجی جریان از جنوب غرب آبخوان دشت صورت می گیرد. بر اساس مسیر و سرعت جریان آب در آبخوان، می توان انتقال آلودگی را نیز در آن ردیابی و پیش بینی کرد.

References

- Edalat M., Quantitative and qualitative simulation of Shahreza Plain aquifer and presenting an optimized pattern for withdrawal from pumping wells using MODFLOW software (2012). Master Thesis, Shiraz University (In Persian).
- Jacques, W. D. (2016), The Handbook of Groundwater Engineering
- www.aquaveo.com/GMS
- Ahmadi A., Simulating flow in Ezeh Plain aquifer using a finite difference numerical model to apply an optimum management (2001), Master Thesis, Shahid Chamran University, Ahvaz (In Persian).
- Emace, R, Chodhury, A, Anaya, R, and Way, S. C. (2003), A Numerical Groundwater Flow Model of the Upper and Middle Trinity Aquifer, Hill County Area, Texas Water Development Board, Open_file Report 00 - 02.
- Hill, M. C. (2009), "Use of Numerical Model for Management of Shallow Groundwater Levels in the Yuma, Arizona Area", *Journal of Groundwater*, 34 (3) pp 135-143.
- Salari M., Investigating the effects of Dodar Dam construction on Ladiz Plain aquifer and its management using a groundwater mathematical model (2007). Master Thesis, Sistan and Balouchestan University (In Persian).
- Talari Sh., Monitoring flow and pollution in industrial and chemical plants groundwater using numerical models (2009). Master Thesis, Tehran University, Tehran (In Persian).
- ۱۱۷۵ متر می باشد، که بیشتر از ۱۰۰ متر اختلاف هد در سطح ایستابی آبخوان می باشد. در نواحی شمالی و تا حدودی جنوبی دشت، سرعت جریان آب افزایش می یابد که می تواند به دلیل بالا تر بودن ضریب هدایت هیدرولیکی، شیب سطح ایستابی و همچنین کم شدن سطح مقطع عبور آب در این نواحی باشد.

۳-۳ نتیجه گیری

با شبیه سازی کمی آبخوان دشت نوبندگان در این تحقیق، رفتار هیدرولوژیکی دشت بدست آمد. جریان کلی آب زیرزمینی در این دشت از نواحی کوهستانی شمالی به سمت نواحی جنوب غرب دشت برقرار است که بیشینه هد آن حدود ۱۲۸۳ متر و کمینه آن ۱۱۷۵ متر و نشاندهنده بیش از ۱۰۰ متر اختلاف هد در سطح ایستابی آبخوان می باشد. در نواحی شمالی و تا حدودی جنوبی دشت سرعت جریان آب

- Akbarpoor A., Azizi M., Shirazi M., Mokhtaran Plain groundwater exploitation management using a finite difference mathematical model in GMS6.5 environment (2010). 9th Iran Hydraulic Conference, Aban 1389, Tarbiat Modarres University (In Persian).
- Maleki R., Karami Gh., Dowlati Ardehjan F., Hosseini H., Asadian F., The effects of 2007-2008 drought on Shahrood Plain using GMS6.0 model (2011), 2nd National Conference on Applied Researches on Iran Water Resources, Zanjan (In Persian).
- Kalantari M., Akbarpoor A., Khatibinia M., Numerical modeling of groundwater flow in confined aquifers using an iso-geometric method (2017). 14th National Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman (In Persian).
- Bayat Varkeshi M., Fasihi R., Zare Abyaneh H., Numerical simulation of groundwater flow path in Hamadan-Bahar Plain aquifer (2018). *Journal of Health and Environment*, 11(1) pp. 49-62 (In Persian).
- Azizi F., Asghari Moghaddam A., Nazemi A., Simulating groundwater flow and saltwater intrusion in Malekan Plain aquifer (2019). *Journal of Iran Watershed Management Science and Engineering*, 13(45) (In Persian).
- Amiri V., Investigating saltwater intrusion potential into groundwater resources using a numerical model (Case study: Uromiyeh coastal aquifer) (2020).

- Journal of Environmental Risks, Vol. 9, 26(4), pp. 161-184 (In Persian).
15. Qiang, Sh, Changhong, Y, Peng, Y. (2019), "Simulation evaluation of groundwater resources in southeastern Bosten Lake based on GMS", E3S Web Conf, Volume 79, 03020
 16. Zhong, H, Guangrui, Q, Linxian, H. (2020), "Quantitative Simulation of Groundwater by Mathematical Model in Muzhu River Aquifer using GMS", IOP Conf. Ser, Earth Environ. Sci. 510 042020
 17. Mollazadeh M., Azizi M., Khosravi A., Groundwater flow simulation using a finite difference mathematical model with GMS software (Case study: Ghaen Plain) (2018). 1st National Conference on Modeling and New Technologies in Water Management, Birjand (In Persian).
 18. Zangeneh M., Zare Abyaneh H., Bayat Varkeshi M., Karyab H., Simulating Nitrate concentration variations in Ghazvin Plain aquifer using groundwater simulation modeling (GMS) (2019). Scientific Journal of Ghazvin Medical Science University, 23(3) pp. 250-260 (In Persian).
 19. Mohseni B., Shahedi K., HabibNejad Rowshan M., Darzi NaftChali A., Quantitative simulation of surface and ground water resources in Behshar-BandarGaz Plain using SWAT model (2021). Journal of Water and Soil Resources Protection, 10(11) pp. 109-126 (In Persian).
 20. Omar PJ, Gaur S, Dwivedi SB, Dikshit PKS (2020) A modular three-dimensional scenario-based numerical modelling of groundwater flow. Water Res Manag 34:1913–1932
 21. Hasan, K, Paul, S, Chy, TJ, Antipova, A. (2021), Analysis of groundwater table variability and trend using ordinary kriging: the case study of Sylhet, Bangladesh. Appl Water Sci 11, 120.
 22. Combined water resources study report, Information and water budget on Nobandegan study area (code: 2632), Department of Energy, Iran water resources management company, Fars regional water company, Deputy for water resources basic studies (2015) (In Persian).