

## Research Paper

# Simulation of groundwater level in Damghan plain using numerical modeling

Marziyeh Bagheri <sup>1</sup>, Elham Fijani <sup>2\*</sup><sup>1</sup> MSc Student of Hydrogeology, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: Marziyeh.Bagheri@ut.ac.ir

<sup>2</sup> Associate Professor, School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: Efijani@ut.ac.ir[10.22125/iwe.2025.504410.1857](https://doi.org/10.22125/iwe.2025.504410.1857)

Received:  
**February 6, 2025**  
Accepted:  
**April 22, 2025**  
Available online:  
**April 25, 2025**

Keywords:  
Damghan plain,  
Groundwater, Numerical  
model, GMS software,  
Aquifer.

## Abstract

Located in northern Iran, the Damghan plain relies on an 812.4 km<sup>2</sup> unconfined aquifer due to scarce surface water, experiencing a 60 cm annual groundwater decline. A GMS/MODFLOW model was developed to manage groundwater. Following conceptual model development, the numerical model was calibrated (automatic and manual methods) and validated for the 2020-2021 water year. Results showed the model accurately forecasts aquifer status. Scenarios to address a -27.23 million cubic meter deficit revealed a need to reduce extraction from wells by over 40% to achieve equilibrium.

## 1. Introduction

Iran's growing population has increased demand for groundwater resources, particularly in arid and semi-arid regions. Effective aquifer management requires understanding future conditions through modeling—a crucial tool for water resource planning. Globally, numerous studies have applied quantitative groundwater modeling. For example, Al-Salamah et al. (2011) used modeling to assess overuse impacts on Saudi Arabia's Saq aquifer. Tian et al. (2015) integrated GSFLOW with SWMM in China's Zhangye Basin to study hydrological cycles. Patil and Chetan (2017) applied MODFLOW to address India's Hiranyakshi Basin issues. In Iran, mathematical models have been used since 1968 for various aquifers (Nakhaei et al., 2022). Notable studies include Karimi et al.'s analysis of Tehran's aquifer dynamics and Barati et al.'s work on Kermanshah Plain using GMS software.

Despite advancements with AI models, traditional mathematical approaches remain essential as they provide conceptual insights into complex processes within an aquifer system through partial differential equations. This study focuses on Iran's Damghan plain—a region reliant on groundwater due to surface water scarcity but facing reservoir deficits recently. The objective is to develop a numerical model using GMS software combined with MODFLOW for predicting future groundwater levels under diverse

\* **Corresponding Author:** Elham Fijani

**Address:** School of Geology, College of Science,  
University of Tehran, Tehran, Iran

**Email:** Efijani@ut.ac.ir

**Tel:** +98(21)61112722

management scenarios aimed at enhancing both quantitative and qualitative resource management strategies locally.

## 2. Methodology

The Damghan study area is located in Semnan Province, northern Iran, northwest of the Central Desert watershed. The region spans from Mount Karkasi at 3623 meters to the southeastern plain at 1068 meters above sea level. Quaternary alluviums form alluvial fans in the south, contributing to useful aquifers that diminish towards the aquifer axis. The studied aquifer covers an area of about 812.4 square kilometers. Geoelectric studies indicate that this unconfined aquifer rests on clay and marl bedrock with nearly impermeable hydraulic behavior. Over ten years, groundwater levels have dropped by over six meters (60 cm annually). Annual rainfall averages about 92 mm. To predict groundwater status, comprehensive data were collected: geophysical information, geological status, hydrodynamic coefficients (hydraulic conductivity), piezometer data from wells, and meteorological records including precipitation for water year 2020-2021. These data were sourced from various organizations like meteorological offices and processed using GIS before being imported into GMS software for modeling purposes.

## 3. Discussion and Conclusion

Following conceptual model development, the Damghan Plain numerical model was initially run in a steady state for October 2020. Calibration, a critical step for model validity, involved both automatic (PEST) and manual adjustments to match observed and calculated hydraulic head values. Hydraulic conductivity, identified as a key parameter for calibration, was refined through iterative adjustments. The steady-state model underwent over 78 calibration runs to minimize discrepancies between calculated and observed values, resulting in improved hydraulic head agreement. Subsequently, the model transitioned to an unsteady state for the water year 2020-2021, utilizing groundwater level data from the stable state as initial conditions. Additional calibration, both automatic and manual, was performed for this period, yielding acceptable error ranges and close alignment between simulated and observed values. The calibrated model underwent validation across two consecutive periods (water years 2021-2022 and 2022-2023), distinct from the calibration timeframe. High correlations between observed and calculated hydraulic head values confirmed the model's accuracy in predicting groundwater levels and estimating future aquifer conditions. The primary objective of the model was to forecast groundwater levels under hydraulic stresses. Given a substantial reservoir deficit of approximately -27.23 million cubic meters in the study year, scenarios were designed to enhance groundwater levels. Recognizing the Damghan Plain's critical status, scenarios focused on reducing withdrawals rather than increasing them. Initial simulations with 10% and 20% reductions in withdrawal from production wells showed increased groundwater levels in observation wells but failed to eliminate the reservoir deficit. A subsequent scenario involving a 40% reduction in withdrawal was tested, revealing that only this level of reduction could achieve a positive groundwater balance, underscoring the area's critical condition and the necessity for stringent water management practices.

## 4. Results

This study designed a numerical model to assess the Damghan Plain's alluvial aquifer and predict groundwater level changes. Validated for accuracy after calibration, the model revealed that the reservoir deficit is primarily due to excessive water withdrawal, with limited impact from rainfall fluctuations. Scenarios emphasized reducing withdrawal from exploitation wells, indicating that a reduction of over 40% is necessary to achieve a balanced groundwater balance. Given the critical situation, characterized by a declining groundwater level, managing withdrawal is crucial. Implementing artificial recharge plans and enhancing water productivity through modern irrigation systems are recommended.

## 5. The most important references

- 1) Al-Salamah, I. S., Ghazaw, Y. M., & Ghumman, A. R. (2011). Groundwater modeling of Saq Aquifer Buraydah Al Qassim for better water management strategies. *Environmental monitoring and assessment*, 173, 851-860.

- 2) Barati, Abedi Kopaei, Jahangir, Azari, Darvishi, & Yousefi. (2019). Groundwater modeling to determine hydrodynamic coefficients in unconfined aquifer (Case study: Kermanshah plain). *Iranian Soil and Water Research*, 50(3), 687-700.
- 3) Karimi, L., Motagh, M., & Entezam, I. (2019). Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 439-449.
- 4) Nakhaei M., Hasani A., Moghimi H., Abbasnovinpour E. (2022). Predicting the effects of overuse on Zarandieh plain aquifer (Markazi province, Iran) using GMS software. *Hydrogeology*, 6(2), 13-29.
- 5) Patil, N. S., & Chetan, N. L. (2017). Groundwater modeling of Hiranyakeshi watershed of Ghataprabha sub-basin. *Journal of the Geological Society of India*, 90(3), 357-361.
- 6) Tian, Y., Zheng, Y., Wu, B., Wu, X., Liu, J., & Zheng, C. (2015). Modeling surface water-groundwater interaction in arid and semi-arid regions with intensive agriculture. *Environmental Modelling & Software*, 63, 170-184.

### **Conflict of Interest**

Authors declared no conflict of interest.

## شبیه‌سازی تراز آب زیرزمینی در دشت دامغان با استفاده از مدل‌سازی عددی

مرضیه باقری<sup>۱</sup>، الهام فیجانی<sup>۲\*</sup>

تاریخ ارسال: ۱۴۰۳/۱۱/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۶

مقاله پژوهشی

### چکیده

دشت دامغان در استان سمنان در شمال ایران قرار دارد و یکی از محدوده‌های مطالعاتی شمال غرب حوضه آبریز کویر مرکزی است. در این دشت، آبخوان آبرفتی از نوع آزاد با مساحت ۸۱۲/۴ کیلومتر مربع قرار گرفته است و به دلیل فقیر بودن منطقه از آب سطحی، اکثر نیاز آبی منطقه از منابع آب‌های زیرزمینی تامین می‌شود. سطح تراز آب زیرزمینی سالانه بیش از ۶۰ سانتی‌متر افت را تجربه می‌کند. به منظور بررسی آبخوان موجود در این دشت و مدیریت برداشت آب زیرزمینی مدل عددی آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار GMS و مدل MODFLOW تهیه گردید. پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی به منظور ساخت مدل مفهومی در اولین گام از مدل‌سازی، این داده‌ها وارد محیط نرم‌افزار GMS شدند. مدل عددی به دو صورت پایدار و ناپایدار برای سال آبی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ اجرا گردید و پس از واسنجی به دو روش خودکار و دستی به کمک داده‌های موجود از سال آبی متفاوت از دوره واسنجی مرحله صحت‌سنجی اجرا شد. به دلیل همبستگی تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی در مرحله صحت‌سنجی، مدل طراحی شده قابلیت پیش‌بینی وضعیت آینده این آبخوان را دارد. در آخرین مرحله از مدل‌سازی سناریوهایی جهت بهبود وضعیت آبخوان و جبران کسری مخزن (۲۷/۲۳- میلیون متر مکعب) طراحی شد و نتایج نشان داد که تنها در صورت کاهش بیش از ۴۰ درصد برداشت از چاه‌های بهره‌برداری بیلان آب زیرزمینی در این آبخوان به تعادل خواهد رسید. واژه‌های کلیدی: آبخوان، آب‌های زیرزمینی، دشت دامغان، مدل عددی، نرم افزار GMS.

۱ - دانشجوی کارشناسی ارشد آب زمین‌شناسی، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
(Marziyeh.Bagheri@ut.ac.ir)

۲ - دانشیار، دانشکده زمین‌شناسی، دانشکده‌گان علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران. (نویسنده مسئول): (Efijani@ut.ac.ir)

## مقدمه

در سال‌های اخیر افزایش جمعیت در کشور ایران که از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌رود، موجب تقاضای روز افزون منابع آب زیرزمینی شده است. به منظور مدیریت آبخوان‌ها، نیازمند شناخت کامل و پیش‌بینی شرایط آینده این سیستم‌های آب زیرزمینی بوده و این امر به کمک مدل‌سازی که ابزاری قدرتمند برای برنامه‌ریزی کارآمد منابع آب می‌باشد امکان‌پذیر است. پژوهش‌های فراوانی با مضمون مدل‌سازی کمی آب‌های زیرزمینی در سراسر جهان انجام شده است که از میان آن‌ها می‌توان به السلمه و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۱) اشاره کرد که به کمک مدل‌سازی آب زیرزمینی آبخوان ساق<sup>۴</sup> در بریده-القاسم<sup>۵</sup>، عربستان سعودی، را بررسی کردند تا تأثیر استفاده بیش از حد از منابع آب را بر کاهش سطح آب این آبخوان برآورد کنند. آن‌ها مدلی برای مجموعه‌های متفاوتی از نرخ‌های پمپاژ طراحی کردند تا استفاده بهینه از منابع آب زیرزمینی و افزایش عمر آبخوان را توصیه کند. در شمال غربی چین نیز، تیان و همکاران<sup>۶</sup> (۲۰۱۵) با ادغام مدل جریان آب زیرزمینی و سطحی (GSFLOW) با مدل مدیریت آب طوفانی (SWMM)، سیستم آب زیرزمینی همراه با چرخه هیدرولوژیکی را در حوضه ژانجی<sup>۷</sup>، مطالعه کردند. در پژوهشی دیگر، پتیل و چتان<sup>۸</sup> (۲۰۱۷) حوضه آبریز هیرانیاکشی<sup>۹</sup>، هند، را که با مشکلات شدید آب زیرزمینی مواجه است با مدل MODFLOW مدل‌سازی کردند. مشکلات کم‌آبی این حوضه در کشور هند، به دلیل وابستگی اکثر فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی منطقه به آب‌های زیرزمینی است. در مقاله‌ای دیگر، المکتومی و همکاران<sup>۱۰</sup> (۲۰۱۸) اثرات تغییر اقلیم و افزایش سطح دریا بر سفره آب‌های ساحلی سامیل و جاما<sup>۱۱</sup> عمان را به صورت عددی با استفاده از مدل MODFLOW ارزیابی کردند. لیازیدی و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۲۰) در پژوهشی متفاوت، از مدل جریان آب زیرزمینی برای حل مسئله آبخوان گرب-بوآرگ

<sup>۱۳</sup> در مراکش که با مشکل غرقابی مواجه بود استفاده کردند و آن‌ها پس از واسنجی و تایید مدل، چندین سناریو به منظور آزمایش روش‌های مختلف بهره‌برداری بر روی کاهش سطح ایستابی در این سفره ساحلی اجرا کردند. در پژوهشی جدید، فلفلانی و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی مدل‌سازی پیشرفته آب زیرزمینی در دشت‌های شمالی آمریکا با استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان و تعاملات بین آب سطحی و آب زیرزمینی پرداختند و آن‌ها دریافته‌اند که با ادغام ورودی‌های دقیق‌تر مانند پوشش گیاهی سطحی و دینامیک اشباع خاک، دقت پیش‌بینی رفتار آب زیرزمینی به طور قابل توجهی بهبود می‌یابد. در تحقیقی دیگر، مصطفی و مولود<sup>۴</sup> (۲۰۲۴) جریان آب زیرزمینی حوضه اربیل عراق را با استفاده از سیستم مدل‌سازی آب زیرزمینی (GMS) و مدل عددی MODFLOW شبیه‌سازی کردند و این مدل توسعه یافته سه‌بعدی، بینش ارزشمندی در مورد پویایی جریان آب زیرزمینی، مکانیسم‌های تغذیه و تخلیه و اثرات بالقوه سناریوهای آینده مانند تغییرات اقلیمی و رویکردهای مدیریت منابع آب در منطقه فراهم کرد. استفاده از مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی شده از سال ۱۳۴۷ در مطالعات آبخوان‌های ایران متداول شد و آبخوان‌های متعددی توسط پژوهشگرهای مختلفی مورد بررسی قرار گرفت (نخعی و همکاران، ۱۴۰۰). از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مدل‌سازی نوسانات سطح آب زیرزمینی در آبخوان تهران توسط کریمی و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد که به بررسی پویایی تغییرات آب‌های زیرزمینی در این آبخوان تک لایه آزاد، پرداخته‌اند. تجزیه و تحلیل‌های انجام شده برای برآورد هدایت هیدرولیکی در منطقه، هدایت بالاتر را برای بخش‌های شمالی و مرکزی آبخوان تهران نشان داد که انتظار می‌رود به دلیل رسوب‌گذاری رودخانه در این بخش‌ها باشد. در پژوهشی جهت تعیین ضرایب هیدرودینامیکی آبخوان آزاد دشت

<sup>9</sup> Hiranyakeshi

<sup>10</sup> Al-Maktoumi et al.

<sup>11</sup> Samail and Jamma

<sup>12</sup> Lyazidi et al.

<sup>13</sup> Gareb-Bouareg

<sup>14</sup> Mustafa and Mawlood

<sup>3</sup> Al-Salamah et al

<sup>4</sup> Saq

<sup>5</sup> Buraydah Al Qassim

<sup>6</sup> Tian et al

<sup>7</sup> Zhangye

<sup>8</sup> Patil and chetan.



منابع آب زیرزمینی به منظور مدیریت کمی و کیفی این منابع در منطقه ضرورت دارد و هدف از این پژوهش تهیه مدل عددی آب زیرزمینی با استفاده از نرم افزار GMS و مدل MODFLOW برای آبخوان دشت دامغان و پیش-بینی سطح آب زیرزمینی بر اساس سناریوهای مختلف می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

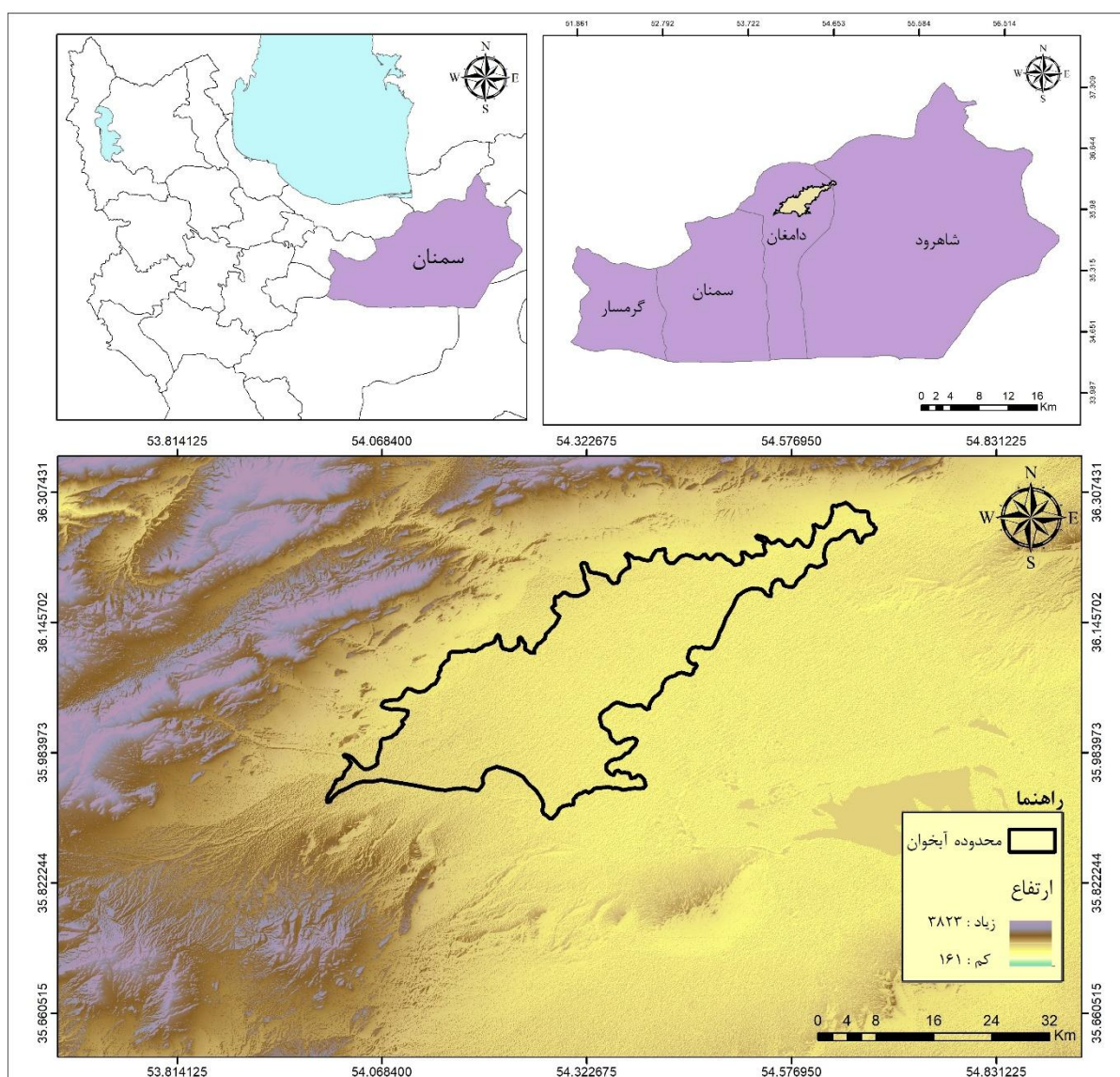
محدوده مطالعاتی دامغان با موقعیت  $21^{\circ} 53'$  تا  $41^{\circ} 54'$  طول شرقی  $42^{\circ} 35'$  تا  $30^{\circ} 36'$  عرض شمالی، در استان سمنان در شمال ایران واقع شده و یکی از محدوده‌های مطالعاتی شمال غرب حوضه آبریز کویر مرکزی است. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. جمعیت شهرستان دامغان طبق آمار سرشماری سال ۱۳۹۵، ۹۴ هزار و ۱۹۰ نفر برآورد شده است. مهم‌ترین مرکز جمعیتی این ناحیه، شهرستان امیرآباد است که از جنوب به محدوده مطالعاتی کویر دامغان دسترسی دارد. توپوگرافی غالب این منطقه شامل کوه‌های مرتفع در شمال غرب (بخش‌هایی از جناح جنوبی کوه‌های البرز)، تپه‌های منفرد در جنوب غرب و دشت دامغان در جنوبی‌ترین بخش منطقه می‌باشد. بالاترین نقطه در منطقه، کوه کرکسی با ارتفاع ۳۶۲۳ متر از سطح دریا و پایین‌ترین نقطه، در قسمت جنوب شرقی دشت دامغان با ارتفاع ۱۰۶۸ متر از سطح دریا می‌باشد (پشت نویسی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دامغان). قسمت‌های جنوبی منطقه غالباً از آبرفت‌های کواترنری به صورت مخروط افکنه‌ها تشکیل شده‌اند که منجر به توسعه آبخوانی مفید شده و این مخروط افکنه‌های آبرفتی به تدریج به سمت محور آبخوان کوچک‌تر می‌شوند (شکل ۲). مساحت آبخوان مورد بررسی در دشت دامغان معادل  $812/4$  کیلومتر مربع است. براساس مطالعات قبلی، مطالعات ژئوالکترونیک و نوع دانه‌بندی مقاطع چاه‌های اکتشافی، مشاهده‌ای و بهره‌برداری حفرشده، آبخوان آبرفتی محدوده مطالعاتی دامغان از نوع آزاد است و سنگ کف آبخوان به صورت کلی از جنس رس و مارن بوده که رفتار هیدرولیکی

کرمانشاه، براتی و همکاران (۱۳۹۸) از نرم‌افزار GMS برای مدل‌سازی آب زیرزمینی استفاده کردند و نتایج بدست آمده از این مدل مقدار هدایت هیدرولیکی را از  $0/1$  تا  $30$  متربروز برآورد کرد. محمدی آراسته و شجاعی (۲۰۲۳) در پژوهشی به شبیه‌سازی کمی و کیفیت منابع آب زیرزمینی دشت زنجان در غرب ایران پرداخته‌اند. آن‌ها در طی یک دوره ۳ ساله، بین سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۲، یک مدل MODFLOW را طراحی و واسنجی کردند و پارامترهای هیدرودینامیکی استخراج شده از مدل نشان داد که مقادیر هدایت هیدرولیکی بالاتر در مناطق کوهپایه‌ای به دلیل مواد آبرفتی دانه درشت بوده است. در پژوهش مذکور از سال ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۸، روند صحت‌سنجی انجام شد و نشان داد که در بخش جنوب شرقی آبخوان دشت زنجان، سطح آب زیرزمینی به دلیل تراکم بالاتر زمین‌های کشاورزی آبیاری شده به طور قابل توجهی کاهش یافته است.

با توجه به پژوهش‌های انجام شده در سال‌های اخیر در حوزه مدیریت آبخوان‌ها در ایران و کشورهای دیگر، مدل‌سازی عددی به کمک نرم افزار GMS روشی کارآمد و به روز تلقی می‌شود. اگرچه امروزه مدل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی به طور گسترده‌ای به کار می‌روند اما مدل‌های ریاضی یک درک مفهومی از سیستم آب زیرزمینی را از طریق مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل جزئی توصیف می‌کنند که از طریق چنین تکنیک‌های مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی، مکانیسم فرآیندهای مختلف آبخوان قابل درک می‌باشد (علی و همکاران<sup>۱۵</sup>، ۲۰۲۴). در این پژوهش، آبخوان دامغان که در دشتی بحرانی و ممنوعه در کشور ایران قرار دارد، مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس روش دومارتن، منطقه مورد مطالعه در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک قرار دارد و دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد و خشک است. این دشت از نظر منابع آب سطحی فقیر است و بیشتر نیاز آبی منطقه از منابع آب زیرزمینی تامین می‌شود. با توجه به رویارویی این دشت با کسری مخزن در سال‌های اخیر، مطالعات اصولی و هدفمند

آبخوان دامغان (شکل ۳) سطح تراز آب زیرزمینی طی این ده سال بیش از ۶ متر افت داشته است، یعنی به طور متوسط در هر سال ۶۰ سانتی متر سطح تراز آب زیرزمینی کاهش داشته است و مقدار بارش سالانه به طور میانگین ۹۲ میلی متر در سال می باشد.

تقریباً ناتراوا دارد (دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران، وزارت نیرو، ۱۳۹۸). دشت دامغان با شیبی ملایم به سمت جنوب دارای آبراهه ها و رودخانه هایی فصلی (چشمه علی و آستانه) است که از ارتفاعات شمالی منطقه سرچشمه می گیرند و پس از ورود به دشت آبرفتی از بخش جنوبی منطقه به کویر دامغان منتهی می شوند. با توجه به آبنمود معرف ده ساله



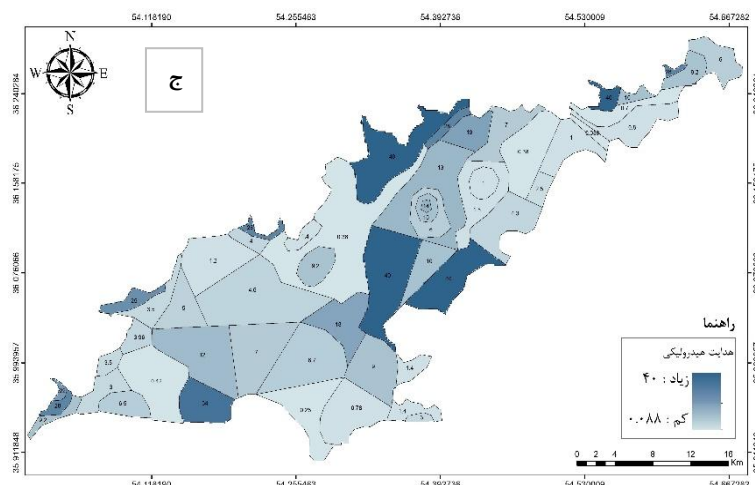
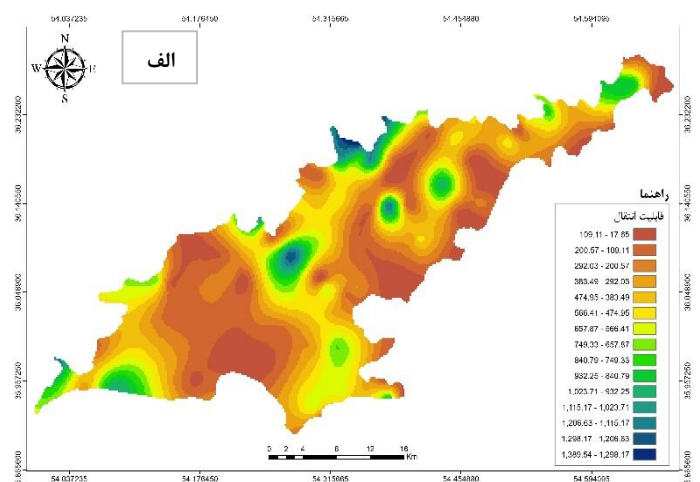
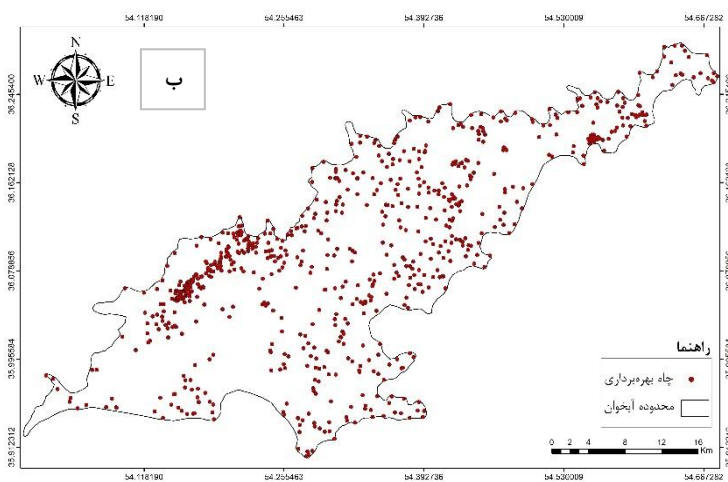
شکل (۱): موقعیت آبخوان دامغان در استان سمنان و ایران به همراه نقشه ارتفاعی منطقه.



شکل ۴ تعدادی از نقشه‌های آماده شده در محیط نرم‌افزار GIS آورده شده است و اطلاعات چاه‌های مشاهده‌ای واقع در این منطقه در جدول ۱ قابل مشاهده است. این داده‌ها و اطلاعات از پایگاه‌های اطلاعاتی و گزارش‌های مختلف از سازمان‌های هواشناسی (داده‌های بارش)، دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران (ضرایب هیدرودینامیکی)، وزارت نیرو (داده‌های تراز آب زیرزمینی)، سازمان زمین‌شناسی آمریکا (مدل رقومی ارتفاع) جمع‌آوری و سپس پردازش گردیده و پس از آماده‌سازی در نرم‌افزار GIS، برای انجام مدل‌سازی به نرم‌افزار 10.8 GIS وارد شده است.

### داده‌های مورد استفاده

برای بررسی سطح آب زیرزمینی در دشت دامغان و پیش‌بینی وضعیت آبخوان موجود در این منطقه، اطلاعات جامعی از جمله اطلاعات ژئوفیزیکی، وضعیت زمین‌شناسی منطقه، ضرایب هیدرودینامیکی (هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره و آبدی ویژه)، اطلاعات پیژومترها و چاه‌های بهره‌برداری، داده‌های هواشناسی منطقه از جمله داده‌های بارش سال آبی مورد بررسی (۱۳۹۹-۱۴۰۰)؛ برای اجرای مدل عددی لازم است. در

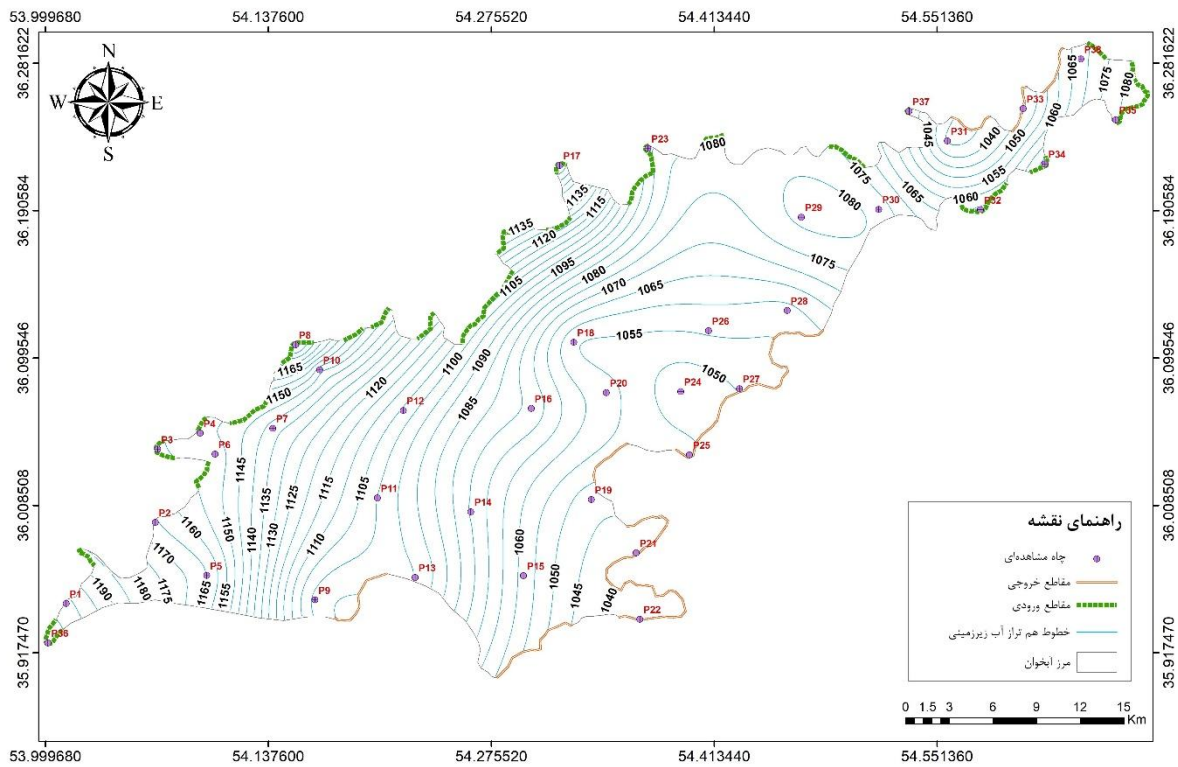


شکل (۴): (الف) نقشه هم‌قابلیت انتقال (مقادیر بر حسب متر مربع بر روز)، (ب) محل چاه‌های بهره‌برداری، (ج) نقشه مقادیر هدایت هیدرولیکی نهایی (مقادیر بر حسب متر بر روز).

جدول (۱): مشخصات چاه‌های مشاهده‌ای واقع در آبخوان دامغان (دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران، وزارت نیرو، ۱۳۹۸).

ردیف	UTMX	UTMY	نام محل	تراز نقطه نشانه (m)
۱	۲۲۰۵۲۰	۳۹۸۲۲۹۵	اکتشافی شماره ۲ قوشه	۱۳۳۵/۲۶
۲	۲۳۵۶۶۳	۳۹۸۷۷۰۶	غرب ابزار مهدی	۱۲۳۹/۱۹
۳	۲۳۵۹۵۰	۳۹۹۲۷۱۸	هشت کیلومتری غرب صیدآباد	۱۲۷۵/۳۸
۴	۲۳۸۳۵۲	۳۹۹۳۷۵۳	شمال قوشه به صیدآباد	۱۲۲۱/۶۳
۵	۲۳۸۴۲۲	۳۹۸۳۹۸۰	جاده امروان به قوشه	۱۲۲۷/۱۳
۶	۲۳۹۱۴۴	۳۹۹۲۲۸۴	شمال غرب امیرآباد	۱۲۰۰/۹۷
۷	۲۴۲۴۰۵	۳۹۹۳۹۵۹	صیدآباد	۱۱۶۹/۳۸
۸	۲۴۳۸۵۰	۳۹۹۹۶۵۰	حاجی آباد فیخار	۱۲۶۳/۹۴
۹	۲۴۴۴۱۵	۳۹۸۲۱۳۲	امروان ۱	۱۱۷۸/۴۳
۱۰	۲۴۵۱۴۰	۳۹۹۷۹۰۳	بخش آباد	۱۱۵۸/۸۴
۱۱	۲۴۸۰۹۶	۳۹۸۹۰۱۱	خرم آباد	۱۱۴۵/۷۵
۱۲	۲۴۹۷۲۲	۳۹۹۴۹۷۷	ابراهیم آباد	۱۱۲۸/۶۴
۱۳	۲۵۰۰۵۴	۳۹۸۳۵۱۳	جاده شریفیه	۱۱۴۳/۶۸
۱۴	۲۵۳۲۸۹	۳۹۸۷۹۲۰	کشکو	۱۱۱۲/۹۳
۱۵	۲۵۶۱۰۵	۳۹۸۳۴۵۷	سلطانیه	۱۰۹۶/۶۳
۱۶	۲۵۶۸۵۲	۳۹۹۶۹۲۰	حسن آبادو ۱	۱۰۹۶/۲۰
۱۷	۲۵۸۸۹۸	۴۰۱۱۵۲۴	آب‌بخش جدید	۱۲۳۸/۳۹
۱۸	۲۵۹۳۴۶	۳۹۹۹۳۸۳	جاده باقرآباد ۱	۱۱۱۴/۷۴
۱۹	۲۶۰۰۲۷	۳۹۸۸۵۷۶	شمال شریف آباد	۱۰۷۳/۷۷
۲۰	۲۶۱۰۷۰	۳۹۹۵۸۷۹	شرق نظام آباد	۱۰۸۹/۳۶
۲۱	۲۶۲۴۳۸	۳۹۸۴۸۴۷	مجیدآباد	۱۰۶۸/۰۶
۲۲	۲۶۲۵۲۰	۳۹۸۰۳۰۳	مسیح آباد	۱۰۶۸/۵۰
۲۳	۲۶۳۸۳۹	۴۰۱۲۵۵۶	شمال غرب ابوالبق	۱۱۸۵/۹۷
۲۴	۲۶۵۲۱۱	۳۹۹۵۸۴۵	بهاآباد ۱	۱۰۷۵/۳۱
۲۵	۲۶۵۵۹۰	۳۹۹۱۴۹۰	جنوب عبدیا	۱۰۵۹/۰۱
۲۶	۲۶۶۸۷۲	۳۹۹۹۹۶۷	جنوب شرقی شمس آباد	۱۰۹۰/۰۰
۲۷	۲۶۸۴۹۴	۳۹۹۵۹۵۷	شرق عبدیا	۱۰۶۴/۸۸
۲۸	۲۷۱۲۹۰	۴۰۰۱۲۴۳	موسی آباد	۱۰۷۵/۲۷
۲۹	۲۷۲۲۵۵	۴۰۰۷۶۱۸	حسین آباد حاج علی نقی	۱۰۹۵/۰۵
۳۰	۲۷۶۵۷۲	۴۰۰۸۰۴۸	شمال غرب جعفرآباد ۱	۱۰۹۰/۵۲
۳۱	۲۸۰۵۰۷	۴۰۱۲۶۳۳	مهماندوست	۱۱۲۳/۷۲
۳۲	۲۸۲۲۳۴	۴۰۰۷۸۷۹	جنوب حمزه خان	۱۰۷۶/۲۷
۳۳	۲۸۴۷۷۷	۴۰۱۴۷۴۴	شمال غرب تعیم آباد ۱	۱۱۲۳/۱۴
۳۴	۲۸۵۸۹۳	۴۰۱۰۹۲۸	ایستگاه زرین	۱۰۸۱/۹۹
۳۵	۲۸۹۹۰۴	۴۰۱۳۸۵۱	جنوب شرقی قادرآباد	۱۰۸۸/۶۹
۳۶	۲۲۹۴۱۱	۳۹۷۹۶۳۱	جاده معدن قوشه	۱۳۷۱/۱۵
۳۷	۲۷۸۴۳۳	۴۰۱۴۷۲۰	شمال غرب مهماندوست	۱۲۰۴/۱۵

۱۱۸۳/۹۹	شمال قادرآباد	۴۰۱۸۰۷۱	۲۸۸۰۶۶	۳۸
---------	---------------	---------	--------	----



شکل (۵): خطوط هم‌تراز آب زیرزمینی و مقاطع ورودی و خروجی آبخوان دامغان.

جنوبی به کویر دامغان منتهی می‌شوند و در قسمتی از منطقه که آب زیرزمینی تبادلی ندارد مرز بدون جریان در نظر گرفته شده است (شکل ۵). متوسط حجم بارندگی در محدوده بیلان در سال آبی ۰۰-۹۹، ۵۴/۹ میلیون متر مکعب برآورد شده است که با در نظر گرفتن ۱۰ درصد سهم نفوذ (گزارش‌های نیمه تفضیلی آب منطقه‌ای سمنان، ۱۳۸۸)، متوسط تغذیه در دوره بیلان از ریزش‌های جوی ۵/۴۹ میلیون متر مکعب می‌باشد. در تمام بخش‌های محدوده بیلان، عمق سطح آب زیرزمینی بیشتر از ۴ متر است که در این نواحی تبخیر از آب زیرزمینی صفر تخمین زده می‌شود و در این محدوده عامل تبخیر از عوامل تخلیه آبخوان محسوب نمی‌شود. بیشترین تخلیه از منابع آب زیرزمینی به واسطه برداشت از چاه‌های بهره‌برداری صورت می‌پذیرد. برداشت آب زیرزمینی از طریق چاه‌های بهره‌برداری به طور متوسط حدود ۸۹/۹۷ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است. بخشی از آب برداشت شده طی پدیده آب برگشتی

## نتایج و بحث

### بیان آب زیرزمینی

پیش از اجرای مراحل مدل‌سازی، به منظور دیدگاه جامع از وضعیت آبخوان موجود در دشت دامغان بیان سال آبی مورد پژوهش (۱۴۰۰-۱۳۹۹) بررسی گردید. محدوده بیلان برابر مساحت آبخوان و معادل ۸۱۲/۴ کیلومتر مربع است. عوامل تخلیه و تغذیه بیلان به تفکیک در جدول ۲ مشاهده می‌شوند. به منظور محاسبه حجم جریان‌های ورودی و خروجی آب زیرزمینی به محدوده بیلان به طول متوسط مقاطع و شیب متوسط از نقشه تراز نیاز است. و با انطباق نقشه هم‌ضریب قابلیت انتقال با آن، مقدار متوسط ضریب قابلیت انتقال برای هر مقطع استخراج و سپس حجم ورودی و خروجی سالیانه از کلیه مقاطع به ترتیب ۶۴/۱۴ و ۲۷/۹۶ میلیون متر مکعب محاسبه شده است. مقاطع ورودی و خروجی به کمک نقشه خطوط تراز آب زیرزمینی تعیین شده است. ورودی‌های اصلی در بخش شمالی قرار گرفته‌اند و خروجی‌های اصلی منطقه در بخش



شرب و صنعت در محدوده بیلان ۵/۶۶ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. در این محدوده رودخانه دائمی جریان ندارد، در نتیجه زهکش از رودخانه و تبادلات آب سطحی با آب زیرزمینی به عنوان عامل بیلان در نظر گرفته نمی‌شود. همانطور که جدول ۲ جمع‌بندی محاسبات بیلان را نشان می‌دهد، حدود ۲۷/۲۳- میلیون متر مکعب از حجم ذخایر آبخوان کاسته شده‌است. این میزان کسری مخزن بحرانی بودن دشت دامغان را تصدیق می‌کند و لزوم بررسی دقیق آبخوان دامغان و ارائه سناریوهای کارآمد را به کمک مدل‌سازی آشکار می‌سازد.

به عنوان عامل تغذیه به آبخوان باز می‌گردد. مقدار آب زیرزمینی جهت مصارف کشاورزی در محدوده بیلان در سال مورد مطالعه برابر با ۷۷ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده که با در نظر گرفتن ۲۰ درصد نفوذ (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان (قوشه‌ای)، ۱۳۸۹)، حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی در مجموع ۱۵/۴ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. مقدار مصرف سالیانه بخش شرب و صنعت در سال آبی ۹۹-۰۰ مقدار ۹/۴۴ میلیون متر مکعب است. با در نظر گرفتن ۶۰ درصد نفوذ (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان سمنان (قوشه‌ای)، ۱۳۸۹)، حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی

جدول (۲): جمع‌بندی محاسبات بیلان در سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (ارقام برحسب میلیون متر مکعب).

ردیف	عامل تغذیه	مقدار تغذیه (MCM)	عامل تخلیه	مقدار تخلیه (MCM)
۱	حجم جریان آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان	۶۴/۱۴	حجم جریان آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان	۲۷/۹۶
۲	حجم آب نفوذ یافته از ریزش‌های جوی	۵/۴۹	حجم آب بهره‌برداری شده از آبخوان	۸۹/۹۷
۳	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی	۱۵/۴	حجم آب تبخیر شده از سطح آب‌های کم‌عمق در محدوده بیلان	۰
۴	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی شرب و صنعت	۵/۶۶	حجم زهکشی از آب زیرزمینی توسط هر نوع زهکش یا رودخانه	۰
۵	حجم آب نفوذ یافته از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها	۰		
۶	مجموع	۹۰/۷۰	مجموع	۱۱۷/۹۳
۷	تغییرات حجم مخزن			-۲۷/۲۳

### مراحل اجرای مدل

سیستم مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی (GMS) یک محیط کاربری گرافیکی جامع برای انجام شبیه‌سازی آب‌های زیرزمینی است. این سیستم شامل یک رابط کاربری گرافیکی (برنامه GMS) و تعدادی کدهای تحلیلی (MODFLOW, MT3D, MODPATH, SEEP2D, ) FEMWATER می‌باشد. در محیط این نرم‌افزار ابزارهایی برای توصیف مکانی، ایجاد مدل مفهومی، تولید شبکه، آمارهای زمین‌شناختی و پردازش نهایی آن‌ها ارائه شده است. نقطه شروع مدل‌سازی تعیین هدف می‌باشد. به کمک مدل‌سازی می‌توان شرایط هیدروژئولوژیکی یک منطقه را در گذشته بررسی کرد و یا سیستم آب زیرزمینی را تفسیر کرد. اما متداول‌ترین کاربرد و هدف مدل‌های آب

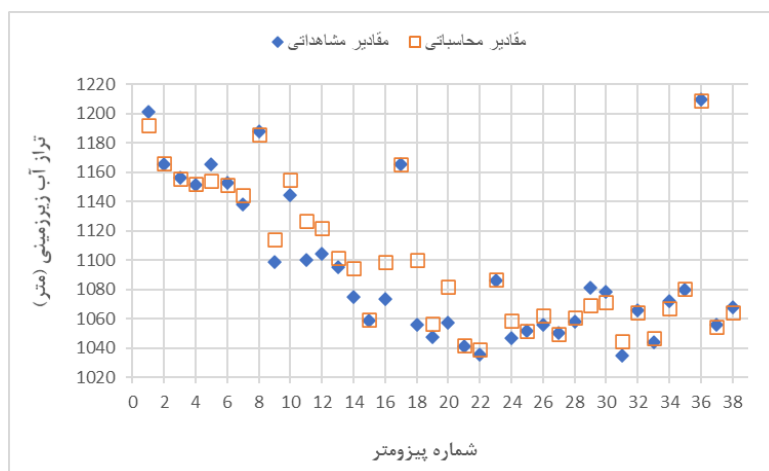
زیرزمینی پیش‌بینی شرایط آینده است. پس از انتخاب هدف، مدل مفهومی جریان آب زیرزمینی به منظور تعیین ابعاد مدل عددی و طراحی شبکه تهیه می‌شود. به کمک ساخت مدل مفهومی در اولین گام از مدل‌سازی می‌توان داده‌های مشاهداتی و شرایط و فرضیات مقدماتی را با سهولت برای مدل عددی تعریف کرد. در این پژوهش مدل عددی جریان آب زیرزمینی در دشت دامغان با استفاده از نرم‌افزار GMS و کد MODFLOW تهیه شده است که هدف اصلی، پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در این منطقه و ارائه راهکارهای کاربردی برای بهبود شرایط در آینده می‌باشد. برای تهیه مدل مفهومی ابتدا داده‌های در دسترس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ضرایب هیدرودینامیکی از پارامترهای بسیار مهم در مدل‌سازی می‌باشند که در این

زیرزمینی، برای اجرای مدل تهیه شد. تمام داده‌های جمع‌آوری شده و آماده شده به صورت لایه‌های اطلاعاتی مجزا وارد محیط GIS شد. برای طراحی این مدل به دلیل انتخاب کد MODFLOW، به روش تفاضل محدود پس از معرفی محدوده آبخوان مراحل گسسته‌سازی مکانی انجام شده‌است. در روش تفاضل محدود با استفاده از یک شبکه‌بندی تقریباً مستطیلی، محدوده آبخوان به کمک سلول‌های (فعال) مجزا گسسته‌سازی می‌شود که در مرکز هر سلول یک گره قرار دارد. در این گره‌های مرکزی بار هیدرولیکی محاسبه می‌شود و فرض مدل بر این است که تمام خواص هیدروژئولوژیکی در محدوده هر سلول یکنواخت است. تعداد گره‌هایی که در این مرحله تشکیل می‌شود بر دقت حل، زمان مورد نیاز برای انجام محاسبات و در نتیجه مقدار دقت خروجی مدل تاثیر می‌گذارد. پس از شبکه بندی و تعیین سلول‌های فعال و غیرفعال، و طراحی دیگر آرایه‌ها، تمام این اطلاعات و آرایه‌ها به آرایه‌های مدل مفهومی تبدیل شد و سپس در مرحله بعد با اجرای مدل عددی مقادیر مجهول محاسبه شد. مدل عددی آبخوان دشت دامغان در دو حالت پایدار و ناپایدار اجرا شده است.

#### اجرای مدل در حالت پایدار

پس از تهیه مدل مفهومی که شامل محدوده آبخوان، عوامل تغذیه و تخلیه، ضرایب هیدرودینامیکی و... می‌باشد، با تعیین دقیق شرایط مرزی و طراحی هندسه آبخوان، مدل عددی برای یک دوره تنش یک ماهه (مهر ۱۳۹۹) در حالت پایدار اجرا گردید.

پژوهش از ضرایب هیدرودینامیکی تدقیق و بازنگری شده از سوی دفتر مطالعات پایه منابع آب شرکت مدیریت منابع آب ایران استفاده شده است. برای آماده‌سازی این ضرایب و تعریف آن‌ها به مدل مفهومی، نقشه پهنه‌بندی ضرایب هیدرودینامیکی (هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، ضریب ذخیره و آبدهی ویژه) در نرم افزار GIS تهیه شده است. داده‌های ضریب قابلیت انتقال، ضریب ذخیره و آبدهی ویژه به صورت مستقیم در دسترس بودند اما برای تهیه نقشه پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی، عملیات ریاضی بر روی داده‌های اطلاعاتی قابلیت انتقال و ضخامت اشباع آبخوان انجام شده است. در مراحل آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی، به کمک ابزار Calculator در محیط نرم افزار GIS از تفریق نقشه رقمی تراز سنگ کف از نقشه تراز سطح آب زیرزمینی برای مهر ماه سال ۱۳۹۹، ضخامت اشباع آبخوان محاسبه شد و به کمک همین ابزار از تقسیم قابلیت انتقال بر ضخامت اشباع، ضریب هدایت هیدرولیکی اولیه آبخوان برآورد شد. پارامتر هدایت هیدرولیکی به دلیل نحوه محاسبه آن و اجرای مراحل درون‌یابی با عدم قطعیت همراه است و در مرحله واسنجی جهت به دست آوردن بهترین انطباق بین داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در محدوده مجاز (توجه به نقشه خاک و زمین‌شناسی منطقه) تصحیح شده است. علاوه بر این ضرایب، نقشه توپوگرافی، تراز سنگ کف، اطلاعات جامع از محل چاه‌های بهره‌برداری، نوع مصرف و میزان تخلیه ماهانه و سالانه چاه‌های بهره‌برداری، داده‌های مربوط به چاه‌های مشاهده‌ای به منظور تهیه نقشه تراز آب زیرزمینی و تعیین مرزهای ورودی و خروجی آب زیرزمینی، داده‌های هواشناسی جهت تعیین میزان بارش و تبخیر به عنوان پارامترهای تغذیه و تخلیه در سیستم آب

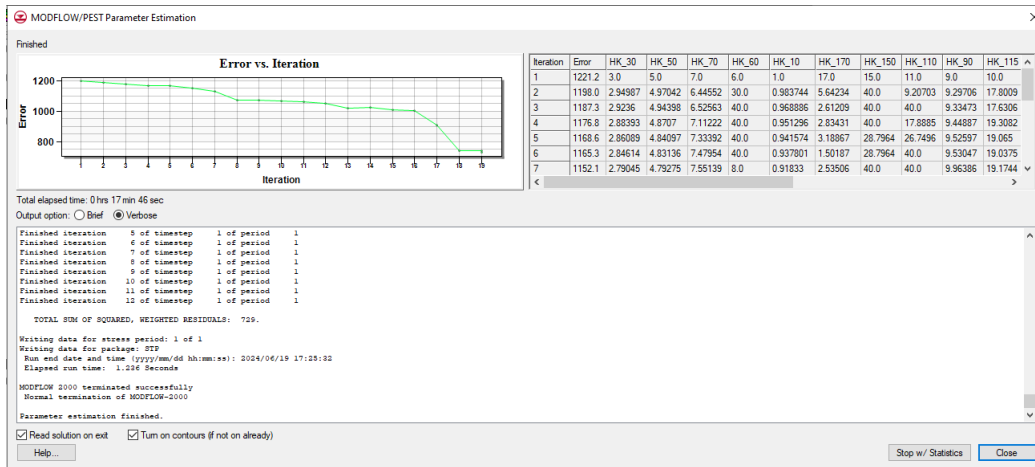


شکل (۶): نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی مشاهداتی و محاسباتی پیزومترها (چاه مشاهده‌ای) در اولین اجرای مدل پایدار.

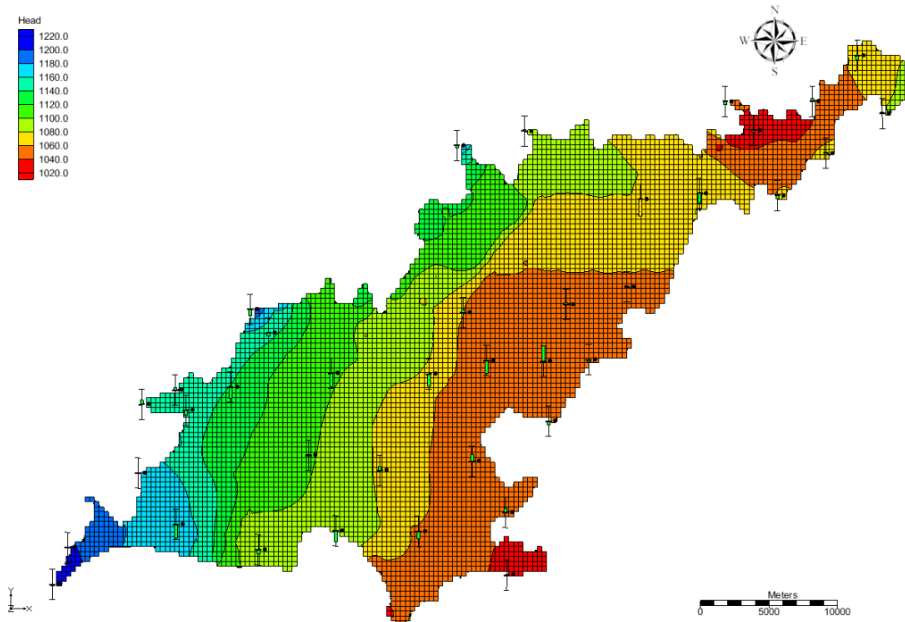
## واسنجی

مهم‌ترین مرحله در مدل‌سازی آب‌های زیرزمینی که دقت و اعتبار مدل نیازمند انجام دقیق و اصولی آن است، مرحله واسنجی مدل است. در این مرحله با صرف زمان زیادی با دو روش خودکار و دستی (آزمون و خطا) به کمک بهینه کردن پارامترهای ورودی سعی بر ایجاد انطباق میان مقادیر مشاهداتی (صحرایی) و محاسباتی (نتایج مدل‌سازی) می‌شود. پس از اجرای مدل عددی در حالت پایدار، این مدل به کمک داده‌های ورودی و شرایطی که برای آن در نظر گرفته شده است مقادیر محاسباتی بار هیدرولیکی (تراز آب زیرزمینی) را در جدولی نمایش می‌دهد. با مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی بار هیدرولیکی، عدم تطابق آن‌ها قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۶). به دلیل اینکه داده‌های سطح آب زیرزمینی در حالت پایدار شرط اولیه برای اجرای مدل در حالت ناپایدار هستند، هر چه مقادیر محاسباتی مدل در حالت پایدار دقیق‌تر و نزدیک‌تر به داده‌های مشاهداتی باشند، مدل در هنگام اجرا در حالت ناپایدار با خطای کمتری مواجه می‌شود اما این بدان معنا نیست که مدل در حالت اجرای ناپایدار بی‌نیاز از واسنجی است. با توجه به دلایل ذکر شده و با درک هیدروژئولوژیکی از منطقه، با ترکیب دو روش خودکار و دستی سعی بر کاهش خطای مدل پایدار اولیه شده است. در قدم اول پس

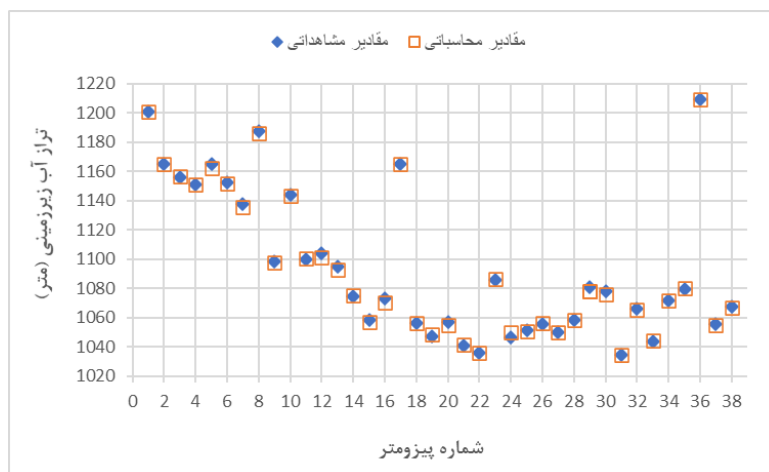
از تعیین پارامتر مورد نظر، ضریب هدایت هیدرولیکی به دلیل شیوه محاسبه معمولاً با عدم قطعیت همراه است و در این پژوهش پارامتر هدف واسنجی بوده است، به کمک کد دستوری PEST (تخمین پارامتر) واسنجی خودکار برای مدل عددی در حالت پایدار انجام شد (شکل ۷). به کمک بررسی جدول ارائه شده از نتایج واسنجی خودکار مناطقی از آبخوان که دارای هدایت هیدرولیکی بسیار متفاوت از مقادیر ورودی بودند شناسایی شدند. با تلفیق نتایج واسنجی خودکار و اطلاع از محدوده استاندارد مقادیر هدایت هیدرولیکی در منطقه به کمک تعریف بازه‌های عددی جدید برای هدایت هیدرولیکی و افزایش پلی‌گون‌های پهنه‌بندی هدایت هیدرولیکی سعی بر انجام واسنجی دستی شده است. تغییرات تدریجی و زون‌بندی شده به منظور تدقیق پارامتر هدف واسنجی اعمال شدند و در این مرحله از واسنجی بیش از ۷۸ بار مدل عددی پایدار اجرا شد تا نتیجه قابل قبولی برای بار هیدرولیکی محاسبه شده به دست آمد (شکل ۸). در انتهای مرحله واسنجی، به کمک نمودار (شکل ۹) مقادیر محاسباتی و مشاهداتی به دست آمده از آخرین اجرای مدل در حالت پایدار با مقادیر دریافتی از اولین اجرای مدل در حالت پایدار (شکل ۶) مقایسه شد. به طور مشهودی مقادیر بار هیدرولیکی به دست آمده پس از مرحله واسنجی به مقادیر مشاهداتی نزدیک‌تر بودند.



شکل (۷): اجرای واسنجی خودکار برای حالت پایدار.



شکل (۸): تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای در آخرین اجرای مدل پایدار (مهر ۹۹).

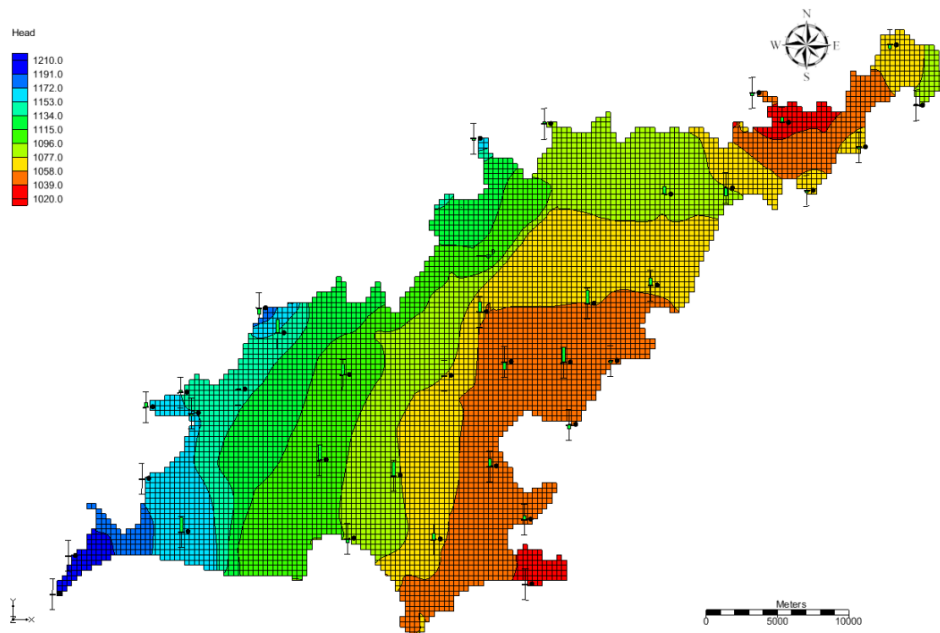


شکل (۹): نمودار مقایسه مقادیر تراز آب زیرزمینی مشاهده‌ای و محاسباتی پیزومترها در آخرین اجرای مدل پایدار پس از واسنجی.

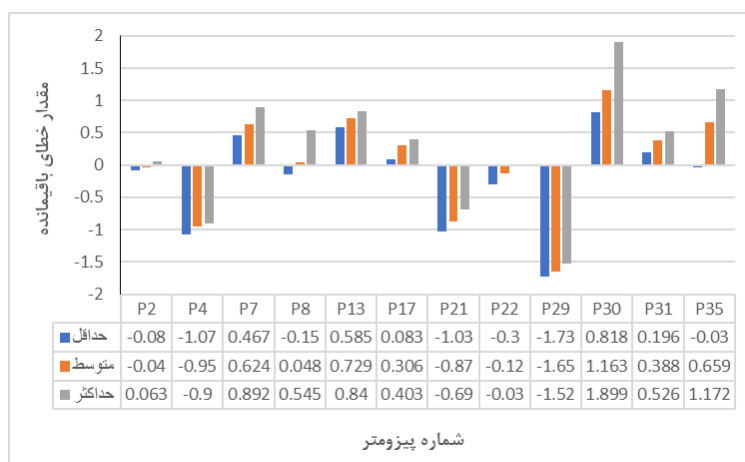
### اجرای مدل در حالت ناپایدار

در حالت ناپایدار برای یک دوره یک‌ساله (سال آبی ۱۴۰۰-۱۳۹۹) با ۱۲ گام زمانی مدل اجرا شده است (شکل ۱۰). علاوه بر داده‌های مذکور برای حالت پایدار در این مرحله مقدار آبدهی ویژه نیز در قالب لایه اطلاعاتی به محیط نرم افزار اضافه گردید. داده‌های سطح آب زیرزمینی مهر ۹۹ در آخرین اجرای مدل عددی در حالت پایدار به عنوان شرایط اولیه مدل در حالت ناپایدار مورد استفاده قرار گرفته است.

پس از اجرای مدل در حالت ناپایدار، واسنجی خودکار و دستی برای دوره تنش ذکرشده انجام شد. شکل ۱۱، متوسط، ماکزیمم، و مینیمم تفاوت مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب زیرزمینی را در مرحله واسنجی برای دوره‌های تنش یک ساله مذکور در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد. به طور کلی خطای مدل شبیه‌سازی شده در حالت ناپایدار پس از واسنجی در بازه قابل قبولی قرار دارد و طبق شکل ۱۲ مقادیر محاسباتی به مقادیر مشاهداتی بسیار نزدیک هستند.



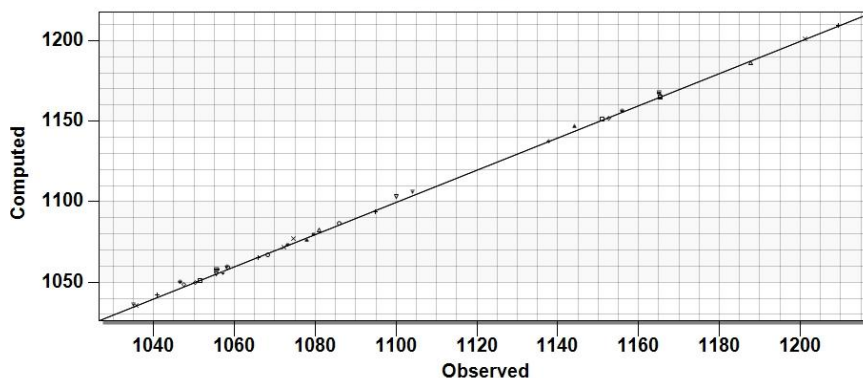
شکل (۱۰): تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای در آخرین اجرای مدل ناپایدار (دومین گام زمانی دوره تنش).



شکل (۱۱): حداقل، متوسط و حداکثر تفاوت مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب زیرزمینی در تعدادی از چاه‌های مشاهده‌ای.

### Computed vs. Observed Values

Trans. Head

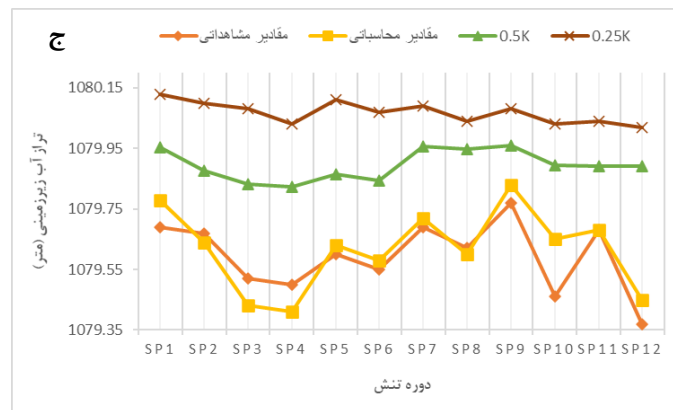
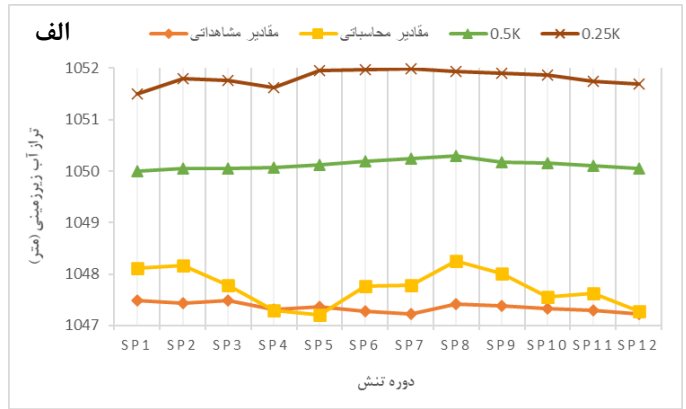
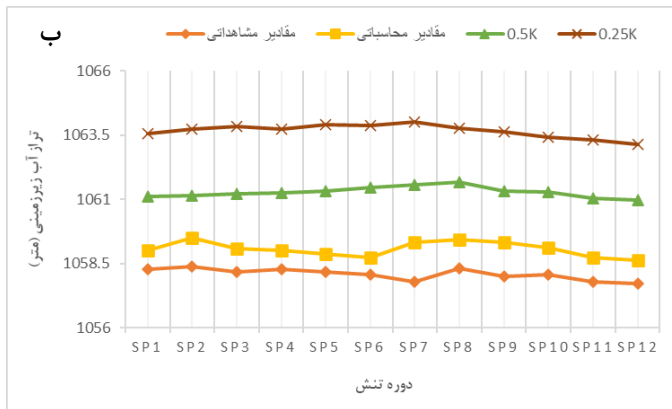


شکل (۱۲): نمودار تراز آب زیرزمینی مشاهداتی در مقابل محاسباتی در چاه‌های مشاهده‌ای در آخرین اجرای مدل ناپایدار (پنجمین گام زمانی دوره تنش).

### آنالیز حساسیت

هدف از انجام آنالیز حساسیت در مراحل مدل‌سازی تعیین پارامترهایی می‌باشد که در پیش‌بینی تراز آب زیرزمینی در آبخوان مورد نظر بیشترین تاثیر را دارند و با کوچک‌ترین تغییر، در نتایج مدل موثر هستند. برای کاهش عدم قطعیت در مدل‌سازی، بررسی پارامترهای حساس و دقت در برآورد آن‌ها لازم است. در مرحله واسنجی تاثیر پارامتر هدایت هیدرولیکی بر اختلاف سطح تراز آب زیرزمینی محاسباتی و مشاهداتی مشهود است. به همین دلیل برای آنالیز حساسیت مدل به تغییرات این پارامتر، مدل برای مقادیر ۰/۲۵ و ۰/۵ برابر هدایت هیدرولیکی به دست آمده از آخرین مرحله واسنجی اجرا شد. شکل ۱۳ حساسیت مدل به تغییرات هدایت هیدرولیکی را در چند چاه مشاهده‌ای

انتخابی برای ۱۲ دوره تنش نشان می‌دهد. با توجه به نمودارهای ترسیم شده در شکل ۱۳، می‌توان به حساسیت مدل به تغییر پارامترهای هدایت هیدرولیکی پی برد. سطح تراز آب زیرزمینی محاسباتی در این مرحله در برخی از چاه‌ها مانند چاه ۱۹ و ۲۸ نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی حساسیت بیشتری دارد، در حالی که برخی چاه‌ها مانند چاه شماره ۳۶ نسبت به تغییرات هدایت هیدرولیکی حساسیت کمتری نشان می‌دهند. در واقع چاه‌هایی که در مرحله واسنجی نیاز به صرف زمان بیشتری داشتند تا خطای آن‌ها کاهش یابد، در این مرحله نیز به تغییرات هدایت هیدرولیکی حساسیت بیشتری نشان می‌دهند به همین دلیل آنالیز حساسیت مکمل مرحله واسنجی مدل محسوب می‌شود.

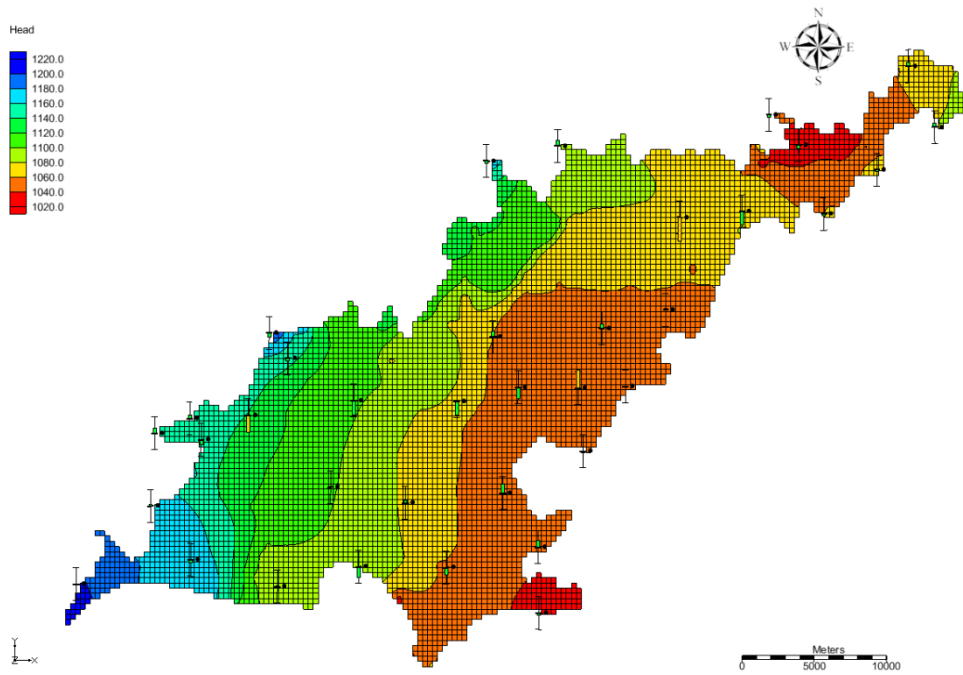


شکل (۱۳): آنالیز حساسیت مدل نسبت به پارامتر هدایت هیدرولیکی برای دوره تنش یک‌ساله در چاه‌های مشاهده‌ای منتخب، الف) ۱۹، ب) ۲۸، ج) ۳۶.

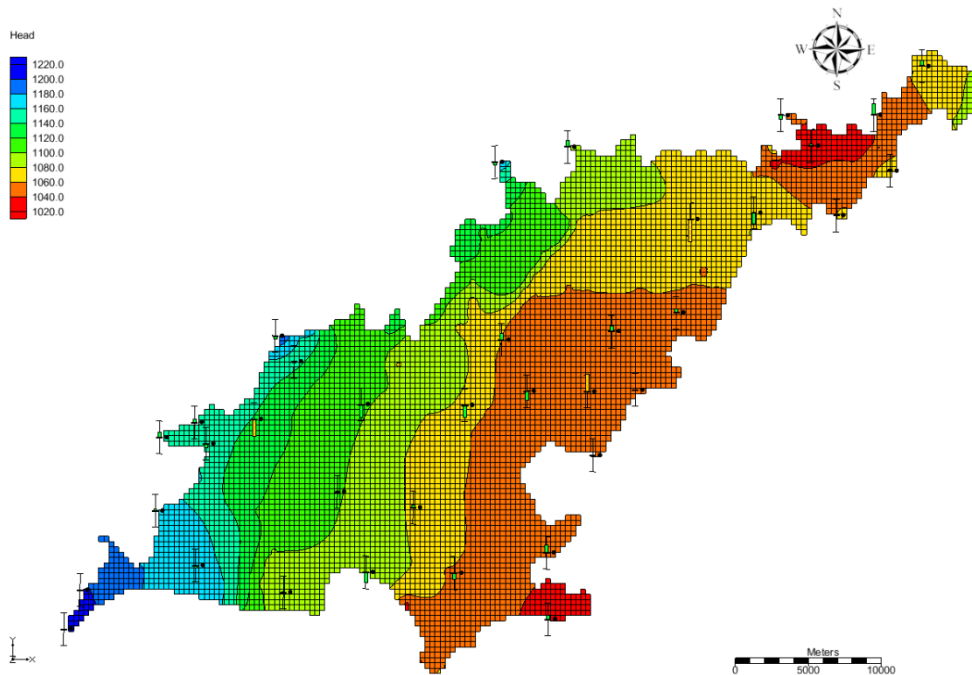
ناپایدار اجرا گردید (شکل ۱۴ و ۱۵). همبستگی میان مقادیر بار هیدرولیکی مشاهده‌ای و محاسباتی (شکل ۱۶) بیانگر دقت قابل قبول مدل طراحی‌شده، جهت پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی و تخمین وضعیت آبخوان در آینده است.

### صحت‌سنجی

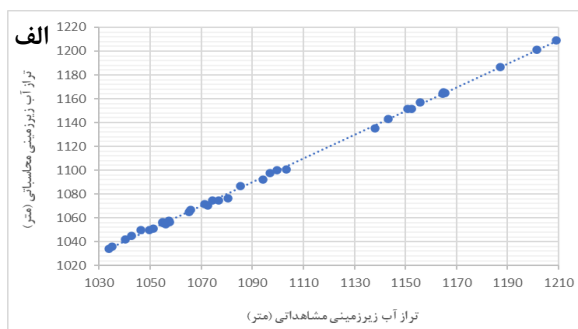
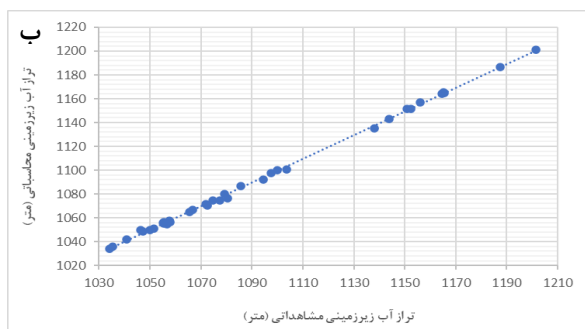
در مرحله صحت‌سنجی، مدل واسنجی‌شده برای دو دوره متوالی (سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ و سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲) با ۱۲ گام زمانی، متفاوت از دوره زمانی واسنجی در حالت



شکل (۱۴): تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای جهت صحت سنجی (هشتمین گام زمانی سال آبی ۱۴۰۰-۱۴۰۱).



شکل (۱۵): تراز آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای جهت صحت سنجی (چهارمین گام زمانی سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲).

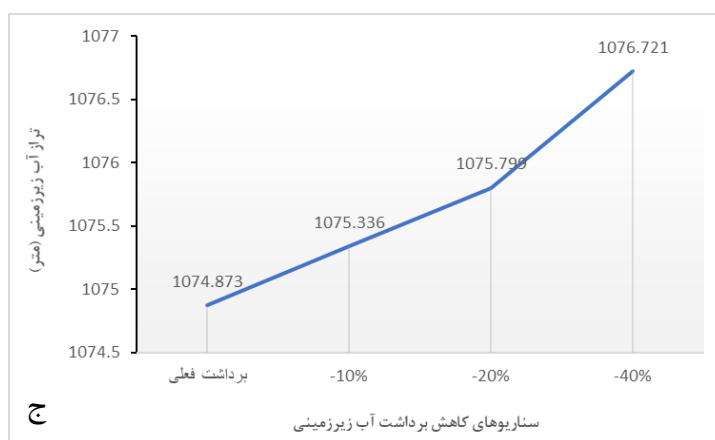
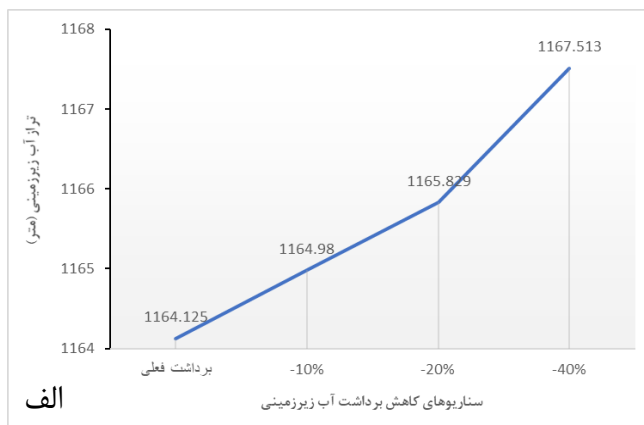
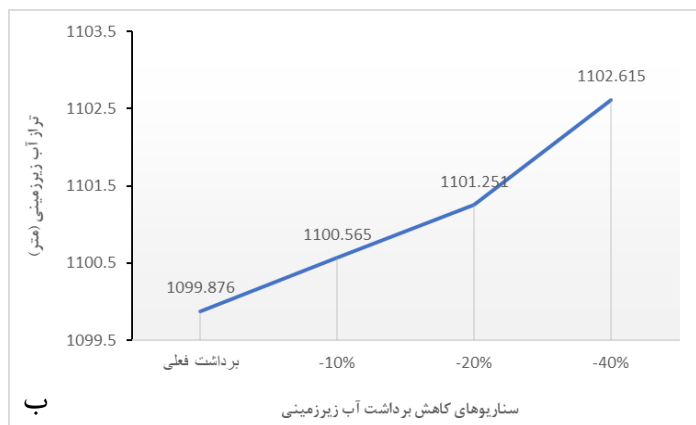


شکل (۱۶): نمودار تراز آب زیرزمینی مشاهداتی در مقابل محاسباتی در چاه‌های مشاهده‌ای جهت صحت سنجی، الف) سال آبی ۱۴۰۱-  
۱۴۰۰، ب) سال آبی ۱۴۰۲-۱۴۰۱.

برداری، اجرا شده است. به کمک سناریوهای کاهش برداشت ۱۰ و ۲۰ درصدی از چاه‌های بهره برداری افزایش سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای دیده شد (شکل ۱۷)، اما هنوز هم کسری مخزن جبران نشده و با مثبت شدن بیلان و یا برابر شدن مقادیر تخلیه و تغذیه فاصله زیادی بود. به منظور جبران کسری مخزن در این منطقه سناریو دیگری مبنی بر کاهش ۴۰ درصدی برداشت (شکل ۱۷) در نظر گرفته شد که این درصد بالا، بحرانی بودن این منطقه را بیش از پیش تصدیق می‌کند. جداول ۳، ۴ و ۵ تاثیر سناریوهای طراحی شده بر بیلان آب زیرزمینی را در منطقه نشان می‌دهند. تنها در صورت کاهش بیش از ۴۰ درصدی برداشت از چاه‌های بهره‌برداری بیلان آب زیرزمینی در منطقه مثبت خواهد شد.

### پیش‌بینی وضعیت آینده آبخوان

هدف اصلی از طراحی و اجرای مدل عددی جریان آب زیرزمینی در دشت دامغان پیش‌بینی سطح آب زیرزمینی در برابر تنش‌های هیدرولیکی وارده است. به دلیل حدود ۲۷/۲۳- میلیون متر مکعب کسری مخزن در آبخوان موجود در این دشت در سال مورد مطالعه، سناریوهای کارآمد برای بهبود وضعیت و افزایش سطح آب زیرزمینی طراحی شد. با توجه به قرار داشتن دشت دامغان در محدوده ممنوعه و بحرانی در سناریوهای طراحی شده اضافه برداشتی در چاه‌ها منظور نشده و با ثابت در نظر گرفتن پارامترهای ورودی، ابتدا مدل برای دو سناریو مبنی بر کاهش ۱۰ و ۲۰ درصدی برداشت از چاه‌های بهره



شکل (۱۷): نمودار تاثیر کاهش برداشت از چاه‌های بهره برداری بر افزایش سطح آب زیرزمینی در چاه‌های مشاهده‌ای منتخب، الف) ۶، ب) ۱۲، ج) ۳۰.



جدول (۳): تاثیر سناریوی اول (کاهش ۱۰ درصدی برداشت از چاه‌های بهره‌برداري) بر بیلان (ارقام بر حسب میلیون متر مکعب).

ردیف	عامل تغذیه	مقدار تغذیه (MCM)	عامل تخلیه	مقدار تخلیه (MCM)
۱	حجم جریان آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان	۶۴/۱۴	حجم جریان آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان	۲۷/۹۶
۲	حجم آب نفوذیافته از ریزش‌های جوی	۵/۴۹	حجم آب بهره‌برداري شده از آبخوان	۸۰/۹۷
۳	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی	۱۳/۸۵	حجم آب تبخیر شده از سطح آب‌های کم‌عمق در محدوده بیلان	۰
۴	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی شرب و صنعت	۵/۰۹	حجم زهکشی از آب زیرزمینی توسط هر نوع زهکش یا رودخانه	۰
۵	حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها	۰		
۶	مجموع	۸۸/۵۷	مجموع	۱۰۸/۹۳
۷	تغییرات حجم مخزن			-۲۰/۳۶

جدول (۴): تاثیر سناریوی دوم (کاهش ۲۰ درصدی برداشت از چاه‌های بهره‌برداري) بر بیلان (ارقام بر حسب میلیون متر مکعب).

ردیف	عامل تغذیه	مقدار تغذیه (MCM)	عامل تخلیه	مقدار تخلیه (MCM)
۱	حجم جریان آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان	۶۴/۱۴	حجم جریان آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان	۲۷/۹۶
۲	حجم آب نفوذیافته از ریزش‌های جوی	۵/۴۹	حجم آب بهره‌برداري شده از آبخوان	۷۱/۹۷
۳	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی	۱۲/۳۲	حجم آب تبخیر شده از سطح آب‌های کم‌عمق در محدوده بیلان	۰
۴	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی شرب و صنعت	۴/۵	حجم زهکشی از آب زیرزمینی توسط هر نوع زهکش یا رودخانه	۰
۵	حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها	۰		
۶	مجموع	۸۶/۴۵	مجموع	۹۹/۹۳
۷	تغییرات حجم مخزن			-۱۳/۴۸

جدول (۵): تاثیر سناریوی سوم (کاهش ۴۰ درصدی برداشت از چاه‌های بهره‌برداري) بر بیلان (ارقام بر حسب میلیون متر مکعب).

ردیف	عامل تغذیه	مقدار تغذیه (MCM)	عامل تخلیه	مقدار تخلیه (MCM)
۱	حجم جریان آب زیرزمینی ورودی به محدوده بیلان	۶۴/۱۴	حجم جریان آب زیرزمینی خروجی از محدوده بیلان	۲۷/۹۶
۲	حجم آب نفوذیافته از ریزش‌های جوی	۵/۴۹	حجم آب بهره‌برداري شده از آبخوان	۵۳/۹۸
۳	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی کشاورزی	۹/۲۴	حجم آب تبخیر شده از سطح آب‌های کم‌عمق در محدوده بیلان	۰
۴	حجم تغذیه آبخوان از آب برگشتی شرب و صنعت	۳/۴	حجم زهکشی از آب زیرزمینی توسط هر نوع زهکش یا رودخانه	۰
۵	حجم آب نفوذیافته از جریان‌های سطحی و سیلاب‌ها	۰		
۶	مجموع	۸۲/۲۷	مجموع	۸۱/۹۴
۷	تغییرات حجم مخزن			+۰/۳۳

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش با هدف بررسی وضعیت آبخوان آبرفتی دشت دامغان و پیش‌بینی روند تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی مدل عددی طراحی شد. پس از واسنجی مدل برای سال مورد مطالعه (۱۴۰۰-۱۳۹۹) به کمک داده‌های موجود از سال‌های آبی متفاوت از دوره زمانی واسنجی، مدل صحت‌سنجی شد و نمایانگر دقت کافی این مدل جهت پیش‌بینی بود. با توجه به قرار گرفتن دشت دامغان در منطقه خشک و نیمه‌خشک، کسری مخزن به دست آمده بیشتر به دلیل زیاده‌روی در برداشت آب از چاه‌های بهره‌برداری است و کاهش بارندگی تاثیر کمی بر این کاستی داشته، به گونه‌ای که حتی افزایش میزان بارندگی نیز توان معکوس کردن روند کاهشی تراز آب زیرزمینی را در این منطقه ندارد. اما به کمک مدیریت بهره‌وری از ریزش‌های جوی نیز می‌توان به تغذیه آبخوان موجود در دشت دامغان کمک کرد. بر اساس نتایج پژوهش انجام شده توسط آشوری و همکاران (۱۴۰۲) به دلیل بارش کم و رگباری در این منطقه، قسمت زیادی از این بارش‌ها به صورت رواناب در حوضه جاری شده و با توجه به شیب زیاد و پوشش کم گیاهی فرصت نفوذ بسیار کم بوده و از دشت دامغان به طرف کویر حاج علی قلی خارج می‌شود. لذا این پژوهشگرها

عملیات آبخیزداری و آبخوان‌داری (مانند احداث تورکینست، بندهای تاخیری، سنگ و ملات، گابیون و ...) را پیشنهاد می‌کنند که ضمن کنترل سیلاب حادث‌شده، فرصتی جهت تزریق و بارور شدن تدریجی سفره آب زیرزمینی ایجاد گردد. به دلیل منفی بودن بیلان و کسری مخزن ۲۷/۲۳- میلیون متر مکعب در این منطقه سناریوهای طراحی شده در پژوهش حاضر بر کاهش برداشت از چاه‌های بهره‌برداری تاکید دارند و نتایج این سناریوها در آخرین مرحله مدل‌سازی نشان داد به منظور ایجاد بیلان تعادلی در این منطقه به کاهش بیش از ۴۰ درصد برداشت از چاه‌های بهره‌برداری نیاز است. مدل طراحی شده وضعیت بحرانی این دشت را تصدیق می‌کند و با توجه به کاهش بیش از ۶۰ سانتی‌متری سطح آب زیرزمینی به طور سالیانه و روند کاهشی ریزش‌های جوی، مدیریت برداشت آب زیرزمینی در این منطقه ضروری می‌باشد. پیشنهاد می‌شود که طرح‌های تغذیه مصنوعی در منطقه امکان‌سنجی شده و به کمک روش مناسب اجرا شوند و با توجه به این مسئله که بخش اعظمی از آب زیرزمینی برداشت شده در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، با اصلاح الگوی کشت و اجرای سامانه نوین آبیاری می‌توان بهره‌وری از آب را افزایش داد.

## منابع

- آشوری، مهدی زاده، سید سجاده، حاجی کندی، هومن، جمالی، امامقلی زاده. (۱۴۰۲). مدل‌سازی آب زیرزمینی دشت دامغان و بهینه‌سازی الگوی کشت به‌منظور جلوگیری از افت تراز آب زیرزمینی. (پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز (علمی-پژوهشی)، ۱۴(۲۸)، ۱۳۴-۱۴۷).
- براتی، عابدی کوپایی، جهانگیر، آذری، درویشی، یوسفی. (۱۳۹۸). مدل‌سازی آب زیرزمینی به منظور تعیین ضرایب هیدرودینامیکی در آبخوان آزاد (مطالعه موردی: دشت کرمانشاه). تحقیقات آب و خاک ایران، ۵۰(۳)، ۶۸۷-۷۰۰.
- قوشه‌ای، (۱۳۸۹)، "محاسبه بیلان آب زیرزمینی دشت دامغان"، نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، کرمانشاه، ص ۱۶۳-۱۵۱.
- شرکت مهندسی مشاور طرح آبریز، (۱۳۸۸)، مطالعات نیمه تفصیلی منابع آب زیرزمینی دشت دامغان، مطالعات زمین‌شناسی، گزارش دوم.
- گزارش‌های محدوده مطالعاتی استان سمنان، ۱۳۹۸، دفتر مطالعات پایه منابع آب ایران، وزارت نیرو.
- نخعی، حسنی، مقیمی، همایون، عباس نوین پور، اسفندیار. (۱۴۰۰). پیش‌بینی اثرات ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه بر آبخوان دشت زرنديه (استان مرکزی) با استفاده از نرم‌افزار GMS. هیدروژئولوژی، ۶(۲)، ۱۳-۲۹.
- Alavi, M., & Salehi Rad, R. (1975). Geological map of Damghan (Scale: 100000). Serial sheet, 6862.



Ali, A. S. A., Jazaei, F., Clement, T. P., & Waldron, B. (2024). Physics-informed neural networks in groundwater flow modeling: Advantages and future directions. *Groundwater for Sustainable Development*, 25, 101172.

Al-Maktoumi, A., Zekri, S., El-Rawy, M., Abdalla, O., Al-Wardy, M., Al-Rawas, G., & Charabi, Y. (2018). Assessment of the impact of climate change on coastal aquifers in Oman. *Arabian Journal of Geosciences*, 11, 1-14.

Al-Salamah, I. S., Ghazaw, Y. M., & Ghumman, A. R. (2011). Groundwater modeling of Saq Aquifer Buraydah Al Qassim for better water management strategies. *Environmental monitoring and assessment*, 173, 851-860.

Felfelani, F., Hughes, J., Chen, F., Dugger, A., Schneider, T., Gochis, D., ... & Essaid, H. (2024). Simulation of groundwater-flow dynamics in the US Northern High Plains driven by multi-model estimates of surficial aquifer recharge. *Journal of Hydrology*, 630, 130703.

Karimi, L., Motagh, M., & Entezam, I. (2019). Modeling groundwater level fluctuations in Tehran aquifer: Results from a 3D unconfined aquifer model. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 439-449.

Lyazidi, R., Hessane, M. A., Moutei, J. F., & Bahir, M. (2020). Developing a methodology for estimating the groundwater levels of coastal aquifers in the Gareb-Bourag plains, Morocco embedding the visual MODFLOW techniques in groundwater modeling system. *Groundwater for Sustainable Development*, 11, 100471.

Mohammadi Arasteh, S., & Shoaie, S. M. (2023). Simulation of groundwater resource quantity and quality and assessment of the effects of alluvial material dissolution on the changes of qualitative parameters of the Zanzan Plain, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 16(1), 60.

Mustafa, J. S., & Mawlood, D. K. (2024). Research Paper Developing three-dimensional groundwater flow modeling for the Erbil Basin using Groundwater Modeling System (GMS). *Journal of Groundwater Science and Engineering*, 12(178), 189.

Patil, N. S., & Chetan, N. L. (2017). Groundwater modeling of Hiranyakeshi watershed of Ghataprabha sub-basin. *Journal of the Geological Society of India*, 90(3), 357-361.

Tian, Y., Zheng, Y., Wu, B., Wu, X., Liu, J., & Zheng, C. (2015). Modeling surface water-groundwater interaction in arid and semi-arid regions with intensive agriculture. *Environmental Modelling & Software*, 63, 170-184.