Kharazmi University

Journal of Engineering Geology

Journal home page https://jeg.khu.ac.ir

OPEN ACCESS

Online ISSN 2981-1600

Estimation of transmissivity and hydraulic conductivity of the hashtgerd plain aquifer using step-drawdown test method via Aquifer Win 32 software

Younes Mousavi[1]✉, Mohammad Nakhaei[2], Gholamhossein Karami[3]

1. PhD student, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Karaj, Iran. E-mail: younes.mosavi0754@gmail.com
2. Professor, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Karaj, Iran. E-mail: nakhaeimohammad@gmail.com
3. Professor, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Karaj, Iran. E-mail: Karami2523@gmail.com

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 28 April 2025
Accepted 12 December 2025

Keywords:
Pumping Test, Hydraulic Conductivity, Transmissivity, Aquifer Win32, Hashtgerd Plain.

ABSTRACT

Planning the management and optimized consumption of groundwater resources is a critical infrastructural necessity, as these resources supply a significant portion of the country's drinking water. A key component of this planning is accurately calculating the water balance, which requires determining the aquifer's hydrodynamic parameters, including transmissivity (T) and hydraulic conductivity (K). This study calculated these parameters using step-drawdown pumping test data from a single-well system across various locations in the 411-square-kilometer Hashtgerd Plain aquifer (an unconfined aquifer) with AquiferWin32 software. The results indicate that transmissivity is distributed unevenly across the plain. The lowest transmissivity values were observed in the southern (Kourosh Town) and southwestern (Najmabad) sectors, while the highest values were associated with the Kordan alluvial fan and its downstream lands. Based on these findings, maximum transmissivity was estimated at 3,682 square meters per day, with an average of 440 square meters per day. Hydraulic conductivity was determined by integrating saturated thickness data from geoelectrical studies with the previously calculated transmissivity values. The final results showed that hydraulic conductivity ranges from a minimum of 0.2 meters per day in the southern regions to a maximum of 9.7 meters per day in the central aquifer.

Introduction

Groundwater resources are essential for sustaining life and development, particularly in arid and semi-arid regions like Iran. However, overexploitation of aquifers through excessive pumping has led to a significant decline in groundwater levels, resulting in negative water budgets across many regions. This unsustainable practice has triggered irreversible environmental and infrastructural consequences, including aquifer degradation, deteriorating water quality, land subsidence, and damage to civil structures such as roads, tunnels, and urban developments. Therefore, accurately estimating the volume of groundwater within an aquifer system is essential for effective management and planning. This estimation relies heavily on determining fundamental aquifer parameters, such as transmissivity (T), hydraulic conductivity (K), storage coefficient (S), and specific yield (Sy).These parameters are typically assessed accurately through various methods, including laboratory experiments and field-based pumping tests. Pumping tests are among the most reliable and widely used techniques for assessing aquifer characteristics (Todd, 1980). However, conducting traditional pumping tests, especially those requiring multiple wells and observation points, often presents numerous challenges. These challenges include high drilling costs, numerous sample points, significant manpower requirements, and

Cite this article: Mousavi, Y., Nakhaei, M., Karami, G. H., (2025). Estimation of transmissivity and hydraulic conductivity of the hashtgerd plain aquifer using step-drawdown test method via Aquifer Win 32 software. Journal of Engineering Geology, 19 (4), 563-587. https//doi.org/10.22034/JEG.2025.19.4.1020331

© The Author(s).
Publisher: Kharazmi University.
DOI: https//doi.org/10.22034/JEG.2025.19.4.1020331

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]

[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

extended time commitments. This makes it difficult to apply such methods extensively across Iranian plains. Consequently, there is a growing need for alternative methods that can overcome these limitations while providing accurate and efficient results. One such method is the single-well step-drawdown test. This test serves not only for well development and determining the well's yield, but also provides important hydrogeological parameters without requiring extensive infrastructure. It is particularly suitable for agricultural wells and has been shown to offer practical advantages in terms of cost, speed, and reliability.This study focuses on the Hashtgerd Plain, which is located northwest of Tehran in the Alborz Province. Using data from single-well step-drawdown tests and analyzing it with Eden-Hazel's method (1973) and Aquifer Win32 software, we estimated the hydrogeological parameters of the Hashtgerd aquifer. This study aims to emphasize the importance of step-drawdown tests in determining aquifer properties and to provide critical insights for managing groundwater resources in similar regions.

Materials and Methods

This study was conducted to determine the hydrodynamic parameters of the Hashtgerd plain groundwater aquifer, specifically its transmissivity (T) and hydraulic conductivity (K). First, drawdown-time data was collected for 26 pumping wells during the pumping (drawdown) and recovery (residual drawdown) phases. Data were obtained from the Alborz Regional Water Authority and local drilling companies to ensure wide and representative distribution across the study area. Before analysis, essential corrections were applied to the data to eliminate errors. These corrections included removing the effect of well loss, adjusting for variations in discharge rate during pumping, and eliminating outlier data points. Well losses were corrected by plotting drawdown-time graphs for each well and separating the portion of drawdown attributable to the well itself. Then, the corrected drawdown was recalculated. Discharge rate variations were addressed using correction equations specific to whether the flow rate increased or decreased during pumping operations. Additionally, outliers that deviated significantly from the general trend of the drawdown curves were identified and removed to prevent distortion of the estimations of hydrodynamic parameters.We estimated the transmissivity of the aquifer using step-drawdown test data and the Eden–Hazel method (Eden and Hazel, 1973). This approach is based on a modified Cooper–Jacob equation and the principle of superposition. It allows for the separation of turbulent well losses from formation losses. Aquifer Win32 software was used to automate the procedures outlined in the Eden–Hazel methodology. Additionally, hydraulic conductivity (K) values were calculated by dividing the estimated transmissivity by the saturated thickness (b) of the aquifer. This value was obtained from electrical resistivity surveys conducted in the study area. Overall, the combined analysis of corrected pumping and recovery data provided robust transmissivity and hydraulic conductivity estimates across the Hashtgerd aquifer.

Conclusions

The objective of this study was to evaluate the hydraulic characteristics of the aquifer in the Hashtgerd Plain by conducting step-drawdown pumping tests and subsequently analyzing the data. The results revealed several significant findings. First, analysis with the Aquifer Win32 software showed that the Eden-Hazel method was a better fit for the drawdown-time data than the Cooper-Jacob method, particularly when outlier data points were removed. Transmissivity (T) values calculated using the Eden-Hazel method ranged from a minimum of 24 m^2/day in the southern and southwestern parts of the plain to a maximum of 3,682 m^2/day in the Kordan alluvial fan. Similarly, hydraulic conductivity (K) values varied from 0.2 to 9.7 m/day across different areas. This significant variation in

transmissivity and hydraulic conductivity across the plain indicates a high degree of aquifer heterogeneity. Specifically, the northern, southern, and southwestern regions exhibited lower transmissivity due to thinner aquifers and finer sediments, while the Kordan alluvial fan exhibited the highest values. Furthermore, the study results imply semi-confined aquifer behavior in certain regions, as evidenced by the variability in drawdown responses.Another important point to note is that pumping test results are inherently uncertain, primarily due to potential errors in field data collection and the natural complexities of aquifers. While the general trends are reliable, local variations should be interpreted with caution. Overall, this study emphasizes the necessity of detailed, location-specific hydrogeological investigations for the effective management of groundwater in heterogeneous aquifers, such as the Hashtgerd Plain.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

نشریه زمین شناسی مهندسی
Journal home page https://jeg.khu.ac.ir
دسترسی آزاد
شاپا الکترونیکی ۲۹۸۱-۱۶۰۰
دانشگاه خوارزمی

تخمین میزان قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت هشتگرد به روش آزمون افت پله‌ای توسط نرم‌افزار Aquifer win 32

یونس موسوی[۱]، محمد نخعی [۲]، غلامحسین کرمی [۳]

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران. رایانامه: younes.mosavi0754@gmail.com
۲. استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران. رایانامه: nakhaeimohammad@gmail.com
۳. استاد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، کرج، ایران. رایانامه: Karami2523@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۱

کلیدواژه‌ها:
آزمون پمپاژ، هدایت هیدرولیکی، قابلیت انتقال، AquiferWin32، دشت هشتگرد.

چکیده

برنامه‌ریزی جهت مدیریت و بهینه‌سازی مصرف منابع آب زیرزمینی، به‌عنوان تأمین‌کننده بخش عمده‌ای از آب شرب کشور، از زیرساخت‌های حیاتی در مدیریت منابع آب محسوب می‌شود. مؤلفه کلیدی در این برنامه‌ریزی، محاسبه دقیق بیلان آب است که مستلزم تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان شامل قابلیت انتقال (T) و هدایت هیدرولیکی (K) می‌باشد. در این تحقیق، این پارامترها با استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ افت پله‌ای در سیستم تک‌چاهی در نقاط مختلف آبخوان دشت هشتگرد (با مساحت ۴۱۱ کیلومترمربع و تیپ آزاد) توسط نرم‌افزار AquiferWin32 تحلیل و محاسبه شدند. نتایج نشان می‌دهد که توزیع قابلیت انتقال در سطح دشت متغیر بوده؛ به‌طوری‌که کمترین میزان آن در بخش‌های جنوبی (شهرک کوروش) و جنوب غربی (نجم‌آباد) و بیشترین مقدار آن در مخروط افکنه کردان و اراضی اطراف آن مشاهده شده است. بر اساس یافته‌های پژوهش، حداکثر قابلیت انتقال ۳۶۸۲ مترمربع در روز و میانگین آن ۴۴۰ مترمربع در روز برآورد گردید. همچنین میزان هدایت هیدرولیکی با تلفیق نتایج مطالعات ژئوالکتریک (جهت تعیین ضخامت اشباع) و مقادیر قابلیت انتقال محاسبه شد. نتایج نهایی نشان داد که نرخ هدایت هیدرولیکی بین حداقل ۰/۲ متر در روز در نواحی جنوبی و حداکثر ۷/۹ متر در روز در مرکز آبخوان و پایین‌دست رودخانه کردان متغیر است.

مقدمه

امروزه بشر در بسیاری از نقاط جهان به ویژه در کشور ایران با پمپاژ بیش از حد از آبخوان‌ها باعث ایجاد بیلان منفی سفره‌های آب زیرزمینی شده است. به دنبال آن عوارض جبران‌ناپذیری از جمله تخریب غیرقابل بازگشت آبخوان‌ها، مشکلات کیفی آب، فرونشست، تخریب زیرساخت‌های عمرانی و شهری مانند راه‌ها و تونل‌ها و ... شده است. از این رو با توجه به اهمیت فوق‌العاده این نعمت ارزشمند برای اطلاع و مقایسه از میزان حجم آب موجود در یک سیستم آبخوان، از طریق پارامترهای آبخوان (T, K, S, Sy) این حجم را می‌توان محاسبه کرد تا برای آن برنامه‌ریزی شود. در این مقاله به صورت موردی به بررسی و بدست آوردن پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان دشت هشتگرد از جمله هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال پرداخته شده است. روش‌های متنوع و گوناگونی برای تخمین و ارزیابی این پارامترها وجود دارد که از جمله این روش‌ها که از دیرباز متداول بوده، می‌توان به آزمون‌های پمپاژ و آزمون‌های آزمایشگاهی اشاره کرد. آزمایش پمپاژ از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده در مباحث هیدروژئولوژیکی می‌باشد زیرا منعکس کننده بخش قابل‌توجهی از ویژگی‌های آبخوان است (Todd, 1980; Walton, 1987). عدم وجود چاه‌های

استناد: موسوی، ی.، نخعی، م.، کرمی، غ. ح.، (۱۴۰۴). تخمین میزان قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی آبخوان دشت هشتگرد به روش آزمون افت پلهای توسط نرم افزار Aquifer win 32. مجله زمین شناسی مهندسی، ۱۹ (۴)، ۵۶۳-۵۸۷. https://doi.org/10.22034/JEG.2025.19.4.1020331

ناشر: دانشگاه خوارزمی.

© نویسندگان.
CC BY NC

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

پمپاژ و پیزومترهای موردنیاز در برخی مناطق، هزینه‌های زیادی که این روش‌ها برای حفر چاه‌های پمپاژ و پیزومترها و آنالیز آزمایش‌های موردنظر نیاز دارند و همچنین تعداد نقاط نمونه‌برداری زیاد، نیروی انسانی و زمان زیادی که نیاز هست تا این آزمایش‌ها چه به صورت درجا و چه به صورت آزمایشگاهی انجام گیرند، باعث شده است تا در بسیاری از دشت‌های ایران در حد نیاز اطلاعات کافی از پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان در اختیار نباشد. به‌علاوه نتایجی که از این طریق به دست می‌آید برای بخش محدودی از منطقه‌ای وسیع و تقریباً تا شعاع مؤثر چاه قابل استناد می‌باشد. جمله‌ی این مشکلات ما را به کشف روش‌های دیگر که هم محدودیت‌های گفته شده را نداشته باشد و هم در کم‌ترین زمان ممکن بیش‌ترین اطلاعات و با دقت بالا را به ما دهند وا می‌دارد. از جمله این روش‌ها می‌توان استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ به روش افت پله‌ای در سیستم تک چاهی را نام برد. یکی از روش‌های متداول آزمایش پمپاژ که برای چاه‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش افت پله‌ای است. آزمایش افت پله‌ای (Step-Drawdown Test) علاوه بر تکمیل فرآیند توسعه چاه از طریق خروج ریزدانه‌ها و تشکیل فیلتر طبیعی، امکان برآورد ضرایب افت چاه (Well Loss)را فراهم کرده و ابزاری کلیدی برای تعیین دبی بهینه و عمق نصب تجهیزات پمپاژ محسوب می‌شود (Kruseman and de Ridder, 1990). بعد از حفاری چاه، برای اینکه دبی مجاز برداشت از چاه را تعیین کنند از آزمایش پمپاژ استفاده می‌گردد تا در این راستا میزان دبی بهینه‌ای به بهره‌بردار داده شود تا به آبخوان در اثر برداشت بی‌رویه آسیب نرساند. همچنین به منظور تعین دبی بهینه، انتخاب پمپ و تجهیزات مناسب از آزمایش پمپاژ استفاده می‌شود. مهم‌ترین کاربرد آنالیز داده‌های پمپاژ تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان (T, S) و تفسیر نتایج آن‌ها با توجه به شرایط زمین‌شناسی و هیدروژئولوژیکی است که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی از مرزهای هیدرولوژیکی، منشأ آب زیرزمینی و ناهمگنی آبخوان ارائه دهد (Karami, 2002). در زمینه تحلیل آزمون‌های افت پله‌ای، پژوهش‌های بین‌المللی اخیر بر بهبود دقت برآورد تلفات چاه و پارامترهای آبخوان در شرایط غیرایده‌آل تمرکز یافته‌اند. برای نمونه، چن و همکاران (Chen et al., 2022) در پژوهشی که در مجله هیدرولوژی منتشر شد، روش تجربی جدیدی را برای چاه‌های نیمه‌نفوذی (Partially Penetrating) با دبی‌های پمپاژ نامنظم ارائه دادند. آن‌ها با معرفی شاخص نرخ پمپاژ (α)، نشان دادند که طول اسکرین چاه و تغییرات دبی بین پله‌ها تأثیر مستقیمی بر محاسبات تلفات چاه دارد. این پژوهشگران با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی توده ذرات (PSO)، دقت برآورد پارامترها را نسبت به مدل‌های کلاسیک ارتقا بخشیدند. علاوه بر تغییرات تراز آب، پاسخ‌های مکانیکی پوسته زمین به فرآیند پمپاژ نیز در پژوهش‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته است. در همین راستا، چی و همکاران (Chi et al., 2024) با استفاده از آرایه‌های لرزه‌نگار پهن باند در طول یک آزمون پمپاژ افت پله‌ای، پدیده "تورم موقت زمین" (Transient Ground Bulge) را ثبت کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که برخلاف انتظار عمومی مبنی بر نشست زمین، تخلیه سریع جرم آب می‌تواند منجر به پاسخ الاستیک پوسته و تورم موقت در نزدیکی چاه پمپاژ شود. این نتایج بر اهمیت در نظر گرفتن ناهمگنی‌های هیدرولوژیکی و پاسخ‌های ساختاری زمین در تحلیل دقیق نتایج آزمون‌های افت پله‌ای تأکید دارد. نخعی و همکاران (Nakhaei and Hassan Nia, 2017) جهت برآورد ضرایب هیدرودینامیک آبخوان دشت اوان با بررسی مطالعه کمی منابع آب زیرزمینی دشت و بررسی لاگ‌های حفاری، آزمون پمپاژ و همچنین جنس رسوبات پس از فازی سازی داده‌ها و مدل استنتاجی فازی، ضرایب هیدرودینامیک منطقه در نقاط نامشخص را بدست آوردند. آن‌ها بیان داشتند از راه‌های تعیین این

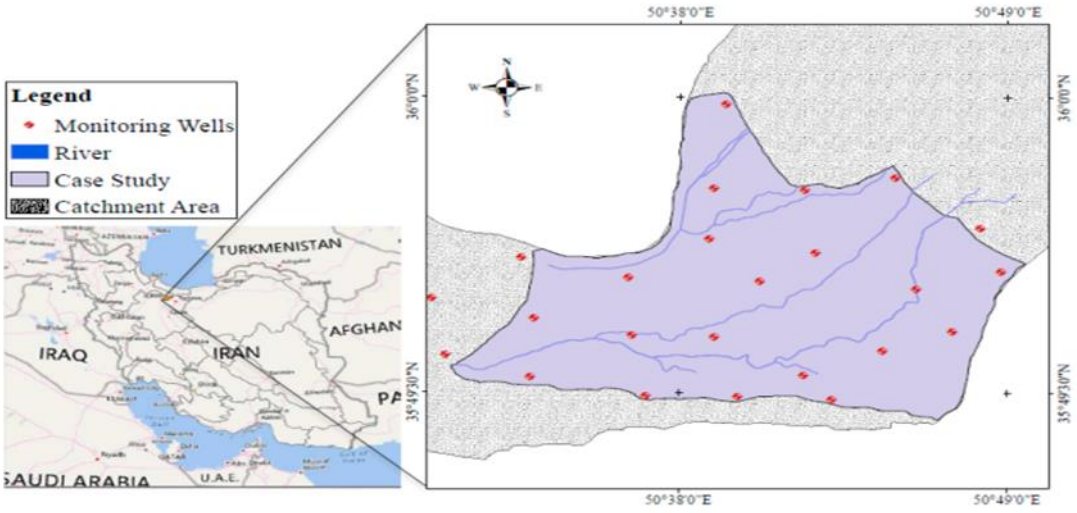
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

ضرایب انجام آزمون پمپاژ است اما معمولاً این آزمایش به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به سبب افزایش عمق حفاری بسیار پرهزینه بوده لذا منطق فازی را بهترین روش جایگزین برای مدل‌سازی سیستم‌هایی که دارای پیچیدگی زیادند و داده‌های آن‌ها کافی نیست پیشنهاد کردند. کرمی (Karami and Younger, 2002) توسط استاندارد تایس (Theis, 1935)، کوپر-ژاکوب (Cooper and Jacob, 1946) و منچ (Moench, 1984) مقدار قابلیت انتقال و ضریب ذخیره مربوط به داده‌های آزمایش پمپاژ آبخوان آهکی را تخمین و بیان نمودن ضریب تغییرات مربوط به ضریب ذخیره به میزان قابل ملاحظه‌ای از ضریب تغییرات مربوط به میزان قابلیت انتقال بزرگ‌تر است. نصیرزاده در مطالعه خود پس از آنالیز داده‌های آزمایش افت پله‌ای سه حلقه چاه حفاری شده در محدوده دشت ارکان توسط روش ایدن-هیزل (Eden and Hazal, 1973) قابلیت انتقال را به ترتیب ۳۱۲، ۴۳۲ و ۶۷۵ مترمربع بر روز بدست آورد. تیزرو و همکاران (Tizro et al., 2014) در مطالعه موردی آبخوان کنگاور واقع در غرب ایران، آزمایش افت پله‌ای تک چاهی را مقرون به صرفه دانسته و عنوان کردند آزمایش پمپاژ دبی ثابت و افت پله‌ای در این مطالعه برای تعیین قابلیت انتقال (T) آبخوان کنگاور مورد استفاده قرار گرفت. سولیستیو و همکاران (Sulistyo et al., 2018) پارامترهای هیدرودینامیکی آبخوان را از روش آزمون پمپاژ تک چاهی با نرخ پمپاژ ثابت ۱۰ لیتر بر ثانیه پس از تجزیه و تحلیل و با استفاده از روش کوپر و ژاکوب بدست آوردند که این پارامترها عبارت بود از قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی هر کدام به ترتیب برابر با ۳۱۹ مترمربع بر روز و ۶/۶۵ متر بر روز و راندمان چاه را نیز ٪۹۳/۵ تخمین زدند. مولود و همکاران (Mawlood et al., 2019) از طریق آزمایش پمپاژ تک چاهی و با استفاده از نرم‌افزار Aquifer test، AQTESOLVE و Aquifer win 32 و از طریق روش کوپر و جیکوب مقدار قابلیت انتقال و مقدار ذخیره‌سازی را محاسبه کردند. مزیت این روش کاهش هزینه با توجه به آزمایش تک چاهی بدون چاه مشاهده‌ای عنوان کردند. شایان ذکر است در این پژوهش داده‌های آزمایش افت پله‌ای چاه-های بهره‌برداری به روش تک چاهی و توسط روش ایدن – هیزل (Eden and Hazal, 1973) و نرم‌افزار Aquifer win32 مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. مطالعات فوق، اهمیت روش آزمون افت پله‌ای در تخمین میزان پارامترهای هیدرولیکی آبخوان را نشان می‌دهد. آذری و سامانی (Azari et al., 2018) ضرایب هیدرودینامیک آبخوان را با استفاده از داده‌های سنتز شده (داده‌های فرضی) در سیستم چند چاهی که از نظر اقتصادی دارای هزینه بالایی می‌باشد را به روش شبکه عصبی مصنوعی محاسبه و برآورد کردند. آن‌ها توسط شبکه عصبی مصنوعی تابع چاه نیومن را برای تعیین پارامترهای آبخوان آزاد مدل‌سازی کردند. این شبکه مصنوعی را جایگزین روش انطباق منحنی تیپ مرسوم نمودند. این شبکه با به‌کارگیری الگوریتم لونبرگ-مارکوارت (LM) برای تابع چاه آبخوان‌های آزاد با روش پس انتشار آموزش داده شد. شبکه، خطای گرافیکی ذاتی در روش انطباق منحنی تیپ را حذف کرده و یک روش خودکار و سریع برای تخمین پارامترهای آبخوان ارائه می‌کند. دشتی و همکاران (Dashti et al., 2023) از روش‌های یادگیری ماشین (منطق فازی، شبکه عصبی مصنوعی، سیستم استنتاج فازی، مدل حداقل مربعات ماشین بردار پشتیبان، روش گروهی مدل‌سازی داده‌ها و برنامه‌ریزی بیان ژن) جهت تعیین پارامترهای هیدرودینامیک آبخوان‌های آزاد در فلات مرکزی ایران در سیستم تک چاهی استفاده نمودند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش‌های یادگیری ماشین می‌توانند جایگزین مناسبی برای روش‌های گرافیکی زمان‌بر، باشند. مطالعات مشابه در سایر دشت‌های ایران نیز بر کارایی تلفیق روش‌های صحرایی و محاسباتی تأکید دارند. برای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

نمونه، مزرعه اصل و همکاران (Mazrae Asl et al., 2024) در بررسی آبخوان دالون-میداوود، ضرایب هیدرودینامیکی را با سه روش دانه‌بندی، ژئوفیزیک و آزمون پمپاژ برآورد کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که اگرچه توزیع مکانی ضرایب در هر سه روش مشابه است، اما روش‌های آزمون پمپاژ و دانه‌بندی بیشترین شباهت را با داده‌های واقعی دبی چاه‌های بهره‌برداری دارند؛ موضوعی که اهمیت استفاده از داده‌های آزمون پمپاژ را در صحت‌سنجی مدل‌های هیدروژئولوژیک تأیید می‌کند. به منظور بهبود دقت در تخمین پارامترهای هیدرولیکی و حذف خطاهای انسانی ناشی از روش‌های سنتی انطباق منحنی (Curve Matching)، پژوهش‌های اخیر به سمت بهره‌گیری از مدل‌های هوش مصنوعی معطوف شده است. در همین راستا، آذری (Azari, 2025) با طراحی یک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه (MLP) مبتنی بر تابع چاه Bourdet-Gringaten، روشی خودکار برای تعیین پارامترهای آبخوان‌های با تخلخل دوگانه ارائه داد. نتایج تحقیق وی نشان می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مانند لونبرگ-مارکوارت (LM) در شبکه‌های عصبی، می‌تواند محدودیت‌های ذاتی روش‌های گرافیکی سنتی را به حداقل برساند. محدوده مطالعاتی دشت هشتگرد در نیمه شمالی حوضه آبریز دریاچه نمک واقع شده است. این دشت بر اساس تقسیمات کشوری در فاصله ۶۰ کیلومتری غرب تهران، در مرکز استان البرز و بخش اعظم شهرستان ساوجبلاغ با طول جغرافیایی ´ ۲۲ و °۵۰ تا ´ ۷ و °۵۱ و عرض جغرافیایی ´ ۴۸ و °۳۵ تا ´ ۷ و °۳۶ که حوضه آبریز رودخانه کردان را در برمی‌گیرد واقع شده است (شکل ۱). مختصات UTM منطقه شامل ۴۵۵۰۰۰ تا ۴۸۸۵۰۰ طولی و ۳۹۶۰۶۰۰ تا ۳۹۸۹۲۰۰ عرضی می‌باشد. این شهرستان با مساحت کل بالغ بر ۱۲۸۰ کیلومترمربع تشکیل شده که از این مساحت حدود ۶۵۵ کیلومترمربع دشت (۵۱٪) و الباقی ناحیه کوهستانی و کوهپایه‌ای (۴۹٪) می‌باشد. منطقه مذکور دارای چند رودخانه با آرایش شعاعی بوده که پرآب‌ترین آن‌ها رودخانه کردان است. این محدوده از شمال به طالقان و رشته کوه‌های البرز مرکزی، از جنوب به کوه‌های حلقه‌در از شرق به دشت کرج و از غرب به دشت قزوین محدود می‌گردد. (Alborz Regional Water Company, 2019a, 2019b).

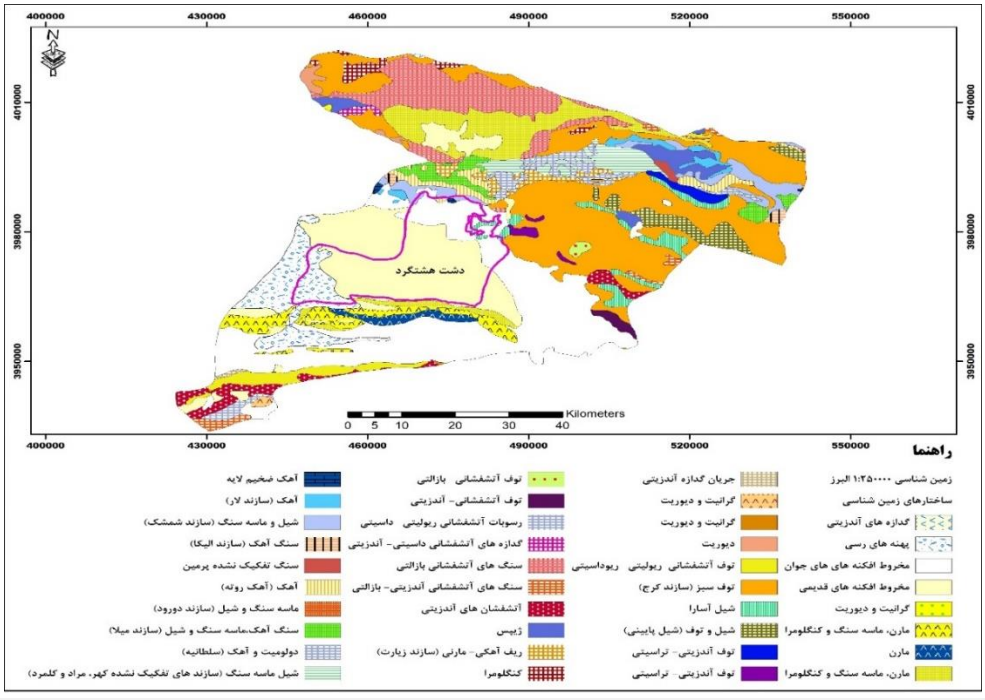
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۱. نقشه موقعیت آبخوان منطقه مورد مطالعه

Fig. 1. Groundwater Aquifer Map of the Study Area

منطقه ساوجبلاغ از نظر زمین‌شناسی به سه بخش دشت، کوهپایه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود. ساوجبلاغ از سمت شمال به کوه‌های البرز، از غرب به قزوین، از طرف جنوب به کوه‌های زاگرس و از شرق به شهرستان کرج منتهی می‌شود. به طور کلی پوشش سطحی منطقه مورد مطالعه را رسوبات آبرفتی در برگرفته است که در زیر آن سنگ کف از نوع کنگلومرای تراکم نیافته با میان لایه‌های سیلت و رسی قرار دارد (شکل ۲).



شکل۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig. 2. Geological map of the study area

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

دشت هشتگرد در اثر رویدادهای تکتونیکی ایجاد شده و حالت گرابنی دارند که این فروافتادگی توسط مواد حمل شده از ارتفاعات بوسیله آب‌های جاری به ویژه رودخانه کردان پر شده است. از این رو وجود رودخانه‌های بزرگ و کوچک در این منطقه سفره آب زیرزمینی مناسبی را تشکیل داده است. در این محدوده هم آبخوان سازند سخت در مناطق کوهستانی و هم آبخوان‌های آبرفتی وجود دارد. مهم‌ترین منبع تغذیه آبخوان بارش برف و باران در ارتفاعات شمال شرق و نفوذ از بستر رودخانه کردان است که در ابتدای ورودی به دشت بر روی مخروط افکنه کردان حرکت کرده سپس وارد نواحی مرکزی و انتهای دشت می‌گردند که از مواد ریزدانه‌تر رسی و سیلتی تشکیل شده‌اند. در این محدوده آبخوان آبرفتی با وسعت ۴۱۱ کیلومترمربع که حدود ۶۳ درصد از کل وسعت ناحیه دشتی را شامل می‌شود تشکیل گردیده است. ارتفاعات حاشیه دشت غالباً سنگ‌های آذرین و رسوبی بوده که از لحاظ تشکیل مخازن و ذخیره آب زیرزمینی دارای اهمیت بالایی نیستند و از طرفی به علت عدم گسترش رسوبات آهکی امکان تشکیل مخازن کارستیک نیز محدود به نظر می‌رسد. در نواحی درشت دانه مخروط افکنه‌ها، آبخوان آبرفتی از نوع آزاد تشکیل شده که به سمت مرکز و خروجی دشت به تدریج و با یک ارتباط جانبی به آبخوان‌های آزاد و نیمه تحت فشار (نشتی) تبدیل می‌گردد. بیشترین ضخامت اشباع این آبخوان در اراضی مرکزی در مخروط افکنه کردان و تا بیش از ۳۰۰ متر نیز می‌رسد. در قسمت‌های شمالی دشت تنها یک سفره آبی وجود دارد اما در قسمت‌های میانی دشت تعداد سفره‌ها به حدود ۵ الی ۶ لایه آبدار که بوسیله رسوبات نیمه نفوذپذیر از هم تفکیک شده‌اند می‌رسد به طوری که می‌توان آن‌ها را یک سفره به حساب آورد(Sedaghat, 2008). به طور کلی از نظر ضخامت آبخوان می‌توان دشت را چنین توصیف کرد که در ارتفاعات شمالی و جنوبی ضخامت آبرفت حداقل و در مرکز و به خصوص متمایل به شرق دشت این ضخامت به حداکثر خود رسیده دشت‌های غربی و انتهای دشت حالت بینابینی دارند. ضخامت آبرفت در راستای راه آهن و اتوبان بیش از سایر قسمت‌هاست.

مواد و روش‌ها

فعالیت‌های صورت گرفته در این پژوهش جهت تعیین پارامترهای هیدرودینامیکی سفره آب زیرزمینی (T و K) در دشت هشتگرد به طور خلاصه بیان شده است.

- جمع‌آوری آمار و اطلاعات در راستای موضوع مورد پژوهش (تهیه اطلاعات مربوط به داده-های افت-زمان ۲۶ حلقه چاه)
- تصحیحات مورد نیاز داده‌های آزمون پمپاژ و حذف تعدادی از چاه‌ها به علت محرز بودن خطا در برداشت داده‌ها
- برآورد قابلیت انتقال توسط نرم‌افزار Aquifer win 32 بر اساس روش ایدن – هیزل (Eden and Hazal, 1973)
- برآورد میزان هدایت هیدرولیکی توسط ضخامت اشباع آبخوان (b) حاصل شده از سوندژهای الکتریکی (ژئوفیزیک)

جمع‌آوری اطلاعات شامل داده‌های افت-زمان چاه‌های پمپاژ در مرحله رفت و داده‌های افت باقی مانده-زمان در مرحله برگشت می‌باشند. به منظور صحت سنجی نتایج آزمایش پمپاژ در آبخوان دشت هشتگرد از اطلاعات افت-زمان ۲۶ حلقه چاه با پراکنش مناسب در دشت استفاده شده است شکل (۳). داده‌های مورد نیاز برای این تحقیق از بانک اطلاعاتی معاونت حفاظت شرکت آب منطقه‌ای البرز و سوابق حفاری شرکت‌های منطقه استخراج شده است. این داده‌ها شامل جزئیات آزمایش‌های پمپاژ در هر دو مرحله افت (Drawdown) و برگشت (Recovery) تراز آب می‌باشد.در مرحله رفت چاه در حال پمپاژ بوده و سطح آب در حال افت است تا جایی که نرخ افت بسیار کم شود و در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

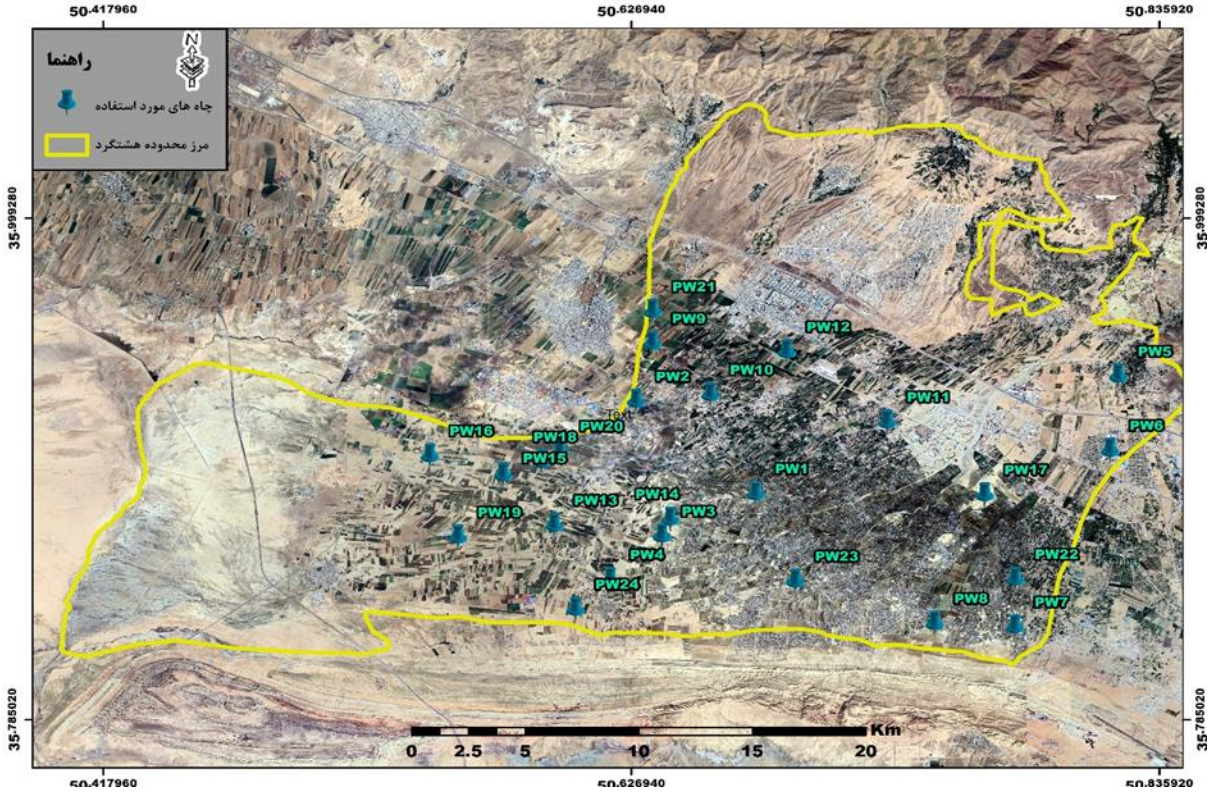
مرحله برگشت سطح آب در حال بالا آمدن است تا جایی که به حدود سطح اولیه برسد. در جدول (۱) نام و علامت اختصاری چاه‌های مورد استفاده نوشته ذکر شده است.

جدول ۱. نام و علامت اختصاری چاه‌های مورد استفاده

Table 1. Name and abbreviation of the wells used

ردیف	علامت اختصاری چاه پمپاژ	نام چاه
1	Pw_1	چاه شرب عاشورا
2	Pw_2	چاه کشاورزی بادامک
3	Pw_3	چاه شرب قاسم آباد
4	Pw_4	چاه مسعودی
5	Pw_5	چاه کردان - چندار
6	Pw_6	چاه شرب جنب اتوبان
7	Pw_7	چاه شرب عرب آباد
8	Pw_8	چاه شرکت بافت و تکمیل چهارباغ
9	Pw_9	چاه شرب شماره ۱۰ نظرآباد
10	Pw_{10}	چاه شرب دنگیزک
11	Pw_{11}	چاه شرب ینگی امام هشتگرد
12	Pw_{12}	چاه شرب
13	Pw_{13}	چاه شرب فرهنگیان
14	Pw_{14}	چاه شرب تنکمان
15	Pw_{15}	چاه شرب قپچاق
16	Pw_{16}	چاه خرسند - شیخ حسن
17	Pw_{17}	چاه رحیمی
18	Pw_{18}	چاه شرب روستایی
19	Pw_{19}	چاه نگین شهد
20	Pw_{20}	چاه شرکت مگا
21	Pw_{21}	چاه شرب فرهنگیان
22	Pw_{22}	چاه شرب سعیدی
23	Pw_{23}	چاه شرب یعقوب آباد
24	Pw_{24}	چاه اسدنیا
25	Pw_{25}	چاه فشند
26	Pw_{26}	چاه نصرت آباد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۳. موقعیت مکانی چاه‌های مورد استفاده در دشت هشتگرد

Fig. 3. Location of wells used in Hashtgerd Plain

جهت جلوگیری از ایجاد خطای حاصل از داده‌های بدست آمده از آزمون پمپاژ باید تصحیحات لازم انجام شود. در همین راستا اصلاحات مورد نیاز عبارتند از: حذف مقادیر افت چاه، تصحیح اثر تغییرات دبی و حذف داده‌های پرت می‌باشد که در ادامه به طور مختصر به شرح آن‌ها پرداخته شده است.

حذف مقادیر افت چاه

بخش قابل‌توجهی از تمام افت‌های مشاهده‌ای به پارامترهای مختلفی مانند نرخ پمپاژ، توسعه چاه و افت چاه وابسته‌اند که سهم افت چاه خیلی بیشتر است. ابتدا نمودار افت-زمان مربوط به هر چاه پمپاژی را رسم کرده و سپس افت چاه را از داده‌های افت سطح آب زیرزمینی کم کرده و با توجه به افت اصلاح شده مجدد نمودار افت-زمان رسم می‌شود (Karami, 2010).

تصحیح اثر تغییرات دبی

در اجرای عملیات پمپاژ به دلیل خطای حاصل از وضعیت چاه و خطای انسانی، میزان دبی در طی پمپاژ تغییر می‌کند لذا جهت تصحیح این خطاها پس از مشخص کردن اینکه دبی افزایش یافته یا کاهش، از روش‌های اصلاح دبی زیر استفاده می‌شود. برای تصحیح اثرات مربوط به افزایش دبی پمپاژ از معادله (۱) استفاده می‌شود. این معادله داده‌ها را بر اساس یک دبی پمپاژ مبنا تصحیح می‌کند و بعد از تصحیحات اگر شیب منحنی افت-زمان در دستگاه مختصات

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

نیمه لگاریتمی انحرافی از خط مستقیم نشان می‌دهد بیانگر ناهمگنی سفره است.

$$S_{a(t)} = \frac{(S_{obs(t)} - S_{obs(tref)})}{(Q_{obs}/Q_{ref})} + S_{a(tref)} \quad (۱)$$

این نکته را در نظر بگیرید که تصحیحات فقط برای داده‌های tref (زمان شروع تثبیت نرخ پمپاژ در هر پله) انجام می‌شود.

از طرفی به منظور تصحیح اثرات مربوط به کاهش دبی پمپاژ از معادله (۲) استفاده می‌شود. این معادله شکل اصلاح شده معادله (۲) می‌باشدکه برای کاهش دبی قابل تکرار است (Karami, 2010).

$$S_{a(t)} = \frac{(S_{obs(t)} - S_{obs(tref)})}{(Q_{obs}/Q_{ref})} + S_{preceding\ step\ (tref)} \quad (۲)$$

حذف داده‌های پرت

داده‌هایی را شامل می‌شوند که از روند عمومی نمودار افت-زمان تبعیت نکرده و به طور ناگهانی مقدار افت را بالاتر یا پایین‌تر از روند نمودار نشان می‌دهند. نقاط پرت در پمپاژ چه از نظر خطای انسانی یا دستگاهی باعث ایجاد آشفتگی می‌شود. پس وجود داده‌های پرت در محاسبه ضرایب هیدرودینامیک موجب ایجاد خطا شد. لذا جهت جلوگیری از بروز خطا، داده‌های پرت را حذف و اثر این نقاط را از بین می‌بریم سپس نمودار افت-زمان مربوطه را مجدداً ترسیم می‌کنیم.

روش ایدن – هیزل

برای داده‌های به دست آمده از آزمایش‌های افت پلّه‌ای در سفره‌های تحت فشار روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel, 1973) برای تخمین میزان قابلیت انتقال و افت چاه در سفره‌های تحت فشار مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این روش بر مبنای استفاده از معادله کوپر - ژاکوب (۳) می‌باشد. افت در چاه با استفاده از معادله کوپر – ژاکوب به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$S_w = \frac{2.3Q}{4\pi T} log \frac{2.25Tt}{r_{ew}^2 S} \quad (۳)$$

این معادله می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$S_w = (a + b\ log\ t)Q \quad (۴)$$

که در اینجا

$$a = \frac{2.3Q}{4\pi T} log \frac{2.25Tt}{r_{ew}^2 S} \quad (۵)$$

$$b = \frac{2.3}{4\pi T} \quad (۶)$$

با استفاده از اصل انطباق و معادله (۴) افت در زمان t در طول پلّه nام به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{w(n)} = \sum_{i=1}^{n}(\Delta Q_i)\{a + b\log(t - t_i)\} \quad (۷)$$

یا

$$S_{w(n)} = aQ_n + b\sum_{i=1}^{n}\Delta Q_i \log(t - t_i) \quad (۸)$$

که در اینجا

Q_n = میزان دبی ثابت در طول پلّه n ام

t = زمان شروع آزمایش افت پلّه‌ای

Q_i = میزان دبی ثابت در طول پلّه i ام که جلوتر از پلّه n ام است

$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i-1}$ = میزان تغییر دبی از زمان شروع تا زمان t_i

t_i = زمان شروع پلّه i ام

معادلات بالا را برای تأثیر افت غیر خطی (آشفته) چاه نمی‌توان استفاده نمود. با وارد کردن این افت‌ها (CQ^2) در معادله (۸) می‌دهد:

$$S_{w(n)} = aQ_n + bH_n + CQ_n^2 \quad (۹)$$

که در اینجا

$$H_n = \sum_{i=1}^{n}\Delta Q_i \log(t - t_i) \quad (۱۰)$$

روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel, 1973) شامل ویژگی‌ها و فرضیات زیر می‌باشد:

این روش کلیه فرضیات روش تایس را به جز مورد سوم شامل می‌شود و موارد زیر به آن‌ها اضافه می‌گردد:

۱. سفره تحت تأثیر آزمایش افت پلّه‌ای و افزایش در میزان دبی همراه است.
۲. جریان به چاه یک حالت ناپایدار است.
۳. $u \leq 0.01$

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

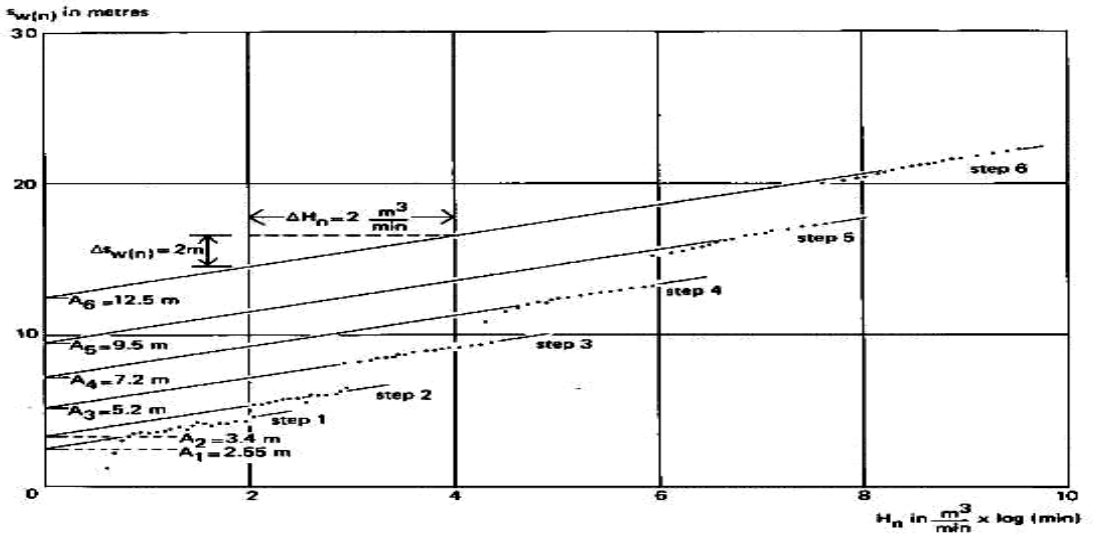
۴. افت‌های غیر خطی (آشفته) چاه قابل ارزیابی بوده و خیلی متغیر بر حسب اصطلاح CQ^2 می‌باشند.

روش محاسبه

- محاسبه مقادیر H_n از معادله (۱۰) و استفاده از دبی‌ها و زمان‌های اندازه‌گیری شده.
- وارد کردن داده‌های ($s_{W(n)}$) در برابر مقادیر H_n (شکل a).
- کشیدن خطوط موازی از بهترین نقاط وارد شده و یک خط مستقیم از میان هر دسته نقطه.
- تخمین شیب خط $\Delta s_{W(n)}/\Delta H_n$ که مقدار b را می‌دهد.
- ادامه دادن خطوط تا جایی که $H_n = 0$ شود، مشخص شدن نقطه A_n برای هر خط توسط معادله (۱۱):

$$H_n = aQ_n = CQ_n^2 \quad \text{یا} \quad \frac{A_n}{Q_n} = a + CQ_n \qquad (۱۱)$$

- تعیین مقادیر A_n
- محاسبه مقدار A_n/Q_n برای هر پلّه
- وارد کردن داده‌های A_n/Q_n در برابر Q_n و کشیدن خطی از میان داده‌ها
- تخمین شیب خط که مقدار C می‌باشد.
- با ادامه دادن خط تا جایی که $Q_n = 0$ شود، مقدار a بدست می‌آید.

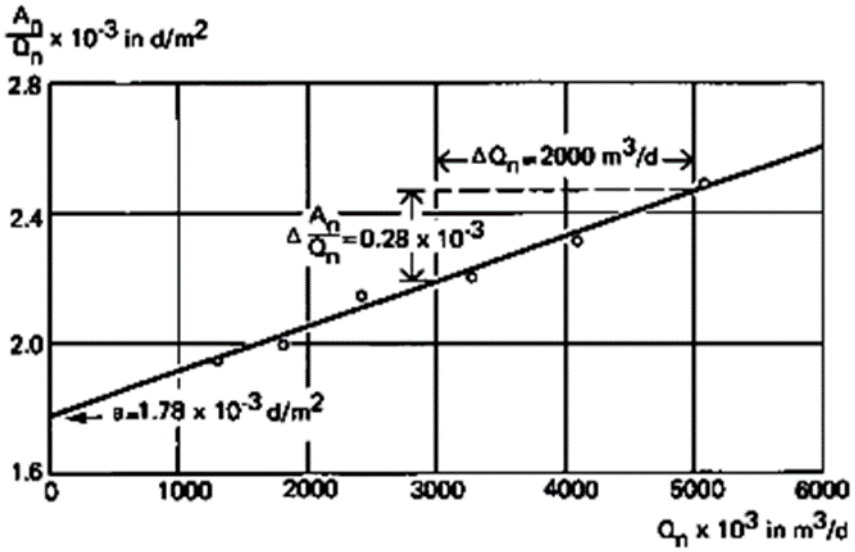


شکل ۴. روش ایدن - هیزل، داده‌های ($s_{W(n)}$) در برابر مقادیر H_n (Kruseman and de Ridder, 1994)

Fig. 4. Eden-Hazel method, data (sW(n)) versus Hn values (Kruseman and de Ridder, 1994)

اکنون قابلیت انتقال با استفاده از معادله (۶) محاسبه می‌شود (شکل ۵)، (Kruseman and de Ridder, 1994). لازم به ذکر است که در کاربرد روش ایدن - هیزل (Eden and Hazel, 1973) از نرم‌افزار مذکور (Aquifer win 32) استفاده شده است و این نرم‌افزار تمام موارد ذکر شده در روش انجام کار را به طور خودکار انجام می‌دهد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۵. روش ایدن - هیزل، داده‌های A_n/Q_n در برابر میزان Q_n (Kruseman and de Ridder, 1994)

Fig. 5. Eden-Hazel method, An/Qn data versus Qn rate (Kruseman and de Ridder, 1994)

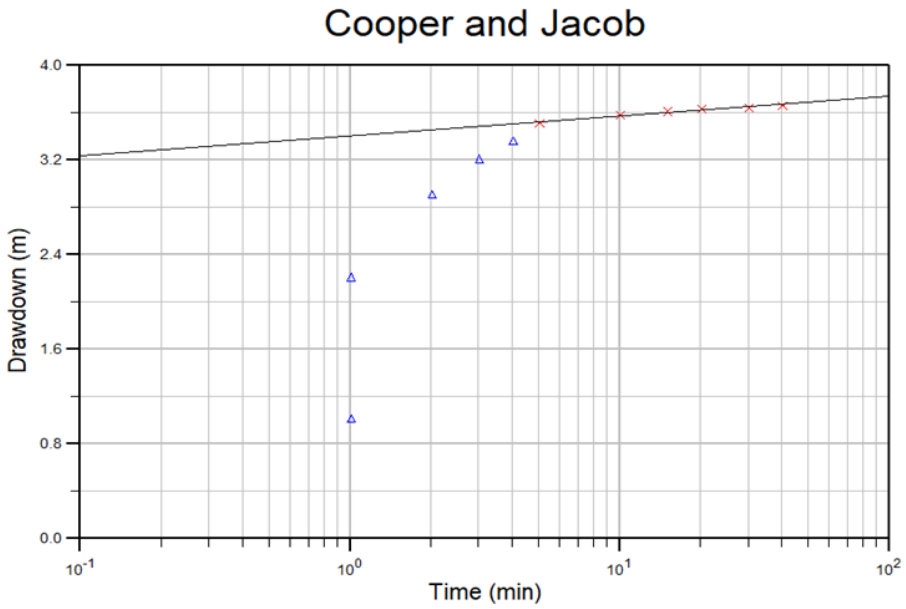
شایان ذکر است در این پژوهش داده‌های آزمایش افت پله‌ای چاه‌های بهره‌برداری به روش تک چاهی و توسط روش ایدن – هیزل (Eden and Hazal, 1973) و نرم‌افزار Aquifer win32 مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

نتایج و بحث

تصحیح داده‌های آزمایش پمپاژ

بدلیل احتمال بوجود آمدن خطاهای متعدد اعم از انسانی، طبیعی یا دستگاهی در نمودار افت-زمان آزمایش پمپاژ در نرم‌افزار Aquifer win 32 ممکن است داده یا داده‌هایی را مشاهده نمود که از روند کلی نمودار پیروی نکرده و حالت غیرطبیعی داشته باشد و در نهایت به صورت داده‌های پرت ظاهر شده و بالاتر یا پایین‌تر از داده‌های مجاور قرار گیرند. حال برای جلوگیری از ایجاد خطا باید داده‌های پرت حذف و مجدداً نمودار ترسیم شود. اغلب این داده‌های غیر طبیعی و پرت یک حالت برگشت در افت، به معنی بالا آمدن سطح آب را نشان می‌دهند. چنین داده‌هایی باعث بروز خطا در تخمین پارامترهای سفره می‌شوند و در صورت انحراف زیادشان نسبت به داده‌های معمولی، خطای قابل‌توجهی را ایجاد می‌کند. بنابراین بهتر است این نقاط از داده‌های اصلی حذف شوند. در شکل (C) به عنوان مثال داده‌های پرت با شکل مثلث آبی مشخص شده است. در همین راستا پس از بررسی داده‌های افت زمان چاه‌های انتخابی در این پژوهش به ناچار چند حلقه از چاه‌ها از جمله چاه‌های شماره ۷، ۹، ۱۰، ۱۴، ۱۵، ۱۷، ۲۰، ۲۴ و ۲۵ بدلیل داشتن داده‌های زیاد پرت و خطا داشتن در برداشت داده‌های افت-زمان حذف شده‌اند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

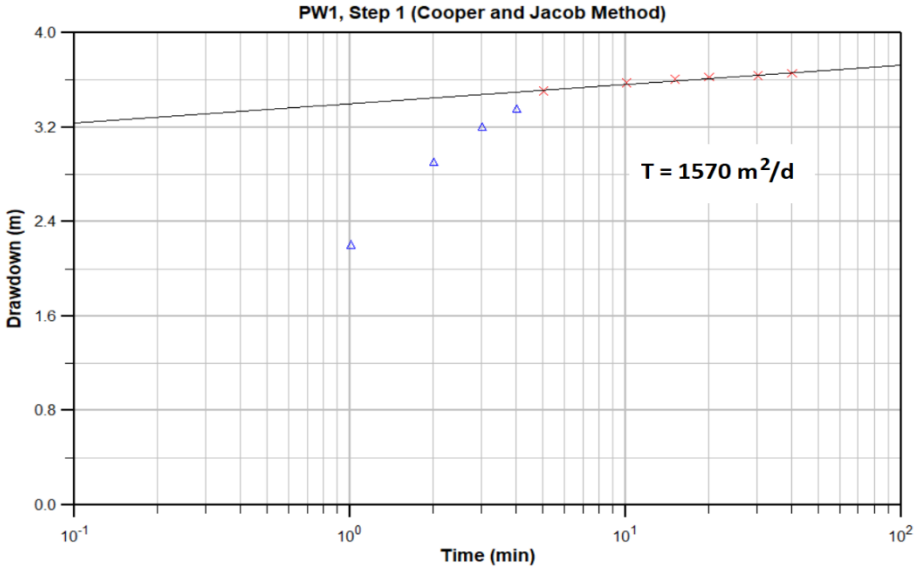


شکل ۶. نشان‌دهنده داده‌های خطا با مثلث آبی

Fig. 6. Indicates error data with a blue triangle.

تعیین مقدار قابلیت انتقال با استفاده‌ها از داده‌های هر کدام از پله‌ها از روش کوپر-ژاکوپ

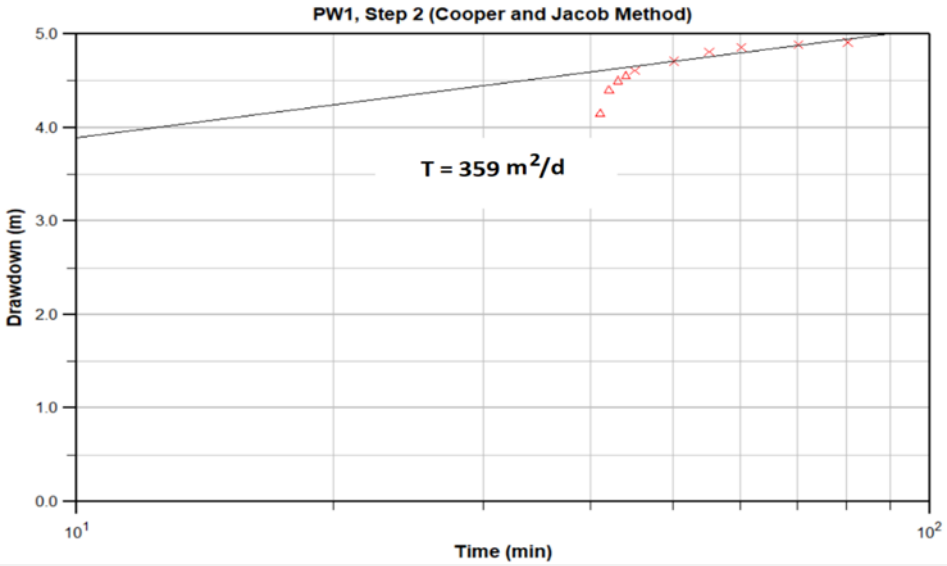
در شکل‌های (۷) و (۸) میزان قابلیت انتقال از روش کوپر – ژاکوپ برای داده‌های پله اول و دوم چاه شماره یک بدست آمده است همانطور که مشاهده می‌شود میزان این پارامتر در پله اول برابر با ۱۵۷۰ و برای پله دوم ۳۵۹ مترمربع بر روز محاسبه شده است در صورتی که افت در پله اول ۳/۶۵ متر و در پله دوم ۲/۴۰ متر بوده است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این روش بدلیل عدم انطباق حداقلی در پله اول و دوم، روش مناسبی نمی‌باشد لذا برای بدست آوردن میزان قابلیت انتقال از روش ایدن – هیزل (Eden and Hazel) استفاده شده است.



شکل ۷. استفاده از روش کوپر – ژاکوپ برای داده‌های پله اول چاه شماره ۱

Fig. 7. Using the Cooper-Jacob method for the first stage data of well number 1

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۸. استفاده از روش کوپر – ژاکوپ برای داده‌های پله دوم چاه شماره ۲

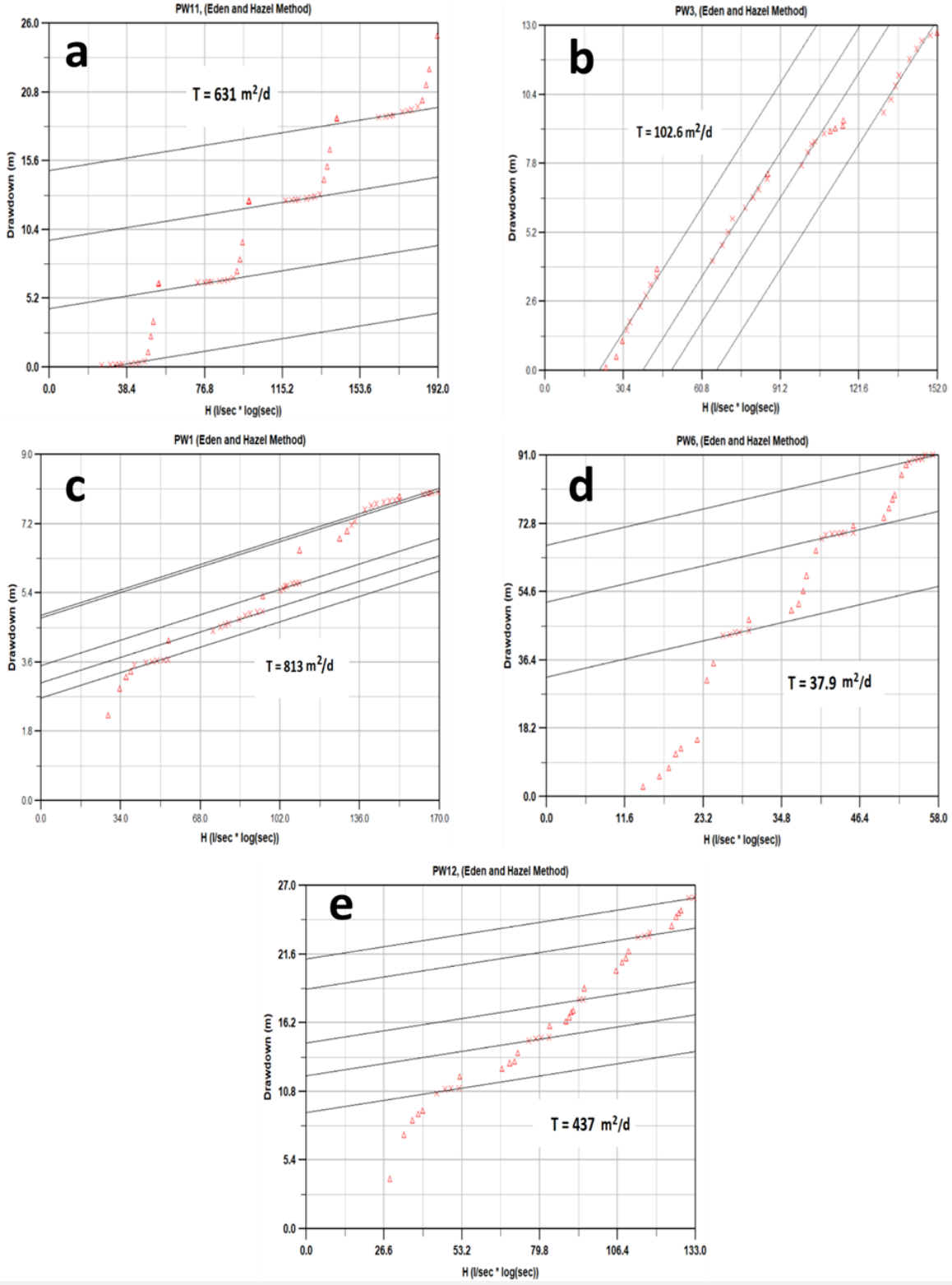
Fig. 8. Using the Cooper-Jacob method for the first stage data of well number 2

تعیین مقدار قابلیت انتقال با استفاده از روش Eden and Hazal 1973

شکل (۹) کاربرد روش ایدن-هیزل (Eden and Hazal, 1973) برای داده‌های چاه پمپاژ شماره ۱ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که داده‌های آزمایش پمپاژ این چاه با روش ایدن – هیزل انطباق خوبی را نشان داده است. مقدار قابلیت انتقال در محدوده این چاه با این روش برابر با ۸۱۳ مترمربع بر روز برآورد شده که بیانگر قابلیت انتقال بالای آبخوان در این محدوده است. نمونه‌هایی از محاسبه قابلیت انتقال توسط نرم‌افزار Aquifer win32 در شکل‌های ۹-a تا ۹-e:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۹. کاربرد روش ایدن–هیزل برای داده‌های چاه‌های شماره ۱۱، ۳، ۶، ۱ و ۱۲ (به ترتیب a تا e)

Fig. 9. Application of the Eden–Hazel method for data from wells 11, 3, 6, 1, and 12 (a to e, respectively)

جدول ۲. برآورد میزان قابلیت انتقال (T)

Table 2. Estimated level of transmissibility (T)

نام چاه	قابلیت انتقال (m^2/day)
PW1	813
PW2	38.8
PW3	102.6
PW4	17.4
PW5	13.5
PW6	37.9
PW8	6.6
PW11	631
PW12	437
PW13	58.2
PW16	8.5
PW18	22
PW19	16
PW21	250
PW22	13.7
PW23	9.4

برآورد میزان هدایت هیدرولیکی محدوده هر چاه

میزان هدایت هیدرولیکی (k) را با توجه به میزان قابلیت انتقال بدست آمده در بخش قبلی و همچنین ضخامت اشباع آبخوان (b) برای هر کدام از چاه‌های پمپاژ را با استفاده از فرمول زیر بدست می‌آوریم:

$T = Kb \quad ==» \quad k = T/b$

T: قابلیت انتقال (مترمربع بر روز)

k: هدایت هیدرولیکی (متر بر روز)

b: ضخامت اشباع آبخوان (متر)

برای بدست آوردن ضخامت اشباع آبخوان (b) مطابق جدول (۵-۴)، عمق کل چاه را از سطح ایستابی کم کرده و در نهایت طبق فرمول فوق میزان هدایت هیدرولیکی را

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

بدست می‌آوریم. برای مثال میزان هدایت هیدرولیکی را برای چاه شماره یک بدست می‌آوریم:

185 :عمق چاه

101 :عمق سطح ایستابی

==» (b)ضخامت اشباع 185 - 101 = 84 m

از طرفی:

T = 813

k = T/b

$k \frac{813}{84} = 9.69\ m/day$

جدول ۳. برآورد میزان هدایت هیدرولیکی

Table 3. Estimated hydraulic conductivity

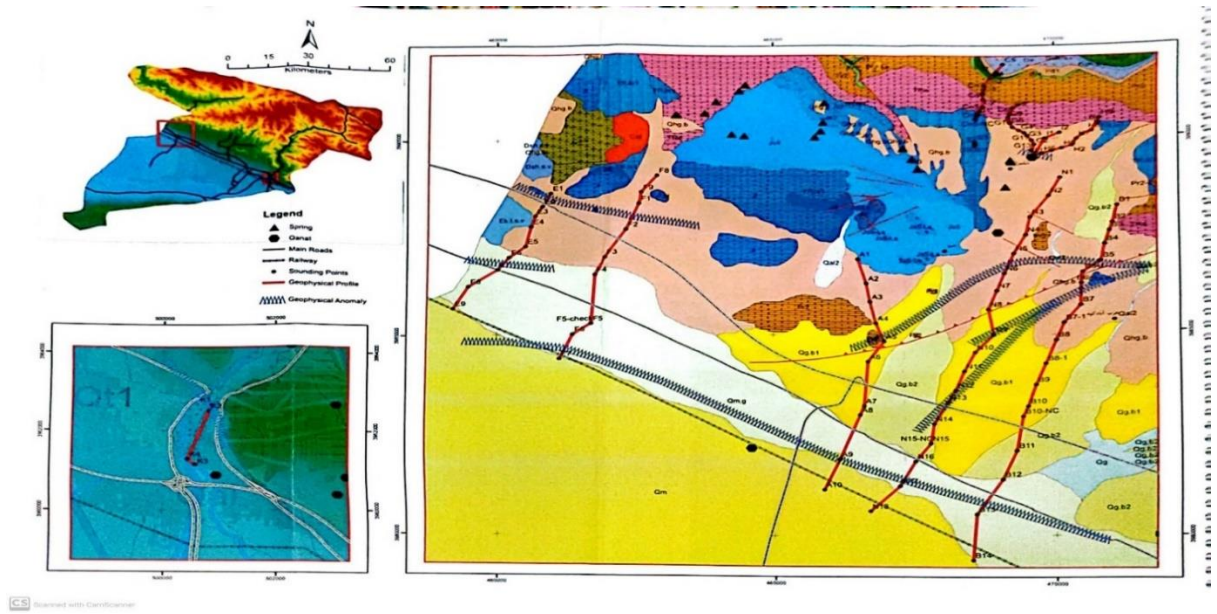
نام چاه	قابلیت انتقال (m^2/day)	ضخامت اشباع (m)	هدایت هیدرولیکی (m/day)
PW1	813	84	9.69
PW2	38.8	40	0.97
PW3	102.6	98.9	1.04
PW4	17.4	105	0.166
PW5	13.5	47	0.29
PW6	37.9	115	0.33
PW8	6.6	33	0.2
PW11	631	135	4.67
PW12	437	87	5.02
PW13	58.2	120	0.5
PW16	8.5	35	0.243
PW18	22	109	0.2
PW19	16	153	0.105
PW21	250	85	2.95
PW22	13.7	45	0.3
PW23	9.4	38.2	0.25

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

محاسبه میزان قابلیت انتقال بزرگ (G_T) اصلاح شده و رسم نقشه قابلیت انتقال دشت

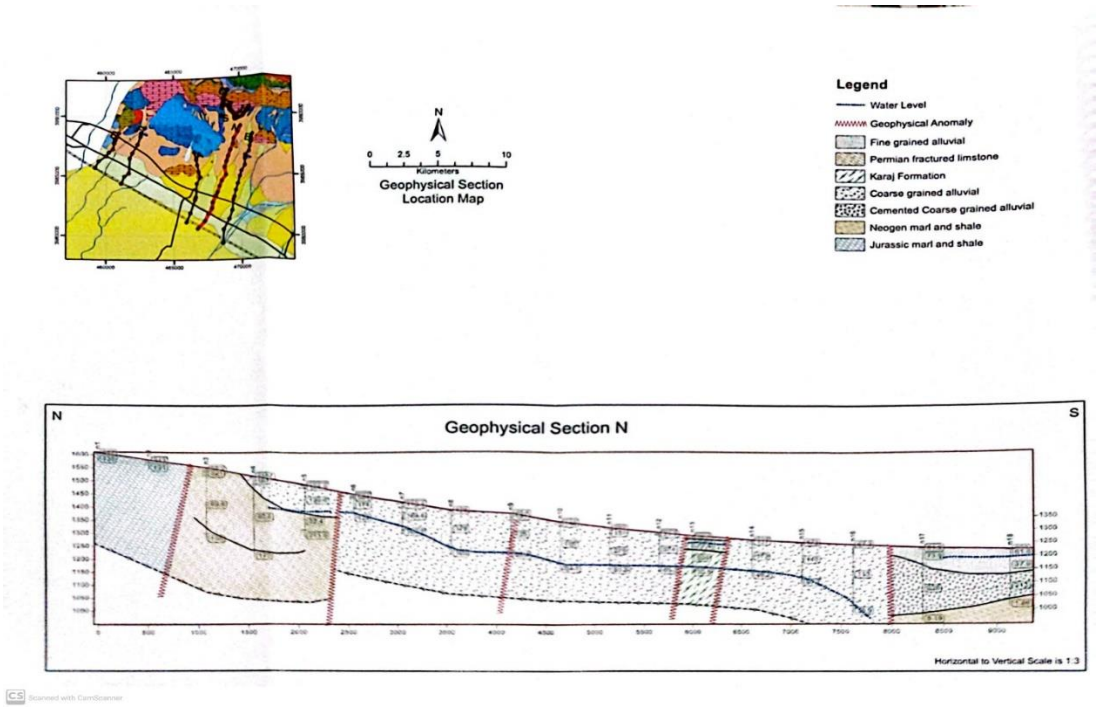
از آنجایی که چاه‌های پمپاژ مورد نظر بصورت ناقص حفر شده‌اند یا به عبارتی تا سنگ کف حفر نشده‌اند لذا برای محاسبه میزان قابلیت انتقال بزرگ (G_T) اصلاح شده برای محدوده هر چاه و در نهایت برای دشت مورد نظر، با استفاده از هدایت هیدرولیکی که در مرحله قبل مقدار آن را برای محدوده هر چاه بدست آورده شد در ضخامت کل آبرفت اشباع آن منطقه ضرب گردید و بنابراین میزان قابلیت انتقال اصلاح شده محاسبه شد (Sen, 2014). به منظور تعیین ضخامت آبرفت اشباع در محدوده هر چاه، از تلفیق داده‌های ژئوفیزیک و اطلاعات هیدروژئولوژیک استفاده شد. در بخش شمالی دشت، ضخامت آبرفت بر اساس نتایج عملیات ژئوالکتریک استخراج گردید. مطابق شکل (۱۱)، این عملیات شامل ۵ خط سونداژ (Profile) به نام‌های A ، B، E، F و Nمی‌باشد. برای سایر مناطق که فاقد داده‌های ژئوفیزیکی بودند، ضخامت آبرفت اشباع از طریق تحلیل لاگ‌های حفاری دریافت شده از معاونت حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای البرز، بازدیدهای میدانی و نقشه‌های هم عمق (Isopach) برآورد گردید تا در نهایت پارامتر قابلیت انتقال (Transmissivity) محاسبه شود (Toossab Consulting Engineers Company, 2022).



شکل ۱۰. مسیر پروژه ژئوفیزیک انجام شده در شمال دشت
Fig. 10. Route of the geophysical project carried out in the northern plain

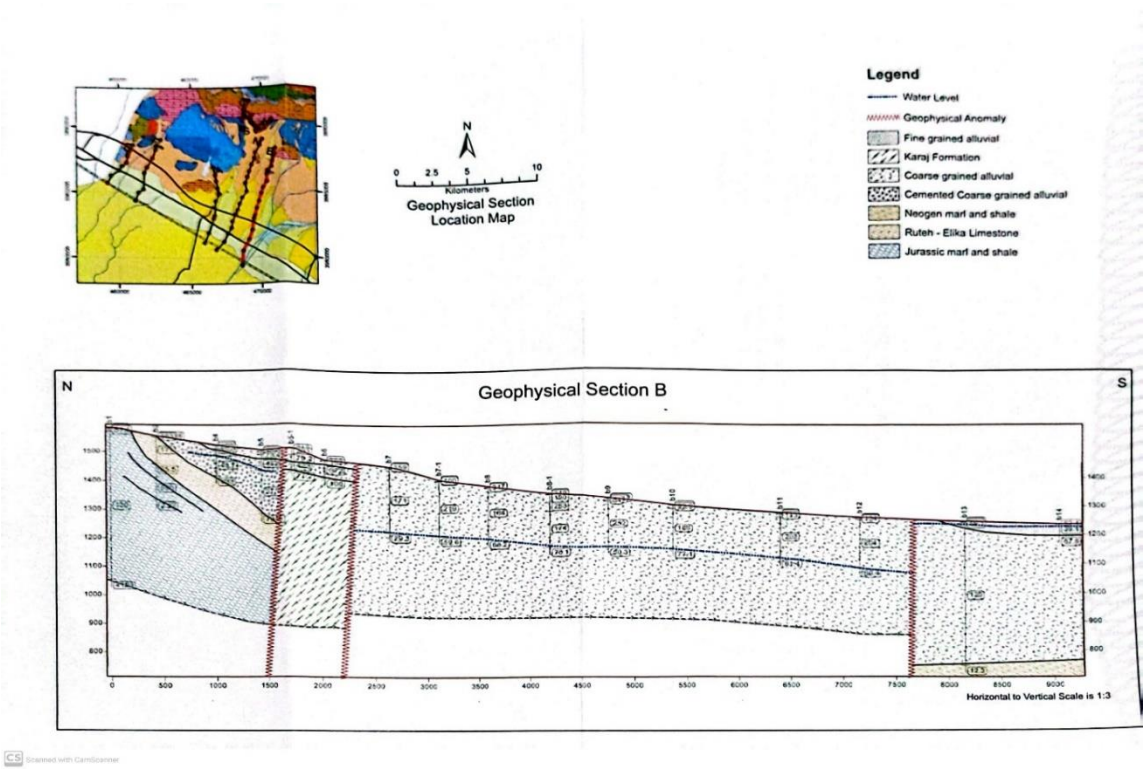
شکل (۱۱) و (۱۲) مقطع ژئوفیزیک N و B را نشان می‌دهد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۱۱. مقطع ژئوفیزیک N

Fig. 11. Geophysical cross section N



شکل ۱۲. مقطع ژئوفیزیک B

Fig. 12. Geophysical cross section B

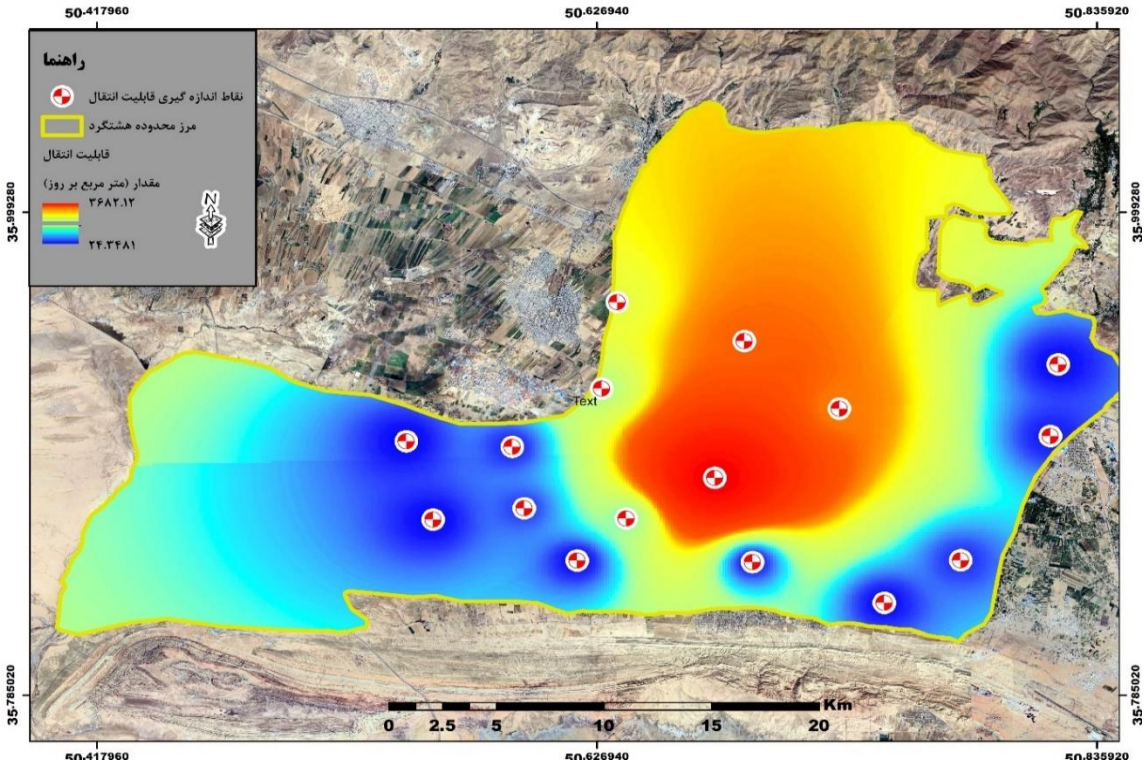
مطابق پروفیل مقاطع N و B ضخامت آبرفت در پایین دست آن که با چاه‌های شماره ۲۱، ۲، ۱ و ۱۲ نیز تلاقی دارد ضخامت اشباعی در حدود ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر را دارا می‌باشد (Toossab Consulting Engineers Company, 2022). الباقی چاه‌ها نیز مطابق بررسی‌های انجام شده حاصل از لاگ حفاری چاه‌های منطقه، داده‌های دریافتی از آب منطقه‌ای، معاینات محلی و آبدهی چاه‌های عمیق اطراف، میزان حدودی ضخامت اشباع آن‌ها طبق جدول (۴) بدست آورده و با ضرب آن در هدایت هیدرولیکی هر چاه میزان قابلیت انتقال بزرگ آن محدوده بدست آمده است.

جدول ۴. برآورد قابلیت انتقال بزرگ (اصلاح شده)

Table 4. Estimated large transmissibility (Modified)

نام چاه	**K** (m/day)	**b** (m اشباع کل ضخامت)	**G_t** (m2/day)
PW1	9.69	380	3682.2
PW2	0.97	370	358.9
PW3	1.04	280	291.2
PW4	0.166	160	26.56
PW5	0.29	120	34.8
PW6	0.33	170	56.1
PW8	0.2	180	36
PW11	4.67	170	793.9
PW12	5.02	170	853.4
PW13	0.5	190	95
PW16	0.243	100	24.3
PW18	0.2	330	66
PW19	0.105	240	25.2
PW21	2.95	190	560.5
PW22	0.3	280	84
PW23	0.25	160	40

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]



شکل ۱۳. نقشه قابلیت انتقال دشت هشتگرد

Fig. 13. Hashtgerd plain transmissibility map

نتیجه‌گیری

از نتایج حاصل از این تحقیق که بر اساس آزمون پمپاژ به روش افت پله‌ای در سیستم تک چاهی می‌باشد می‌توان به تحلیل داده‌های آزمون‌های پمپاژ و تخمین ضرایب هیدرودینامیک آبخوان از جمله قابلیت انتقال و هدایت هیدرولیکی بوسیله آنالیز آن داده‌های موجود در دشت اشاره کرد. داده‌های پمپاژ توسط نرم‌افزار Aquifer win 32 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. ابتدا پس از حذف داده‌های پرت با روش ایدن – هیزل داده‌ها آنالیز شده و با توجه به منطبق شدن داده‌های افت – زمان در سیستم نیمه لگاریتمی، مناسب بودن روش محرز گردید. از طرفی برای آنالیز داده‌ها از روش کوپر – ژاکوپ نیز استفاده شده است و برای بعضی از چاه‌ها مقدار قابلیت انتقال محاسبه گردید که نشانگر نزدیک بودن اعداد بدست آمده در این دو روش می‌باشد. از طرفی چون قابلیت انتقال متناسب است با ضخامت اشباع ضربدر هدایت هیدرولیکی (T=Kb)، پس با افت سطح آب، ضخامت اشباع (b) کاهش یافته و درنتیجه قابلیت انتقال نیز کاهش می‌یابد. بنابراین با توجه به افت سطح ایستابی در چند دهه اخیر پیش‌بینی می‌شود که میزان قابلیت انتقال نیز نسبت به گذشته کاهش یافته باشد. لذا پس از محاسبه این پارامتر با روش ایدن – هیزل حداقل مقدار قابلیت انتقال ۲۴ مترمربع بر روز مربوط به بخش‌های جنوبی و جنوب غربی دشت و حداکثر ۳۶۸۲ مترمربع بر روز مربوط به مخروط افکنه کردان محاسبه گردید. میزان هدایت هیدرولیکی نیز از حداقل ۰/۲ متر بر روز مربوط به بخش‌های جنوبی و جنوب غربی دشت تا حداکثر ۹/۷ متر بر روز مربوط به مخروط افکنه کردان بدست آمد. با توجه به مقادیر بدست آمده مهم‌ترین نتیجه حاصل از این تحقیق عبارتند از یکسان نبودن رفتار آبخوان در بخش‌های مختلف (ناهمگنی زیاد در دشت) و عدم قطعیت در نتایج آزمایش پمپاژ (احتمال خطا

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

در برداشت داده‌های افت – زمان) می‌باشند. مطابق نتایج بدست آمده ملاحظه می‌شود که آبخوان و دشت در بخش-های مختلف رفتار یکسانی نشان نمی‌دهند به‌طوری که رفتار آبخوان در بخشی از آن خواص آبخوان نشتی دارد. بیشترین میزان قابلیت انتقال مربوط به مخروط افکنه کردان بوده در حالیکه نواحی شمالی دشت و نواحی جنوب و جنوب غربی بدلیل کم شدن ضخامت و ریزدانه شدن رسوبات، حداقل قابلیت انتقال را دارند.

References

Alborz Regional Water Company. (2019a). Database of groundwater studies and drilling logs for the Hashtgerd Plain. Bureau of Basic Water Resources Studies.

Alborz Regional Water Company. (2019b). Report on the water balance of resources and consumption in the Hashtgerd Plain (Statistical period 2017-2018). Bureau of Basic Water Resources Studies.

Azari, T., & Samani, N. (2018). Modeling the Neuman's well function by an artificial neural network for the determination of unconfined aquifer parameters. Computational Geosciences, 22(4), 1135-1148.

Azari, T. (2025). A novel approach for determining hydraulic parameters of dual-porosity aquifers based on MLP neural network. Journal of Engineering Geology, 19(1), 136-158. (In Persian)

Chen, C., Tao, Q., Wen, Z., Wörman, A., & Jakada, H. (2022). Step-drawdown test for identifying aquifer and well loss parameters in a partially penetrating well with irregular (non-linear increasing) pumping rates. Journal of Hydrology, 614, 128652.

Chi, W. C., Yang, C. F., Wege, S., Lin, C. J., & Ke, C. C. (2024). Transient ground bulge derived from a dense broadband seismic array during an aquifer step-drawdown pumping test. Journal of Hydrology, 628, 130595.

Cooper Jr, H. H., & Jacob, C. E. (1946). A generalized graphical method for evaluating formation constants and summarizing well-field history. Eos, Transactions American Geophysical Union, 27(4), 526-534.

Dashti, Z., Nakhaei, M., Vadiati, M., Karami, G. H., & Kisi, O. (2023). Estimation of unconfined aquifer transmissivity using a comparative study of machine learning models. Water Resources Management, 37(12), 4909-4931.

Eden, R. N., & Hazal, C. P. (1973). Computer and graphical analysis of variable discharge pumping test of wells. Institution of Engineers Australia, Civil Engineering Transactions, 5–10.

Karami, G. H. (2002). Assessment of heterogeneity and flow systems in karstic aquifers using pumping test data (Doctoral dissertation, University of Newcastle upon Tyne).

Karami, G. H. (2010). Assessment of pumping tests on Group 2 wells in Qom Province. Qom Regional Water Company. (In Persian)

Karami, G. H., & Younger, P. L. (2002). Analysing step-drawdown tests in heterogeneous aquifers. Quarterly journal of engineering geology and hydrogeology, 35(3), 295-303.

Kruseman, G. P., & de Ridder, N. A. (1994). Analysis and Evaluation of Pumping Test Data. International Institute for Land Reclamation and Improvement (ILRI), Publication 47.

Mawlood, K. D. (2019). Analyses of storage coefficient for a production well. ZANCO Journal of Pure and Applied Sciences, 31(4), 114–122.

Mazrae Asl, S., Akbari, F., Irani Asl, E., & Hosseini Shafiei, L. (2024). Comparison of hydrodynamic coefficients of Dalon-Meydavood plain by grain size analysis, geophysics and pumping test methods. Journal of Engineering Geology, 18(1), 25-44. (In Persian)

Moench, A. F. (1984). Double-porosity models for a fissured groundwater reservoir with fracture skin. Water Resources Research, 20(7), 831–846.

Nakhaei, M., & Hassan Nia, E. (2019). Estimation of hydrodynamic parameters in the unknown locations in Evan plain using fuzzy logic. Hydrogeology, 4(1), 1-13.

Sedaghat, M. (2008). Land and water resources (groundwater), Payame Noor University, Tehran.

Şen, Z. (2014). Practical and applied hydrogeology. Elsevier.

Sulistyo, T. (2018). Identification Aquifer Parameters Through Single Well Pumping Test Series At Pt. Kaltim Kariangau Terminal, Balikpapan, East

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]
[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]

Kalimantan. JUTEKS (Jurnal Teknik Sipil), 3(2), 293-300.

Theis, C. V. (1935). The relation between the lowering of the piezometric surface and the rate and duration of discharge of a well using ground-water storage. Eos, Transactions American Geophysical Union, 16(2), 519-524.

Tizro, T. A., Voudouris, K. S., & Kamali, M. (2014). Comparative study of step drawdown and constant discharge tests to determine the aquifer transmissivity: the Kangavar aquifer case study, Iran. Journal of Water Resource and Hydraulic Engineering, 3(1), 12-21.

Todd, D. K. (1980). Groundwater Hydrology (2nd ed.). John Wiley and Sons, New York.

Toossab Consulting Engineers Company. (2022). Report on geophysical studies of the Hashtgerd Plain.

Walton, W. C. (1987). Groundwater pumping test. Lewis Publishers, Inc., USA.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1404.19.4.4.3]

[DOI: 10.22034/JEG.2025.19.4.1020331]