



The Relationship Between Quantitative and Qualitative Networks of Groundwater with the Characteristics of Alluvial fan in The Southern Hillside of Alborz center (Karaj to Takestan)

Ali Rajabi Eslami^a, Manijeh Ghahroudi Tali^{b*}, Alireza Salehipour Milani^c

^a PhD student in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Tehran Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

^b Professor in Geomorphology Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Tehran, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

^c Assistant Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Earth Sciences, Tehran, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Received: 9 June 2024

Revised: 1 September 2024

Accepted: 3 October 2024

Extended Abstract

Introduction

Groundwater is considered one of the most important indicators of environmental development, and land planners pay great attention to identifying the quantitative and qualitative status of these resources. In general, the sustainable management of groundwater resources during crises can reduce the effects of drought and water shortages. This issue is particularly significant in the central plains of Iran, where water scarcity and low rainfall are prevalent. Therefore, to manage these resources effectively, it is crucial to identify the factors that influence them. In recent years, increased attention has been paid to landforms and environmental indicators as parameters affecting the permeability and variability of groundwater. Over the past decade, there has been a notable increase in studies and articles in this field.

Among the key landforms in the geomorphology of arid and semi-arid regions of Iran are alluvial fans. Due to their unique structure, these fans provide an ideal environment for groundwater storage. This research focuses on the southern slopes of the central Alborz mountains to develop a model based on geomorphic parameters for assessing the quantitative and qualitative potential

*.Corresponding author: Manijeh Ghahroudi Tali Email: E-mail: m-ghahroudi@sbu.ac.ir Tel:+989121263968

How to cite this Article: Rajabi Eslami, A. , Ghahroudi Tali, M. , & Salehipour, A. (2024). The Relationship Between Quantitative and Qualitative Networks of Groundwater with the Characteristics of Alluvial fan in The Southern Hillside of Alborz center (Karaj to Takestan). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 13(4),130-158



of groundwater. The findings of this study present innovative approaches to utilizing landforms in identifying areas with suitable groundwater potential.

Material and Methods

The alluvial fans located in the southern slopes of the central Alborz hills cover a significant part of the western plains of Tehran Province, as well as the southern plains of Alborz and Qazvin provinces. The total area of this region is 7,450 square kilometers, and it is part of the sub-basins of the Salt Lake system.

In this research, the morphometric characteristics of 23 alluvial fans in the southern plains of central Alborz were analyzed using correlational research and ex-post facto methods. With a practical approach, the boundaries of the alluvial fans were delineated using satellite images and topographic maps. Eleven morphometric parameters, including sweep angle, area, volume, concavity, slope, apex and base height, length, base length, radius, and height difference of the alluvial fans, were extracted.

Additionally, the relationships between water table depth, well discharge, and electrical conductivity (EC) of groundwater with morphometric parameters were evaluated using statistical analysis of 587 water wells.

Results and Discussion

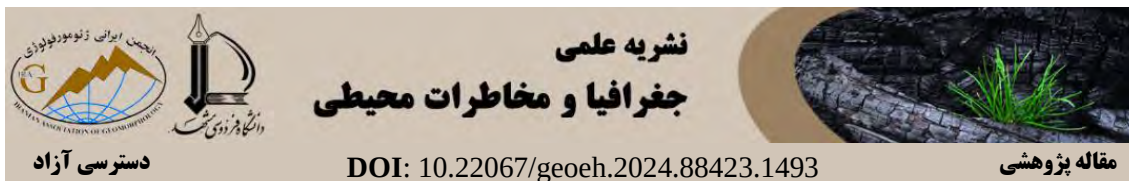
The results showed that changes in discharge, EC, and water table depth were influenced by the morphometry of the alluvial fans, with contributions of 63%, 27%, and 54%, respectively. Furthermore, the results revealed that among the 11 morphometric parameters, increases in the average values of four parameters—area, cone length, base length, and radius of the alluvial fan—led to higher groundwater extraction potential. Conversely, decreases in apex height, sweep angle, and base height corresponded to increases in flow rates.

The findings indicated that in alluvial fans where the apex and base elevations are higher than others, the water table is lower relative to ground level due to increased sedimentation and sediment thickness. Moreover, the depth of the water table increases with the enlargement of the area, length, base length, and radius of the alluvial fans. Alluvial fans with large, circular, fan-shaped structures exhibited higher levels of groundwater stagnation.

Conclusion

Reducing concavity or sediment diameter on the surface of alluvial fans can effectively decrease soil refinement during water infiltration. This study highlights that examining geomorphic landforms prior to implementing water resource management plans can The analysis of groundwater electrical conductivity (EC) demonstrated that EC values increased in alluvial fans with high sediment volume and low concavity. significantly reduce errors in selecting locations for aquifer recharge or groundwater well excavation. This research, through its innovative approach and robust statistical analysis, has introduced a new model to evaluate the role of alluvial fans in the quantitative and qualitative changes in groundwater. The findings offer an efficient and effective framework for identifying groundwater table potentials, providing valuable insights for sustainable water resource management.

Keywords: Groundwater Resources, Alluvial Fan Morphometry, Geomorphic Indicators, Sustainable Groundwater Management, Central Alborz Groundwater Dynamics



DOI: 10.22067/geoh.2024.88423.1493

دسترسی آزاد

مقاله پژوهشی

ارتباط پارامترهای کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی با ویژگی‌های مخروط افکنه‌های

دشت‌های جنوبی البرز مرکزی (کرج تا تاکستان)

علی رجبی اسلامی - دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

میتزه قهرودی تالی^۱ - استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

علیرضا صالحی پور میلانی - استادیار ژئومورفولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۶/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۱۲

چکیده

آب زیرزمینی به عنوان جزئی از یک سیستم تعاملی با سطح زمین در قلمرو تأثیرپذیری ژئومورفولوژی قرار دارد و به میزان زیادی تحت تأثیر و کنترل لند فرم‌ها و فرآیندها است و می‌تواند بر میزان کمیت و کیفیت آب زیرزمینی اثر بگذارد. یکی از لند فرم‌های مهم ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مخروط افکنه‌هاست که محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره‌سازی آب زیرزمینی فراهم می‌آورد. در این پژوهش سعی شده به تحلیل ارتباط تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی با ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی پرداخته شود، تا از این طریق بتوان روشی مناسب و مبتنی بر پارامترهای ژئومورفیک را برای پتانسیل‌یابی کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی ارائه داد. بر این اساس به وسیله تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های توپوگرافی ابتدا مرز ۲۳ مخروط افکنه ترسیم و ۱۱ پارامتر مورفومتری شامل زاویه جاروب، مساحت، حجم، تقعر، شیب، ارتفاع رأس و قاعده، طول، طول قاعده، شعاع و اختلاف ارتفاع مخروط افکنه استخراج گردید. همچنین ارتباط عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی با پارامترهای مورفومتری در ۵۸۷ حلقه چاه آب با استفاده از تحلیل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد تغییرات دبی، هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی به ترتیب با میزان ۶۳٪، ۲۷٪ و ۵۴٪ تحت تأثیر مورفومتری مخروط افکنه‌ها قرار دارد. با افزایش مساحت، طول، شعاع و طول قاعده مخروط افکنه‌ها میزان دبی آب چاه‌ها افزایش می‌کند و با افزایش حجم و تقعر میزان هدایت الکتریکی نیز افزایش می‌یابد. یافته‌های این پژوهش نشان داد ویژگی مخروط افکنه‌ها می‌تواند به عنوان روشی در ارزیابی تغییرات کمی و کیفی آب‌های زیرزمینی در مناطق خشک مورداستفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: منابع آب زیرزمینی ریخت‌سنجی مخروط افکنه، شاخص‌های ژئومورفولوژیکی،

دینامیک آب زیرزمینی البرز مرکزی.

۱-مقدمه

کشور ایران با شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و میانگین بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر از کشورهای کم آب در جهان محسوب می‌شود (Asadi & Abd Manafi, 2022). این گستره بزرگ جغرافیایی با مشخصات هیدرولوژیکی خاص نظیر ۱۱۷ میلیارد مترمکعب حجم آب قابل‌دسترس، بر اساس آمارهای وزارت نیرو سالانه ۹۸.۱ میلیارد مترمکعب آب تجدید پذیر در کشور توزیع می‌شود که ۴۴.۳ میلیارد مترمکعب آن از منابع سطحی برداشت می‌شود و ۵۳.۹ میلیارد مترمکعب از منابع سفره‌های زیرزمینی برداشته می‌شود که از این میزان ۵۰.۵ میلیارد مترمکعب از چاه‌ها و ۳.۴ میلیارد مترمکعب از قنوات است (Mehr News, 2022). به‌طور کلی منابع آب زیرزمینی در صورت حفاظت از آن‌ها به‌عنوان منابعی استراتژیک که در مواقع بحرانی می‌توانند آثار خشک‌سالی یا کم‌آبی را تقلیل دهند از اهمیت بسزایی برخوردارند و این وابستگی در بخش وسیعی از دشت‌های مرکزی ایران به دلیل نازل بودن بارش‌ها بیشتر است (Asadi & Abd Manafi, 2022). بنابراین توجه ویژه به مدیریت استراتژی و شناسایی پتانسیل‌های منابع آب زیرزمینی در برنامه‌های توسعه کشور امری مهم و اجتناب‌ناپذیر است. به‌طور کلی روش‌های سنتی نظیر ژئوالکتریک که در جهت شناخت پتانسیل آب‌های زیرزمینی به کار گرفته می‌شوند، اغلب زمان‌بر بوده و به نیروی انسانی و هزینه کرد زیاد نیاز دارد (Adabi khosh, 2019). در اینجا باید اشاره نمود که آبخوان‌ها به دلیل تعامل مستقیم و غیرمستقیم با سطح زمین در محدوده تأثیرپذیری لند فرم‌های ژئومورفولوژی قرار داشته و به‌وسیله آن کنترل می‌شود (این کنترل توسط تغییرهای بسیاری صورت گرفته که عبارت‌اند توپوگرافی و فرم، ویژگی مواد سطحی یا مورفوزنز، تغییرات آب و هوایی و هوازدگی‌ها، تغییرات زمانی (Zektser & Everett, 2004) بر این اساس می‌توان گفت توجه و تأکید بر ویژگی لندفرم‌ها و شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان یک شاخص یا نمایانگر (Ravindran & Jeyaram, 1997) علاوه بر اینکه در مقایسه با روش‌های معمول اکتشاف آب زیرزمینی نقش واحدهای ژئومورفیک را در قالب یک پارامتر بسیار مهم در کنترل پتانسیل آب‌های زیرزمینی نادیده نمی‌گیرد بلکه از نظر دقت عملیاتی، مسائل مالی و زمان انجام کار بسیار مقرون‌به‌صرفه و سریع است (Khalili Naftchali & Khashai, 2016) از این رو برای شناسایی لند فرم‌های مؤثر بر آب زیرزمینی می‌توان از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های تصمیم‌گیری استفاده نمود (Agarwal, Agarwal, Garg & Garg, 2013). مخروط افکنه‌ها یکی از لند فرم‌های مهم و اصلی مناطق دشتی می‌باشند (Ghahraman, Zanganeh, 2013). که برحسب نوع ساختار و ویژگی‌های خود، محیط بسیار مناسبی را برای نگهداشت آب زیرزمینی در اختیار نواحی کم آب قرار می‌دهد (Ravindran & Jeyaram, 1997). با توجه به اینکه اقلیم ایران اساساً خشک و نیمه‌خشک است و جریان‌ها و سیلاب‌های فصلی زیادی دارد، بخش وسیعی از مخروط افکنه‌ها از رسوبات درشت‌دانه تشکیل شده‌اند که توان بالایی در ذخیره و نگهداشت آب زیرزمینی دارند.

به‌طور کلی مخروط افکنه‌ها به‌عنوان یک لند فرم مهم در مناطق دشتی از دهانه‌ی رودخانه‌های خروجی از کوهستان شروع شده و تا نواحی پست دشت ادامه دارند (Blair & McPherson, 2009). این لندفرم‌ها یکی از مکان‌های مناسب برای حفر چاه‌های آب بوده که به دلیل ساختار رسوبی مناسب منابع و ذخایر قابل توجهی در آن‌ها تشکیل می‌شوند (Sedghi & Samani, 2015). در سال‌های اخیر نقش عوارض طبیعی و لند فرم‌ها در اکتشاف و مدیریت منابع آب زیرزمینی به‌عنوان یک روش بهینه و کارآمد مورد توجه بسیاری از محققین داخلی قرار گرفته است (Rajabi Eslami, Ghahroudi Tali & Salehipour Milani, 2024)، که در اینجا به تفصیل برخی مطالعات صورت گرفته در ایران و جهان بیان شده است. هاتفی اردکانی و اختصاصی (Hatefi Ardakani & Ekhtesasi, 2016) در مقاله خود به بررسی پتانسیل آب زیرزمینی از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که آبرفت‌های کواترنر متشکل از تراس‌ها و مخروط افکنه‌های کم ارتفاع جدید از مناطق بالقوه مناسب آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند. علایی طالقانی و همکاران (Alaei Taleghani, Shafiei & Rajabi, 2018) در پژوهش خود با روش استنباطی و تحلیلی وزنی - تجربی به تأثیر عوامل ژئومورفولوژی بر تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی دشت میاندره کرمانشاه پرداختند و این نتیجه رسیدند که به ترتیب دشت سیلابی و مخروط افکنه، رسوبات دامنه‌ای و سپس ارتفاعات در ذخیره منابع آب زیرزمینی بیشترین نقش را داشته و کمترین نقش مربوط به اراضی بدلدی است. افشاری و همکاران (Afshari, Ghohroudi Tali, Sadough & Ehteshami Moin Abadi, 2019) نقش شاخص‌های ژئومورفولوژیکی نظیر شاخص شیب طول رودخانه، شاخص شکل حوضه، شاخص عدم تقارن حوزه زهکشی را در شناسایی پتانسیل مخاطرات مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با مطالعه مورفومتری حوضه می‌توان شدت مخاطرات را به ۳ رده فعالیت طبقه‌بندی نمود. همچنین وادی و همکاران (Wadi, Wu, Malik, Fuad & Thaw, 2022) به شناسایی پتانسیل بالقوه آب زیرزمینی در مناطق سنگی و نیم خشک بیترا سودان پرداختند.

مخروط افکنه‌ها با ابعاد کوچک تا بسیار بزرگ در تمامی بخش‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی موجود بوده و همگی در پایین دست حوضه‌های سیل خیز و بالادست دشت‌های انتهایی قرار دارند دشت‌های جنوبی البرز مرکزی در مجاورت شهرهای بزرگ نظیر تهران، کرج و قزوین قرار دارد و به همین دلیل از مناطق بسیار پرجمعیت کشور بوده که ۱۰ درصد از صنایع آب‌برو همچنین زمین‌های کشاورزی وسیعی را در خود جای داده است (Mehr News Agency, 2022). به‌گونه‌ای که فقط بخش کشاورزی در استان قزوین دارای ۸۰ هزار بهره‌بردار بوده و ۱۳ درصد تولید ناخالص استان مربوط به این حوزه است؛ بنابراین اهمیت آب‌های سطحی و زیرزمینی در این منطقه انکارناپذیر است. این مناطق به دلیل ضخامت زیاد رسوبات کواترنری حاصل از مخروط افکنه‌های جدید و قدیمی، تغذیه ضعیف از بستر رودخانه‌ها (به دلیل فصلی بودن رودها)

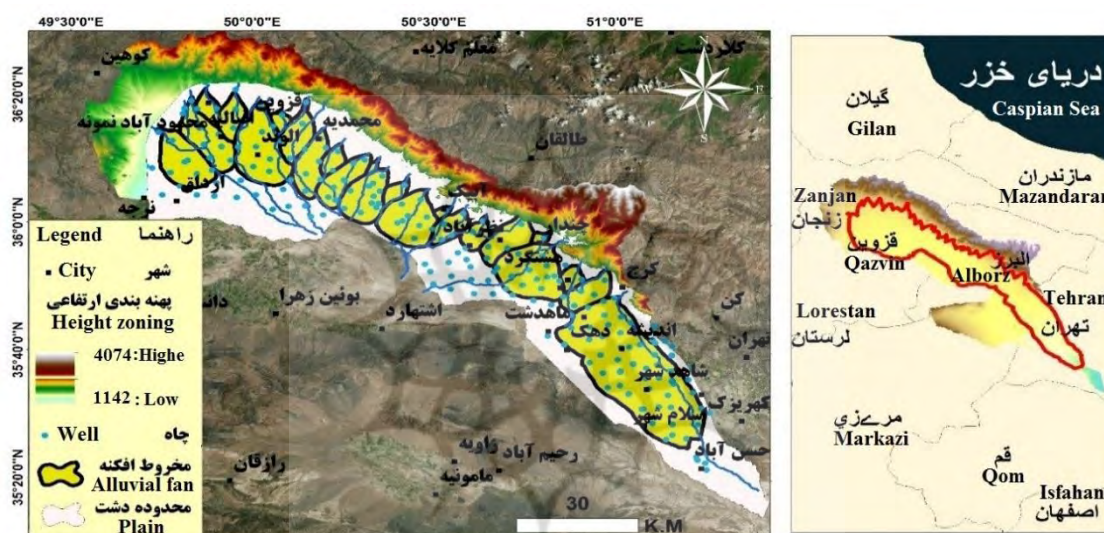
و بارندگی بسیار کم از نظر کمیت آب زیرزمینی در وضعیت نامطلوب قرار دارد و این امر با افزایش عواملی نظیر افزایش سکونت‌گاه‌های انسانی، صنعتی و همچنین عدم شناخت لندفرم‌های مؤثر در کیفیت و کمیت آب زیرزمینی به‌خصوص در نواحی پرجمعیت شهری سبب ناپایداری منابع آب زیرزمینی گردیده و نیازمند مدیریت و پتانسیل‌یابی مناسب است (Rajabi Eslami, 2018). روش این تحقیق مبتنی بر تجزیه و تحلیل داده‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، هواشناسی و بافت خاک است. نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش سبب شناسایی یک منطقه بالقوه جهت احداث سد برای تغذیه سفره آب زیرزمینی جدید در منطقه گردید (Wadi et al., 2022) در پژوهشی مشابه الروزق و همکاران به پهنه‌بندی مناطق بالقوه آب زیرزمینی بر اساس معیارهای ژئوهیدرولیکی در شمال امارات متحده عربی پرداختند (Al-Ruzouq et al., 2019). هدف این پژوهش ارزیابی پارامترهای مورفولوژی مخروط افکنه‌ها بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی آب‌های زیرزمینی است تا با استفاده از یافته‌های این تحقیق رویکردی جدید در استفاده از لند فرم در شناسایی مناطق با پتانسیل مناسب ارائه نماید.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

مخروط افکنه‌های موجود در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی شامل بخش وسیعی از دشت‌های غربی استان تهران و دشت‌های جنوبی استان البرز و قزوین است که در محدوده جغرافیایی $51^{\circ}20'$ تا $50^{\circ}30'$ طول شرقی و $35^{\circ}20'$ تا $36^{\circ}30'$ عرض شمالی قرار دارد (شکل ۱). وسعت این منطقه ۷۴۵۰ کیلومتر مربع بوده و از نظر تقسیمات وزارت نیرو از زیر حوضه‌های دریاچه نمک محسوب می‌شود (Rajabi Eslami, 2018). این منطقه از شمال به رشته‌کوه البرز مرکزی محدود شده است و در جنوب به کوه‌های ایران مرکزی می‌رسد. قسمت اعظمی از حوضه به‌صورت چاله است. این چاله با شکافی که در طاق‌دیس جنوبی آن بانام ارتفاعات حلقه در وجود دارد به چاله مجاور شهر اشتهارد راه پیدا می‌کند و کف چاله از رسوبات رسی و تبخیری شور پوشیده شده است و سطح ایستابی در این منطقه بسیار بالا است. ارتفاع متوسط حوضه ۱۶۰۰ متر، و ماکزیمم ارتفاع در کوه‌های شمالی در حدود ۴۰۰۰ متر و کمترین ارتفاع در خروجی حوضه در حدود ۱۰۰۰ متر است (Nayebzadeh, Madadi & Azizi, 2018). بر اساس داده‌های آماری ایستگاه‌های سینوپتیک ۴ ایستگاه اصلی تهران، قزوین، کرج و هشتگرد و اقلیم نمای آمبرژه، نوع اقلیم منطقه مطالعاتی در محدوده مناطق اقلیم خشک قرار دارد (Iran Meteorological Organization, 2023). این مناطق از نظر حاکمیت فرایندهای ژئومورفیک، تحت تأثیر ویژگی‌های زمین‌شناختی البرز جنوبی بوده و گستره وسیعی از این مناطق را مخروط افکنه‌ها کواترنری با نهشته‌های ناپیوسته و درشت‌دانه (در حد قله‌سنگ تا سیلت) تشکیل داده است. در دوره

کواترنری فرسایش آبی باعث ایجاد آبرفت‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی متعدد گردیده که همین امر سبب شده تا لند فرم‌های غالب را مخروط افکنه‌ها، آبرفت‌ها و دشت‌های سیلابی تشکیل بدهد (Ghahroudi, Tali, Khodamoradi & Ali Nouri, 2023). همچنین اکثر رودخانه‌های محدوده مطالعاتی به صورت فصلی بوده و از مهم‌ترین رودخانه‌های موجود در این منطقه می‌توان به رودهای کرج، قزوین، کردان، زیاران، رودخانه هشتگرد و ... اشاره نمود با توجه به این‌که در محدوده حوضه آبریز تهران-کرج، مناطق مسکونی و صنعتی بسیاری وجود دارد، پایین بودن میزان بارش مفید و افت سطح آب زیرزمینی در سال‌های اخیر سبب مشکلات متعددی گردیده که نیازمند مدیریت و پتانسیل‌یابی مناسب آب زیرزمینی در این نواحی است (Khamis Abadi, Manshori, Sayadi & Salari, 2012)



شکل ۱- محدوده مطالعاتی و مخروط افکنه‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی

Fig.1. Study area and alluvial fans of The Southern slopes of central Alborz

۲-۲- روش انجام پژوهش

با توجه به این‌که هدف اصلی این پژوهش ارتباط ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها با پارامترهای آب زیرزمینی و تعیین شناسایی پتانسیل مناسب این منابع است، بنابراین نوع روش استفاده‌شده در این تحقیق با توجه به هدف از نوع کاربردی است. همچنین بر مبنای نحوه گردآوری اطلاعات نوع روش تعیین‌شده در این مقاله به صورت توصیفی و غیر آزمایشگاهی است. با توجه به این‌که روش‌های توصیفی از انواع مختلفی برخوردار است و در این پژوهش نیز رابطه میان متغیرها به صورت مقایسه‌ای و برحسب هدف پژوهش تحلیل‌شده است، لذا نوع روش استفاده‌شده به صورت توصیفی همبستگی^۱ و توصیفی مقایسه‌ای (پس رویدادی)^۲ است؛

^۱ Correlational Research

بنابراین به جهت تهیه اطلاعات موردنیاز عمق سطح ایستابی، انحراف معیار تغییرات زمانی سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی ۵۸۷ حلقه چاه شرب، کشاورزی و شهری از سازمان منابع آب کشور برحسب آخرین دوره آماربرداری سرسری چاه‌های آب ایران (دور دوم) از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ تهیه شد. درواقع دبی آب قابل‌برداشت چاه‌ها به همراه عمق سطح ایستابی دو پارامتر مهم در شناسایی پتانسیل بهره‌برداری آب زیرزمینی می‌باشند (Yari, Soltani-Gerdefaramarzi & Ghasemi, 2019). همچنین هدایت الکتریکی به‌عنوان یک شاخص مهم در تعیین میزان غلظت پارامترهای کیفی و املاح و یون‌های آب در تشخیص کلی کیفیت آب زیرزمینی از اهمیت بالایی برخوردار است. بعد از ترسیم محدوده مخروط افکنه‌ها، میانگین عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه‌ها و هدایت الکتریکی در هر محدوده تفکیک و به‌وسیله متد درون‌یابی کریجینگ^۱ پهنه‌بندی و محاسبه گردید (شکل ۲). سپس مرز ۲۳ مخروط افکنه برحسب تغییرات منحنی‌های میزان و انطباق آن با شکستگی‌های نیمرخ ارتفاعی در محدوده رسوب‌گذاری هر رودخانه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لند ست ۸ و نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی در نرم‌افزار Arc Gis 10.5 ترسیم گردید. برای ارزیابی میزان اثرگذاری مخروط افکنه‌ها بر آب‌های زیرزمینی از پارامترهای مورفومتری ذیل استفاده شد که شامل: مساحت مخروط افکنه به کیلومتر، شعاع مخروط به متر، زاویه جاروب (رابطه ۱)، ارتفاع رأس مخروط افکنه به متر، ارتفاع قاعده مخروط افکنه به متر، میزان ناهمواری مخروط (اختلاف ارتفاع قاعده از رأس مخروط افکنه) طول مخروط به متر، شیب مخروط افکنه به درجه، تقعر مخروط افکنه (شعاع مخروط / ضلع H)، طول قاعده مخروط به متر و حجم مخروط افکنه. همچنین به‌منظور استخراج حجم مخروط (V) از رابطه ۲ استفاده شده است که پارامترهای آن عبارت‌اند از R^2 : شعاع مخروط به متر، H: اختلاف ارتفاع رأس و قاعده مخروط به متر، S: زاویه جاروب مخروط افکنه π معادل

۳/۱۴

رابطه (۱)

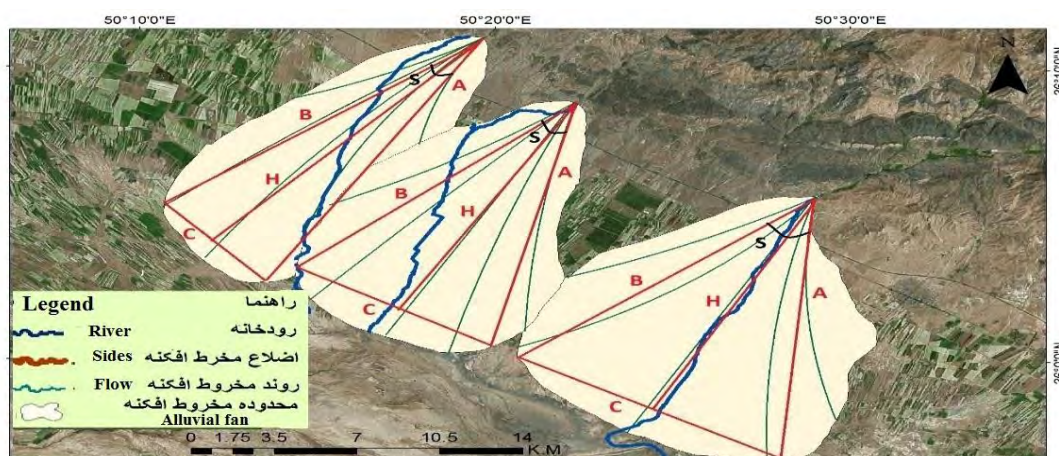
$$S = \cos^{-1} \left[\frac{a^2 + b^2 - c^2}{2 * ab} \right]$$

رابطه (۲)

$$v = \left[\frac{\pi * R^2 * H}{3} \right] * \left[\frac{s}{360} \right]$$

² Ex-Post Facto

¹ Kiriging



شکل ۲- نمونه ترسیم هندسی مخروط افکنه‌ها جهت انجام محاسبات مورفومتری

Fig.2. samples of geometric drawing of alluvial fans for performing morphometric calculations

در این مقاله پس از استخراج داده‌های مورفومتری، ابتدا نقشه‌های هم‌ارزش دبی، سطح ایستابی و هدایت الکتریکی تهیه و برای هر مخروط افکنه ترسیم شد و برحسب اطلاعات چاه‌های آب موجود در هر یک از مخروط افکنه‌ها (به‌صورت مجزا) ارتباط بین ویژگی‌های مخروط افکنه و پارامترهای آب زیرزمینی ارزیابی شد. همچنین به‌منظور طبقه‌بندی مورفومتری مخروط افکنه‌ها از تحلیل خوشه‌ای سلسه‌مراتبی^۱ در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ استفاده گردید و نمودار درختی آن ترسیم شد (شکل ۳). به‌طورکلی تحلیل خوشه‌ای تلاش می‌کند گروه‌های نسبتاً همگن از متغیرها را بر اساس خصوصیات انتخاب‌شده شناسایی کند. این روند از الگوریتمی استفاده می‌کند که با هر متغیر در خوشه‌ای جداگانه کار را شروع کرده و خوشه‌ها را تا جایی ترکیب می‌کند که تنها یک خوشه باقی بماند (Shariat Panah & Ranjbari, 2005) در سطح‌بندی مکان‌ها به روش تحلیل خوشه‌ای درواقع یک سطح شباهت زیادی به همدیگر داشته اما تفاوت قابل توجهی با مکان‌های سطوح دیگر دارند (Hekmatnia & Mousavi, 2006) معادله ۳ محاسبه فاصله اقلیدسی خوشه‌بندی سلسه‌مراتبی را نشان می‌دهد.

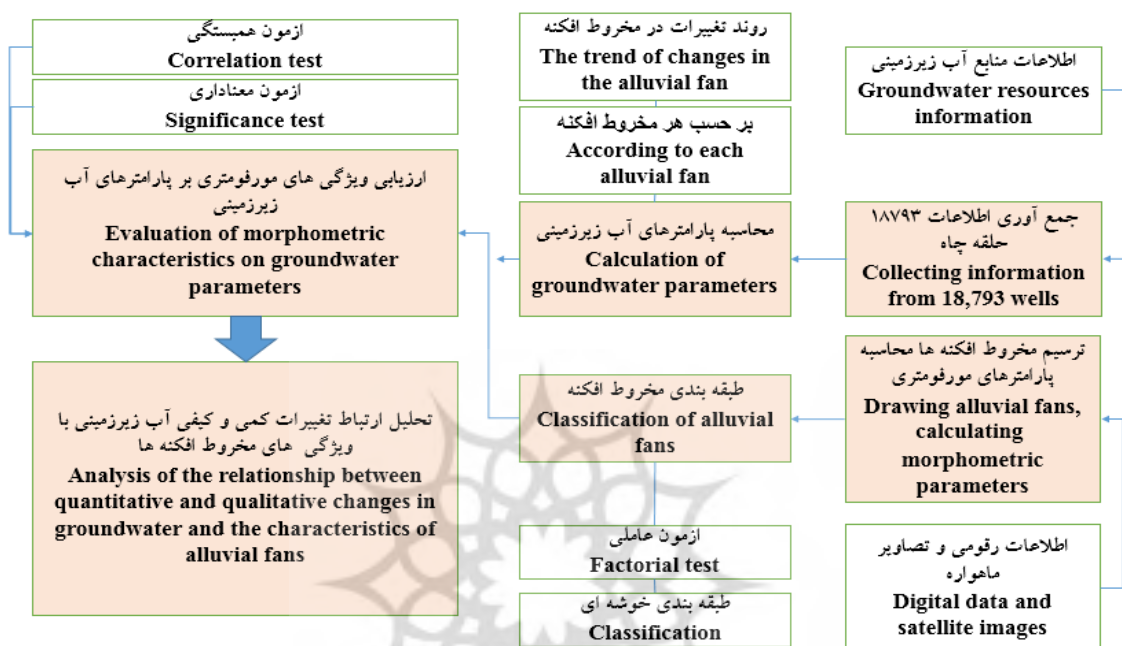
رابطه (۳)

$$(d(a)) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}$$

در فرمول شماره ۳ $d(a)$ فاصله اقلیدسی در هر پارامتر آب زیرزمینی است و x و y مقدار عددی و مقدار متغیرها است. جهت تعیین مهم‌ترین عامل مورفومتری از آزمون تحلیل عاملی به روش عاملی تأییدی استفاده گردید. همچنین با توجه به نا پارامتریک و یا پارامتریک بودن داده‌های هر خوشه به‌وسیله آزمون معناداری

¹ HCA

کروسکال-والیس و واریانس یک‌طرفه، میزان معناداری پارامترهای آب زیرزمینی در هر خوشه مشخص گردید. در ادامه هر خوشه تفکیک شده به صورت مجزا به وسیله آزمون همبستگی پیرسون مورد ارزیابی قرار گرفت و میزان همبستگی پارامترهای مورفومتری هر خوشه با تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی آن خوشه سنجیده شد.



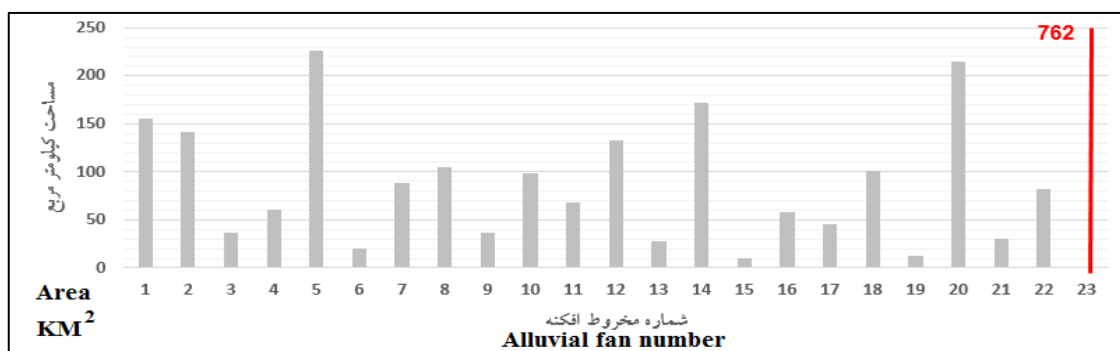
شکل ۳- مراحل انجام تحقیق

Fig.3. the research steps

۳- نتایج و بحث

۳-۱- مورفومتری مخروط افکنه ها

مخروط افکنه های مورد مطالعه در دشت های جنوبی البرز مرکزی شامل ۲۳ مخروط افکنه اصلی است. اندازه مخروط افکنه ها در منطقه مورد مطالعه با توجه به وجود مخروط افکنه های تکامل یافته و مخروط افکنه های کوچک دارای پراکنش مختلف است.



شکل ۴- پراکندگی مخروط افکنه‌ها بر اساس میزان مساحت

Fig.4. Distribution of alluvial fans based on their areas

با توجه به جدول ۱ بزرگ‌ترین مخروط افکنه منطقه مورد مطالعه بر روی رودخانه تهران کرج تشکیل شده (مخروط افکنه شماره ۲۳) که مساحت آن برابر ۷۶۲ کیلومترمربع است. همچنین مخروط افکنه‌های ۵ و ۲۰ همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده است بعد از مخروط افکنه شماره ۲۳ بزرگ‌ترین مساحت در منطقه را با وسعت ۲۲۵ و ۲۱۵ کیلومترمربع دارا هستند. مخروط افکنه شماره ۱۱ با مساحت ۶/۸ کیلومترمربع کوچک‌ترین مخروط افکنه در منطقه بوده محسوب می‌شود. بیشترین حجم مربوط به مخروط افکنه شماره ۲۰ با میزان ۳۴۴۴ مترمکعب بوده (شکل ۴) و کمترین حجم نیز مربوط به مخروط افکنه شماره ۱۱ و ۶ است. لازم به توضیح بوده که مخروط افکنه شماره ۲۳ اگرچه بیشترین مساحت را نسبت به سایرین دارا است اما مخروط افکنه شماره ۲۰ به دلیل شکل بادبزی و تقعر ۱/۵ متری سطح آن دارای بیشترین حجم رسوب است. با توجه به اینکه اختلاف ارتفاع رأس مخروط از قاعده مخروط نشان‌دهنده میزان ناهمواری سطح مخروط افکنه‌ها است، می‌توان بیان نمود که این پارامتر از جمله عامل‌های مورفومتری مهم در مخروط افکنه‌ها بوده که می‌تواند در زمان نفوذپذیری و تشکیل آبخوان بسیار مهم باشد. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود کمترین میزان اختلاف رأس از قاعده مخروط افکنه مربوط به مخروط افکنه‌های شماره ۱۸ بوده که میزان آن برابر ۴۷۰ متر است. زاویه جاروب نیز از دیگر پارامترهایی است که تا حدودی نشان‌دهنده نقش تراکم انشعاب در رأس مخروط افکنه است و بیشترین زاویه جاروب مربوط به مخروط افکنه شماره ۲۰ است. تقعر مخروط افکنه یکی پارامترهای تعیین‌کننده ضخامت و سبزی رسوب و ظاهر مخروط افکنه‌ها است. بیشترین تقعر مخروط افکنه مربوط به مخروط شماره ۲۳ و کمترین میزان تقعر مربوط به مخروط شماره ۲۰ است.

جدول ۱- ویژگی‌های مورفومتری و خوشه‌بندی مخروط افکنه‌ها

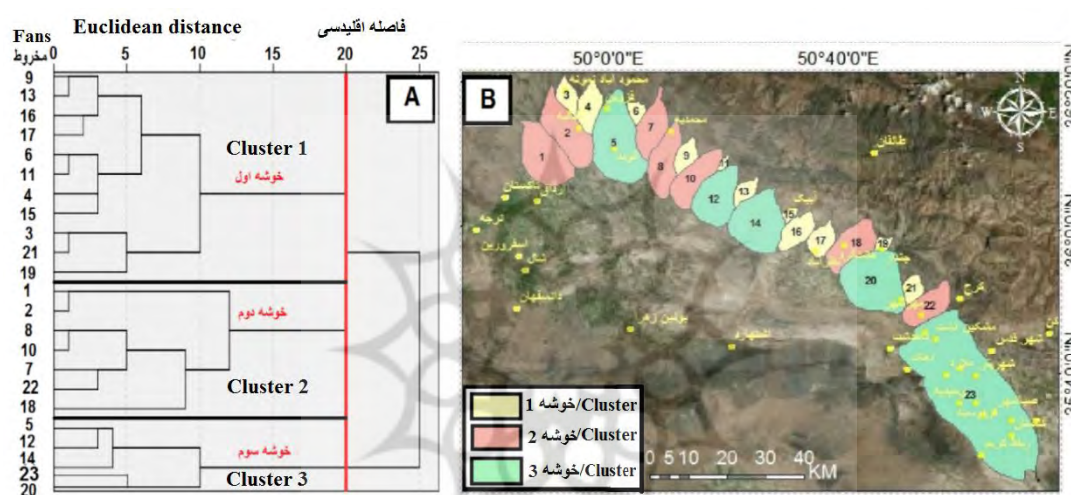
Table 1- Morphometric characteristics and clustering of alluvial Fans

ردیف	اسم رودخانه Name of the river	خوشه‌بندی cluster	شیب slope(degree)	حجم Volume	شعاع radius(M)	زاویه جازوب Acute Angle(degree)	طول قاعده Length of Base(M)	اختلاف ارتفاع Height difference(M)	ارتفاع قاعده Height of the Base(M)	ارتفاع رأس Head height(M)	طول Length(M)	مساحت Area(k.m ²)
1	چهرود Chehrud-	2	3	0.13	4.1	27.0	9275	89	1226	1315	19614	156.06
2	میانه Meyaneh-	2	3.5	0.23	4.2	22.9	11981	167	1224	1391	23259	141.9
3	نمونه Nmoneh-	1	4.2	0.28	2.1	42.5	7993	178	1286	1464	11789	37.02
4	اروس آباد Arosabad-	1	4.5	0.08	4.1	24.8	10645	151	1252	1403	14300	61.41
5	قزوین Qazvin-	3	4.9	0.75	3.3	33.7	16472	187	1204	1391	22790	225.9
6	عشرکار Ashrkar-	1	6	0.02	3	36.7	5509	108	1280	1388	6613	19.83
7	هفت چشمه Haft cheshmeh-	2	5.8	0.31	3.9	23.4	13903	318	1225	1543	19518	87.98
8	محمدیه Muhamma diyah-	2	5.4	0.04	4.7	7.0	10978	212	1182	1394	20428	105.2
9	آب مدام Abmadam-	1	6.3	0.06	3.7	30.0	8260	164	1208	1372	10795	35.93
10	کبیر- Kabir-	2	6	0.16	5	22.7	7971	222	1170	1392	18311	99.09
11	فالیزان Falizan-	1	5.3	0.01	4	26.0	5513	145	1266	1411	5630	6.83
12	بهبخت آباد Behjatabad -	3	6	0.6	2.9	37.8	11916	223	1149	1372	16891	132.91
13	جزمه Jazmeh-	1	5.9	0.11	3.1	29.2	8671	219	1186	1405	10472	27.9
14	زیاران Zeyaran-	3	5.2	1.79	2.1	52.3	17682	237	1144	1381	16723	171.84
15	آبیک Abyek-	1	4.4	0.03	3	37.2	4509	150	1195	1345	5499	10.24
16	چمپور Champur-	1	4.5	0.14	3.5	32.6	12370	212	1153	1365	12909	58.29
17	هیو- Heev-	1	4.9	0.27	2.8	39.2	7720	251	1190	1441	10391	45.52
18	هشتگرد Hashtgerd-	2	5.1	0.23	5.2	21.6	2733.5	480	1208	1688	16023	101
19	چندار Chandar-	1	4.6	0.09	2.3	46.5	1737.5	216	1378	1594	6519	12.76
20	کردان Kordan-	3	4.1	3.44	1.5	68.8	9078.5	209	1245	1454	17481	215.54

30.34	8955	1449	1243	206	8982	47.2	2276.5	2.3	0.15	4.5	1	کهریز Kahriz-	21
82.22	15443	1554	1246	308	6659	22.1	2713	5.1	0.15	4.3	2	چهاردانگ- Chahar Dangeh	22
762.06	47081	1369	992	377	24620	20.3	7295.5	5.3	1.18	3.9	3	کرج- Karaj	23

۳-۲- طبقه‌بندی ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها

مخروط افکنه‌ها از لحاظ خصوصیات مورفومتری به سه خوشه طبقاتی اصلی قابل تقسیم می‌باشند (شکل ۵). از میان خوشه‌های مورفومتری تفکیک شده ۱۱ مخروط افکنه در خوشه اول، ۷ مخروط افکنه در خوشه دوم و ۵ مخروط افکنه در خوشه سوم واقع شده است.



شکل ۵- طبقه‌بندی خوشه‌ای ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها (شکل A: نمودار درختی خوشه‌بندی

مورفومتری مخروط افکنه‌ها، شکل B: پراکندگی مخروط افکنه‌ها بر اساس تفکیک خوشه‌ای)

Fig.5. Cluster classification of alluvial fan morphometric features (Figure A: Tree diagram of morphometric clustering of alluvial fans, Figure B: Distribution of alluvial fans based on cluster separation)

خوشه‌های اول، دوم و سوم به ترتیب با ۸۱، ۸۵ و ۹۴ درصد اثرگذاری پارامترهای مورفومتریک مخروط افکنه‌ای از یک دیگر تفکیک شده‌اند در واقع عامل تفکیک مخروط افکنه‌ها از یکدیگر پارامترهای مورفومتری آن‌ها می‌باشد و هر خوشه با تجانس خصوصیات از یکدیگر جدا شده است. حال با توجه به موارد بیان شده مهم‌ترین عامل در هر خوشه موردبررسی قرار گرفت. خوشه اول عموماً شامل مخروط افکنه‌های کوچک و مخروط افکنه‌هایی میانی بوده و پراکندگی این مخروط افکنه‌ها در تمام منطقه از شرق تا غرب منطقه مطالعاتی دیده می‌شود. لازم به توضیح است که مخروط افکنه‌های موجود در نواحی خشک و نیمه‌خشک برخلاف دارای مخروط افکنه‌های میانی کوچک‌تری هستند که در بین مخروط افکنه‌های

بزرگ‌تر قرار گرفته و علت این موضوع را می‌توان وجود حوضه‌های آبریز فرعی و کوچک‌تر در بین دو حوضه آبریز بزرگ رودخانه‌های فصلی، سیلابی و اقلیم منطقه دانست. به‌طور کلی میانگین پارامترهای مورفومتری در خوشه اول نسبت به خوشه دوم و سوم کوچک‌تر است به‌طور مثال در خوشه اول پارامترهای مساحت، شعاع و طول قاعده به ترتیب با میانگین ۳۱ کیلومتر مربع، ۲۲۰۳ و ۹۴۴۲ متر دارای کمترین اندازه نسبت به خوشه دوم و سوم است همچنین طول مخروط افکنه‌ها با میزان ۹۴۴۲ متر کمترین میانگین را در میان دو خوشه دیگر دارد (جدول، ۲). با بررسی آزمون عاملی خوشه اول مشخص گردید که مؤلفه اول خوشه اول با ۲۹ درصد توجیه‌پذیری دارای بیشترین نمره در عامل‌های ارتفاع رأس مخروط و ارتفاع قاعده مخروط افکنه می‌باشد (جدول ۴). همچنین مؤلفه دوم خوشه اول با ۲۸ درصد توجیه‌پذیری در تفکیک خوشه‌ها، دارای بیشترین نمره در عامل‌های مساحت، شعاع و طول قاعده است. مؤلفه سوم خوشه اول نیز با ۲۴ درصد دارای بیشترین نمره در عامل طول مخروط افکنه است.

مخروط افکنه‌های موجود در خوشه دوم نیز دارای پراکندگی در کل منطقه است اما در بخش غربی منطقه (محدوده شمال دشت قزوین) تجمع بیشتری دارند. همان‌طور که در جدول ۳ نمایش داده شده، مؤلفه اول خوشه دوم با توجیه‌پذیری ۴۱ درصد عامل اصلی تفکیک این خوشه می‌باشد و عامل مساحت، طول، شعاع و اختلاف ارتفاع رأس از قاعده بیشترین نمره عاملی در این مؤلفه را دارند. لازم به توضیح است که پارامتر میانگین ارتفاع رأس و تقعر به ترتیب برابر با میانگین ۱۴۶۸ متر و ۴/۶ دارای بیشترین اندازه نسبت به دو خوشه اول و سوم است. لازم به توضیح است که میانگین زاویه جاروب در مخروط‌های خوشه دوم کمترین درجه را نسبت به زاویه جاروب مخروط‌ها افکنه‌های خوشه‌های دیگر دارد.

جدول ۲- میانگین، پیشینه و کمینه خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه‌ها در هر خوشه

Table 2- Average, maximum and minimum morphometric characteristics of alluvial cones in each cluster

خوشه سوم- Cluster three			خوشه دوم- Cluster two			خوشه اول- Cluster one			مخروط مورفومتری
کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	کمینه	میانگین	بیشینه	افکنه
Minimum	Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum	Minimum	Mean	Maximum	Morphometry of alluvial fan
132.9	301.6	762	82.2	110.4	156	6.8	31.4	61.41	مساحت Area(Km ²)
16723	24193	47081	15443	18942	23259	5499	9442	14300	طول Length (m)
1369	1393	1454	1315	1468	1688	1345	1421	1594	ارتفاع رأس Head height(m)
992	1147	1245	1170	1211	1264	1153	1239	1368	ارتفاع قاعده Height of the Base(m)
187	24.6	377	89	256.5	480	108	181.8	251	اختلاف ارتفاع Height

									difference(m) طول قاعده
11916	18739	24620	6659	9987	13903	4509	7832	12370	Length of Base(m)
20.3	42.5	68.8	7	20.9	27	24.8	35.6	47.2	زاویه جاروب Acute Angle (degree)
4968	69.53	9078	2713	3510	4533	897.5	2203	3561	شعاع Radius(M)
1.5	3.02	5.3	3.9	4.6	5.2	2.1	3.08	41	تقعر Concavity
0.06	1.5	3.44	0.04	0.17	0.31	0.01	0.11	0.28	حجم Volume- (KM ³)
3.9	4.8	6	3	4.7	6	4.2	5	6.3	شیب slope (degree)

جدول ۳- نتایج آزمون عاملی مخروط افکنه‌ها برحسب تفکیک خوشه‌ای
Table 3-Results of the alluvial fan factor test according to Clustering

خوشه اول			خوشه دوم		خوشه سوم			مخروط افکنه مورفومتری	
Cluster one			two		Cluster three			Morphometry of alluvial fan	
مؤلفه ۳	مؤلفه ۲	مؤلفه ۱	مؤلفه ۲	مؤلفه ۱	مؤلفه ۳	مؤلفه ۲	مؤلفه ۱		
Factor3	Factor2	Factor1	Factor2	Factor1	Factor3	Factor2	Factor1		
0.25	0.96	0.002	0.38	0.78	0.06	0.92	-0.025	بار عاملی	مساحت
								factor score	Area(Km²)
0.13	0.98	0.37	-0.17	-0.78	0.91	0.12	0.19	بار عاملی	طول
								factor score	Length (m)
0.79	-0.53	-0.01	0.17	0.96	0.1	-0.01	0.87	بار عاملی	ارتفاع رأس
								factor score	Head height(m)
0.18	-0.93	0.82	0.82	0.06	0.33	-0.28	0.79	بار عاملی	ارتفاع قاعده
								factor score	Height of the Base(m)
0.18	0.93	-0.02	0.005	0.98	0.66	0.39	0.22	بار عاملی	اختلاف ارتفاع
								factor score	Height difference(m)
0.85	0.51	0.93	-0.11	-0.1	0.12	0.85	-0.28	بار عاملی	طول قاعده
								factor score	Length of Base(m)
0.55	-0.79	0.12	0.83	0.01	0.49	-0.12	0.77	بار عاملی	زاویه جاروب
								factor score	Acute Angle(degree)
0.99	-0.02	0.53	0.34	-0.74	0.44	0.81	0.12	بار عاملی	شعاع
								factor score	Radius(m)
-0.25	0.94	-0.77	-0.022	0.53	-0.61	0.11	-0.072	بار عاملی	تقعر
								factor score	Concavity
0.9	-0.35	0.69	0.47	0.46	0.65	0.59	0.32	بار عاملی	حجم
								factor score	Volume(KM³)
-0.84	-0.48	0.2	-0.71	0.57	0.06	-0.52	0.57	بار عاملی	شیب
								factor score	slope (degree)
39	55	22	22	41	34	28	29	درصد واریانس-Percentage of variance	
	94		85			81		درصد کل تجمع-Cumulative percentage	

*رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

به غیر از پارامترهای ذکر شده اکثر پارامترهای مورفومتری در خوشه دوم دارای اندازه متوسط می‌باشد. درواقع میانگین پارامترهای این خوشه از خوشه اول بزرگ‌تر بوده و از خوشه سوم کوچک‌تر می‌باشد. خوشه سوم که شامل ۵ مخروط افکنه بزرگ بوده اکثراً بر روی رودخانه‌های اصلی و مشهور منطقه دیده می‌شود (شکل ۵). در خوشه سوم بارزترین مؤلفه‌ای که سبب تفکیک این خوشه از سایرین شده مؤلفه دوم با توجیه‌پذیری ۵۵ درصد است. بیشترین نمره عاملی در این مؤلفه مربوط به عامل‌های مساحت، طول، ارتفاع قاعده، اختلاف ارتفاع و تقعر است. اکثر مخروط افکنه‌های موجود در این خوشه نسبت به دو خوشه دیگر دارای بیشترین میانگین و ابعاد می‌باشند به‌طور مثال مؤلفه مساحت با میانگین ۳۰۱ کیلومتر مربع و طول مخروط با میانگین ۲۴۱۹۳ متر و همچنین حجم با میانگین ۱/۵ کیلومتر مکعب بیشترین اندازه و ابعاد را نسبت به دو خوشه دیگر دارند. ارتفاع قاعده مخروط افکنه‌های خوشه سوم با میانگین ۱۱۴۶ متر کمترین ارتفاع را در میان سایر خوشه‌ها دارد.

۳-۳- آب زیرزمینی

با توجه به جدول ۴ میزان دبی آب چاه در محدوده مطالعاتی تهران مربوط به سازمان منابع آب ایران (۱۴۰۰) از شرقی‌ترین مخروط افکنه (رودخانه کرج) به سمت غربی‌ترین مخروط افکنه (رودخانه چهرود) در حال افزایش است. همان‌طور که در نمودار شکل ۶ قابل تشخیص است، مخروط افکنه‌های کوچک و بزرگ (میان مخروط‌ها و مخروط افکنه‌های کامل) تقریباً از بعد از رودخانه زیاران (در نزدیکی شهر آبیک استان قزوین) دچار تغییر در میزان دبی آب چاه قابل برداشت از چاه‌ها می‌شوند.

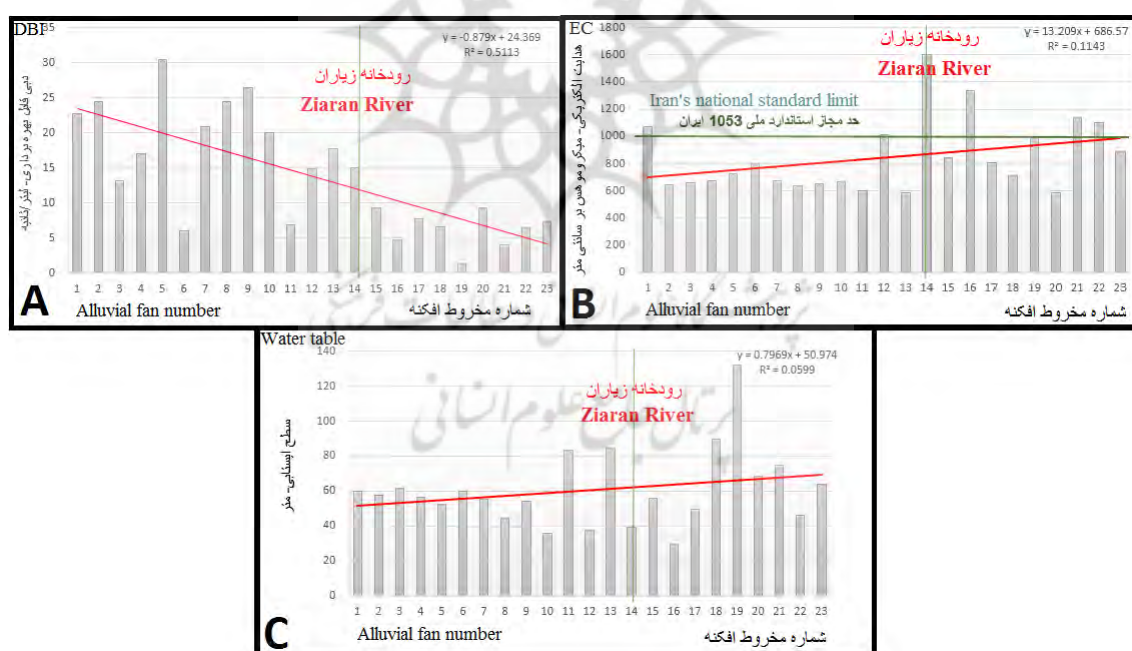
جدول ۴- وضعیت پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های منطقه مورد مطالعه

Table 4- Status of Groundwater parameters in alluvial fan of the Case studies

شماره مخروط	عمق سطح ایستابی	دبی	هدایت الکتریکی	شماره مخروط	عمق سطح ایستابی	دبی	هدایت الکتریکی
Number of alluvial Fans	depth of the water table	DBI l/s	EC- μ mho/cm	Number of alluvial Fans	depth of the water table	DBI l/s	EC- μ mho/cm
1	60	22.7	1074	13	84.5	17.8	588
2	57.3	24.5	643	14	39.2	15	1606
3	61.8	13.2	659	15	55.6	9.4	846
4	56.5	17.1	678	16	29.3	4.8	1336
5	52.5	30.5	727	17	49.7	7.8	805
6	59.6	6.1	800	18	89.9	6.7	711
7	55.4	20.9	673	19	132.3	1.3	988
8	44.2	24.5	641	20	68.3	9.4	590
9	54.2	26.5	653	21	74.6	4	1139
10	35.7	20.1	668	22	46.3	6.5	1101
11	83.3	6.9	602	23	63.8	7.3	892
12	37.4	14.9	1017				

همچنین چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های شرقی (شرق رودخانه زیاران) دارای میانگین دبی آب چاه ۷.۲ لیتر بر ثانیه بوده و این میزان با اختلاف تقریباً دو برابری در مخروط‌های غربی (غرب رودخانه زیاران) دارای میانگین دبی ۱۹ لیتر بر ثانیه است.

عمق سطح ایستابی می‌تواند تحت تأثیر خصوصیات مورفومتری مخروط افکنه‌ها و به‌طور کلی مورفومتری دشت باشد؛ زیرا عمق سطح ایستابی به عواملی نظیر نوع و ضخامت رسوب، مورفوتکتونیک منطقه و ساختار رودخانه‌ها وابسته است که ارتباط مستقیمی با مورفومتری مخروط افکنه‌ها دارد. با توجه به جدول ۴ و نمودار ۶ مشاهده می‌شود که میانگین عمق سطح ایستابی تا سطح زمین در غرب منطقه (غرب رودخانه زیاران) برابر با ۵۵/۸ متر بوده که نسبت به میانگین عمق سطح ایستابی نواحی شرقی رودخانه زیاران (۶۷/۷ متر) دارای میانگین کمتری است. در واقع تشکیل پلایا و حوضچه‌های انتهایی در خط پایان دشت غربی سبب بالا آمدن سطح ایستابی در این منطقه گردیده است. پارامتر هدایت الکتریکی به‌عنوان یک شاخص مهم در تشخیص وضعیت کلی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه به غلظت آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در آب زیرزمینی وابسته است و با افزایش غلظت آن‌ها افزایش می‌یابد.



شکل ۶- روند تغییرات مکانی پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌ها

A: دبی آب چاه، B: هدایت الکتریکی، C: عمق سطح ایستابی

Fig.6. Spatial trends of Groundwater parameters in alluvial fans

A: Well water discharge, B: Electrical Conductivity, C: Water table depth

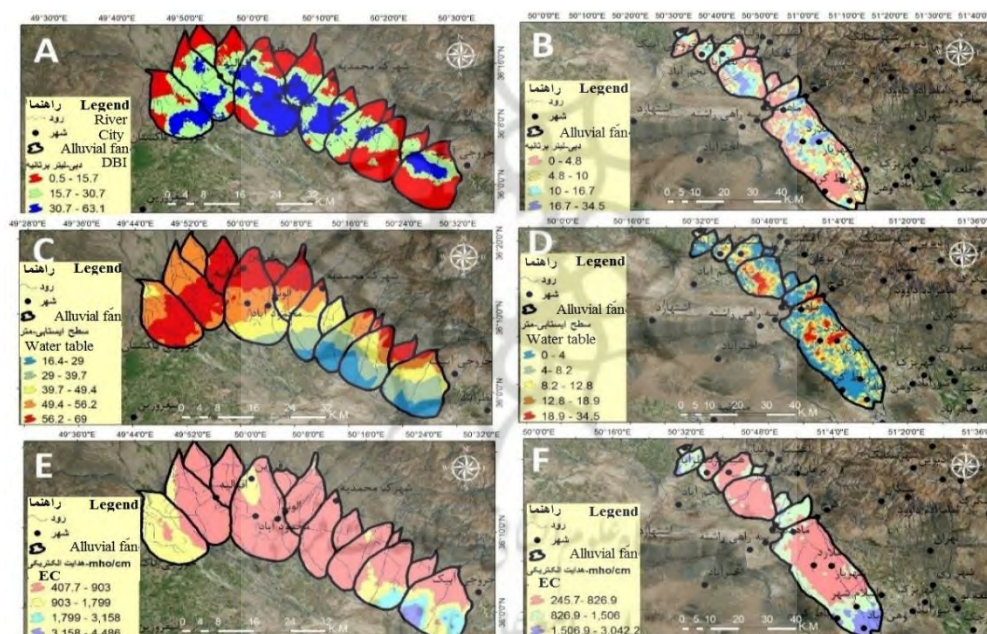
با توجه به روند تغییرات هدایت الکتریکی آب زیرزمینی مشخص گردید تغییرات میزان هدایت الکتریکی با یک شیب ملایم در قبل و بعد از رودخانه زیاران باهم متفاوت بوده، به صورتی که با حرکت از غرب به سمت شرق منطقه میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی افزایش می‌یابد. در تبیین این موضوع می‌توان گفت که علاوه بر تأثیرگذاری عوامل انسانی و طبیعی (نظیر وجود سازندهای تبخیری گچی و نمکی) بر تغییرات کیفیت آب زیرزمینی نواحی شرقی منطقه، وضعیت کمیت آب زیرزمینی و همچنین نزدیکی سطح ایستابی به سطح زمین نیز بر تغییرات مکانی هدایت الکتریکی تأثیرگذار است. درواقع با کاهش کمیت و فقر آبدهی چاه میزان غلظت املاح موجود در آب افزایش یافته و با کاهش عمق سطح ایستابی تا سطح زمین نیز نقش فرایندهای موئینگی^۱ و کاهش خود پالایی خاک (به دلیل کاهش ستبرای و ضخامت خاک) بیشتر می‌گردد، درنتیجه سبب شوری آب و افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی می‌شود؛ بنابراین به‌منظور تأیید این موضوع مشخص گردید که میزان آبدهی چاه‌ها و عمق سطح ایستابی در چاه‌های شرقی ۷/۲ لیتر بر ثانیه و ۵۵ متر بوده در صورتی که این میزان در چاه‌های غربی به ۱۸/۲ لیتر بر ثانیه و ۶۷ متر افزایش داشته است. لازم به توضیح است که افزایش میزان هدایت الکتریکی در آب چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌ها منطقه سبب شده تا در برخی مناطق بالاتر از حد استاندارد ملی ۱۰۵۳ قرار گیرد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص است مخروط افکنه شماره ۱۴ (زیاران) با میزان ۱۶۰۶ میکروموهس بر سانتی‌متر به دلیل هم‌جواری با حوضچه‌های نمکی و انتهایی دشت دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی است. همچنین از دلایل اصلی بالا بودن هدایت الکتریکی در مخروط افکنه‌های شماره ۱۲، ۱۴، ۱۶، ۱۹، ۲۱ و ۲۲ (مخروط افکنه رودخانه‌های چهرود، بهجت‌آباد، زیاران، چمپور، چندار، کهریز و چهاردانگه) می‌توان به تأثیر عوامل طبیعی و نقش عوامل آنتروپوژنیک به دلیل تمرکز سکونت‌گاه‌های انسانی و افزایش زمین‌های کشاورزی اشاره نمود. درواقع وجود فاضلاب‌های متعدد و همچنین استفاده از کودها و آبیاری‌های متعدد زمین‌های کشاورزی می‌تواند سبب شوری آب و همچنین افزایش هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در این منطقه شود.

۳-۴- ارتباط بین ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه و آب زیرزمینی

پیش از تعیین میزان تأثیرپذیری مخروط افکنه‌های موجود در خوشه‌های تفکیکی، بر پارامترهای آب زیرزمینی، ابتدا وضعیت مورفومتری لند فرم‌های مخروط افکنه ای به‌عنوان یک لند فرم مجزا از سایر مورفومتری لند فرم‌های موجود در منطقه مورد آنالیز قرار گرفت. بر این اساس و با توجه به جدول ۵ به‌منظور تعیین ارتباط بین تغییرات پارامترهای مورفومتری تمامی مخروط افکنه‌ها با تغییرات پتانسیل آب زیرزمینی منطقه، از آزمون همبستگی استفاده شد. به‌طورکلی میزان دبی چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌ها تا

¹ Capillarity

حدود بسیار زیادی نشان‌دهنده پتانسیل پایدار یا ناپایدار آب زیرزمینی جهت بهره‌برداری از این منابع است. نتایج آزمون همبستگی میزان دبی آب چاه با مورفومتری مخروط افکنه‌ها نشان داد پارامترهای مساحت، طول، طول قاعده و شعاع مخروط افکنه با دبی آب چاه همبستگی مثبت در حد ۹۵٪ دارد و با افزایش پارامترهای ذکرشده میزان دبی آب قابل‌برداشت از چاه‌ها افزایش می‌یابد. درواقع بزرگی مخروط افکنه‌ها از نظر طول و شعاع و همچنین بادبزی بودن آن‌ها به دلیل آنکه نشان‌دهنده تکامل یک مخروط افکنه بوده و بیانگر وجود شبکه‌های انشعاب قدیمی و جدید بسیار و همچنین توالی رسوب منظم است، می‌تواند ازجمله دلیل افزایش آبدی در این مخروط افکنه‌ها محسوب شود. همچنین پارامترهای ارتفاع رأس، ارتفاع قاعده و زاویه جاروب به‌عنوان یک عامل مهم در مدت و میزان نفوذپذیری آب در خاک دارای همبستگی منفی و قوی در حد ۹۹٪ با میزان دبی آب چاه بوده که نشانگر آن است که با کاهش میزان این پارامترها، میزان دبی آب چاه افزایش می‌یابد.



شکل ۷- پهنه‌بندی تغییرات پارامترهای آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های دشت‌های جنوبی البرز مرکزی
 A: پهنه‌بندی تغییرات دبی آب چاه در نواحی غربی B: پهنه‌بندی تغییرات دبی آب چاه در نواحی شرقی، C:
 پهنه‌بندی تغییرات سطح ایستابی در نواحی غربی، D: پهنه‌بندی تغییرات سطح ایستابی در نواحی شرقی، E: پهنه‌بندی
 هدایت الکتریکی در نواحی غربی، F: پهنه‌بندی هدایت الکتریکی در نواحی شرقی)

Fig.7. Zoning of groundwater parameter changes in the alluvial fan morphometric features A: Zoning of well water discharge changes in the western areas B: Zoning of well water discharge changes in the eastern areas, C: Zoning of water table changes in the western areas, D: Zoning of water table changes in the eastern areas, E: Zoning of electrical conductivity in the western areas, F: Zoning of electrical conductivity in the eastern areas)

به‌طورکلی و با توجه به توصیفات بیان‌شده می‌توان این‌گونه استنباط نمود که میزان آبدهی چاه‌ها در مخروط افکنه‌های بزرگ و کم ارتفاع با دهانه ورودی (زاویه جاروب) کوچک‌تر و بادبزی شکل و گرد بیشتر از سایر مخروط افکنه‌ها است. همان‌طور که در شکل ۷ آمده این مدل از مخروط افکنه‌ها در نواحی غربی منطقه مطالعاتی دارای پراکندگی بیشتری می‌باشند به‌طور مثال مخروط افکنه شماره ۵ که در محدوده شهر قزوین قرارگرفته ازجمله مخروط افکنه‌های ی است که به دلیل نوع مورفومتری خود نظیر مساحت (۲۲۶ کیلومتر مربع) و حجم زیاد (۰/۷۵ کیلومتر مکعب) و اختلاف ارتفاع نسبتاً مناسب (۱۸۷ متر) دارای بیشترین میزان آبدهی (۳۰ لیتر بر ثانیه) است. با توجه به جدول ۵ و برحسب آزمون همبستگی، تأثیر ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها بر میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی به دست آمد و مشخص گردید که پارامتر مورفومتری حجم و زاویه جاروب کل مخروط افکنه‌های محدوده مطالعاتی با میزان هدایت الکتریکی منطقه همبستگی مثبت در حد ۹۹٪ دارد. درواقع با افزایش میزان حجم و زاویه جاروب مخروط‌ها، میزان هدایت الکتریکی آب زیرزمینی نیز افزایش می‌یابد؛ اما نکته قابل‌توجه این است که میزان تقعر دارای رابطه منفی و نسبتاً قوی با هدایت الکتریکی بوده و با کاهش تقعر در یک مخروط میزان هدایت الکتریکی در آن افزایش می‌یابد.

جدول ۵-آزمون همبستگی میان پارامترهای مورفومتری مخروط افکنه‌ها و پارامترهای آب زیرزمینی

Table 5-Correlation test between alluvial fans morphometric parameters and Groundwater parameters

مخروط افکنه مورفومتری Morphometry of alluvial fan	میانگین کمینه سطح ایستایی minimum	میانگین بیشینه سطح ایستایی maximum	عمق سطح ایستایی depth of the water table	دبی DBI l/s	هدایت الکتریکی EC- μ mho/cm
مساحت Area (KM ²)	ضریب همبستگی Correlation میزان معنا دارای -Sig	-0.45 0.40	-0.41 0.03	0.62 0.001	0.22 0.16
طول Length(m)	ضریب همبستگی Correlation میزان معنا دارای -Sig	-0.37 0.15	-0.5 0.01	0.66 0.001	0.1 0.33
ارتفاع رأس Head height(m)	ضریب همبستگی Correlation میزان معنا دارای -Sig	0.25 0.13	0.56 0.004	-0.42 0.027	-0.1 0.32
ارتفاع قاعده Height of the Base(m)	ضریب همبستگی Correlation میزان معنا دارای -Sig	0.85 0.38	0.74 0.001>	-0.26 0.051	-0.22 0.16
اختلاف ارتفاع Height difference(m)	ضریب همبستگی Correlation میزان معنا دارای -Sig	-0.28 0.10	0.12 0.3	-0.22 0.16	0.034 0.44
طول قاعده Length of Base(m)	ضریب همبستگی Correlation میزان معنا دارای -Sig	-0.34 0.06	-0.42 0.028	0.52 0.008	0.33 0.073
زاویه جاروب Acute Angle(degree)	ضریب همبستگی Correlation	0.15	0.2	-0.42	0.55

	میزان معنا دارای Sig-	0.25	0.19	0.2	0.027	0.005
شعاع	ضریب همبستگی	-0.43	-0.014	-0.04	0.54	0.35
Radius (m)	Correlation					
	میزان معنا دارای Sig-	0.026	0.42	0.024	0.005	0.059
تقعر	ضریب همبستگی	-0.26	-0.074	-0.18	0.27	-0.36
Concavity	Correlation					
	میزان معنا دارای Sig-	0.12	0.37	0.2	0.11	0.05
حجم	ضریب همبستگی	-0.3	0.16	-0.29	0.18	0.57
Volume (KM ³)	Correlation					
	میزان معنا دارای Sig-	-0.093	0.023	0.095	0.21	0.003
شیب	ضریب همبستگی	0.027	0.17	-0.098	0.092	-0.25
Slope (degree)	Correlation					
	میزان معنا دارای Sig-	0.45	0.32	0.33	0.34	0.13

رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

همان‌طور که در جدول ۵ و شکل ۷ مشخص است میزان هدایت الکتریکی در جنوب مخروط افکنه زیاران (مخروط شماره ۱۴) با میزان ۱۰۶ دارای بیشترین میزان هدایت الکتریکی در میان سایر مخروط افکنه‌ها بوده که میزان زاویه جاروب و حجم آن بیشتر از سایرین بوده و میزان تقعر کمتر دارد. لازم به توضیح است که میانگین کل هدایت الکتریکی در محدوده مطالعاتی ۸۴۵ میکرو موهس بر سانتی‌متر بوده که اگرچه پایین‌تر از استاندارد ملی بوده و مطلوب است اما در محدوده حساس قرار دارد. به‌طور کلی شکل مورفومتری مخروط افکنه‌ها برحسب میزان ارتفاع و ناهمواری و همچنین ساختار تراکمی و نوع تمرکز در انشعاب آبراهه‌ها تا حدود زیادی در پیش‌بینی وضعیت کیفیت آبخوان منطقه مؤثر است. میانگین عمق سطح ایستابی با شعاع، طول و مساحت مخروط افکنه‌ها رابطه منفی و قوی در حد ۹۹٪ دارد که نشان‌دهنده آن است که با افزایش شعاع، طول و مساحت مخروط افکنه‌ها، عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کاهش پیدا می‌کند. همچنین ارتفاع رأس، ارتفاع قاعده و طول قاعده دارای رابطه مثبت در حد ۹۹٪ با عمق سطح ایستابی است. در حقیقت با افزایش شیب و وسعت قاعده مخروط افکنه‌ها عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کمتر می‌شود. همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است در نواحی غربی محدوده مطالعاتی به دلیل وجود رسوبات گسترده و مخروط افکنه‌های قدیمی فراوان، عمق سطح ایستابی تا سطح زمین بسیار زیاد است و در مناطق مرکزی (مخروط افکنه‌های ۱۴ تا ۹) به دلیل نزدیکی مخروط‌ها به چاله انتهایی دشت عمق سطح ایستابی تا سطح زمین کمتر است.

۳-۵- نقش ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه بر پارامترهای آب زیرزمینی هر یک از خوشه‌ها

با توجه به تأثیرپذیری آب زیرزمینی منطقه از خصوصیات مورفومتری کل مخروط افکنه‌ها (به‌عنوان یک لند فرم واحد)، می‌توان برحسب تفکیک خوشه‌ای مخروط افکنه‌ها وضعیت آب زیرزمینی در هر خوشه را نیز پهنه‌بندی نمود؛ بنابراین در این بخش میزان همبستگی هر یک از خوشه‌های ژئومورفیک با میانگین عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی محاسبه شد. نتایج نشان داد که خصوصیات

مورفومتری در مخروط افکنه‌ها عامل مهمی جهت شناسایی دبی مناسب آب چاه می‌باشند. بر این اساس به‌منظور تعیین نقش ویژگی‌های مورفومتری بر آب‌های زیر زمینی، میزان معناداری هر یک از خوشه‌ها با میانگین عمق سطح ایستابی، دبی آب چاه و میزان هدایت الکتریکی سنجیده شد (جدول ۶)، نتایج نشان داد که دبی چاه‌ها دارای اختلاف معنادار در حد ۹۵ درصد با تغییرات ویژگی‌های مورفومتری در هر خوشه است. کمترین میزان دبی آب چاه‌های مربوط به مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول بوده (۱۰/۴ لیتر بر ثانیه) که با توجه به خصوصیات مورفومتری بیان شده می‌توان گفت شیب زیاد و همچنین مساحت و طول کم این مخروط‌ها یکی از عوامل آبدهی پایین این خوشه می‌باشد. همچنین بیشترین میزان دبی آب چاه در مخروط افکنه‌های خوشه دوم با میزان ۱۸ لیتر بر ثانیه مشاهده می‌شود که از نظر مساحت، طول قاعده، طول، حجم و شعاع دارای میانگین متوسط نسبت به خوشه اول و سوم است (جدول ۶). لازم به ذکر است که پارامترهای هدایت الکتریکی و عمق سطح ایستابی به دلیل وجود فرض صفر و عدم اختلاف محسوس در میانگین خوشه‌ها نسبت به هم دارای معناداری نمی‌باشند.

جدول ۶- آزمون معناداری وضعیت تغییرات آب زیرزمینی برحسب طبقه‌بندی خوشه‌ای مخروط افکنه

Table 6- Significance test of groundwater changes according to classification of alluvial fan

پارامترهای پتانسیل آب زیرزمینی Groundwater potential parameters	خوشه Cluster	F	معنی دارای Sig	میانگین mean	کمینه Minimum	بیشینه Maximum
کمینه عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر Minimum water table depth(m)	1	2.74	0.088	45	14.7	87.4
	2			36	17.7	50.3
	3			25	16.4	34
بیشینه سطح ایستابی آب زیرزمینی - متر maximum water table depth(m)	1	1.39	0.27	66	48.2	111
	2			70	56.9	104
	3			85	61.3	128.5
میانگین عمق سطح ایستابی آب زیرزمینی mean water table depth(m)	1	0.41	0.66	59	39.2	105.4
	2			54	36.8	68.5
	3			51	37.1	68.6
انحراف معیار تغییرات سطح ایستابی standard deviation of the changes in the water table	1	0.16	0.84	5.6	2.2	12.7
	2			6.3	2.3	10.3
	3			5.7	3.85	7.19
دبی آب چاه - لیتر / ثانیه DBI(L/S)	1	3.48	0.05	10	1.3	26.5
	2			18	6.5	34.5
	3			15	7.3	30.5
هدایت الکتریکی - میکروموس / سانتی متر EC (μ mho/cm)	1	0.65	0.52	826	588	1336
	2			787	641	1101
	3			966	590	1606

رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

به‌منظور سنجش میزان اثرگذاری پارامترهای مورفومتری بر پارامترهای آب زیرزمینی در ابعاد کوچک‌تر و محلی، همبستگی پارامترها به‌صورت مجزا در هر یک از مخروط افکنه‌ها موردبررسی و آنالیز قرار گرفت (جدول ۷ و ۸) بر این اساس نتایج حاصله از تحلیل آماری ۱۱ مخروط افکنه موجود در خوشه اول نشان داد که تغییرات پارامتر شیب با تغییرات دبی دارای همبستگی قوی و منفی در بین مخروط افکنه‌های خوشه اول

جدول ۷-الگوی همستگی مورفومتری با پارامترهای آب زیرزمینی

(رنگ زرد همبستگی مستقیم (D)، رنگ آبی همبستگی معکوس (R)، رنگ سفید همبستگی ضعیف)

Table 7- Morphometric correlation pattern with groundwater parameters
(yellow color direct correlation (D), blue color reverse correlation (R), white color weak correlation)

خوشه سوم-سوم خوشه Cluster three-				خوشه دوم-دوم خوشه Cluster two-				خوشه اول-اول خوشه Cluster one-				مخروط مورفومتری
عمق	تغییرات	دبی	هدایت	عمق	تغییرات	دبی	هدایت	عمق	تغییرات	دبی	هدایت	افکنه
ایستایی	ایستایی	چاه	الکتریکی	ایستایی	ایستایی	چاه	الکتریکی	ایستایی	ایستایی	چاه	الکتریکی	Morphometry of alluvial fan
Depth	Changes	DBI	EC	Depth	Changes	DBI	EC	Depth	Changes	DBI	EC	
-	R	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	مساحت
												Area(m)
-	R	-	-	R	-	-	-	-	-	-	-	طول
												Length (m)
-	-	-	-	D	-	-	-	D	D	-	-	ارتفاع رأس
												Head height(m)
-	-	-	-	D	-	-	-	D	D	-	-	ارتفاع قاعده (m)
												Height of the Base (m)
-	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	اختلاف ارتفاع
												Height difference
D	R	-	-	-	-	-	-	-	-	-	D	طول قاعده
												Length of Base(m)
-	-	-	-	-	-	-	-	R	-	-	-	زاویه جاروب
												Acute Angle degree
D	-	-	-	-	D	-	-	-	-	-	-	شعاع
												Radius(m)
-	-	-	-	-	-	-	-	D	-	-	-	تقعر
												Concavity
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	حجم
												Volume (KM³)
R	R	-	-	-	R	-	-	-	-	R	-	شیب
												slope (degree)

نتایج همبستگی تغییرات سطح ایستابی با عوامل مورفومتريک خوشه اول در نواحی خشک و نیمه‌خشک غرب منطقه مورد مطالعه بیانگر این است که مساحت، شعاع طول و ارتفاع رأس مخروط افکنه دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۵٪ با میانگین عمق سطح ایستابی آب است؛ یعنی هرچه قدر پارامترهای مورفومتري فوق دارای میانگین بیشتری باشد میزان عمق سطح ایستابی تا سطح زمین نیز نسبت به مخروط افکنه‌های کوچک‌تر (خوشه اول) بیشتر خواهد بود که این امر می‌تواند به دلایلی از جمله بیشتر شدن مصرف سرانه آب زیرزمینی در مخروط افکنه‌های بزرگ‌تر با جمعیت‌های بیشتر باشد. همچنین شیب مخروط افکنه‌های خوشه دوم نیز با میانگین ۴۷٪ دارای همبستگی منفی و قوی با تغییرات سطح ایستابی بوده. علت این موضوع می‌تواند فعال‌تر بودن و تأثیرگذاری جریان‌ات هیدرولیکی زیرسطحی و زهکشی بر پایداری تغییرات در سراسر مخروط افکنه

باشد، همچنین با توجه به اینکه مخروط افکنه‌های موجود در خوشه دوم دارای ویژگی‌های مورفومتري متمایزی از یکدیگر نبوده میزان تغییرات هدایت الکتریکی و دبی قابل برداشت از چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های این خوشه نیز دارای همبستگی قوی با یکدیگر نیستند. این به معنا نزدیک بودن خصوصیات مورفومتري مورفومتري مخروط افکنه‌های خوشه دوم به یکدیگر است

خوشه سوم شامل ۵ مخروط افکنه بوده و مخروط افکنه‌های موجود در این خوشه تقریباً به صورت تکامل یافته و شکلی بادبزی دارند همبستگی تغییرات سطح ایستابی با عوامل مورفومتريک خوشه سوم بیانگر این است که طول قاعده، شعاع، مخروط افکنه دارای همبستگی مثبت و قوی در حد ۹۵٪ با میانگین عمق سطح ایستاب آب زیرزمینی است. همچنین مساحت، طول، اختلاف ارتفاع و شیب مخروط دارای همبستگی منفی و قوی در حد ۹۵٪ بوده است. با توجه به اینکه مخروط‌های موجود در خوشه سوم دارای ویژگی‌های ظاهری متمایزی از یکدیگر نبوده میزان تغییرات هدایت الکتریکی و دبی قابل برداشت از چاه‌های موجود در مخروط افکنه‌های این خوشه نیز دارای همبستگی قوی با یکدیگر نیستند. این به معنا نزدیک بودن خصوصیات مورفومتري مخروط افکنه‌های خوشه سوم به یکدیگر است.

جدول ۸ - آزمون همبستگی پارامترهایب زیرزمینی با ویژگی های مورفومتری مخروط افکنه ها برحسب خوشه های تفکیک شده

Table 8 - Correlation test of Groundwater parameters with morphometric characteristics of alluvial fans in terms of separated clusters

		خوشه اول-Cluster one					خوشه دوم-Cluster two					خوشه سوم-Cluster three				
مورفومتری مخروط افکنه Morphometry of alluvial fan		دبی چاه DBI	هدایت الکتریکی EC	عمق ایستایی depth	تغییرات ایستایی Changes	تغییرات ایستایی DBI	دبی چاه DBI	هدایت الکتریکی EC	عمق ایستایی depth	تغییرات ایستایی Changes	تغییرات ایستایی DBI	دبی چاه DBI	هدایت الکتریکی EC	عمق ایستایی depth	تغییرات ایستایی Changes	
مساحت Area	همبستگی	.081	.040	-.407	-.084	.590	.127	-.054	.859	-.44	-.184	.551	-.880			
	Correlation معنادارای Sig	.402	.450	.107	.403	.109	.405	.455	.007	.225	.383	.168	.060			
طول Length	همبستگی	.143	.312	-.318	-.100	.873	-.62	-.56	.021	-.33	-.195	.490	-.805			
	Correlation معنادارای Sig	.329	.162	.170	.385	.012	.095	.093	.482	.290	.377	.201	.098			
ارتفاع رأس Head height	همبستگی	-.384	-.04	.877	.670	-.68	.078	.667	-.254	-.14	-.536	.604	.150			
	Correlation معنادارای Sig	.109	.446	0.001	.012	.067	.442	.051	.291	.407	.176	.140	.425			
ارتفاع Height	همبستگی	-.305	-.10	.827	.462	-.49	.635	.813	.142	.438	-.271	-.03	.753			
	Correlation معنادارای Sig	.167	.378	.001	.076	.159	.088	.013	.381	.230	.330	.481	.124			
اختلاف ارتفاع Height differen	همبستگی	-.211	.018	.176	.388	-.58	-.13	.515	-.293	-.62	.096	.319	-.910			
	Correlation معنادارای Sig	.256	.478	.302	.119	.110	.403	.118	.262	.128	.439	.301	.045			
طول قاعده Length Base	همبستگی	.185	.351	-.280	-.111	.659	-.63	-.12	.338	-.55	-.313	.862	-.931			
	Correlation معنادارای Sig	.282	.132	.202	.372	.077	.088	.393	.229	.166	.304	.030	.034			
زاویه جاروب Acute angle	همبستگی	-.418	.483	.540	.112	-.21	.431	.414	.393	-.16	-.004	.103	.349			
	Correlation معنادارای Sig	.088	.05	.043	.371	.342	.196	.178	.192	.394	.498	.435	.326			
شعاع Radius	همبستگی	.207	.032	-.205	-.061	.684	-.17	-.19	.717	-.43	-.310	.782	-.361			
	Correlation معنادارای Sig	.260	.461	.273	.429	.067	.371	.340	.035	.235	.306	.059	.319			
تقعر Concavity	همبستگی	.205	-.29	-.484	-.095	-.59	.172	.132	-.452	-.08	-.114	.193	-.606			
	Correlation معنادارای Sig	.261	.172	.066	.390	.107	.372	.389	.155	.444	.428	.378	.197			
حجم Volume	همبستگی	-.096	.069	-.096	-.018	.009	-.23	.400	.259	-.48	-.213	.570	-.122			
	Correlation معنادارای Sig	.383	.416	.390	.479	.493	.326	.187	.287	.206	.365	.158	.439			
شیب slope	همبستگی	.477	-.45	-.161	.225	-.00	-.58	-.43	-.621	.395	.465	-.93	.818			
	Correlation معنادارای Sig	.05	.068	.318	.253	.494	.111	.165	.068	.255	.215	.011	.091			

رنگ قرمز به معنای معناداری در حد ۹۵ درصد و بیشتر است

۴- نتیجه‌گیری

آب زیرزمینی به‌عنوان یکی از شاخصه‌های مهم در توسعه محیط به شمار می‌آید و برنامه ریزان سرزمین توجه زیادی به شناسایی وضعیت کمی و کیفی این منابع دارند. به‌منظور مدیریت این منابع نیاز به شناسایی عوامل مؤثر بر آن بوده که در سال‌های اخیر توجه به لند فرم‌ها به‌عنوان یک عامل مؤثر بر نفوذپذیری و تغییرات آب‌های زیرزمینی از ارزش ویژه‌تری برخوردار گردیده است. یکی از لند فرم‌های مهم ژئومورفولوژی مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مخروط افکنه‌ها می‌باشند که برحسب ساختار خود، محیط بسیار مناسبی را برای ذخیره‌سازی آب زیرزمینی فراهم می‌آورد؛ بنابراین در این ویژگی‌های مورفومتری مخروط افکنه در دشت‌های جنوبی البرز مرکزی (کرج تا تاکستان) موردبررسی قرار گرفت و میزان تأثیرگذاری این ویژگی‌ها بر دبی قابل‌برداشت از چاه، میزان هدایت الکتریکی، تغییرات و عمق سطح ایستابی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش میانگین مساحت، طول مخروط طول قاعده و شعاع مخروط افکنه میزان دبی قابل‌برداشت آب زیرزمینی نیز افزایش یافته و با کاهش مقادیر پارامترهای مورفومتری ارتفاع رأس، زاویه جاروب، ارتفاع قاعده میزان دبی افزایش می‌یابد. یافته‌ها نشان داد در مخروط افکنه‌های ی که ارتفاع رأس و قاعده بیشتر از سایر مخروط افکنه‌ها است سطح ایستابی نیز به دلیل افزایش رسوب‌گذاری و ضخامت رسوب پایین‌تر از سطح زمین است. همچنین مشخص گردید که عمق سطح ایستابی با افزایش مساحت، طول، طول قاعده و شعاع مخروط افکنه‌ها به سطح زمین نزدیک‌تر می‌شود. با بررسی خوشه‌های مورفومتری تفکیک‌شده مشخص گردید که بیشترین میزان دبی آب چاه‌ها مربوط به خوشه دوم است. این خوشه از نظر مکانی در کل منطقه پراکندگی دارد؛ اما در غرب محدوده مطالعاتی دارای تراکم بیشتری است. مخروط افکنه‌های این خوشه نسبت به مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول و سوم از نظر مساحت، اختلاف ارتفاع، شعاع، طول قاعده و طول مخروط دارای ابعاد متوسط است و زاویه جاروب در این مخروط‌ها کمترین میانگین را نسبت به خوشه اول و سوم دارد. همچنین بیشترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به مخروط افکنه‌های موجود در خوشه سوم و کمترین میزان هدایت الکتریکی مربوط به خوشه دوم بوده که آبدهی مناسبی نیز دارد.

به‌منظور تعیین نقش پارامترهای مورفومتری در داخل هر خوشه، میزان همبستگی پارامترهای مورفومتری با پارامترهای آب زیرزمینی مخروط افکنه‌ها سنجیده شد. نتایج نشان داد در مخروط افکنه‌های موجود در خوشه اول (که دارای کمترین میزان آبدهی نسبت به دو خوشه دیگر) با افزایش میزان شیب، میزان دبی چاه افزایش می‌یابد. به‌طورکلی نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد خصوصیات ظاهری مخروط افکنه‌ها و

تفاوت در ویژگی‌های مورفومتری آن‌ها می‌تواند به‌عنوان یک شاخص مهم در ارزیابی پتانسیل آب‌های زیرزمین مورد استفاده قرار گیرد درواقع نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مطالعه بر روی لند فرم‌های ژئومورفیک پیش از انجام طرح‌های اجرایی می‌تواند سبب کاهش خطا در تعیین مکان مناسب جهت تغذیه آبخوان یا حفر چاه آب زیرزمینی شود. همچنین از نظر کاربردی نیز استفاده از شاخص‌های ژئومورفولوژی برخلاف روش‌های مرسوم شناسایی منابع آب زیرزمینی نظیر ژئوالکتریک از نظر زمانی و مالی به‌صرفه بوده و دارای پوشش مکانی وسیع‌تر و بدون نیاز به عملیات میدانی یا صحرایی است.

اکثر تحقیقات انجام‌شده در زمینه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی به فرم و شاخص‌های مورفومتری مخروط افکنه به‌عنوان یک شاهد مجزا نگاه نمی‌کند بلکه این لند فرم را به‌عنوان یک عامل اثرگذار یا وزنی در کنار سایر عوامل در نظر گرفته یا تنها یک شاخص از آن را مورد بررسی قرار می‌دهند؛ به‌عنوان مثال داس در پژوهش خود نقش پارامترهای ژئومورفیک نظیر مخروط افکنه‌ها، دشت سیلابی و ... را به‌عنوان یک عامل در کنار هشت پارامتر محیطی دیگر در تأثیرگذاری بر پتانسیل آب زیرزمین مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که استفاده از شاخص‌های جغرافیایی در کنار مدل‌های سلسله مراتبی تا ۷۵ درصد دقت در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد (Das, 2019). همچنین حمدانی و بالی تأثیر پارامتر ارتفاع نزدیک‌ترین زهکش را به‌عنوان یک شاخص در شناسایی پتانسیل آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند استفاده از شاخص‌های ژئومورفیک به‌عنوان یک متغیر مستقل در پتانسیل‌یابی و تشخیص بهتر منابع آب زیرزمینی از دقت مناسبی برخوردار است (Hamdani & Baali, 2019)؛ بنابراین می‌توان گفت اگرچه تاکنون در مطالعات متعدد تأثیر لندفرم‌های ژئومورفیک و به‌خصوص مخروط افکنه‌ها بر آب‌های زیرزمینی مورد تأکید قرار گرفته است، ولی مطالعه جامع و دقیقی در رابطه با نقش شاخص‌های مورفومتری مخروط افکنه‌ها بر آب‌های زیرزمینی و طبقه‌بندی مخروط افکنه‌ها انجام نگرفته است. باین‌حال تحقیق حاضر با رویکرد نوین و مطالعات آماری قوی توانست الگوی جدید در حوزه نقش ویژگی‌های مخروط افکنه‌ها در تغییرات کمی و کیفی آب زیرزمینی ارائه دهد و رهیافت کارآمد و مؤثری را در راستای شناسایی پتانسیل سفره‌های آب زیرزمینی ایجاد نماید.

References

- Adabi khosh, S. J. (2019). *Exploring underground structures and aquifers through the penetrating gaze of remote sensing*. Narvan Danesh Publications. [In Persian]

- Afshari, A., Ghohroudi Tali, M., Sadough, S. H., & Ehteshami Moin Abadi, M. (2019). Application of Morphotectonic Indices in Landslide Hazard Evaluation of Lorestan Railway. *Environmental Management Hazards*, 6(1), 51-66. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jhsci.2019.272472.425>
- Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, R. D., & Garg, P. K. (2013). Delineation of groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science*, 122, 887-898. <https://doi.org/10.1007/s12040-013-0309-8>
- Alaei Taleghani, M., Shafiei, N., & Rajabi, M. (2018). The Effect of Geomorphologic Factors on Feeding Underground Water Resources in Kermanshah Meyandareh Plain. *Hydrogeomorphology*, 4(13), 21-41. [In Persian] <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23833254.1396.4.13.2.7>
- Al-Ruzouq, R., Shanableh, A., Merabtene, T., Siddique, M., Khalil, M. A., Idris, A., & Almulla, E. (2019). Potential groundwater zone mapping based on geo-hydrological considerations and multi-criteria spatial analysis: North UAE. *Catena*, 173, 511-524. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.10.037>
- Asadi, M., & Abd Manafi, N. (2022). *The worsening crisis of groundwater resources and the need to manage consumption*. Islamic Parliament Research Center Of IRAN. [In Persian] <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1750973>
- Blair, T. C., & McPherson, J. G. (2009). Processes and Forms of Alluvial Fans. In Parsons, A. J., Abrahams, A. D. (eds), *Geomorphology of Desert Environments*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5719-9_14
- Das, S. (2019). Comparison among influencing factor, frequency ratio, and analytical hierarchy process techniques for groundwater potential zonation in Vaitarna basin, Maharashtra, India. *Groundwater for Sustainable Development*, 8, 617-629. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.03.003>
- Ghahraman, K., Zanganeh Asadi, M. A., & Akbari, E. (2022). Quantitative Comparison of Morphometric Indices and Alluvial Fan Toes in Arid Regions with Emphasis on Central Iran. *Physical Geography Research*, 54(2), 243-256. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jphgr.2022.339882.1007683>
- Ghahroudi Tali, M., Khodamoradi, F., & Ali Nouri, K. (2023). Effects of groundwater decrease on the of land subsidence in Dehgolan plain, Kurdistan province. *Environmental Management Hazards*, 10(1), 57-70. [In Persian] https://jhsci.ut.ac.ir/article_92866.html?
- Hamdani, N., & Baali, A. (2019). Height Above Nearest Drainage (HAND) model coupled with lineament mapping for delineating groundwater potential areas (GPA). *Groundwater for Sustainable Development*, 9, 100256. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2019.100256>
- Hatefi Ardakani, A., & Ekhtesasi, M. (2016). Groundwater potentiality through Analytic Hierarchy Process (AHP) using remote sensing and Geographic Information System (GIS). *Geopersia*, 6(1), 75-88. [In Persian] <https://doi.org/10.22059/jgeope.2016.57823>
- Hekmatnia, H., & Mousavi, M. (2006). *Model application in Geography with emphasis on Urban and Regional Planning*. Yazd: Elme Novin press. [In Persian]

- Iran Meteorological Organization. (2023). Statistical report of synoptic stations. [In Persian] <https://data.irimo.ir/>
- Khalili Naftchali, A., & Khashai, A. (2016). *Familiarization with water finding methods*. Paper presented of the Second National Congress of Drainage Irrigation of Iran, Isfahan University of Technology. [In Persian] <https://civilica.com/doc/555089/>
- Khamis Abadi, S., Manshori, M., Sayadi, M., & Salari, M. (2012). Valuation potential of water quality in occurrence of sedimentation and corrosion in drinking water facilities in Goybolagh village, Malard city. *Journal of Environment Geology*, 6(21), 83-102. [In Persian] https://journals.iau.ir/article_524825.html
- Mehr News Agency. (2022). *Report: Water is the most important crisis facing the Qazvin plain*. [Web log comment]. Retrieved 2022, Oct. 10 from <https://www.mehrnews.com/news/5604171> [In Persian]
- Nayebzadeh, F., Madadi, A., & Azizi, G. (2018). Quaternary Geo-morphological Evidence of Qazvin and Eshtehard Plains. *Quaternary Journal of Iran*, 3(4), 331-346. [In Persian] <https://doi.org/10.22034/irqua.2018.701919>
- Rajabi Eslami, A. (2018). *Variation of Groundwater Quality and Quantity under Lsnd Use and Formation(A case study: Malard Counyt)*. Master's Thesis, Shahid Beheshti University, Tehran. [In Persian]
- Rajabi Eslami, A., Ghahroudi Tali, M., & Salehipour Milani, A. (2024). The Influence of Geomorphic Parameters of Alluvial fan on Groundwater variation (case study: east and center of Gilan province). *Quantitative Geomorphological Research*, 12(4), 108-127. [In Persian] https://www.geomorphologyjournal.ir/article_187626.html
- Ravindran, K. V., & Jeyaram, A. (1997). Groundwater prospects of Shahbad tehsil, Baran district, Eastern Rajasthan: a remote sensing approach. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 25, 239-246. <https://doi.org/10.1007/BF03019365>
- Sedghi, M. M., & Samani, N. (2015). *Analysis of hydraulic behavior of alluvial fan aquifers*. Paper presented of the First Iranian National Congress of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]
- Shariat Panah, S. T., & Ranjbari, R. (2005). *Self-study of SPSS basics*. Ghazal Javan Publications. [In Persian]
- Wadi, D., Wu, W., Malik, I., Fuad, A., & Thaw, M. M. (2022). Assessment and feasibility of the potential artificial groundwater recharge in semi-arid crystalline rocks context, Biteira district, Sudan. *Scientific African*, 17, e01298. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01298>
- Yari, M., Soltani-Gerdefaramarzi, S., & Ghasemi, M. (2019). Investigation of the Effect of to Land Use Changes on Flood Hydrograph and Fluctuations of Groundwater Level in Part of Ghareh Souh Basin. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(3), 41-58. [In Persian] <https://doi.org/10.22067/geo.v8i3.80976>
- Zektser, L. S., & Everett, L. G. (2004). *Groundwater resources of the world and their use*. UNESCO: United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000134433>