

Detecting groundwater resources potential in Isfahan Lenjanat region using weights-of-evidence model

Hassan Torabi Poudeh^{1*}, Hojjatallah Yonesi², Hossein Yousefi³, Azadeh Arshia⁴, Yazdan Yarahmadi⁵

¹Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, KhorramAbad, Iran

²Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, KhorramAbad, Iran

³Associate Professor, Department of New Energy and Environment, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University, KhorramAbad, Iran

⁵Ph.D. Student, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Abstract

Introduction

Identifying groundwater potential is a key requirement in groundwater conservation and management and is especially useful for engineers and designers looking for suitable locations for the exploitation of these resources. GIS-based methods have increased the accuracy and speed of groundwater surveys. Many researchers have focused on the use of GIS-based methods, remote sensing and machine learning, and statistical methods. These methods identified latent patterns in groundwater and obtain a nonlinear relationship between affecting variables. In this regard, the final groundwater potential map is determined using 12 effective variables based on ArcGIS and Weight-Of-Evidence (WOE) model for Lenjanat area, Isfahan Province.

Materials and Methods

Lenjanat study area is located in the southwest of Isfahan Province. It has a variable climate that is always affected by the central semi-arid and semi-humid areas of Chaharmahal and Bakhtiari Province. WOE model is based on standard deviation and used to predict the occurrence of accidents when there is enough data available to assess the relative importance of the layers using the statistical average. The Receiver Operating Characteristic (ROC) curve related to the groundwater potential mapping in the Lenjanat study area was prepared using SPSS software. The Area Under Curve (AUC) indicates the accuracy degree of the final map. The extent area of each curve indicates the model's prediction ability. The value below the graph would be equal to unity in the best case and ideal scenario. This index is a suitable criterion to evaluate the model accuracy.

Results and Discussion

The areas with low elevation and low slope due to the high level of infiltration and water movement in the soil had a higher potential of groundwater, which is consistent with the results of the previous researchers. These areas had a higher groundwater potential in the east and flat terrains than in other directions. From the land use point of view, arable lands and areas with dense vegetation had the highest groundwater potential. The shorter the distance from the waterway and the higher the drainage density leads to the greater the groundwater potential. Areas with Aridisols soil have higher groundwater potential compared to the Entisol and Inceptisols categories. Soft alluvial sediments have a higher potential than other sediments. It is expected that the areas with high groundwater potential will be more in the eastern part of the region due to the high concentration of factors affecting the creation of potential groundwater conditions. The final groundwater potential map also determined these areas as high groundwater potential regions.

Conclusion

The results showed a higher sensitivity to land use and slope variables, which play an important role in water penetration. More than 60% of Lenjanat has moderate to very high groundwater potential. Identifying areas with high groundwater potential is important in determining areas for implementing management programs. It is suggested to use the WOE model with more input variables and other models to prepare a high accuracy potential map should be evaluated in future studies.

Keywords: Geographic Information System, ROC, Topographic Wetness Index, Weight-Of-Evidence.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: torabi.ha@lu.ac.ir

Citation: Torabi Poudeh, H., Yonesi, H., Yousefi, H., Arshia, A., & Yarahmadi, Y. (2021). Detecting groundwater resources potential in Isfahan Lenjanat region using weights-of-evidence model. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(3), 25-37.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9197.1026

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.3.3.5

Received: 12 July 2021, Accepted: 15 August 2021

Water and Soil Management and Modeling, Year 2021, Vol. 1, No. 3, pp. 25-37

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه لنجان اصفهان با استفاده از مدل وزن شواهد

حسن ترابی پوده^{۱*}، حجت الله یونسی^۲، حسین یوسفی^۳، آزاده ارشیا^۴، یزدان یاراحمدی^۵

^{۱*} دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

^۲ استادیار، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

^۳ دانشیار، گروه انرژی های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۴ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، خرم آباد، ایران

^۵ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

چکیده

تعیین پتانسیل منابع آب زیرزمینی به ویژه در کشورهای در حال توسعه از موارد مهم و ضروری در مدیریت منابع آب محسوب می شود. در این پژوهش، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به منظور مدیریت و برنامه ریزی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل وزن شواهد و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در منطقه لنجان اصفهان انجام شده است. به منظور واسنجی و اعتبارسنجی نتایج، موقعیت جغرافیایی ۶۲۴ چاه در منطقه به دو گروه تقسیم شدند. در اجرای مدل وزن شواهد از متغیرهای مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحناى زمین، زمین شناسی، کاربری اراضی، خاک شناسی، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از گسل، تراکم گسل، تراکم آبراهه و فاصله از آبراهه استفاده شد. هم چنین برای اعتبارسنجی نتایج مدل ها از منحنی مشخصه عملکرد (ROC) استفاده شد. مساحت زیر منحنی (AUC) برای مدل وزن شواهد، مقدار ۸۱/۶ درصد را ارائه داد که نشان از اعتبار بسیار خوب این مدل به منظور تعیین پتانسیل آب زیرزمینی در لنجان است. حساسیت سنجی مدل به متغیرها نشان داد که این مدل در این منطقه به دو متغیر کاربری اراضی و شیب حساس تر است. بیش از ۶۰ درصد منطقه دارای پتانسیل آب زیرزمینی متوسط تا خیلی زیاد است. تعیین مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی از لحاظ شناسایی مناطق برای اجرای برنامه های مدیریتی، حائز اهمیت است. از آن جا که مناطق با پتانسیل پایین، نشان دهنده عدم شرایط مناسب جهت تغذیه و ورودی آب به سفره های زیرزمینی است؛ در نتیجه حفر چاه در این مناطق و استفاده و برداشت از این چاه ها، توازن بین ورودی و خروجی سفره های زیرزمینی را از بین می برد و نهایتاً خشک شدن قنوات را نیز می تواند به دنبال داشته باشد. پیشنهاد می شود که از مدل وزن شواهد با تعداد متغیرهای ورودی بیشتر نیز استفاده شود و هم چنین میزان دقت مدل های دیگر نیز در مطالعاتی هم چون مطالعه حاضر برای تهیه نقشه پتانسیل با دقت بالا بررسی شود.

واژه های کلیدی: سامانه اطلاعات جغرافیایی، شاخص رطوبت توپوگرافی، ROC، وزن شواهد.

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: torabi.ha@lu.ac.ir

استناد: ترابی پوده، ح.، یونسی، ح.، یوسفی، ح.، ارشیا، آ.، و یاراحمدی، ی. (۱۴۰۰). پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه لنجان اصفهان با استفاده از

مدل وزن شواهد. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۱(۳)، ۲۵-۳۷.

DOI: 10.22098/MMWS.2021.9197.1026

DOR: 20.1001.1.27832546.1400.1.3.3.5

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۱، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۴

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۰، دوره ۱، شماره ۳، صفحه ۲۵ تا ۳۷

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

تشخیص مناطق بالقوه آب زیرزمینی (پتانسیل یابی) برای محافظت و مدیریت آب زیرزمینی مهم است (Oh et al., 2011). شناسایی مناطق دارای آب زیرزمینی به عنوان یکی از منابع مهم برای تأمین آب آشامیدنی، کشاورزی، تنوع اکولوژیکی و صنایع مختلف از موارد مهم و ضروری در مدیریت منابع آب محسوب می شود (Jothibasu and Anbazhagan, 2016). روش های بسیاری برای دست یابی به این هدف وجود دارد که در سال های اخیر، بیش از پیش مورد توجه و بررسی قرار گرفته اند. در این میان، روش های مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سبب افزایش دقت و سرعت بررسی ها در زمینه منابع آب زیرزمینی شده اند.

در سال های اخیر، توجه پژوهشگران بسیاری به استفاده از روش های مبتنی بر GIS، سنجش از دور و روش های آماری معطوف شده است (Chen et al., 2018)؛ زیرا این روش ها الگوهای پنهان در آب های زیرزمینی را شناسایی می کنند و نیز رابطه غیرخطی بین متغیرها را به دست می آورند (Mogaji and Lim, 2018). روش های احتمالی (Chenini et al., 2010)، تصمیم گیری (Jothibasu and Anbazhagan, 2016)، روش های ماشینی مثل وزن شواهد (WOE) (Chen et al., 2018)، حداکثر آنتروپی (Rahmati et al., 2018) و روش های آماری دمپستر شافر (Haghizadeh et al., 2017)، نسبت فراوانی (Lee et al., 2019) و بسیاری موارد دیگر در تعیین مناطق احتمالی وجود آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته اند. GIS به دلیل توانایی مدیریت حجم عظیمی از داده ها، مناسب این مطالعات است (Sener et al., 2006). در به کارگیری مدل های پیش گفت، عوامل مختلفی برای تعیین مناطق مستعد آب زیرزمینی استفاده می شوند که در مطالعات اخیر نیز به آن ها اشاره شده است. از جمله این عوامل می توان به شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی^۱، تراکم آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع، انحنای سطح، تراکم گسل، خاک، سنگ شناسی و شاخص توان آبراهه اشاره کرد (Golkarian and Lee et al., 2019). در رابطه با شناسایی مناطق مستعد آب زیرزمینی (Mofidiyefar et al., 2015) روش های پژوهشی به مقایسه مدل TOPSIS^۲ و تحلیل سلسله مراتبی و با استفاده از GIS در حوضه یزد-اردکان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که روش تحلیل سلسله مراتبی برای این منطقه مناسب تر از TOPSIS است.

(Nampak et al., 2014) از روش شواهد وزن قطعی به منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوضه لانگات در

مالزی استفاده کردند و بدین منظور از ۱۲ متغیر مؤثر استفاده کردند. نتایج نشان داد که مدل شواهد وزن قطعی دارای دقت بالا در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی است. همچنین، Siahkamari and Zeinivand (2016) پتانسیل یابی مناطق مستعد سیل با استفاده از مدل شاخص آماری و وزن شواهد در حوزه آبخیز مادرسو، گلستان را انجام دادند. صحت و دقت دو مدل با استفاده از منحنی مشخصه عملکرد (ROC)^۴ ارزیابی که دقت هر دو مدل برای منطقه مورد مطالعه بالای ۸۰ درصد (خیلی خوب) ارزیابی شد. در ادامه، Gholami et al. (2017) به تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین لغزش با استفاده از مدل های وزن شواهد، نسبت فراوانی و دمپستر شافر در محدوده ساری-کیاسر پرداختند. اعتبارسنجی نتایج را به صورت مساحت زیر منحنی (AUC)^۵ ارائه دادند که مدل های وزن شواهد و نسبت فراوانی با دقت بیش از ۹۲ درصد، مدل های بسیار مناسب (با دقت عالی) معرفی شدند. Fallah et al. (2017) پتانسیل آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم آباد لرستان را با روش شاخص آماری بررسی کردند و در نهایت برای تعیین صحت نقشه نهایی از منحنی ROC استفاده کردند. دقت نقشه نهایی ۸۲ درصد شد و در نتیجه این مدل را مناسب منطقه معرفی کردند. در پژوهشی Arab Ameri et al. (2017) پتانسیل آب زیرزمینی حوضه نجف آباد را با استفاده از مدل های شواهد قطعی، شاخص آنتروپی و مدل ترکیبی این دو روش بررسی کردند و اعتبارسنجی نتایج را با استفاده از مساحت AUC و شاخص سطح سلول هسته ای انجام دادند.

Nohani et al. (2018) پتانسیل آب زیرزمینی دشت الشتر را با روش نسبت فراوانی انجام دادند که این مدل برای منطقه دارای صحت ۸۵ درصد و مناسب منطقه بود. علاوه بر این، Shafiei et al. (2019) با استفاده از نه متغیر مؤثر، پتانسیل آب زیرزمینی را با استفاده از روش آنتروپی شانون در نورآباد ممسنی بررسی و با استفاده از منحنی ROC این مدل را برای این منطقه، مناسب ارزیابی کردند. در ادامه، Younesi et al. (2020) پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی را در محدوده نجف آباد اصفهان با استفاده از مدل های شاخص آماری و وزن شواهد، مورد بررسی قرار دادند و از ۱۰ متغیر مؤثر برای رسیدن به نقشه نهایی استفاده کردند. در این مطالعه، دقت مدل شاخص آماری بالاتر بود و در نتیجه مناسب منطقه بود. اخیراً، Zali and Shahedi (2021) در مطالعه ای به ارزیابی حساسیت زمین لغزش با استفاده از GIS و منطق فازی در حوضه نکارود پرداختند و با استفاده از متغیرهای مؤثر، نقشه نهایی را در محیط ArcGIS تهیه کردند. در مطالعه ای Yousefi et al. (2021) به منظور پتانسیل یابی مناطق

¹ Weights-Of-Evidence

² Topographic Wetness Index

³ Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

⁴ Receiver Operating Characteristic

⁵ Area Under Curve

پتانسیل آب زیرزمینی از ۱۲ لایه، معمولاً شامل لایه های ارتفاع، انحنا سطح، شیب، جهت شیب، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، کاربری اراضی، سنگ شناسی و خاک استفاده می شود. در این پژوهش، نقشه های ارتفاع براساس مدل رقومی ارتفاعی با قدرت تفکیک ۳۰ متر، انحنا زمین، شیب و جهت شیب تهیه شد. نقشه فاصله از شبکه زهکشی، فاصله از گسل، تراکم زهکشی و تراکم گسل براساس لایه رقومی شبکه آبراهه و گسل در نرم افزار ArcGIS 10.5 تهیه شدند. شاخص رطوبت توپوگرافی که شاخصی مؤثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی است از طریق رابطه ۱ به دست آمد (Ghorbani Nejad et al., 2017a).

$$TWI = \ln \left(\frac{As}{S} \right) \quad (1)$$

که در آن As و S به ترتیب بیانگر سطح ویژه حوزه آبخیز و درصد شیب زمین هستند. پس از تهیه نقشه شاخص رطوبت توپوگرافی، نقشه حاصل به سه کلاس طبقه بندی شد.

نقشه خاک با توجه به نقشه خاک ایران برای منطقه مورد مطالعه در محدوده لنجانان تهیه شد. نقشه سنگ شناسی با استفاده از نقشه های سازمان زمین شناسی کشور در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد. کاربری اراضی نقش مهمی در میزان نفوذ آب دارد. نقشه کاربری اراضی لنجانان براساس نقشه کاربری اراضی اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه شد (Ghorbani Nejad et al., 2017b).

۲-۲-۲-۲-۲ مدل وزن شواهد

در این پژوهش، پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از ۶۲۴ مورد از چاه های (آب منطقه ای اصفهان) با آب دهی بیش تر از ۱۱ مترمکعب بر ثانیه (Manap et al., 2014) با استفاده از مدل وزن شواهد بررسی شد. ۷۰ درصد چاه ها (۴۱۶ چاه) برای واسنجی و ۳۰ درصد باقی مانده (۲۰۸ چاه) برای اعتبارسنجی، مورد استفاده قرار گرفته است. روش وزن شواهد بر پایه انحراف معیار با ترکیب اطلاعات برای پیش بینی وقوع حوادث، زمانی که داده های در دسترس به حد کافی برای ارزیابی اهمیت نسبی لایه ها با میانگین آماری وجود دارد به کار برده می شود. با استفاده از نقشه های پایه با تفکیک مکانی ۳۰ متر، وزن های منفی (W^-) و مثبت (W^+) برای هر متغیر اساسی محاسبه می شود، روش اندازه گیری وزن برای هر عامل براساس حضور (B) یا عدم حضور پدیده (A) در منطقه با روابط زیر محاسبه می شود (Bonham et al., 1988).

مستعد سیل با استفاده از مدل های Shannon و SI, FR و ارائه نقشه پهنه بندی پرداختند. بیش ترین صحت به مدل آنتروپی شانون اختصاص داشت. مرور مطالعات صورت گرفته در زمینه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی نشان می دهد که این موضوع در سال های اخیر همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است و هم چنین در بسیاری از مطالعات به ضرورت استفاده از روش های مبتنی بر GIS با توجه به مفید بودن، ساده تر بودن و دقت مناسب آن ها تأکید شده است. به همین منظور، در مطالعه حاضر به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از متغیرهای مؤثر (۱۲ متغیر) و بهره گیری از ArcGIS و اجرای مدل وزن شواهد در محدوده لنجانان اصفهان پرداخته شد. تعیین نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در این محدوده تاکنون با بهره گیری از مدل وزن شواهد که از جمله مدل های مبتنی بر GIS و در اغلب مطالعات دارای دقت بالاست، تهیه نشده است.

۲- مواد و روش ها

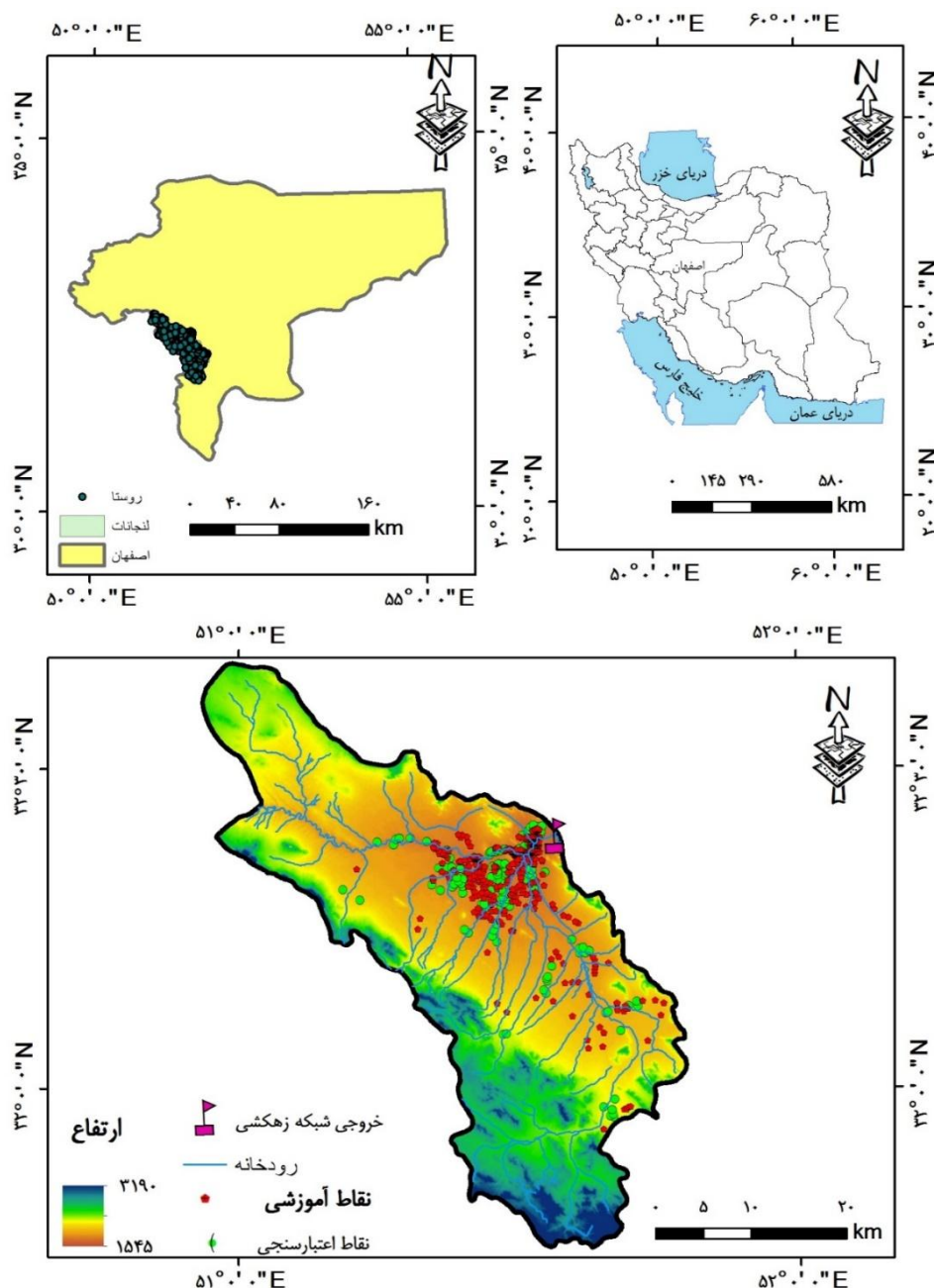
۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

محدوده مطالعاتی لنجانان با مساحت ۵۰۱۹ کیلومتر مربع و کد مطالعاتی ۴۲۰۹ (شرکت مدیریت منابع آب ایران) در جنوب غرب استان اصفهان واقع شده است. ارتفاع نسبی آن از سطح دریا ۲۲۷۰ متر است و دارای آب و هوایی متغیر است که همواره تحت تأثیر ناحیه نیمه خشک مرکزی و نیمه مرطوب چهار محال و بختیاری قرار دارد. براساس تقسیمات کشوری، محدوده دارای شش شهر، شش دهستان و ۲۲ روستا است. جنوب محدوده مورد مطالعه، امتداد رشته کوه های زاگرس مرکزی و قسمت مرکز و شمال آن در دشت قرار دارد. هفت ایستگاه مختلف باران سنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک در منطقه است. براساس آمار این ایستگاه ها، متوسط دما ۱۱/۲ درجه سانتی گراد در ارتفاعات و ۱۴/۲ درجه سانتی گراد در دشت، ثبت شده است. میزان بارش متوسط سالیانه در ایستگاه کوهستانی ۳۵۰ میلی متر و در ایستگاه واقع در دشت زیر ۲۰۰ میلی متر گزارش شده است. با وجود بارش کم در منطقه، برنامه ریزی در برداشت و بهره برداری آب از قنات ها و سایر منابع آب از صدها سال پیش در این حوضه مدیریت شده است. در سال های اخیر حفر ۱۵۰ حلقه چاه مجاز و ۱۵۰۰ حلقه چاه غیرمجاز در منطقه و عدم مدیریت برداشت آب زیرزمینی سبب کاهش تراز سطح آب شده است (Najafpour et al., 2020). موقعیت مکانی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آورده شده است.

۲-۲- روش پژوهش

۲-۲-۱- نقشه های پایه

با توجه به منابع مختلف به منظور بررسی اثر هر عامل بر میزان



شکل ۱- موقعیت مکانی و نقاط آموزشی و اعتبارسنجی-لنجان اصفهان

Figure 1- Spatial location and educational and accreditation points - Lenjanat Isfahan, Iran

وقوع چاه را نشان می‌دهد (Dahal et al., 2008). ضریب C بیان‌گر تفاضل وزن‌های مثبت و منفی است. در صورت وجود رابطه مثبت دارای مقدار مثبت و در صورت وجود رابطه منفی مقدار منفی است. انحراف معیار W از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$S(C) = \sqrt{S^2(W)^+ + S^2(W)^-} \quad (5)$$

که مؤلفه‌های $S^2(W)^+$ و $S^2(W)^-$ به ترتیب واریانس وزن‌های مثبت و منفی است. واریانس وزن‌ها می‌تواند به وسیله رابطه‌های زیر محاسبه شود (Bonham et al., 1988).

$$W^+ = \ln \left\{ \frac{P(B|A)}{P(\bar{B}|\bar{A})} \right\} \quad (2)$$

$$W^- = \ln \left\{ \frac{P(\bar{B}|A)}{P(B|\bar{A})} \right\} \quad (3)$$

$$C = W^+ - W^- \quad (4)$$

که در این جا P احتمال با پایه لگاریتمی است. ضرایب B و \bar{B} به ترتیب حضور و عدم حضور عامل شرطی و A و \bar{A} حضور و عدم حضور پدیده است (Xu et al., 2012). مقدار وزن مثبت، همبستگی بین آن عامل و وجود چاه را بیان می‌کند. اختلاف میان دو وزن مثبت و منفی، تفاوت وزنی میان عامل شرطی و

نمودار برابر یک خواهد بود. این شاخص، یک شاخص مناسب برای ارزیابی صحت مدل است (Rahmati et al., 2016).

$$S^2(W)^+ = \frac{1}{N(B \cap A)} + \frac{1}{B \cap \bar{A}} \quad (۶)$$

$$S^2(W)^- = \frac{1}{N(\bar{B} \cap A)} + \frac{1}{\bar{B} \cap \bar{A}} \quad (۷)$$

۲-۲-۴- حساسیت‌سنجی

تحلیل حساسیت متغیرهای ورودی وزن شواهد با روش حذفی انجام شد؛ در هر مرحله، یکی از متغیرهای ورودی مدل (ارتفاع، جهت شیب، شیب، انحنای سطح، شاخص رطوبت توپوگرافی، فاصله از رودخانه، تراکم گسل، فاصله از گسل، تراکم رودخانه، خاک، سنگ و کاربری اراضی) حذف شد و نقشه تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی هر بار بر پایه فقط ۱۱ متغیر باقی‌مانده تهیه شد و دقت پیش‌بینی مدل در هر حالت محاسبه شد (کل متغیرها ۱۲ تا هستند).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تهیه نقشه‌های عوامل ورودی مدل وزن شواهد

نقشه عوامل ورودی مدل وزن شواهد شامل ۱۲ لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی در این مطالعه شامل لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی تهیه شد که در شکل‌های ۲ و ۳ ارائه شده است.

۳-۲- تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

پس از تجزیه و تحلیل میان عوامل محیطی و اطلاعات چاه‌های موجود، وزن هر کلاس محاسبه شد و براساس وزن محاسبه شده برای هر یک از کلاس‌های عوامل اثرگذار نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به‌دست آمد و در نهایت این نقشه در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 به پنج کلاس با پتانسیل وقوع خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد کلاس‌بندی شده که در شکل ۴ ارائه شده است.

۳-۳- اعتبارسنجی نقشه

برای تشخیص میزان دقت نهایی نقشه با استفاده از روش‌های آماری موجود باید به اعتبارسنجی نقشه نهایی پرداخت. به‌منظور اعتبارسنجی نقشه پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از ۲۰۸ حلقه چاه (گروه اعتبارسنجی) که در مدل استفاده نشده‌اند، دقت نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی محدوده مطالعاتی لنجانان براساس منحنی ROC حاصل شد. برای به‌دست آوردن منحنی ROC از روی هم‌گذاری نقشه نهایی پتانسیل‌یابی و ۲۰۸ مورد چاه که در اجرای مدل استفاده نشده‌اند و به‌صورت تصادفی برای گروه اعتبارسنجی انتخاب شده‌اند، اعتبارسنجی انجام شد. این

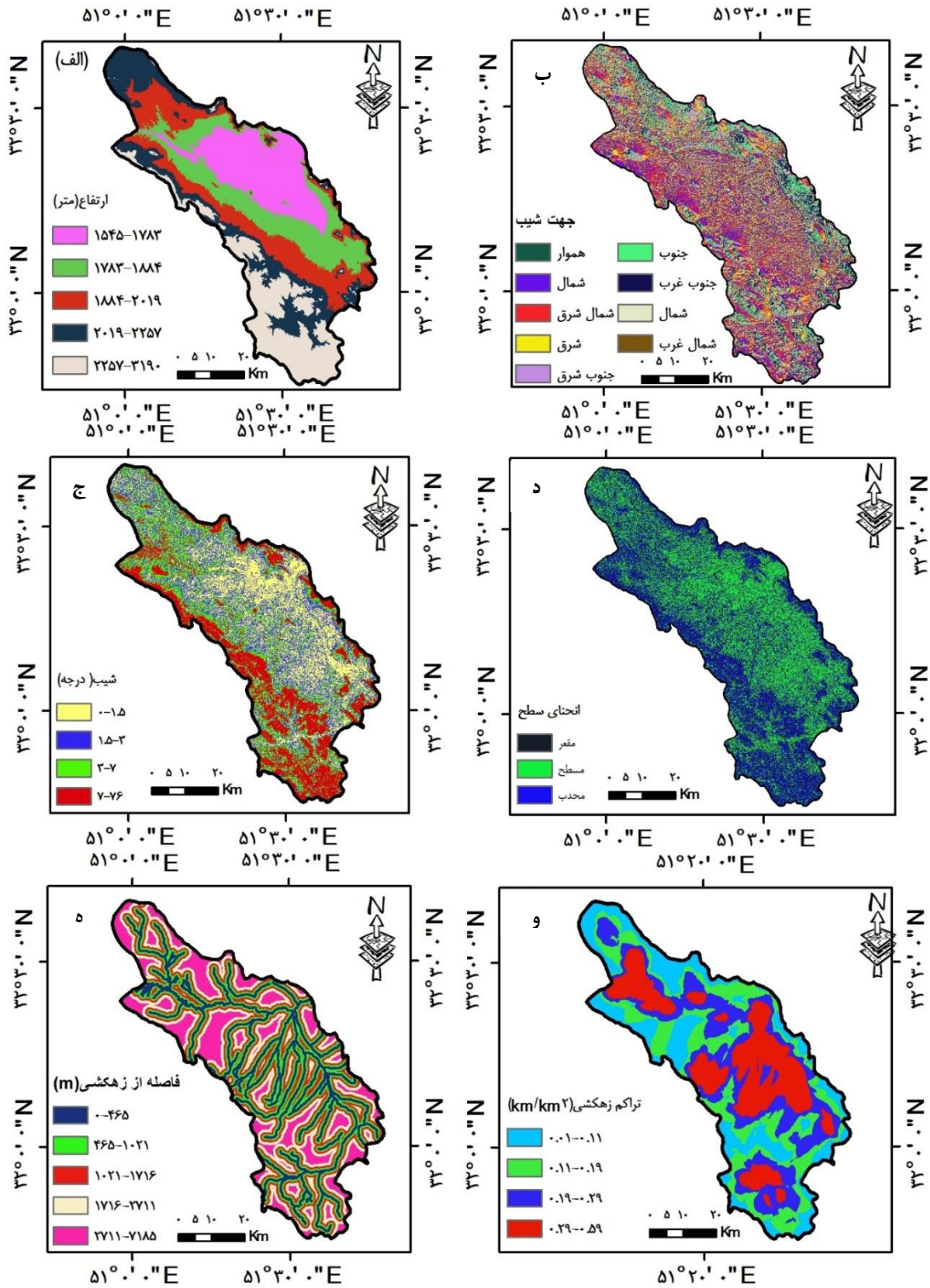
اختلاف استیودنت میزان اختلاف C با صفر نشان می‌دهد که اگر این اختلاف دارای مقدار کم و یا نزدیک به صفر باشد، می‌توان گفت به‌احتمال زیاد اختلاف واقعی است. اختلاف استیودنت (W_{final}) یک روش اندازه‌گیری اطمینان است که از رابطه ۸ محاسبه می‌شود (Regmi et al., 2014).

$$W_{final} = \left(\frac{C}{S(C)} \right) \quad (۸)$$

برای محاسبه وزن نهایی هر عامل، وزن‌های مثبت و منفی کلاس‌های متعدد هر عامل با هم جمع می‌شوند. اگر وزن عاملی مثبت باشد در وقوع چاه ایفاگر نقش است و در صورتی که وزن عامل منفی باشد، عدم اثر عامل در بروز این پدیده را نشان می‌دهد. برخی از عوامل هم تأثیر ناچیزی در وقوع چاه دارند که وزن آن‌ها صفر و یا نزدیک به صفر است. با وارد کردن وزن‌ها در ArcGIS 10.5 روی نقشه‌های موضوعی (شامل ۱۲ لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی در این مطالعه شامل لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی)، نقشه‌های موضوعی وزنی تهیه شدند که از مجموع این نقشه‌ها، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حاصل شد. در نهایت نقشه پتانسیل آب زیرزمینی براساس روش طبقه‌بندی Quantile به چهار طبقه تقسیم شد و نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی در پهنه‌هایی با حساسیت کم، متوسط، زیاد و خیلی‌زیاد ارائه شد.

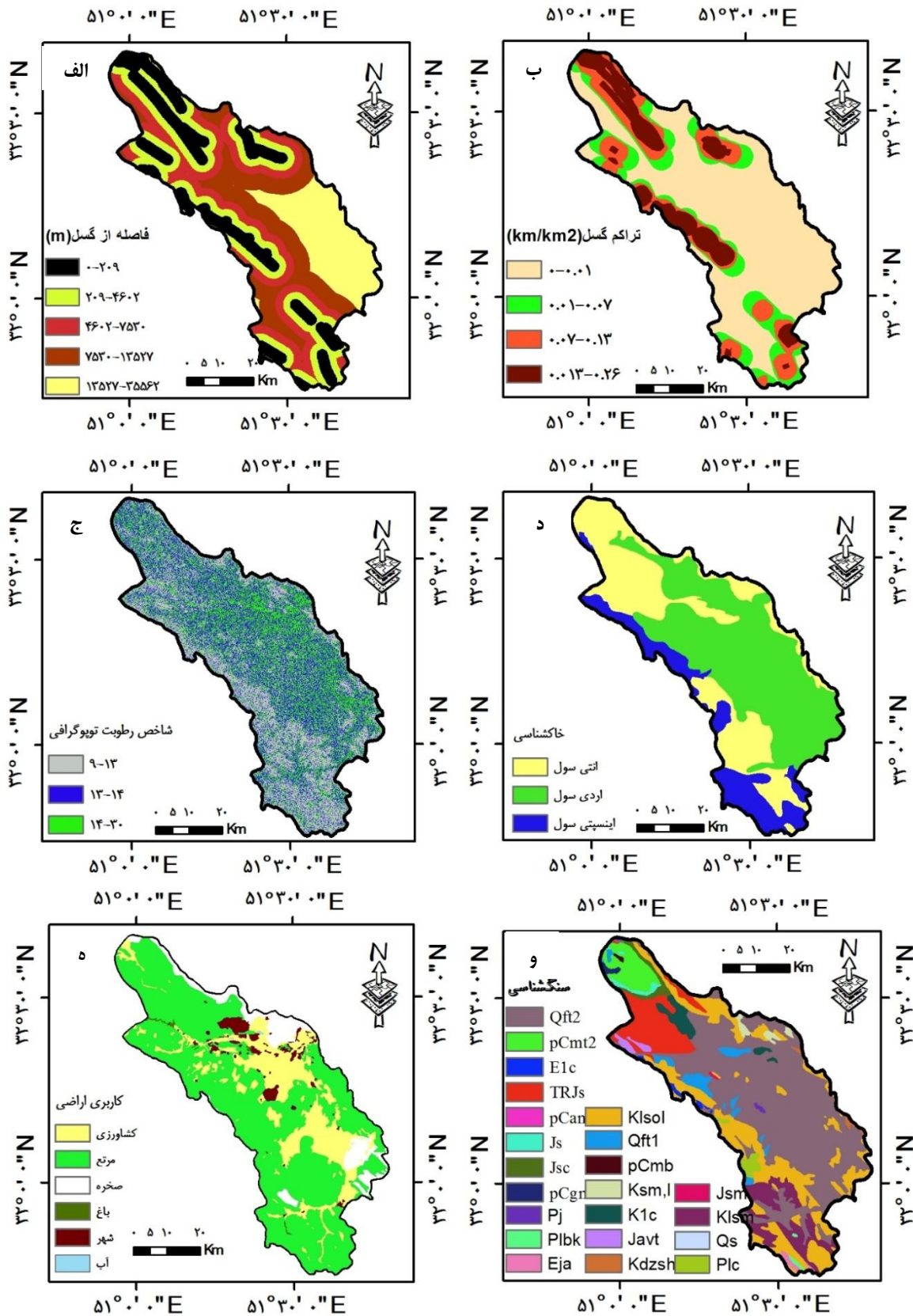
۲-۲-۳- اعتبارسنجی

به‌منظور اعتبارسنجی نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی از مجموعه‌ای از داده‌هایی که در مدل به‌کار گرفته نشده‌اند، استفاده شد. در این بخش برای محدوده مطالعاتی لنجانان، نقشه ۲۰۸ مورد چاه که در پتانسیل‌یابی استفاده نشده‌اند با نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مذکور روی هم‌گذاری شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس برای اعتبارسنجی دقت نقشه نهایی از روش منحنی ROC استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار SPSS، منحنی ROC مربوط به نقشه پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در محدوده مطالعاتی لنجانان تهیه شد. مساحت زیر منحنی (AUC)، بیان‌گر میزان دقت نقشه نهایی به‌صورت کمی است. سطح زیرپوشش هر نمودار بیان‌گر توانایی مدل در پیش‌بینی درست است. در بهترین شرایط و یک حالت ایده‌آل، مقدار زیر



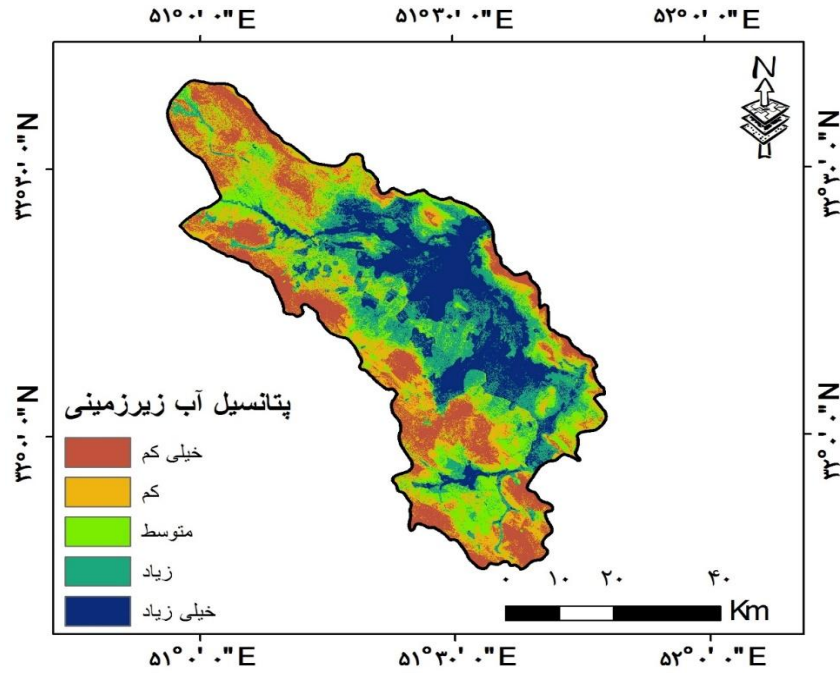
شکل ۲- نقشه ارتفاع (الف)، جهت شیب (ب)، شیب (ج)، انحناى سطح (د)، فاصله از زهکشی (ه) و تراکم زهکشی (و)

Figure 2- Elevation map (a), slope direction (b), slope (c), surface curvature (d), distance from drainage (e), and drainage density (f)



شکل ۳- نقشه های فاصله از گسل (الف)، تراکم گسل (ب) شاخص رطوبت توپوگرافی (ج)، خاک (د)، کاربری اراضی (ه) و سنگ شناسی (و)

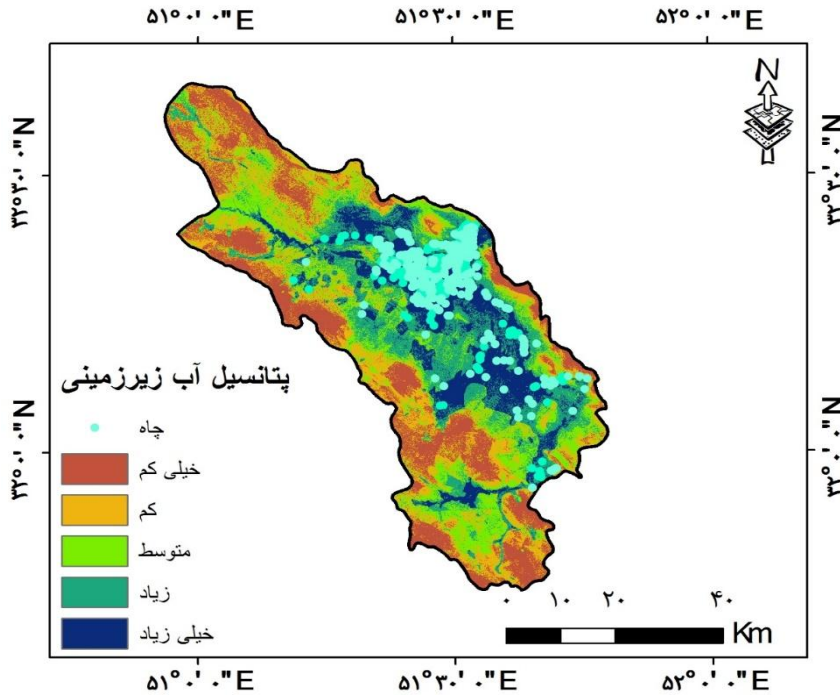
Figure 3- Maps of distance from fault (a), fault density (b), topographic wetness index (c), soil (d), land use (e) and lithology (f)



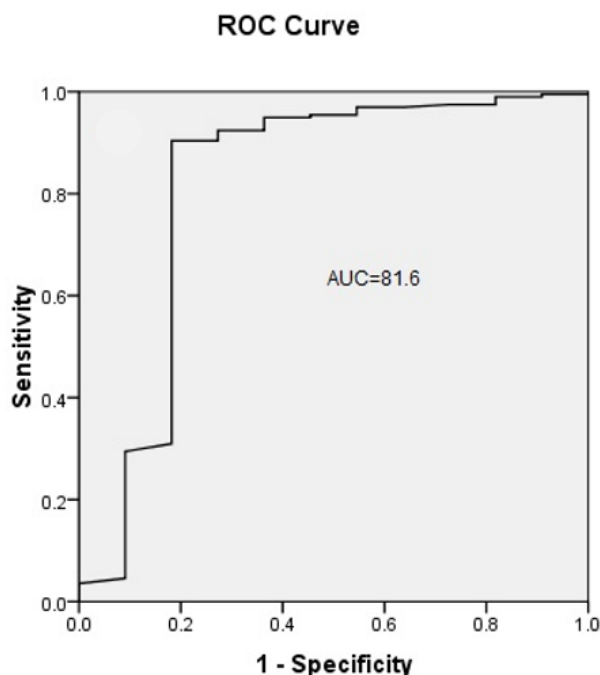
شکل ۴- پتانسیل آب زیرزمینی با مدل وزن شواهد در محدوده مطالعاتی لنجانات-استان اصفهان
 Figure 4- Groundwater potential with weights-of-evidence model in Lenjanat study area, Isfahan Province

از حساسیت‌سنجی مدل وزن شواهد نشان داد که این مدل در این منطقه به دو متغیر کاربری اراضی و شیب حساس‌تر است و با حذف هر کدام از این دو متغیر از میزان دقت مدل کاسته می‌شود (جدول ۱).

منحنی در نرم‌افزار SPSS تهیه شد و مساحت زیرمنحنی، بیان‌گر اعتبارسنجی مدل است. در شکل ۵ نقشه هم‌پوشانی چاه‌ها با نقشه‌های حاصل از مدل وزن شواهد در محدوده مطالعاتی لنجانات مشاهده می‌شود. مساحت زیرمنحنی مذکور (AUC) برای مدل وزن شواهد به‌دست آمد (شکل ۶). نتایج به‌دست‌آمده



شکل ۵- نقشه هم‌پوشانی چاه‌ها با نقشه حاصل از مدل وزن شواهد در محدوده مطالعاتی لنجانات-استان اصفهان
 Figure 5- Map of wells overlap with maps obtained from weights-of-evidence model in Lenjanat study area, Isfahan Province



شکل ۶- نمودار ROC در مرحله اعتبارسنجی مدل وزن شواهد برای محدوده مطالعاتی لنجانات-استان اصفهان
Figure 6- ROC diagram in the validation stage of the weights-of-evidence model for the Lenjanat study area, Isfahan Province

زیرزمینی هستند که این نتایج نیز با مطالعه Younesi et al. (2020) مطابقت دارد. دلیل مطابقت نتایج مذکور از لحاظ تأثیر متغیرها در مطالعات یاد شده، تأثیر عوامل جغرافیایی بر میزان نفوذ آب و در نتیجه تأثیر در میزان پتانسیل آب زیرزمینی است. نتایج نشان‌دهنده آن است که هرچه میزان فاصله از آبراهه کم‌تر و تراکم زهکشی بیش‌تر باشد، پتانسیل آب زیرزمینی منطقه بالاتر است. از لحاظ خاک، مناطق با خاک اریدی‌سول در مقایسه با دو رده خاک دیگر یعنی اتی‌سول و اینسپتی‌سول دارای پتانسیل آب زیرزمینی بالاتری هستند که با مطالعات پژوهشگران دیگر از جمله Fallah et al. (2017) و Younesi et al. (2020) نیز مطابقت دارد. رسوبات آبرفتی نرم دارای پتانسیل بالاتری نسبت به سایر رسوبات هستند. مطابق شرایط ذکر شده انتظار می‌رود که مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی بالا به‌واسطه تمرکز بالای عوامل مؤثر در ایجاد شرایط مستعد آب زیرزمینی، بیش‌تر در بخش شرقی منطقه قرار بگیرد. نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی به‌دست آمده از روش وزن شواهد نیز این مناطق را به‌عنوان مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی بالا نشان می‌دهد. اگر به نقشه هم‌پوشانی چاه‌ها با نقشه حاصل از مدل وزن شواهد در محدوده مطالعاتی لنجانات دقت شود، ملاحظه می‌شود که درصد زیادی از چاه‌ها در مناطق با پتانسیل خیلی زیاد و زیاد قرار گرفته‌اند، اما درصد کمی نیز در منطقه با پتانسیل متوسط قرار گرفته‌اند. این مسأله می‌تواند حاکی از عدم دقت و هم‌چنین عدم شناسایی و مدیریت صحیح در حفر

جدول ۱- درصد اعتبار مدل وزن شواهد با حذف هر متغیر
Table 1- Validity percentage of weights-of-evidence model by removing each variable

متغیر	درصد اعتبار
ارتفاع	81.5
شیب	75
جهت شیب	81.4
انحنای سطح	81.4
فاصله از رودخانه	81.5
تراکم زهکشی	81.5
فاصله از گسل	81
تراکم گسل	81.2
کاربری اراضی	70
خاک	81.5
سنگ‌شناسی	81.4
شاخص رطوبت توپوگرافی	81.5

نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که در مناطقی با ارتفاع و شیب کم به‌علت بالا بودن سطح نفوذ و حرکت آب در خاک، پتانسیل آب زیرزمینی بیش‌تر است که با نتایج سایر پژوهش‌گران (Nohani et al., 2018; Shafiei et al., 2019; Younesi et al., 2020) مطابقت دارد. هم‌چنین این منطقه در جهت شیب شرق و مسطح نسبت به سایر جهات دارای پتانسیل آب زیرزمینی بالاتری است که با نتایج Fallah et al. (2017) نیز مطابقت دارد. از دیدگاه کاربری اراضی در این منطقه، اراضی زراعی و مناطقی که پوشش گیاهی غنی‌تری وجود داشتند، دارای بالاترین پتانسیل آب

زهکشی، فاصله از گسل، تراکم گسل، سنگ‌شناسی، خاک، کاربری اراضی و شاخص رطوبت توپوگرافی در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.5 تهیه شدند و نتایج پیش‌بینی حاکی از این بود که این عوامل در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی منطقه مناسب هستند. نتایج به‌دست‌آمده از حساسیت‌سنجی مدل وزن شواهد نشان داد که این مدل در این منطقه به دو متغیر کاربری اراضی و شیب حساس‌تر است. در واقع با حذف هر کدام از این دو متغیر و اجرای مجدد مدل از میزان دقت مدل کاسته می‌شود. این دو عامل نقش مهمی در میزان نفوذ آب دارند. تعیین مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی از لحاظ تعیین مناطق برای اجرای برنامه‌های مدیریتی، حائز اهمیت است. پیشنهاد می‌شود از مدل وزن شواهد با تعداد متغیرهای ورودی بیش‌تر نیز استفاده شود و هم‌چنین میزان دقت مدل‌های دیگر نیز برای تهیه نقشه پتانسیل با دقت بالا بررسی شود. در مناطق با پتانسیل پایین، چاه حفر نشود و نیز مناطق با پتانسیل بالا شناسایی شوند.

چاه باشد. از آن‌جا که مناطق با پتانسیل پایین، نشان‌دهنده عدم شرایط مناسب جهت تغذیه و ورودی آب به سفره‌های زیرزمینی است؛ در نتیجه استفاده و برداشت از این چاه‌ها، توازن بین ورودی و خروجی سفره‌های زیرزمینی از جمله کاهش منابع آب زیرزمینی، کاهش آب‌دهی و کف‌شکنی مکرر چاه‌های موجود، فرونشست زمین و کاهش ظرفیت حجم مخزن طبیعی، افت کیفی منابع آب و شور شدن آن‌ها و آسیب‌ها و هزینه‌های فراوان بر سازندها می‌شود و نهایتاً خشک شدن قنوات را نیز می‌تواند به دنبال داشته باشد (Saraskanrood and Riahinia, 2020).

۴- نتیجه‌گیری

طبق نتایج، بیش از ۶۰ درصد منطقه مطالعاتی لنجان اصفهان دارای پتانسیل آب زیرزمینی متوسط تا خیلی زیاد است. ۱۲ لایه مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی در این مطالعه شامل لایه ارتفاع، شیب، جهت شیب، انحنای سطح، فاصله از رودخانه، تراکم

منابع

قربانی‌نژاد، س.، دانش‌فر، م.، رحمتی، ا.، فلاح، ف.، حقی‌زاده، ع.، و طهماسبی‌پور، ن. (۱۳۹۶). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت ازنا-الیکودرز با استفاده از متغیرهای محیطی و مدل نسبت فراوانی. *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، (۲۸)، ۶۲-۷۸.

مفیدی‌فر، م.، اصلاح، م.، و حسن‌آبادی، ع. (۱۳۹۴). مقایسه مدل‌های تصمیم‌گیری تاپسیس و تحلیل سلسله‌مراتبی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه دشت یزد-اردکان در محیط GIS. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، (۱)۲۶، ۱۴۷-۱۵۶.

نجف‌پور، ن.، ترابی‌پوده، ح.، و یونسی، ح.ا. (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییرات کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی بر آلودگی آبخوان (مطالعه موردی: دشت لنجان، اصفهان). *پژوهش‌های محیط‌زیست*، (۲۱)۱۱، ۲۳۳-۲۴۸.

نوحانی، ا.، معروفی‌نیا، ا.، و خسروی، خ. (۱۳۹۶). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی دشت الشتر توسط مدل تابع شواهد قطعی. *نشریه آبیاری و زهکشی ایران*، (۴)۱۱، ۶۹۸-۷۰۷.

یوسفی، ح.، یونسی، ح.ا.، ارشیا، آ.، یاراحمدی، ی.، و گودرزی، ا. (۱۴۰۰). تعیین مناطق مستعد سیل با مدل‌های SI، FR و Shannon به‌منظور کاهش مخاطرات سیل (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کشکان). *اکوهیدرولوژی*، (۱)۸، ۳۰۷-۳۱۹.

یونسی، ح.ا.، ترابی‌پوده، ح.، شاه‌نژاد، ب.، و ارشیا، آ. (۱۳۹۹). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل‌های وزن شواهد و شاخص آماری در محدوده نجف‌آباد. *ترویج و توسعه آبخیزداری*، (۲۹)۸، ۳۶-۴۳.

اصغری، ص.، و ریاحی‌نیا، م. (۱۳۹۹). پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در دشت خرم‌آباد با استفاده از دو روش منطق فازی و شبکه عصبی مصنوعی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*، (۲)۹، ۱۴۱-۱۵۸.

زالی، م.، و شاهدی، ک. (۱۴۰۰). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از رویکرد منطق فازی و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز نکارود. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، (۱)۱، ۶۵-۷۹.

شفیعی، م.، امیراحمدی، ا.، و رحمانی، ا. (۱۳۹۸). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با مدل آنتروپی شانون حوضه آبریز دشت نورآباد ممسنی. *فضای جغرافیایی*، (۶۶)۱۹، ۲۹۱-۳۰۴.

عرب‌عامری، ع.ر.، پورقاسمی، ح.ر.، و شیرانی، ک. (۱۳۹۶). پهنه‌بندی حساسیت سیل‌گیری با استفاده از روش ترکیبی نوین تئوری بی‌زین - فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا-استان مازندران). *اکوهیدرولوژی*، (۲)۴، ۴۴۷-۴۶۲.

غلامی، م.، سلیمانی، ک.، و نکویی‌قاجکانلو، ا. (۱۳۹۶). تهیه نقشه حساسیت به وقوع زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های وزن شواهد (WofE)، نسبت فراوانی (FR) و دمپستر-شیفر (DSH) (مطالعه موردی: محدوده ساری-کیاسر). *مرتع و آبخیزداری*، (۳)۷۰، ۷۳۵-۷۵۰.

فلاح، ف.، دانش‌فر، م.، و قربانی‌نژاد، س. (۱۳۹۶). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در محدوده مطالعاتی خرم‌آباد با استفاده از روش شاخص آماری. *آب و توسعه پایدار*، (۱)۴، ۸۹-۹۸.

References

- Arab Ameri, A., Pourghasemi, H., & Shirani, K. (2017). Flood susceptibility zonation using new ensemble Bayesian-AHP methods (Case study: Neka Watershed, Mazandaran Province). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 4(2), 447-462 (in Persian).
- Asghari, S., & Riahinia, M. (2020). Potentialization of groundwater resources in Khorramabad plain using two methods of fuzzy logic and artificial neural network. *Quantitative Geomorphological Research*, 9(2), 141-158 (in Persian).
- Bonham-Carter, G.F., Agterberg, F.P., & Wright, D.F. (1988). Integration of Geological datasets for gold exploration in Nova Scotia. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 54(11), 1585-1592.
- Chen, W., Li, H., Hou, E., Wang, S., Wang, G., Panahi, M., Li, T., Peng, T., Guo, C., Niu, C., Xiao, L., Wang, J., Xie, X., & Ahmad, B.B. (2018). GIS-based groundwater potential analysis using novel ensemble weights-of-evidence with logistic regression and functional tree models. *The Science of the total environment*, 634, 853-867.
- Chenini, I., Mammou, A.B., & El May, M. (2010). Groundwater recharge zone mapping using GIS-based multi-criteria analysis: a case study in Central Tunisia (Maknassy Basin). *Water Resources Management*, 24, 921-939.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Nonomura, A., Yamanaka, M., Dhakal, S., & Paudyal, P. (2008). Predictive modelling of rainfall-induced landslide hazard in the Lesser Himalaya of Nepal based on weights-of-evidence. *Geomorphology*, 102(3-4), 496-510.
- Fallah, F., Daneshfar, M., & Ghorbaninejad, S. (2017). Application of the statistical index model in groundwater potential mapping in the Khorramabad Plain. *Journal of Water and Sustainable Development*, 4(1), 89-98 (in Persian).
- Gholami, M., Soleymani, K., & Nekoe, E. (2017). Landslide susceptibility mapping by use of Weight of Evidence (WofE) and Frequency Ratio (FR) and Dempster-Shafer (DSH) models: A case study of Sari-Kiasar region, Northern Iran. *Journal of Range and Watershed Management*, 70(3), 735-750 (in Persian).
- Golkarian, A., & Rahmati, O. (2018). Use of a maximum entropy model to identify the key factors that influence groundwater availability on the Gonabad Plain, Iran. *Environmental Earth Sciences*, 77, 369.
- Ghorbani Nejad, S., Daneshfar, M., Rahmati, O., Falah, F., Haghizadeh, A., & Tahmasebipour, N. (2017a). Groundwater resource potential of Azna-Aligoudarz plain using environmental variables and frequency ratio (FR) model. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(2), 62-78 (in Persian).
- Ghorbani Nejad, S., Falah, F., Daneshfar, M., Haghizadeh, A., & Rahmati, O. (2017b). Delineation of groundwater potential zones using remote sensing and GIS-based data-driven models. *Geocarto International*, 32(2), 167-187.
- Haghizadeh, A., Moghaddam, D., & Pourghasemi, H. (2017). GIS-based bivariate statistical techniques for groundwater potential analysis. *Journal of Earth System Science*, 126, 109.
- Jothibasau, A., & Anbazhagan, S. (2016). Modeling groundwater probability index in Ponnaiyar River basin of South India using analytic hierarchy process. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(109).
- Lee, S., Hyun, Y., & Lee, M. (2019). Groundwater Potential Mapping Using Data Mining Models of Big Data Analysis in Goyang-si, South Korea. *Sustainability*, (11), 1678.
- Manap, M.A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Sulaiman, W.N.A., & Ramli, M.F. (2014). Application of probabilistic-based frequency ratio model in groundwater potential mapping using remote sensing data and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 711-724.
- Mofidifar, M., Eslah, M., & Hasanabadi, A. (2015). Comparison of TOPSIS decision making models and hierarchical analysis in finding groundwater potential in Yazd-Ardakan Plain Basin in GIS. *Geography and Environmental Planning*, 26(1), 147-156 (in Persian).
- Mogaji, K.A., & Lim, H.S. (2018). Application of Dempster-Shafer theory of evidence model to geoelectric and hydraulic parameters for groundwater potential zonation. *Astronomy and Geophysics*, 7(1), 134-148.
- Najafpour, N., Torabipoudeh, H., & Yonesi, H. (2020). Evaluation of Groundwater Quantity and Quality on Aquifer Pollutant (Case Study: Lenjanat Plain, Isfahan). *Environmental Research*, 11(21), 233-248 (in Persian).
- Nampak, H., Pradhan, B., & Manap, M.A. (2014). Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513, 283-300.
- Nohani, A., Merufinia, A., & Khosravi, Kh. (2018). Groundwater Potential Mapping of the Al-shtar Plain Using Evidential Belief Function Model. *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 1(12), 119-129 (in Persian).
- Oh, H.J., Kim, Y.S., Choi, J.K., Park, E., & Lee, S. (2011). GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang

- City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3), 158-72.
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42-70.
- Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Kumamoto, T., & Akgun, A. (2014). Application of frequency ratio, statistical index, and weights-of-evidence models and their comparison in landslide susceptibility mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 725-742.
- Siahkamari, S., & Zeinivand, H. (2016). Potential of flood prone areas using statistical index model and weight of evidence (Case study: Maderso watershed, Golestan). *Remote Sensing and GIS in Natural Resources*, 7(4), 116-133.
- Sener, B., Suzen, M.L., & Doyuran, V. (2006). Landfill site selection by using geographic information systems. *Environmental Geology*, 49(3), 376-388.
- Shafiei, N., Amir Ahmadi, A., & Rahmani, A. (2019). Finding potential sources of underground water catchment model Shannon entropy Nourabad Mamasani plain. *Journal of Geographic Space*, 19(66), 291-304 (in Persian).
- Thapa, R., Gupta, S., Guin, S., & Kaur, H. (2017). Assessment of groundwater potential zones using multi-influencing factor (MIF) and GIS: a case study from Birbhum district, West Bengal. *Applied Water Science*, 7(7), 4117-4131.
- Xu, C., Xu, X., Dai, F., Xiao, J., Tan, X., & Yuan, R. (2012). Landslide hazard mapping using GIS and weight of evidence model in Qingshui River watershed of 2008 Wenchuan earthquake struck region. *Journal of Earth Science*, 23, 97-120.
- Yousefi, H., Younesi, H., Arshia, A., Yarahmadi, Y., & Goodarzi, A. (2021). Determination of flood prone areas with FR, SI and Shannon models in order to reduce flood risks (Case study: Caspian watershed). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(1), 307-319 (in Persian).
- Younesi, H., Torabi Podeh, H., Shahi Nejad, B., & Arshia, A. (2020). Groundwater potential mapping using the weights of evidence and statistical indexes in Najafabad, Iran. *Extension and Development of Watershed Management*, 8(29), 36-43 (in Persian).
- Zali, M., & Shahedi, K. (2021). Evaluation of landslide sensitivity using fuzzy logic approach and GIS in watershed. *Water and Soil Management and Modeling*, 1(1), 65-79 (in Persian).