

**EXTENDED ABSTRACT**

**Potential Detection of Groundwater Resources of Sero Plain: Applications of Shannon's Entropy and Frequency Ratio (FR) Models**

S. Khoshtinat<sup>1</sup>, B. Aminnejad<sup>2\*</sup>, Y. Hassanzadeh<sup>3</sup> and H. Ahmadi<sup>4</sup>

1-Ph. D. Candidate, Water Engineering, Department of Civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

2\*-Corresponding Author, Assistant Professor, Department of civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran. (*aminnejad@riau.ac.ir*).

3-Professor of Faculty of Civil Engineering, University of Tabriz, Tabriz, Iran

4-Assistant Professor, Department of civil Engineering, Roudehen Branch, Islamic Azad University, Roudehen, Iran

Received: 21 June 2018

Revised: 30 September 2018

Accepted: 3 October 2018

**Keywords:** Well yield, Frequency ratio, Earth's curvature, Area Under Curve (AUC).

**DOI:** 10.22055/jise.2018.26117.1769.

**Introduction**

Groundwater plays an important role in the sustainable development of human societies. The rapid growth of population, low level effectiveness, and performance of irrigation in agriculture sector have led to increase in demand for water resources in Iran. Therefore, the regional management of water extraction and the optimal usage of available water resources are highly important. Considering the urgent and intense need for groundwater resources, we used Shannon's entropy and frequency ratio models to identify the groundwater resources of Sero Plain for agricultural and drinking purposes as well as to detect the factors that affect occurrence of groundwater and zoning.

**Material and Methods**

**Distribution map of groundwater wells**

To obtain a groundwater potential map of the exploitation wells with yield of greater than 11 m<sup>3</sup> per hour, 53 wells (70%) were used for modelling the groundwater and 22 (30%) wells were used for validation process (Nampak, Pradhan and Manap, 2014).

**Preparation of map for effective factors on groundwater occurrence**

In the next step of this research, the effective factors were converted into a grid of 20 \* 20 using ArcGIS10.1 Software. The classification of the effective factors on normal failure was accomplished based on the available literature (Manap et al., 2014). In the present study, the effective factors on the occurrence of groundwater including, geology, altitude classes, gradient, direction, curvature of the earth, distance from river, distance from fault, soil, precipitation and land use were considered based on the literature review.

**Frequency ratio model**

The importance of each sub-metric based on frequency ratio of each class can be obtained using the following equation:

$$FR = \frac{A/B}{C/D} = \frac{E}{F} \quad (1)$$

In which, A refers to the wells count located in each metric class, B is a set of training wells of the study region, C is the number of pixels in each metric class, and D is the total number of the pixels of the study region. Also, E is the occurrence percentage of wells in metric class, F is the relative percentage of class area of the entire region, and FR is the class frequency ratio from metrics.

### Shannon's entropy model

The entropy can be briefly defined as a quantity of irregularities between the reasons and results or decisions related to various subjects. Equations (2), (3), (4), (5) and (6) were used for calculating the information coefficient, in which  $V_j$  represents the amount of parameter value from total and can be computed based on equation (2):

$$E_{ij} = \frac{FR}{\sum_{j=1}^{M_j} FR} \quad (2)$$

In which, FR is the frequency ratio and  $E_{ij}$  represents the probability density.

$$H_j = -\sum_{j=1}^{M_j} E_{ij} \log_2 E_{ij}, J = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

$$H_{jmax} = \log_2 M_j - \text{Number of class} \quad (4)$$

$$I_j = \left( \frac{H_{jmax} - H_j}{H_{jmax}} \right), I = (0, 1), j = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

$$V_j = I_j \cdot FR \quad (6)$$

Here,  $H_j$  and  $H_{jmax}$  are the values associated with entropy,  $I_j$  represents the information coefficient (IC) and  $M_j$  is the class count. Moreover,  $V_j$  is the resultant weight of total parameter. The variation domain is variable between 0 and 1. The values close to 1 showed higher inconsistency and imbalance.

### Validation and comparison between results

In this study, validation was performed using the Receiver Operating Characteristic (ROC) curve index in SPSS software. According to this method, the sub-area of the ROC is between 0.5 and 1 and it is used to assess the accuracy of the model (Khosravi et al., 2016) in a way that the closer the area to 1, the higher the accuracy of the model.

### Results and discussion

#### Map of regions with groundwater potential

The map of regions with groundwater potential was prepared using frequency ratio (Figure 1) and Shannon's entropy (Figure 2) models. The map was divided into five different classes, namely, very low potential, low potential, moderate potential, high potential, and very high potential. It is obvious that the southeastern region showed very high potential, the central regions showed moderate potential, and the marginal regions of the plain showed very low potential.

According to the Shannon's entropy method, the weight of land use during the occurrence of groundwater was equal to 0.48. For soil factor, this weight was equal to 0.35. For factors including geology, altitude classes, earth curvature, distance from fault, gradient, distance from river, direction of the gradient, and precipitation, the weight was equal to 0.24, 0.23, 0.17, 0.16, 0.09 and 0.01,

respectively. Here, the most important effective factors on the groundwater resources of Sero Plain are land use, soil, geology and altitude classes, while factors such as precipitation and distance from the river have the lowest impact on the occurrence of groundwater in the study region.

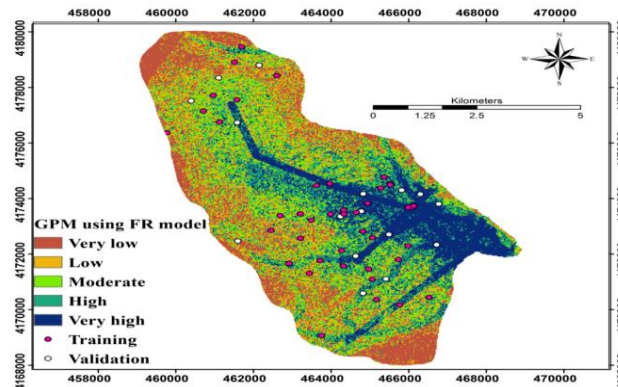


Fig. 1- Map of regions with groundwater resources potential using FR Model

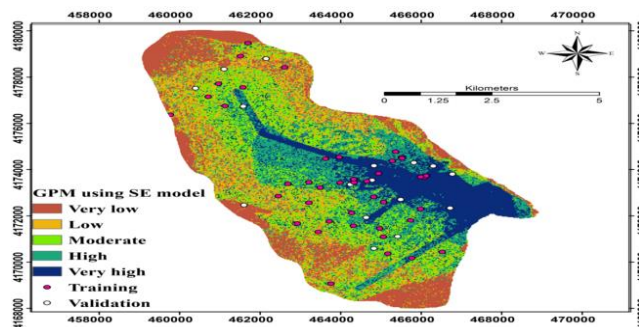


Fig. 2- Map of regions with groundwater resources potential using SE Model

### Results validation and comparison

The obtained results for the adopted models on the basis of the validation data (30%) indicated that the frequency ratio model possesses area under curve of 0. 841 and Shannon’s entropy model has an area under curve of 0. 814. As a result, the performance of maps prepared by these two models is desirable. However, the accuracy of the frequency ratio was higher than the accuracy of Shannon’s entropy model.

### Conclusion

The results showed that both methods possess an acceptable accuracy. However, the map prepared by frequency ratio model has a higher accuracy (84%) than the one obtained by Shannon’s entropy model (81%). Moreover, the results obtained for Shannon’s entropy model indicate that the most effective factors on potential detection of the groundwater within the study region are land use and soil type.

### Acknowledgment

The authors would like to thank the reviewers for their constructive comments improving the quality of this paper.

### References

- 1- Arkoprovo, B., Adarsa, J. and Prakash, S. S., 2012. Delineation of groundwater potential zones using satellite remote sensing and geographic information system techniques: a case study from Ganjam district, Orissa, India. *Research Journal of Recent Sciences*, 2277, pp. 2502.
- 2- Chandhary, B., Kumar, B., Saroha, K., Yadar, G., Singh, M., Sharma., A. Pandey, M. and Singh, P., 2001. Integrated ground water resources mapping in Gurgaon district, (Haryana) India using remote sensing and GIS techniques. *Retrieved From Using False Color Composites From Indian Remote Sensing Satellite (IRS-1C)*, pp. 351-356.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی دشت سرو: کاربرد مدل های آنروپی شانون و نسبت فراوانی

سعید خوش طینت<sup>۱</sup>، بابک امین نژاد<sup>۲\*</sup>، یوسف حسن زاده<sup>۳</sup> و حسن احمدی<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، مهندسی آب، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران، aminnejad@riau.ac.ir

۳- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

۴- استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد رودهن، دانشگاه آزاد اسلامی، رودهن، ایران.

پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱۱

بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۸

دریافت: ۱۳۹۷/۳/۳۱

### چکیده

هدف از تحقیق حاضر تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در مناطق کم آب (دشت سرو استان آذربایجان غربی) با استفاده از مدل آنروپی شانون و نسبت فراوانی می باشد. بدین منظور، داده آبدی چاه های بهره برداری محدوده جمع آوری و پس از آن، آبدی چاه های مذکور به آبدی بالا (بیشتر از ۱۱ مترمکعب بر ساعت) و پایین (کمتر از ۱۱ مترمکعب بر ساعت) تقسیم شد. در نهایت داده های با آبدی بالاتر نیز به دو دسته جهت ساخت مدل یا مرحله واسنجی (داده های آموزش) و صحت سنجی یا اعتبارسنجی (داده های آزمایش) تقسیم گردید. سپس عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی شامل شیب زمین، جهت شیب، ارتفاع، بارش، انحنا ی کلی زمین، زمین شناسی (سن)، کاربری اراضی، فاصله تا رودخانه، فاصله تا گسل و نقشه خاک تهیه شد. در نهایت پس از تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی توسط مدل های مذکور، اقدام به صحت سنجی آن ها شد. نتایج صحت سنجی با داده های آموزش (نرخ موفقیت) نشان داد که سطح زیر منحنی (AUC) در مدل نسبت فراوانی ۸۸ درصد و در مدل آنروپی شانون برابر ۸۴ درصد است. نتایج صحت سنجی با داده های آزمایش (نرخ پیش بینی) نشان داد که سطح زیر منحنی در مدل نسبت فراوانی ۸۴ درصد و در مدل آنروپی شانون برابر ۸۱ درصد است. بنابراین، مقایسه دو مدل نشان داد که هر دو مدل دارای صحت قابل قبولی هستند، اما با توجه به نتایج صحت سنجی، مدل نسبت فراوانی دارای عملکرد نسبتاً بهتری می باشد. مهم ترین فاکتورهای مؤثر در پتانسیل یابی آب زیرزمینی در دشت سرو، کاربری اراضی، خاک، زمین شناسی و طبقات ارتفاعی می باشند.

کلید واژه ها: آبدی چاه، نسبت فراوانی و آبدی، شیب زمین، سطح زیر منحنی.

### مقدمه

هیدرولوژی مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از کاربردهای آن در ارتباط با بررسی توزیع مکانی کمیت و کیفیت آب زیرزمینی (Prasanth et al., 2012)، مشخص نمودن مناطق پتانسیل آب زیرزمینی و انتخاب مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی می باشد (Shankar and Mohan, 2006). مزیت اصلی استفاده از روش های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در شناسایی آب زیرزمینی، کاهش هزینه و زمان مورد نیاز، استخراج سریع اطلاعات مربوط به وجود آب زیرزمینی و انتخاب مناطق مستعد برای اکتشاف آب زیرزمینی می باشد (Chandhary et al., 2001). توسعه یک مدل مناسب پتانسیل آب زیرزمینی به منظور بررسی پیشرفت های سیستماتیک آبی، مدیریت مؤثر و استفاده پایدار از منابع آب زیر زمینی بسیار حیاتی است (Oh et al., 2011). نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شده به ما اجازه می دهد با صرف زمان و هزینه کمتری به شناسایی منابع آب زیرزمینی بپردازیم. چنین نقشه هایی ابزارهایی مفیدی را برای برنامه ریزان و مهندسان در شناسایی مکان های مناسب آب زیر زمینی فراهم نموده (Moghaddam et al., 2015) به طوری که امکان اجرای موفق

Ganapuram et al. (2009) بیان کردند که آب زیرزمینی در توسعه پایدار جوامع بشری نقش مهمی را ایفا می کند. در ایران رشد سریع جمعیت و کارایی پایین آبیاری در بخش کشاورزی، تقاضا برای منابع آبی را به شدت افزایش داده است. بنابراین مدیریت منطقه ای برای استحصال آب و استفاده بهینه از منابع آبی موجود، ضروری است و لذا نقشه بندی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی یکی از مهم ترین فعالیت ها در این زمینه می باشد (Pourghasemi and Beheshtirad, 2015). روش های قراردادی مورد استفاده در تهیه مناطق پتانسیل آب زیرزمینی اصولاً بر اساس پیمایش های میدانی می باشند. با پیشرفت روش های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به عنوان روش های استاندارد نقشه برداری، شناسایی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در هر واحد زمین شناسی، به روشی آسان تبدیل شده است (Singh and Arkoprovo et al., 2012). امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزار مکانی مؤثر، به طور وسیعی در مسائل و مشکلات مربوط به

شناسایی منابع آب زیرزمینی دشت سرو با توجه به نیاز شدید به منابع آب زیرزمینی برای مصارف کشاورزی و شرب و همچنین شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع و رخداد آب‌زیرزمینی و پهنه‌بندی آن با استفاده از مدل آنتروپی شانون و نسبت فراوانی انجام شده است.

### مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی سرو- موانا واقع در استان آذربایجان غربی شامل دشت‌های سرو، هورسین و موانا است که قسمت بالادست حوضه آبریز نازلوچای را تشکیل داده و در مجاورت محدوده‌های مطالعاتی سلماس، ارومیه و زیوه- سیلوانا، واقع است. محدوده مطالعاتی سرو- موانا در غرب حوضه آبریز دریاچه ارومیه و در مجاورت مرز ایران و ترکیه قرار گرفته است. این محدوده از شمال به محدوده مطالعاتی سلماس، از غرب منطبق بر مرز حوضه آبریز دریاچه ارومیه و مرز ایران و ترکیه، از جنوب به محدوده مطالعاتی زیوه- سیلوانا و از شرق به محدوده مطالعاتی ارومیه محدود می‌شود. وسعت محدوده مطالعاتی سرو- موانا معادل ۵۲/۴ کیلومتر مربع بوده و بین ۳۳' ۴۴ تا ۵۴' ۴۴ طول شرقی و ۳۷' ۳۸ تا ۰۰' ۳۸ عرض شمالی قرار گرفته است. محدوده مطالعاتی سرو- موانا، شامل دشت‌های سرو، هورسین و موانا می‌باشد.

### روش انجام پژوهش

این مطالعه در چهار مرحله برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی انجام شد. در ابتدا خصوصیات منطقه مورد مطالعه تشریح شده و چاه‌های موجود شناسایی گردید. در مرحله دوم، جمع‌آوری داده‌ها و ایجاد پایگاه داده‌های مکانی فاکتورهای مؤثر انجام گرفت. در سومین مرحله، روش نسبت فراوانی و آنتروپی شانون در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شد و در مرحله چهارم اعتبارسنجی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از روش منحنی مشخصه عملکرد سیستم (ROC) انجام پذیرفت.

### نقشه پراکنش چاه‌های آب زیرزمینی

رابطه مکانی بین نقشه پراکنش بین چاه‌ها (شکل ۱) و هر یک از عوامل مؤثر بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی ضروری است. ابتدا اقدام به جمع‌آوری مختصات جغرافیایی کل چاه‌های بهره‌برداری در منطقه مورد مطالعه شد. در این مرحله چاه‌های موجود براساس آبدی در نرم افزار ArcGIS 10.2 به دو دسته آبدی زیاد (بالاتر از ۱۱ مترمکعب بر ساعت) و آبدی کم (کمتر از ۱۱ مترمکعب بر ساعت) تقسیم‌بندی شد. بنابراین، به‌منظور تولید نقشه پتانسیل آب زیرزمینی فقط از چاه‌های بهره‌برداری با آبدی بالا استفاده شد که به‌طور تصادفی به دو دسته شامل، ۵۳ (۷۰ درصد) موقعیت چاه برای مدل‌سازی آب زیرزمینی و ۲۲ مورد (۳۰ درصد) دیگر برای اعتبارسنجی آن استفاده شد (Nampak et al., 2014).

عملیات حفاظت و نگهداری برنامه‌های مدیریتی آب زیر زمینی را فراهم می‌سازند. روش‌های سنتی شناسایی منابع آب زیرزمینی شامل حفاری و ژئوالکترونیک کاملاً زمان‌بر و هزینه‌بر بوده و به همین دلیل، روش‌های جدید می‌تواند در شناسایی اولیه این مناطق، به‌خصوص در مناطق فاقد داده‌های اندازه‌گیری شده بسیار مفید باشد (Pradhan et al., 2010). در تحقیقات انجام شده برای پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی حوضه بهارنجی هندوستان از روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده شد. بعد از استخراج عوامل مؤثر بر آب‌زیرزمینی از جمله بارندگی، گسل، الگوهای زهکشی و غیره با استفاده از تکنیک سنجش از دور، این اطلاعات در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با اطلاعات فرعی دیگر شامل اطلاعات توپوگرافیکی (شیب، زهکشی)، زمین‌شناسی (نوع لیتولوژی) و هیدروژئومورفولوژی ترکیب شدند و با جمع جبری تمامی این لایه‌ها با وزن مناسب، شاخص پتانسیل آب زیرزمینی محاسبه گردید. نتایج مطالعه نشان‌دهنده قابلیت بالای روش‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی برای حوضه مورد مطالعه دارد (Pradhan, 2009). محققان دیگری برای تعیین نقشه پتانسیل آب زیرزمینی پوهانگ کره جنوبی مدل نسبت فراوانی (Frequency Ratio, FR) و سیستم اطلاعات جغرافیایی را به کار بردند (Oh et al., 2011). در این بررسی در ابتدا داده‌های ظرفیت پتانسیل آب زیرزمینی بزرگتر از ۶/۲۵ مترمکعب در روز به‌صورت تصادفی و با نسبت ۶۶ به ۳۴ برای دوره آموزش و ارزیابی مدل انتخاب شدند و سپس ارتباط بین این مقادیر را با فاکتورهای هیدروژئوکی مختلف مورد ارزیابی قرار دادند. نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با ترکیب همه فاکتورهای مؤثر، توسط روش سطح زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم، دقت ۷۷/۷۸ درصد را نشان داد. نتایج نشان داد که بافت خاک بیشترین تأثیر و ارتفاع زمین حداقل تأثیر را بر پتانسیل آب زیرزمینی دارد. در پژوهشی دیگر محققان به بررسی تأثیر ۱۲ فاکتور ارتفاع، جهت شیب، درجه شیب زمین، طول شیب، شاخص رطوبت توپوگرافیکی، انحنای دشت، کاربری اراضی، زمین‌شناسی، فاصله از رودخانه، تراکم زهکشی، فاصله از گسل و تراکم گسل بر پتانسیل آب زیرزمینی حوضه آبریز کوه‌رنگ استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل EBF (Evidential belief function) پرداختند و نشان دادند که مساحت زیر منحنی مشخصه عملکرد سیستم برای مدل، ۸۱/۷۲ درصد است که نشان‌دهنده دقت بالای مدل در تهیه نقش پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه داشت (Pourghasemi and Beheshtirad, 2015).

در بیشتر تحقیقات صورت‌گرفته از چشمه‌ها به‌عنوان معیار آب زیرزمینی استفاده شده است، اما چاه‌ها به‌جهت داشتن مقدار آبدی، معیار مناسبی را در اختیار قرار می‌دهند. پژوهش حاضر با هدف



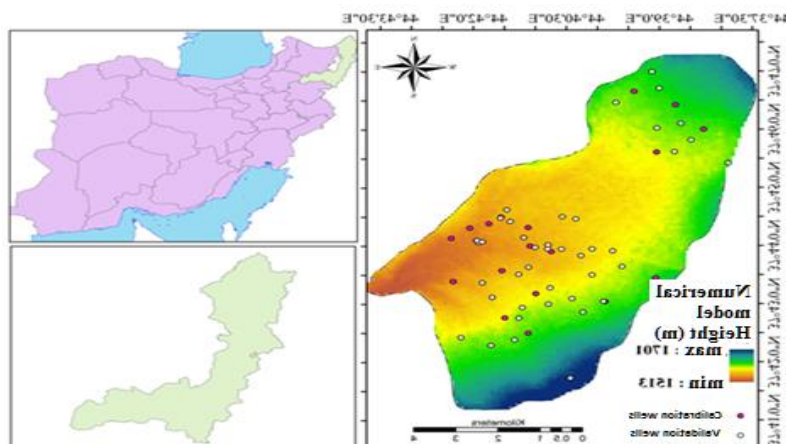


Fig. 1- Geographical position of Sero Plain and location of wells used in calibration and validation

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی دشت سرو و محل چاه‌های مورد استفاده در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی

خورشید و ساختار مورفولوژیک منطقه و تبخیر. در مطالعه حاضر، نقشه جهت آماده و به نه گروه براساس روش طبقه‌بندی استاندارد تقسیم شد. انحنای شیب می‌تواند به عنوان هم‌گرایی یا واگرایی آب در طول سرایشی جریان نقش داشته باشد. نقشه‌های سه‌گانه انحنای از روی مدل رقومی ارتفاع با استفاده از ArcGIS10.2 استخراج شد، و به سه گروه بر اساس طبقه‌بندی استاندارد نرمال شامل  $(-0.05) <$ ،  $(0.05) >$ ،  $(-0.05) <$  و  $(0.05) >$  طبقه‌بندی شد (Pourghasemi et al., 2013). انحنای مثبت نشان محذب، انحنای صفر نشان دهنده تخت و انحنای منفی، مقعر را نشان می‌دهد (Mohammady et al., 2012). خطواره‌ها ویژگی‌های خطی بر روی سطح زمین هستند که بازتاب بیان سطح کلی از شکستگی‌های زیرزمینی هستند. آنها به‌عنوان تخلخل ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند و باعث نفوذ روان آب سطحی به زیر سطح زمین شده و ارتباط زیادی با ذخیره‌سازی و حرکت آب‌های زیرزمینی دارند. به‌منظور کمی کردن این پارامتر از دو پارامتر تراکم گسل و فاصله از گسل استفاده شد و در نهایت به پنج طبقه تقسیم‌بندی شدند. در یک گستره، چگونگی قرار گرفتن آبراهه‌ها و تراکم آنها ناشی از خصوصیات زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، خاک، ناهمواری و شرایط اقلیمی است. سیستم زهکشی در منطقه توسط طبیعت و ساختار سنگ بستر، نوع پوشش گیاهی، بارندگی، ظرفیت جذب خاک، نفوذ و گرادیان شیب تعیین می‌شود (Manap, et al., 2014). علاوه بر این الگو، رودها منعکس‌کننده نسبت بین آب نفوذی به روان آب سطحی می‌باشد.

### تهیه نقشه عوامل مؤثر بر وقوع آب زیرزمینی

در پژوهش حاضر به‌منظور تحلیل و پیش‌بینی پتانسیل وقوع آب‌های زیرزمینی، نیاز به دو دسته متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته وجود دارد. متغیرهای وابسته شامل داده‌های مربوط به آبدهی چاه و متغیرهای مستقل شامل نقشه‌های مربوط به عوامل مؤثر بر پتانسیل آب‌های زیرزمینی هستند. عوامل مؤثر در نهایت با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.2 به شبکه  $20 \times 20$  متر (براساس مدل رقومی ارتفاع منطقه مورد مطالعه) تبدیل شد. برای طبقه‌بندی عوامل مؤثر از شکست طبیعی براساس مرور منابع استفاده شد (Manap et al., 2014). آماده‌سازی مدل رقومی ارتفاعی اولین گام در این پژوهش می‌باشد. مدل ارتفاعی رقومی (DEM) به‌عنوان یک منبع کامل برای استخراج عوامل توپوگرافی شیب، انحنای زمین، TWI و جهت شیب استفاده شد. ارتفاع یک گستره در میزان وقوع بارندگی، درجه حرارت و تغییرات آن، میزان تبخیر تعرق، شدت تشعشعات خورشیدی مؤثر می‌باشد. بدین ترتیب هرچه تراز ارتفاعی نسبت به سطح دریا در یک منطقه کمتر باشد، احتمال تشکیل آب زیرزمینی بیشتر خواهد بود (Damavand et al., 2012). ارتفاع به‌طور مستقیم از مدل رقومی ارتفاع (DEM) تولید و به پنج دسته بر اساس روش طبقه‌بندی شکست طبیعی طبقه‌بندی شد. از نظر توپوگرافی مهم‌ترین معیار تأثیرگذار بر منابع آب زیرزمینی شیب است که نقش مهمی در نفوذ یا ایجاد روان آب ناشی از بارش را بر عهده دارد. هرچه شیب عمومی آبخیز افزایش یابد زمان تمرکز کوتاه‌تر می‌شود، زیرا آب در شیب‌های تندتر سریع‌تر حرکت می‌کند و زودتر به خروجی حوضه می‌رسد و میزان نفوذ آب کاهش می‌یابد (Damavand et al., 2012). بنابراین نقشه درجه شیب منطقه مورد مطالعه آماده و به پنج کلاس با توجه به روش شکست طبیعی طبقه‌بندی شد (شکل ۲). به‌طور کلی، عامل جهت شیب بر روی دیگر پارامترها مؤثر است مانند بارش، مقدار نور

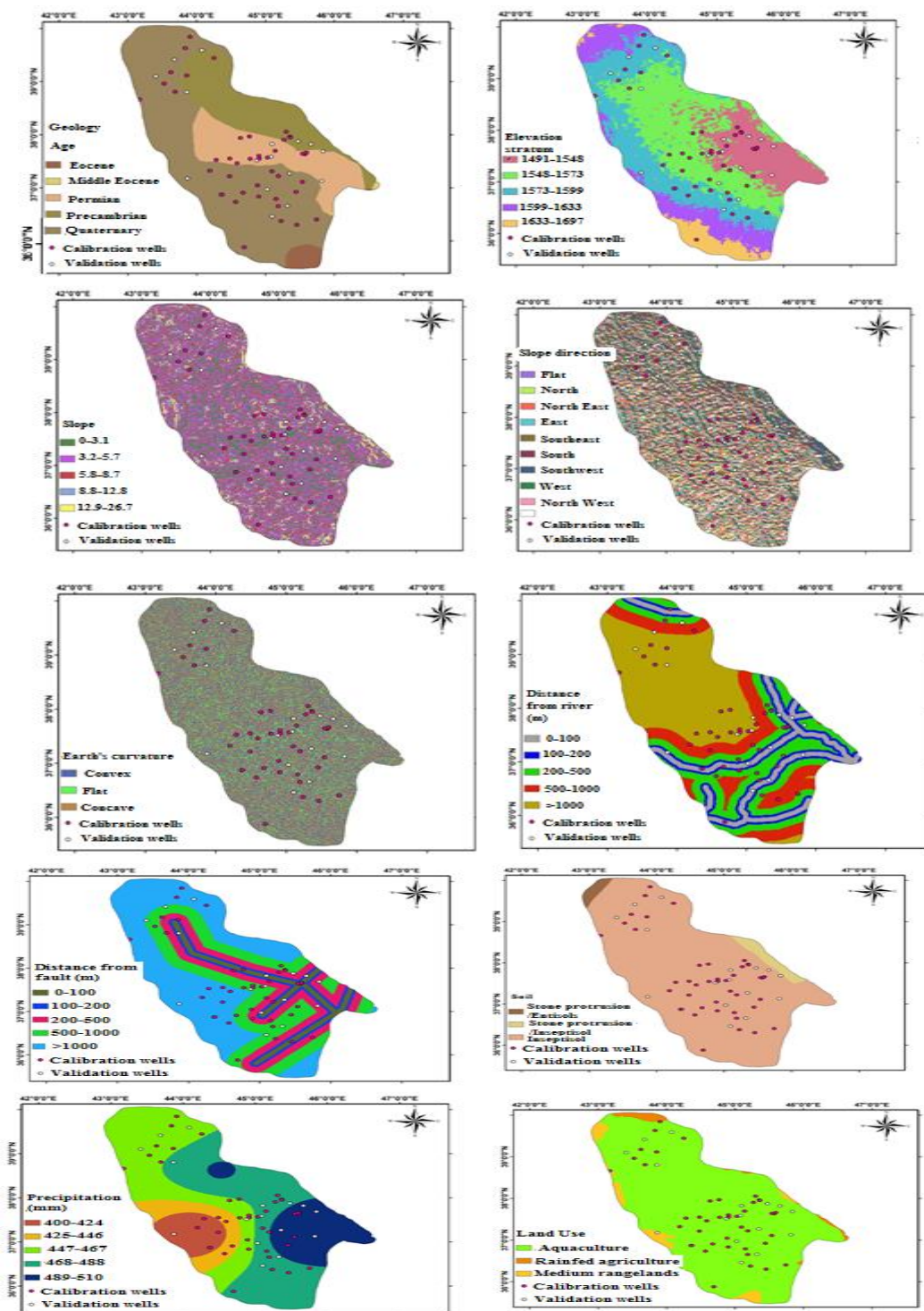


Fig. 2- Effective factors on occurrence of groundwater: Geology, b) Elevation stratum, c) Slope d) Direction, e) Earth's curvature f) Distance from river, g) Distance from fault, h) Soil, i) Precipitation, j) Field use

شکل ۲- فاکتورهای مؤثر بر وقوع آب زیرزمینی: الف) زمین‌شناسی، ب) طبقات ارتفاعی، پ) شیب، ج) جهت، د) انحنای زمین، ح) فاصله از رودخانه، خ) فاصله از گسل، ه) خاک، و) بارندگی و ی) کاربری اراضی



$$FR = \frac{A/B}{C/D} = \frac{E}{F} \quad (۱)$$

که در آن A: تعداد چاه‌های واقع شده در کلاس معیار مورد نظر، B: مجموع چاه‌های آموزشی منطقه مورد مطالعه، C: تعداد پیکسل‌ها در کلاس معیار، D: تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه مورد مطالعه، E: درصد وقوع چاه‌ها در کلاس معیار مورد نظر و F: درصد نسبی مساحت کلاس از کل منطقه بوده و FR نسبت فراوانی کلاس از معیارها می‌باشد.

### مدل آنتروپی شانون

به‌طور خلاصه آنتروپی به معنای کمی از بی‌نظمی بین علل و نتایج یا تصمیم‌گیری‌هایی در موضوع‌های مختلف مورد بحث است. شاخص آنتروپی مقیاسی از مقدار برابری است، که در آن گروه‌ها به طور مساوی و یکنواخت در بین واحدهای سازمانی توزیع شده‌اند (Massey and Nancy, 1988). شاخص آنتروپی به‌عنوان مقیاسی از تقاضا متوسط سهم گروه‌های واحد از سیستم کل تعریف شده است (Theil, 1972). رابطه یک به یکی بین کمیت و مقدار آنتروپی سیستم و درجه بی‌نظمی وجود دارد که اصول Boltzmann نامیده می‌شود که برای نمایش وضعیت ترمودینامیک یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. شانون بر اساس اصول بولتزمن اصلاح شده است و مدل آنتروپی را برای تئوری اطلاعات استفاده نموده است. چندین فاکتور مهم، آنتروپی اضافی را به داخل سیستم شاخص مهیا می‌کنند. مقادیر آنتروپی می‌تواند برای محاسبه وزن هدف سیستم شاخص مورد استفاده قرار گیرد (Yang et al., 2010). معادلات (۲) تا (۵) برای محاسبه ضریب اطلاعات به‌کار رفته شده و  $V_j$  در رابطه (۶) نیز نشان دهنده میزان ارزش پارامتر از کل می‌باشد:

$$E_{ij} = \frac{FR}{\sum_{j=1}^{M_j} FR} \quad (۲)$$

که در آن FR نسبت فراوانی و  $E_{ij}$  چگالی احتمال می‌باشد.

$$H_j = -\sum_{i=1}^{M_j} E_{ij} \log_2 E_{ij}, E_{ij} = 1, \dots, n \quad (۳)$$

$$H_{j_{max}} = \log_2 M_j, M_j = \text{number of class} \quad (۴)$$

$$I_j = \left( \frac{H_{j_{max}} - H_j}{H_{j_{max}}} \right), I = (0,1), J = 1, \dots \quad (۵)$$

$$V_j = I_j \cdot FR \quad (۶)$$

رابطه بین نفوذ و روان‌آب نیز تا حد زیادی توسط نفوذ کنترل می‌شود که به نوبه خود تابع نوع سنگ و شکستگی‌های موجود در سنگ‌های زیرسطحی یا سطح سنگ بستر است. بنابراین، الگوی زهکشی به‌طور مستقیم از DEM  $20 \times 20$  متر و توسط الحاقیه Arc Hydro تهیه و براساس روش طبقه‌بندی شکست طبیعی به پنج دسته تقسیم شد. لایه تراکم زهکشی نیز از دستور line density در نرم افزار ArcGIS 10.2 تهیه و به پنج کلاس تقسیم شد. مقدار باران یکی از مهم‌ترین فاکتورهای تغذیه آب‌های زیرزمینی و یکی از اصلی‌ترین عوامل تشخیص منطقه با پتانسیل آب‌زیرزمینی است (Purguyumi et al., 2012). نقشه بارش سالانه منطقه مورد مطالعه با استفاده از داده‌های بارش تهیه و به پنج کلاس طبقه‌بندی شد (شکل ۲). با توجه به مرور منابع، یکی از مهم‌ترین فاکتورها در پیش‌بینی مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی، زمین‌شناسی است. بنابراین، از نظر معیارهای زمین‌شناسی مؤثر بر منابع آب، واحدهای زمین‌شناسی بررسی شد. زیرا جنس سازندها بر تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌های آبخوان تاثیر می‌گذارد (Hosseini and Tabatabaei, 2014). نوع استفاده از زمین و پوشش زمین یکی از عوامل اصلی کنترل‌کننده در روند تغذیه آب‌های زیرزمینی است به‌طوری که طبق مرور منابع، مناطق جنگلی دارای نفوذ بیشتر و تاثیر بیشتری در رخدادهای آب‌زیرزمینی هستند (شکل ۲). یکی دیگر از داده‌های سطح زمین، خاک است که به‌عنوان یک عامل پتانسیل مربوط به بهره‌وری آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد که همواره نفوذ آب‌های سطحی را به یک سیستم آبخوان کنترل می‌کند. منطقه مورد مطالعه از برونزدهای سنگی - آنتیسول، برونزدهای سنگ - انسپتیسول و انسپتیسول ساخته شده است.

### مدل نسبت فراوانی

مدل نسبت فراوانی (FR) رابطه بین توزیع چاه‌ها و هر یک از عوامل مربوط به رخدادهای آب‌زیرزمینی و رابطه بین مکان چاه‌ها و عوامل مؤثر در منطقه را آشکار می‌نماید (Lee and Pardahan, 2007). پایگاه داده‌های عوامل مربوط به رخدادهای آب‌زیرزمینی تهیه و پس از ورود آن‌ها به محیط GIS و تبدیل به لایه‌های اطلاعاتی، طبقه‌بندی و تعداد و درصد پیکسل‌های هر طبقه تعیین شدند. سپس فراوانی چاه‌ها در هر طبقه با استفاده از هم‌پوشانی نقشه پراکنش چاه‌های منطقه با هر یک از لایه‌های اطلاعاتی محاسبه شد. با تقسیم درصد تعداد چاه‌ها در هر طبقه به درصد پیکسل‌های همان طبقه، ضریب نسبت فراوانی به‌دست آمد. بنابراین با محاسبه مقدار FR ارتباط بین طبقات هر یک از عوامل و رخدادهای آب‌زیرزمینی می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد. پس از محاسبه FR، شاخص رخدادهای آب‌زیرزمینی برای هر پیکسل محاسبه شد (Khosravi et al., 2018):

و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای اعتبارسنجی نگه داشته شدند. نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به‌دست آمده در نهایت توسط مجموعه چاه‌های اعتبارسنجی (۳۰ درصد) روی هم‌گذاری شده و منحنی ROC رسم و مساحت زیرمنحنی (AUC) محاسبه شد. ارتباط کمی- کیفی بین AUC و دقت پیش‌بینی را می‌توان به شرح زیر طبقه‌بندی کرد: ۰/۶-۰/۵ ضعیف، ۰/۶۱-۰/۷ متوسط، ۰/۷۱-۰/۸ خوب، ۰/۸۱-۰/۹ بسیار خوب و ۰/۹۱-۱ بسیار عالی (Pourghasemi et al., 2013).

### نتایج و بحث

#### روش نسبت فراوانی

در جدول (۱) رابطه بین رخداد آب زیرزمینی با هر یک از کلاس‌های فاکتورهای مؤثر توسط روش نسبت فراوانی و آنتروپی شانون نشان داده شده است.

که  $H_j$  و  $H_{jmax}$ : مقادیر (ارزش‌های) آنتروپی؛  $Z_j$ : ضریب اطلاعات و  $M_j$ : تعداد کلاس‌ها می‌باشد. هم‌چنین  $V_j$ : نمایش‌دهنده ارزش وزن برآیند از پارامتر کلی می‌باشد. دامنه تغییرات بین صفر و یک می‌باشد. مقادیر نزدیک به یک ناهماهنگی و عدم تعادل بیشتری دارد.

#### اعتبارسنجی و مقایسه بین نتایج

در تحقیق حاضر، اعتبارسنجی از طریق شاخص عملکرد منحنی مشخصه (ROC) در نرم‌افزار SPSS انجام شد. در این روش، مساحت زیرمنحنی ROC دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ بوده و از آن برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود (Khosravi et al., 2018). به‌طوری‌که هرچه مساحت به عدد یک نزدیک‌تر باشد، مدل دارای دقت بالاتری می‌باشد. برای این کار کل چاه‌های بهره‌برداری منطقه به دو بخش تقسیم شدند. به‌طوری‌که ۷۰ درصد چاه‌ها به‌عنوان داده‌های آموزشی

Table 1- Spatial relation between effective factors and the location of the drilled wells

#### جدول ۱- ارتباط مکانی بین فاکتورهای مؤثر و موقعیت چاه‌های حفر شده

Ertion								
Elevation stratum	Pixel Count	Percent	Well	Percent	Frequency ratio	$E_{ij}$	$H_j$	$V_j$
1491-1548	13164	18.30	22	41.51	2.27	0.52		
1548-1573	24492	34.05	18	33.96	1.00	0.23		
1573-1599	20000	27.80	12	22.64	0.81	0.18		
1599-1633	10080	14.01	0	0.00	0.00	0.00		
1697-1633	4196	5.83	1	۱/۸۹	0.32	0.07		
Slope								
0.1-3.1	19992	27.79	22	41.51	1.49	0.35		
3.1-5.7	24805	34.48	16	30.19	0.88	0.20		
5.7-۸.6	16459	22.88	6	11.32	0.49	0.11		
8.6-12.7	8406	11.69	9	16.98	1.45	0.34		
12.7-26.6	2270	3.16	0	0.000	0.00	0.00		
Curvature								
Convex	31125	43.27	17	32.08	0.74	0.18		
Flat	9970	13.86	19	35.85	2.59	0.63		
Concave	30837	42.87	17	32.08	0.75	0.18		
Slope direction								
Flat	128	0.18	0	0.00	0.00	0.00		
North	10609	14.75	15	28.30	1.92	0.24		
North east	10931	15.20	2	3.77	0.25	0.03		
East	10408	14.47	8	15.09	1.04	0.13		
South east	8901	12.37	6	11.32	0.91	0.11		

South	8577	11.92	6	11.32	0.95	0.12
South west	7550	10.50	8	15.09	1.44	0.18
West	7166	9.96	4	7.55	0.76	0.09
North west	7662	10.65	4	7.55	0.71	0.09
Precipitation (mm)						
400-423	5845	8.13	4	7.55	0.93	0.20
423-446	5977	8.32	4	7.55	0.91	0.19
446-467	22188	30.87	21	39.62	1.28	0.27
467-487	25923	36.06	18	33.96	0.94	0.20
487-509	11947	16.62	6	11.32	0.68	0.14
Soil						
Protruded stone or Antisols	1083	1.51	0	0.00	0.00	0.00
Protruded stone or Unripe soil	2116	2.94	0	0.00	0.00	0.00
Unripe soil	68382	95.48	53	100.00	1.05	1.00
Land use						
Dry farming	1317	1.83	0	0.00	0.00	0.00
Medium rangeland	2906	4.04	0	0.00	0.00	0.00
Agriculture	67658	94.13	53	100.00	1.06	0.50
Geology						
Quaternary	41724	58.05	28	52.83	0.91	0.27
Eocene	1770	2.46	0	0.00	0.00	0.00
Precambrian	14871	20.69	8	15.09	0.73	0.22
Middle Eocene	117	0.16	0	0.00	0.00	0.00
Permian	13399	18.64	17	32.08	1.72	0.51
Distance from fault (mm)						
0-100	4611	6.41	11	20.75	3.24	0.44
100-200	4493	6.25	4	7.55	1.21	0.16
200-500	12910	17.96	13	24.53	1.37	0.19
500-1000	18262	25.41	14	26.42	1.04	0.14
>1000	31605	43.97	11	20.75	0.47	0.06
Distance from river (m)						
0-100	7369	10.25	13	24.53	2.39	0.41
100-200	6850	9.53	5	9.43	0.99	0.17
200-500	16216	22.56	14	26.42	1.17	0.20
500-1000	13254	18.44	6	11.32	0.61	0.10
>1000	28192	39.22	15	28.30	0.72	0.12

زمین‌شناسی، بیشترین تعداد چاه‌ها در سن کواترنر قرار دارند (با وزن ۰/۹)، اما بیشترین تاثیر و وزن مربوط به سن پرمین (۱/۷) می‌باشد.

### روش آنتروپی شانون

طبق جدول (۱) ارتباط بین هر یک از لایه‌های مؤثر در وقوع آب زیرزمینی و چاه‌های موجود نشان داده شده است. این روش روشی ترکیبی می‌باشد که وزن فاکتورها را براساس روش نسبت فراوانی محاسبه می‌نماید. طبق روش آنتروپی شانون وزن کاربری اراضی در وقوع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه برابر با ۰/۴۸ می‌باشد. برای فاکتور خاک این وزن برابر با ۰/۳۵ می‌باشد. برای فاکتورهای زمین‌شناسی، طبقات ارتفاعی و انحنا، فاصله از گسل، شیب، فاصله از رودخانه و جهت شیب و بارندگی به ترتیب برابر با ۰/۲۴، ۰/۲۳، ۰/۱۷، ۰/۱۶، ۰/۰۹ و ۰/۰۱ می‌باشند. بدین ترتیب مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در آب زیرزمینی در دشت سرو کاربری اراضی خاک، زمین‌شناسی و طبقات ارتفاعی می‌باشد و برعکس فاکتور بارندگی و فاصله از رودخانه دارای کمترین تاثیر بر وقوع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند.

### نقشه مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی

نقشه مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در نهایت توسط مدل‌های نسبت فراوانی شکل (۳) و آنتروپی شانون شکل (۴) تهیه شد و به پنج کلاس مختلف پتانسیل خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم گردید. همان‌طور که مشخص است مناطق جنوب شرقی منطقه تنها با مساحت حدود ۲۷ درصد دارای پتانسیل خیلی زیاد می‌باشد. مناطق مرکزی پتانسیل متوسط و حاشیه دشت دارای پتانسیل خیلی کم می‌باشد.

با توجه به جدول بالا بین کلاس‌های شیب، کلاس صفر تا سه درجه که ۲۷ درصد از سطح حوضه را پوشانده است، دارای بیشترین تاثیر (۱/۴۹) در وقوع آب زیرزمینی می‌باشد و کمترین تاثیر مربوط به کلاس‌های آخر می‌باشد. به‌طور کلی با افزایش شیب احتمال رخداد آب‌زیرزمینی کاهش می‌یابد. برای فاکتور بارندگی، بیشترین تاثیر، ۱/۲۸، را کلاس با بارندگی ۴۶۷-۴۴۶ میلی‌متر دارا می‌باشد، یعنی با افزایش بارندگی احتمال وقوع آب زیرزمینی بیشتر می‌گردد. برای فاکتور انحنا کلی سطح زمین نیز بیشترین تاثیر بر رخداد آب زیرزمینی مربوط به کلاس بدون انحنا با وزن نسبت فراوانی برابر با ۲/۵۹ می‌باشد. با افزایش طبقات ارتفاعی مقدار وزن مربوطه کاهش می‌یابد که نشان دهنده رابطه عکس وقوع آب‌زیرزمینی با طبقات ارتفاعی می‌باشد، به عبارت دیگر طبقات ارتفاعی پایین کاملاً مستعد رخداد آب‌زیرزمینی هستند، به‌طوری که کلاس‌های طبقاتی ۱۴۹۱-۱۵۴۸ و ۱۵۴۸ تا ۱۵۷۳ با وزن‌های ۲/۲۷ و ۱ دارای بیشترین تاثیر بر رخداد آب زیرزمینی هستند. برای فاکتور جهت جغرافیایی نیز بیشترین وزن مربوط به جهت شمالی، پس از آن جنوب غربی و بعد از آن جهت شرقی با وزن‌های ۱/۹، ۱/۴۴ و ۱/۰۴ می‌باشد. برای فاکتور فاصله از رودخانه، بیشترین وزن مربوط به فاصله صفر تا ۱۰۰ متر و بعد از آن مربوط به ۲۰۰ تا ۵۰۰ متر با وزن‌های ۲/۳۹ و ۱/۱۷ می‌باشد. پس در منطقه مورد مطالعه رابطه مشخصی بین فاصله از رودخانه و رخداد آب‌زیرزمینی وجود ندارد. برای فاصله از گسل، فقط تاثیر کلاس آخر یعنی بیشتر از ۱۰۰۰ متر در رخداد آب زیرزمینی کم می‌باشد و سایر فواصل دارای تاثیر معنی‌داری بر رخداد آب زیرزمینی هستند. برای فاکتور خاک، کلیه چاه‌ها در خاک‌های انسپتیسول قرار دارند و وزن تاثیر این خاک با توجه به وسعت زیاد آن ۱/۰۵ می‌باشد. برای سن

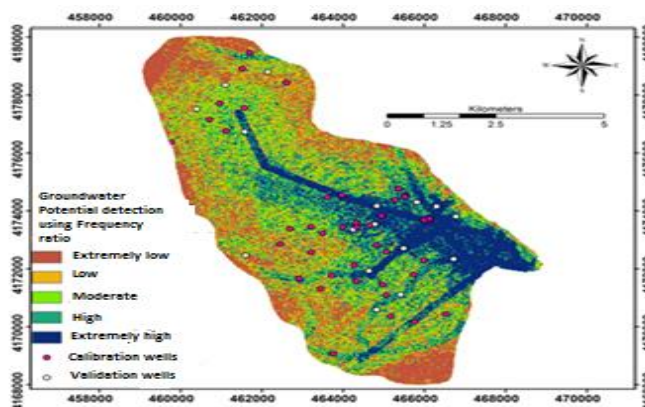


Fig. 3- Map of regions with potential for groundwater using FR Model

شکل ۳- نقشه مناطق دارای پتانسیل منابع آب زیرزمینی توسط مدل FR

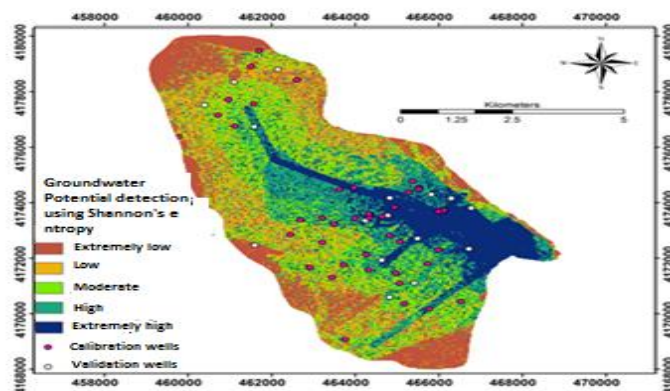


Fig. 4- Map of regions with potential for groundwater using SE Model

شکل ۴- نقشه مناطق دارای پتانسیل منابع آب زیرزمینی توسط مدل SE

که هر دو روش دارای دقت قابل قبول در تهیه نقشه پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشند، اما روش نسبت فراوانی (با دقت ۸۴ درصد) دارای صحت بیشتری از مدل آنتروپی شانون (با دقت ۸۱ درصد) می‌باشد. هم‌چنین نتایج حاصل از مدل آنتروپی شانون نشان داد که مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل مؤثر در پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی دشت مورد مطالعه، کاربری اراضی، خاک، زمین‌شناسی و طبقات ارتفاعی می‌باشند و برعکس فاکتور بارندگی و فاصله از رودخانه دارای کمترین تاثیر بر وقوع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. از مهم‌ترین دستاوردهای تحقیق حاضر شناسایی عوامل مؤثر بوده که نشان از آن دارد با تغییر در این فاکتورها آب‌های زیرزمینی بیشتر تحت‌تاثیر قرار می‌گیرند، پس با کنترل و بهبود مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر می‌توان به‌سادگی به احیای آب‌های زیرزمینی کمک نمود. تنها حدود ۲۷ درصد از منطقه مورد مطالعه دارای پتانسیل زیاد و خیلی زیاد آب‌های زیرزمینی می‌باشد که در جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. مناطق مرکزی دارای پتانسیل متوسط و حاشیه دشت دارای پتانسیل خیلی کم می‌باشد. بنابراین، اطلاعات ارایه شده توسط نقشه پتانسیل آب‌زیرزمینی تهیه شده می‌تواند برای شهروندان، طراحان و مهندسان در کاهش تلفات ناشی از هزینه و زمان در اکتشاف آب‌های زیرزمینی و هم‌چنین مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی کمک‌کننده باشد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد که از سایر روش‌های دو و چند متغیره و هم‌چنین داده‌کاوی استفاده کرده و نتایج آن‌ها با تحقیق حاضر مقایسه گردد.

### سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از رساله دکتری دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن بوده و نویسندگان مقاله از دانشگاه رودهن و نشریه علوم و مهندسی آبیاری دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و سپاسگزاری می‌نمایند.

### اعتبارسنجی و مقایسه نتایج

اعتبارسنجی مهم‌ترین روند مدل است که بدون آن، نتایج مدل سازی هیچ اهمیت علمی نخواهد داشت (Chung and Fabbri, 2003). با توجه به اهمیت پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی و تلاش بسیاری از موسسات تحقیقاتی در سراسر جهان برای ارزیابی روش‌های مورد استفاده و ارایه روش‌های کم هزینه و سریع در ارائه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی، نتایج حاصل از این مطالعه و تحقیقات قبلی انجام شده نشان می‌دهد که ترکیب روش‌های آماری و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند در بسیاری از زمینه‌ها از جمله آب‌های زیرزمینی مؤثر واقع شود. اعتبارسنجی نتایج حاصل از مدل‌های مورد استفاده توسط داده‌های اعتبارسنجی (۳۰ درصد) نشان داد مدل نسبت فراوانی دارای مساحت سطح زیر منحنی (AUC) ۰/۸۴۱ و مدل آنتروپی شانون دارای مساحت زیر منحنی (AUC) ۰/۸۱۴ است. بنابراین، عملکرد نقشه‌های تولیدشده توسط هر دو مدل قابل قبول می‌باشد اما دقت مدل نسبت فراوانی از آنتروپی شانون بیشتر است.

نتایج این تحقیق با نتایج مطالعات (Park et al., 2014) و (Balamurugan et al., 2017) در کاربرد مدل نسبت فراوانی برای تجزیه و تحلیل پتانسیل بهره‌وری آب‌های زیرزمینی (GWPI) مناطق کشاورزی در کره و هند با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی هم‌خوانی دارد.

### نتیجه‌گیری

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی توسط روش‌های مختلف یکی از مهم‌ترین تحقیقات در مدیریت منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در این مطالعه، دو روش آماری دو متغیره شامل نسبت فراوانی و آنتروپی شانون برای پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی دشت سرو در استان آذربایجان غربی برای اولین بار مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد



### References

- 1- Arkoprovo, B. , Adarsa, J. and Prakash, S. S. , 2012. Delineation of groundwater potential zones using satellite remote sensing and geographic information system techniques: a case study from Ganjam district, Orissa, India. *Research Journal of Recent Sciences*, 2277, pp. 2502.
- 2- Balamurugan, P., Selvaganapathi, R., Vasudevan, S., Nishikanth, C. V., Gnanachandrasamy, G., & Sathiyamoorthy, G. (2017). Evaluation of groundwater quality and water quality index in the Palacode and Pennagaram Taluks, Dharmapuri district, Tamil Nadu, India. *Int J Appl Res*, 3(6), 285-290.
- 3- Chandhary, B. , Kumar, B. , Saroha, K. , Yadar, G. , Singh, M. , Sharma., A. Pandey, M. and Singh, P. , 2001. Integrated ground water resources mapping in Gurgaon district, (Haryana) India using remote sensing and GIS techniques. *Retrieved From Using False Color Composites From Indian Remote Sensing Satellite (IRS-1C)*, pp. 351-356.
- 4- Chung, C.J.F. and Fabbri, A.G., 2003. Validation of spatial prediction models for landslide hazard mapping. *Natural Hazards*, 30(3), pp. 451-472.
- 5- Damavand, A. A. , Rezaei, F. and Panahi, M. , 2012. Potential detection of groundwater resources using remote sensing and geographic information system, Case study: Seleh-Bon basin. In *2<sup>nd</sup> Congress of Earth Sciences, Ashtian*, pp. 1-9 (In Persian).
- 6- Ganapuram, S. , Kumar, G. V. , Krishna, I. M. , Kahya, E. and Demirel, M. C. , 2009. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing data and GIS. *Advances in Engineering Software*, 40(7), pp. 506-518.
- 7- Hosseini, F. and Tabatabaei, S. H. , 2014. Potential detection of new groundwater resources using calculation Pattern and fuzzy logic. In *5th Conferenece on Management of Water Resources of Iran, Iranian Water Resources Association, Shahid Behehsti University*.
- 8- Khosravi, K. , Pham, B. T. , Chapi, K. , Shirzadi, A. , Shahabi, H. , Revhaug, I. , Prakash, I. and Bui, D. T. , 2018. A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of The Total Environment*, 627, pp. 744-755. (In Persian).
- 9- Lee, S. and Pradhan, B. , 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1), pp. 33-41.
- 10- Manap, M. A. , Nampak, H. , Pradhan, B. , Lee, S. , Sulaiman, W. N. A. and 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), pp. 711-724.
- 11- Massey ,A. Nancy, A. 1988. The dimensions of residential segregation. *Social Forces*, Vol. 67, No. 2, pp. 281-315
- 12- Moghaddam, D. D. , Rezaei, M. , Pourghasemi, H. R. , Pourtaghie, Z. S. and Pradhan, B. , 2015. Groundwater spring potential mapping using bivariate statistical model and GIS in the Taleghan watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 8(2), pp. 913-929.
- 13- Mohammady, M. , Pourghasemi, H. R. and Pradhan, B. , 2012. Landslide susceptibility mapping at Golestan Province, Iran: a comparison between frequency ratio, Dempster–Shafer, and weights-of-evidence models. *Journal of Asian Earth Sciences*, 61, pp. 221-236.
- 14- Nampak, H. , Pradhan, B. and Manap, M. A. , 2014. Application of GIS based data driven evidential belief function model to predict groundwater potential zonation. *Journal of Hydrology*, 513, pp. 283-300.
- 15- Oh, H. J. , Kim, Y. S. , Choi, J. K. , Park, E. and Lee, S. , 2011. GIS mapping of regional probabilistic groundwater potential in the area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology*, 399(3-4), pp. 158-172.

- 16-Park, I. , Kim, Y. and Lee, S. , 2014. Groundwater productivity potential mapping using evidential belief function. *Groundwater*, 52(S1), pp. 201-207.
- 17-Pourghasemi, H. R. and Beheshtirad, M. , 2015. Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran. *Geocarto International*, 30(6), pp. 662-685.
- 18-Pourghasemi, H. R. , Pradhan, B. , Gokceoglu, C. , Mohammadi, M. and Moradi, H. R. , 2013. Application of weights-of-evidence and certainty factor models and their comparison in landslide susceptibility mapping at Haraz watershed, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 6(7), pp. 2351-2365.
- 19-Pradhan, B. , 2009. Groundwater potential zonation for basaltic watersheds using satellite remote sensing data and GIS techniques. *Open Geosciences*, 1(1), pp. 120-129.
- 20-Pradhan, B., Leeb, L., Manfred, F., Buchroithnera., 2010. A GIS-based back-propagation neural network model and its cross-application and validation for landslide susceptibility analyses, *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(3), pp. 216-235
- 21-Prasanth, S. S. , Magesh, N. S. , Jitheshlal, K. V. , Chandrasekar, N. and Gangadhar, K. , 2012. Evaluation of groundwater quality and its suitability for drinking and agricultural use in the coastal stretch of Alappuzha District, Kerala, India. *Applied Water Science*, 2(3), pp. 165-175.
- 22-Purguyumi, H. , Mahmudi, F. Y. and Ghasemi, A. , 2012. Application of remote sensing and geographic information system for groundwater exploration. In *7<sup>th</sup> National Conference on Watershed Science and Engineering, Isfahan, Iran*, pp. 1-8 (In Persian).
- 23-Shankar, M. R. and Mohan, G. , 2006. Assessment of the groundwater potential and quality in Bhatsa and Kalu river basins of Thane district, western Deccan Volcanic Province of India. *Environmental Geology*, 49(7), pp. 990-998.
- 24-Singh, A. K., & Prakash, S. R. 2002. An integrated approach of remote sensing, geophysics and GIS to evaluation of groundwater potentiality of Ojhala sub-watershed, Mirjapur district, UP, *India. In Asian conference on GIS, GPS, aerial photography and remote sensing, Bangkok-Thailand*.
- 25-Theil, H., 1972. Statistical decomposition analysis. Amsterdam: NorthHolland Publishing Company.
- 26-Yang, A.L., Huang, G.H., & Qin, X.S., 2010, An Integrated Simulation-Assessment Approach for Evaluating Health Risks of Groundwater Contamination Under Multiple Uncertainties, *Water Resources Management*, vol 24, pp. 3349–3369.