

Exploration of strategic karstic and hard rock groundwater in order to supply drinking water for Miyaneh City in critical water shortage conditions

Ali Sepehripour¹, Abdorreza Vaezihir^{1*}

1- Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Keywords: Groundwater, Fractured rock formation, GIS, Fuzzy, Germi Chai river

1-Introduction

Water resources in fractured formation are significant due to their high spatial distribution and efficient quality. They have a considerable role in supplying drinking and industry water. However, dual-porosity characteristics of fractured rocks complicate the nature and behavior of water flow (Frederick et al., 2017). Remote sensing (RS) and geographic information system (GIS) are used for satellite image processing to determine groundwater resources of fractured formation. Analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy logic method can be employed for a final and mutual decision making regarding multivariate processes and better problem management (Jankowski et al., 2008; Jelokhani et al., 2015). This study evaluates areas with groundwater potential in fractured formation units of Germi Chai, Miyaneh, (northwest of Iran) to determine resources for supply drinking water.

2- Material and methods

Germi Chai basin with an area of 926 km² located at the northeast of Miyaneh (East Azarbaijan), at the southern slopes of Bozghush Mountains. Average annual temperature of this area is 32 to -18°C. Based on 19-year precipitation data, average annual precipitation is 319 mm. The highest and lowest parts of the basin are located with 3090 and 1200 m height above mean sea level in southern parts of the basin. Landsat 8 satellite images (with OLI-TIRS sensing, 11 bands in 2017/07/19) were provided and processed in ENVI 5.2 software. Nine main parameters were regarded to determine area with potential overlaying the layer maps that were used to produce groundwater potential zoning map.

3- Results and discussion

After determining criteria weights in Expert Choice Software using AHP method, fuzzy and objective maps are produced in Arc GIS. At first, all the maps were converted to fuzzy maps using fuzzy membership function. Then, they were overlapped by the weights which are determined by AHP method. After preparing the related data layers in determining groundwater potential of fracture formation, some potential detection methods are used, such as SUM, AHP, Weighted Overlay, and Fuzzy Gamma. In the all methods, 9 data layers were merged together both in reclassify and fuzzy modes. The results of all 4 methods were compared together and reclassified in order to produce the final map. For accuracy evaluation of the final potential detection map, the location of springs and wells were projected on the map and their compatibilities with high potential areas were evaluated. “High” and “very high” zones with 34 springs are considered to have the highest water resources potential and discharge volume.

4- Conclusion

The results of this study indicated that areas with high permeability of rocks, and also areas with high fracture density, bearing high groundwater potential as well. These results indicated that 80.09% of springs are compatible with “high” and “very high” potential areas. “Very high” potential areas with 67.06% discharge

*Corresponding author: vaezihir@yahoo.com

DOI: 10.22055/AAG.2020.33531.2121

Received 2020-05-08

Accepted 2020-06-27

have the highest significance groundwater resources. About 61.3% of “very high” potential areas are related to conglomerate geological unit. Moreover, 17.8 and 9.2% of them are related to northeast pyroclastic rocks and northwest karst areas of the basin. Other geological units make 11.7% of “very high” potential area with highly tectonic weathered andesite. Therefore, future researches will be necessary to use geophysical studies as a tool to determine the precise point of abstraction in “high” and “very high” potential areas (Fig. 1).

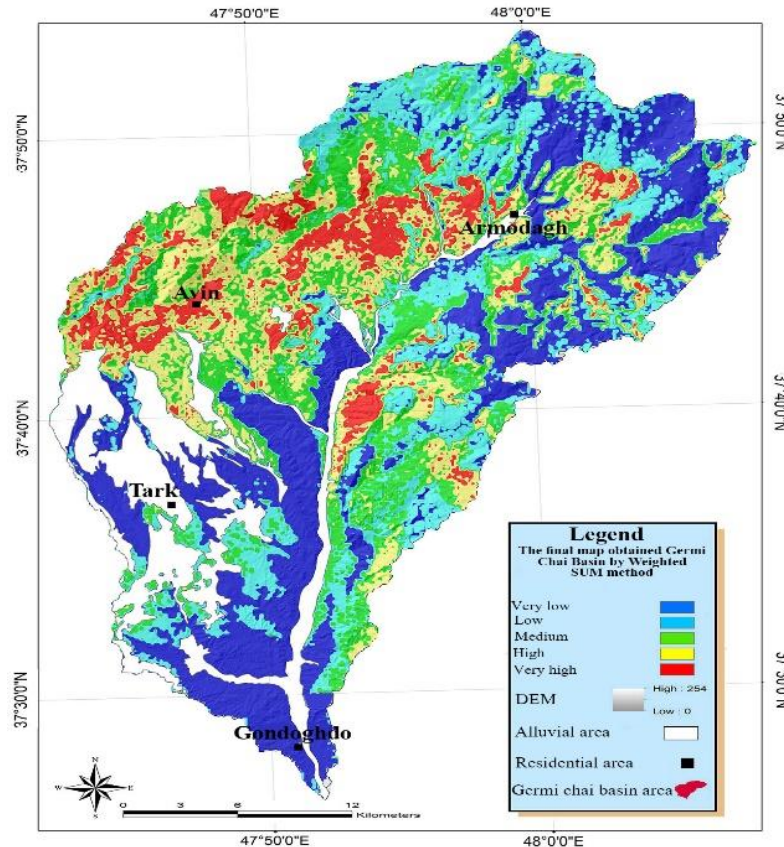


Fig. 1. The final potential map of Germi Chai Basin produced by Weighted SUM method.

References

- Frederick, D., Lewis, D., Lee, D., Slater, J.R., Johnson, C.D., Terry, N., Werkema, D., 2017. An overview of geophysical technologies appropriate for characterization and monitoring at fractured-rock sites. *Journal of Environmental Management* 204, 709-720.
- Jankowski, P., Ligmann-Zielinska, A., Swobodzinski, M., 2008. Choice modeler, Aweb-based spatial multiple criteria evaluation tool. *Transactions in GIS* 12(4), 541-561.
- Jelokhani, M., Malczewski, J., 2015. Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. *Cities* 45, 60-70.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Sepehripour, A., Vaezihir, A., 2021. Exploration of strategic karstic and hard rock groundwater in order to supply drinking water for Miyaneh City in critical water shortage conditions. *Adv. Appl. Geol.* 11(2), 332-348.

DOI: 10.22055/AAG.2020.33531.2121

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15872.html?lang=en

پی جویی و اکتشاف منابع آب استراتژیک سازند سخت و کارستی، جهت تامین آب شرب

شهرستان میانه در شرایط بحرانی

علی سپهری پور

دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

عبدالرضا واعظی هیر *

دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۰۷

*vaezehir@yahoo.com

چکیده

حوضه آبریز گرمی چای با مساحت ۹۲۶ کیلومتر مربع بدلیل نوع لیتولوژی، بارش نسبی بالا و وجود نیروهای تکتونیکی و عوامل دیگر، به عنوان منطقه مناسب برای پتانسیل یابی و ارزیابی منابع آب انتخاب گردید. لایه‌های اطلاعاتی ۹ پارامتر در تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی هم به صورت رستر و هم به صورت فازی در محیط نرم افزار GIS و ENVI تهیه شدند؛ با تاکید بر این پارامترها و اتخاذ چهار روش AHP، SUM، Weighted Overlay و Fuzzy Gamma نقشه‌های نهایی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه گرمی چای تهیه شدند. نتایج حاصله نشان داد که مناطق دارای لیتولوژی قابل نفوذ و تخلخل بالا و همچنین دارای تراکم شکستگی بالا از پتانسیل بالایی برخوردار هستند. براین اساس در مرحله دوم نتایج نهایی چهار روش مجدداً کلاس‌بندی شدند و به روش Weighted SUM وزن-دهی و نقشه نهایی به عنوان نقشه مرجع تهیه شد. نقشه نهایی با تطبیق چشمه‌ها و چاههای برداشت آب مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گرفت. نتایج این کار نشان داد، ۸۰/۱ درصد چشمه‌ها با مناطق دارای پتانسیل زیاد و بسیار زیاد به خوبی تطابق دارد. منطقه دارای پتانسیل بسیار زیاد با ۶۷/۰۶ درصد میزان آبدی چشمه‌ها بیشترین ارزش را از لحاظ منابع آب زیرزمینی دارد که محل دقیق بهره‌برداری بایستی با روش ژئوفیزیک تعیین گردد. به دلیل قرارگرفتن مناطق با پتانسیل بالا در بالا دست شهرهای ترک و میانه و در مجاورت تصفیه خانه، هزینه‌های انتقال و تصفیه به شدت کاهش خواهد یافت.

کلمات کلیدی: آب زیرزمینی، سازند سخت، GIS، فازی، رودخانه گرمی چای

مقدمه

کشور ترکیه مورد بررسی قرار گرفت، نتیجه این پژوهش نشان دهنده همبستگی بالایی این شکستگی‌ها با میزان آبدی چاه‌های برداشت می‌باشد. پتانسیل‌یابی و ارزش‌گذاری منابع آب زیرزمینی مستلزم یافتن مناطقی است که احتمال وجود آب در آن منطقه بسیار بالاست؛ که این موضوع نیازمند حجم عظیمی از داده‌های فضایی از منابع مختلف و همچنین مدیریت و تجزیه تحلیل این داده‌ها می‌باشد (Mohammad Zade, 2015). روابط بین ساختارهای تکتونیکی و خطواره‌های مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای و مشخصه‌های هیدروژئولوژی توسط Koike و همکاران (2006) در شمال غرب مصر بررسی شد و نتایج، تطبیق این ساختارها را با خصوصیات هیدروژئولوژی و آبخوان‌های منطقه تأیید می‌کند. تعیین محل دقیق منابع آب در سازند سخت بسیار پیچیده‌تر و نیازمند مطالعه و شناخت دقیق از ماهیت تمامی زیرمجموعه‌های تاثیرگذار این منابع می‌باشد. برجسته‌ترین ویژگی هیدروژئولوژیکی این نوع آبخوان، تغییرات زیاد در خصوصیات هیدرودینامیکی آنها می‌باشد. علت این موضوع این می‌باشد که سیستم شکستگی و شکاف‌ها، مسیرهای

منابع آب سازند سخت از جمله منابع با ارزشی هستند که به دلیل داشتن کیفیت بسیار بالا و مطلوب در تامین آب مورد نیاز، جهت مصارف شرب و صنعت نقش بسزایی داشته و همواره مورد توجه بوده اند. کلیه سازندهایی که تحت تاثیر فرایندهای مختلف بجز فرایند انحلال حاوی شکستگی و شکاف باشد و شرایط تشکیل آبخوان را فراهم آورد، سازند سخت نامیده می‌شود (Anonymus, 2011). شکستگی‌ها در سازند سخت شبکه‌های پیچیده‌ای را تشکیل می‌دهند و بر روی رفتار هیدروژئولوژیکی آبهای زیرزمینی موجود در این سازندها تاثیر دارند (Qinghua Le et al., 2017). طول و فاصله سطحی شکستگی‌ها و تراکم آنها در محیط‌های سخت، هدایت هیدرولیکی را افزایش می‌دهد (Gapta and Singhal, 2010). تخلخل و نفوذپذیری دوگانه در سنگ‌های شکسته شده سازند سخت، ماهیت و رفتار جریان آب را در حالت پیچیده‌تر قرار می‌دهد که عدم شناخت از این رفتار، منجر به اشتباهات فاحشی در نتایج می‌شود (Frederick, 2017). ارتباط و چگونگی رفتار شکستگی‌ها و جریان آب زیرزمینی توسط Apaydin (۲۰۱۰)، در حوضه‌ای در

فازی از "یک" (عضویت کامل) تا "صفر" (عدم عضویت) بیان می-شود (Taheri et al., 2016).

در حال حاضر منابع آب میانه از سازندهای آبرفتی کم کیفیت، تامین می-شود که توسط واحدهای نئوژن کیفیت آن کاهش یافته است. وجود لایه‌های مارن، رس و لایه‌های گچی در مناطق تغذیه آب‌های زیرزمینی باعث به وجود آمدن این موضوع شده است. از طرف دیگر به دلیل افزایش جمعیت شهر ترک و کاهش منابع آب، این شهر با کمبود شدید آب شرب مواجه است. هدف این تحقیق مطالعه و ارزیابی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی واحدهای سازند سخت گرمی چای میانه جهت مصارف شرب شهرستان می-باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: حوضه آبریز گرمی چای با وسعتی حدود ۹۲۶ کیلومتر مربع، باروند شمال به جنوب در بخش کندوان شهرستان میانه (استان آذربایجان شرقی)، دامنه جنوبی کوه‌های بوزقوش و دامنه شمال غرب کوه‌های میدان داغی قرار دارد. این حوضه آبریز از سمت شمال با شهرستان‌های سراب و نیز از شرق با کیوی و خلخال و از سمت جنوب و غرب با شهرستان میانه همجوار است (شکل ۱). حوضه آبریز گرمی چای به دلیل مساحت زیاد و اختلاف ارتفاع شدید و دارا بودن شیب زیاد، تقریباً دو شرایط آب و هوایی را تجربه می‌کند که قسمت‌های شمالی آن با زمستان‌های سرد و تابستان‌های نسبتاً معتدل دارای آب و هوای معتدل و نیمه خشک کوهستانی است و قسمت‌های جنوبی آن نیز آب و هوایی تقریباً گرم و خشک دارد. متوسط دمای سالانه این منطقه بین ۳۲ و منفی ۱۸ درجه سانتی‌گراد قرار دارد. بر اساس اطلاعات ۱۹ ساله بارش‌ها، متوسط بارندگی در حوضه ۳۱۹ میلی-متر می‌باشد. مرتفع‌ترین نقطه در شمال حوضه با ارتفاع ۳۰۹۰ متر و پست‌ترین منطقه با ارتفاعی حدود ۱۲۰۰ متر از سطح آب-های آزاد در جنوب حوضه قرار دارد.

در تقسیم‌بندی Nabavi (۱۹۷۶) منطقه مورد مطالعه در زون البرزغربی - آذربایجان قرار دارد. لیتولوژی دوره کامبرین با سازند باروت شروع می‌شود، و در ادامه ماسه سنگ کوارتزیته قرمز یا همان سازند لالون رخنمون دارد و در ادامه به تاپ کوارتزیته ختم می‌شود. واحدهای پرمین در منطقه شامل آهک چرت‌دار و دولومیت‌های توده‌ای به رنگ خاکستری روشن می‌باشد که با ناپیوستگی هم شیب روی رسوبات کامبرین قرار گرفته است. در منطقه شمالی حوضه (دامنه جنوبی کوه بوزقوش) که به شدت تحت تاثیر تکتونیک قرار گرفته دوره کرتاسه رخنمون‌هایی از جنس آهک ماسه‌ای، دیاباز و آهک بیوسپاریت قابل مشاهده می‌باشد. از رخنمون‌های انوسن - الیگوسن می‌توان به کنگلومرا و ماسه سنگ به رنگ قرمز، توف بلورین برشی و آندزیت هوازده و گدازه‌های تراکیتی، آندزیت با بافت پورفیری درشت بلور، پامیس، تراکی آندزیت آنالیسم‌دار، ماسه سنگ

هیدرولیکی را در توده سنگ ایجاد می‌کنند. شکستگی‌ها و خطواره‌ها یک پارامتر اساسی در ارزیابی وجود منابع آب زیرزمینی و پتانسیل-یابی در سازند سخت می‌باشد (Hamza et al., 2017). برای تشخیص منابع آب زیرزمینی در سازند سخت می‌توان از توانایی‌های سنجش از دور (RS) جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های اطلاعاتی و از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به عنوان ابزار قدرتمند و به روز در ذخیره، مطالعه، تجزیه و تحلیل، بازیابی و به نمایش گذاشتن این اطلاعات بهره گرفت.

در فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره، ایجاد یک توافق برای مجموعه‌ای از راه حل‌ها، روش‌های مبتنی بر شبکه‌های کامپیوتری و GIS حداکثر تسهیل و سازگاری را بوجود می‌آورند (Jelokhani et al., 2015). برای ایجاد یک تصمیم نهایی و مشترک از فرایندهای چند معیاره، باید از ابزارهای موثر و کاربردی (GIS) استفاده کرد تا به نتایج قابل درکی رسید (Jankowski et al., 2008). تصمیم-گیری چند معیاره یک چهارچوب و قاعده کلی برای ارزیابی مسائل چند بعدی که با یکدیگر تناقض و ناسازگاری دارند را ارائه می‌دهد. طوری که با دارا بودن دقت کافی از مزیت بسیار عالی در کاهش زمان و هزینه نیز برخوردار می‌باشد.

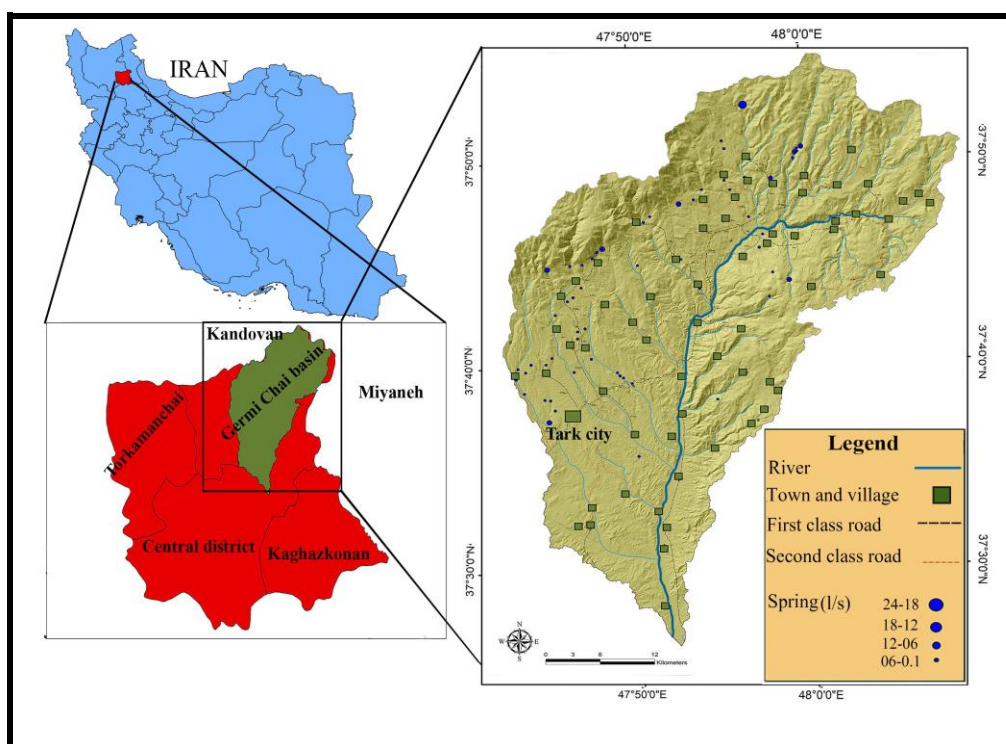
در دهه اخیر پس از معرفی روش AHP توسط Saaty (۱۹۸۰)، به عنوان یک روش نوین تصمیم‌گیری، محققان بسیاری به اقتباس از این روش و کاربرد آن در مطالعات آب نموده‌اند. از جمله آن می‌توان به مطالعات Basavaraj و Nijagunappa (۲۰۱۱)، اشاره نمود که از این روش برای توسعه مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در یک منطقه نیمه خشک استفاده کرده و مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی را مشخص کردند (Kazemi et al., 2014). پتانسیل منابع آب زیرزمینی در شمال کشور امارت توسط Rami Al-Ruzouq و همکاران، در سال ۲۰۱۹ با استفاده از پردازش هشت لایه اطلاعاتی از جمله ارتفاع، شیب، بارش، زمین شناسی، ژئومورفولوژی، تراکم آبراهه‌ها، تراکم شکستگی‌ها و بارش بررسی شد. نتایج نشان داد زمین‌شناسی، بارش و ژئومورفولوژی از فاکتورهای مهم پتانسیل یابی محسوب می‌شوند. همچنین در سال ۲۰۱۹، Preetilata Mutmu و همکاران با استفاده از سیستم اطلاعاتی جغرافیایی و روش سلسله مراتبی (AHP)، اقدام به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه دامکا هند کردند. با انطباق چاه‌های برداشت آب بر روی نقشه‌های پتانسیل‌یابی مشخص گردید، نقشه‌های تولیدی ارتباط موثری با میزان آبدهی و تعداد چاه‌های برداشت آب دارد.

روش تلفیق فازی نه تنها احتمال وقوع یک پدیده مربوط به مجموعه‌های متعدد را تعیین می‌کند، بلکه روابط بین عضویت در مجموعه‌های متعدد را نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد (Hasanipak, 2001). تلفیق لایه‌های اطلاعاتی هم به روش فازی و هم به روش کلاس‌بندی شده می‌باشد که عضویت در روش منطق

پادگانه‌های قدیمی در منطقه مرکزی و جنوب غربی حوضه، و نیز با رسوبات پادگانه‌های جوان و نهشته‌های رودخانه‌ای عهد حاضر قابل درک است.

در این پژوهش از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی که با روش‌های Fuzzy Gamma و Weighted Overlay, AHP, SUM از بدست آمده است در محیط نرم افزار GIS استفاده شده است. پس از بدست آوردن نقشه نهایی از چهار روش، این نقشه‌ها مجدداً کلاس‌بندی شدند و یک بار دیگر با روش Weighted SUM نقشه مرجع و نهایی منطقه تهیه شد و برای صحت‌سنجی و اطمینان روش از تطابق چشمه‌ها و چاه‌های برداشت استفاده گردید.

توفی با آثار گیاهی، الیوین بازالت، توف ماسه‌ای به رنگ سفید و ایگنمبریت به رنگ قهوه‌ای روشن اشاره کرد، که اکثراً در دامنه جنوبی کوه بوزقوش و شمال‌غرب حوضه رخنمون پیدا کرده‌اند. واحدهای الیگو - میوسن بیشترین سطح حوضه مورد نظر را پوشش می‌دهد و شامل ماسه سنگ، آهک رسیفی، سنگ‌های آذر آواری، پرلیت، پامیس، ریولیت و ریوداسیت، تراکیت پورفیری، دایک آندزیتی، گچ و نمک، مارن به رنگ شیری، آهک به رنگ روشن و گنگومرا که همگی به ترتیب روی هم قرار گرفته‌اند. دوره پلیو - کواترنری نیز در منطقه با بروزند الیوین بازالت و پیروکسن آندزیت در شمال شرق حوضه قابل مشاهده است و همچنین با دارا بودن



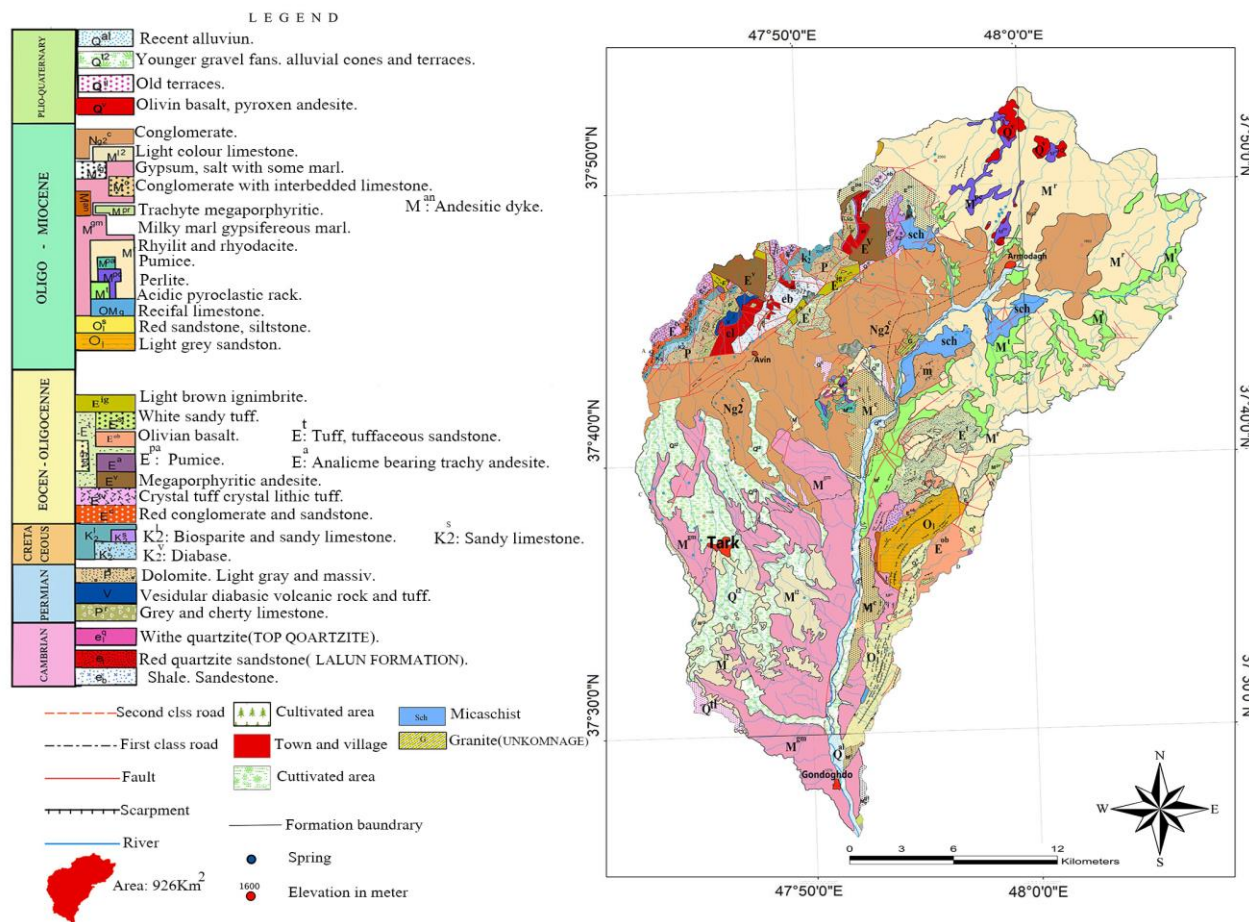
شکل ۱ - موقعیت حوضه آبریز گرمی چای و راه‌های دسترسی به آن.

Fig. 1. Location of the study area and the access roads.

لایه لیتولوژی: واحدهای زمین‌شناسی منطقه با توجه به خواص هیدرولیکی مورد ارزیابی و طبقه‌بندی قرار گرفتند؛ طوری که، چون هدف سازندهای سخت می‌باشد، واحدهای آبرفتی منطقه از بحث پتانسیل‌یابی حذف گردید. واحدهای دولومیت توده‌ای (P) که در منطقه به شدت کارستی شده است و واحد کنگلومرا (Ngc2) به دلیل داشتن خواص هیدرولیکی بالا و تخلخل دوگانه بیشترین وزن را به خود اختصاص دادند. نفوذپذیری واحدهای زمین‌شناسی، اینکه کدام واحد توان نفوذ بالایی دارد، عامل این تقسیم‌بندی می‌باشد. باتوجه به گستردگی واحد کنگلومرا در منطقه از اهمیت بسزایی در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در منطقه برخوردار می‌باشد؛ سپس این لایه هم به صورت رستر و هم به صورت فازی جهت پردازش بیشتر تهیه شد (شکل ۳).

تهیه لایه‌های اطلاعاتی

در مطالعات سنجش از دور، تصاویر ماهواره لندست ۸ (با نوع سنجنده OLI-TIRS، تعداد باند ۱۱ باند و تاریخ تصویر برداری 19 - 07 - 2017) تهیه و سپس در محیط نرم افزار ENVI 5.2 مورد پردازش قرار گرفت؛ تا از این طریق لایه‌های اطلاعاتی شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال (NDVI) و شاخص رطوبت اختلاف نرمال (NDMI) تهیه شود. سپس برای مطالعه شکستگی - ها و خطواره‌ها در محیط نرم افزار ENVI 5.2 الگوریتم همپوشانی بر روی آنها انجام شد و با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه خطواره‌های مشکوک و کاذب مانند جاده‌ها و آبراهه‌ها حذف شدند. در نهایت با فراخوانی هر سه لایه اطلاعاتی به محیط نرم افزار ArcGIS نقشه‌های نهایی تهیه گردید.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه گرمی چای.

Fig. 2. Geological map of Germai Chai basin.

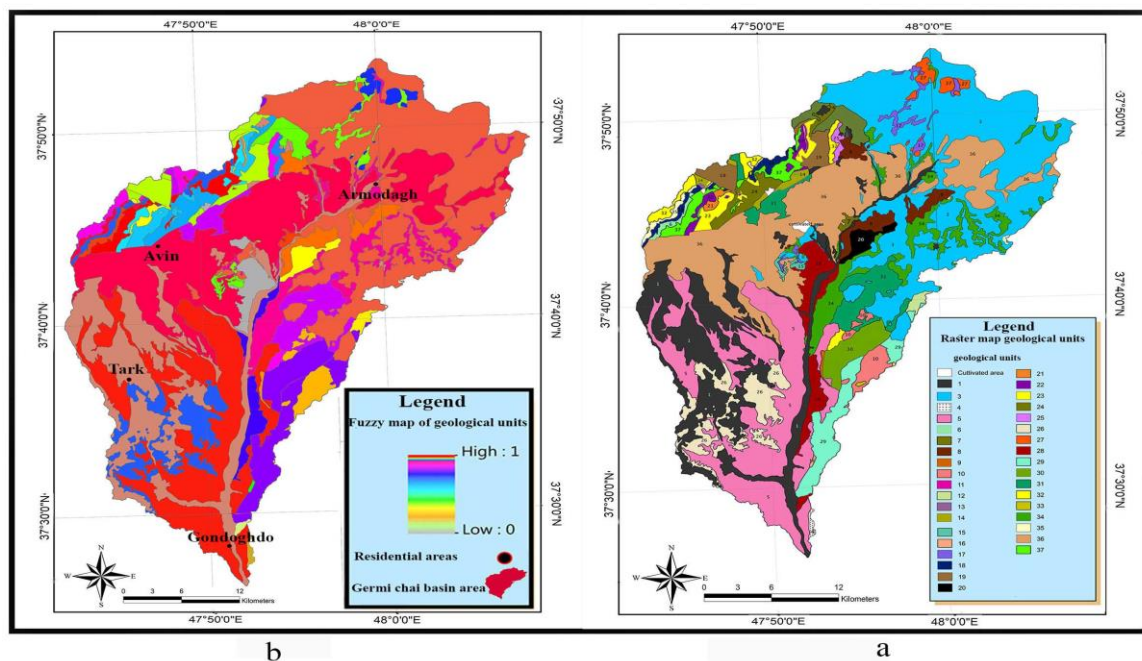
عدم پوشش گیاهی و مقدار بیشتر از صفر مختص مناطق دارای پوشش گیاهی خواهد بود (شکل ۵). پوشش گیاهی متراکم، نقش موثری در نگهداشت و نفوذ آب‌های سطحی دارد در حالی که مناطق با پوشش گیاهی فقیر، موجب تبدیل بارش به رواناب می‌شوند. در رابطه زیر NIR بازتاب در باند فرورسرخ نزدیک و RED انعکاس در باند سرخ است.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - RED}{NIR + RED} \right) \quad (\text{رابطه ۱})$$

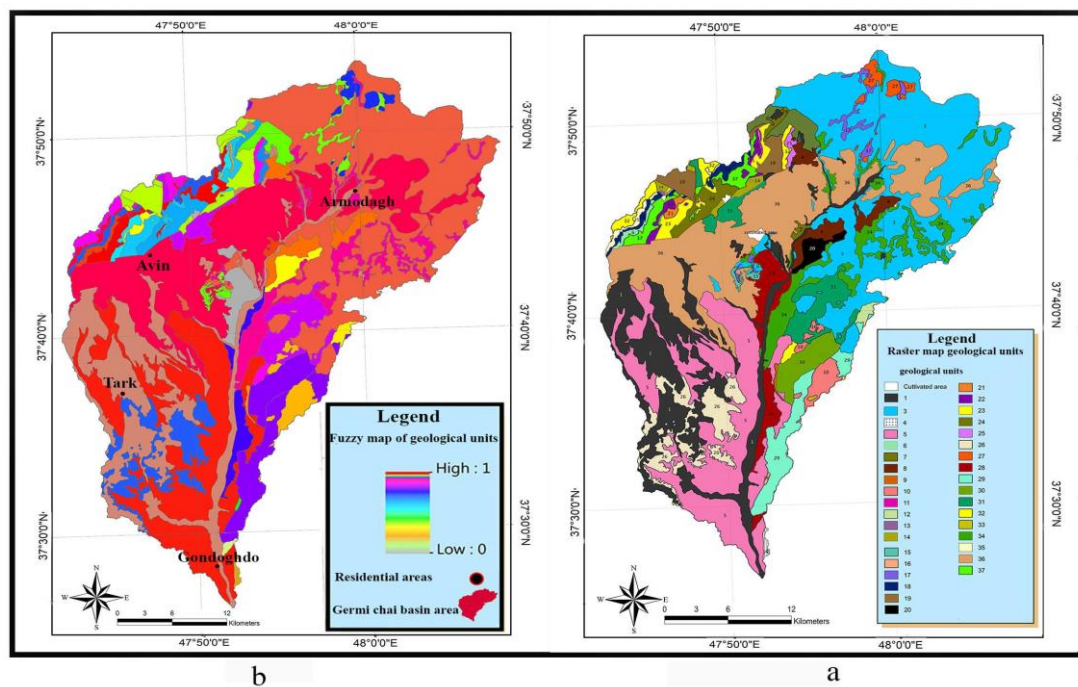
لایه تراکم آبراهه: برای تهیه نقشه آبراهه‌ها ابتدا از نقشه DGN و DEM منطقه استفاده گردید، سپس آبراهه‌ها با توجه به نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان جغرافیایی ارتش تهیه شد. پس از آنکه در محیط GIS لایه رستری آن تهیه شد، با اعمال تابع Line Density (تابع چگالی) نقشه تراکم آبراهه‌ها و نقشه فازی شده آن بدست آمد. در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مناطقی که کمترین تراکم را داشته باشند دارای بیشترین ارزش خواهند بود. تراکم بیشتر آبراهه‌ها نشانگر نفوذپذیری پائین است؛ به این ترتیب که در منطقه نفوذ رواناب‌ها کم و جریانهای سطحی بیشتر است (Singhal and Gupta, 2010) (شکل ۶).

لایه تراکم شکستگی: لایه شکستگی‌ها پس از آنکه در محیط نرم افزار ENVI با اعمال فیلترهای جهتی تهیه شد، با فراخوانی به محیط GIS مورد ارزیابی کارشناسی قرارگرفت و خطواره‌های مشکوک با شناخت از منطقه و با استفاده از نرم افزار Google earth شناسایی و حذف شدند. سپس با استفاده از Line Density (تابع چگالی) نقشه تراکم شکستگی‌ها تهیه شد که در آن بیشترین امتیاز به مناطقی داده شد که بیشترین تراکم شکستگی را داشتند (شکل ۴).

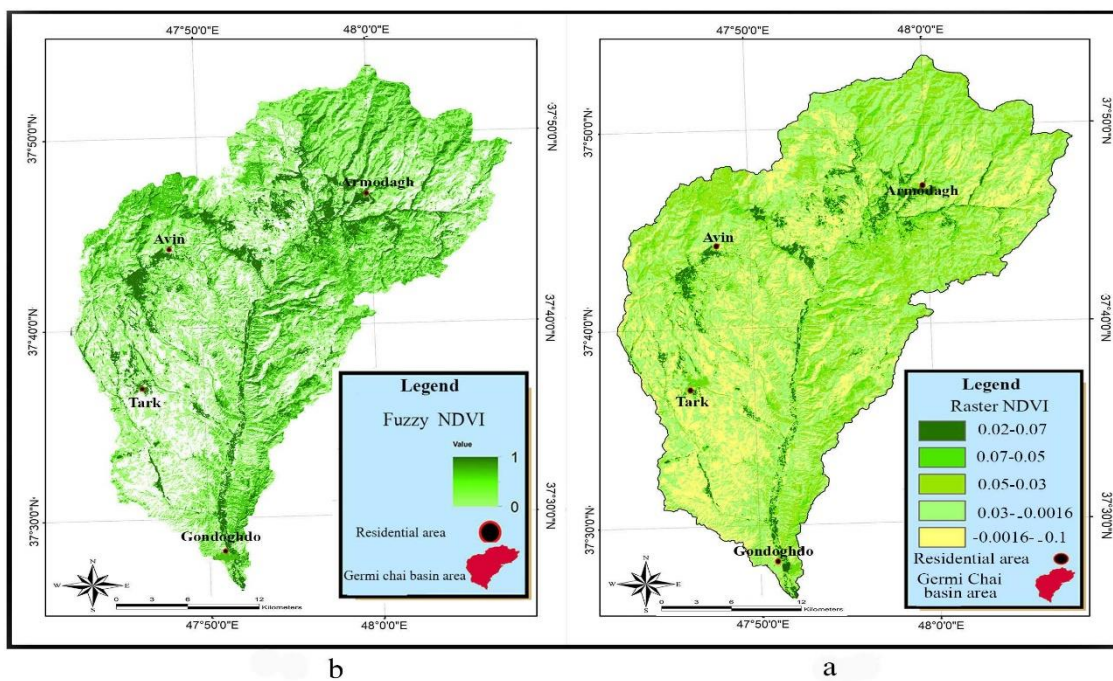
لایه تراکم پوشش گیاهی (NDVI): برای تهیه این لایه از شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI استفاده شد (رابطه ۱). بازتاب طیفی گیاهان سالم بیشتر در طول موج الکترومغناطیسی مادون قرمز نزدیک (NIR) و طول موج سبز نسبت به سایر طول موجها اتفاق می‌افتد. گیاهان سالم که حاوی کلروفیل هستند، نور آبی و بیشتر طول موجهای قرمز را جذب می‌کنند. برای تهیه این لایه از دویاند ۵ و ۴ تصاویر لندست ۸ در نرم افزار ENVI استفاده شد. مقادیر عددی بین پیکسل‌های ۱- تا ۱ متغیر خواهد بود؛ طوری که مقدار صفر و کمتر از آن برای مناطق فقیر از پوشش گیاهی یا



شکل ۳- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده واحدهای زمین شناسی.
 Fig. 3. (a) Raster and (b) Fuzzy map of geological units.

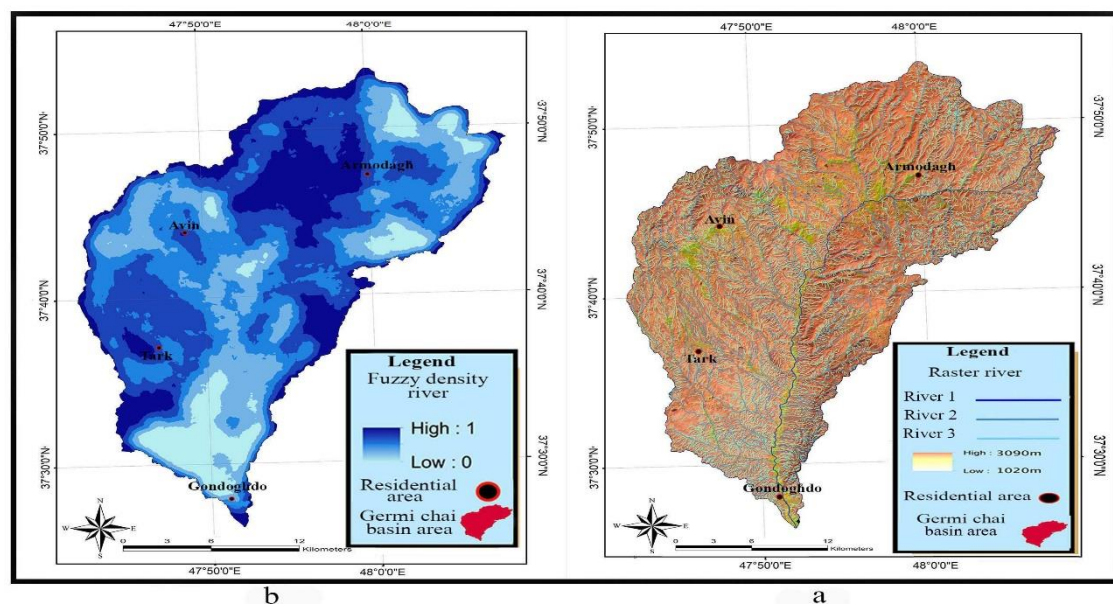


شکل ۴- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده تراکم خطوارهها.
 Fig. 4. (a) Raster and (b) Fuzzy map of fracture density.



شکل ۵- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده پوشش گیاهی NDVI.

Fig. 5. (a) Raster and (b) Fuzzy map of NDVI.



شکل ۶- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده تراکم آبراهه‌ها.

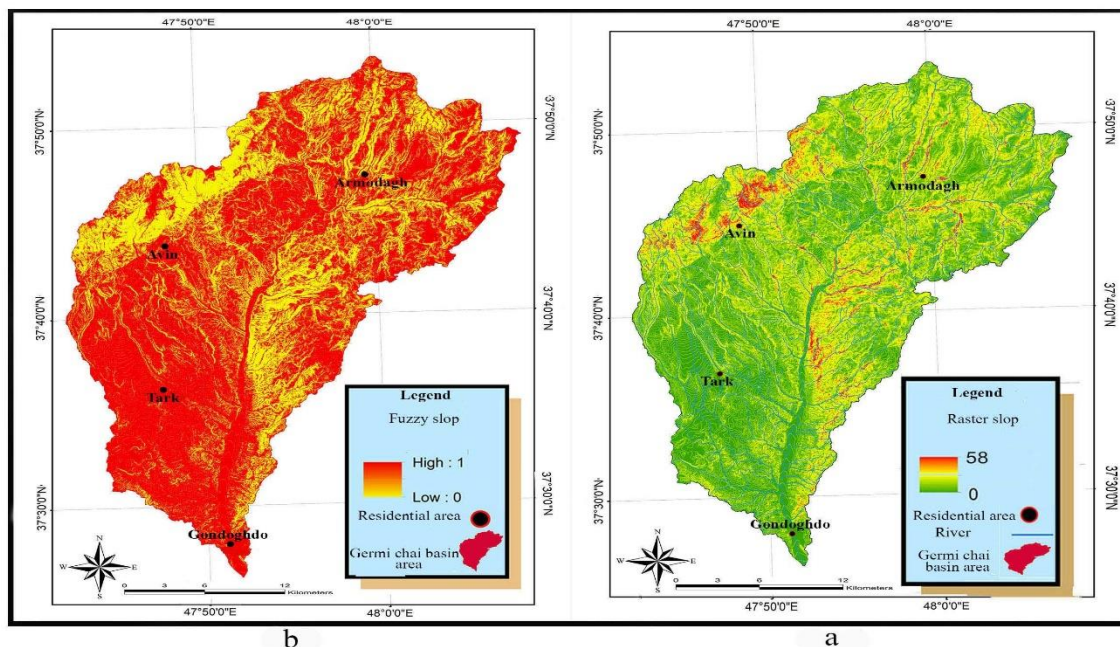
Fig. 6. (a) Raster and (b) Fuzzy map of river density.

کلاس بندی مجدد) در محیط نرم افزار GIS، بیشترین امتیاز و ارزش به طبقه‌ای داده شد که کمترین شیب را دارد (شکل ۷).
لایه ارتفاع: در این تحقیق از پارامتر ارتفاع با در نظر گرفتن دو تاثیر متضاد بر منابع آب زیرزمینی استفاده شده است، طوری که اولاً با افزایش ارتفاع میزان بارش افزایش می‌یابد و اینکه میزان تبخیر و تعرق پائین بوده و این امکان را می‌دهد که برف‌های موجود به تدریج ذوب شده و در طول دوره حاکم، قبل از آنکه به جریان‌های سطحی بپیوندند، آب‌های زیرزمینی را تغذیه کنند. از طرف دیگر با کاهش

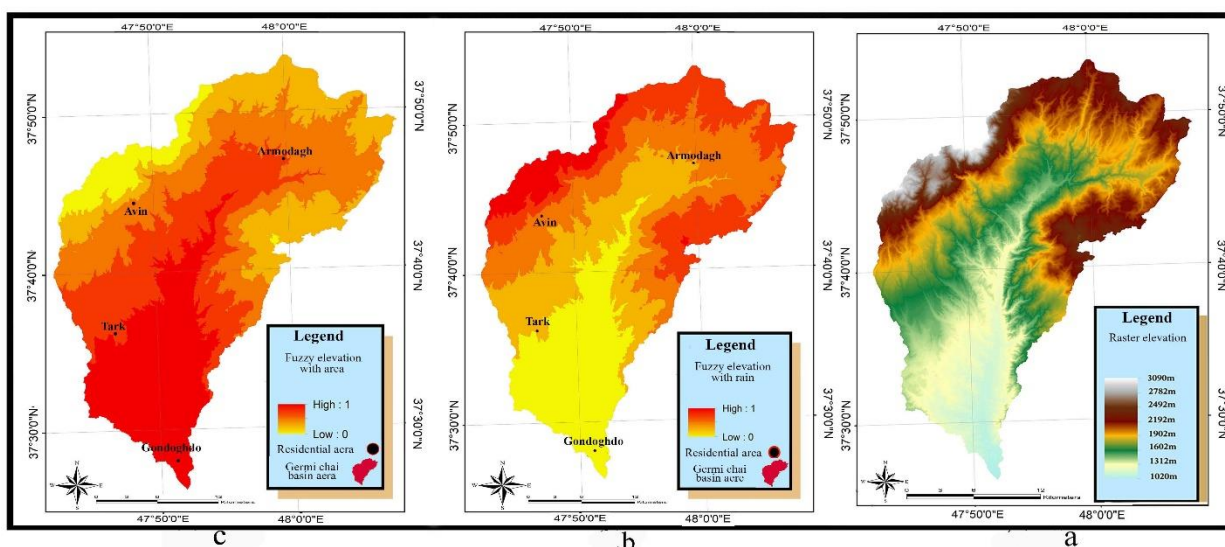
لایه شیب: رواناب‌های سطحی در مناطقی که شیب کمتر و ملایم باشد، بهترین شرایط را جهت نفوذ پیدا می‌کنند. گرچه دیگر عوامل مثل پوشش گیاهی، جنس سازندها و... تاثیر بسزایی در این روند دارند، ولی در پتانسیل‌یابی منابع آب سازنده سخت، شیب از لحاظ تاثیر در پتانسیل‌یابی دارای رتبه ۵ است. شیب حوضه گرمی چای بین ۰ تا ۵۷/۹۸ درجه متغیر است. پس از تهیه نقشه DEM منطقه، لایه رستری شیب تهیه شد و در مرحله Reclassify

است، چون سطح حوضه آبرگیرش کوچک است. برای تهیه لایه ارتفاع از نقشه DEM منطقه استفاده شد، سپس در مرحله Reclassify بیشترین امتیاز یک بار به مناطق مرتفع و بار دیگر به مناطق پست داده شد (شکل ۸).

ارتفاع سطح موثر بارش افزایش می‌یابد. اگر از قله به دامنه کوه حرکت کنیم، با کاهش ارتفاع مساحت سطحی که بارش را دریافت می‌کند افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر مساحت حوضه آبرگیر افزایش یافته و احتمال تشکیل آبخوان افزایش می‌یابد. به همین دلیل است که در قله کوه اساساً یا چشمه‌ای نمی‌بینیم یا اگر باشد بسیار کم آب



شکل ۷- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده شیب.
Fig.7. (a) Raster and (b) Fuzzy map of slope.



شکل ۸- (a) نقشه رستری رقومی ارتفاعی، (b) نقشه فازی ارتفاع با فاکتور مثبت بارش و (c) نقشه فازی ارتفاع با فاکتور منفی مساحت.
Fig. 8. (a) Elevation digitized raster map, (b) Fuzzy elevation map with positive rain agent, and (c) Fuzzy elevation map with negative area agent.

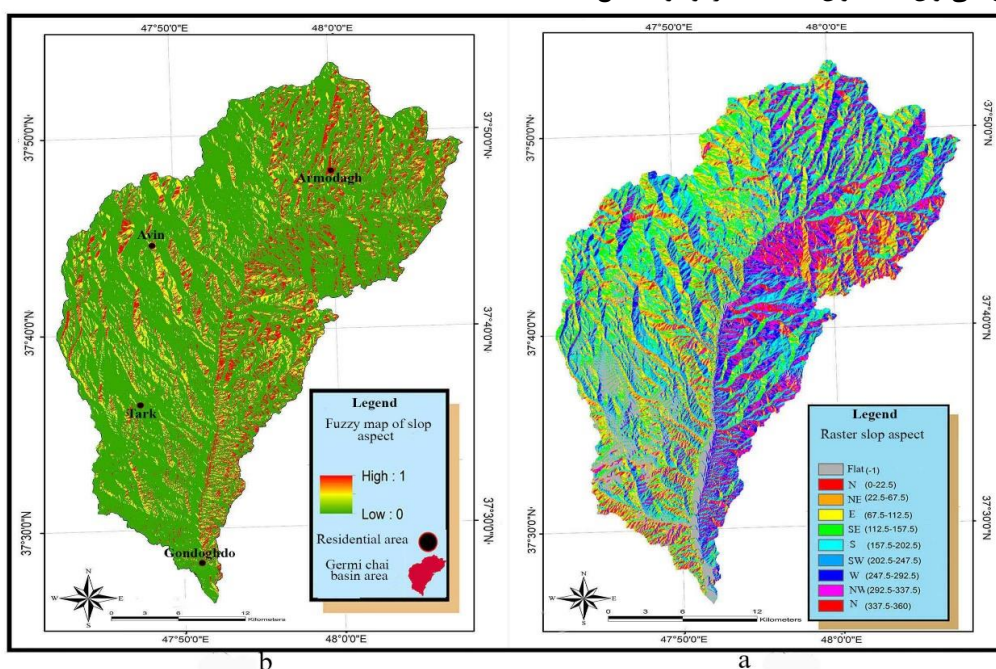
Aspect بر روی مدل رقومی ارتفاعی (DEM) نقشه جهت شیب منطقه تهیه شد. در مرحله کلاس‌بندی بیشترین امتیاز به طبقات شمالی و غربی، به دلیل تبخیر کمتر و قرار گیری در جهت توده‌های باران زا (باران‌های مدیترانه‌ای) داده شد (شکل ۹).

جهت شیب: این فاکتور تاثیر بسزایی در برخی فرایندهای هیدرولوژیکی مانند میزان دریافت رطوبت، تاثیر در ذوب برف‌ها به علت قرارگیری در زاویه تابش خورشید، تنوع و پوشش گیاهی و قرار گرفتن در جهت توده‌های باران‌زا دارد. پس از اعمال الگوریتم

زیرزمینی استفاده کرد. به طوری که مقادیر بالاتر از ۰/۱ نشان دهنده رطوبت بالا و مقادیر پایین یا نزدیک ۱- سطح رطوبت پائین را نشان می دهند. در رابطه زیر برای SWIR1 باند ۶ و برای SWIR2 از باند ۷ ماهواره لندست استفاده شده است. Shortwave infrared (موج کوتاه مادون قرمز) می باشد.

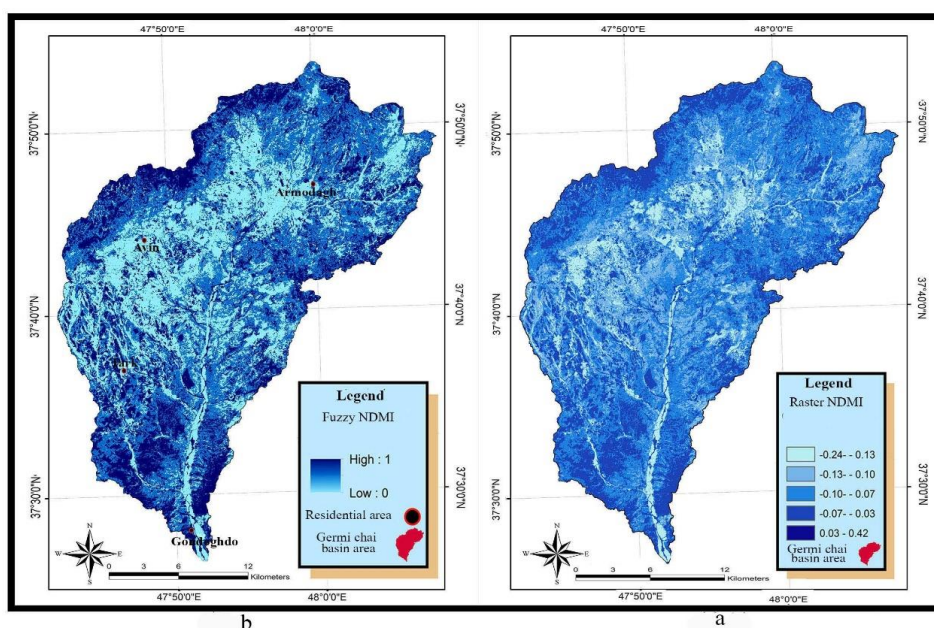
$$NDMI = \frac{SWIR2 - SWIR1}{SWIR2 + SWIR1} \quad (\text{رابطه ۲})$$

لایه شاخص رطوبت اختلاف نرمال (NDMI): برای تهیه این لایه ابتدا باندهای لندست ۸ به محیط نرم افزار ENVI فراخوانی و پس اعمال تصحیح هندسی و رادیومتریک بر روی آنها (رابطه ۲)، با استفاده از ابزار Band Math لایه اولیه استخراج شد. سپس با انتقال به محیط GIS لایه رستری تهیه و پس از کلاس بندی نقشه فازی آن تهیه شد (شکل ۱۰). این شاخص ارزیابی رطوبت خاک عامل بسیار مناسبی جهت تعیین مناطق دارای رطوبت و عدم رطوبت می باشد، که از آن می توان به عنوان نشانه ای از وجود منابع آب



شکل ۹- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده شده جهت شیب.

Fig. 9. (a) Raster and (b) Fuzzy map of slope aspect.



شکل ۱۰- (a) نقشه رستری و (b) فازی شده شاخص رطوبت.

Fig. 10. (a) Raster and (b) Fuzzy NDMI map.

رتبه بندی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

مدل AHP اطلاعات موجود را برحسب میزان کار آمد بودن آنها در بهبود دقت پیش بینی و مرتب می کند که در فراهم سازی اطلاعات برنامه های مشخصی را در اختیار دست اندرکاران قرار می دهد (Ramanathan, 2013). این روش در تجزیه و تحلیل، اعمال و ارزیابی سیستم های پیچیده دارای الویت و رایج است که برای تحلیل هدف های چند متغیره استفاده می شود (Lijuan et al., 2011). در روش وزن دهی مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و اهمیت آنها نسبت به یکدیگر تعیین می گردد. سنجش قضاوت های حرفه ای و کارشناسی با فرایند سلسله مراتبی در مورد اهداف چند معیاره باعث بهبود کارایی و نتیجه گیری های مناسبی می شود (Shaoyun, 2012).

از قابلیت های فرایند سلسله مراتبی کنترل سازگاری سیستم می باشد. اگر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری ماتریس تصمیم گیری قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد قابل قبول نبوده و باید روش های دیگری برای حل مسئله اتخاذ شود. شاخص سازگاری از رابطه ۳ بدست می آید که در آن λ_{max} بردار ویژه و n تعداد معیارها می باشد. نسبت سازگاری (CR) از تقسیم شاخص سازگاری (CI) بر میانگین شاخص سازگاری (RI) محاسبه می شود (رابطه ۴).

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (\text{رابطه ۳})$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (\text{رابطه ۴})$$

برای تشکیل ماتریس ارزش گذاری و مقایسه زوجی معیارهای سازند سخت منطقه گرمی چای جهت پتانسیل یابی منابع آب، از نرم افزار Expert Choice استفاده شده است.

بعد از تعیین وزن معیارها به روش AHP در نرم افزار Expert Choice، نقشه های فازی و هدف با استفاده از وزن ها و ارزش های بدست آمده در محیط نرم افزار Arc GIS تهیه گردید. ابتدا همه نقشه ها با استفاده از تابع عضویت فازی به فازی تبدیل شده، سپس با وزن های بدست آمده از روش AHP همپوشانی شدند. در تحقیق حاضر از تابع لجستیک (رابطه ۵) جهت فازی کردن نقشه ها استفاده شده است. تابع لجستیکی کل داده ها را به دامنه محدود (۱، ۰) انتقال می دهد.

$$Fx = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev - i)]} \quad (\text{رابطه ۵})$$

در این رابطه Fx امتیاز فازی اختصاص یافته به Ev در بازه صفر و یک، Ev مقدار عددی در لایه ها در بازه نامحدود، s و i به ترتیب شیب و نقطه عطف تابع لجستیک می باشند که از روش آزمون و خطا بدست می آیند. بنابراین این پارامترها شکل تابع و در نتیجه مقدار

تابع عضویت فازی را تعیین می کنند و وزن ها در دامنه صفر و یک قرار می گیرند (Yousefi, 2015).

نتایج و بحث

پس از تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نظر و دارای اهمیت در پتانسیل یابی آب زیرزمینی در سازند سخت، از روش های پتانسیل یابی به روش Weighted SUM، AHP، و Overlay و روش Fuzzy Gamma استفاده شد. در همه روش ها ۹ لایه اطلاعاتی که از قبل تهیه شده بودند، با یکدیگر هم به صورت Reclassify و هم به صورت Fuzzy تلفیق شدند.

روش Weighted SUM: در این روش فاکتورهای مناسب تر در خروجی نهایی لایه، مقدار بالاتری را به خود اختصاص می دهند در نتیجه این مکانها را به عنوان بهترین مکان در نتیجه تحلیل مکانی ارزیابی می کنند. پس از وزن دهی به معیارهای مورد نیاز جهت همپوشانی وزنی (جدول ۱) و تعیین هر یک از پارامترها، از روش وزن دهی ساده Weighted SUM استفاده شد (شکل ۱۱). طوری که پس از تهیه لایه های فازی اقدام به جمع فازی آنها شد که به صورت زیر تعریف می شود.

روش Weighted Overlay: این روش، روش هم پوشانی وزنی است. زمانی که هر لایه، یک عامل وزنی منفرد داشته باشد. ابتدا مدل وزن دهی به ترتیب ۹ لایه Reclassify شده در محیط نرم افزار GIS ساخته شد. سپس با توجه به اهمیت هر یک از لایه ها، وزن مناسب بر اساس درصد از ۱۰۰ اختصاص داده شد و نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه گرمی چای تهیه گردید (شکل ۱۲).

روش AHP: ابتدا نه لایه اطلاعاتی بر اساس اهمیت تاثیر کارشناسی شد. سپس همه معیارها براساس اولویت تاثیرشان وزن دهی شدند. ۹ لایه اطلاعاتی با یکدیگر مقایسه دوتایی شده و وزن تاثیر هر یک از آنها طبق شکل ۱۳ با نرخ ناسازگاری ۰/۰۵ بدست آمد. در این روش لیتولوژی بیشترین وزن تاثیر با ۰/۳۳۳ و شاخص رطوبت اختلاف نرمال (NDMI) کمترین وزن تاثیر را با ۰/۰۱۹ دارد. سپس رتبه استاندارد شده آنها با عنوان وزن تاثیر در نتیجه گیری، در خود لایه ها ضرب و نقشه نهایی در محیط نرم افزار GIS تهیه شد (شکل ۱۴).

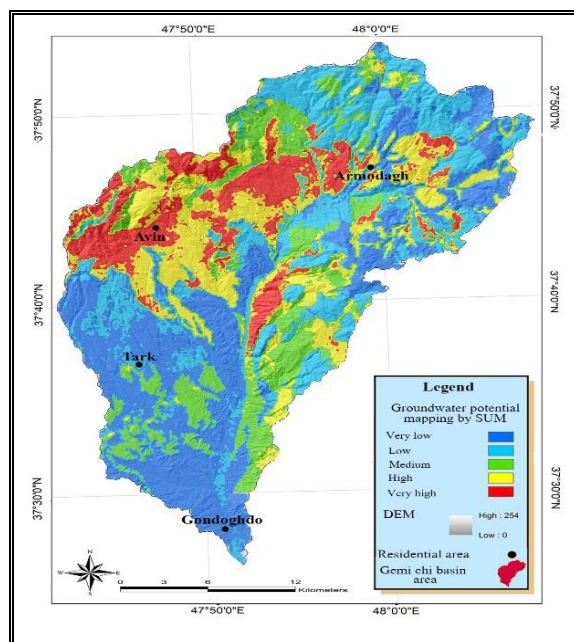
روش Fuzzy Gamma: این عملگر به طور همزمان از دو پارامتر جمع و ضرب فازی استفاده می کند (رابطه ۶) که در آن پارامتر Y در محدوده صفر و یک قرار دارد. وقتی Y یک باشد ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی صفر باشد ترکیب برابر با حاصل ضرب فازی است (Taheri et al., 2016). تمام معیارهای ورودی تحت تاثیر این رابطه قرار می گیرد که می تواند به عنوان عملگر قابل اطمینانی در نظر گرفته شود (شکل ۱۵).

$$FG = (\prod_{i=1}^n \mu_i)^{1-\mu} Y (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)) Y \quad (\text{رابطه ۶})$$

جدول ۱- وزن دهی معیارها براساس روش Weighted Sum.

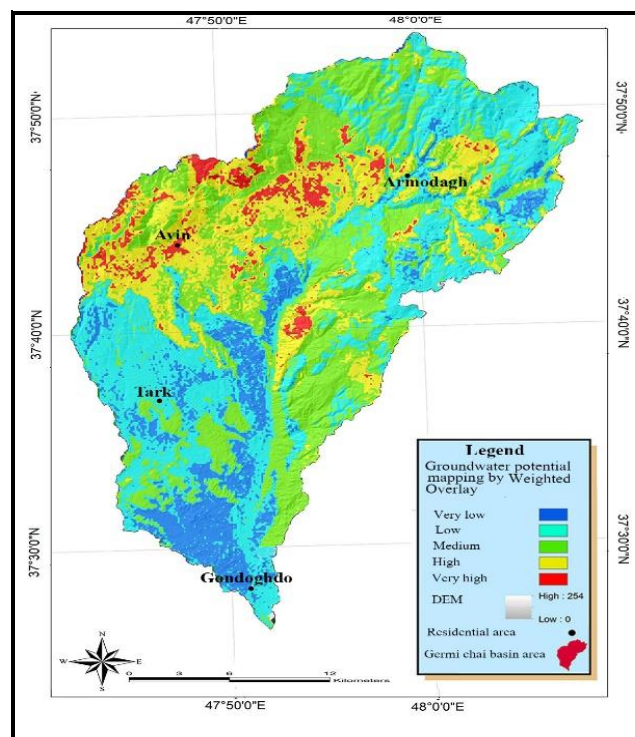
Table 1. Weighing of criteria based on the Weighted SUM method.

Layer weight	NDMI	Aspect slop	Elevation with rain	Elevation with area	Slop	River density	NDVI	Fracture density	Lithology
SUM	2	2	3	4	5	5	6	7	9



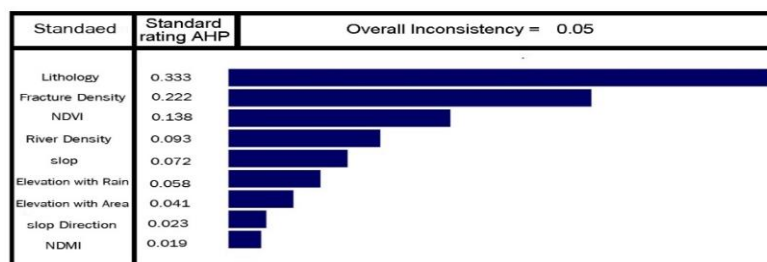
شکل ۱۱- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش SUM.

Fig. 11. Groundwater potential map produced by SUM method.



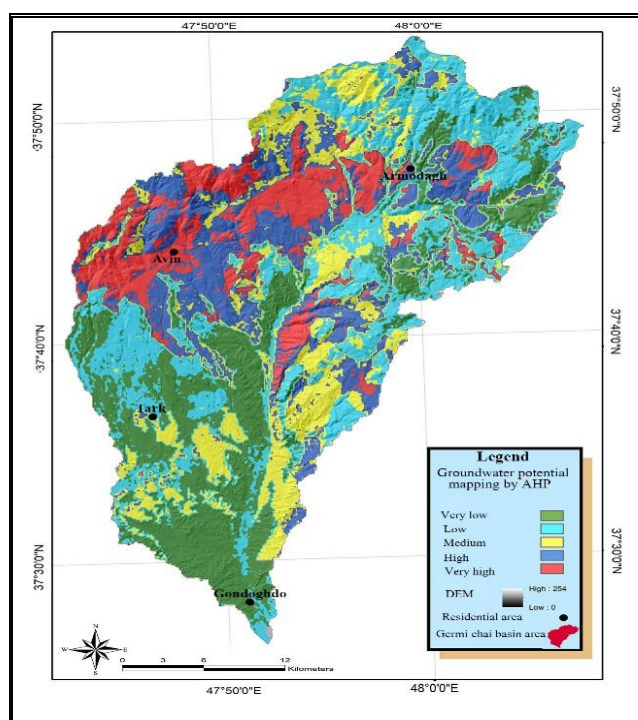
شکل ۱۲- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش Weighted Overlay.

Fig. 12. Groundwater potential map produced by Weighted Overlay method.



شکل ۱۳ - وزن دهی معیارها بر اساس مقایسه دوتایی.

Fig. 13. Weighing of criteria based on dual comparison method.



شکل ۱۴ - نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش AHP.

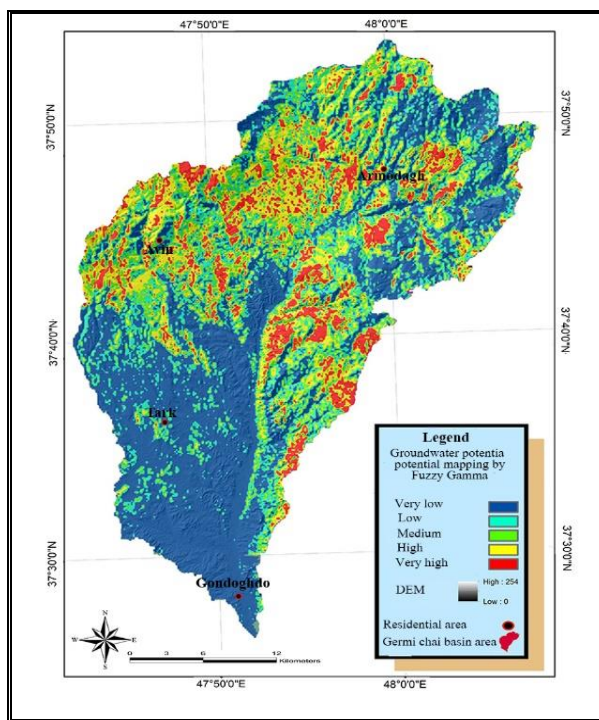
Fig. 14. Groundwater potential map produced by AHP method.

مقایسه روش‌ها و تعیین نقشه نهایی

سازندهای زمین‌شناسی بر اساس نفوذپذیری و نوع تخلخل تاثیر مستقیم و نقش مهمی در تشکیل آبخوان‌های زیرزمینی دارند. در چهار روش ارائه شده انتظار می‌رود مناطق تشکیل یافته از کنگلومرا در قسمت شمالی، مناطق کارستی در شمال غرب حوضه و واریزه‌های آذرآواری به دلیل نوع تخلخل و نفوذپذیری که دارند جزء مناطق با استعداد آب زیرزمینی باشند. از طرف دیگر انتظار می‌رود وجود شکستگی‌های فراوان، پوشش گیاهی متراکم و بارش بالا در مناطق شمالی حوضه، منابع آب زیرزمینی غنی بوجود آورده باشد. با توجه به مساحت مناطق مختلف در پهنه‌بندی نقشه‌ها با پتانسیل‌های متفاوت (شکل ۱۶) می‌توان به این نتیجه رسید هر چهار مدل و روش‌های اتخاذ شده نتایج تقریبا مشابهی ارائه می‌دهند. روش AHP با ۱۰/۸۵ درصد بیشترین پوشش و Weighted Overlay کمترین پوشش با ۷/۵۲ درصد در پهنه بندی پتانسیلی بسیار زیاد دارند. تفاوت‌ها بیشتر در مناطق بسیار کم و کم، با توجه به شکل ۱۶

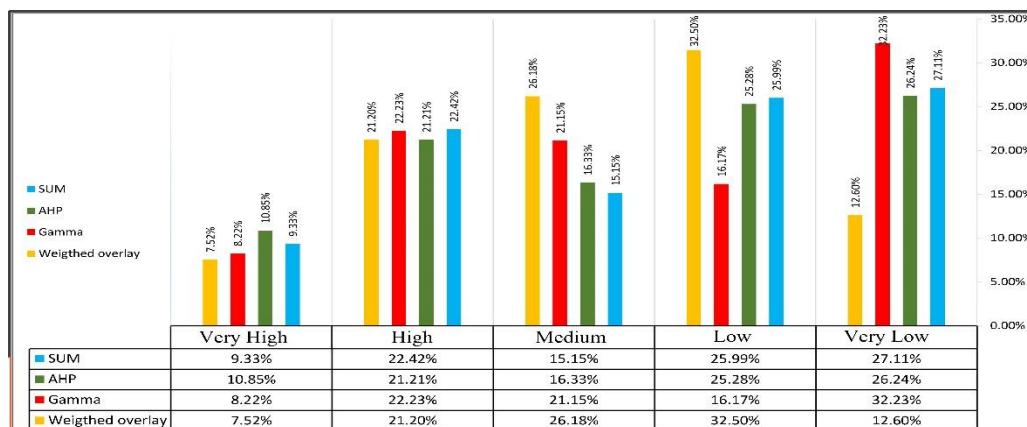
کاملا مشهود هستند. برای کاهش این تفاوت‌ها، مناطق آبرفتی از نقشه نهایی حذف و از چهار روش بدست آمده یک نقشه نهایی و مرجع تهیه گردید.

برای تعیین نقشه نهایی و قابل اطمینان، هر چهار مدل و روش نهایی مجدداً Reclassify شدند. برای این کار هر کدام به عنوان یک معیار پتانسیل‌یابی انتخاب و به هر کدام از معیارها با توجه به شناخت منطقه‌ای و میزان انطباق آنها با واقعیت‌های موجود نظیر چشمه‌های پرآب یک وزن تاثیر اختصاص داده شد (جدول ۲). سپس در محیط نرم افزار GIS با روش‌های Weighted SUM و AHP مجدد، نقشه‌ها جهت پتانسیل‌یابی، مجدداً رسم گردید و نقشه نهایی آنها به عنوان نقشه مرجع و قابل اطمینان تهیه شد. در این تحقیق به دلیل مشابه بودن دو نقشه پایانی و درصد مساحت‌های پهنه بندی پتانسیل آنها و عدم تغییرات چشم‌گیر در مناطق دارای پتانسیل، مدل Weighted SUM به عنوان مدل نهایی و نقشه پایانی قابل اطمینان تهیه شد (شکل ۱۸).



شکل ۱۵- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوضه گرمی چای به روش Fuzzy Gamma.

Fig. 15. Groundwater potential map produced by Fuzzy Gamma method.



شکل ۱۶ - درصد مساحت مناطق مختلف پتانسیل آب زیرزمینی در چهار روش هم پوشانی.

Fig. 16. Percentage of different areas of groundwater potential in four overlapping methods.

اختصاص داد (شکل ۲۰). گرچه در این منطقه تعداد چشمه‌ها نسبت به مناطق دیگر زیاد است ولی تنها ملاک ارزیابی نمی‌باشد زیرا میزان آبدهی بالای چشمه‌ها نشانگر منطقه دارای پتانسیل بالا می‌باشد. این مناطق با دارا بودن ۸۰/۰۹ درصد، بیشترین حجم آبدهی را دارد که نشانگر صحیح بودن روش انتخابی است.

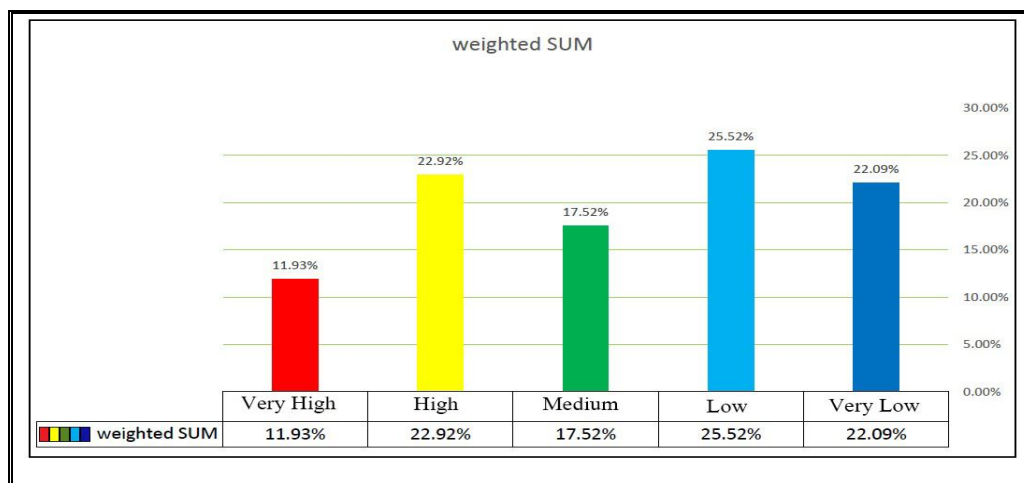
صحت‌سنجی نقشه نهایی

به منظور صحت‌سنجی نقشه پتانسیل‌یابی نهایی بدست آمده، موقعیت چشمه‌ها و چاههای برداشت منطقه بر روی این نقشه منتقل و میزان انطباق موقعیت آنها با مناطق دارای پتانسیل بالا مورد ارزیابی قرار گرفت (شکل ۱۹). منطقه زیاد و بسیار زیاد با دارا بودن تعداد ۳۴ دهنه چشمه بیشترین حجم و میزان آبدهی را به خود

جدول ۲- وزن‌دهی معیارها بر اساس روش Weighted SUM.

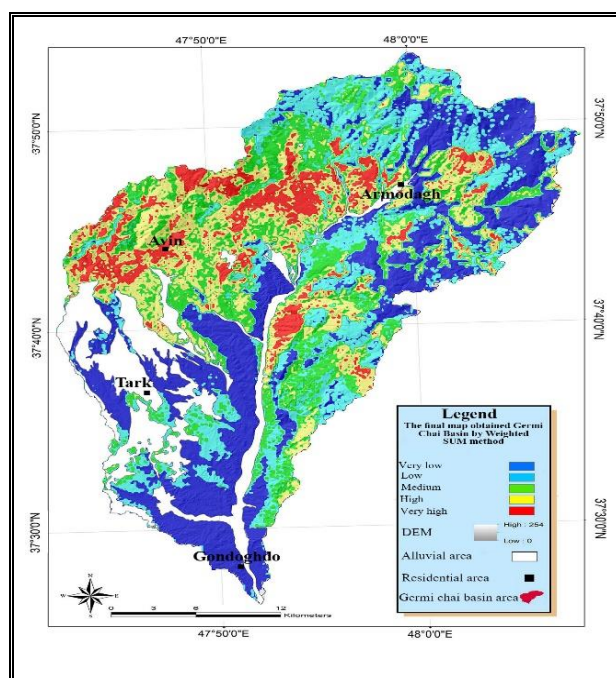
Table 2. Weighing of criteria based on the Weighted SUM method.

Layer weight	Gamma	Weighted Overlay	SUM	AHP
Weighted SUM	3	5	6	7



شکل ۱۷- درصد مساحت مناطق مختلف پتانسیل آب زیرزمینی در روش هم‌پوشانی Weighted SUM.

Fig. 17. Percentage of different areas of groundwater potential in the Weighted SUM overlapping method.



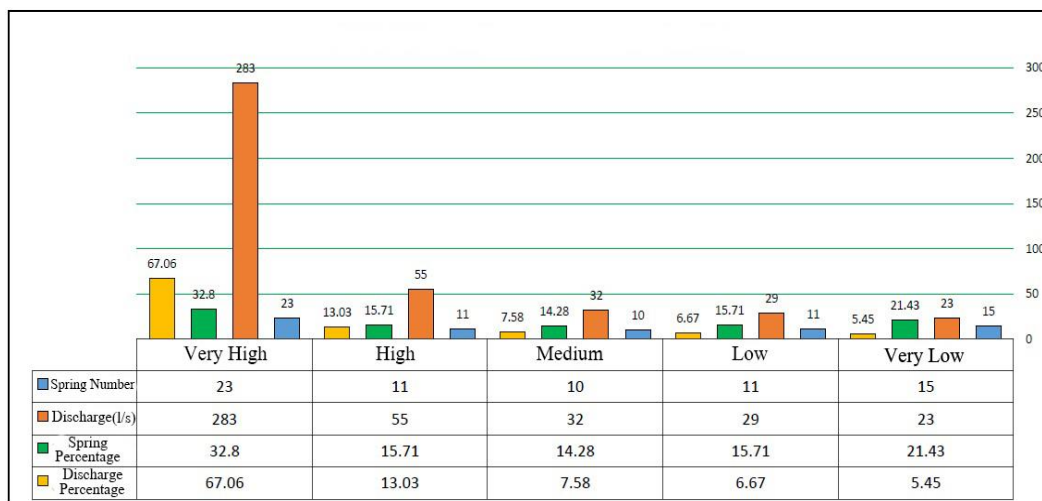
شکل ۱۸- نقشه نهایی حوزه گرمی چای حاصل از روش Weighted SUM.

Fig. 18. The final groundwater potential map for Germei Chai Basin produced by Weighted SUM method.

نقشه‌ها، از انطباق چشمه‌های موجود در منطقه استفاده شد. نتایج این کار نشان داد که ۸۰/۰۹ درصد چشمه‌ها با مناطق دارای پتانسیل زیاد و بسیار زیاد به خوبی تطابق دارد. منطقه دارای پتانسیل بسیار زیاد با ۶۷/۰۶ درصد میزان آبدهی چشمه‌ها بیشترین ارزش را از لحاظ منابع آب زیرزمینی دارد. ۶۱/۳ درصد از مناطق دارای پتانسیل بسیار زیاد مربوط به واحد زمین‌شناسی کنگلومرا و ۱۷/۸ و ۹/۲ درصد به ترتیب به سنگ‌های آذرآوری در شمال شرق و مناطق کارستی در شمال‌غرب حوزه مربوط می‌شود.

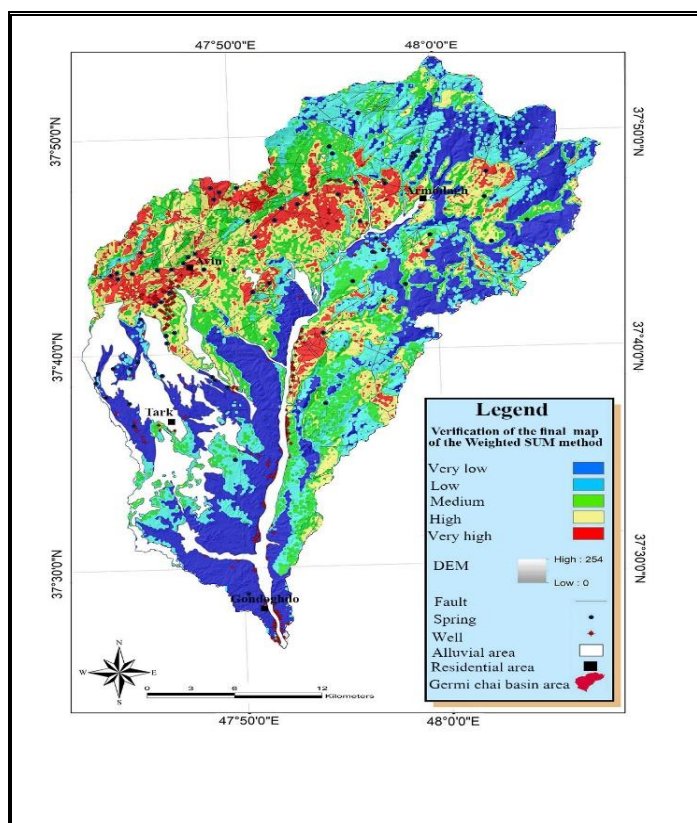
نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد نه روش انتخابی با توجه به وزن تاثیرشان، با مناطق با پتانسیل بالا کاملاً منطبق هستند. لیتولوژی قابل نفوذپذیری، تراکم شکستگی‌ها، پوشش گیاهی متراکم، عدم تراکم آبراهه‌ها و شیب پایین از شاخص‌های با اهمیت در پتانسیل‌یابی این منطقه می‌باشند. براین اساس جهت اطمینان بیشتر نتایج نهایی، چهار روش مجدداً کلاس‌بندی شدند و به روش Weighted SUM وزن‌دهی و با آزمون و خطای مجدد نقشه نهایی به عنوان نقشه مرجع تهیه شد. برای اطمینان و صحت‌سنجی



شکل ۱۹- ارتباط بین شاخص‌های مدل Weighted SUM با آبدهی، تعداد و درصد فراوانی چشمه‌ها.

Fig. 19. Relationship between Weighted SUM model with discharge, number and frequency percentage of springs.



شکل ۲۰- صحت‌سنجی نقشه نهایی حوزه گرمی چای حاصل از روش Weighted SUM.

Fig. 20. Verification of the final Germei Chai basin potential map produced by the Weighted SUM method.

نقاط بهره‌برداری از مطالعات ژئوفیزیک برای اکتشافات آب زیرزمینی در مناطق پتانسیل زیاد و بسیار زیاد استفاده شود. همچنین انجام مطالعات هیدروشمی برای اطمینان از کیفیت آبخوان‌های پی‌جویی شده، توصیه می‌گردد.

دیگر واحدهای زمین‌شناسی که در منطقه از گستردگی چندانی برخوردار نمی‌باشند به همراه آندزیت‌های هوازده به شدت تکتونیک شده ۱۱/۷ درصد در منطقه پتانسیل بسیار زیاد سهم دارند. براساس این تحقیق پیشنهاد می‌شود در گام بعدی به منظور مسجل نمودن

منابع

- Al-Ruzouqa, R., Shanableha, A., Merabtenea, T., Siddiquea, M., Khalila, M.A., Idrisb, A., Almulla, E., 2019. Potential groundwater zone mapping based on geo-hydrological considerations and multi-criteria spatial analysis, North UAE. *Catena* 173, 511–524.
- Apaydin, A., 2010. Relation of tectonic structure to groundwater flow in the Beypazari region, NW Anatolia, Turkey. *Hydrogeology Journal* 18, 1343-1356.
- Basavaraj, H., Nijagunappa, R., 2011. Development of Groundwater Potential Zone in NorthKarnataka Semi-Arid Region, Using Geoinformatics Technology. *Universal Journal of Environmental Research and Technology* 4, 500-514.
- Consulting Engineers and Contractors, 2011. Instruction tracing methods in the study of karstic and hard rock formation, p. 546.
- Frederick, D., Lewis, D., Lee, D., Slater, J.R., Johnson, C.D., Terry, N., Werkema, D., 2017. An overview of geophysical technologies appropriate for characterization and monitoring at fractured-rock sites. *Journal of Environmental Management* 204, 709-720.
- Hamza, S.M., Ahsan, A., Imteaz, M.A., Ghazali, A.H., Mohammed, T.A., 2017. GIS – based FRATIC model for pollution vulnerability assessment of fractured- rock aquifer systems. *Environmental Earth Science* 76 (5).
- Hasanipak, M., 2001. Exploration Data Analysis, Institute of Publications and Printing of Tehran University. (In Persian).
- Jankowski, P., Ligmann-Zielinska, A., Swobodzinski, M., 2008. Choice modeler: Aweb-based spatial multiple criteria evaluation tool. *Transactions in GIS* 12(4), 541–561.
- Jelokhani, M., Malczewski, J., 2015. Decision complexity and consensus in Web-based spatial decision making: A case study of site selection problem using GIS and multicriteria analysis. *Cities* 45, 60–70.
- Kazemi, R., Shadfar, S., Bayat, R., 2014. Investigating the Factors Influencing the Potential of Hard Formations, Case Study: Lar Cartis Region. *Journal of Engineering and Management of Watershed* 7, 389-401.
- Lei, Q., Latham, J.P., Tsang, C.F., 2017. The use of discrete fracture networks for modelling coupled geomechanical and hydrological behaviour of fractured rocks. *Computers and Geotechnics* 85, 151–176.
- Lijuan, C.H., Shinan, C.H., 2011. An Approach of AHP for Human Factors Analysis in Aircraft Icing Accident. *Procedia Engineering* 17, 63-69.
- Masoud, A., Koike, K., 2006. Tectonic architecture through Landsat-7 ETM+/SRTM DEM-derived lineaments and relationship to the hydro geologic Setting in Siwa region, NW Egypt. *Journal of African Earth Sciences* 45, 467–477.
- Mohammad Zade, T., 2015. Investigating the potential of groundwater resources in the hard formations of the Balikhlo Chai basin, the Cain district of Ardabil province. Master's Degree, Tabriz University. (In Persian).
- Murmua, P., Kumara, M., Lala, D., Sonkerb, I., Singhc, S.K., 2019. Delineation of groundwater potential zones using geospatial techniques and analytical hierarchy process in Dumka district, Jharkhand, India. *Groundwater for Sustainable Development* 9, 100-239.
- Nabavi, M.A., 1976. Preface to Iranian Geology, Geological Survey of Iran, 109 pages. (In Persian).
- Ramanathan, U., 2013. Aligning supply chain collaboration using Analytic Hierarchy. *Omega* 41, 431-440.
- Saaty, T., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences* 1, 83-98.
- Shaoyun, R., 2012. Assessment on logistics warehouse fire risk based on analytic process. *Procedia Engineering* 45, 59-63.
- Singhal, B.B., Gupta, R.P., 2010. Applied Hydrogeology of Fractured Rock, Springer Science Business Media.
- Taheri, F., Jaafari, H., Rezayi, M., 2016. Selection of proper operator of fuzzy logic approach in potential of groundwater resources in the hard rock formations of Lahkood, Yazd. Iranian Geological Society, Tehran, Iran, Tehran University. (In Persian).
- Yousefi, M., Carranze, E.J.M., 2015. Fuzzification of continuous value spatial evidence 109 for mineral prospectivity mapping. *Computers & Geosciences* 74, 97-109.

