دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر فصلنامه
علمی فضای جغرافیایی

دوره بیست و پنجم، شماره ۹۰
تابستان ۱۴۰۴، صفحات ۱۴۰-۱۱۶

منصور صادقی[۱]

علی محمد نورمحمدی[۲]

تجزیه و تحلیل چند معیاره مبتنی بر GIS برای شناسایی مناطق بالقوه تغذیه آب‌های زیرزمینی - مطالعه موردی حوضه آبخیز قمرود

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۵/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۰۹

چکیده

در سال‌های اخیر به دلیل کمبود آب در نتیجه فعالیت‌های انسانی از جمله کشاورزی، صنعتی و مصارف خانگی، استخراج آب‌های زیرزمینی بشدت افزایش یافته است. این امر نیاز به شناسایی مناطق بالقوه آب زیرزمینی برای تغذیه مصنوعی را دوچندان کرده است. آب‌های زیرزمینی یکی از با ارزش‌ترین منابع طبیعی هر کشور است و تقریباً در همه جای زیرسطح زمین وجود دارد و منبع اصلی تامین آب در سراسر جهان است. آب‌های زیرزمینی نقش مهمی در حفظ جریان بین توالی بارندگی و به‌ویژه در دوره‌های خشک طولانی مدت دارد. علاوه بر مصارف انسانی، بسیاری از حیات اکوسیستم‌ها از جمله رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها به جریان آب‌های زیرزمینی وابسته هستند. زندگی ساکنان منطقه مورد مطالعه نیز به استخراج منابع آب زیرزمینی وابستگی زیادی دارد. مطالعه حاضر با هدف شناسایی مناطق تغذیه بالقوه آب زیرزمینی (GPRZ) حوضه آبخیر قمرود و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA) بر اساس تکنیک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) انجام شده است. ۹ عامل موثر شامل سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی/پوشش زمین، خاک، تراکم زهکشی، تراکم خطواره زمین‌شناسی، لندفرم، ارتفاع و بارش سالیانه به عنوان عوامل موثر در تغذیه آب‌های زیرزمینی شناسایی و در محیط GIS10.5 مورد تحلیل قرار گرفتند. این پارامترها با کمک تحلیل سلسه مراتبی (AHP) وزن‌دهی شده و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(ArcGIS) بر اساس روش ترکیب خطی وزنی (WLC) ادغام شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، منطقه به پنج کلاس(GPRZ) مناطق بالقوه تغذیه آب‌های زیرزمینی شامل پتانسیل تغذیه بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم کلاس‌بندی شدند. نتایج نشان می‌دهد که حدود۸۷٤/۱ کیلومترمربع (۲٤/۸٪)

[۱] گروه ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. (نویسنده مسئول) mansadeghi1400@gmail.com

[۲] گروه ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

طبقه با پتانسیل تغذیه بسیار بالا، ۱۵۵۸/۲ کیلومترمربع (٤٤/٤٪) در طبقه با پتانسیل بالا، ۷۷۳/۷کیلومترمربع (۲۲/۱٪) در طبقه با پتانسیل متوسط، ۵۹/۲ کیلومترمربع (۱/۷٪) طبقه با پتانسیل کم و ۲٤٤/۱ کیلومترمربع (۷٪) در طبقه با پتانسیل بسیارکم قرار دارد. نتایج بدست آمده این پژوهش می‌تواند برای مسئولان سیاست‌گذار در زمینه منابع آب و خاک، محیط زیست و سایر ذینفعان اطلاعات ارزشمندی را برای بهبود مدیریت منابع آب زیرزمینی و توسعه پایدار منطقه فراهم سازد.

واژه‌های کلیدی: حوضه آبخیز قمرود، تغذیه آب زیرزمینی، سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)، تصمیم‌گیری چندمعیاره (AHP)

مقدمه

آب به عنوان یک منبع ارزشمند طبیعی، نقش حیاتی در زندگی انسان و سایر موجودات زنده دارد که عملا بدون آن زندگی ناممکن می‌گردد. افزایش جمعیت، گسترش شهرها و توسعه صنعت و کشاورزی؛ تقاضا برای آب را بشدت بالا برده است. قرارگیری کشور ایران در منطقه خشک و نیمه خشک جهان با یک سوم متوسط بارش جهانی و پراکنش نامنظم زمانی و مکانی بارندگی، چالش‌های جدی را در تامین منابع آب ایجاد کرده است. تقاضای فزاینده کنونی برای آب برای رفع نیازهای فرهنگی، اجتماعی و اقتصادی در جهان می‌تواند از طریق منابع آب زیرزمینی یا سطحی تامین شود بنابراین، با مقایسه این دو، آب‌های زیرزمینی پراکنش بیشتری داشته و هم نسبتاً امن‌تر هستند(Guppy and Uyttendaele, 2018). آب‌های زیرزمینی، به عنوان جزء کلیدی از چرخه آب جهانی و یک منبع مهم تامین آب شیرین در بسیاری از نقاط جهان است(Frappart & Ramilien, 2018)، این مسئله به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک کاملا حیاتی به‌شمار می‌رود(Arshad et al., 2020). آب‌های زیرزمینی همچنین ۵۰ درصد از منابع آب آشامیدنی جهان و ٤۰ درصد از منابع آب صنعتی جهان را تامین می‌کند(Rajmohan et al., 2021) که منبع اصلی آب آشامیدنی برای بیش از ۱/۵ میلیارد نفر در سراسر جهان است(Frappart & Ramilien, 2018) . منابع آب زیرزمینی که بیش از ۷۰ درصد از منابع آب در محیط‌های خشک را تشکیل می‌دهند، اغلب به دلیل بهره‌برداری بیش از حد، عدم تغذیه مناسب، تغییرات کاربری اراضی و افزایش جمعیت رو به اتمام است(Aneesh & Deka, 2015). آب‌های زیرزمینی به دلیل زمان ماندگاری طولانی‌تر در زمین، سطح پایین آلودگی، توزیع گسترده و در دسترس بودن مصرف کننده نهایی، بهترین منبع آب برای برآوردن نیازهای خانگی، صنعتی و کشاورزی است(Bhave and katpatal, 2019). اگر از منابع آب زیرزمینی به اندازه تغذیه آنها، برداشت صورت گیرد پایداری آنها برای همیشه حفظ خواهد شد اما در صورتی‌که بیش از تغذیه از آنها برداشت صورت گیرد، به علت کاهش آب در لایه‌های خاک، لایه‌ها فشرده شده و توان تغذیه‌ای منبع کاهش می‌یابد. بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرمینی از طریق احداث چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان منجر به پایین رفتن سطح اساس آب‌های زیرزمینی و تنش‌های آبی در منطقه می‌شود. پیامدهای مشهود این گونه تنش‌ها بر منابع آب زیرزمینی شامل کاهش حجم ذخیره این منابع، کاهش کیفیت و افزایش تداخل آب شور و شیرین، فرونشست، خشک شدن تالاب‌ها،چشمه‌ها، قنات‌ها و ... می‌باشد (Zarei et al., 2022). برای جبران کسری مخازن آب زیرزمینی و متعادل نگه داشتن تراز آبی آن، باید به مدیریت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

منابع آب زیرزمینی از طریق کاهش مصرف یا افزایش تغذیه آن پرداخت تا از افت بیش از اندازه سفره‌های آب زیرزمینی جلوگیری کرد(Nirmala et al., 2011). تغذیه آب‌زیرزمینی پیش نیاز اساسی برای توسعه و مدیریت کارآمد منابع آب زیرزمینی است(Bhave et al., 2019). تغذیه آب‌های زیرزمینی نوعی تغذیه کنترل شده است که در آن آب‌های سطحی برای نفوذ و حرکت بعدی به سمت سفره برای افزایش منابع آب زیرزمینی انجام می‌شود (Bhattacharya, 2010).منطقه تغذیه طبیعی خوب، منطقه‌ای است که در آن فرآیند نفوذ آب سطحی به خوبی انجام شده و بدون انسداد به آب‌های زیرزمینی تبدیل شود. منطقه تغذیه به عنوان محلی برای تخلیه آب باران عمل می کند، بنابراین به طور غیرمستقیم بر کنترل سیل نیز تأثیر می‌گذارد (Nasution et al., 2019). بدین ترتیب با نفوذ دادن رواناب‌ها علاوه بر جلوگیری از وقوع سیل به حفظ منابع آبی در همان منطقه کمک خواهد شد. با این حال، شناسایی سایت‌های با پتانسیل تغذیه مناسب، بسیار دشوار است و به عوامل متعددی از جمله ویژگی‌های آب و هوا، توپوگرافی، ساختمان زمین‌شناسی، عمق‌هوازدگی، وسعت شکستگی‌ها، شیب، تخلخل اولیه و ثانویه، الگوهای زهکشی، شکل‌های زمین و ویژگی‌های کاربری/پوشش زمین بستگی دارد(Raviraj et al., 2017 ; Senthilkumar et al., 2019). در سال های اخیر مطالعاتی در زمینه تغذیه آب‌های زیرزمینی در سطح جهان انجام شده است. Alai Taqalani et al (2018) به بررسی تاثیر عوامل ژئومورفولوژی بر تغذیه‌ی منابع آب زیرزمینی دشت میاندره کرمانشاه با استفاده از روش استنباطی و تحلیل وزنی – تجربی اقدام کردند و با استفاده از ۹ متغیر در محیط GIS به پهنه بندی حوضه به واحدهای هیدروژئومورفولوژی مبادرت کردند. Dehghani et al (2018) طی پژوهشی با عنوان، چارچوبی برای ارزیابی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی در تغذیه آبخوان‌ها و مدیریت سیلاب مناطق خشک؛ بر اساس شاخص‌های کمّی نظیر راندمان تغذیه و نرخ تسکین سیل برای بررسی عملکرد سامانه تغذیه مصنوعی پرداختند. Zareei et al (2019) به مکان‌یابی اراضی مناسب برای تغذیه مصنوعی سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های منطقه‌ای و تصاویر ماهواره‌ای در استان یزد، اقدام کردند. Sadeghi et al (2022) به مکان‌یابی محل‌های مناسب تغذیه مصنوعی آبخوان دشت شریف آباد قم با تأکید بر ویژگی‌های هیدروژئومرفولوژیکی منطقه با ده معیار اقدام نمودند. بر اساس یافته‌ها، مکان‌های منطبق بر محیط مخروط افکنه‌ای، دارا بودن خاک درشت دانه از نوع ماسه، شن، لوم موقعیت خوبی جهت تغذیه آبخوان می‌باشد. Parizi et al (2023) با به‌کارگیری تکنیک(PROMETHEE) و مقایسه زوجی شاخص‌ها با استفاده از شاخص‌های کمّی به ارزیابی پایداری مدیریت منابع آب‌زیرزمینی در آبخوان‌های حوضه فلات مرکزی ایران اقدام نمودند. Bhave & Katpatal (2019) با استفاده از GIS و RS نواحی بالقوه تغذیه آب‌زیرزمینی را شناسایی کردند. آنها برای تعیین نواحی مذکور از معیارهای ژئومورفولوژی، خاک، کاربری اراضی/ پوشش اراضی، شیب، سنگ‌شناسی و تراکم خطواره استفاده نمودند. Abijith et al (2020) به تحقیقی با عنوان، تجزیه و تحلیل چندمعیاره مبتنی بر GIS برای شناسایی مناطق بالقوه تغذیه آب‌زیرزمینی در حوضه آبخیز تامیل نادو، هند پرداختند. آنها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ضریب تأثیر چندگانه(MIF) رویکردهای تصمیم‌گیری چند معیاره برای تعیین وزن برای عوامل تأثیرگذار در شناسایی مناطق بالقوه ذخیره آب‌زیرزمینی(GPRZ)[1] پرداختند.

[1] groundwater potential recharge zonation

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

Bhunia (2020) تحقیقی با عنوان رویکردی برای تعیین محدوده دارای پتانسیل تغذیه آب‌زیرزمینی با استفاده از فناوری مکانی انجام دادند. ایشان برای تعیین محدوده مذکور از ۹ لایه موضوعی شامل سنگ‌شناسی، ژئومورفولوژی، تراکم زهکشی، خاک، کاربری اراضی/پوشش زمین، شاخص NDVI، ارتفاع، سطح آب قبل از موسمی، سطح آب پس از موسمی استفاده نموده‌اند. بر اساس نتایج به‌دست آمده منطقه به ۳ کلاس با پتانسیل ذخیره خوب، متوسط و کم طبقه‌بندی شده‌اند. Ali khan et al (2023) به پهنه‌بندی مناطق بالقوه تغذیه آبخوان(ARPZ) با استفاده از فرآیند اطلاعات فضایی، مکانی(Geospatial) و تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[1] در استان تبوک عربستان سعودی اقدام نمودند. آنها برای تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها از عوامل موثر مانند زمین شناسی، بارندگی، تراکم خطواره، تراکم زهکشی، شیب، ارتفاع، خاک و شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) استفاده نمودند. استان قم یکی از استان‌های مهاجرپذیر کشور می‌باشد به همین خاطر تقاضای روزافزون به منابع آبی و از طرف دیگر کمبود و نوسانات منابع آب‌های سطحی، استفاده از منابع آب‌های زیرزمینی را جهت تامین نیازهای مردم و توسعه اقتصادی منطقه اجتناب‌ناپذیر کرده است. برداشت بی‌رویه موجب پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی و تبعات بعدی را به دنبال دارد. جهت تامین پایدار منابع آبی منطقه نیاز به تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در زمان حاضر که کشور ما و ازجمله منطقه مورد مطالعه که از یک طرف در منطقه خشک و کم باران قرار گرفته و از طرف دیگر درگیر خشکسالی طولانی مدت شده و امکان تغذیه آب‌های زیرزمینی به طور طبیعی به شدت کاهش یافته شناسایی مناطق مستعد جهت تغذیه آبهای زیرزمینی و استفاده از این مناطق جهت تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند در رفع این مسئله راهگشا باشد. بر این اساس در این مقاله تلاش گردید مناطق مستعد برای تغذیه آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های AHP با کمک نقشه‌های موضوعی مختلف، داده‌های هیدرولوژیکی و مجموعه داده‌های میدانی شناسایی شود. انتظار می‌رود نقشه‌های پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی تهیه شده و اطلاعات حاصل از این مطالعه، بتواند در حفاظت از توسعه پایدار آبخوان در آینده کمک مؤثری بنماید.

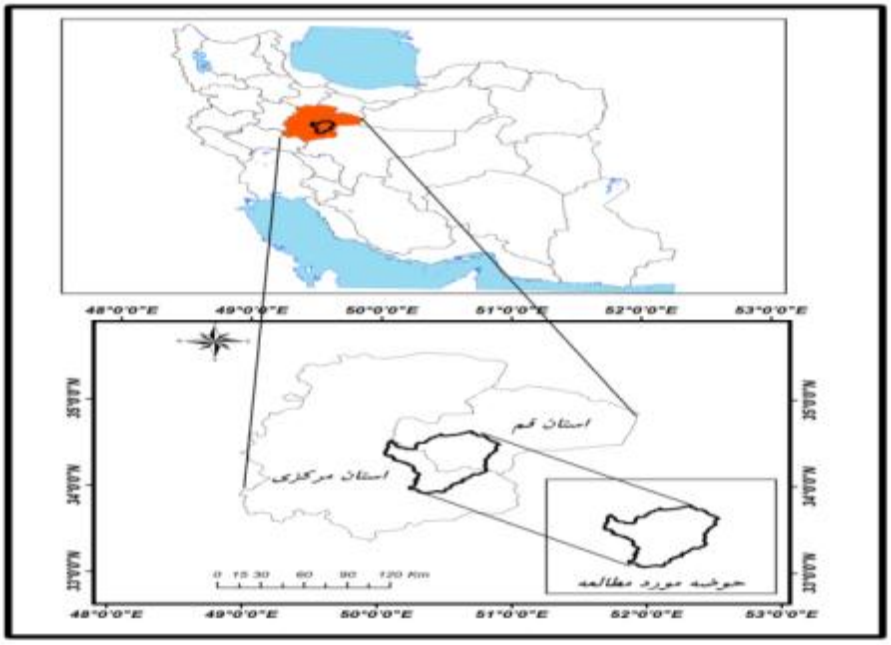
معرفی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با وسعت ۳۵۵۸ کیلومترمربع(۳۵۵۸۰۰ هکتار) و از نظر تقسیمات سیاسی در بین استان‌های مرکزی و قم و در موقعیت جغرافیـایی بین ۳۳ ۲ °۵۰ الی ۲۹ ٥٤ °۵۰ طول شرقی و ۳۷ ۵۷ °۳۳ الی ۳۸ ۳۹ °۳٤ عرض شمالی واقع شده است(شکل۱). حداقل ارتفاع حوضه ۹٦٤ متر، حداکثر ارتفاع آن ۳۱٤۵ متر است و شیب متوسط آن ۱۳/٦ درصد و محیط حوضه نیز ٤۵۲.۷ کیلومتر است. ۵۸ درصد از مساحت حوضه مورد مطالعه با ۲۰٦۸ کیلومترمربع در استان قم و ٤۲ درصد آن با وسعت ۱٤۹۵ کیلومترمربع در استان مرکزی واقع شده است.

[1] Analytic hierarchy process

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]



شکل ۱: موقعیت حوضه آبخیر قمرود در استان قم و کشور ایران

Figure 1: Location of the Qomrud watershed in Qom province and Iran

مواد و روش‌ها

در سال‌های اخیر، تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) به عنوان ابزاری مقرون‌به‌صرفه به لحاظ هزینه و زمان، برای تولید داده‌های ارزشمند در زمینه‌های ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، پوشش و کاربری زمین، شیب، خطواره‌ها، سنگ‌شناسی و غیره استفاده می‌شود که به کشف مناطق دارای پتانسیل ذخیره آب زیرزمینی کمک می‌کند(Bhave and Katpatal, 2019). داده‌های مورد استفاده و منابع آنها در جدول(۱) آورده شده است. برای تهیه نقشه‌های موضوعی مورد نیاز برای این مطالعه از منابع مختلف استفاده شده و با استفاده از ابزار ARC GIS10.5 دیجیتالی و پیش پردازش شده است.

جدول۱– معیارهای استفاده‌شده در تغذیه آب‌های زیرزمینی و منابع آن

Table 1 - Criteria used in groundwater recharge and its sources

ردیف	نوع داده	منابع داده
۱	لیتولوژی	نقشه ۱۰۰/۰۰۰، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
۲	خاک	نقشه ۲۵۰/۰۰۰ فائو، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور
۳	تراکم خطواره	نقشه ۱۰۰/۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
٤	کاربری اراضی	نقشه۲۵۰/۰۰۰، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری قم
۵	قابلیت نفوذپذیری	سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری قم
٦	لندفرم	تفسیر بصری از تصاویر ماهواری لندست و Gooogle Earth Pro
۷	شیب	مستخرج از(palsar dem 12.5 m)

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

۸	ارتفاع	مستخرج از(palsar dem 12.5 m
۹	تراکم زهکشی	مستخرج از(palsar dem 12.5 m
۱۰	بارش	اداره کل هواشناسی استان قم – شرکت سهامی آب منطقه قم

در این پژوهش برای شناسایی و تعیین مناطق بالقوه تغذیه آب‌های زیرزمینی در حوضه آبخیز قمرود از ۹ معیار (جدول۲) استفاده شده است. با توجه به تنوع معیارهای در نظر گرفته شده، جهت دستیابی به نتیجه مطلوب از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) بهره گرفته می‌شود. تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه(MCDM) مبحثی است که به فرایند تصمیم‌گیری در حضور معیارهای متفاوت و بعضا متناقض با یکدیگر می‌پردازد(Colson and Bruyn, 1999). هر مساله می‌تواند دارای اهداف چندگانه یا معیارهای چندگانه باشد. معیارها ممکن است در تعارض باهم باشند، اهداف و معیارهای متفاوت ممکن است دارای مقیاس‌های اندازه‌گیری متفاوت نیز باشند. حل اینگونه مسائل می‌تواند به معنای بهترین جواب و یا انتخاب بهترین جواب از میان جواب‌های موجود باشد(Moradi & Akhterkavan,2009). مدل تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) برای اولین بار توسط ال ساعتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ ابداع شد.

اساس روش تصمیم‌گیری بر مقایسات زوجی بنا شده است. فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است که اساس این روش بر مقایسات زوجی بنا نهاده شده است. ماتریس مقایسات زوجی، پیچیدگی مفهوم تصمیم را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، زیرا تنها دو عنصرتصمیم‌گیری در یک زمان مورد بررسی قرار می‌گیرند. مراحل اصلی آن شامل: ۱) ساخت ماتریس مقایسه زوجی، ۲) مقایسه زوجی گزینه‌ها، ۳) تعیین وزن گزینه‌ها و ٤)محاسبه نرخ ناسازگاری است(Ghodsi Pour, 2011). فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) روش تصمیم‌گیری چندمعیاره برای وزن‌دهی به معیارها و انتخاب گزینه بهینه براساس مقایسه‌های زوجی می‌باشد. در این روش از دیدگاه خبرگان جهت تعیین وزن معیارها و اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده می‌شود. رویکرد فرآیند تحلیل سلسله مراتبی از داده‌های مکانی به طور کارآمدتر و قابل اعتمادتری در سیستم‌های مدیریت آب زیرزمینی استفاده می‌کند(Hashemi et al., 2015). در این تحقیق ابتدا با استفاده از جدول مقایسه زوجی ارائه شده توسط ساعتی، متغیرهای مورد استفاده با توجه به نظر یازده نفر از کارشناسان و صاحب‌نظران در زمینه تغذیه آب‌های زیرمینی با هم مقایسه زوجی گردیده و ارزش‌گذاری شدند (جدول۲) و (شکل۲).

جدول ۲- مقایسه زوجی شاخص‌ها و وزن حاصل از AHP

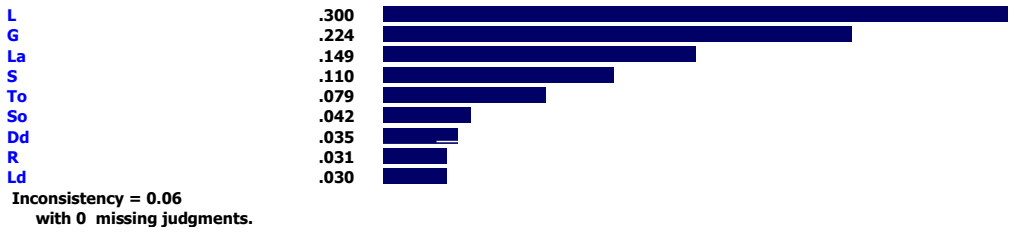
Table 2- Pairwise comparison of indicators and weights obtained from AHP

پارامتر	L	G	La	S	To	so	Dd	R	Ld	وزن نرمال شده AHP
لندفرم (L)	۱	۲	۳	٤	٤	۸	٦	٦	۷	۰/۳۰
زمین شناسی (G)	/۵	۱	۲	۳	۳	۷	٦	٦	۵	۰/۲۲
کاربری اراضی (La)	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۲	٦	۵	۵	٤	۰/۱۵

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

شیب (S)	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۱	۲	۵	٤	٤	۳	۰/۱۱
توپوگرافی (To)	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵	۱	٤	۳	۳	۲	۰/۰۷۹
خاک (So)	۰/۱۲	۰/۱٤	۰/۱٦	۰/۲	۰/۲	۱	۳	۲	۲	۰/۰٤۲
تراکم زهکشی (Dd)	۰/۱٦	۰/۱٦	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۳۳	۱	۲	۲	۰/۰۳۵
بارندگی (Rin)	۰/۱٦	۰/۱٦	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۱	۲	۰/۰۳۱
خط واره (Ld)	۰/۱٤	۰/۲	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/٦	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۱	۰/۰۳۰



شکل ۲: وزن هر یک از شاخص‌ها بر اساس روش AHP

Figure 2: Weight of each indicator based on the AHP method

نتایج

ارتفاع زمین

ارتفاع زمین، نقش مهم و اساسی در هدایت و نفوذ آب به سیستم آب های زیرزمینی ایفا می‌کند(Patil and Mohite, 2014). توپوگرافی با رواناب سطحی همبستگی مستقیم و با تراوش به آبخوان و همچنین میزان نفوذ آب به سفره زیرزمینی همبستگی معکوس دارد(Patra et al., 2018). در نواحی که ارتفاع زمین و تبع آن شیب زمین بالا باشد، سرعت رواناب افزایش یافته و میزان نفوذ کاهش می‌یابد و برعکس ولی در مناطقی که ارتفاع پایین‌تری دارند، سرعت رواناب همواره کند بوده و زمان بیشتری برای نفوذ آب باران خواهد داشت(Agarwal et al., 2013). ارتفاع نقش تعیین کننده در میزان و نوع بارش و همچنین میزان تبخیر و تعرق دارد. اغلب بارش‌ها در مناطق کوهستانی در فصل زمستان به‌صورت برف است که با ذوب تدریجی آن از یک طرف تامین کننده منابع آبی رودخانه‌ها در فصل گرم سال هستند و از سوی دیگر تغذیه آب‌های زیرزمینی را موجب می‌شوند همچنین میزان تبخیر و تعرق در این نواحی کمتر از نواحی پست مجاور خود می‌باشد. داده‌های اخذ شده از سازمان آب منطقه‌ای قم نیز موید همین مطلب است، طبق این گزارش میزان تبخیر سالانه از سطح آزاد آب در ارتفاع ۹٤۸ متری ۲۱۹۳.٤ میلی‌متر و در ارتفاع ۳۱۰۰ متری ٦۹۹/۹ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. Sadeghi (2019) با تهیه مدل رقومی ارتفاع ۱۲/۵متر منطقه و با تعیین مرز حوضه در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS)، نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه مشخص گردید(جدول۳) و(شکل۳). حداقل ارتفاع حوضه قمرود در شرق آن با ۹٦٤ متر و حداکثر ارتفاع آن مربوط به بلندترین قله‌های غرب حوضه با ارتفاع ۳۱٤۵ متر است. اختلاف ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقطه منطقه،

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

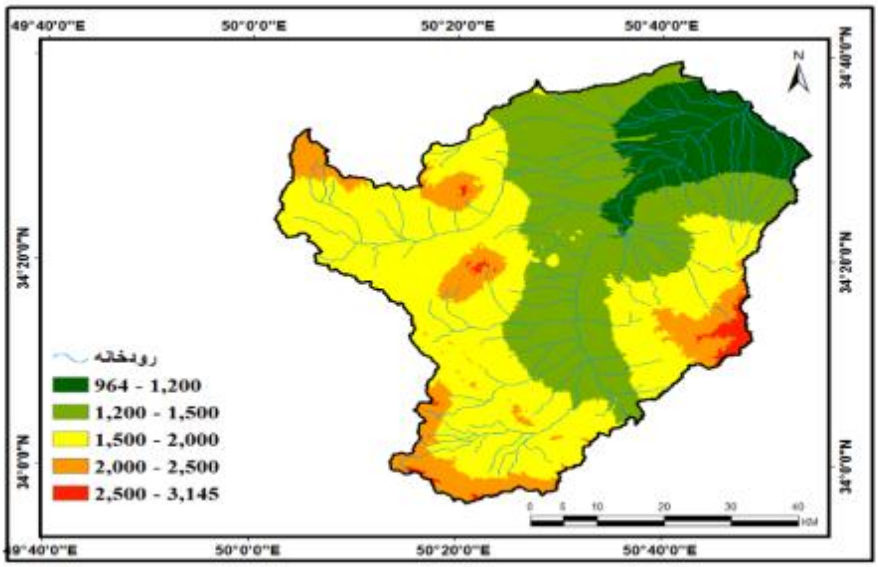
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

۲۱۸۱مترمی‌باشد. بیشترین مساحت حوضه با ۳۲.۵ درصد در بین ارتفاع ۱۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر قرار دارد و حداقل مساحت حوضه با ۱ درصد در ارتفاعی بالاتر از ۲۵۰۰ متر واقع شده است(جدول۳).

جدول ۳- توزیع طبقات ارتفاعی حوضه آبخیز قمرود

Table 3- Distribution of elevation classes in the Qomroud watershed

ارتفاع (متر)	<۱۲۰۰	۱۲۰۰–۱۵۰۰	۱۵۰۰–۲۰۰۰	۲۰۰۰–۲۵۰۰	۲۵۰۰ <
مساحت طبقات ارتفاعی (km^2)	٤٠٦/٩	١١٥٨	١٥٧٢/٤	٣٧٩/٦	٤٦
مساحت طبقات ارتفاعی (٪)	١١/٤٢	٣٢/٥	٤٤/١	١٠/٦	١/٣



شکل ۳: نقشه سطوح ارتفاعی حوضه آبخیز قمرود

Figure 3 : Basin elevation map of the Qomroud watershe

شیب

شیب، سرعت جریان‌های سطحی و زمان تمرکز رودخانه را کنترل می‌کند و نقش بسیار مهمی در مقدار نفوذ، میزان رواناب، شدت سیلاب‌ها، میزان فرسایش خاک و قدرت تخریب و حمل رسوب حوضه دارد. با افزایش شیب دامنه‌ها میزان نفوذ آب به داخل زمین و زمان تمرکزکاهش یافته و بر حجم رواناب‌ها و سیلاب‌ها افزوده می‌شود(Sadeghi, 2019:111). رواناب سطحی در نواحی با شیب متوسط آهسته حرکت می‌کند بدین ترتیب زمان بیشتری را برای نفوذ آب باران فراهم می‌سازد، در حالی که در مناطق پرشیب، رواناب شدیدتری ایجاد می‌شود و زمان ماندگاری آب باران در سطح کمتر شده و در نتیجه نفوذ کاهش پیدا می‌کند(Malik & Rajeshwari, 2011).

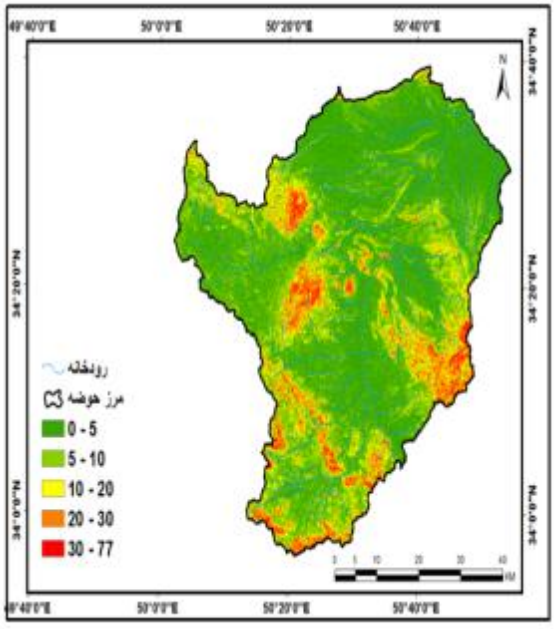
بر اساس محاسبات انجام‌شده از روی مدل رقومی ارتفاعی(DEM 12.5m) منطقه، تقریباً ۵۸ درصد مساحت حوضه در بین شیب‌های صفر الی ۱۰ درصد واقع شده است که نشان می‌دهد بیشترین مساحت حوضه دارای سطوح هموار و نیمه‌هموار می‌باشد(شکل٤). این امر می‌تواند هدایت و نفوذ دادن آب‌های جاری به داخل زمین را تسهیل نماید.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

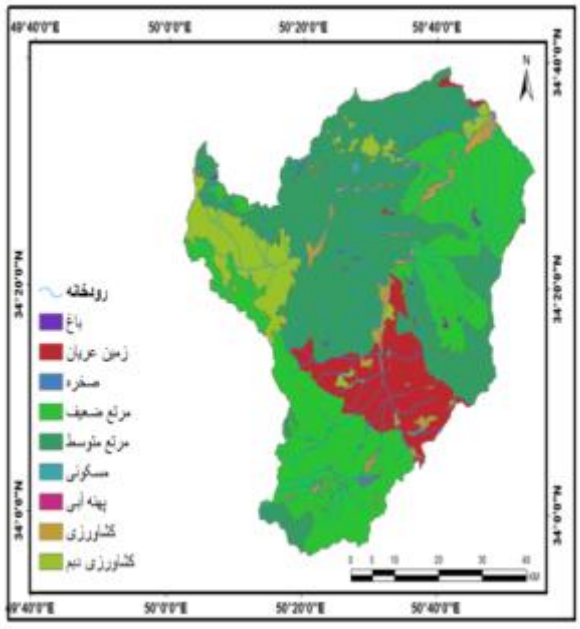
کاربری اراضی

هر نوع مداخله بشر برای تأمین نیازهای انسانی اعم از مادی و معنوی در منابع طبیعی را کاربری اراضی می‌نامند. کاربری زمین عامل مهمی در تغذیه آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود که نوع رسوبات، پراکندگی مناطق مسکونی و پوشش گیاهی را شامل می‌شود. نوع کاربری و پوشش زمین بر تبخیر و تعرق، رواناب و تغذیه سیستم آب زیرزمینی تأثیر می‌گذارد(Yeh et al., 2016). انواع کاربری اراضی با پوشش گیاهی زیاد در مقایسه با نوع کاربری‌هایی فاقد یا تراکم پایین پوشش گیاهی، پتانسیل بالاتری برای نفوذ آب از خود نشان می‌دهد(Aryanto & Hardiman, 2018). زمین‌های کشاورزی معمولاً به دلیل دارا بودن منافذ در خاک، آب را در ریشه‌ها به دام انداخته و نگه می‌دارند و سپس اجازه نفوذ بیشتری می‌دهند برعکس در مناطق مسکونی و بایر به دلیل از بین رفتن سطح نفوذپذیر و افزایش پتانسیل رواناب، نفوذپذیری کاهش می‌یابد(Rao & Briz, 1991). از این رو، مناطق دارای کشاورزی و پهنه‌های آبی به عنوان مکان‌های مناسبی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته می‌شوند، در حالی که سکونتگاه‌ها و زمین‌های بایر پتانسیل تغذیه آب زیرزمینی ضعیفی دارند. نقشه کاربری اراضی منطقه مورد بحث و پهنه‌های تحت اشغال هر کدام از کاربری‌ها در شکل (۵)نشان داده شده است. بر همین اساس ۷۸ درصد از مساحت حوضه، مراتع فقیر تا متوسط می‌باشد، ۱۱ درصد منطقه بایر، ۸/٤ درصد آن به کشت دیم اختصاص یافته و مابقی سطوح حوضه را کشت آبی، باغات، مناطق مسکونی، برون‌زدگی‌های صخره‌ای و پهنه‌های آبی تشکل می‌دهند. مناطقی که پوشش گیاهی بالاتری دارد و اطراف رودخانه‌ها قابلیت بهتری برای تغذیه آب‌های زیرزمینی دارد.



شکل ٤: نقشه شیب حوضه آبخیز قمرود

Figure 4: Slope map of the Qomroud atershed



شکل ۵: نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز قمرود

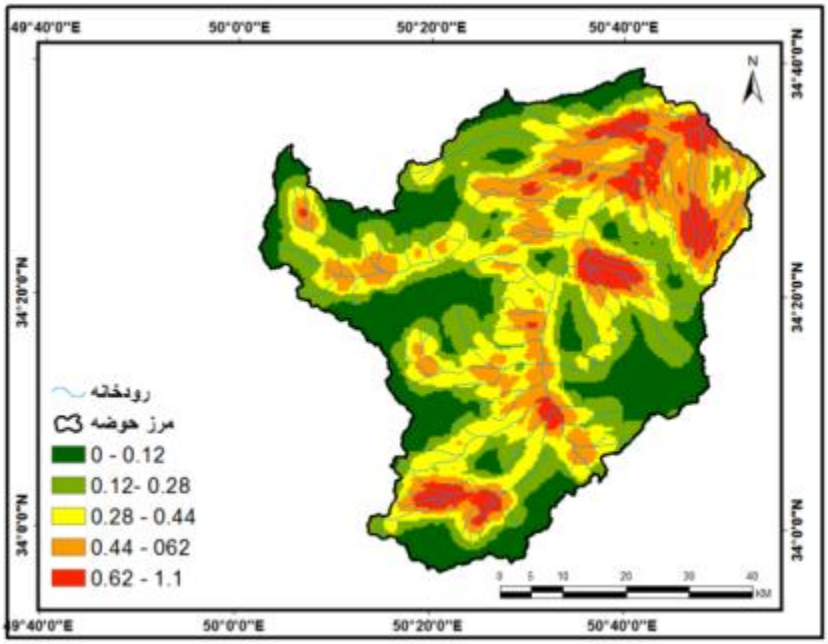
Figure 5 : Land use map of the Qomroud watershed

تراکم زهکشی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

فاصله بین کانال‌های جریان را با تقسیم مجموع طول جریان بر مساحت حوضه اندازه‌گیری می‌کنند(Nithya et al., 2019). شبکه آبراهه‌های حوضه نشان‌دهنده چگوگی تخلیله رواناب از حوضه بوده و لذا شناخت آن از اقدامات اساسی در عملیات هیدرولوژی است(Alizadeh, 2007:453). هر چه سنگ‌های تشکیل دهنده منطقه سست و نفوذپذیر باشد به همان اندازه تراکم شبکه رودخانه‌ای آن کم می‌باشد و بر عکس هر چه سنگ‌های تشکیل دهنده منطقه سخت و نفوذناپذیر باشد تراکم شبکه آبراهه‌ای آن نیز زیاد خواهد بود بر همین اساس تراکم زهکشی با میزان نفوذپذیری رابطه معکوس دارد. در نواحی نیمه‌خشک به علت فقدان پوشش گیاهی، تراکم زهکشی بالاتری وجود دارد زیرا بر اثر کمبود آب در مناطق خشک، جریان‌های اصلی کم و شبکه آبراهه‌های کوچک زیاد است (Chorley et al., 2000). از آنجا که تراکم زهکشی با میزان نفوذپذیری رابطه عکس دارند بنابراین پارامتر مهمی در شناسایی پهنه‌های مناسب تغذیه آب‌های زیرزمینی می‌باشد. تراکم زهکشی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS 10.5 تهیه شده است(شکل ٦).



شکل ٦:نقشه تراکم شبکه زهکشی حوضه آبخیز قمرود

Figure 6 : Drainage network density map of the Qomroud watershed

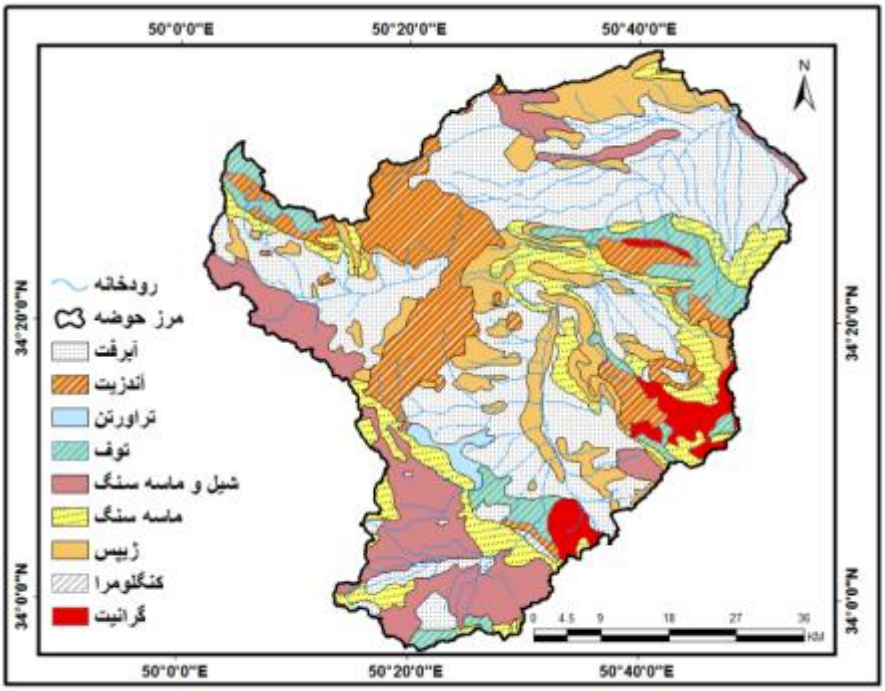
لیتولوژی

لیتولوژی، تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌های سفره آب زیرزمینی را کنترل می‌کند(Rahmati & Melessee, 2016). اگر سنگ نفوذپذیری کمتری داشته باشد، نفوذ رواناب نیز کاهش می‌یابد(Hutti & Nijagunappa,2011). ویژگی‌های زمین‌شناسی بر بسیاری از خصوصیات هیدورلوژیکی چون نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی و غیره موثر است. مناطقی با ویژگی‌های سنگ‌شناسی شنی و شنی ماسه‌ای پتانسیل بالایی برای تغذیه آب‌های زیرزمینی از خود

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

نشان می‌دهد(Bhunia, 2020). در منطقه مورد مطالعه پادگانه‌های آبرفتی قدیم و جدید به‌صورت مخروط‌افکنه‌های گراولی(Qft1, Qft2) حدود ٤٠ درصد از مساحت حوضه را پوشانده‌اند و حدود ۲۰ درصد از بقیه حوضه از سنگ‌های شیل و ماسه سنگ(TRJS)، ماسه سنگ زرد تا قرمز، مارن قرمز با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ(Mur)، مارن و ماسه‌سنگ(OMml) تشکیل شده است(شکل ۷).



شکل۷: نقشه لیتولوژی حوضه آبخیز قمرود

Figure 7 : Lithological map of the Qomroud watershed

لندفرم (ژئومورفولوژی)

استفاده معقول از چشم‌اندازها منوط به شناخت بهتر اشکال ناهمواری آنهاست. درک بیشتر انسان از اشکال ناهمواری‌ها، استفاده معقول‌تر از آنها را به‌همراه خواهد داشت. شناسایی و تعیین خصوصیات لندفرم‌ها و ویژگی‌های ساختاری آنها در منطقه مورد بحث از دیدگاه مطالعات ژئومورفولوژیکی بسیار مهم خواهد بود. ویژگی لندفرم‌ها برای تغذیه آب‌های زیرزمینی موثر می‌باشد. مناطق تپه‌ای و کوهستانی به دلیل توپوگرافی پرشیب خود جهت تغذیه آب‌های زیرزمینی مناطق مستعدی تلقی نمی‌شوند در عوض دره‌ها، مسیل‌های سیلابی و دشت‌های هموار جهت نفوذ آب به داخل زمین شرایط مساعدی فراهم می‌سازند.

ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی رفتار هیدرولوژیکی یک حوضه را به میزان قابل توجهی تحت تاثیر قرار می‌دهند(Bhunia, 2020). ژئومورفولوژی به طور قابل توجهی بر وقوع، نفوذ آب و تغذیه آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارد(Etikala et al., 2019). دسته‌بندی لندفرم‌ها منجر به تشخیص و تعیین ویژگی‌های هیدرومورفولوژیکی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

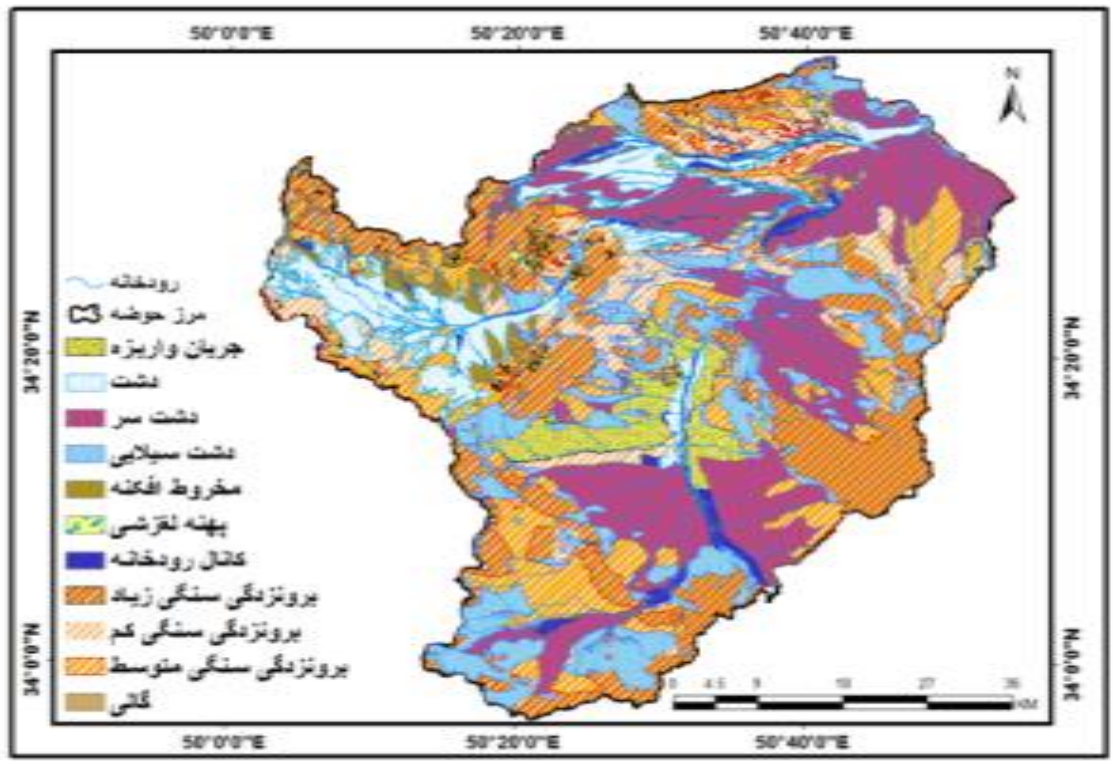
می‌شود که برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی مفید می‌باشد زیرا هر دو جنبه ریخت‌شناسی و سنگ‌شناسی را در نظر می‌گیرد(Phoemphon & Terakulsatit, 2022). با توجه به جنس، وسعت، موقعیت و ویژگی‌های هر لندفرم، دشت‌های با شیب ملایم، دشت سرها(پدیمنت ها) و مخروطه افکنه‌ها، به عنوان مکان‌های مناسب برای اجرای پروژه‌های آبخوانداری در نظر گرفته می‌شوند(Ahmadi, 2008).

از نظر ژئومورفولوژی، منطقه مورد مطالعه به سه زون اصلی شامل؛کوهستان، پایکوه و دشت طبقه‌بندی می‌شود. پهنه دشت با ۵۱/٦ درصد، تپه ۲٦/۵درصد و کوهستان با ۱۹ درصد، واحدهای مختلف ژئومورفولوژیکی حوضه مورد مطالعه را تشکیل می‌دهند(جدول٤)و(شکل۸).

جدول٤- درصد پراکندگی واحدهای ژئومورفولوژیکی حوضه آبخیز قمرود

Table 4 - Percentage of dispersion of geomorphological units of the Qomroud watershed

واحد ژئومورفولوژی	کوهستان	پایکوه	دشت	جمع کل
مساحت (کیلومترمربع)	۸۳۰	۱۲٦۰	۱٤۷۳	۳٥٦۳
درصد مساحت	۲۳	۳٦	٤۱	۱۰۰



شکل۸: نقشه لندفرهای حوضه آبخیز

Figure 8: Watershed Landforms map

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

بافت خاک

نفوذ آب به خاک یکی از مهمترین اجزای چرخه‌ی آب در طبیعت است. این ویژگی به عنوان مهمترین ویژگی هیدورلیکی خاک بوده و بیانگر توانایی خاک در انتقال آب به صورت عمودی محسوب می‌شود(Feki et al., 2018). تخلخل، ساختار، چسبندگی و یکنواختی از جمله ویژگی‌های خاک هستند که با کنترل نفوذ و انتقال آب‌های سطحی به سفره‌های زیرزمینی بر تغذیه آب‌های زیرزمینی تأثیر می‌گذارد(Souissi et al., 2018). نفوذ و تغذیه آبخوان تحت تأثیر خواص ساختار و بافت خاک است(Das and Mukhopadhyay, 2018). به لحاظ سنگ شناسی خاک‌های با بافت درشت‌تر، پتانسیل تغذیه آبخوان را افزایش می دهد و بالعکس(Doll & Fiegler, 2018). انواع خاک با بیشترین مقدار شن و ماسه دارای پتانسیل تغذیه آبخوان بالایی هستند(کلاس ٤) که باعث نفوذ و تغذیه می‌شود. پتانسیل تغذیه بسیار کم آبخوان (کلاس ۱) به دلیل داشتن ریزترین بافت خاک (رس و سیلت) است که باعث افزایش رواناب سطحی و کاهش میزان نفوذ می‌شود(Kumar & Krishna, 2016). بر اساس نقشه تهیه شده از خاک منطقه مورد مطالعه (شکل۹) از سه خاک لیمونی[1]، شنی و رسی تشکیل یافته است (جدول۵). خاک لیمون از ٤۳٪ ماسه، ۲۹ ٪ از لیمون و ۲۸٪ از رس تشکیل شده نسبتاً نرم و کمی چسبنده می‌باشند و خاک رسی لیمونی از ۳٦٪ ماسه، ۳۳ ٪ از لیمون و ۳۲٪ از رس تشکیل یافته، که این خاک نرم و چسبنده و کمی شکل‌پذیر می‌باشد. خاک لوم شنی دارای نرخ نفوذپذیری بالا بوده و برای تغذیه آب زیرزمینی مناسب است در حالی که خاک رس دارای نرخ نفوذپذیری کم و برای تغذیه آب زیرزمینی پتانسیل کمتری دارد.

جدول۵- مساحت و درصد مساحت انواع خاک اراضی محدوده مطالعاتی

Table- 5 Area and percentage of area of soil types in the study area

نوع خاک	مساحت (کیلو مترمربع)	درصد مساحت
لیمونی	۱۸۲۷/۳	۵۱/۳
شنی	۹۲۳	۲۵/۹
رسی	۸۱۲/۷	۲۲/۸
جمع	۳۵٦۳	۱۰۰

بارندگی سالانه

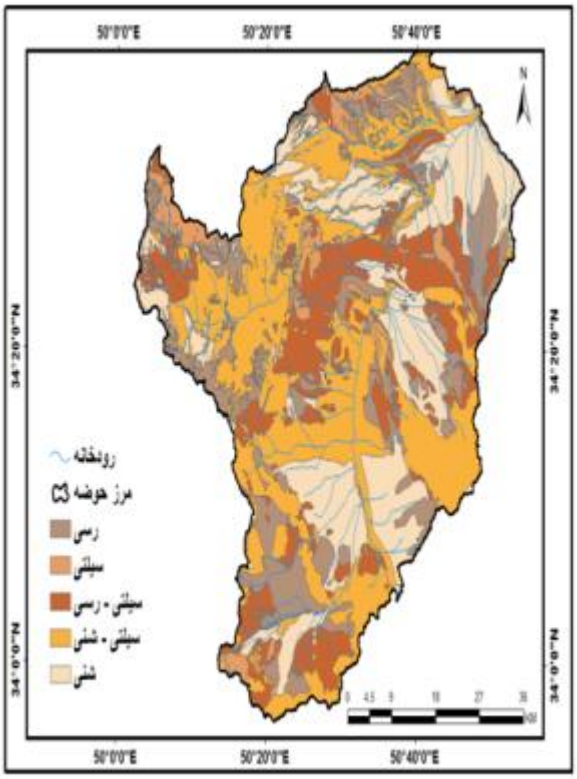
1- silt

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

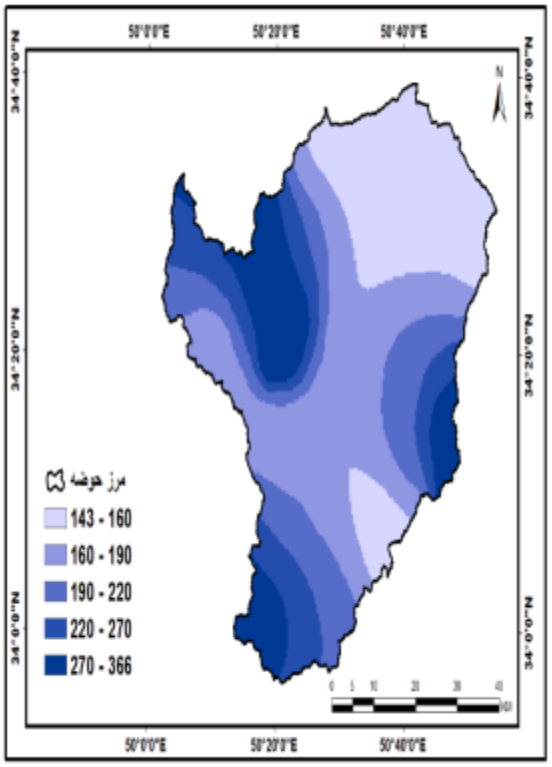
با توجه به اینکه بارش مهمترین عامل در تولید آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌باشد، لذا در مطالعات منابع آب به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل اقلیمی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقدار بارش نقش واضح و کلیدی در فرآیند تغذیه آبخوان‌ها دارند، زیرا منبع اصلی برای تغذیه منابع آب زیرزمینی محسوب می‌شود. به دلیل تاثیر زیاد بارندگی بر آب‌های زیرزمینی، در چرخه هیدرولوژیکی بسیار مهم است بر همین اساس، درونمای تغذیه آب زیرزمینی رابطه مستقیمی با میزان بارش دارد(Kumaret al., 2014). بارش کوتاه مدت با شدت زیاد، تراوایی را کاهش داده و رواناب را افزایش می‌دهد و برعکس بارش‌های بلندمدت با شدت کمتر موجب افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب سطحی شده و موجب تغذیه آبخوان‌های زیرزمین می‌شود(Ali khan, 2023).

با توجه به نقشه همبارش حوضه بیشترین مقدار بارش در حوضه ۳٦٦ میلی‌متر در مناطق کوهستانی حوضه و کمترین بارندگی ۱٤۳ میلی‌متر در قسمت خروجی حوضه می‌باشد(شکل۱۰).



شکل ۹: نقشه بافت خاک حوضه

Figure 9 : Watershed soil texture map



شکل۱۰: نقشه وضعیت بارندگی حوضه

Figure 10 : Map of rainfall status of the watershed

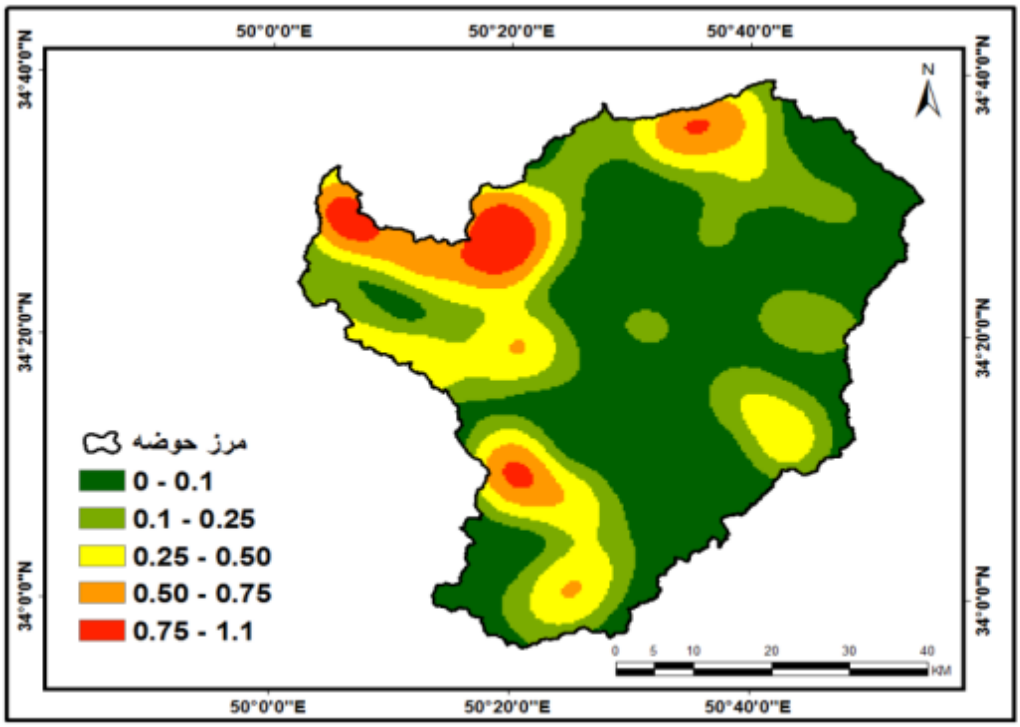
خطواره‌ها

خطواره‌ها به‌عنوان ویژگی‌های خطی ساده و پیچیده ساختارهای زمین‌شناسی، مانند گسل‌ها، شکاف‌ها، شکستگی‌ها و سطوح مختلف ناپیوستگی است که در یک خط مستقیم یا داری انحنای ملایم قرار می‌گیرند و با استفاده از RS قابل شناسایی و ردیابی هستند. گسل‌ها بسته به نوع و شرایط زمین شناسی در کنترل و انتقال آب؛ نقش خنثی، مثبت

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

یا حتی منفی دارند.گسل‌های نرمال که در شرایط کششی ایجاد می‌شوند نقش بیشتری در انتقال آب زیرزمینی دارند(Kastning, 1977). خطواره‌ها و گسل‌ها با نفوذپذیری متوسط تا زیاد به رواناب اجازه نشت و نفوذ به داخل زمین را می‌دهند، بدین ترتیب هدایت هیدرولیکی و تخلخل ثانویه را افزایش داده و جریان عمودی آب را بهبود می‌بخشند(Echogdali et al., 2022). بطور کلی گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های سطح زمین مسیرهای مناسبی برای حرکت عمقی آب ایجاد می‌کنند که این ویژگی بخصوص در سازندهای نفوذناپذیر نقش بارزتری دارند. قسمت‌های شمال‌غربی، غربی و جنوبی حوضه مورد مطالعه دارای چندین گسل می‌باشد که فراوانی آن بخصوص در ارتفاعات غربی حوضه بیشتر می‌باشد(شکل۱۱).



شکل ۱۱: نقشه تراکم خطواره‌های حوضه آبخیز قمرود

Figure 11: Density map of lineaments in the Qomroud watershed

تلفیق لایه های اطلاعاتی

در این مرحله لایه‌های مربوط به هر یک شاخص‌های منتخب تهیه و امتیاز هر لایه بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی تعیین گردید. هر لایه دارای زیربخش‌هایی بوده که امتیاز آنها نیز تعیین گردید. در مرحله بعد هرلایه در وزن آن لایه ضرب شده و با سایر لایه‌ها تلفیق گردیده است. در نهایت نقشه حاصله به عنوان نقشه پهنه‌بندی حوضه از لحاظ پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی ایجاد شده است (شکل ۱۲).

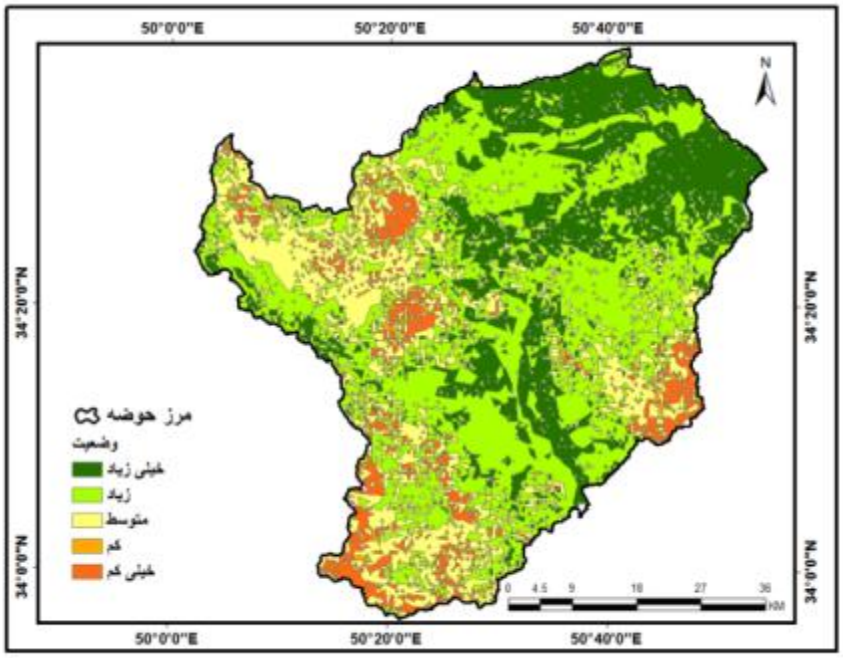
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

جدول ۵- مساحت و درصد مساحت پهنه‌های با پتانسیل نفوذپذیری مختلف در حوضه

Table 5 - Area and percentage of area of zones with different permeability potential in the basin

پهنه	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم
مساحت	۸۷٤/۱	۱۵۵۸/۲	۷۷۳/۷	۵۹/۲	۲٤٤/۱
درصد مساحت	۲٤/۸	٤٤/٤	۲۲/۱	۱/۷	۷



شکل۱۲: نقشه پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی حوضه آبخیز قمرود

Figure 12 : Map of groundwater recharge potential of the Qomroud watershed

اعتبار سنجی نتایج

جهت اعتبارسنجی نتایج حاصله، از لایه نقاط چاه‌های آب زیرزمینی موجود در منطقه که از سازمان آب منطقه‌ای استان تهیه شده، استفاده گردید. در این مرحله با روی هم‌گذاری لایه نقاط چاه‌های آب زیرزمینی و نقشه پهنه‌بندی مشخص گردید نقشه تهیه شده دارای دقت بالایی می‌باشد(شکل ۱۳). از تعداد ۲۵ حلقه چاه موجود در منطقه ۲حلقه در محدوده با قابلیت تغذیه متوسط، ۱۲ حلقه در محدوده با قابلیت تغذیه زیاد و ۱۱ حلقه چاه در محدوده با قابلیت تغذیه خیلی زیاد قرار گرفته‌اند که نشان از دقت مناسب نقشه تهیه شده دارد.

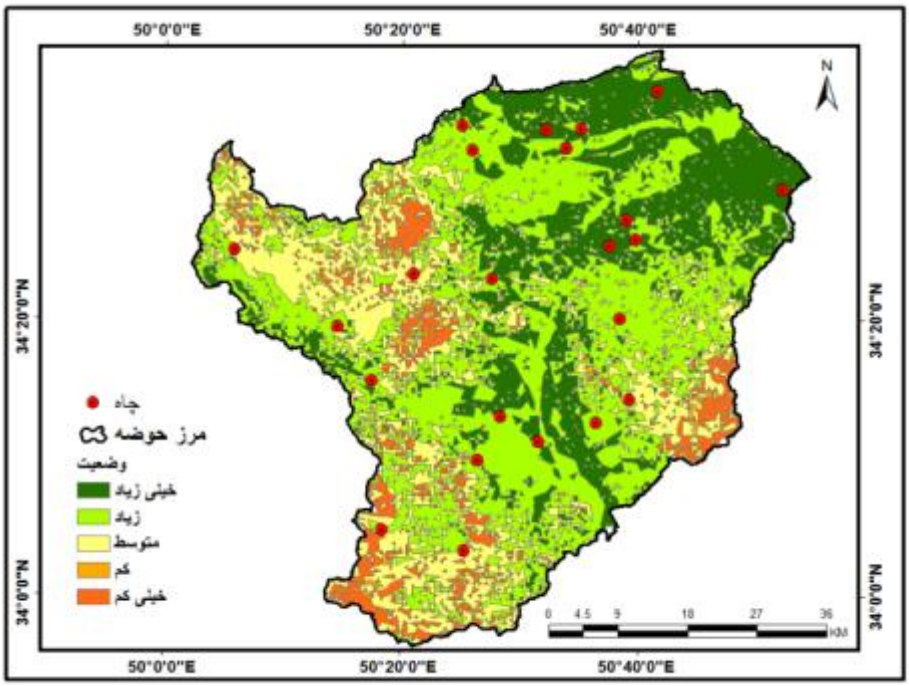
[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

جدول ٦- تعداد و محل قرارگیری چاه‌های آب موجود در منطقه

Table 6 - Number and location of water wells in the area

پتانسیل پهنه‌ها	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	کم	خیلی کم	مجموع
تعداد چاه	۱۱	۱۲	۲	۰	۰	۲۵
درصد	٤٤	٤٨	۸	۰	۰	۱۰۰



شکل۱۳: نقشه پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی و چاه‌های موجود در حوضه

Figure 13 : Map of groundwater recharge potential and wells in the basin

نتیجه گیری

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی(GIS) همراه باروش تصمیم‌گیری چندمعیاره از جمله فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) به عنوان ابزاری قدرتمند و کارآمد برای شناسایی مناطق بالقوه ذخیره آب زیرزمینی به‌شمار می‌رود. در این مطالعه سعی گردید علاوه بر تهیه نقشه پتانسیل ذخیره آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز قمرود کارایی تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی نیز مورد بررسی قرار گیرد. ابتدا ۹ شاخص، لندفرم، لیتولوژی، ارتفاع، شیب، خاک، کاربری اراضی، تراکم زهکشی، خطواره‌ها، بارندگی در حوضه مورد مطالعه استخراج و سپس با استفاده از جدول ارائه شده توسط ساعتی و نظرات کارشناسان، مقایسه زوجی انجام گردید و با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله مراتبی وزن هر شاخص تعیین شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد، شاخص لندفرم و زمین‌شناسی بیشترین وزن را داشته و شاخص‌های خطواره و بارندگی دارای کمترین وزن می‌باشند. لایه‌های مختلف موضوعی

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

استفاده شده در این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی،زمین‌شناسی، خاک، کاربری اراضی و هواشناسی در محیط نرم–افزار (GIS) استفاده شده است. وزن‌های حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی لایه‌های تهیه شده روی هم‌گذاری و ادغام گردید و نقشه پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی به‌دست آمد. بر اساس نقشه حاصله ۲۴۳۲/۲ کیلومتر مربع از حوضه در پهنه با پتانسیل تغذیه آب‌های زیرزمینی زیاد و خیلی زیاد قرار دارد و حدود ۳۰۳/۳ کیلومتر مربع در پهنه با قابلیت کم و خیلی کم واقع شده است. نتیجه صحت سنجی نقشه‌های تهیه شده با استفاده از موقعیت چاه‌های آب موجود در منطقه، نیز تأیید کننده صحت پهنه‌بندی انجام شده می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی(AHP) به همراه استفاده از شاخص‌های دخیل درتغذیه آب‌های زیرزمینی می‌تواند راهکاری مناسب برای تهیه نقشه پهنه‌های مناسب برای تغذیه آب‌های زیرزمینی باشد.

نتایج این پژوهش می‌تواند نقش ابزارمدیریتی برای برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران منابع آب به‌خصوص منابع آب زیرزمینی باشد. انتظار می‌رود اجرای شیوه‌های مدیریتی تغذیه، وضعیت منابع آب‌های زیرزمینی را بهبود بخشیده و در نتیجه آن حجم آب در دسترس برای استفاده جمعیت بومی منطقه را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

References

- Abijith, D., Saravanan, S., Singh, L., Jennifer,J., & Saranya, T.(2020). GIS-based multi-criteria analysis for identification of potential groundwater recharge zones - a case study fromPonnaniyaru watershed, Tamil Nadu, India. **HydroResearch**, 3 ,1–14. Doi:10.1016/j.hydres.2020.02.002.
- Agarwal, E., Agarwal, R., Garg, RD., & Garg, PK. (2013). Delineation of groundwater potential zone: an AHP/ANP approach. **J Earth Syst Sci**, 122(3),887–898. DOI:10.1007/s12040-013-0309-8
- Ahmadi, H.(2008). **Applied Geomorphology**,Volume2 (Desert), Tehran: Tehran University Press. [In Persian].
- Alai Taqalani, M., Shafiei, N, & Rajabi, M. (2018). The effect of geomorphologic factors on feeding udergroundwater resources Kermanshah Meyandareh plain. **Hdrogeomorphology**, 13(4), 21-41 . https://sid.ir/paper/516715/fa. [In Persian].
- Ali khan, M., Elkashouty,M., Zaidi, F.,& Egbueri, J.(2023). Mapping aquifer recharge potential zones (ARPZ) using integrated geospatial and analytic hierarchy process (AHP) in an arid region of Saudi Arabia. **Remote Sensing Approaches to Groundwater Management and Mapping**, *15*(10), 2567. Doi:10.3390/rs15102567.
- Alizadeh, A.(2007). **Principles of Applied Hydrology**. Mashhad: Imam Reza University Press. [In Persian].
- Aneesh, R., Deka, P.C.(2015). Groundwater potential recharge zonation of Bengaluru ur ban district – a GIS based analytic hierarchy process (AHP) technique approach. **International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Tech nology**, 6(2), 129–136. Doi:10.17148/IARJSET.2015.262.
- Arshad, A., Zhang, Z., Zhang, W., & Dilawar, A.(2020). Mapping favorable groundwater potential recharge zones using a GIS based analytical hierarchical process and probability frequency ratio model: a case study from an agro-urban region of Pakistan. **Geosci**, 11(5), 1805-1819. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.12.013.
- Aryanto, *D*., & Hardiman, *G*. (2018). Assessment of groundwater recharge potential zone using GIS approach in Purworejo regency, Central Java province, Indonesia. **E3S Web of Conferences 31**, **12002(2018)**. DOI:10.1051/e3sconf/20183112002.
- Bhattacharya, AK. (2010). Artificial ground water recharge with a special reference to India. **Int J Res Rev Appl Sci**, 4(2), 214–221. https://hdl.handle.net/10535/6566.
- Bhave .H.D., & Katpatal ,Y.B. (2019). Identification of grand water recharge potential zone for watershed using GIS and RS. **International Journal of Advanced Research in Engineering and Technology**, 10(1), 121-135. Doi:10.34218/IJARET.10.1.2019.012.
- Bhunia, G.(2020).An approach to demarcate groundwater recharge potential zone using geospatial technology. **Applied Water Science**, 38, 1-12. Doi:10.1007/s13201-020-01231-1.
- Chorley, R., Schumm, S.,& Sugden, D. (2000). **Geomorphology (Slope, River, Coastal and Wind Processes)**, translated by Ahmad Motamed, Volume 3,Tehran: Samt Pub. [In Persian].
- Colson, G., & Bruyn, C. (1999). Models and methods in multiple objectives decision making. **Math. Comput Modelling**,12,1201–11.
- Das, N.,& Mukhopadhyay, S.(2018). Application of multi-criteria decision making technique for the assessment of groundwater potential zones: A study on Birbhum district, West Bengal, India. **Environ. Dev. Sustain**., 22, 931–955. Doi: 10.1007/s10668-018-0227-7.
- Dehghani, A., Banihabib, M.E., & Javadi, S. (2018). A framework for evaluating the performance of recharging and flood control by artificial recharge systems in arid regions. **Scientific and Research Journal of Watershed Engineering and Management**, 10(4), 537-551. https://doi.org/10.22092/ijwmse.2017.114878.1336.[In Persian].

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

- Doll, P.,& Fiedler, K. (2008). Global-scale modeling of groundwater recharge. **Hydrol. Earth Syst. Sci**, 12, 863–885. https://doi.org/10.5194/hess-12-863-2008.
- Echogdali, F.Z., Boutaleb, S., Bendarma, A., Saidi, M.,& Aadraoui, M.(2022). Application of analytical hierarchy process and geophysical method for groundwater potential mapping in the Tata basin, Morocco. **Water**, 15(14), 2393. https://doi.org/10.3390/w14152393.
- Etikala, B., Golla, V., Li, P., & Renati, S.(2019). Deciphering groundwater potential zones using MIF technique and GIS: a study from Tirupati Area, Chittoor District, Andhra Pradesh, India. **HydroResearch** 1, 1–7. https://doi.org/10.1016/j.hydres.2019.04.001
- Feki, M., Ravazzani, G., Ceppi, A., Milleo, G.,& Mancini, M.(2018). Impac nfiltration process modeling on soil water content simulations for irrigation management. **Water**, 10(7),850. Doi:10.3390/w10070850.
- Frappart, F., & Ramillien, G. (2018). Monitoring groundwater storage changes using the gravity recovery and climate experiment(GRACE) satellite mission: a review. **Remote Sensing**,10(6), 829-842. Doi:10.3390/rs10060829.
- Ghodsi Pour, H (2011). **Analytic Hierarchy Process (AHP)**. 9th edition, Tehran: Amir Kabir University Press. [In Persian].
- Guppy, L., & Uyttendaele, P. (2018). Groundwater and sustainable development goals, analysis of interlinkages. **UNU-INWEH Report Series**, .4, 10–26. https://hdl.handle.net/10568/99044.
- Hashemi, H., Uvo, C.B.,& Berndtsson, R.(2015). Coupled modeling approach to assess climate change impacts on groundwater recharge and adaptation in arid areas. **Hydrology & Earth System Sciences**, 19(10), 4165–4181. https://doi.org/10.5194/hess-19-4165-2015
- Hutti, B.,& Nijagunappa, R. (2011). Identification of groundwater potential zone using geoinformatics in Ghataprabha basin, North Karnataka, India. **Int J Geomatics Geoscience**, 2(1), 91–109. Doi: 10.4236/ojg.2017.711109.
- Kastning, E. H.,(1977). **Faults as positive and negative influence on groundwater flow and conduit enlargement, In Hydrologic-Problem in Karst Regions**. Kentucky: Western Kentucky University, Bowling Green pub.
- Kumar, A.,& Krishna, A. (2016). Assessment of groundwater potential zones in coal mining impacted hard-rock terrain of India by integrating geospatial and analytic hierarchy process approach. **Geocarto Int**, 33, 105–129. Doi:10.1080/10106049.2016.1232314.
- Kumar, T., Gautam, AK., & Kumar, T. (2014). Appraising the accuracy of GIS-based Multi-criteria decision making technique for delineation of Groundwater potential zones. **Water Resour Manage**, 28, 4449–4466. Doi:10.1007/s11269-014-0663-6.
- Malik, S., & Rajeshwari, D. (2011). Delineation of groundwater potential zones in Mewat District. **Int J Geomatics Geosci**, 2, 278–281. Doi:10.20546/ijcmas.2018.701.030.
- Moradi, A.M., & Akhterkavan, M.(2009). Multi-criteria decision analysis models' methodology. **Armaneshahr**, 2, 113-125. https://www.magiran.com/p899426.[In Persian].
- Nirmala, R., Shankara, M., & Nagaraju, D. (2011). Artificial groundwater recharge studies in sathyamangalam and Melur villages of Kulathur Taluk, Pudukottai district, Chennai, Using GIS Techniques. **Desalination**, 7(1),1592- 1608.
- Nithya, C.N., Srinivas, Y., Magesh, N.S., & Kaliraj, S. (2019). Assessment of groundwater potential zones in Chittar basin, Southern India using GIS based AHP technique. Remote Sens. Appl. **Soc. Environ**., 15(c). Doi:10.1016/j.rsase.2019.100248.
- Parizi, E., Hosseini, M., & Sadeghi, A. (2023). Assessing the sustainability of groundwater resource management for aquifers in Iran's central plateau basin. **Iranian Water Resources Research**, 19(3), 136-153. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17352347.1402.19.3.10.9. [In Persian].
- Patil, SG., & Mohite, NM. (2014). Identification of groundwater recharge potential zones for a watershed using remote sensing and GIS. **International journal of Geomatics and Geosciences**, 4, 485–498.
- Patra, S., Mishra, P., & Mahapatra, S.C. (2018). Delineation of groundwater potential zone for sustainable development: A case study from Ganga Alluvial Plain covering Hooghly district of

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

India using remote sensing, geographic information system and analytic hierarchy process. **J. Clean Prod**, 172, 2485–2502. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.161

- Phoemphon., W., & Terakulsatit, B. (2022). Assessment of groundwater potential zones and mapping using GIS/RS techniques and analytic hierarchy process: A case study on saline soil area, Nakhon, Thailand. **AIMS Geosciences**, 9(1), 49–67. doi:10.3934/geosci.2023004
- Rahmati, O.,& Melesse, A.M.(2016). Application of Dempster–Shafer theory, spatial analysis and remote sensing for groundwater potentiality and nitrate pollution analysis in the semi-arid region of Khuzestan, Iran. **Sci. Total Environ**, 568, 1110–1123. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2016.06.176
- Rajmohan, N., Masoud, M. H. Z., & Niyazi, B. A. M. (2021). Assessment of groundwater quality and associated health risk in the arid environment, Western Saudi Arabia. Environ. **Sci. Pollut. Res**. 28, 9628–9646. Doi: 10.1007/s11356-020-11383-x.
- Rao, B.V., & Briz-Kishore, B.(1991). A methodology for locating potential aquifers in a typical semi-arid region in India using resistivity and hydrogeologic parameters. **Geoexploration**, 27, 55–64. https://doi.org/10.1016/0016-7142(91)90014-4.
- Raviraj, A., Kuruppath, N., & Kannan, B. (2017). Identification of potential groundwater recharge zones using remote sensing and geographical information system in Amaravathy basin. **J Remote Sens GIS**, 6(4),1–10. Doi:10.4172/2469-4134.1000213.
- Sadeghi, A.R., Hosseini, M., & Yamani, M.(2022). Site-selection of groundwater artificial recharge in Sharif-Abad aquifer with emphasis on hydrogeomorphological characteristics. **Earth Science Research**, 13(49), 116-100. d0i:10.48308/esrj.2022.100768. [In Persian].
- Sadeghi, M. (2019)."The Role of land morphology in flood management of Qomrud," PhD dissertation, Faculty of Geography, Kharazmi University,. [In Persian].
- Senthilkumar, M., Gnanasundar, D., & Arumugam, R. (2019). Identifying groundwater recharge zones using remote sensing and GIS techniques in Amaravathi aquifer system, Tamil Nadu, South India. **Sustain Environ Res,** 29,15-31. Doi:10.1186/s42834-019-0014-7.
- Souissi, D., Msaddek, M., Zouhri,L., May, M.,& Dlala, M. (2018). Mapping groundwater recharge potential zones in arid region using GIS and Landsat approaches, southeast Tunisia. **Hydrol. Sci. J**., 63, 251–268. https://doi.org/10.1080/02626667.2017.1414383.
- Yeh, H.F., Cheng,Y., Lin,H., & Lee, C. (2016). Mapping groundwater recharge potential zone using a GIS approach in Hualian River, Taiwan. **Sustainable Environment Research**, 26(1),33-43. https://doi.org/10.1016/j.serj.2015.09.005.
- Zareei, S., Zareei, A., & Nekooei, A. (2019). Locating suitable lands for artificial nutrition of groundwater aquifers using regional data and satellite images in Yazd province. **Environmental Science Studies**, 4(1),1130-1141. https://www.jess.ir/article_87149. [In Persian].
- Zarei, B., Parizi, E., Hosseini, S. M., & Ataie-Ashtiani, B. (2022). A multifaceted quantitative index for sustainability assessment of groundwater management: application for aquifers around Iran. **Water International**, 47, 338-360. https://doi.org/10.1080/02508060.2022.2036930

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

GIS-based multi-criteria analysis to identify potential groundwater recharge areas - a case study of the Qomrud watershed

Mansour Sadeghi*
PhD in Geomorphology and Environmental Management, Faculty of Geographical Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran. Email: mansadeghi1400@gmail.com
Ali Mohammad Noormohammadi
PhD in Geomorphology and Environmental Management, Faculty of Literature and Humanities, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. Email: geomorphology.a@gmail.com

Abstract
In recent years, due to water scarcity as a result of human activities including agriculture, industry and domestic use, groundwater extraction has increased dramatically.This has increased the need to identify potential groundwater recharge areas. Groundwater is one of the most valuable natural resources of any country and is present almost everywhere under the earth's surface and is the main source of water supply worldwide. Groundwater plays an important role in maintaining the flow between rainfall sequences, especially during long dry periods. In addition to human needs, many ecosystem life such as rivers, lakes and wetlands depend on groundwater flow. The lives of the residents of the study area are also highly dependent on the extraction of groundwater resources. The present study aimed to identify the groundwater recharge potential zones (GPRZ) of the Qomrud aquifer basin using Geographic Information System (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) based on the Analytical Hierarchy Process (AHP) technique. Nine influential factors including lithology, slope, land use/land cover, soil, drainage density, geological lineament density, landform, elevation and annual rainfall were identified as influential factors in groundwater recharge and analyzed in GIS10.5. These parameters were weighted using Analytical Hierarchy Process (AHP) and integrated using Geographic Information System (ArcGIS) based on Weighted Linear Combination (WLC) method. Based on the results, the region was classified into five classes (GPRZ) of groundwater recharge potential zones including very high, high, medium, low and very low recharge potential. The results show that about 1.874 km2 (24.8%) is in the very high recharge potential category, 1558 km2 (44.4%) is in the high potential category, 7.773 km2 (22.1%) is in the medium potential category, 2.59 km2 (1.7%) is in the low potential category and 1.244 km2 (7%) is in the very low potential category. The results of this study can provide policymakers in the fields of water and soil resources, environment, and other stakeholders with valuable information to improve groundwater resource management and sustainable development of the region.
Keywords: Qomrud watershed, groundwater recharge, geographic information system (GIS), multi-criteria decision making (AHP).

Introduction
Water, as a valuable natural resource, plays a vital role in the lives of humans and other living beings, without which life becomes practically impossible. Population growth, urban expansion, and the development of industry and agriculture have greatly increased the demand for water. Iran's location in the arid and semi-arid region of the world with one-third of the global average rainfall and irregular temporal and spatial distribution of rainfall has created serious challenges in providing water resources.
Qom province is one of the provinces that are prone to migration, therefore, the increasing demand for water resources and on the other hand, the shortage and fluctuations of surface water resources have made the use of groundwater resources inevitable to meet the needs of the people and the economic development of the region. Excessive extraction leads to a decrease in the groundwater level and subsequent consequences. In order to sustainably supply the water resources of the region, groundwater recharge is needed. At the present time, when our country, including the study area, is located in a dry and low-rainfall region on the one hand and is involved in a long-term drought on the other hand, and the possibility of groundwater recharge has decreased naturally, identifying areas

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

susceptible to groundwater recharge and using these areas to recharge groundwater aquifers can be a solution to this problem.

Materials and methods

In this study, 9 criteria including lithology, slope, land use/land cover, soil, drainage density, geological lineament density, landform, elevation, and annual precipitation were used to identify and determine potential groundwater recharge areas in the Qomrud watershed. Considering the diversity of the criteria considered, the Analytic Hierarchy Process (AHP) model was used to achieve the desired result.

The Analytic Hierarchy Process (AHP) is one of the most comprehensive systems designed for multi-criteria decision making, and it is based on pairwise comparisons. The pairwise comparison matrix significantly reduces the complexity of the decision concept, because only two decision elements are considered at a time. Its main steps include: 1. Constructing the pairwise comparison matrix; 2. Pairwise comparison of options; 3. Determining the weight of options; 4. Calculating the incompatibility rate. The Analytic Hierarchy Process (AHP) is a multi-criteria decision-making method for weighting criteria and selecting the optimal option based on pairwise comparisons. In this method, expert opinions are used to determine the weight of criteria and prioritize options. The AHP approach uses spatial data more efficiently and reliably in groundwater management systems. In this study, first, using the paired comparison table provided by Saati, the variables used were compared and evaluated in pairs according to the opinions of eleven experts and specialists in the field of groundwater recharge.

Discussion and results

After standardizing the nine layers of landform, lithology, elevation, slope, soil, land use, drainage density, lineaments, and rainfall, the selected indicators were prepared for each layer and the score of each layer was determined based on the analytic hierarchy process. Each layer had sub-sections whose scores were also determined. In the next step, each layer was multiplied by the weight of that layer and combined with other layers. Finally, the resulting map was created as a basin zoning map in terms of groundwater recharge potential.

To validate the results, the layer of groundwater well points in the region, which was prepared from the provincial regional water organization, was used. At this stage, by superimposing the layer of groundwater well points and the zoning map, it was determined that the prepared map has high accuracy. Of the 25 wells in the area, 2 are in the medium-capacity range, 12 are in the high-capacity range, and 11 are in the very high-capacity range, indicating the appropriate accuracy of the map.

Conclusion

The use of geographic information system (GIS) along with multi-criteria decision-making methods such as analytic hierarchy process (AHP) is considered a powerful and efficient tool for identifying potential groundwater storage areas. In this study, in addition to preparing a map of groundwater storage potential in the Qomrud basin, the efficiency of analytic hierarchy process and geographic information system was also examined. First, 9 indicators, landform, lithology, elevation, slope, soil, land use, drainage density, lineaments, and rainfall were extracted in the studied basin, and then, using the table provided by Saati and expert opinions, a pairwise comparison was performed, and the weight of each indicator was determined using the analytic hierarchy process. The results obtained show that the landform and geology indicators have the highest weight, and the lineament and rainfall indicators have the lowest weight. The various thematic layers used in this study were satellite data, topographic, geological, soil, land use and meteorological maps in the software environment (GIS). The weights obtained from the hierarchical analysis of the layers prepared on were combined and merged, and a groundwater recharge potential map was obtained. Based on the resulting map, 2432.2 square kilometers of the basin are located in the zone with high and very high groundwater recharge potential, and about 303.3 square kilometers are located in the zone with low and very low potential. The result of the validation of the maps prepared using the location of water wells in the region also confirms the accuracy of the zoning. As a result, it can be said that the use of hierarchical analysis (AHP) along with the use of indicators involved in groundwater recharge can be a suitable solution for preparing a map of suitable zones for groundwater recharge. The results of this study can serve as a management tool for water resources planners and policymakers, especially groundwater resources. It is expected

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]

that the implementation of recharge management practices will improve the status of groundwater resources and, as a result, significantly increase the volume of water available for use by the local population.

[Downloaded from geographical-space.iau-ahar.ac.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.83252/geospa.2025.2.4157]