

## مکان‌یابی آبخوان‌های نواحی مرتعی با تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: دشت شهرستان قروه)

یوسف صالحی<sup>۱</sup>، زهرا عزیزی<sup>۲\*</sup>، حسین آقامحمدی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

۲. استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات ایران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۲/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۰۳/۰۳)

### چکیده

در سال‌های اخیر با توجه به کمبود آب سطحی و افزایش جمعیت و توسعه کشاورزی، توجه به آب‌های زیرزمینی و مدیریت و استخراج آن افزایش یافته است. آب‌های زیرزمینی یکی از منابع بارز آب شیرین محسوب می‌شوند، به‌گونه‌ای که این منبع به یکی از منابع حیاتی بارز تبدیل شده است. استخراج آب زیرزمینی در سال‌های اخیر به پایین‌رفتن سطح این آب منجر شده است، به طوری که از سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۶۶ تا پایان سال ۱۳۹۳ به مقدار ۱۹/۹ متر در دشت قروه رسیده است و این دشت را به یکی از دشت‌های ممنوعه از ۶۲۵ دشت ممنوعه کشور تبدیل کرده است. در این پژوهش با کمک داده‌های دورسنجی و GIS مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی شناسایی شد. لایه‌هایی که برای مکان‌یابی آبخوان در این پژوهش ایجاد شدند، زمین‌شناسی، توپوگرافی و شیب، خطواره و تراکم خطواره، زهکشی و شبکه زهکشی، کاربری اراضی و نقشه پوشش گیاهی هستند. در نهایت نقشه نهایی با کمک لایه‌های مربوط به آن با روش فازی در محیط GIS به دست آمد. نقشه به دست آمده به پنج گروه دارای پتانسیل خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شد. نتایج نشان داد مناطق دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب با مساحت ۱۳۶۴۶۱ هکتار که حدود نصف مساحت دشت یادشده است، بیشتر در قسمت‌های شمالی و شرقی و منطبق بر زمین‌های آبرفتی و دارای پوشش گیاهی و شیب پایین و مناطق دارای پتانسیل‌های کمتر، بیشتر در قسمت‌های جنوبی و بر مناطق پرشیب و دارای پوشش سنگی مستحکم منطبق‌اند.

**کلیدواژگان:** آبخوان، آب زیرزمینی، دشت، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مرتع، مکان‌یابی.

## مقدمه

آب‌ها بیشترین تأثیر را بر زندگی انسان دارند، زیرا از ابتدای پیدایش تمدن بشر موجب پیشرفت و رفاه مردم شده است. تمدن‌های باستانی، اغلب در کنار رودخانه‌های بزرگ تشکیل شده است. بنابراین، آب منبع حیات‌بخش است. همچنین در ایران باستان، آب به‌عنوان یکی از عناصر چهارگانه حیات مورد احترام مردم بوده است. در دسترس بودن آن عامل مهمی در توسعه و پیشرفت اقتصادی-اجتماعی و تنوع اکولوژیکی محسوب می‌شود. انسان برای بسیاری از مقاصد خود مانند آبیاری مزارع، تأمین آب مصرفی، تأمین انرژی و غیره به آب نیاز دارد. اگرچه مسئله آب در گذشته در مقیاس محلی و کوچک وجود داشت، این موضوع می‌تواند سبب به‌خطر افتادن صلح، تأمین غذا و سرانجام توسعه پایداری در مقیاس ملی، منطقه‌ای و جهانی در حال و آینده شود [۱]. ایران سرزمینی خشک و نیمه‌خشک با نزولات جوی بسیار کم است، به‌طوری که اگر میانگین بارندگی سالانه در سطح خشکی‌های کره زمین را، که حدود ۸۶۰ میلی‌متر تخمین زده می‌شود، با متوسط بارندگی سالانه در ایران، که تقریباً کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر است، مقایسه شود، ملاحظه خواهد شد که بارندگی در ایران کمتر از ۱/۳ متوسط بارندگی در سطح دنیا است [۲]. هنگامی که باران می‌بارد مقدار بسیاری از آن به داخل زمین فرو می‌رود که پس از جمع شدن در یک محل، منبع اصلی آب‌های زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. آب‌های زیرزمینی پس از یخچال‌ها و پهنه‌های یخی، دومین منبع تأمین آب شیرین محسوب می‌شوند [۳]. به‌علت خاصیت‌های گوناگون آن (دمای ثابت، گسترده‌گی و دسترسی مداوم، کیفیت طبیعی بسیار خوب، هزینه توسعه کم، آسیب‌پذیری محدود، مقاومت در برابر خشک‌سالی و غیره) آب زیرزمینی برای تقویت منبع آب بشر در هر دو نواحی شهری و روستایی کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای در حال توسعه، بی‌اندازه مهم شده است [۴]. با توجه به خشک و نیمه‌خشک بودن سرزمین ایران، مردم به‌دنبال راهی برای بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی بودند که قنات را می‌توان شاهکار مهندسی آن دوره به حساب آورد. آنها با حفر قنات و انتقال آب به سطح زمین، مناطق خشک را به شهرها و روستاهای آباد تبدیل

کردند. قنات<sup>۱</sup> یک کانال برای بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی است که با حفر کردن یک مجموعه چاه و اتصال آنها در زیر زمین ساخته می‌شود [۵].

از چاه برای استخراج آب زیرزمینی از مکان‌های تصادفی و کنترل‌نشده برای تأمین آب کشاورزی و صنعتی استفاده می‌شود. تقاضای زیاد برای حفر چاه، سبب خراب شدن وضعیت سفره آبدار از نظر کمی و کیفی می‌شود [۶].

آبخوان‌ها<sup>۲</sup> به دلیل تأثیری که در نواحی مرتعی دارند، دارای تأثیر چشم‌گیری در نواحی مرتعی هستند. آبخوان‌ها از یک سو سبب تراکم پوشش گیاهی و از سوی دیگر موجب کنترل شوری خاک می‌شوند. طی سالیان متمادی با افزایش جمعیت و نیاز بیشتر به آب، به تدریج به تعداد چاه‌های بهره‌برداری‌کننده از آبخوان‌های کشور افزوده شده است، به‌طوری که این امر روند کاهش ذخایر آب زیرزمینی را تسریع کرده است [۷]. بررسی نتایج تحقیقات محمدیان و همکارانش نیز نشان می‌دهد تولید کل علوفه عرصه آبخوان در مقایسه با عرصه‌های شاهد بیان‌کننده افزایش چشم‌گیر تولید کل در عرصه‌های مرتعی ناشی از اجرای آبخوان است [۱۹]. در سال‌های اخیر، پیشرفت تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)<sup>۳</sup> به‌طور گسترده‌ای برای مدیریت منابع طبیعی گوناگون به‌خصوص در بخش آب درباره مسئله شناسایی منابع آب زیرزمینی به‌سرعت در حال افزایش است. دورسنجی با مزایای مکانی، طیفی و پوشش وسیع داده‌های در دسترس مکانی و محل‌های غیرقابل دسترس در یک زمان کوتاه ابزاری بسیار مفید جمع‌آوری، ذخیره، تبدیل، بازیابی، نمایش و تحلیل داده‌های مکانی برای اهداف گوناگونی مانند محل‌های تغذیه ممکن، ارزیابی منابع آب زیرزمینی و سطحی و شناسایی محل‌های آلوده استفاده می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای اطلاعات سریع و مفید اساسی درباره پارامترهایی از قبیل خطواره‌ها، زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، زهکشی و کاربری زمین/پوشش زمین فراهم می‌کنند [۸].

## پیشینه تحقیق

در سال ۲۰۱۵ Pinto و همکارانش [۹] در مقاله‌ای با عنوان «تعیین مناطق پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از

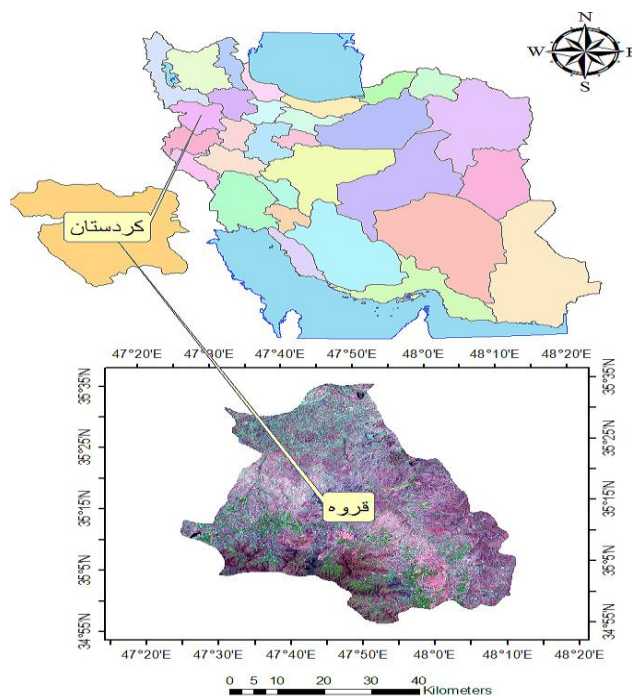
1. Qanat  
2. Aquifers  
3. Geographical Information System

پتانسیل، پتانسیل کم، پتانسیل متوسط، پتانسیل خوب و بالا تقسیم کردند. محمدنژاد آروق و همکارانش [۱۱] نیز با کمک لایه‌های تراکم شبکه زهکشی، تراکم خطواره‌ها، توپوگرافی، سنگ‌شناسی، بارش، کاربری اراضی و شیب، نواحی مستعد آب زیرزمینی در شهرستان ارومیه را مکان‌یابی کردند و نقشه به‌دست‌آمده را به چهار طبقه دارای پتانسیل خیلی خوب، خوب، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم کردند. با توجه به اهمیت و جایگاه آبخوان‌داری در احیا و اصلاح مراتع و با مرور منابع پیشین در تحقیق حاضر، مکان‌یابی آبخوان‌ها در نواحی مرتعی با روشی کم‌هزینه و به‌هنگام بررسی خواهد شد.

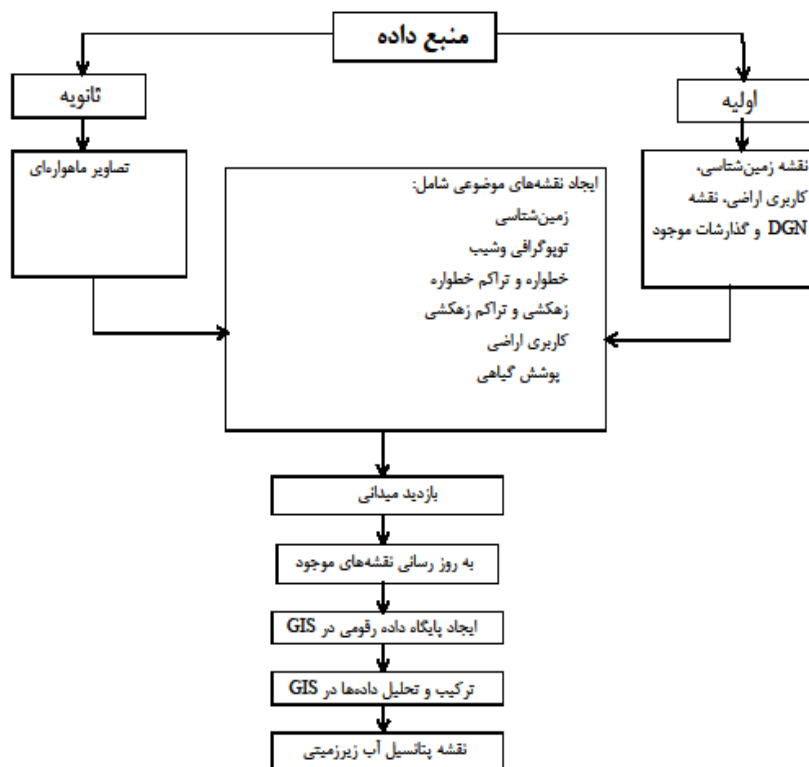
#### مشخصات عمومی منطقه

محدوده مطالعه‌شده در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۱ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه شمالی و به مساحت ۲۸۷۴۰۰ هکتار در جنوب شرقی استان کردستان واقع شده است. محدوده مد نظر از شمال به بیجار، از جنوب به کرمانشاه، از شرق به همدان و از غرب به سنندج ختم می‌شود [۱۲] (شکل ۱). شکل ۲ نمودار مراحل انجام تحقیق را نشان می‌دهد.

دور و GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز کومورو، تیمور لست) با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و تصاویر ماهواره‌ای، لایه‌های خطواره، تراکم خطواره، کاربری اراضی، شیب، طبقات ارتفاعی، سنگ‌شناسی، زهکشی، تراکم زهکشی، بارش، نقشه دارای پتانسیل آب زیرزمینی را تهیه کردند و نقشه به‌دست‌آمده را به پنج طبقه خیلی بالا، بالا، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم کردند. همچنین در سال ۲۰۱۵ نیز Thilagavathi و همکارانش [۸] در مقاله‌ای با عنوان «نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در تپه‌های گچی با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و GIS (مطالعه موردی: تپه‌های گچی سالم تامیل نادو، هند) نقشه مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، کاربری زمین، پوشش زمین، خطواره، تراکم خطواره، زهکشی، تراکم زهکشی، شیب و خاک را تهیه کردند و در انتها نقشه به‌دست‌آمده به چهار بخش خیلی خوب، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم کردند. در ایران نیز یمانی و علیزاده [۱۰] با کمک لایه‌های ارتفاعی، شیب، جهت شیب، سنگ‌شناسی، تراکم گسل، فاصله از گسل، تراکم آبراهه و فاصله از آبراهه اقدام به ایجاد نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در حوضه آبراهه اقلید فارس کردند و نقشه به‌دست‌آمده را به پنج دسته بدون



شکل ۱. محدوده مطالعه‌شده



شکل ۲. مراحل انجام تحقیق

### تهیه نقشه‌ها

#### لایه سنگ‌شناسی

نوع سنگ‌شناسی و خصوصیات وابسته به آن، نظیر بافت و درجه خلوص سنگ‌ها، کارکرد مهمی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان آب زیرزمینی ایفا می‌کند [۱۳]. در واقع می‌توان گفت که وجود منابع آب زیرزمینی در یک ناحیه به نفوذپذیری زمین‌های آن ناحیه بستگی دارد. زمین‌های شنی و آبرفتی بسیار نفوذپذیر هستند و آب به راحتی از آنها عبور می‌کند، ولی زمین‌هایی نفوذناپذیر هستند که از سنگ‌های متراکم آذرین، رسوبی و دگرگونی تشکیل شده باشند. با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین‌مرجع کردن در محیط GIS واحدهای سنگ‌شناسی ایجاد شد.

#### لایه توپوگرافی و شیب

می‌توان پستی و بلندی‌های زمین را توپوگرافی نام نهاد. طبقات ارتفاع، شیب و غیره از دیگر فاکتورهای مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی هستند که کارکرد مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری دارند. سیستم جریان آب زیرزمینی در بیشتر موارد متأثر از شیب سطح زمین است [۱۴]. شیب را می‌توان عاملی مهم در جریان رواناب یا

نفوذ آن برشمرد. در مناطق کم‌شیب، سرعت رواناب ناچیز است و این سبب نفوذ بیشتر آب به داخل زمین می‌شود و به‌عکس در مناطق پرشیب سرعت نفوذ آب کاهش می‌یابد [۱۱]. با استفاده از فایل‌های DGN سازمان نقشه‌برداری لایه‌های یادشده ایجاد شد.

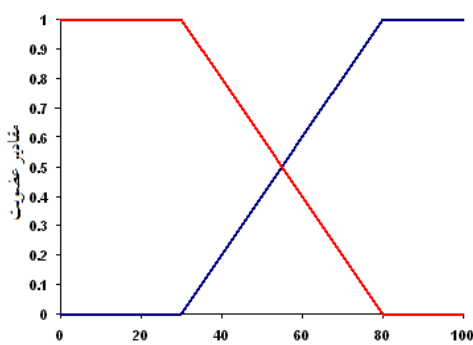
#### لایه خطواره و تراکم خطواره

حرکت و وجود آب زیرزمینی به‌طور عمده وابسته به تخلخل ثانویه و نفوذپذیری منتج از چین‌خوردگی، گسل و شکستگی است. خطواره‌ها مشهودترین عوارض ساختاری هستند که از نظر آب زیرزمینی مهم‌اند. خطواره‌ها عوارضی با الگوی خطی یا منحنی هستند و کارکرد مهمی را به‌ویژه در تحلیل‌های زمین‌ریختی و ساختاری ایفا می‌کنند. توسعه خطواره‌ها که شامل درزه و شکاف و شکستگی است معمولاً به علت تنش و کرنش‌های تکتونیکی به‌وجود آمده است و سبب ایجاد سرخ مهمی روی عوارض سطح زمین می‌شود. خطواره‌ها مسئول نفوذ آب از رواناب سطحی به زیر سطح زمین و همچنین حرکت و ذخیره آب زیرزمینی هستند [۱۵]. از آنجا که حضور خطواره‌ها معمولاً یک منطقه نفوذپذیر را مشخص می‌کند، تراکم خطواره یک ناحیه به‌طور غیرمستقیم می‌تواند

تلفیق لایه‌ها با استفاده از همپوشانی فازی تئوری منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پروفیسور لطفعلی‌زاده مطرح شد. این منطق در مقابل منطق کلاسیک مطرح شده است که مرزبندی صریح و شفافی دارد [۱۸]. در منطق کلاسیک یک زیرمجموعه می‌تواند عضوی از مجموعه باشد یا نباشد. به‌بیانی می‌تواند مقدار آن یک باشد، یعنی تعلق به مجموعه داشته باشد یا صفر باشد که در این صورت به مجموعه تعلق نخواهد داشت؛ اما در منطق فازی که تعمیمی از منطق کلاسیک است، این‌طور نیست. به‌بیانی منطق فازی این مفهوم را بسط می‌دهد به‌گونه‌ای که یک عضو می‌تواند تا درجاتی و نه کامل، عضو یک مجموعه باشد و بین صفر و یک قرار داشته باشد. بعد از اینکه لایه‌های مد نظر بر اساس وزن طبقه‌بندی شدند، باید نوع تابع عضویت را برای آنها تعریف کرد. در این تحقیق از تابع خطی<sup>۱</sup> استفاده شد که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

#### تابع خطی

تابع خطی مقادیری را اعمال می‌کند که کاربر بین کمترین و بیشترین مقادیر تعیین کرده است. هر مقداری که زیر حداقل باشد، مقدار درجه عضویت صفر خواهد داشت که به‌طور مشخص عضوی از مجموعه نیست و هر مقداری که بیش از حداکثر باشد، مقدار عضویت یک خواهد داشت که در این صورت به‌طور مشخص یک عضو محسوب می‌شود. شکل زیر این تابع را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نمودار تابع خطی

خط آبی در شکل ۳ یک خط شیب‌دار مثبت با مقدار ۳۰ و حداکثر ۸۰ را نشان می‌دهد. هر مقداری زیر ۳۰ دارای مقدار صفر و هر مقدار بیش از ۸۰ دارای عضویت یک است.

پتانسیل آب زیرزمینی را آشکار کند. نواحی با تراکم زیاد خطواره برای مناطق پتانسیل آب زیرزمینی خوب هستند [۱۶]. با کمک نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای، لایه خطواره و تراکم خطواره ایجاد شد.

#### شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی

وضعیت هیدرولوژیکی زیرسطحی هر ناحیه توسط خصوصیات زهکشی حوضه‌ای کنترل می‌شود که به کشف وضعیت آب زیرزمینی منجر می‌شود. تراکم زهکشی به‌عنوان نزدیکی فاصله کانال‌های آبراهه تعریف می‌شود. در واقع تراکم زهکشی اندازه کل طول همه رده‌های رودخانه بر واحد مساحت است. تراکم زهکشی یک تابع معکوس از نفوذپذیری است. سنگی با نفوذپذیری کم موجب نفوذ کم بارش که به‌طور معکوس منجر به تمرکز رواناب سطحی می‌شود [۱۶]. با استفاده از مدل رقومی ارتفاع استخراج‌شده از فایل‌های DGN، لایه و تراکم شبکه زهکشی تهیه شد.

#### کاربری اراضی

کاربری زمین عبارت است از مطالعه روش‌های به‌کارگیری اراضی و یا بررسی انواع راه‌های استفاده از زمین است [۱۷]. کاربری زمین / پوشش زمین کارکرد مهمی در وقوع و توسعه آب زیرزمینی دارد [۹]. کاربری‌های مختلف می‌تواند در میزان نفوذ آب به داخل زمین، دخیل باشد. برای مثال در کاربری‌های شهری و مسکونی تقریباً هیچ نوع نفوذی وجود ندارد، در حالی که مراتع بسیار خوب می‌توانند موجب نفوذ مقادیر زیاد آب در زمین شوند [۱۱]. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش در نرم‌افزار ENVI اقدام به ایجاد لایه کاربری اراضی شد.

#### پوشش گیاهی

پوشش گیاهی در هر منطقه سبب می‌شود تا سرعت جریان رواناب سطحی کاهش یابد و آب بیشتری به داخل زمین نفوذ کند و در نتیجه سبب افزایش سطح آب زیرزمینی شود. پوشش گیاهی در اصل رطوبت خاک را نشان می‌دهد [۱۷]. همچنین پوشش گیاهی سبب کاهش فرسایش خاک می‌شود. بنابراین، پوشش گیاهی را می‌توان پارامتری مثبت برای مکان‌یابی آبخوان به حساب آورد. با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط به سال ۲۰۱۶ و استفاده از باندهای قرمز و مادون قرمز و پردازش در محیط ENVI لایه پوشش گیاهی ایجاد شد.

1. Linear

گامای فازی یک حالت میانی از تأثیر افزایشی جمع فازی و تأثیر کاهش ضرب فازی است. هنگامی که قصد دارید مقادیر خروجی بزرگتر از ضرب فازی اما کوچکتر از جمع فازی باشد، از این عملگر استفاده می‌شود. اگر اثرگذاری برخی از شواهد افزایشی و اثرگذاری برخی دیگر کاهش باشد، از این عملگر به‌عنوان روش همپوشانی استفاده می‌شود. با توجه به اینکه برخی معیارها در تحقیق حاضر اثر افزایشی بر مکان‌یابی آبخوان و برخی دیگر اثری کاهش دارند، از عملگر گامای فازی در روش همپوشانی فازی برای مکان‌یابی آبخوان استفاده شد. فرمول گامای فازی عبارت است از:

$$\left(1 - \prod_{i=1}^n [1 - \mu(x)_i]\right)^\gamma * \left(\prod_{i=1}^n \mu(x)_i\right)^{(1-\gamma)} \quad (3)$$

### نتایج

#### نقشه‌های به‌دست‌آمده برای مکان‌یابی آبخوان

نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و واحدهای سنگ‌شناسی تهیه شد. همچنین نقشه شیب و ارتفاع منطقه مطالعه‌شده با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ از لایه ۳D خطوط میزان منطقه تهیه شد. نقشه خطواره و تراکم خطواره منطقه را که با کمک نقشه زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای حاصل شد. تراکم زهکشی می‌تواند به‌طور غیرمستقیم پتانسیل آب زیرزمینی یک ناحیه را به‌علت ارتباط با رواناب سطحی و نفوذپذیری زمین مشخص کند. نقشه لایه شبکه زهکشی و تراکم شبکه زهکشی به‌دست‌آمده در این تحقیق در ادامه قابل مشاهده است. لایه کاربری اراضی منطقه مطالعه‌شده حاصل پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطقه و نقشه‌های موجود در شکل ۴ آمده است و در انتها نقشه پوشش گیاهی منطقه که به‌عنوان یک پارامتر مثبت برای مکان‌یابی آبخوان به حساب می‌آید با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و پردازش‌های لازم تهیه شده است. شکل‌های ۴-۶ این نقشه‌ها را نشان می‌دهند.

#### تلفیق لایه‌ها

پس از اعمال مختلف ضریب گامای فازی ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ و نقشه‌های در دست طبق نظر کارشناس مشخص شد که لایه به‌دست‌آمده از اعمال ضریب گامای ۰/۸ بیشترین انطباق را با وضعیت مناسب پهنه‌بندی آبخوان داراست. پس از همپوشانی فازی در نهایت نقشه به‌دست‌آمده به پنج طبقه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شد.

خط قرمز نیز یک خط شیب‌دار منفی را نشان می‌دهد. هر مقداری که کمتر از ۳۰ باشد، مقدار درجه عضویت یک و هر مقداری که بیشتر از ۸۰ است، مقدار درجه عضویت صفر دارد. با توجه به اینکه مقدار درجه عضویت برای معیارهای استفاده‌شده در این تحقیق به‌صورت خطی افزایش یا کاهش می‌یابد، در این تحقیق از معیار یادشده برای تعریف مقدار درجه عضویت فازی برای معیارهای موجود استفاده شد. پس از اینکه نوع تابع عضویت برای معیارها تعریف شدند، در نهایت باید نوع عملگر را برای عملیات همپوشانی مشخص کرد که عملگر نوع گاما<sup>۱</sup> مناسب‌ترین عملگر است. با توجه به اینکه این عملگر ترکیبی از عملگر جمع<sup>۲</sup> و ضرب فازی<sup>۳</sup> است، در ادامه به تشریح این دو نوع عملگر و در نهایت عملگر فازی پرداخته خواهد شد.

#### عملگر جمع فازی

همپوشانی فازی سام مقادیر درجه عضویت فازی موقعیت سلول را که متعلق به آن است جمع خواهد کرد که در نتیجه به سمت یک میل می‌کند. با توجه به اینکه این عملگر مقادیر را با هم جمع می‌کند، در هر کلاس تعداد بیشتری پیکسل قرار می‌گیرد. همپوشانی جمع یک جمع جبری نیست و نباید با شیوه جمعی که در همپوشانی وزنی و جمع وزنی استفاده می‌شود، اشتباه شود. این عملگر اغلب استفاده نمی‌شود. رابطه این عملگر به صورت زیر است:

$$1 - \prod_{i=1}^n [1 - \mu(x)_i] \quad (1)$$

#### عملگر ضرب فازی

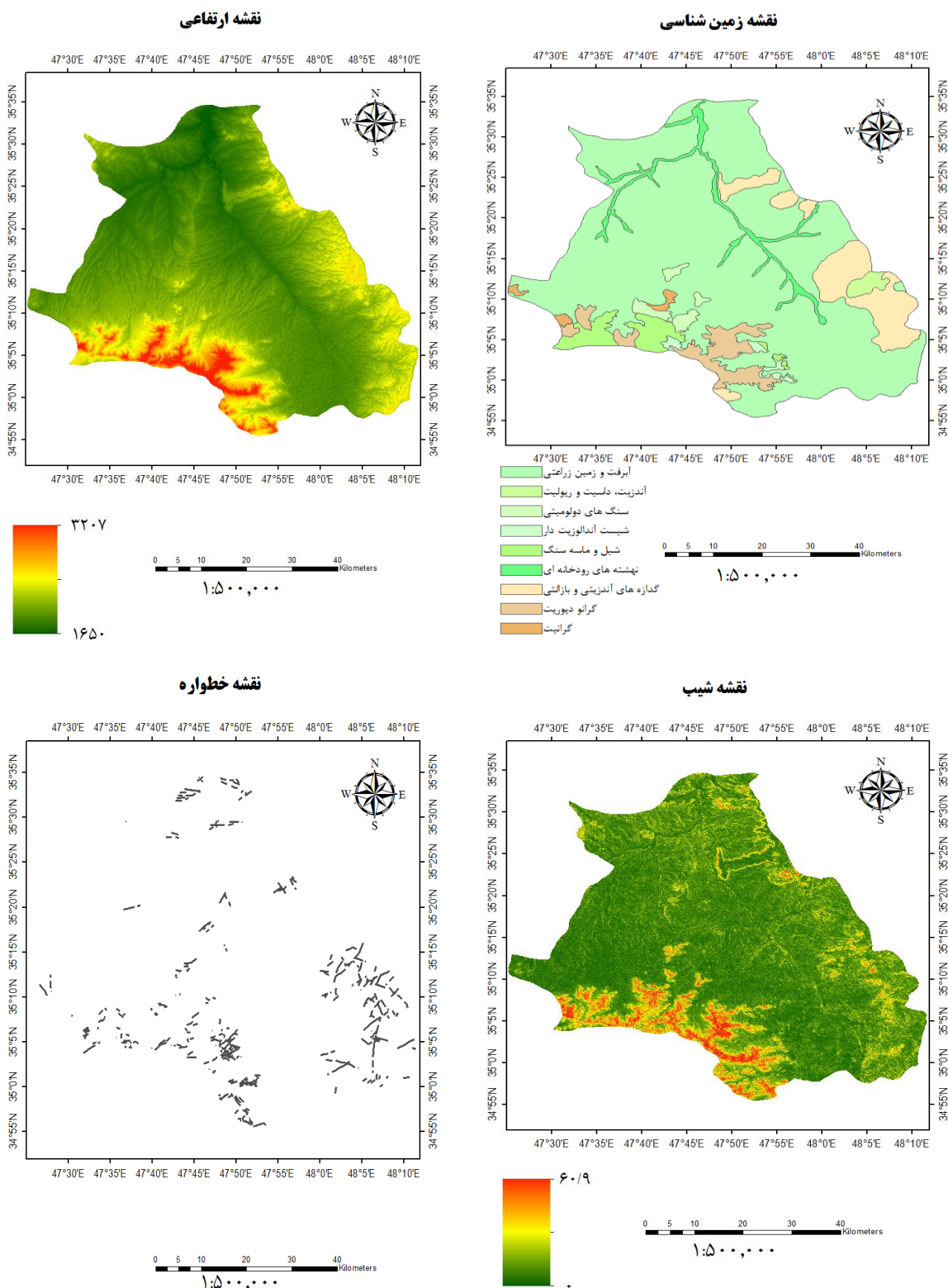
این عملگر برای هر سلول هر یک از مقادیر فازی را برای تمام معیار ورودی ضرب می‌کند. خروجی این روش کمتر از مقادیر اولیه خواهد بود و به سمت صفر میل می‌کند. از آنجا که این عملگر مقادیر را در هم ضرب می‌کند، در هر کلاس تعداد کمتری پیکسل قرار می‌گیرند. این عملگر نیز اغلب استفاده نمی‌شود. فرمول آن به شکل زیر است:

$$\prod_{i=1}^n \mu(x)_i \quad (2)$$

#### عملگر گامای فازی

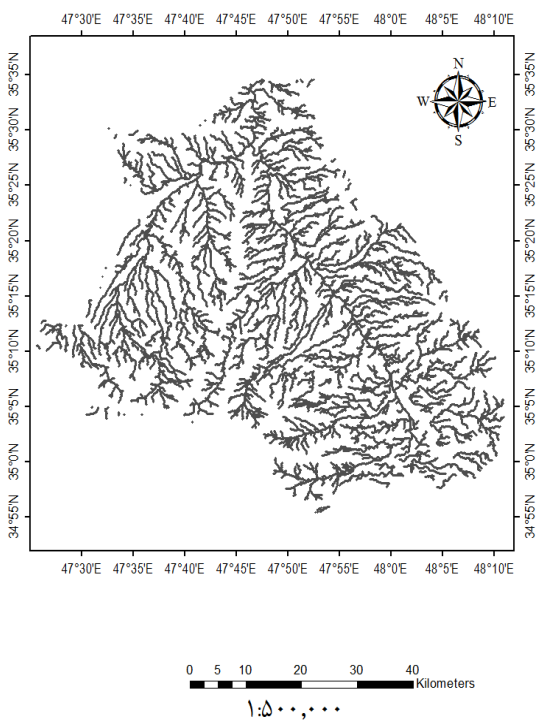
این عملگر حاصل ضرب جمع فازی در ضرب فازی است.

1. Gamma
2. Sum
3. Product

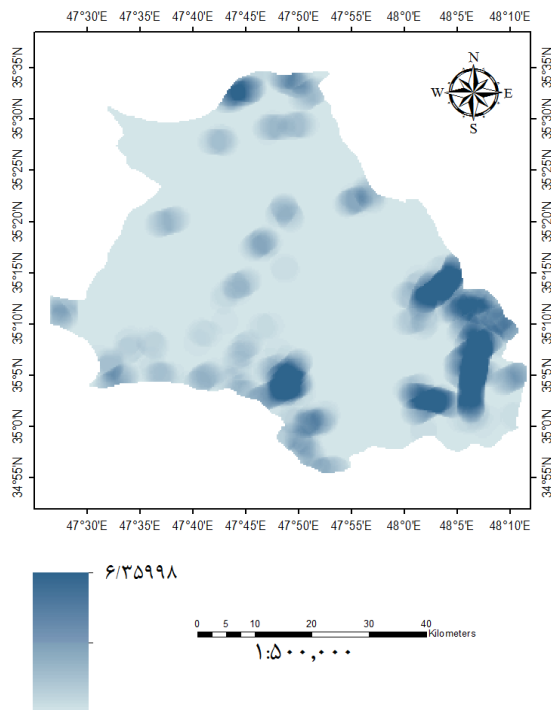


شکل ۴. نقشه‌های تهیه‌شده برای مدل

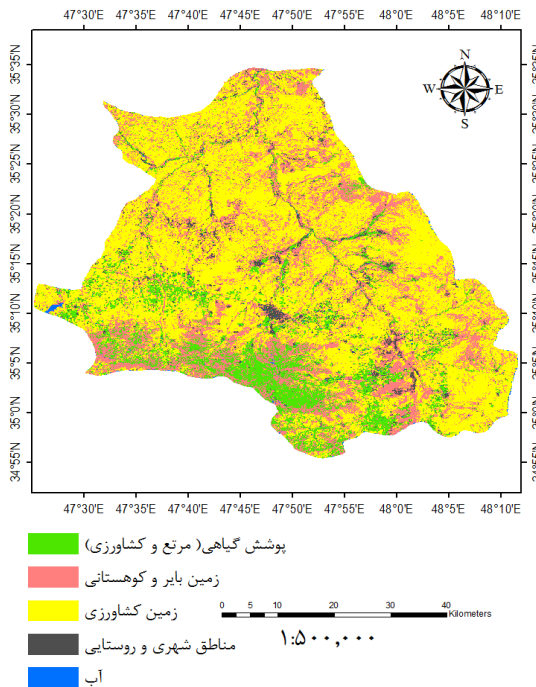
نقشه شبکه زهکشی



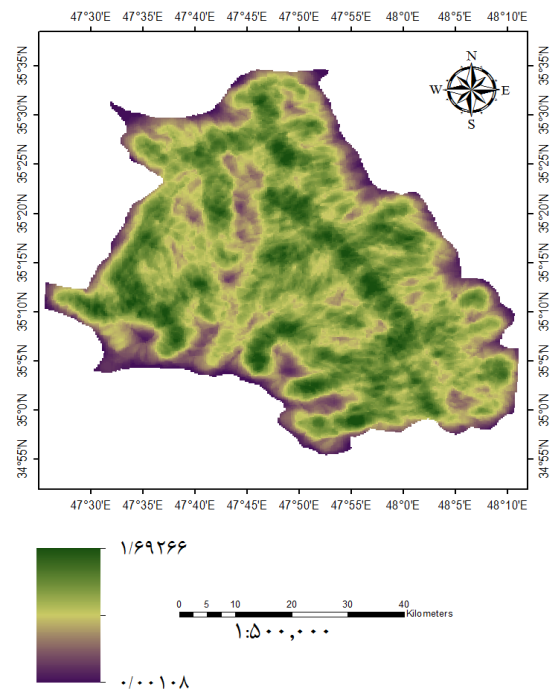
نقشه تراکم خطواره



نقشه کاربری اراضی

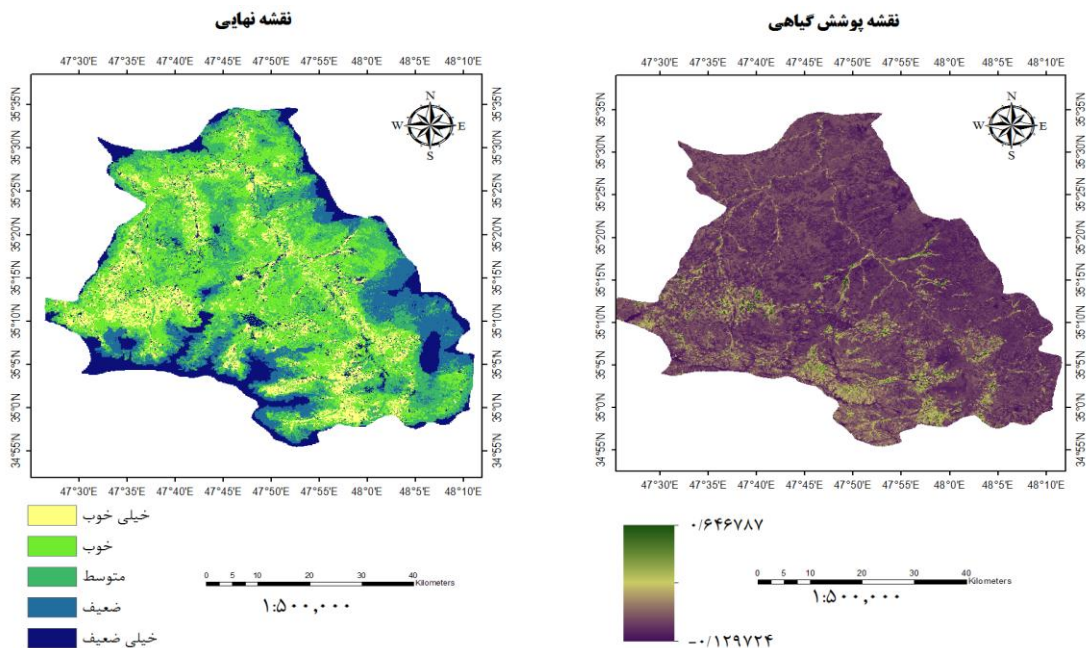


نقشه تراکم زهکشی



شکل ۵. نقشه‌های تهیه شده برای مدل





شکل ۶. نقشه‌های تهیه‌شده برای مدل

جدول ۱. مساحت و درصد مناطق با پتانسیل‌های مختلف

پتانسیل	مساحت (هکتار)	درصد
خیلی خوب	۳۷۵۱۳/۸	۱۳/۲
خوب	۹۸۹۴۷/۲	۳۴/۸
متوسط	۷۷۱۹۴/۷	۲۷/۱
ضعیف	۳۴۱۹۵/۵	۱۲/۱
خیلی ضعیف	۳۶۵۴۱/۵	۱۲/۸

مصرف آب‌های زیرزمینی در حال افزایش است و در نتیجه ضخامت لایه آبدار آبخوان به سرعت در حال کم شدن است. هرچقدر میزان شناخت ما از منطقه بیشتر باشد، احتمال موفقیت بیشتر خواهد بود. داده‌ها کارکرد مهمی را در این زمینه ایفا می‌کنند. هرچه میزان داده‌ها بیشتر باشد شناخت ما از منطقه بیشتر می‌شود و در نتیجه می‌توان با ریسک کمتری موفق شد. در سال‌های اخیر داده‌های دورسنجی سبب پیشرفت زیادی در همه علوم از جمله علوم مربوط به آب شده است. به طوری که می‌توان گفت ترکیب داده‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی به ابزاری کارآمد برای اکتشاف آبخوان تبدیل شده است [۲۱]. با این تکنولوژی با صرف هزینه و زمان کم می‌توان به نتیجه رسید. در این تحقیق از داده‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی، شیب، تراکم خطواره، تراکم شبکه زهکشی، پوشش گیاهی و کاربری زمین

همان طور که ملاحظه می‌شود، بیشترین مساحت منطقه مربوط به طبقه خیلی خوب و خوب است به طوری که می‌توان گفت حدود نصف مساحت منطقه به این دو طبقه اختصاص یافته است. جدول ۱ مقدار مساحت هر طبقه به هکتار را نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده نیمی از مساحت منطقه مطالعه شده پتانسیل لازم برای ایجاد آبخوان را دارد.

### نتیجه‌گیری

یکی از راه‌های کنترل سیلاب، پخش سیلاب در عرصه‌های طبیعی است. پخش سیلاب در آبخوان‌ها از جمله تمهیداتی است که برای کنترل سیلاب‌ها و استفاده صحیح و اصولی از منابع آب و خاک از دیرباز مورد توجه انسان بوده است [۲۰]. به دلیل افزایش جمعیت و نبود مدیریت صحیح کشاورزی،

- [7]. Iran Water Resources Management Company. Assessment situation of groundwater resources in the country By the end year of 2014-2015. 2016. [Persian].
- [8]. Thilagavathi N, Subramani T, Suresh M, Karunanidhi D. Mapping of groundwater potential zones in Salem Chalk Hills, Tamil Nadu, India, using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2015; 187(4):1-17.
- [9]. Pinto D, Shrestha S, Babel MS, Ninsawat S. Delineation of groundwater potential zones in the Comoro watershed, Timor Leste using GIS, remote sensing and analytic hierarchy process (AHP) technique. *Applied Water Science*. 2015; 6(22):1-17.
- [10]. Yamani M, Alizadeh SH. Potential mapping of groundwater resources using Analytical Hierarchy Process (AHP) Case study Basin Abadeh- Oghli Fars. *Hydrogeomorphology*. 2015; (1):131-144. [Persian].
- [11]. Mohammadnezhadarogh V, Sayyad A, Golmohammadzadeh B. Mapping of areas prone to water Ground using GIS and MIF (case study: Urmia city). *Research quantitative geomorphology*. 2013; 2(3):45-58. [Persian].
- [12]. Report Map 1: 50,000 Geological Organization of Iran. [Persian].
- [13]. Abshirini E, Rangzan K, Khorshidi S. Potential mapping of groundwater resources using Weighted index overlay method in GIS environment (Case Study: within the anticline Pabdeh). *Conferences of Geomatics*. Tehran. Iran. 2008. [Persian].
- [14]. Rahimi D. Potential mapping of groundwater resources (case study: plain of Shahrekurd) *Geography and environmental planning*. 2012; 22(4):127-142. [Persian].
- [15]. Nag sk. Application of Remote Sensing and GIS in Groundwater Exploration. In: Ahmad SH, Jayakumar R, Salih AB, editor. *Groundwater Dynamics in Hard Rock Aquifers*. Earth Sciences & Geography, 1th ed. India: Springer; 2008. p. 87-92.
- [16]. Magesh NS, Chandrasekar N, Soundranayagam JP. Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience Frontiers*. 2012; 3(2):189-196.
- [17]. Rezvani A. Use of aerial and satellite photographs in geography. 3rd ed. Tehran: Payame noor university; 2012. [Persian].
- استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص شد که مناطق دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب بیشتر منطبق بر مناطق کم شیب، دارای پوشش گیاهی، و زمین آبرفتی است. به طوری که نزدیک به ۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب است و مناطق دارای پتانسیل ضعیف بیشتر منطبق بر مناطق مرتفع و دارای سنگ های مستحکم و یکپارچه است. در ضمن مشخص شد که بیشتر مناطق مستعد که حدود ۱۳۶۴۶۱ هکتار است در قسمت های شمالی و شرقی قرار دارند و همچنین بیشتر مناطق دارای پتانسیل ضعیف در قسمت های جنوبی دشت است. با توجه به اینکه انجام مکان یابی آبخوان در این تحقیق با روش فازی صورت گرفته است، پیشنهاد می شود که در تحقیقات بعدی از داده های بیشتر و مدل های تصمیم گیری از قبیل AHP و غیره با این روش و همچنین ترکیب این روش با روش های دیگر مانند همپوشانی وزنی استفاده شود. با توجه به اینکه در زمینه مکان یابی آبخوان با روش GIS در این دشت کار چندانی صورت نگرفته است، نتایج این تحقیق می تواند بستری مناسب برای مطالعات مربوط به امور آب در آینده باشد.

#### منابع

- [1]. Zehtabian G, Khosravi H, Ghodsi M. High Demand in a Land of Water Scarcity: Iran. In: Graciela SM, Courel MF, editor. *Water and Sustainability in Arid Regions*. 1th ed. Netherlands: Springer; 2001. p. 75-86.
- [2]. Alizadeh A. Principles of applied Hydrology. 35nd ed. Mashhad: Imam Reza University; 2012. [Persian].
- [3]. Sedaghat M. Land and water resources (groundwater). 6nd ed. Tehran: Payame noor university; 2008. [Persian].
- [4]. Jha M, Kamii Y, Chikamori K. Cost-effective Approaches for Sustainable Groundwater Management in Alluvial Aquifer Systems. *Water Resources Management*. 2010; 23(2):219-233.
- [5]. Mehdipoor A, Mehdipoor S, Haj Seyed Ali Khani N. The history of the aqueduct and its impact on civilization Iranians. *International Conference on the aqueduct*. Kerman. Iran. 2005. [Persian].
- [6]. Joven PA, Yamaguchi S, Takada J. Characterization of Groundwater Potential of Agusan del Norte, Philippines, Spring Conference, Tokyo Institute of Technology. Japan. 2010.

- [18]. Ghodrati M. Applied Learning of ARC GIS 10.2. 1st ed. Tehran: Simaye Danesh; 2014. [Persian].
- [19]. French, N. H, Ijaz Hussain. Water Spreading Manual Range management Record, West Pakistan Range Improvement scheme, Lahur., Pakistan, 1964: No. 1, 44P.
- [20]. Viskarami I, Payamani K, Shahkarami A. A., Sepahvand A. The Effects of Water spreading on Groundwater Resources in Kohdasht Plain. J. Sci. & Technol. Agric. & Natur. Resour., Water and Soil Sci., 2013: Vol. 17(65): 153-161.
- [21]. Senser, E., Davraz, A., and Ozelik, M.. An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey. International Journal of hydrogeology. 2004: 13: 826-834.