

استناد به تراز ایستابی دشت، قابلیت انتقال آبخوان و دبی چاه‌های منطقه اعتبارسنجی گردید و نتایج حاکی از توانایی مدل در پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی دشت دارد.

**کلید واژه‌ها:** پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی، ANP، GIS، RS، شاخص همپوشانی وزنی، دشت دهگلان

ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان بر پایه سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره

محمد رحیمی<sup>۱</sup> و کریم سلیمانی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۰۲

#### مقدمه

امروزه در دنیا منابع آبی زیرزمینی یکی از مهم‌ترین ارکان توسعه پایدار بشمار می‌روند. این منابع با حجمی معادل ۳۷ میلیارد کیلومتر مکعب (۲۲ درصد آب‌های شیرین جهان) حدود ۹۷ درصد آب شیرین مصرفی جهان را تامین می‌کنند [۹]. آب زیرزمینی از طرفی به دلیل شیرین بودن، ترکیبات ثابت شیمیایی، آلودگی کمتر و سطح اطمینان بیشتر یک منبع قابل اتکاء به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب شده و از سوی دیگر با تاثیر بر توان اکولوژیک سرزمین یک پدیده مهم و موثر در توسعه اقتصادی، تنوع اکولوژیکی و سلامت جامعه به حساب می‌آید [۱۴]. آبخوان‌ها به دلیل افت تراز آبی، کاهش کیفیت، تاثیر پذیری از تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش جهانی و تغییر نظام بارش [۳۴] و رخداد خشکسالی‌های ممتدد و متوالی [۶] از چالش‌های مهم توسعه هستند. محدودیت و کمبود آب زیرزمینی در جهان و از جمله ایران که بدلیل شرایط اقلیمی بخش مهمی از آن جز مناطق خشک و نیمه‌خشک است و از ۶۳۰ دشت کشور ۲۲۰ دشت از نظر حفاظتی در فهرست دشت‌های ممنوعه هستند [۲۷] باعث شده مدیریت منابع آب زیرزمینی که مهم‌ترین منبع قابل اتکاء در این مناطق هستند از اهمیت خاصی برخوردار باشد. بنابراین ارزیابی آب زیرزمینی، بررسی پتانسیل آبخوان و بهره‌برداری بهینه متناسب با توان آن جهت مدیریت پایدار این منابع بسیار ضروری می‌باشد.

پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی بر پایه فناوری سنجش از دور و GIS ابزاری موثر می‌باشد، در دهه اخیر استفاده گسترده از تصاویر ماهواره‌ای در کنار نقشه‌های موضوعی و داده‌های زمینی، روند آسان‌تری را برای مطالعه پتانسیل آب‌های زیرزمینی فراهم ساخته‌اند [۳۳، ۱۵، ۳، ۱]. کاربرد تکنیک سنجش از دور و GIS در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی توسط محققان بسیاری در اغلب نقاط جهان انجام گرفته و دریافته‌اند که عوامل موثر در بررسی پتانسیل آب زیرزمینی متنوع بوده و نتایج نیز به تبع آن متفاوت است. پارامترهای در نظر گرفته شده در این مطالعات شامل خصوصیات لیتولوژیکی منطقه، تراکم

#### چکیده

آب‌های زیرزمینی در طی دهه‌های اخیر بدلیل برداشت بیش از تغذیه با کاهش کمی روبرو شده‌اند. مدیریت منابع آب زیرزمینی از طریق اکتشاف و بهره‌برداری متناسب با پتانسیل آبخوان یکی از مهم‌ترین استراتژی‌های منتخب در این زمینه است. در نظر گرفتن پارامترهای موثر جهت تعیین نمودن پهنه‌های با پتانسیل بالای آب زیرزمینی و استفاده از روش‌های نوین تهیه و تلفیق داده و نیز روش‌های نوین تصمیم‌گیری اجتناب‌ناپذیر است. هدف این مطالعه بکارگیری سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری<sup>۳</sup> (DSS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> (GIS) به منظور پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی دشت دهگلان می‌باشد. در این پژوهش موثرترین لایه‌های اطلاعاتی تغذیه آبخوان از جمله لیتولوژی، نفوذپذیری خاک، تراکم زهکشی، تراکم گسل، شیب و طبقات ارتفاعی از داده‌های ورودی تهیه نقشه پتانسیل آبخوان می‌باشند. فرآیند آنالیز تحلیل شبکه<sup>۵</sup> (ANP) به عنوان یک روش MCDM<sup>۶</sup> برای مشخص کردن وزن لایه‌های موضوعی مختلف و کلاس‌های آنها در نرم افزار Super Decision استفاده شد. ادغام لایه‌ها با استفاده از روش همپوشانی وزنی بر اساس وزن اکتسابی از مدل صورت گرفت. در نهایت پتانسیل آب زیرزمینی دشت در پنج کلاس پتانسیل بالا تا بدون پتانسیل پهنه‌بندی گردید. بر این اساس مناطق با پتانسیل آبی بالا با ۹/۶ درصد از کل مساحت، اغلب در نهشته‌های کواترنری ضخیم لایه نزدیک به آبراهه‌های اصلی قرار گرفته‌اند. نقشه بدست آمده با

۱- نویسنده مسئول و کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، پست الکترونیکی: mohammadrahimi1366@gmail.com  
۲- استاد گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

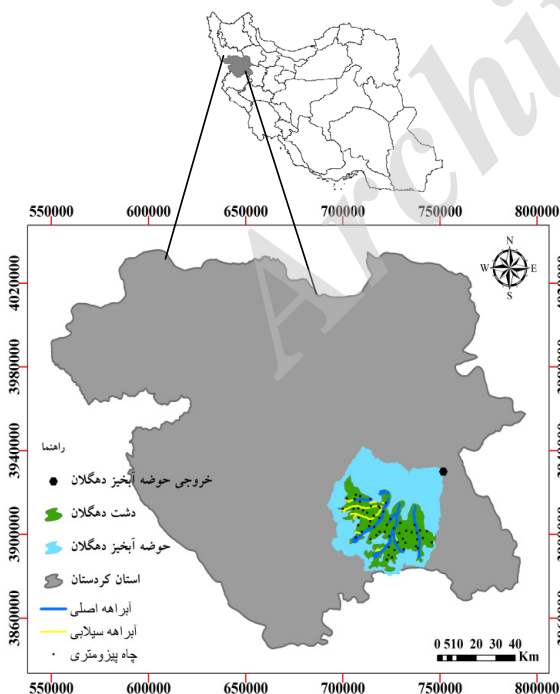
3- Decision Support System  
4 - Geographic Information System  
5- Analytical Network Processing  
6 - Multi Criteria Decision Making

دشت دهگلان جهت برنامه‌ریزی منابع آب و برداشت متناسب با پتانسیل آبخوان پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

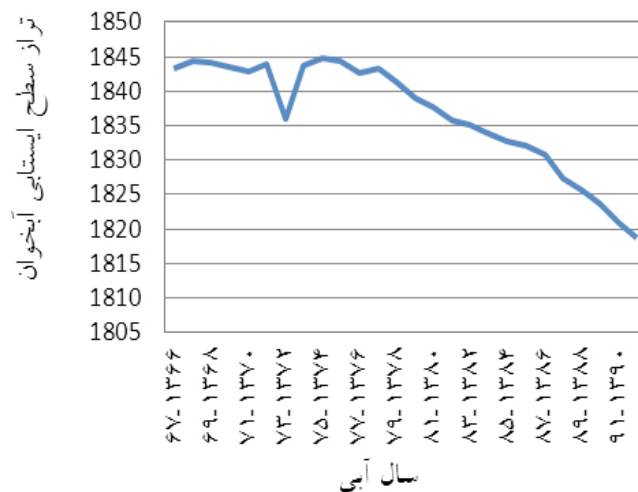
حوضه آبخیز دهگلان با مساحت ۲۵۵۰ کیلومترمربع دارای دشت آبرفتی با مساحت ۹۸۲ کیلومترمربع می‌باشد. این دشت با ارتفاع ۱۸۷۶ متری از سطح دریا بزرگترین دشت استان کردستان است که در بین شهرستان‌های سنندج و قروه واقع شده است و قسمتی از سرشاخه رودخانه تلوار در حوضه آبریز سفیدرود را شامل می‌شود. دشت دهگلان در موقعیت  $47^{\circ} 9'$  تا  $47^{\circ} 45'$  طول شرقی و  $35^{\circ} 3'$  تا  $35^{\circ} 35'$  عرض شمالی قرار گرفته است. مقدار بارندگی دشت دهگلان ۳۵۰ میلی‌متر در سال بوده و از نظر اقلیمی جز نواحی نیمه خشک و سرد استان به شمار می‌آید [۲۲]. محدوده به لحاظ زمین ساختی در زون سنندج- سیرجان قرار می‌گیرد و خاک‌های این دشت عمدتاً عمیق و مناسب کشاورزی‌اند، از طرفی مقدار بارندگی و پتانسیل آب‌های سطحی در این دشت ضعیف و کمتر از نصف بخش‌های غربی استان است [۱۸]. این در حالیست که قسمت عمده آب زیرزمینی استان در دشت‌های شرقی (دشت‌های دهگلان، قروه و چهار دولی) متمرکز می‌باشد و به سبب مرغوبیت خاک و استحصال آب، محل عمده کشت محصولات زراعی آبی‌اند. افت منابع آب زیرزمینی دشت دهگلان در دهه اخیر زیاد بوده، در شکل (۱) هیدروگراف تراز آبخوان در دوره ۲۵ ساله (۹۱-۶۶) نشان می‌دهد که ۲۴/۷ متر، یعنی بطور متوسط سالانه ۰/۹۹ متر سطح آب کاهش یافته است [۲۱]. در شکل (۲) موقعیت دشت دهگلان در استان کردستان نشان داده شده است.



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه  
Fig 2. Location of the study are

زهکشی، تراکم گسله و شکستگی، بافت خاک و نفوذپذیری، عمق آب زیرزمینی، کاربری اراضی، شیب، ارتفاع و بارندگی می‌باشند [۵، ۲۹، ۱۰، ۱۷، ۱۶، ۱۳، ۲۰]. در این راستا مطالعاتی در داخل کشور نیز صورت گرفته که نشان از اهمیت موضوع دارد [۲۴، ۳، ۲۵، ۲۸].

به علت وجود عوامل متعدد دخیل در امر پتانسیل‌یابی و نیاز به بررسی توام معیارهای ارزیابی شده (در قالب نقشه)، استفاده از GIS ابزار کارآمدی جهت پردازش داده‌های مکانی مختلف است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در کنار روش‌های تصمیم‌گیری ابزار قدرتمند تصمیم‌گیری مکانی را فراهم می‌کند [۷]. آنالیز تصمیم‌گیری مکانی فرآیندی است که طی آن داده‌های جغرافیایی (داده‌های ورودی) ترکیب و به یک تصمیم (داده‌های خروجی) تبدیل می‌شوند. این فرآیند شامل مراحل است که به استفاده از داده‌های جغرافیایی، سلاقی تصمیم‌گیرندگان و بکارگیری داده‌ها بر مبنای قواعد تصمیم‌گیری مشخص مربوط می‌شود. به روز بودن مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، وابستگی‌ها و پیچیده بودن مسائل مختلف محیطی باعث گردیده تا روش ANP در کارهای محیطی کارایی بهتری نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره داشته باشد. از آنجا که معیارها و شاخص‌های بکار گرفته شده در این پژوهش دارای روابط دو سویه و بازخوردی هستند و سایر مدل‌ها این وابستگی‌ها را کمتر در می‌گیرند، و نیز با توجه به وابستگی مسائل محیطی (از جمله موضوع مورد بحث)، بکارگیری رویکردی که وابستگی‌های احتمالی میان عوامل را در نظر گیرد و آنها را در اندازه‌گیری تاثیر عوامل دخالت دهد، ضرورت می‌یابد. از این رو در این مطالعه برای محاسبه وزن عناصر از تئوری شبکه‌ای استفاده گردید. با توجه به افت منابع آب زیرزمینی در دشت دهگلان و پیامدهای ناشی از آن از جمله کف‌شکنی و افزایش عمق چاه‌ها و افزایش هزینه پمپاژ جهت دسترسی به آب، این مطالعه بر اساس معیارهای زیست محیطی با استفاده از GIS و مدل ANP به الگوسازی پتانسیل آب‌های زیرزمینی



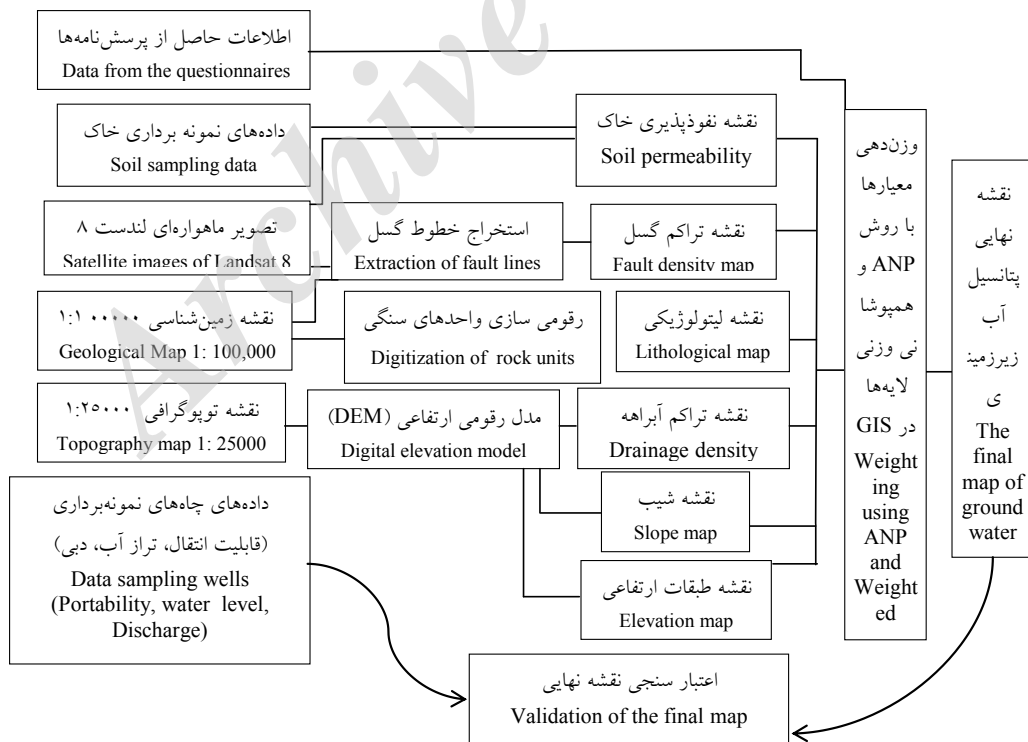
شکل ۱- هیدروگراف تراز آبخوان دشت دهگلان، منبع: رحیمی و همکاران [۲۱]

Fig 1. Hydrograph of Groundwater level in Dehgolan Plain, References: Rahimi et al [21]

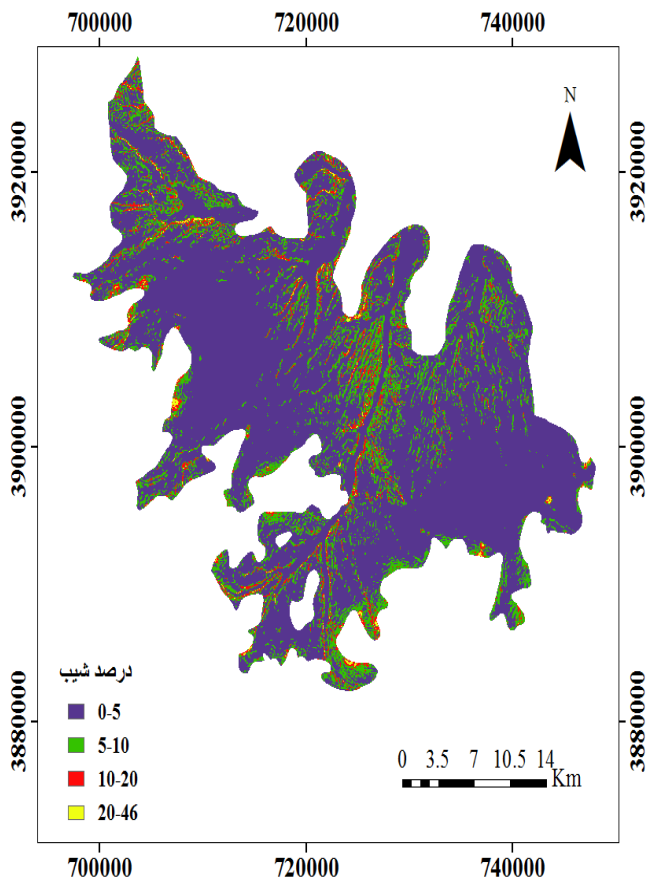
جمع‌آوری و آنالیز داده‌های موثر در تغذیه آب زیرزمینی با توجه به بحث‌های نظری و روش‌های استفاده شده، در این پژوهش بطور کلی فرآیند انجام تحقیق مبتنی بر مراحل زیر است که بصورت شماتیک در شکل (۳) نشان داده شده است و در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود. برای انجام این تحقیق، نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، تصویر ماهواره‌ای سنجنده لندست هشت مربوط به سال ۲۰۱۳، داده‌های آماری چاه‌های نمونه‌برداری (شامل داده‌های قابلیت انتقال آبخوان حاصل از آزمایش پمپاژ و داده‌های عمق آب زیرزمینی در ۵۰ چاه بهره‌برداری و اکتشافی) و داده‌های حاصله از عملیات میدانی نمونه‌های خاک (۳۲ نقطه) به عنوان ورودی تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای فرآیند پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفتند. معیارها ابزاری برای پایش و ارزیابی حرکت به سمت مدیریت پایدار محسوب می‌شوند. در پژوهش حاضر با توجه به تحقیقات انجام گرفته در زمینه پتانسیل‌یابی آبخوان‌ها، شرایط محلی منطقه و نظرات کارشناسان شش پارامتر موثر شامل خصوصیات لیتولوژیکی سازندها، تراکم زهکشی، نفوذپذیری خاک، تراکم گسل، شیب و طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند و داده‌های اولیه گردآوری شده جهت تهیه این لایه‌ها در محیط GIS و ENVI مورد آنالیز قرار گرفتند. در بحث کیفیت آب عوامل مختلفی از قبیل کلرورها، سولفات‌ها، سختی آب (میزان یون‌های کلسیم و منیزیم)، باقی‌مانده املاح خشک (TDS) و هدایت الکتریکی (EC) مد نظرند

که در بین عوامل فوق هدایت الکتریکی بطور کلی نقش اساسی داشته و در تحلیل‌های کیفی آب بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در محدوده مطالعاتی دشت دهگلان کیفیت آب زیرزمینی مطلوب بوده و طبق مطالعات انجام شده بیش از ۹۰ درصد مساحت دشت دارای EC کمتر از ۵۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر می‌باشند [۲۷]. لذا بدلیل یکنواخت بودن کیفیت آب و نیز میزان بارش منطقه، این عوامل مورد بررسی قرار نگرفتند.

تحلیل‌های مکانی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی ارتفاع و شیب: طبقات ارتفاعی و شیب از فاکتورهای موثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی هستند که نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری دارند. این فاکتورها در گردایان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش موثر دارند و بعنوان یک عامل مورفومتریک در حوضه آبخیز نقش مهمی در کنترل عواملی مانند سیل، نفوذپذیری، تشکیل خاک و استقرار پوشش گیاهی دارد. هر گاه شیب کاهش یابد، سرعت آب نیز کم شده و فرصت برای نفوذ در خاک را پیدا خواهد کرد. با استفاده از رقوم‌سازی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه برداری در GIS، مدل رقوم‌ی ارتفاعی ۲۰×۲۰ متر منطقه تهیه شد و نقشه شیب و ارتفاع منطقه از آن برگرفته شد (اشکال ۴ و ۵).  
نفوذپذیری سطحی خاک: نفوذپذیری و عمق زیاد از ویژگی‌های خاک‌های خوب برای تغذیه است [۲]. در دشت دهگلان مطالعات



شکل ۳- نمودار جریان‌ی روند پردازش داده‌ها در تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی  
Fig 3. Flowchart of data Processing in mapping Groundwater Potential



شکل ۴- نقشه شیب  
Fig 4. Slope map

جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می شود. جهت تهیه این لایه از تصاویر ماهواره ای لندست هشت و نقشه زمین شناسی منطقه استفاده گردیده است. ابتدا با ترکیب باندهای ۱ و ۵ و ۸ در نرم افزار ENVI تصویر ماهواره ای نهایی آماده و در چهار جهت ۴۵، ۱۳۵، ۹۰، ۱۸۰ درجه عمل فیلتر روی آن انجام شد. با کمک نقشه حاصله و نقشه زمین شناسی منطقه، لایه تراکم شکستگی در GIS تهیه گردید (شکل ۹).

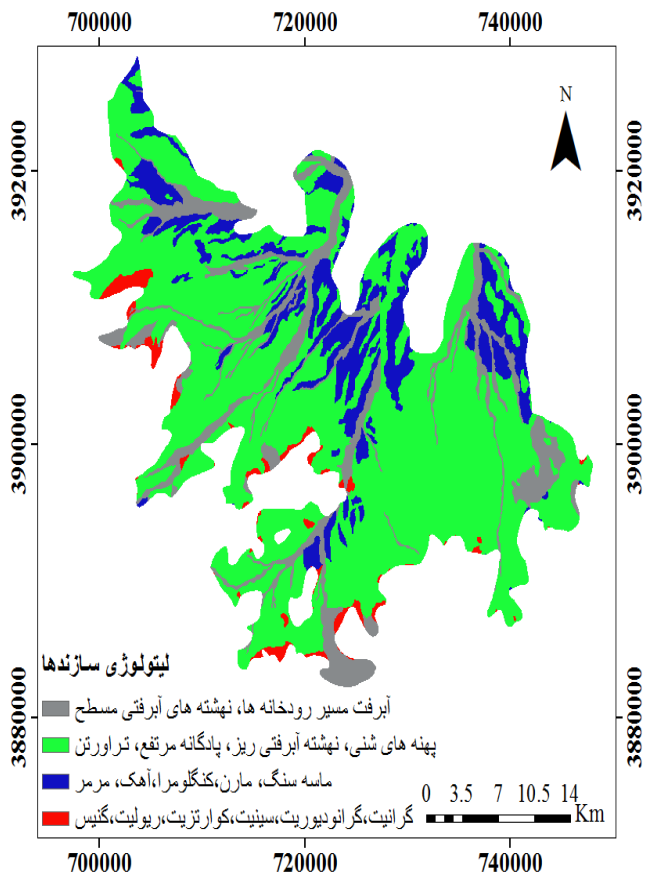
**فرآیند تحلیل شبکه ای (ANP) و تعیین وزن عوامل موثر**  
فرآیند تحلیل شبکه ای از جدیدترین تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره است که توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۹۶ ارائه شد. این مدل شکل گسترده و کامل فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محسوب می شود [۳۲] که شبکه را جایگزین سلسله مراتب کرده است. بنابراین تمامی ویژگی های مثبت آن از جمله انعطاف پذیری، بکارگیری همزمان معیارهای کمی و کیفی، قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت ها را دارا بوده و مضافاً می تواند وابستگی متقابل و بازخورد میان عناصر تصمیم را در نظر بگیرد. ساعتی استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی را برای حل مسائل با معیارهای مستقل پیشنهاد کرده و برای حل مسائل با معیارهای وابسته به هم مدل تحلیل شبکه ای را پایه ریزی نموده است [۳۲].

جامع خاک شناسی صورت نگرفته، لذا به دلیل مشکلات فوق، نفوذپذیری از جداول فائو طبق رابطه بین بافت و نفوذپذیری بدست آمد. برای تعیین محل های نمونه برداری خاک از تصاویر ماهواره ای لندست هشت استفاده گردید. ترکیب باندهای ۱، ۵ و ۷ بهترین باند برای تفکیک نهشته های کواترنری می باشد [۱۹]. پس از ترکیب باندهای فوق نقشه زمین شناسی را بر روی تصویر انداخته و مرز بین کواترنری و واحدهای سنگی جدا گردید. سپس در واحد کواترنری، محل هایی که تن یکسانی داشتند مشخص شده و در هر واحد یک نقطه برای نمونه برداری انتخاب گردید سپس نقاط با روش زمین آماری کریجینگ درون یابی شده و نقشه نفوذپذیری سطحی دشت دهگلان بدست آمد (شکل ۶).

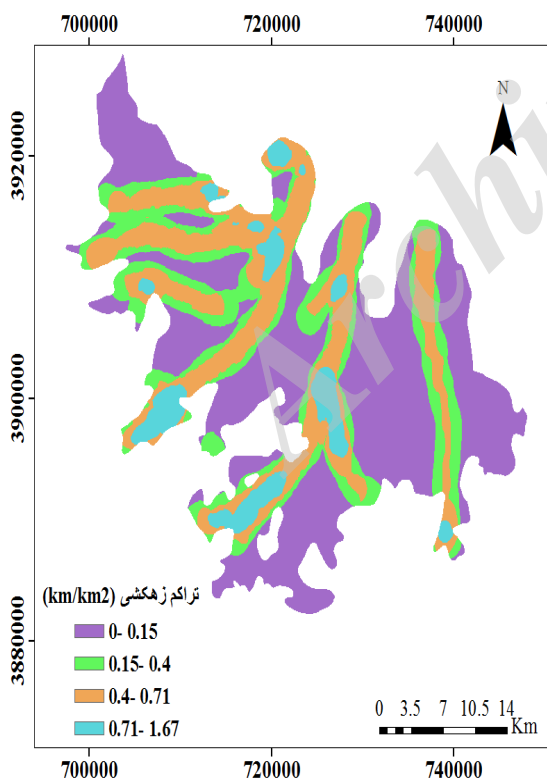
واحدهای لیتولوژیکی: سازندهای مختلف زمین شناسی همگی آب را بطور یکسان هدایت نمی کنند. نوع سازند و لیتولوژی سازند بر بسیاری از خصوصیات هیدرولوژیکی چون نفوذپذیری، هدایت هیدرولیکی و قابلیت انتقال تاثیرگذار است و این حاکی از اهمیت لایه زمین شناسی در میزان تغذیه است. آبرفت های درشت دانه و آهکی به دلیل دارا بودن هدایت هیدرولیکی بیشتر و ذخیره زیاد وضعیت مناسبی برای تشکیل آبخوان ها عرضه می نماید و به عنوان مناطق مناسب برای تغذیه محسوب می شوند [۴]. منطقه مورد مطالعه در دو شیت سندج (۵۴۶۰) و قروه (۵۵۶۰) نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین شناسی سازمان زمین شناسی کشور قرار گرفته است. برای تهیه نقشه زمین شناسی دشت دهگلان پس از ژئورفرنس نمودن و یکپارچه سازی دو شیت و قرار دادن مرز حوضه بر روی آن اقدام به دیجیت کردن واحدهای لیتولوژیکی مختلف منطقه شد. واحدهای کواترنری بیشترین وسعت از دشت را شامل می شوند که در نوار مرکزی دشت گسترش یافته اند (شکل ۷).

تراکم آبراهه: مشخصات هیدرولوژیکی و ژئوهیدرولوژی هر آبخوان یکی از گویاترین بخش ها در اکتشافات و پتانسیل یابی منابع آب است. در سطح دشت دهگلان عمده ترین منبع تغذیه کننده آب زیرزمینی موجود صرف نظر از ریزش های جوی، آبراهه های متعددی هستند که از دامنه ارتفاعات مجاور سرچشمه گرفته و وارد محدوده دشت می شوند. در مورد نقش رده آبراهه ها بر روی منابع آب زیرزمینی مطالعات متعددی صورت گرفته و رده های ۳ به بالا را برای پتانسیل یابی منابع آب مناسب دانسته اند [۲۸]. شبکه آبراهه ای دشت بر اساس نقشه توپوگرافی و DEM منطقه و با استفاده از اکستنشن Arc Hydro در GIS تکمیل گردید. سپس با استفاده از رابطه استراهلر رده بندی و آبراهه های رده های یک و دو بدلیل شیب بیشتر و نفوذپذیری کمتر حذف و نقشه تراکم آبراهه در مورد آبراهه های اصلی تر تهیه گردید (شکل ۸).

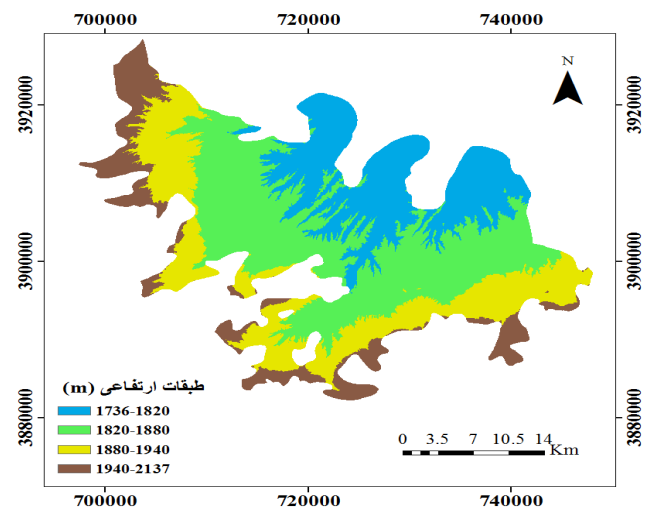
تراکم گسل: عوامل ساختمانی و تکتونیکی مانند گسل و درزها که اصطلاحاً خطواره نامیده می شوند از عوامل تاثیرگذار در نفوذ آب سطحی و تجمع آن در زیر زمین و همچنین هدایت آنها بر اساس جهت شکاف ها می باشد. بنابراین به عنوان پارامتر مثبتی



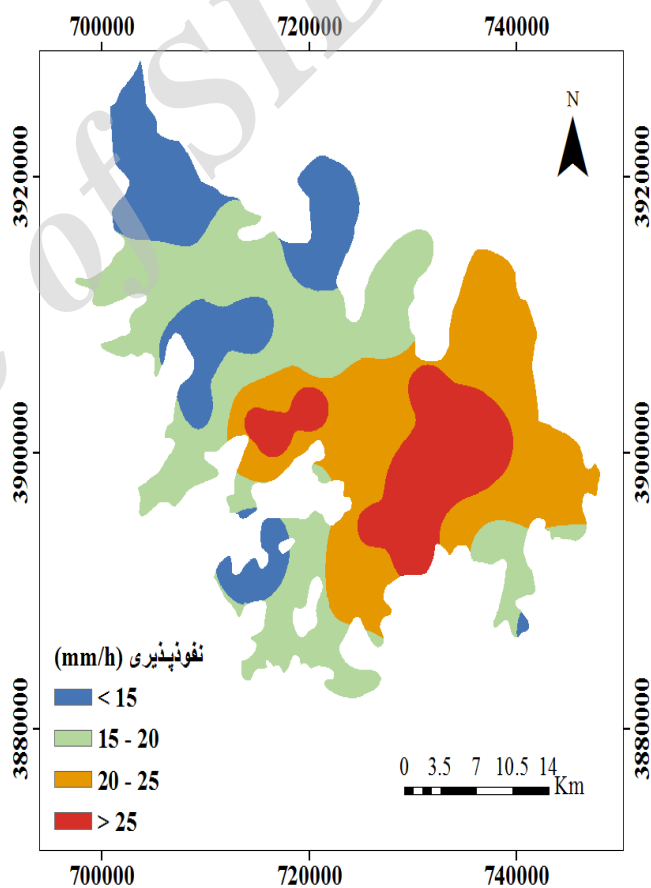
شکل ۷- نقشه لیتولوژی  
Figure 7. Lithological map



شکل ۸- نقشه تراکم آبراه  
Figure 8. Drainage density map



شکل ۵- نقشه طبقات ارتفاعی  
Fig 5. Elevation map



شکل ۶- نقشه نفوذپذیری خاک  
Figure 6. Soil permeability

ساختار شبکه‌ای ANP حاکی از آنست که روابط بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری را نمی‌توان مستقل تصور کرد. در این پژوهش برای تعیین وابستگی میان معیارها و همچنین وزن‌دهی در مرحله مقایسه زوجی از پرسشنامه و نظرات کارشناسان در قالب یک گروه دلفی



$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

که در آن CI شاخص سازگاری ماتریس مقایسه زوجی بوده و با استفاده از بزرگترین مقدار بردار ویژه ( $\lambda_{max}$ ) و بعد آن ( $n$ ) از رابطه (۲) برآورد می‌گردد.

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

پارامتر RI (Inconsistency Ratio) تحت عنوان شاخص تصادفی نیز از جدول (۱) استخراج می‌گردد.

پس از کسب اطمینان در رابطه با سازگار بودن قضاوت نوبت به تعیین ضرایب اهمیت معیارها می‌باشد. در صورتی که محاسبات این روش از طریق نرم افزار Super Decision صورت پذیرد برای این منظور از روشی موسوم به روش بردار ویژه (مطابق با رابطه ۳) برای تعیین بردار ویژه ماتریس‌ها استفاده می‌شود:

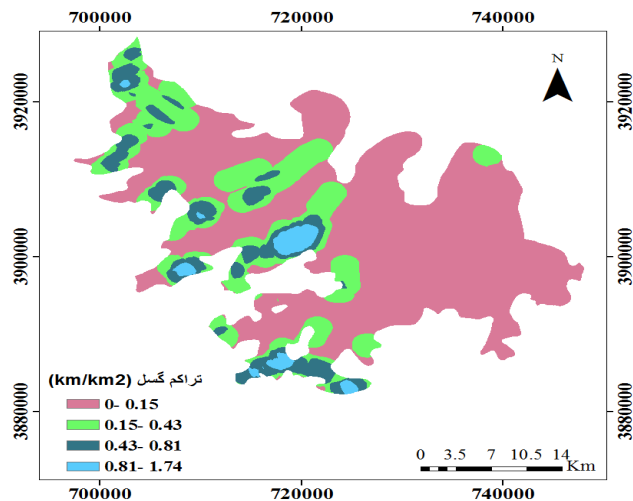
$$A \times W = \lambda_{max} \times W \quad (3)$$

در این معادله A ماتریس مقایسه زوجی است،  $\lambda_{max}$  بزرگترین مقدار ویژه ماتریس A است. با توجه به هر معیار، مقایسه زوجی در دو مرحله (در سطح عناصر و مقایسه بین خوشه‌ها) انجام می‌شود که نتایج حاصل از مقایسه‌ها در سوپر ماتریس وارد خواهد شد.

پ) تشکیل سوپر ماتریس اولیه یا بدون وزن: وزن نسبی‌های حاصل در سوپر ماتریس وارد می‌شوند که رابطه متقابل بین عناصر سیستم را نشان می‌دهند. در شکل (۱۰) یک ابرماتریس همراه با یک مثال از ورودی‌های  $Z_i$ ،  $i$  نشان داده شده است [۳۲]. در این تصویر CN نشان دهنده خوشه N ام، eNn عنصر n ام در خوشه N ام،

جدول ۱- مقادیر متناظر برای شاخص RI بر اساس بعد ماتریس  
Table1- the corresponding values for RI index based on the matrix

بعد ماتریس	شاخص تصادفی
n	RI
1	0
2	0
3	0/58
4	0/9
5	1/12
6	1/24
7	1/32
8	1/41
9	1/45
10	1/49
11	1/51
12	1/48
13	1/56
14	1/57
15	1/59



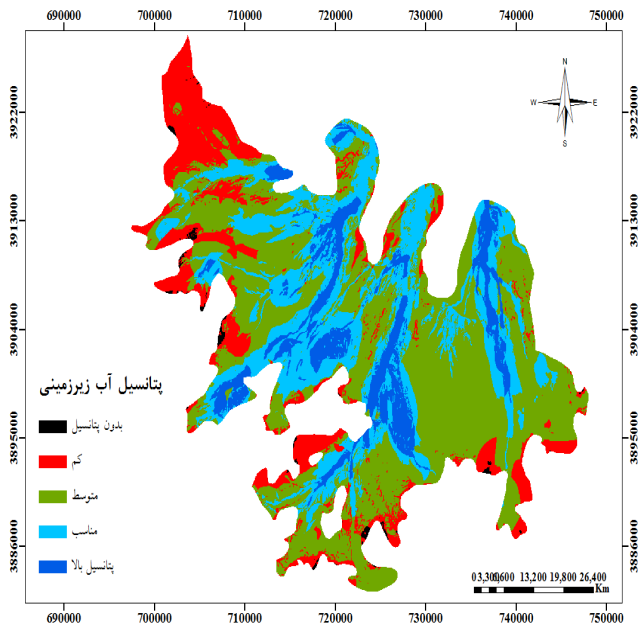
شکل ۹- نقشه تراکم گسل

Fig9. Fault density map

استفاده گردید. روش دلفی فرایندی ساختار یافته برای جمع‌آوری و طبقه‌بندی دانش موجود در نزد گروهی از کارشناسان است که از طریق توزیع پرسشنامه‌هایی در بین این افراد و بازخورد کنترل شده نظرات دریافتی صورت می‌گیرد. فرآیند مدل‌سازی شامل مراحل زیر است که به اجمال اشاره می‌شود [۸]:

الف) پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله: مسئله تصمیم‌گیری به ساختار شبکه‌ای تجزیه می‌گردد.

ب) ماتریس مقایسات زوجی و برآورد وزن نسبی: از کارشناسان خواسته می‌شود که به مقایسه‌های بین عناصر پاسخ بدهند، که به چه میزان در جهت یک معیار سطح بالای خاص مشارکت داشته‌اند. به علاوه وابستگی بین عناصر یک خوشه نیز باید بصورت جفتی در نظر گرفته شود. تاثیر یک عنصر بر روی عناصر دیگر را می‌توان بصورت یک بردار ویژه نشان داد. در این مقایسه‌ها، تصمیم‌گیرندگان معمولاً از قضاوت‌های شفاهی استفاده خواهند نمود. به گونه‌ای که اگر عنصر A با عنصر B مقایسه شود، تصمیم‌گیرنده خواهد گفت اهمیت A بر B یکی از حالات زیر است، که این قضاوت‌ها توسط ساعتی به مقادیر کمی ۱ تا ۹ تبدیل شده‌اند. مقدار  $a_{ij}$  در ماتریس مقایسه زوجی اهمیت نسبی مولفه در سطر  $i$  با توجه به ستون  $j$  را نشان می‌دهد، به طوری که عدد ۱ مشخص‌کننده اهمیت مساوی بین دو عنصر و عدد ۹ مشخص‌کننده بیشترین اهمیت ممکن یک عنصر نسبت به عنصر دیگر است. از ارزش معکوس ( $1/a_{ij}$ ) زمانی استفاده می‌شود که  $j$  مهم‌تر از  $i$  باشد. سوپر ماتریس A در شکل (۱۰) نشان داده شده است. بعد از مقایسه زوجی، میزان سازگاری و اعتبار پاسخ پرسش‌شوندگان به ماتریس‌های مقایسه‌ای توسط رابطه نسبت سازگاری ماتریس مقایسه زوجی (CR) که توسط ساعتی مطابق رابطه (۱) ارائه شده مورد سنجش قرار می‌گیرد. در صورتی که این ضریب کوچکتر از ۱ / ۰ باشد سازگاری مورد قبول است و در غیر اینصورت باید در قضاوت مربوطه تجدید نظر شود.



شکل ۱۱- نقشه اولویت بندی دشت دهگلان از نظر پتانسیل آب زیرزمینی

Fig 11. Map Prioritize of the Potential Groundwater in Dehgolan Plain

#### تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بدون در نظر گرفتن اهمیت هر لایه در پتانسیل یابی، نمی‌تواند ارزش واقعی لایه‌های اطلاعاتی را در تلفیق دخالت دهد. سامانه اطلاعات جغرافیایی این قابلیت را در اختیار می‌گذارد که ارزش هر لایه بر اساس وزن اکتسابی از روش ANP در تلفیق دخالت داده شود. نقشه‌های رستری معیارهای موثر، در GIS با استفاده از آنالیز شاخص همپوشانی وزنی (WIOA) که حاصل جمع ضرب هر لایه با وزن متناظر خود است (رابطه ۵)، وزن‌های بدست آمده برای هر کدام از لایه‌ها با لایه‌های اطلاعاتی مربوطه تلفیق شده و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه تهیه شد. روش شاخص همپوشانی وزن دار تاکنون در مطالعات پتانسیل آب زیرزمینی بکار رفته و عملی بودن آن به اثبات رسیده است [۳۱ و ۱۱].

$$S = \sum_i^n w_i \times s_{ij} = \sum_i^n w_i \quad (5)$$

که در آن، S وزن پیکسل مفروض در نقشه نهایی،  $w_i$  وزن پارامتر  $i$ ام و  $s_{ij}$  وزن نرمالیزه شده کلاس پیکسل یعنی کلاس  $j$ ام از نقشه  $i$ ام است.

برای دستیابی به نتایج بهتر و تعیین مساحت مناطق دارای پتانسیل، نقشه رستری پهنه‌بندی پتانسیل آب زیرزمینی در محیط GIS با استفاده از روش شکست طبیعی<sup>۲</sup> به پنج کلاس پتانسیل بالا تا بدون پتانسیل طبقه‌بندی گردید (شکل ۱۱). این روش برای تعیین بهترین آرایش

$$W = \begin{matrix} C_1 & & C_k & & C_n \\ e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1m1} & \dots & e_{k1} & e_{k2} & \dots & e_{kmk} & \dots & e_{n1} & e_{n2} & \dots & e_{nmn} \\ e_{11} & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{12} & & & & & & & & & & & & & & \\ C_1 & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{1m1} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{k1} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{k2} & & & & & & & & & & & & & & \\ C_k & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{kmk} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{n1} & & & & & & & & & & & & & & \\ C_n & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{n2} & & & & & & & & & & & & & & \\ \vdots & & & & & & & & & & & & & & \\ e_{nmn} & & & & & & & & & & & & & & \end{matrix}$$

شکل ۱۰- فرمت استاندارد سوپرماتریس A  
Figure 10. The standard format super matrices A

$W_{ij}$  تأثیر عنصر در خوشه  $i$ ام نسبت به خوشه  $j$ ام است. هر  $W_{ij}$  در این ابرماتریس بیانگر بردار ویژه معیارهای واقع در سطرهای ابرماتریس با توجه به معیارهای واقع در ستون‌های آن می‌باشد. اگر خوشه  $i$ ام هیچ تأثیری بر خوشه  $j$ ام خود نداشته باشد (حالت وابستگی داخلی)  $W_{ij}$  صفر می‌شود. سوپر ماتریس به دست آمده در این مرحله سوپرماتریس اولیه یا وزن‌دهی نشده است. تشکیل سوپرماتریس وزنی: از تقسیم شدن هر یک از بردارهای ویژه سوپرماتریس اولیه بر مجموع بردارهای ویژه ستون خود، ماتریس جدیدی به دست می‌آید که جمع هر یک از ستون‌های آن برابر یک خواهد بود، که ماتریس وزنی گفته می‌شود. (ث محاسبه بردار وزن حدی: در مرحله بعد، سوپرماتریس وزنی، به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا شده و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند (رابطه ۴).

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^{2k+1} \quad (4)$$

در این صورت اعداد واقع در سطرهای ابرماتریس محدود، میزان ضرایب اهمیت شاخص‌ها را نشان می‌دهند. در واقع وزن نهایی هر معیار برای هر پرسش‌نامه همان خروجی سوپر ماتریس حدی می‌باشد. پس از اینکه وزن نهایی در هر پرسش‌نامه با استفاده از روابط ماتریسی تعیین شد برای رسیدن به یک وزن نهایی برای هر عامل موثر در فرآیند ارزیابی، از وزن‌های حاصل از پرسش‌نامه‌های مختلف میانگین هندسی گرفته و وزن‌های نهایی حاصل می‌شوند. (جدول ۲)

1- Weighted Index overlay analysis  
2- Geometrical Interval

جدول ۲- وزن نهایی معیارهای شش گانه بر اساس نتایج روش ANP  
 Table 2. final weight of six criteria based on results of the ANP method

امتیاز نسبی Comparative rating	درصد مساحت Percent area	بازه کلاسه Class	وزن معیارها Weight parameter	پارامتر Parameter
9	15/33	نهشته آبرفتی رودخانه‌ای Alluvial river deposits		
7	68/49	نهشته آبرفتی ریز، تراورتن Fine alluvial deposits, travertine		
5	13/9	ماسه‌سنگ، کنگلومرا، آهک، مرمر Sandstone, conglomerate, limestone, marble	0/25	لیتولوژی Lithologic
1	2/28	گرانیت، کوارتزیت، ریولیت Granite, quartzite, rhyolite		
1	50	0 - 0/15		
4	18/63	0/15 - 0/4		
7	24/4	0/4 - 0/71	0/2	تراکم زهکشی Drainage density
9	7/15	0/71 - 1/67		(km/km <sup>2</sup> )
1	68/97	0 - 0/15		
4	20/14	0/15 - 0/43		
7	8/54	0/43 - 0/81	0/15	تراکم گسل Fault density
9	2/35	0/81 - 1/74		(km/km <sup>2</sup> )
1	19/96	>15		
4	35/23	15 - 20	0/15	نفوذپذیری خاک Soil permeability
7	30/34	20 - 25		(mm/h)
9	14/46	<25		
9	23/9	1736 - 1820		
7	38/65	1820 - 1880		
3	24/52	1880 - 1940	0/15	طبقات ارتفاعی Elevation (m)
1	12/93	1940 - 2137		
9	72/45	0 - 5	0/1	شیب (درصد) Slop (%)
7	15/97	5 - 10		
4	4/07	10 - 20		
1	0/51		<20	

دیگر این روش طبقه‌بندی به دنبال کاهش واریانس در کلاس‌ها و به حداکثر رساندن واریانس بین طبقات است.

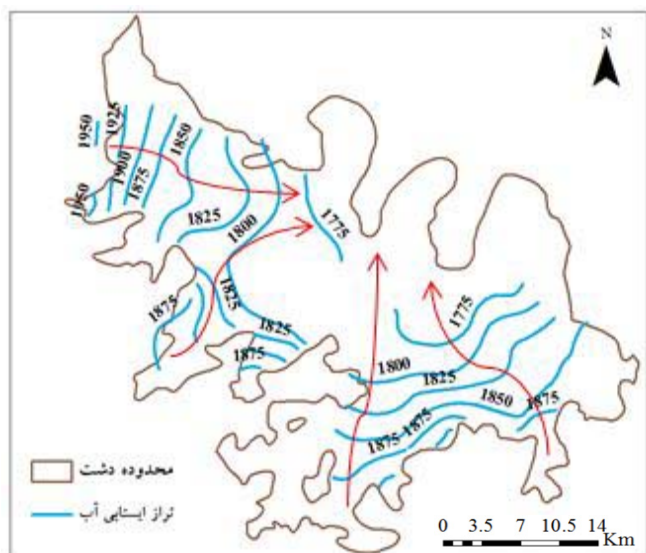
ارزش‌ها به طبقات مختلف طراحی شده است، و به دنبال به حداقل رساندن انحراف متوسط هر طبقه از طبقه میانگین و به حداکثر رساندن انحراف هر کلاس از میانگین گروه‌های دیگر انجام می‌شود. به عبارت



جدول ۳- مساحت کلاس‌های نهایی پتانسیل آب زیرزمینی

Table 3. Priority areas for Potential Groundwater

ردیف Row	دامنه ارزشی پتانسیل Range of values	مساحت (کیلومتر مربع) Area (km <sup>2</sup> )	درصد از کل منطقه مورد مطالعه Percent of the total study area
1	پتانسیل بالا Very suitable	95	9/6
2	مناسب Suitable	240	24/43
3	متوسط Average	466	47/45
4	کم Unsuitable	170	17/3
5	بدون پتانسیل Very unsuitable	11	1/2
	جمع کل	982	100



شکل ۱۲- نقشه سطح ایستابی آب زیرزمینی دشت

Figure 12. Groundwater level map

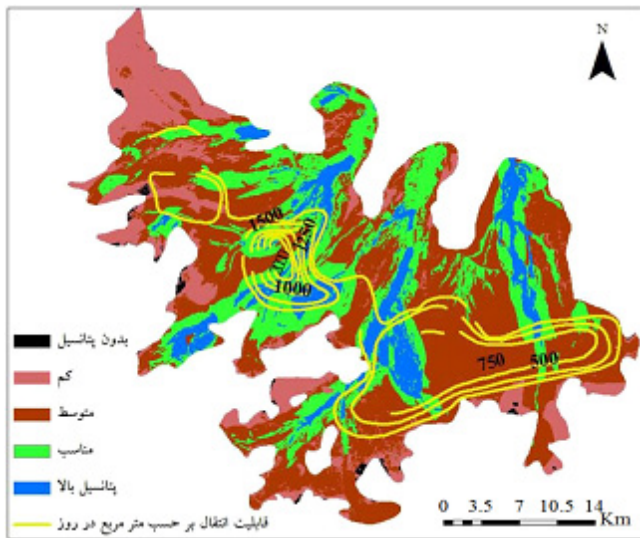
در آنها کم است. علاوه بر این آبراهه‌های این مناطق رده پایین و شیب‌دار می‌باشند و آب‌های سطحی را بجای نفوذ بصورت رواناب عبور می‌دهند. نواحی مرکزی دشت بدلیل ضخامت زیاد آبرفت و میزان تغذیه بیشتر محل حفر چاه‌های عمیق و کشاورزی آبی می‌باشند و سطح آب افت زیادی پیدا کرده است، در حالیکه در ارتفاعات جنوبی مجاور دشت تمرکز چشمه‌ها بیشتر است که بعلت وجود گسل‌های تکتونیکی و تغذیه ناشی از ارتفاعات می‌باشد. نتایج حاصل از این مطالعه با کنترل زمینی مورد بررسی قرار گرفت که حاکی از برآورده شدن معیارهای انتخابی در نواحی دارای پتانسیل و دقت روش‌های MCDM در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی در امر ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد که اویکونومیدیس [۳۱] و چاوردی [۳] نیز در مطالعات خود به دقت بکارگیری مدل‌های مفهومی با سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره کرده‌اند.

#### اعتبارسنجی مدل

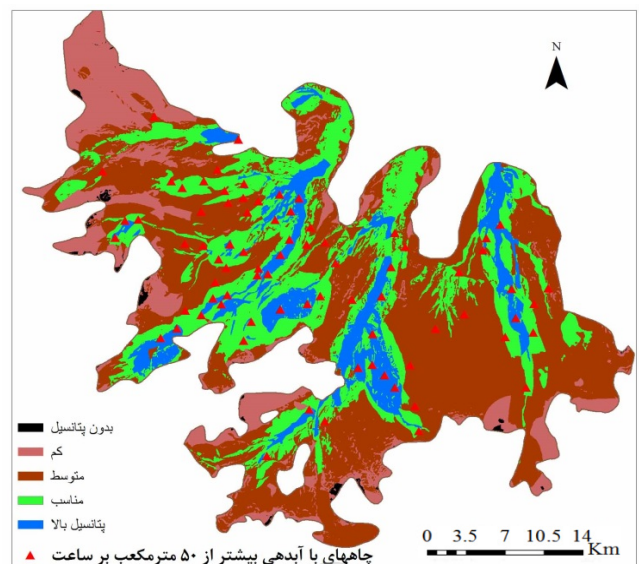
با استناد به مطالعات صورت گرفته نقشه تهیه شده پتانسیل آب زیرزمینی بر اساس مشاهدات و اندازه‌گیری‌های زیر جهت صحت سنجی نتایج حاصل مورد بررسی قرار گرفت. اول اینکه سطح ایستابی چاه‌های بهره‌برداری منطقه با استفاده از آنالیزهای مکانی GIS جهت ایجاد لایه ارتفاعی تراز آب زیرزمینی دشت بکار رفت (شکل ۱۲). با توجه به این نقشه می‌توان فهمید جهت حرکت آب زیرزمینی بطرف شمال و شمال‌شرق دشت می‌باشد. این در ارتباط با نتایج نقشه پتانسیل تهیه شده می‌باشد که پهنه‌های با پتانسیل بالا در امتداد شمالی دشت کشیده شده‌اند. دوم اینکه دبی چندین چاه موجود در منطقه مورد بررسی قرار گرفت، اندازه‌گیری‌ها نشان داد

#### نتایج

شکل ۱۱ اولویت‌بندی بخش‌های مختلف منطقه را از نظر پتانسیل آب زیرزمینی نشان می‌دهد. از مجموع کل مساحت دشت دهگلان حدود ۹۵ کیلومتر مربع دارای پتانسیل آبی بالا، ۲۴۰ کیلومتر مربع مناسب، ۴۶۶ کیلومتر مربع متوسط، ۱۷۰ کیلومتر مربع پتانسیل کم و ۱۱ کیلومتر مکعب فاقد پتانسیل می‌باشند. در جدول (۳) مساحت این پنج کلاس بر حسب کیلومتر مربع و درصد نشان داده شده است. با توجه به نقشه پتانسیل بدست آمده، مناطق با پتانسیل آب زیرزمینی بالا بیشتر در واحدهای کواترنری ضخیم لایه ( $Q_{12}$  و  $Q_{11}$ ,  $Q_C$ ,  $Q_f$ ,  $Q_{al}$ ) قسمت‌های مرکزی دشت واقع شده‌اند، که از علل آن می‌توان به قرارگیری این واحدها در حواشی آبراهه‌های اصلی دشت (با دبی بیشتر) و در نتیجه تغذیه شدن توسط آب‌های سطحی اشاره کرد که این نتیجه با مطالعات ساراف و همکاران [۳۰] مبنی بر اینکه آبراهه‌های اصلی در تغذیه و پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی تاثیر بسزایی دارند مشابه است. همچنین محتوای تشکیل شده این واحدها از رس، سیلت، ماسه و گراول ضخیم لایه می‌باشد. این واحدهای زمین‌شناسی در ارتفاعات پایین و در شیبی کم (کمتر از ۵ درصد) واقع هستند که نتیجه ته نشست بار رسوبی آبراهه‌ها در پهنه‌های رسوب‌گیر در شرایط سیلابی می‌باشند و میزان نفوذ بالایی دارند. همچنین در این مناطق ضخامت آبرفت زیاد بوده و به تبع آن حجم ذخیره‌ای آبخوان بیشتر است، بطوریکه ضخامت آبرفت این نواحی به ۱۵۰ متر می‌رسد. مناطق دارای پتانسیل ضعیف نیز منطبق بر ارتفاعات رسی و مارنی دشت و سازندهای سخت آذرین هستند که خصوصیات هیدروژئولوژیکی ضعیفی دارند و در نتیجه نفوذ و تجمع آب



شکل ۱۴- نقشه قابلیت انتقال آبخوان  
Figure 14. Aquifer transmissivity map



شکل ۱۳- محل چاه‌های با آبدهی بالا  
Figure 13. Location of wells with high discharge

و سامانه اطلاعات جغرافیایی قابل بررسی است. در این مطالعه با استفاده از این فناوری‌ها لایه‌های موضوعی عوامل موثر از تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های موجود و مشاهدات میدانی استخراج و در نهایت با وزن‌دهی و تلفیق لایه‌ها، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی دشت تهیه شد. شاخص‌هایی که دارای بیشترین وزن هستند به وضوح اثر خود را در پهنه‌بندی نهایی محدوده نشان داده‌اند. تحقیق انجام شده نشان می‌دهد که بین وضعیت منابع آب و ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. نتایج مطالعه رحیمی [۲۴] نیز معیار ژئومورفولوژی و شاخص سنگ‌شناسی را به عنوان ارجح‌ترین فاکتور در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی نشان داد. مطابق تحقیقات هاموری و همکاران [۱۳]، پس از اعتبارسنجی نقشه تولیدی با داده‌های مختلف چاه‌های منطقه (تراز ایستابی آب، دبی و قابلیت انتقال)، مشاهده گردید که سامانه تصمیم‌یار مکانی و فاکتورهای در نظر گرفته شده برای پتانسیل‌یابی و همچنین تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی کارآمد می‌باشند. با توجه به نتایج حاصله و وضعیت آبدهی دشت، مناطق با پتانسیل بالا دارای ریسک کمتری به لحاظ حفر چاه هستند و در عین حال مطابق با نتایج مطالعه رحیمی و همکاران [۲۶] در مورد مکان‌یابی تغذیه مصنوعی آبخوان دشت دهگلان و گزارش مکان‌های پیشنهادی تغذیه مصنوعی شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان [۲۳]، مناطقی که بر اساس نقشه نهایی از پتانسیل بالای آب زیرزمینی برخوردارند دارای شرایط بسیار مناسبی برای تغذیه نیز می‌باشند. بنابراین بر اساس پتانسیل منابع آب و توان بالقوه دشت می‌توان با استقرار طرح تغذیه در احیای دشت اقدام نمود. همچنین با توجه به اینکه نقاط تغذیه از نظر آلودگی آسیب‌پذیرتر هستند و پخش آلاینده‌ها سریع‌تر صورت می‌گیرد، لذا این نتایج می‌تواند در بحث آسیب‌پذیری آبخوان نیز

چاه‌های با آبدهی بالا (بیشتر از  $50 \text{ m}^3/\text{h}$ ) عمدتاً در مناطقی که بر اساس نقشه پتانسیل تولید شده دارای پتانسیل بالای آب زیرزمینی هستند، واقع‌اند. و میانگین دبی چاه‌های مناطق با پتانسیل بالا حدود  $65 \text{ m}^3/\text{h}$  می‌باشد (شکل ۱۳). سوم اینکه با استفاده از داده‌های قابلیت انتقال حاصل از آزمایش پمپاژ چاه‌های بهره‌برداری منطقه، نقشه هم‌قابلیت انتقال آبخوان ترسیم شد (شکل ۱۴). بر این اساس نوار مرکزی دشت که مطابق نتایج، پتانسیل آب زیرزمینی بیشتری دارد از قابلیت انتقال آبخوان بالاتری نیز برخوردار می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش نشان داد که استفاده از معیار برای رسیدن به هدف مورد نظر امری مطلوب به نظر می‌رسد. مجموعه عملیات مربوط به جمع‌آوری، ذخیره و ترکیب داده‌ها و آنالیز آنها به منظور تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با تکیه بر مطالعات صحرایی با توجه به حجم لایه‌های اطلاعاتی و لزوم تلفیق آنها، مبتنی بر روش‌های سنتی دشوار است. همچنین وقتی عوامل مختلف در تصمیم‌گیری دخالت داده می‌شوند، باید اولویت و وزن آنها نسبت به هم معین شود. به واسطه توانایی منحصر به فرد سیستم‌های تصمیم‌یار مکانی در حل این مساله، از این سامانه بهره گرفتیم. همچنان که قنادی [۱۲] در تحقیقات خود کاربرد سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری در حل مسائل مکانیابی برای موضوعات مختلف را بررسی نموده و به این نتیجه رسیده که سامانه تصمیم‌یار ادغام شده با داده‌های مکانی می‌تواند بعنوان پلی مابین تصمیم‌گیری و مدل‌های رایانه‌ای استفاده شود. آب‌های زیرزمینی از لحاظ تغذیه، کمیت و کیفیت تحت تاثیر شاخص‌های زمین‌شناسی، هیدروژئولوژیکی و هیدرولوژیکی منطقه می‌باشند که تشخیص این موارد از طریق سنجش از دور

zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*. 70(2012):8-17.

11. Ganapuram, S. Kumar, G. Krishna, I. Kahya, E. and Demirel, M. Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing and GIS. 2008. *Adv Eng Softw*. 40(7):506-518.

12. Ghanadi, F. 2008. A system design decisions for the basin. M.Sc. Thesis Tarbiat Modares University. (In Persian)

13. Hammouri, N. ElNaqa, A. Barakat, M. 2012. An integrated approach to groundwater exploration using remote sensing and geographic information system. *Journal of water resource and protection*. 4(2012):717-724.

14. Madan, K. Kamii, Y. and Chikamori, K. 2008. Cost-effective approaches for sustainable groundwater management in alluvial aquifer systems. *Water resources management*.

15. Muralidhar, M. Raju, K.R.K. Raju, K.S.V.P. Prasad, J.R. 2000. Remote sensing applications for the evaluation of water resources in rainfed area, Warangal district, Andhra Pradesh. *The Indian Mineralogists*. 34: 33-40.

16. Magesh, N.S. Chandrasekar, N. John Prince Soundranayagam. 2012. Delineation of groundwater potential zones in Theni district, Tamil Nadu, using remote sensing, GIS and MIF techniques. *Geoscience frontiers*. 3(2):189-196.

17. Mondal, S. 2012. Remote sensing and GIS based ground water potential mapping of kangshabati irrigation command area, west bengal. *Geography & Natural Disasters* 2012, 1:1 <http://dx.doi.org/10.4172/2167-0587.1000104>.

18. Mohammadi, A. 2006. mapping of Supply Sediment in watershed sirvan. (In Persian)

19. Moghanlo, K. 2003. Investigation Sediments quaternary for site selection of suitable area to flood Spread in tasuj plain. M.Sc thesis. Tehran University, 120 pages. (In Persian)

20. Oikonomidis, D. Dimogianni, S. Kazakis, N. Voudouris, K. 2015. A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area, Greece. *Journal of Hydrology*. (525): 197-208

21. Rahimi, M. Solaimani, K. Babaei, Kh. and Zandi, J. 2014. Investigation change of groundwater level in dehgholan plain using GIS. 1th national conference on

مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به وابستگی‌های مسائل محیطی (از جمله موضوع مورد بحث) استفاده از ANP پشتیبانی‌های لازم را برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان در حل مسائل مدیریت آب به عمل می‌آورد تا بتوانند درک عمیق‌تری از مسائل محیطی بدست آورند. بر اساس مطالب فوق، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند در مدیریت منابع آب زیرزمینی، بهره‌برداری بهینه متناسب با پتانسیل منابع آب منطقه و جلوگیری از بهره‌وری بیش از آنها، سازنده باشد.

## منابع

1. Agarwal, R. and Garg, P.K. 2016. Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential & Recharge Zones Mapping Using Multi Criteria Decision Making Technique. *Water Resources Management*. 30(1):243-260.

2. Ahang, K. 1995. Restrain runoff and optimum utilization those. organization of forest and range. pp 147-163. (In Persian)

3. Abshirini, E. Rangzan, K. and khorshidi, S. 2008. Groundwater potential zone using index weight overlay in GIS. 4th conference on geomatic. Tehran. (In Persian)

4. Chowdhury, A. Jha, M.K. and Chowdary, V.M. 2010. Delineation of groundwater recharge zones and identification of artificial recharge sites in West Medinipur district, West Bengal, using RS, GIS and MCDM techniques. *Environmental Earth Science*. 59(6):1209-1222.

5. Das, D. 2000. GIS application in hydrogeological studies. Available from: <http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/overview/wato0003.htm> (accessed March 2010).

6. ElNaqa, A. and AlShayeb, A. 2008. Groundwater protection and management strategy in jordan, *Water resources management*.

7. Ehrgott, M. 2010. Multiple Criteria Decision Analysis and Geographic Information Systems. pp 369-395.

8. Ertay, T. Ruan, D. and Tuzkaya, U.R. 2006. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility design in manufacturing systems. *Information science*. (176):237-262.

9. Foster, S. 1998. Groundwater assessing vulnerability and promoting protection of a threatened resource. *Proceedings of the 8th Stockholm Water Symposium*, 10-13 August, Stockholm, Sweden, pp79-90.

10. Fathy, A. 2012. Mapping of groundwater prospective

30. Saraf, A. K. and Chaudhary, P.R. 2004. Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharges sites. *International Journal of remote sensing*. 19(10):1825-1841.
31. Samson, S. and Elangovan, K. 2015. Delineation of Groundwater Recharge Potential Zones in Namakkal District, Tamilnadu, India Using Remote Sensing and GIS, *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 43(4):769-778.
32. Saaty L, Thomas. 2004. The analytic network process dependence and feedback in decision making part 2 theory and validation examples, Available at:  
[www.knu.edu.tw/.../The%20AHP%20and%20ANP%20Part%202%202004.doc](http://www.knu.edu.tw/.../The%20AHP%20and%20ANP%20Part%202%202004.doc), Access.Date: 2010/9/17.
33. Thomas, A. Sharma, P.K. Sharma, M.K. and Sood, A. 1999. Hydrogeomorphological mapping in assessing groundwater by using remote sensing data: a case study in Lehra Gage Block, Sangrur district, Punjab. *Journal of Indian Society of Remote Sensing*. 27: 31-42.
34. UN. 2003. Water for people, water for life. The UN world water development report (WWDR), UNESCO, Publishing and Berghahn Books, UK, pp 34.
- sustainable development of renewable natural resources. Hamedan. P 11. (In Persian)
22. Regional water organization of Kurdistan. 2011. Report renew embargo of dehgholan plain. 120 Pages. (In Persian)
23. Regional water company of Kurdistan. 2012. Report recharge artificial of dehgholan plain. 30 Pages. (In Persian)
24. Rahimi, D. 2012. Mapping of groundwater potential zone in shirkurd plain. *geography and Schematization Environmental* 22(44):127-142. (In Persian)
25. Rahimi, D. and Mosavi, H. 2013. Mapping of groundwater potential zone using GIS and AHP in shahrod watershed. *geography and Schematization*. 17(44):139-159. (In Persian)
26. Rahimi, M. Solaimani, K. Babaei, Kh. and Zandi, J. 2014. Site Selection of Suitable Area for Groundwater Artificial Recharge Using Multi Criteria Decision Making Analysis & GIS Technique Case study: (Dehgolan Aquifer Plain). M.Sc. thesis of Watershed Management Engineering. Faculty of Natural Resources. Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, 102 pages. (In Persian)
27. Schematization and management organ of iran. 2004. Report Status water resource of iran. Organ press. (In Persian)
28. Saif, A. and Kargar, A. 2011. Mapping of groundwater potential zone using GIS and AHP in sirjan watershed. *Natural geography*. 4(12):75-90. (In Persian)
29. Sener, E. and Davraz, A. Ozcelik, M. 2005. An integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey. *Hydrogeology Journal*. 13:826-834.



*Abstract*

## Remote Sensing and GIS Based Assessment Groundwater Potential Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique

M. Rahimi<sup>1</sup> and K. Solaimani<sup>2</sup>

Received: 2015/02/23 Accepted: 2016/10/23

Groundwater level has dropped due to an additional utilization than recharge of these resources in the last decades. Management and prevention of these problems through exploration commensurate with aquifer potential is one of important chosen Strategic. Considering the number of parameters identifying zones or areas appropriate for assessment of groundwater potential zone, particularly aimed at feeding aquifers, the use of modern methods of production and new methods of synthesis and the decision making is inevitable. The purpose of this study is use of decision support systems and geographic information systems in order to achieve the appropriate groundwater potential zone in Dehgolan plain. In this study, the extraction of potential map is based on input effective parameters data such as: slope, geology, surface permeability, elevation, density drainage and density fault of the study area. The Satty's analytical network processing (ANP) is used as a MCDM technique to normalize the weights of various thematic layers and their classes in Super Decision software. Thematic layers were integrated using weighted overlay method in a GIS environment to generate groundwater potential and recharge zone maps. Finally, the potential map of groundwater was produced in five grades from high potential to without potential. Accordingly, many potential area with 9.6 % of total area, are located in a thick layer of Quaternary deposits and close to major waterways. The produced map was verified against existing well data (yield, transmissivity, water level). It was found that the model was useful for assessment of groundwater potential zone.

**Keywords:** *Groundwater Potential, RS, GIS, ANP, Weighted Index overlay, Dehgolan Plain*

1. M.Sc in Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU). Corresponding author Email: mohammadrahimi1366@gmail.com

2. Professor, Department of watershed management, faculty of natural resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU).