

## پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی WetSpa، تکنیک‌های GIS و RS و تحلیل سلسله مراتبی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز بالخلوچای، اردبیل)

رسول ایمانی<sup>۱</sup>، هدی قاسمیه<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۱/۰۳

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۳/۱۳

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

### چکیده

با توجه به اهمیت نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی در اکتشاف، بهره‌برداری و مدیریت منابع آب زیرزمینی، در این پژوهش نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز بالخلوچای تهیه شد. بدین منظور از ۶ معیار و ۱۲ زیرمعیار مؤثر بر نفوذپذیری و تغذیه آب زیرزمینی استفاده گردید. نقشه معیارها و زیرمعیارها با استفاده از نقشه‌های پایه موجود، مدل هیدرولوژیکی WetSpa و تکنیک‌های RS و GIS در فرمت رستری تهیه شدند. وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی تعیین شد و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی از تلفیق نقشه‌های معیار و زیرمعیارها بر اساس وزن‌های اختصاص داده شده، تهیه شد. نتایج نشان داد که ۱۰/۵۳ و ۱۴/۶۱ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه به ترتیب دارای پتانسیل آب زیرزمینی بالا و خوب بوده که در بخش‌های شرقی و جنوب غربی حوزه آبخیز قرار گرفته و در ارتباط با سنگ‌های نفوذپذیر و شیب ملایم هستند. همچنین بیش از ۵۰ درصد منطقه دارای پتانسیل آب زیرزمینی کم است که در ارتباط با سنگ‌های با نفوذپذیری کم در دامنه‌های پرشیب و کوهستانی است.

واژه‌های کلیدی: بالخلوچای، پتانسیل آب زیرزمینی، تحلیل سلسله مراتبی، سنجش از دور، مدل WetSpa

## Determination of Groundwater Potential Using WetSpa Hydrological Model, GIS and RS Techniques and Analytical Hierarchy Process (AHP) (Case Study: Balukhluchay Watershed, Ardabil)

Rasool Imani<sup>1</sup>, Hoda Ghasemieh<sup>2\*</sup>

Received: January 22, 2017

Accepted: Jun 02, 2020

<sup>1</sup> Ph.D Student, Dept. of Rangeland and Watershed Management, University of Kashan, Isfahan, Iran

<sup>2</sup> Assoc. Prof., Dept. of Rangeland and Watershed Management, University of Kashan, Isfahan, Iran

\*Corresponding Author, Email: h.ghasemieh@kashanu.ac.ir

### Abstract

Due to the importance of groundwater potential maps in exploration, exploitation and management of groundwater resources, groundwater potential map of Balukhluchay watershed was prepared in this study. Therefore, 6 criteria along with 12 sub-criteria, that affect infiltration and groundwater recharge, were used. Criteria and sub-criteria maps were prepared in raster format using existing base maps, WetSpa hydrological model and also RS and GIS techniques. Criteria and sub-criteria weights were determined using analytical hierarchy process (AHP) and groundwater potential map was prepared by combination of criteria and sub-criteria maps based on assigned weights. Results showed that 10.53 and 14.61 percents of the studied area had high and good groundwater potential respectively which were located in eastern and south-western part of watershed and were in relation with permeable rocks and low slope. Also, more than 50 percent of the area had low groundwater potential which was in relation with low-permeable rocks located in steep mountainous hills.

**Keywords:** AHP, Balukhluchay, Groundwater Potential, RS, WetSpa Model

### مقدمه

پتانسیل منابع آب زیرزمینی در نقاط مختلف می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت و کاهش اثرات تخریبی بر آبخوان‌ها ایفا کند.

تکنیک‌های مختلف ژئوهیدرولوژیکی، ژئوفیزیکی و مدل‌های کامپیوتری به منظور پتانسیل یابی آب زیرزمینی وجود دارد که بسیار پرهزینه و زمان‌بر بوده و به تخصص بالا نیازمند است (تاد و مییز ۱۹۸۰، عزرائیل و همکاران ۲۰۰۶، جها و همکاران ۲۰۱۰)، اما تکنیک سنجش از دور به دلیل دسترسی سریع و ارزان قیمت به داده‌های زمینی بدون محدودیت مکانی و زمانی (یوسفی سنگانی و همکاران ۱۳۹۳) و سیستم اطلاعات جغرافیایی به دلیل قدرت بالا در مدیریت، یکپارچه سازی و تحلیل داده‌های مکانی (اوه و همکاران ۲۰۱۱) به دو ابزار پرکاربرد در پتانسیل یابی آب زیرزمینی تبدیل شده‌اند و پژوهشگران متعددی تلفیق نقشه معیارهای

علی‌رغم وضعیت بحرانی شدید در منابع آب زیرزمینی کشور (عباسی و همکاران ۱۳۹۶)، همچنان شاهد حفر چاه‌های غیرمجاز از سوی افراد و حتی ارگان‌های ذینفع محلی بدون هیچ‌گونه برنامه‌ریزی، مطالعه و مکان‌یابی علمی و صرفاً به صورت تصادفی جهت تأمین آب شرب، کشاورزی و صنعتی هستیم. این حفاری‌های تصادفی و ناردست باعث تخریب فیزیکی آبخوان، کاهش پتانسیل و افت سطح آب زیرزمینی، افزایش هزینه‌های بهره‌برداری و همچنین تخریب کیفیت منابع آب زیرزمینی می‌شود (جوون و همکاران ۲۰۱۰، ونکاتسواران و آیاندورایی ۲۰۱۵، فاطمی و همکاران ۱۳۹۷). پتانسیل آب زیرزمینی از دیدگاه اکتشاف عبارت است از احتمال وجود آب زیرزمینی در یک منطقه مشخص (جها و همکاران ۲۰۱۰)؛ از این رو تعیین

خاشعی سیوکی و همکاران (۱۳۹۳) پتانسیل استحصال آب زیرزمینی دشت نیشابور در استان خراسان رضوی را با تلفیق نقشه‌های ضریب قابلیت انتقال، هم‌افت سطح ایستابی ۵ ساله و هم‌شوری آبخوان و کاربرد GIS, RS و تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد ارزیابی قرار دادند. صابری و همکاران (۱۳۹۱) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تاق‌دیس کمستان در استان خوزستان را با تلفیق پارامترهای بارش، شیب، خاک، پوشش زمین، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی و تراکم گسل‌ها و کاربرد GIS و تحلیل سلسله مراتبی تهیه کردند.

لذا باتوجه به لزوم تعیین پتانسیل آب زیرزمینی در مناطق مختلف، هدف اصلی این پژوهش، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی بر اساس عوامل مختلف اقلیمی، هیدرولوژیکی، توپوگرافی، لیتولوژیکی، خاکشناسی و پوشش زمینی با استفاده از تکنیک‌های RS, GIS و AHP و تأکید بر کاربرد مدل هیدرولوژیکی WetSpa در حوزه آبخیز بالخلوچای استان اردبیل می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند نقش مؤثری در مدیریت و بهره‌برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه داشته باشد.

## مواد و روش‌ها

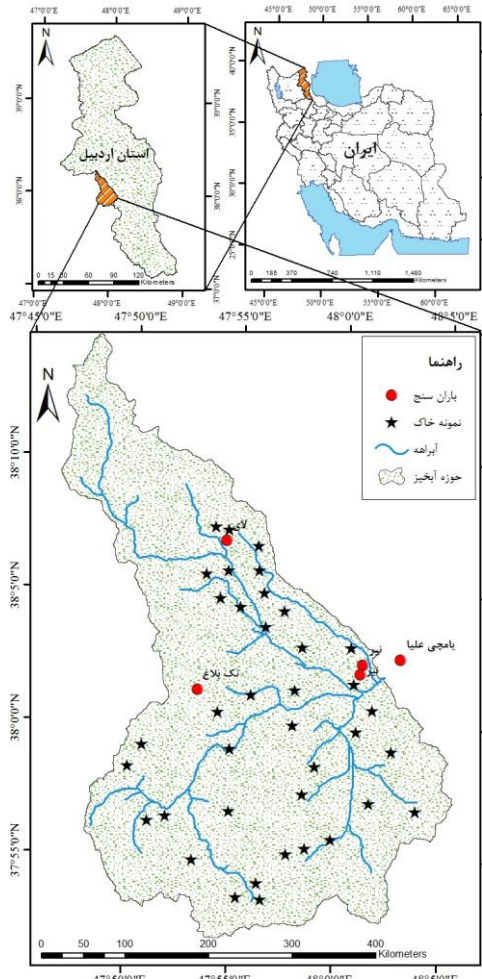
### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز بالخلوچای بخش بالادست رودخانه بالخلوچای بوده که در دامنه جنوبی کوه سبلان، جنوب غربی استان اردبیل و شمال غرب ایران قرار داشته و از نظر جغرافیایی بین  $46^{\circ} 47'$  تا  $48^{\circ} 05'$  طول شرقی و  $37^{\circ} 51'$  تا  $38^{\circ} 14'$  عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). این حوضه دارای مساحت  $56274/5$  هکتار، بارندگی سالانه  $390$  میلی‌متر، تبخیر-تعرق سالانه  $1129$  میلی‌متر و دمای متوسط روزانه  $9/5$  درجه سلسیوس بوده و بر اساس روش آمبرژه، دارای اقلیم نیمه خشک سرد است. بیشینه ارتفاع در نزدیکی قله سبلان، کمینه ارتفاع در خروجی حوضه و ارتفاع

مؤثر در نفوذ آب و تغذیه آب زیرزمینی را به کمک RS و GIS به منظور تعیین پتانسیل آب زیرزمینی مفید دانسته‌اند (گینتامو ۲۰۱۰، نادون و همکاران ۲۰۱۰). مطالعات متعددی به منظور پتانسیل یابی منابع آبی زیرزمینی در خارج و داخل کشور انجام شده است که به‌عنوان نمونه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

مندال و همکاران (۲۰۱۶) به پتانسیل یابی آب زیرزمینی در دشت ساحلی منطقه بالاسور از ایالت اودیشا هندوستان با استفاده از فاکتورهای مؤثر بر آب زیرزمینی به دست آمده از تکنیک‌های سنجش از دور، GIS و مدل هیدرولوژیکی SWAT و وزن دهی به روش AHP پرداختند. میشر شوکلا (۲۰۱۴) به ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه آبخیز تونز در منطقه الله‌آباد هندوستان با استفاده از RS و GIS و تلفیق پارامترهای زمین‌شناسی، شیب و زهکشی پرداختند. آگاروال و همکاران (۲۰۱۳) پتانسیل آب زیرزمینی منطقه آنائو از ایالت اوتار پرداش هندوستان را با استفاده از فاکتورهای مختلف مؤثر از جمله بارندگی، کاربری اراضی، شیب و خاک‌شناسی و فرایندهای تحلیل شبکه‌ای و تحلیل سلسله مراتبی مورد ارزیابی قرار دادند. بیرا و پاندویوپادها (۲۰۱۲) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز دولونگ در بنگال غربی هندوستان را با تلفیق پارامترهای کاربری اراضی، خاک، زهکشی، بارندگی، شیب و زمین‌شناسی و کاربرد RS و GIS تهیه کردند. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵) به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در حوزه‌های آبریز منتهی به دشت تبریز با استفاده از معیارهای اقلیمی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی، توپولوژی و زیست محیطی و فرایند تحلیل شبکه‌ای پرداختند. باقری و شاد (۱۳۹۴) به پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در شهرستان گرگان پرداختند. ایشان از روش شبکه عصبی مصنوعی برای تعیین وزن هریک از عوامل تأثیرگذار بر آب زیرزمینی از جمله کاربری زمین، پوشش گیاهی، شیب و خاک‌شناسی استفاده کردند.

منطقه مورد مطالعه برحسب درصد در همان محیط ساخته شدند.



شکل ۱- موقعیت کشوری و استانی منطقه مورد مطالعه، ایستگاه‌های باران‌سنجی و نمونه‌های خاک برداشت شده

### کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی

تصویر سنجنده OLI/TIRS ماهواره لندست ۸، گرفته شده در تاریخ ۲۳ ژوئن سال ۲۰۱۵ میلادی با شماره ردیف ۳۴ و ستون ۱۶۷ از وبسایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا تهیه و تصحیحات هندسی و ژئورفرنس بودن آن با استفاده از نقشه توپوگرافی منطقه در محیط GIS مورد بررسی قرار گرفت. تصویر تهیه شده پس از تعریف امضاهای طیفی (ROI) از انواع کاربری‌های موجود، به روش نظارت شده<sup>۱</sup> و از نوع

متوسط حوضه به ترتیب برابر با ۴۳۸۰، ۱۵۶۰ و ۲۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. بیشینه، کمینه و متوسط شیب نیز به ترتیب معادل ۶۵/۶۵، ۰/۰۰۷ و ۱۳/۸۲ درصد می‌باشد.

### لایه‌های اطلاعاتی

به منظور تعیین پتانسیل آب زیرزمینی در حوزه آبخیز بالخلوچای، ۶ گروه پارامتر اصلی (معیار) مشتمل بر ۱۲ لایه پارامتر فرعی (زیرمعیار) مورد استفاده قرار گرفت. پارامتر اقلیمی شامل نقشه بارندگی متوسط سالانه، پارامتر توپوگرافی شامل نقشه‌های ارتفاع و شیب، پارامتر پوشش زمین شامل نقشه‌های کاربری اراضی و تراکم پوشش گیاهی، پارامتر خاک شامل نقشه‌های درصد شن و رس، پارامتر هیدرولوژیکی شامل نقشه‌های تراکم شبکه زهکشی سطحی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی (توان نگاهداشت رواناب در چاله‌ها و فرورفتگی‌های سطح زمین) و پارامتر لیتولوژیکی شامل نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه بود که روش تهیه هر کدام از لایه‌ها به شرح زیر است.

### بارندگی متوسط سالانه

با استفاده از داده‌های بارندگی شرکت آب منطقه‌ای اردبیل، بارندگی متوسط سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه (لای، نیر، تک‌بلاغ و یامچی علیا) (شکل ۱) در طول دوره آماری ۱۱ ساله (۱۳۸۳ تا ۱۳۹۳) محاسبه گردید. نقشه بارندگی متوسط سالانه منطقه مورد مطالعه با تعیین سطح اثر هر یک از ایستگاه‌ها به روش پلیگون‌بندی تیسن و اعمال بارندگی هر ایستگاه در سطح اثر آن در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد.

### ارتفاع و شیب

پس از رقومی سازی نقشه‌های توپوگرافی ۱/۵۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه در محیط Arc Map 10.3، مدل رقومی ارتفاع و نقشه‌های طبقات ارتفاعی و شیب

<sup>1</sup> Supervised

### ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی

به منظور تهیه نقشه‌های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی از مدل هیدرولوژیکی WetSpa استفاده شد. مدل WetSpa یک مدل شبیه‌سازی بارش-رواناب و بیلان آبی است که با استفاده از نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و بافت خاک و همچنین داده‌های بارندگی، تبخیر-تعرق و دما، فرایند-های هیدرولوژیکی متعددی از جمله ضریب رواناب و ذخیره چالابی را شبیه‌سازی می‌کند (لیو و دی‌اسمیت ۲۰۰۴). نقشه‌های ضریب رواناب پتانسیل و ظرفیت ذخیره چالابی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه-های مورد نیاز مدل و جدول‌های استاندارد مربوطه تعبیه شده در مدل Wetspa، در محیط نرم‌افزار Arc View 3.2 تهیه شدند.

### سنگ‌شناسی

نقشه سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد.

به منظور تسهیل مراحل بعدی، تمامی نقشه‌ها با فرمت رستری و با اندازه سلولی ۹۰×۹۰ متر تهیه شدند.

### تعیین وزن معیار و زیرمعیارها

به منظور تعیین وزن و یا میزان تأثیرگذاری هر یک از لایه‌ها در پتانسیل آب زیرزمینی از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده گردید. روش AHP اولین بار توسط توماس ال. ساعتی (۱۹۸۰) مطرح شد که بر مقایسه زوجی و تعیین اهمیت نسبی هرکدام از عوامل مؤثر در هدف مورد نظر با قضاوت کارشناسی مبتنی است. این روش از جامع‌ترین سیستم‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است (موسوی و همکاران ۱۳۹۷) که امکان در نظر گرفتن تأثیر عوامل کمی و کیفی و تحلیل سلسله مراتبی را در حل مسائل پیچیده فراهم می‌کند (ساعتی ۱۹۸۶). وزن معیارها و زیرمعیارها به روش AHP طی مراحل زیر تعیین شد.

شبکه عصبی<sup>۱</sup> در محیط نرم‌افزار ENVI 4.7 طبقه‌بندی و نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. همچنین با استفاده از باندهای قرمز و نزدیک مادون قرمز تصویر تهیه شده، نقشه شاخص پوشش گیاهی NDVI با استفاده از ابزار استاندارد NDVI در نرم‌افزار ENVI 4.7 تهیه شد. مقدار شاخص NDVI از -۱ تا +۱ متغیر است که به ترتیب نشان دهنده زمین لخت و پوشش گیاهی با تراکم بسیار بالا است. در این پژوهش بر اساس استاندارد پیش‌فرض نرم‌افزار ENVI، مقادیر NDVI برابر با ۰/۲۵ و بیشتر به‌عنوان پوشش گیاهی انتخاب و نقشه تراکم پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه تهیه گردید.

### درصد شن و رس

تعداد ۲۸ نمونه خاک سطحی (عمق ۰ تا ۲۰ سانتی‌متری) با پراکنش تصادفی (شکل ۱) از منطقه مورد مطالعه برداشت و مقادیر شن و رس آن‌ها به روش هیدرومتری در آزمایشگاه آب و خاک دانشگاه کاشان تعیین شد. با استفاده از داده‌های نقطه‌ای به-دست آمده، نقشه‌های پهنه‌ای درصد شن و رس منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ با دقت قابل قبول در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد.

### تراکم شبکه زهکشی و گروه‌های هیدرولوژیکی

نقشه شبکه آبراهه اولیه منطقه با استفاده از مدل رقومی ارتفاع و الحاقیه Arc Hydro، در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد و با استفاده از تصویر ماهواره‌ای منطقه در نرم‌افزار Google Earth 7.1 اصلاح گردید. در نهایت نقشه تراکم آبراهه‌ای منطقه مورد مطالعه، در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد. نقشه گروه‌های هیدرولوژیکی منطقه مورد مطالعه نیز با استفاده از گزارش هیدرولوژی مطالعات توجیهی اداره کل منابع طبیعی استان اردبیل در حوزه آبخیز قره‌سو، که حوزه آبخیز بالخلوچای بخشی از آن می‌باشد، تهیه شد.

<sup>1</sup> Neural Net

و عدد ۹ به پارامتری با بیشترین تأثیر و کمترین ارجحیت و عدد ۱ به پارامتری با کمترین تأثیر در هدف تعلق گرفت.

ج: تعیین ماتریس زوجی نرمال و بردار وزنی ارجحیت نرمال شده هر یک از پارامترها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه و ماتریس زوجی نرمال معیارها و زیرمعیارها تهیه شد. در نهایت بردار وزنی معیارها و زیرمعیارها با استفاده از رابطه ۲ محاسبه گردید.

$$NP_{ij} = \frac{P_{ij}}{\sum_{i=1}^n P_{ij}} \quad [1]$$

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^m NP_{ij}}{m} \quad [2]$$

در این روابط،  $NP_{ij}$  ارجحیت نرمال شده سطر  $i$ ام و ستون  $j$ ام و  $W_i$  بردار وزنی پارامتر موجود در سطر  $i$ ام ماتریس زوجی نرمال و  $P_{ij}$  ارجحیت سطر  $i$ ام و ستون  $j$ ام،  $n$  تعداد سطر و  $m$  تعداد ستون ماتریس مقایسه زوجی است.

د: تعیین نرخ سازگاری

به منظور اطمینان از صحت قضاوت‌های انجام شده، نرخ سازگاری<sup>۱</sup> ( $CR$ ) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه گردید. اگر مقدار نرخ سازگاری کمتر یا برابر با ۰/۱ باشد، سطح قضاوت‌ها قابل قبول بوده، اما اگر مقدار آن بیشتر از ۰/۱ باشد، نیازمند تجدید نظر در قضاوت‌ها است.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad [3]$$

در این رابطه،  $CR$  نرخ سازگاری،  $CI$  شاخص سازگاری و  $RI$  شاخص تصادفی است. مقدار شاخص تصادفی با توجه به تعداد پارامترها ( $N$ ) و با استفاده از جدول استاندارد ۲ بدست آمد.

الف: تعیین ساختار سلسله مراتبی

ساختار سلسله مراتبی چهار سطحی "هدف-معیار- زیرمعیار- گزینه‌ها" در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت. پتانسیل منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز بالخلوچای به‌عنوان هدف، عوامل اقلیمی، توپوگرافی، پوشش زمین، خاکشناسی، هیدرولوژیکی و زمین‌شناسی به‌عنوان معیارها، بارندگی متوسط سالانه، ارتفاع، شیب، کاربری اراضی، تراکم پوشش گیاهی، درصد شن، درصد رس، تراکم شبکه زهکشی سطحی، گروه‌های هیدرولوژیکی خاک، ضریب رواناب پتانسیل، ظرفیت ذخیره چالابی و سنگ‌شناسی به‌عنوان زیرمعیارها و پتانسیل بالا، پتانسیل خوب، پتانسیل متوسط، پتانسیل کم و بدون پتانسیل به‌عنوان گزینه‌های ساختار سلسله‌مراتبی تعیین شدند.

ب: تعیین ارجحیت پارامترها (ماتریس مقایسه زوجی)

جدول ۱- مقادیر عددی ترجیحات در مقایسه زوجی عوامل (قدسی‌پور ۱۳۸۷).

مقدار عددی	ترجیحات (قضاوت شفاهی)
۹	کاملاً مرجح، کاملاً مهم یا کاملاً مطلوب Extremely Preferred
۷	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی Very Strongly Preferred
۵	ترجیح با اهمیت یا مطلوبیت قوی Strongly Preferred
۳	کمی مرجح، کمی مهم یا کمی مطلوب Moderately Preferred
۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان Equally Preferred
۲، ۴، ۶ و ۸	ترجیحات بین فواصل

ارجحیت پارامترها (معیارها و زیرمعیارها) با مقایسه زوجی پارامترها بر اساس مقادیر عددی ترجیحات ارائه شده در جدول ۱ تعیین و ماتریس مقایسه زوجی پارامترها تشکیل شد. بالاترین ارجحیت

<sup>1</sup> Compatibility rate (CR)

$$\lambda_i = (P_{i1} * W_1) + (P_{i2} * W_2) + \dots + (P_{im} * W_n) / W_i \quad [5]$$

که در این رابطه،  $\lambda_i$  بردار سازگاری سطر  $i$  ام،  $P_{i1}$  ارجحیت سطر  $i$  ام و ستون اول،  $P_{i2}$  ارجحیت سطر  $i$  ام و ستون دوم،  $P_{im}$  ارجحیت سطر  $i$  ام و ستون  $m$  ام،  $W_1$  بردار وزنی سطر اول،  $W_2$  بردار وزنی سطر دوم،  $W_n$  بردار وزنی سطر  $n$  ام،  $W_i$  بردار وزنی سطر  $i$  ام و  $n$  تعداد سطرها است.

شاخص سازگاری (CI) نیز با استفاده از رابطه ۴ محاسبه گردید.

$$CI = \frac{\lambda_m - n}{n - 1} \quad [4]$$

در رابطه فوق،  $\lambda_m$  میانگین بردارهای سازگاری و  $n$  تعداد پارامترها است. مقدار بردار سازگاری ( $\lambda$ ) برای هر یک از پارامترهای موجود در سطرهای ماتریس مقایسه زوجی با استفاده از رابطه ۵ محاسبه شد.

جدول ۲- جدول استاندارد مربوط به شاخص تصادفی در روش AHP

تعداد پارامترها (N)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
شاخص تصادفی (RI)	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹۰	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹	۱/۵۱	۱/۵۳	۱/۵۶	۱/۵۷	۱/۵۹

امتیاز نهایی پتانسیل آب زیرزمینی نیز طبق رابطه ۷، از مجموع حاصل ضرب نقشه‌های امتیاز معیارها در بردار وزنی هر کدام با استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد.

$$Vgwp = \sum_{i=1}^m (Wc_j * Vc_j) \quad [V]$$

در این رابطه،  $Vgwp$  امتیاز پتانسیل آب زیرزمینی،  $Wc_j$  بردار وزنی معیار  $j$  ام،  $Vc_j$  امتیاز معیار  $j$  ام و  $m$  تعداد معیارها است.

## نتایج و بحث

### ماتریس زوجی نرمال و بردار وزنی

ماتریس مقایسه زوجی نرمال شده<sup>۱</sup> و بردار وزنی معیارها و زیرمعیارها به ترتیب مطابق جدولهای ۳ و ۴ است. مطابق نتایج ارائه شده در این جدولها، از میان معیارهای مورد مطالعه، معیار زمین‌شناسی با بردار وزنی ۰/۴۲۴ به‌عنوان مؤثرترین معیار و معیار توپوگرافی با بردار وزنی ۰/۰۲۶ به‌عنوان معیار با کمترین تأثیر در پتانسیل آب زیرزمینی است. همچنین از میان زیرمعیارهای مورد مطالعه، زیرمعیار سنگ-شناسی با بردار وزنی ۰/۲۳۴ به‌عنوان مؤثرترین

### تعیین امتیاز زیرمعیارها، معیارها و امتیاز نهایی

پس از تهیه نقشه هر یک از زیرمعیارها به صورت رستری، مقادیر مربوط به سلول‌های هر لایه زیرمعیار از بیشتر به کمتر بسته به نوع لایه در چندین طبقه (حداکثر ۵ طبقه) و در محیط Arc Map 10.3 طبقه بندی گردید. با توجه به مثبت یا منفی بودن تأثیر زیرمعیار در پتانسیل وجود آب زیرزمینی، امتیاز ( $Vsc$ ) هر طبقه از بین ۱ تا ۵ تعیین گردید. به این ترتیب که طبقه با بیشترین تأثیر مثبت با امتیاز ۵ و طبقه با بیشترین تأثیر منفی با امتیاز ۱ مشخص و نقشه امتیاز زیرمعیارها تهیه شد.

پس از تهیه نقشه امتیاز زیرمعیارها و تعیین بردار وزنی هر زیرمعیار، نقشه امتیاز هر معیار طبق رابطه ۶ از مجموع حاصل ضرب نقشه امتیاز زیرمعیارها در بردار وزنی هر کدام با استفاده از ابزار Raster Calculator در محیط Arc Map 10.3 تهیه شد.

$$Vc_j = \sum_{i=1}^n (Wsc_i * Vsc_i) \quad [6]$$

در این رابطه،  $Vc_j$  امتیاز معیار  $j$  ام،  $Wsc_i$  بردار وزنی زیرمعیار  $i$  ام،  $Vsc_i$  امتیاز زیرمعیار  $i$  ام و  $n$  تعداد زیرمعیارهای هر معیار است.

<sup>1</sup> Normalized Pair-Wise Comparison Matrix

موسوی (۱۳۹۲)، رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵)، بیرا و پاندویوپادهیا (۲۰۱۲) و مانیکاندان و همکاران (۲۰۱۴) است.

نقشه امتیاز هر یک از زیرمعیارهای سنگ شناسی، رس، شن، گروه هیدرولوژیکی، ضریب رواناب، ذخیره چالابی، تراکم زهکشی، بارندگی، شیب، تراکم گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع به ترتیب مطابق شکل-های ۲ تا ۱۳ است.

#### امتیاز معیارها

نتایج مربوط به محاسبه امتیاز معیارها و پتانسیل آب زیرزمینی مطابق جدول ۷ و نتایج مربوط به نقشه معیارهای زمین‌شناسی، خاکشناسی، هیدرولوژیکی، اقلیمی و پوشش زمین توپوگرافی به ترتیب مطابق شکل‌های ۱۴ تا ۱۹ است.

جدول ۳- ماتریس زوجی نرمال و بردار وزنی معیارها.

معیار	زمین‌شناسی	خاکشناسی	هیدرولوژیکی	اقلیمی	پوشش زمین	توپوگرافی	بردار وزنی
زمین‌شناسی	۰/۴۹۵	۰/۶۱۶	۰/۴۶۱	۰/۳۷۲	۰/۳۲۹	۰/۲۷۳	۰/۴۲۴
خاکشناسی	۰/۱۶۵	۰/۲۰۵	۰/۳۴۶	۰/۲۹۷	۰/۲۴۷	۰/۲۴۲	۰/۲۵۰
هیدرولوژیکی	۰/۱۲۴	۰/۰۶۸	۰/۱۱۵	۰/۲۲۳	۰/۲۰۵	۰/۲۱۲	۰/۱۵۸
اقلیمی	۰/۰۹۹	۰/۰۵۱	۰/۰۳۸	۰/۰۷۴	۰/۱۶۴	۰/۱۵۲	۰/۰۹۶
پوشش زمین	۰/۰۶۲	۰/۰۳۴	۰/۰۲۳	۰/۰۱۹	۰/۰۴۱	۰/۰۹۱	۰/۰۴۵
توپوگرافی	۰/۰۵۵	۰/۰۲۶	۰/۰۱۶	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴	۰/۰۳۰	۰/۰۲۶

جدول ۴- ماتریس زوجی نرمال و بردار وزنی زیرمعیارها.

زیرمعیار	سنگ شناسی	رس	شن	گروه	هیدرولوژیکی	ضریب رواناب	نخیره چالابی	تراکم زهکشی	بارندگی	شیب	تراکم گیاهی	کاربری	ارتفاع	بردار وزنی
سنگ شناسی	۰/۲۷۴	۰/۳۵۱	۰/۲۶۵	۰/۲۹۴	۰/۲۸۴	۰/۲۸۰	۰/۲۳۳	۰/۲۰۷	۰/۱۸۵	۰/۱۶۱	۰/۱۲۹	۰/۱۳۲	۰/۲۳۴	
رس	۰/۱۳۷	۰/۱۷۶	۰/۲۶۵	۰/۱۹۶	۰/۲۱۳	۰/۱۶۸	۰/۱۸۶	۰/۱۷۳	۰/۱۵۹	۰/۱۴۰	۰/۱۲۲	۰/۱۱۸	۰/۱۷۱	
شن	۰/۱۳۷	۰/۰۸۸	۰/۱۳۲	۰/۱۹۶	۰/۱۴۲	۰/۱۶۸	۰/۱۴۰	۰/۱۳۸	۰/۱۳۲	۰/۱۲۰	۰/۱۲۲	۰/۱۱۸	۰/۱۳۶	
گروه	۰/۰۹۱	۰/۰۸۸	۰/۰۶۶	۰/۰۹۸	۰/۱۴۲	۰/۱۱۲	۰/۱۴۰	۰/۱۷۳	۰/۱۳۲	۰/۱۲۰	۰/۱۰۴	۰/۱۰۳	۰/۱۱۴	
هیدرولوژیکی	۰/۰۶۸	۰/۰۵۹	۰/۰۶۶	۰/۰۴۹	۰/۰۷۱	۰/۱۱۲	۰/۰۹۳	۰/۱۰۴	۰/۱۰۶	۰/۱۰۰	۰/۱۰۴	۰/۱۰۳	۰/۰۸۶	
ضریب رواناب	۰/۰۵۵	۰/۰۵۹	۰/۰۴۴	۰/۰۴۹	۰/۰۳۵	۰/۰۵۶	۰/۰۹۳	۰/۰۶۹	۰/۰۷۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۸۸	۰/۰۶۹	
نخیره چالابی	۰/۰۵۵	۰/۰۴۴	۰/۰۴۴	۰/۰۳۳	۰/۰۳۵	۰/۰۲۸	۰/۰۴۷	۰/۰۶۹	۰/۰۷۹	۰/۰۸۰	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۵۷	



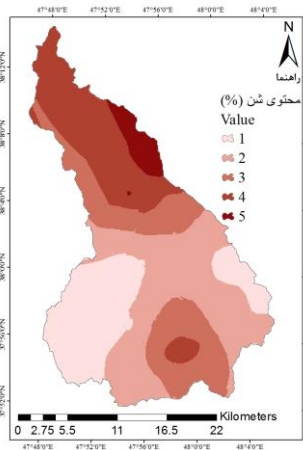
بارندگی	۰/۰۴۵	۰/۰۳۵	۰/۰۳۳	۰/۰۲۰	۰/۰۲۴	۰/۰۲۸	۰/۰۲۳	۰/۰۳۵	۰/۰۷۹	۰/۰۸۰	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۴۸
شیب	۰/۰۳۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۶	۰/۰۲۰	۰/۰۱۸	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۲۶	۰/۰۶۰	۰/۰۷۰	۰/۰۷۴	۰/۰۳۴
تراکم گیاهی	۰/۰۳۴	۰/۰۲۵	۰/۰۲۲	۰/۰۱۶	۰/۰۱۴	۰/۰۱۱	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۲۰	۰/۰۳۵	۰/۰۴۴	۰/۰۲۱
کاربری	۰/۰۳۴	۰/۰۲۵	۰/۰۱۹	۰/۰۱۶	۰/۰۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۰	۰/۰۱۷	۰/۰۲۹	۰/۰۱۶
ارتفاع	۰/۰۳۰	۰/۰۲۲	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴	۰/۰۱۰	۰/۰۰۹	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۷	۰/۰۰۹	۰/۰۱۵	۰/۰۱۳

جدول ۵- محاسبه بردار سازگاری معیارها.

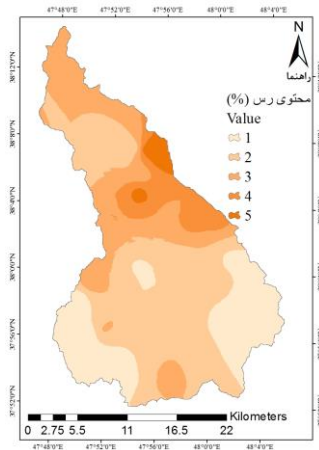
معیار	محاسبه بردار سازگاری	بردار سازگاری
زمین‌شناسی	$((1 \times 0/424) + (3 \times 0/250) + (4 \times 0/158) + (5 \times 0/96) + (8 \times 0/45) + (9 \times 0/26)) \div 0/424$	۶/۷۹۷
خاکشناسی	$((0/333 \times 0/424) + (1 \times 0/250) + (3 \times 0/158) + (4 \times 0/96) + (6 \times 0/45) + (8 \times 0/26)) \div 0/250$	۶/۹۰۶
هیدرولوژیکی	$((0/2 \times 0/424) + (0/333 \times 0/250) + (1 \times 0/158) + (3 \times 0/96) + (5 \times 0/45) + (7 \times 0/26)) \div 0/158$	۶/۶۰۴
اقلیمی	$((0/2 \times 0/424) + (0/250 \times 0/250) + (0/333 \times 0/158) + (1 \times 0/96) + (4 \times 0/45) + (5 \times 0/26)) \div 0/96$	۶/۲۸۲
پوشش زمین	$((0/12 \times 0/424) + (0/166 \times 0/250) + (0/2 \times 0/158) + (0/250 \times 0/96) + (1 \times 0/45) + (3 \times 0/26)) \div 0/45$	۶/۰۷۹
توپوگرافی	$((0/12 \times 0/250) + (0/166 \times 0/158) + (0/2 \times 0/96) + (0/333 \times 0/45) + (1 \times 0/26)) \div 0/26$	۶/۲۰۱
میانگین بردار سازگاری	$((0/111 \times 0/424)$	۶/۴۷۸

جدول ۶- محاسبه بردار سازگاری زیرمعیارها.

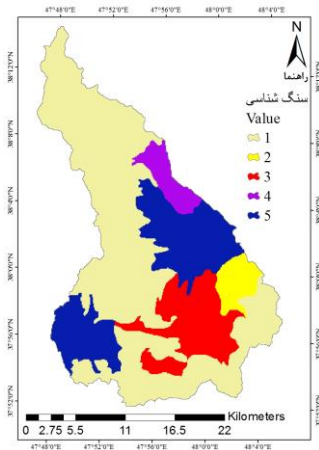
زیرمعیار	محاسبه بردار سازگاری	بردار سازگاری
سنگ شناسی	$((1 \times 0/234) + (2 \times 0/171) + (...)) + (8 \times 0/16) + (9 \times 0/13) \div 0/234$	۱۳/۲۸۸
رس	$((0/5 \times 0/234) + (1 \times 0/171) + (...)) + (7 \times 0/16) + (8 \times 0/13) \div 0/171$	۱۳/۳۹۳
شن	$((0/5 \times 0/234) + (0/5 \times 0/171) + (...)) + (7 \times 0/16) + (8 \times 0/13) \div 0/136$	۱۳/۳۸۷
گروه هیدرولوژیکی	$((0/333 \times 0/234) + (0/5 \times 0/171) + (...)) + (6 \times 0/16) + (7 \times 0/13) \div 0/114$	۱۳/۵۸۵
ضریب رواناب	$((0/250 \times 0/234) + (0/333 \times 0/171) + (...)) + (6 \times 0/16) + (7 \times 0/13) \div 0/86$	۱۳/۳۳۷
نخیره چالابی	$((0/2 \times 0/234) + (0/333 \times 0/171) + (...)) + (6 \times 0/16) + (6 \times 0/13) \div 0/69$	۱۳/۱۰۶
تراکم زهکشی	$((0/2 \times 0/234) + (0/250 \times 0/171) + (...)) + (5 \times 0/16) + (6 \times 0/13) \div 0/57$	۱۲/۹۹۵
بارندگی	$((0/166 \times 0/234) + (0/2 \times 0/171) + (...)) + (5 \times 0/16) + (6 \times 0/13) \div 0/48$	۱۲/۷۲۲
شیب	$((0/142 \times 0/234) + (0/166 \times 0/171) + (...)) + (4 \times 0/16) + (5 \times 0/13) \div 0/34$	۱۲/۲۵۸
تراکم گیاهی	$((0/12 \times 0/234) + (0/142 \times 0/171) + (...)) + (2 \times 0/16) + (3 \times 0/13) \div 0/21$	۱۲/۱۹۹
کاربری	$((0/12 \times 0/234) + (0/142 \times 0/171) + (...)) + (1 \times 0/16) + (2 \times 0/13) \div 0/16$	۱۲/۲۵۲
ارتفاع	$((0/111 \times 0/234) + (0/12 \times 0/171) + (...)) + (0/5 \times 0/16) + (1 \times 0/13) \div 0/13$	۱۲/۴۱۸
میانگین بردار سازگاری		۱۲/۹۱۲



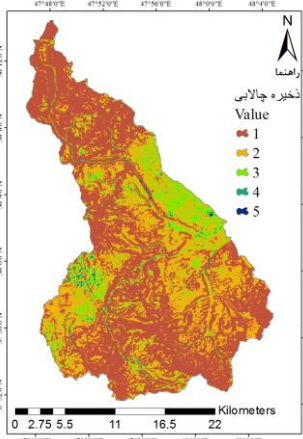
شکل ۱- نقشه امتیاز محتوی شن.



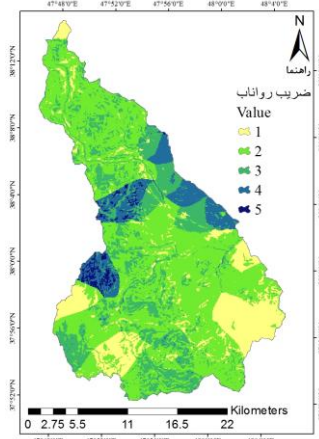
شکل ۲- نقشه امتیاز محتوی رس.



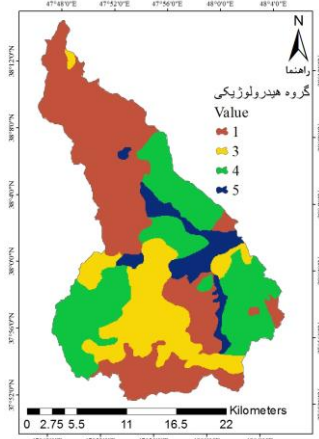
شکل ۳- نقشه امتیاز سنگ شناسی.



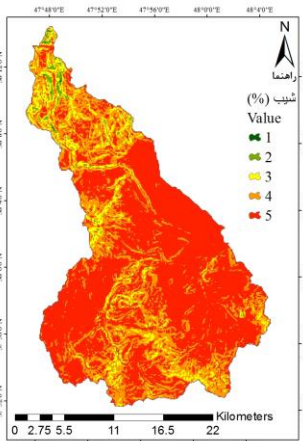
شکل ۴- نقشه امتیاز ذخیره چالابی.



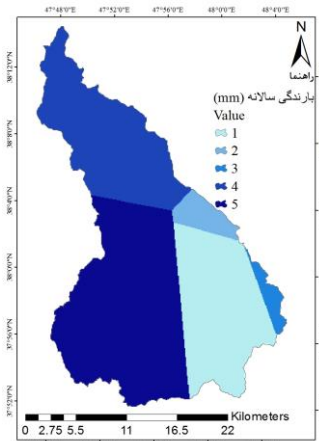
شکل ۵- نقشه امتیاز ضریب رواناب.



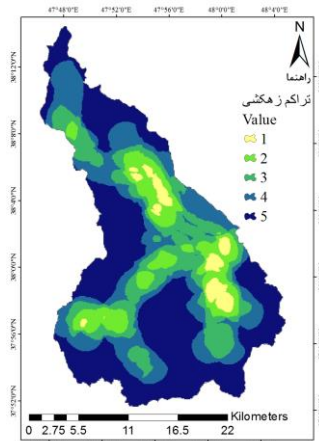
شکل ۶- نقشه امتیاز گروه هیدرولوژیکی.



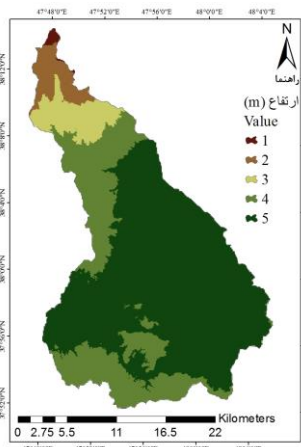
شکل ۷- نقشه امتیاز شیب.



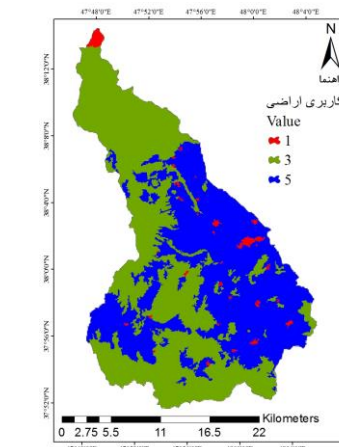
شکل ۸- نقشه امتیاز بارندگی سالانه.



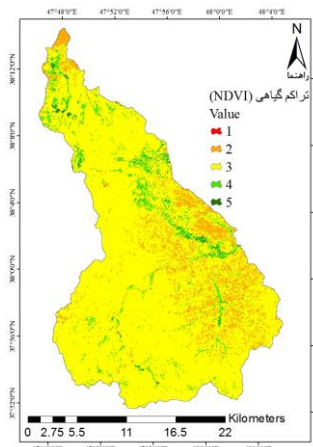
شکل ۹- نقشه امتیاز تراکم زهکشی.



شکل ۱۳- نقشه امتیاز ارتفاع.



شکل ۱۲- نقشه امتیاز کاربری اراضی.



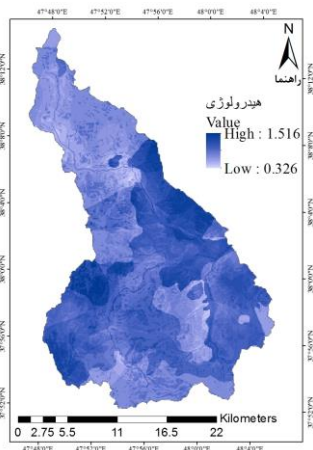
شکل ۱۱- نقشه امتیاز تراکم گیاهی.

است که احتمال نفوذ آب در آن بیشتر می‌باشد و برعکس. در معیار هیدرولوژیکی، بیشترین امتیاز مربوط به مناطق با گروه هیدرولوژیکی نفوذپذیر (A) و ضریب رواناب کم، نخیره چالابی زیاد و تراکم زهکشی بالا است که منجر به تولید رواناب کمتر و نفوذ بیشتر آب در خاک می‌شوند و برعکس. در معیار اقلیمی، بیشترین امتیاز مربوط به مناطق با بارندگی بیشتر (سطح اثر ایستگاه تکبلاغ) و کمترین امتیاز مربوط به مناطق با بارندگی کمتر (سطح اثر ایستگاه نیر) است.

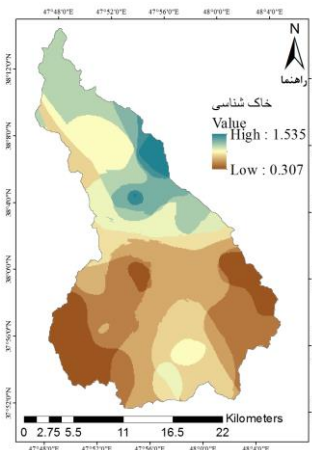
با توجه به نتایج ارائه شده در شکل‌های ۲ تا ۱۹، در معیار سنگ‌شناسی، مطابق نتایج مطالعات رحیمی (۱۳۹۰)، گاناپورام و همکاران (۲۰۰۹) و رحمتی و همکاران (۲۰۱۴)، امتیاز زیاد (پتانسیل بالای آب زیرزمینی) مربوط به سازندهای با نفوذپذیری بالا از جمله پادگانه‌ها و مخروط‌های آبرفتی و امتیاز کم مربوط به سازندهای سخت و نفوذناپذیر مانند بازالت، گدازه‌های آتشفشانی، آندزیت و تراکی آندزیت است. در معیار خاک‌شناسی مطابق نتایج رحیمی و موسوی (۱۳۹۲) و سیف و گارگر (۱۳۹۰)، بیشترین امتیاز مربوط به مناطق با محتوای رس کمتر و شن بیشتر

#### جدول ۷- محاسبه امتیاز معیارها و پتانسیل آب زیرزمینی.

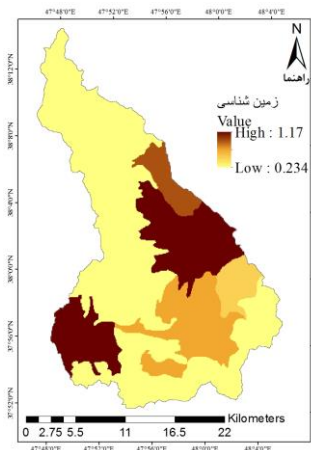
معیار/پتانسیل	محاسبه امتیاز معیارها و پتانسیل آب زیرزمینی
زمین‌شناسی	$(0.234 \times \text{سنگ‌شناسی})$
خاکشناسی	$(0.136 \times \text{محتوی شن}) + (0.171 \times \text{محتوی رس})$
هیدرولوژیکی	$(0.057 \times \text{تراکم زهکشی}) + (0.069 \times \text{نخیره چالابی}) + (0.086 \times \text{ضریب رواناب}) + (0.114 \times \text{گروه هیدرولوژیکی})$
اقلیمی	$(0.048 \times \text{بارندگی سالانه})$
پوشش زمین	$(0.016 \times \text{کاربری اراضی}) + (0.021 \times \text{تراکم گیاهی})$
توپوگرافی	$(0.013 \times \text{ارتفاع}) + (0.034 \times \text{شیب})$
پتانسیل آب زیرزمینی	$(0.045 \times \text{پوشش زمین}) + (0.096 \times \text{اقلیمی}) + (0.158 \times \text{هیدرولوژیکی}) + (0.250 \times \text{خاکشناسی}) + (0.424 \times \text{زمین‌شناسی}) + (0.026 \times \text{توپوگرافی})$



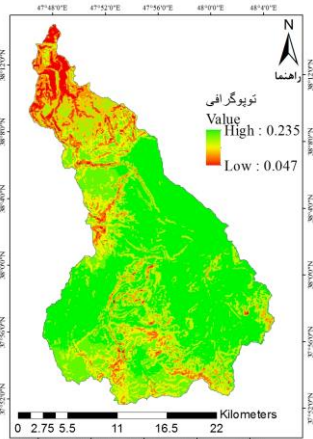
شکل ۱۴- نقشه امتیاز هیدرولوژیکی.



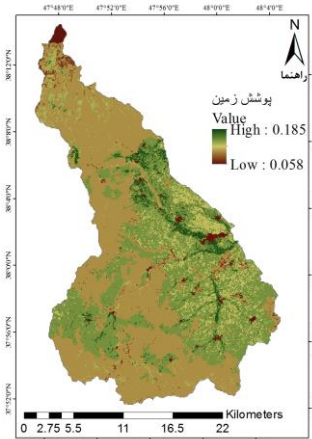
شکل ۱۵- نقشه امتیاز خاک شناسی.



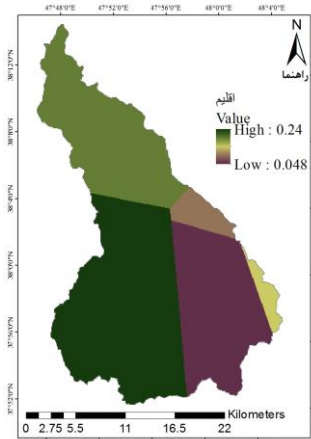
شکل ۱۶- نقشه امتیاز زمین شناسی.



شکل ۱۷- نقشه امتیاز توپوگرافی.



شکل ۱۸- نقشه امتیاز پوشش زمین.



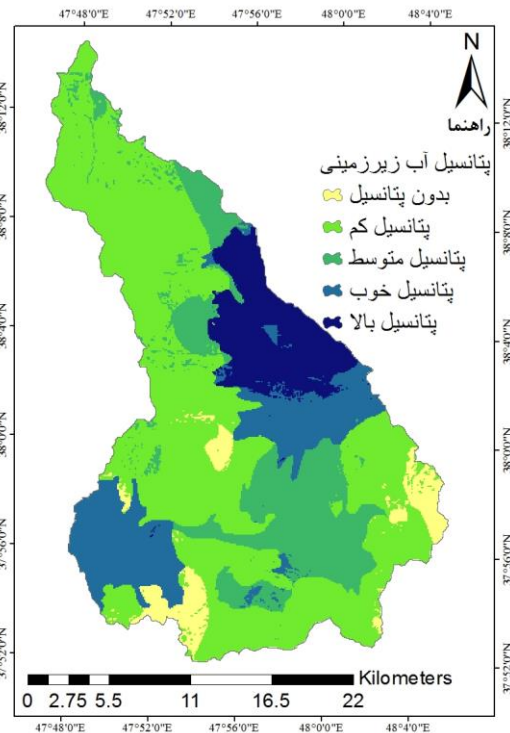
شکل ۱۹- نقشه امتیاز اقلیم.

### امتیاز نهایی

امتیاز نهایی پتانسیل آب زیرزمینی مطابق سطر آخر جدول ۷ محاسبه گردید. نتایج مربوط به نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز بالخلوچای مطابق شکل ۲۰ است. همچنین مساحت و درصد مساحت اختصاص یافته به هر طبقه از پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه مطابق جدول ۸ است. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۲۰ و جدول ۸، در حوزه آبخیز بالخلوچای، بیشترین مساحت (۵۱/۹۲ درصد) مربوط به طبقه با پتانسیل کم آب زیرزمینی و کمترین مساحت (۵/۱۳ درصد) مربوط به طبقه بدون پتانسیل آب زیرزمینی است. همچنین طبقات مربوط به پتانسیل بالا و خوب نیز به ترتیب با ۱۰/۵۳ و ۱۴/۶۱

در معیار پوشش زمین مطابق نتایج صابری و همکاران (۱۳۹۱) و ماگش و همکاران (۲۰۱۲)، بیشترین امتیاز مربوط به مناطق با تراکم پوشش گیاهی زیاد و کاربری‌های با نفوذپذیری بالا (مانند اراضی زراعی و مراتع) است که فرصت بیشتری را برای نفوذ رواناب فراهم می‌کند و بر عکس. در معیار توپوگرافی نیز مطابق نتایج یمانی و علی‌زاده (۱۳۹۴) و رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۵)، بیشترین امتیاز مربوط به مناطق با ارتفاع و شیب کمتر است و بر عکس، چرا که هرچه ارتفاع منطقه بیشتر و به صورت کوهستانی باشد، طبیعتاً از شیب بالاتری نیز برخوردار بوده و علی‌رغم بارندگی بیشتر، به دلیل افزایش سرعت حرکت رواناب‌ها و کاهش فرصت نفوذ، آب زیرزمینی پتانسیل کمتری خواهد داشت.

درصد مساحت در رتبه‌های سوم و چهارم (کاهش پتانسیل) از میان ۵ طبقه پتانسیل قرار دارند.



شکل ۲۰- نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز بالخلوچای

جدول ۸- مساحت و درصد مساحت کلاس‌های پتانسیل آب زیرزمینی.

کلاس پتانسیل	مساحت (ha)	درصد مساحت
پتانسیل بالا	۵۹۲۶/۵	۱۰/۵۳
پتانسیل خوب	۸۲۱۹/۹	۱۴/۶۱
پتانسیل متوسط	۱۰۰۲۸/۵	۱۷/۸۲
پتانسیل کم	۲۹۲۱۵/۴	۵۱/۹۲
بدون پتانسیل	۲۸۸۴/۲	۵/۱۳

### نتیجه گیری کلی

با توجه به وضعیت بحرانی منابع آب و بیلان منفی در اغلب دشت‌های کشور و عدم وجود روش علمی قوی و دقیق به منظور تعیین پتانسیل آب

زیرزمینی با استفاده از داده‌های زمینی در دسترس و زمان‌بر و پرهزینه بودن اجرای روش‌های اکتشافی و پتانسیل‌یابی ژئوفیزیکی، می‌توان به این نتیجه رسید که ترکیب رهیافت تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین سهم اثرگذاری عوامل مختلف مؤثر بر آب زیرزمینی با تکنیک‌های RS و GIS به منظور تهیه و تلفیق این عوامل، یک روش مفید، سریع و ارزان در این راستا است. نتایج مربوط به تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی حوزه آبخیز بالخلوچای در استان اردبیل با استفاده از این روش (شکل ۲۰) نشان داد که ۱۰/۵۳ و ۱۴/۶۱ درصد از مساحت منطقه مورد مطالعه (به ترتیب ۸۲۱۹/۹ و ۵۹۲۶/۵ هکتار) به ترتیب دارای پتانسیل‌های بالا و خوب برای آب زیرزمینی است. این مناطق در بخش‌های شرقی و جنوب غربی منطقه واقع بوده و در ارتباط با سازنده‌های نفوذپذیر، محتوی رس کم و شن زیاد، ضریب رواناب کم، ظرفیت ذخیره چالابی بالا، بارندگی و پوشش گیاهی بیشتر، کاربری‌های با نفوذپذیری بالا (عمدتاً زراعت) و شیب و ارتفاع کم است. لذا علی‌رغم اینکه این روش یک روش اولیه و سطحی در اکتشاف منابع آب زیرزمینی است، پیشنهاد می‌شود که نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تولید شده در این پژوهش به-عنوان نقشه اولیه و پایه در مطالعات ژئوفیزیکی و اکتشاف دقیق‌تر منابع آب زیرزمینی، تعیین مناطق مناسب حفر چاه‌های جدید بهره‌برداری بدون مطالعات ژئوفیزیکی و برنامه‌ریزی‌های مربوط به تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد. نکته قابل ذکر این است که بهره‌برداری‌ها حتماً متناسب با خصوصیات هیدرولیکی و ژئوهیدرولیکی منطقه و با توجه به وضعیت بیلان آب زیرزمینی منطقه باشد.

## منابع مورد استفاده

- Abasi F, Azarakhshi M, Chapi K and Bashiri M, 2016. Spatial and Temporal Variations of Groundwater Level in Qorveh-Dehgolan Plain and its Relationship with Drought. *Water and Soil Science* 25(2/3):143-155.
- Agarwal E, Agarwal R, Garg RD and Garg PK, 2013. Delineation of Groundwater potential zone: An AHP/ANP approach. *Journal of Earth System Science* 122(33): 887-898.
- Bagheri A and Shad R, 2015. Determining Groundwater Resource Potential Using Remote Sensing and Geographical Information System. Pp. 1-6. The 3d National Conference on Environment, Energy and Biodefense. 5 June, Tehran, Iran. (In Persian)
- Bera K, and Bandyopadhyay J, 2012. Ground Water Potential Mapping in Dulung Watershed Using Remote Sensing & GIS Techniques, West Bengal, India. *International Journal of Scientific and Research Publications* 2(12): 1-7.
- Fatemi SE, Ghobadian R, and Pakbin M, 2017. Forecasting Groundwater Depth Using Time series Spectral Analysis. *Water and Soil Science* 28(1):145-158.
- Ganapuram S, Kumar GTV, Krishna IVM and Kahya E, 2009. Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi Basin Using Remote Sensing Data and GIS. *Advances in Engineering Software* 40 (2009): 506-518.
- Ghodsipoor H, 2008. Analytical Hierarchical Process. Amirkabir University of Technology, Iran. (In Persian)
- Gintamo TT, 2010. Groundwater Potential Elevation Based on Integrated GIS and Remote Sensing Techniques, in Bilate River Catchment: South Rift Valley of Ethiopia. M.Sc. Thesis of Hydrogeology, University of Addis Ababa.
- Israil M, Al-hadithi M and Singhal DC, 2006. Application of a Resistivity Survey and Geographical Information System (GIS) Analysis for Hydrogeological Zoning of a Piedmont Area, Himalayan foothill Region, India. *Hydrogeology Journal* 14(5): 753-759.
- Jha MK, Chowdary VM and Chowdhury A, 2010. Groundwater Assessment in Salboni Block, West Bengal (India) Using Remote Sensing, Geographical Information System and Multi-criteria Decision Analysis Techniques. *Hydrogeology Journal* 18(7): 1713-1728.
- Joven PA, Yamaguchi S and Takada J, 2010. Use of GIS for Groundwater Development Potential: Characterization of Agusan Del Norte, Philippines. Pp. 1-4. Proceedings of the JASID 11th Spring Conference. 5 June, Tokyo, Japan.
- Khashei Sivaki A, Ghahreman B and Kuchakzadeh M, 2011. Evaluation the Potential of Water Extraction from Aquifer Using Fuzzy Hierarchical Process (Case Study: Nishapur Plain). *Journal of Iranian Water Research* 5(9):171-180. (In Persian)
- Liu YB and De Smedt F, 2004. WetSpa Extension, Documentation and User Manual. Department of Hydrology and Hydraulic Engineering. Vrije University Brussel, Belgium.
- Magesh NS, Chandrasekar N and Soundranayagam GP, 2012. Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, GIS and MIF Techniques. *Geoscience Frontiers* 3(2):189-196.
- Mandal U, Sahoo S, Munusamy SB, Dhar A, Panda SN, Kar A and Mishra PK, 2016. Delineation of Groundwater Potential Zones of Coastal Groundwater Basin Using Multi-Criteria Decision-Making Technique. *Water Resources Management* 30(12): 4293-4310.
- Manikandan J, Kiruthika AM and Sureshbabu S, 2014. Evaluation of Groundwater Potential Zones in Krishnagiri District, Tamil Nadu Using MIF Technique. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 3(3): 10524-10534.
- Mishra Shukla Sh, 2014. Spatial Analysis for Groundwater Potential Zones Using GIS and Remote Sensing in the Tons Basin of Allahabad District, Uttar Pradesh, (India). Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section A: Physical Sciences 84(4): 587-593.
- Mousavi SA, Sarmadian F and Taati A, 2018. Land Suitability Evaluation of Rainfed Barley Using Analytical Hierarchy Process Technique and GIS in a Part of Kuhin Area. *Water and Soil Science* 28(2):177-189. (In Persian)

- Nadun SNEM, Maarof I, Ghazali R, Samad AM and Adnan R, 2010. Sustainable Groundwater Potential Zone Using Remote Sensing and GIS. Pp. 104-109. Proceedings of the 6th International Colloquium on Signal Processing and its Applications. 21-23 May, Malacca City, Malaysia.
- Oh HJ, Kim YS, Choi JK, Park E and Lee S, 2011. GIS Mapping of Regional Probabilistic Groundwater Potential in the Area of Pohang City, Korea. *Journal of Hydrology* 399(3-4): 158-172.
- Rahimi D, 2011. Determining Groundwater Resource Potential (Case Study: Shahrekord Plain). *Journal of Geography and Environmental Planning* 22(4):127-142. (In Persian)
- Rahimi D and Mousavi SH, 2013. Determining Groundwater Potential using AHP Model and GIS Technique (Case Study: Shahrud Watershed, Bastam). *Journal of Geography and Planning* 17(44):139-159. (In Persian)
- Rahmati O, Nazari Samani A, Mahdavi M, Pourghasemi HR and Zeinivand H, 2014. Groundwater potential mapping at Kurdistan region of Iran using analytic hierarchy process and GIS, *Arabian Journal of Geosciences* 8(9): 7059-7071.
- Rezaie moghadam MH, Rahimpour T and Nokhostin rouhi M, 2016. Determining Groundwater Resource Potentials Using Analytical Hierarchical Process in Geographic Information System Environment (Case Study: Watersheds Ending to Tabriz Plain). *Journal of Ecohydrology* 3(3):379-389. (In Persian)
- Saaty TL, 1980. *The Analytical Hierarchy Process, Pinning Priority, Resource Allocation*. RWS Publication, USA.
- Saaty TL, 1986. Axiomatic Foundation of Analytical Hierarchy Process. *Management Science* 31(7): 841-855.
- Saberi A, Rangzan K, Mahjouri R and Keshavarzi MR, 2013. Determining the Potential of Groundwater Resource using Remote Sensing, GIS and Analytical Hierarchical Process (AHP) Method in Kamestan Anticline-Khuzestan Province. *Journal of Advanced Applied Geology* 91(6):11-20. (In Persian)
- Seif A and Kargar A, 2011. Determining Groundwater Potential using Analytical Hierarchical Process and Geographic Information System (Case Study: Sirjan Basin). *Journal of Physical Geography* 4(12):75-92. (In Persian)
- Todd DK and Mays LW, 1980. *Groundwater Hydrology*. Wiley Canada, New York.
- Yamani M and Alizadeh SH, 2015. Determining Groundwater Potential Using Analytical Hierarchical Process "AHP" (Case Study: Abadeh Basin - Eqlid Fars). *Journal of Hydrogeomorphology* 93(1):131-411. (In Persian)
- Yousefi Sangani k, Mohammadzadeh H and Akbari M, 2014. An Evaluation of Groundwater Potential Zones Using Combined Fuzzy-AHP Method and GIS/RS Technologies: A Case Study of NE Hezarmasjed Mountain, Khorasan Razavi Province. *International Bulletin of Water Resources & Development* 2(4):127-141. (In Persian)
- Venkateswaran S and Ayyandurai R, 2015. Groundwater Potential Zoning in Upper Gadilam River Basin Tamil Nadu. Pp. 1275-1282. Proceedings of the International Conference on Water Resources, Coastal and Ocean Engineering (ICWRCOE'2015). 12-14 March, Karnataka, India.