



## تعیین پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از RS و GIS: مطالعه موردی منطقه مهران، ایران

سasan محمودی جم<sup>۱\*</sup>، سید حسین قربیشی نجف‌آبادی<sup>۲</sup>، علیرضا وفایی نژاد<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه شهید بهشتی تهران  
۲- استادیار دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط زیست دانشگاه شهید بهشتی تهران

### چکیده:

با افزایش تقاضای آب به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی و توسعه کشاورزی، بدبست آوردن منابع آب‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. به طوری که در طول چند دهه اخیر، جامعه علمی بین‌المللی علاقه زیادی به این موضوع نشان داده است و در نتیجه، بسیاری از دانشمندان، از تکنیک‌های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات مکانی (GIS) برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی استفاده کرده‌اند. بکارگیری توام RS و GIS با نقشه‌های حوزه‌ای زمین، به خوبی به عنوان تکنیکی قدرتمند برای نقشه‌برداری زیرزمینی و اکتشاف، به ویژه در مناطق خشک شناخته شده است. در این مقاله ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مهران مورد بررسی قرار گرفته است. نقشه نهایی با استفاده از روی‌هم گذاری وزنی هر یک از پارامترهای کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، ارتفاع، شب، چگالی خطواره، چگالی زهکشی و عمق آب زیرزمینی و با استفاده از RS و GIS حاصل شد. نقشه نهایی نشان داد که در منطقه مهران، ۰.۳۸٪ منطقه دارای پتانسیل کم، ۰.۳۶٪ دارای پتانسیل متوسط، و ۰.۲۷٪ دارای پتانسیل زیاد آب زیرزمینی هستند. این تحقیق نشان داد که تلفیق RS و GIS می‌تواند با دقت خوبی پتانسیل آب زیرزمینی مناطق مختلف را نشان دهد.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، RS، GIS، منطقه مهران

## ۱- مقدمه

یکی از مسائل مهم و قابل توجه در سراسر دنیا حفظ و نگهداری از منابع آب است. کشور ایران از جمله کشورهایی است که همواره با پدیده‌ی خشکسالی و کم آبی مواجه می‌باشد به طوری که بحران آب و خاک نزدیک به ۹۰ درصد پهنه‌ی ایران را تهدید می‌کند. با توجه به بحرانی بودن وضعیت آب در کشور استفاده از آب‌های سطحی و سیلاب‌ها و همچنین به کارگیری انواع تکنیک‌های موجود در این زمینه، یک امر حیاتی و اجتناب ناپذیر است.

با افزایش تقاضای آب به دلیل افزایش جمعیت، شهرنشینی و توسعه کشاورزی، بدست آوردن منابع آب‌های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک بسیار مورد توجه قرار گرفته است. بکارگیری توان تکنیک‌های<sup>۱</sup> RS و GIS با نقشه‌های حوزه‌ای زمین، به خوبی به عنوان تکنیکی قدرتمند برای نقشه‌برداری زیرزمینی و اکتشاف، به ویژه در مناطق خشک شناخته شده است.

در طول چند دهه اخیر، جامعه علمی بین المللی علاقه زیادی به این موضوع نشان داده است و در نتیجه، بسیاری از دانشمندان، از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی استفاده کرده‌اند. اطلاعات سنجش از دور (RS) با استخراج و تجزیه و تحلیل ساختارهای زمین‌شناسی، مورفولوژی سطح و ویژگی‌های آبی حوزه، برای ارزیابی کیفی منابع آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

نقشه‌برداری<sup>۲</sup> تغذیه آب‌های زیرزمینی بستگی به چندین متغیر گوناگون و همچنین نیاز به یک دستکاری سازگار محاسباتی از اطلاعات جغرافیایی در مقیاس‌های مختلف فضایی دارد. سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) یک سیستم نرم افزاری است که به طور گسترده برای ذخیره سازی، مدیریت، تجزیه و تحلیل و نمایش بصری اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲].

GIS یک ابزار قدرتمند تجزیه و تحلیل مکانی است و همچنین یک سکو<sup>۳</sup> برای یکپارچه‌سازی لایه‌های مختلف اطلاعات ارائه و اجازه دستکاری اطلاعات مکانی به روشهای مختلف را می‌دهد. با توجه به این، حتی اگر دلیل دیگری جز تامین دسترسی به داده‌های ورودی مورد نیاز و توانایی تحلیل بصری نتایج مدل‌سازی وجود نداشته باشد، GIS برای تحلیل‌های مکانیابی و مدل‌سازی بسیار با ارزش است [۳].

آب‌های زیرزمینی حدود ۳۰٪ از آب‌های شیرین زمین را شامل می‌شود، در حالی که منابع آب‌های سطحی شامل دریاچه‌ها و رودخانه‌ها چیزی در حدود ۰٪ آن را در بر می‌گیرد. تقاضا برای آب شیرین در جهان به طرز محسوسی در نتیجه صنعتی شدن و رشد سریع جمعیت، افزایش یافته است. از این رو، استخراج آبهای زیرزمینی بخشی جدایی ناپذیر در بسیاری از رویکردهای مدیریت آب تبدیل شده است، به ویژه برای مناطق روسیه. مناطق خشک به دلیل تنوع بارش، تبخیر بالا و شرایط منحصر به فرد خاک، به طور متناوب دوره‌های خشکسالی را تجربه می‌کنند. بنابراین کمبود دسترسی به منابع آب سطحی باعث بهره‌برداری بیش از حد ساکنان این مناطق از آبهای زیرزمینی برای مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی شده است.

تراز سطح مخازن آب‌های زیرزمینی زمانی افت می‌کند که نرخ پمپاژ بیشتر از نرخ دوباره پر شدن باشد. از این رو مناطق با نرخ بیش از حد خروج آب‌های زیرزمینی، کاهش حجم قابل توجهی در مخازن آب‌های زیرزمینی را

<sup>1</sup> Remote sensing

<sup>2</sup> Geographic Information Systems

<sup>3</sup> Mapping

<sup>4</sup> Platform

تجربه می‌کنند. این امر می‌تواند به کاهش سطح آب چاهها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها، خراب شدن کیفیت آب، فرونشست زمین و هزینه‌های پمپاژ بالاتر شود.

آب زیرزمینی منبع بسیار مهمی برای بسیاری از مصرف کنندگان در ایران است. مدیران آب کشور برای برنامه‌ریزی و اصلاح روش مدیریت بر منابع آب زیرزمینی نیاز به دانستن وضعیت کنونی و نحوه تغییرات و در کل پتانسیل‌سنجی وجود یا عدم وجود آب زیرزمینی دارند.

تعداد مقالات بیشمار منتشر شده در ضمینه برنامه‌های کاربردی مربوط به مسائل هیدرولوژی، از جمله RS و GIS، می‌توانند توانایی این ابزارها را در نقشه‌برداری اکتشاف آب‌های زیرزمینی اثبات کنند. در این میان می‌توان به مطالعات Tweed و همکاران (۲۰۰۷) اشاره کرد که در آن توضیح داده شد که چگونه داده‌های حاصل از RS و GIS می‌تواند برای تخمین مناطق شارژ و دشارژ و تعامل آب‌های سطحی و زیرزمینی قابل استفاده باشند [۴]. انتخابی و مقدم (۲۰۰۷) با استفاده از RS تخمینی از تغذیه آب زیرزمینی با وجهه به مشاهدات رطوبت خاک، ارائه کردند [۵]. RS از طریق تعیین خطواره‌ها اهمیت بسیار زیادی در هیدرولوژی هارد راک دارد که می‌تواند شکستگی سنگ‌هایی که محدود به یک ناحیه آب‌های زیرزمینی است شناسایی کند [۶]. همچنین RS علاوه بر کمک در ضمینه کشف نواحی بالقوه برای اکتشاف آب زیرزمینی، می‌تواند به برآورده کل منابع آب زیرزمینی در منطقه‌های شامل چندین ناحیه گوناگون و انتخاب مکان‌های مناسب برای حفاری و تغذیه مصنوعی کمک کند. RS یک ابزار مفید برای مناطقی است که در آن پوشش دقیقی از نقشه‌های زمین شناسی و نقشه‌های هیدرولوژیکی وجود ندارد و وسعت داده‌ها ناکافی است [۷]. ادغام و روی هم‌گذاری داده‌ها با GIS اجازه می‌دهد تا داده‌های مکانی حاصل از چند منابع اطلاعاتی مختلف به صورت یک‌جا با یکدیگر مورد پردازش قرار گیرند. استفاده از GIS برای نقشه‌برداری پتانسیل آب زیرزمینی، قدرت ذخیره کردن و دستکاری و تجزیه و تحلیل داده‌ها در فرمتهای مختلف را به ما می‌دهد [۸]. در سال‌های اخیر، بسیاری از تکنیک‌های مختلف توسط محققان برای تهیه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی و یا انتخاب مکان مناسب برای گمانهزنی جهت دست‌یابی به آب آشامیدنی استفاده شده است. Srivastava و Gupta (۲۰۱۰) با استفاده از RS و GIS به شناسایی مناطق بالقوه آب زیرزمینی پرداختند [۹]. Al Saud (۲۰۱۰) روشی را پیشنهاد کرد که در آن با استفاده از RS و GIS و در نظر گرفتن عوامل بارش، سنگ‌شناسی، شکستگی سنگ، شب، زهکشی و پوشش زمین به نقشه پتانسیل آب زیرزمینی دست یافت [۱۰]. Qaddah و Elewa (۲۰۱۱) یک روش توسعه یافته برای نقشه‌برداری پتانسیل آب زیرزمینی در شبه جزیره سینا (مصر) با استفاده از RS و GIS و استفاده از هشت پارامتر بارش، شارژ خالص آب‌های زیرزمینی، سنگ‌شناسی، نفوذپذیری، تراکم خطواره، شب، تراکم زهکشی و عمق را به آبهای زیرزمینی ارائه دادند [۱۱]. Konkul و همکاران (۲۰۱۴) با اعمال رووشی مشابه به نقشه‌برداری پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه Sai Huay (تایلند) پرداختند [۱۲].

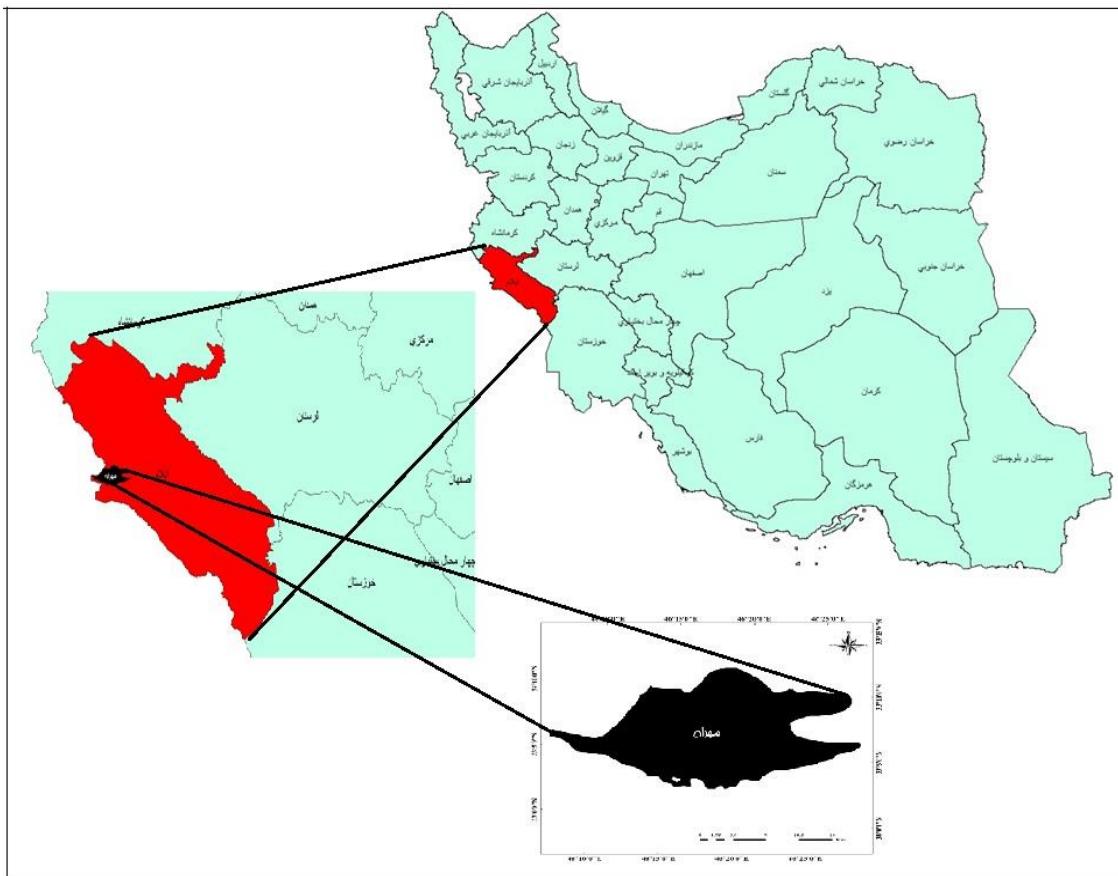
## ۲- مواد و روش‌ها

### ۱-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مهران در قسمت غربی ایران، بین  $۳۳^{\circ} ۳۳' \text{ تا } ۳۳^{\circ} ۲۲'$  درازای شرقی قرار دارد (شکل ۱)). وسعت آن حدود ۲۲۶ کیلومتر مربع را پوشش داده است. ارتفاع این منطقه نسبت به سطح دریا، از ۹۱ متر تا ۲۷۱ متر متغیر است و میانگین آن برابر  $۱۰۵$  متر می‌باشد. شرایط آب و هوایی این منطقه به صورت نیمه خشک است و طیف وسیعی از منطقه با این شرایط تعریف شده است (شرکت مدیریت منابع آب ایران، ۱۳۹۲).

زمین‌شناسی منطقه مورد در پهنه ساختاری زاگرس واقع است. همچنین آبخوان منطقه مهران توسط نفوذ بارش و جریان‌های نشستی به سیستم آب‌های زیرزمینی و قنات‌ها، شارژ می‌شود. بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در این منطقه، شامل عمیق، نیمه عمیق و چشممه است. بدیهی است که جهت جریان آب زیرزمینی به‌طور کلی از شرق آبخوان

به طرف غرب آن و شیب عمومی توپوگرافی از شرق به غرب است. ارزیابی آب‌های زیرزمینی این منطقه بهجهت استفاده از آن برای آب آشامیدنی مورد نیاز و هچنین آب مورد نیاز برای تجهیزات مورد استفاده برای خروج آب زیرزمینی به منظور آبیاری، بسیار مهم است. چرا که زندگی مردم در این منطقه به کشاورزی دیم و زراعت آبیاری بسیار وابسته است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه (مهران) با توجه به نقشه ایران

## ۲-۲-۱- داده‌های مورد استفاده

### ۲-۲-۲- عمق آب زیرزمینی

عمق آب زیرزمینی، از سطح زمین تا تراز سطح آب زیرزمینی تعریف شده و تعیین کننده هزینه مصرف آب و برداشت آن است. به طور کلی، هر چه سطح آب عمیق‌تر باشد، هزینه استخراج آب زیرزمینی بیشتر است. وزن این عامل ۳٪ است و به این منظور نقشه در ۵ کلاس مختلف، کلاس‌بندی شد (زیر ۱۹ متر بهترین حالت (امتیاز ۹۰) و بالای ۷۴ متر بدترین حالت (امتیاز ۱۰)). در مناطق آبی رنگ، سطح آب بالاتر است و راحت‌تر می‌توان آب را استخراج کرد و در مناطق قرمز رنگ، سطح آب بسیار پایین و استخراج آب بسیار مشکل است (شکل (۲)).

### ۲-۲-۲- شیب

به طور کلی، نقش شیب در توانایی ماندن آب به اندازه کافی بر روی سطح زمین است تا بتواند در زمین نفوذ کند و معمولاً شیب‌های تند نشانگر سرعت بالای آب است. بنابراین مشاهده شده است که در حوزه‌های با شیب زیاد، تعذیه آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. در مقابل، شیب‌های نسبتاً ملایم، پتانسیل نفوذ آب را به داخل زمین افزایش می‌دهد (شکل (۲(ب))).

## ۲-۲-۳- ارتفاع

طبقات ارتفاع از دیگر فاکتورهای موثر در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد که نقش مهمی در ضریب رواناب و نفوذپذیری و میزان آن‌ها دارد. این فاکتور در گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش موثر دارد. به عبارتی در ارتفاع زیاد نفوذ آب به درون زمین کمتر و رواناب بیشتر است. بنابراین افزایش ارتفاع، تاثیر معکوس بر پتانسیل یابی آبهای زیرزمینی دارد (شکل (۲پ)).

## ۲-۲-۴- سنگ‌شناسی

این عامل با وزن ۳۰٪، یکی از عوامل مهم در پتانسیل آب زیرزمینی و نفوذ آب به داخل زمین می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های ۱/۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی، نقشه مورد نیاز استخراج و در ۴ کلاس مختلف، از نظر میزان نفوذپذیری، کلاس‌بندی شد (شکل (۲ت)).

## ۲-۲-۵- تراکم زهکشی

تراکم زهکشی برابر است با طول کل رودخانه‌ها در حوزه زهکشی، تقسیم بر مساحت حوزه زهکشی. مطالعات نشانگر این است که نوع شبکه زهکشی هر منطقه توسط لیتوژوژی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی و ساختارهای تکتونیکی و زمین‌شناسی منطقه کنترل می‌شود. بر این اساس است که آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند (شکل (۲ث)).

## ۲-۲-۶- تراکم خطواره (گسله‌ها)

خطواره یکی از ویژگی‌های خطي در یک چشم‌انداز بزرگ است که یک ساختار زیرین زمین‌شناسی مانند گسل را بیان می‌کند. عوامل ساختمانی و تکتونیکی نظیر درزهای گسل‌ها به عنوان نقاط ضعف واحدهای زمین‌شناسی به شمار می‌روند که اصطلاحاً به آن‌ها خطواره می‌گویند و راهی برای عبور آسان آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی می‌باشد. تراکم شکستگی معیاری برای خرد شدگی سازند می‌باشد. افزایش تراکم درزه و گسل‌ها به طور کلی نقش موثری در نفوذ و انتقال آب زیرزمینی دارد (شکل (۲ج)).

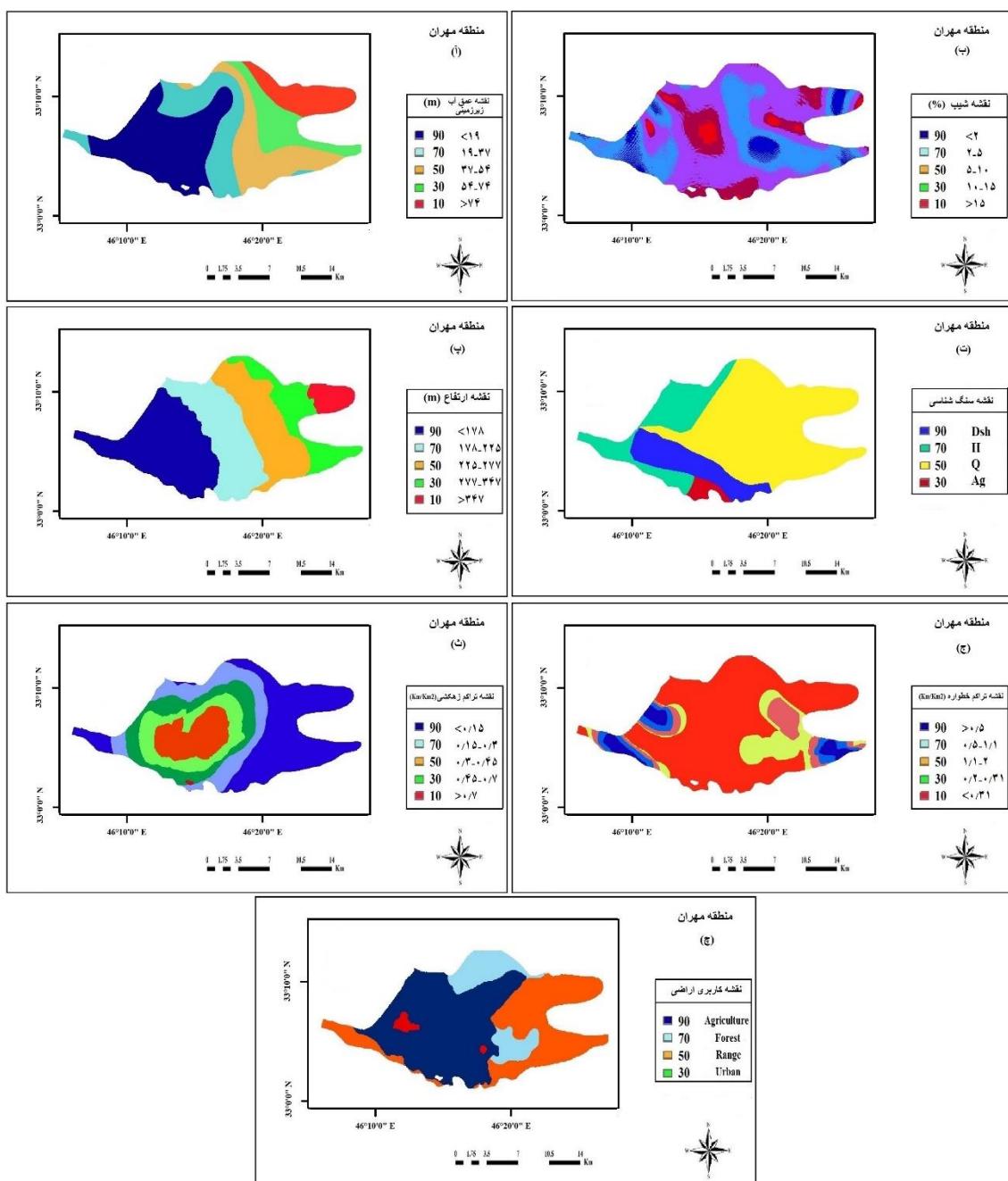
## ۲-۲-۷- کاربری اراضی

کاربری اراضی در مسئله پتانسیل‌سنجدی آب زیرزمینی به عنوان یک پارامتر تعیین‌کننده و موثر عمل می‌کند با این توضیح که حتی با فراهم بودن تمامی شرایط نظری عمق آب زیرزمینی مناسب، نرخ نفوذ بالا، شیب مناسب، وجود رواناب کافی و... در صورتی که محل مورد نظر به لحاظ کاربری اراضی مناسب نباشد می‌باشد از محل‌های پیشنهادی حذف گردد (شکل (۲چ)).

## ۲-۳- وزن دهی به لایه‌ها

در پتانسیل‌سنجدی آب زیرزمینی، هر یک از پارامترها نسبت به نفوذ آب، دارای اثرباری و نقش‌های متفاوت هستند. در نتیجه در این مرحله به کلاس‌بندی هر یک از لایه‌ها پرداخته و به هر لایه، با توجه به مقایسه دو به دوی پارامترها، وزنی خاص داده شد. افزایش وزن داده شده به هر لایه، نشان‌دهنده تاثیر بیشتر آن لایه نسبت به سایر لایه‌های است. در این مرحله از روش AHP<sup>۱</sup> (فرآیند تحلیل سلسه مراتبی) برای وزن دهی به لایه‌ها مورد استفاده قرار گرفت. کلاس‌بندی و وزن‌های هر لایه در جدول‌های (۱، ۲ و ۳) نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> Analytic hierarchy process



شکل ۲: نقشه‌های مورد استفاده برای پتانسیل‌سنجی آب زیرزمینی

#### ۴-۲- تلفیق لایه‌ها و استخراج نقشه نهایی

در این مرحله برای رسیدن به هدف نهایی و دست یافتن به نقشه نهایی با توجه به فرمول زیر، از روش همپوشانی لایه‌ها در محیط GIS استفاده شد.

$$M = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

در این معادله،  $M$  برابر است با ارزش هر پیکسل از پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه،  $w_i$  وزن هر یک از نقشه‌ها و  $x_i$  ارزش هر پیکسل در نقشه مورد نظر با توجه به کلاس‌بندی آن. نقشه نهایی حاصل از همپوشانی نقشه‌ها، در شکل (۳) نشان داده شده است.

**جدول ۱: مقایسه دو به دوی فاکتورهای اولیه که بر پتانسیل آب زیرزمینی تاثیر می‌گذارند**

کاربری اراضی	ستگشناستی	ارتفاع	شیب	چگالی خطواره	چگالی زهکشی	عمق آب زیرزمینی	عمر آب زیرزمینی
کاربری اراضی	ستگشناستی	ارتفاع	شیب	چگالی خطواره	چگالی زهکشی	عمق آب زیرزمینی	عمر آب زیرزمینی
۱	۱	$\frac{1}{3}$	۳	۹	۹	۹	۹
۱	۱	$\frac{1}{3}$	۳	۹	۹	۹	۹
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۷	۷	۷	۷
$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{3}$	۱	۱	۷	۷	۷	۷
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	۱	۱	۱	۱
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	۱	۱	۱	۱
$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{9}$	$\frac{1}{7}$	$\frac{1}{7}$	۱	۱	۱	۱
۳	۳	۸/۴۳	۸/۴۳	۳۵	۳۵	۳۵	۳۵

**جدول ۲: محاسبه وزن فاکتورها (در ترکیب با جدول ۱)**

کاربری اراضی	ستگشناستی	ارتفاع	شیب	چگالی خطواره	چگالی زهکشی	عمق آب زیرزمینی	عمر آب زیرزمینی	میانگین (وزن)	عمق آب زیرزمینی
۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۰ (۳۰%)	۰/۳۶
۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۳۰ (۳۰%)	۰/۳۶
۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۱۵ (۱۵%)	۰/۳۰
۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۱۵ (۱۵%)	۰/۳۰
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	(۳٪) ۰/۰۳	۰/۰۳
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	(۳٪) ۰/۰۳	۰/۰۳
۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۳	(۳٪) ۰/۰۳	۰/۰۳

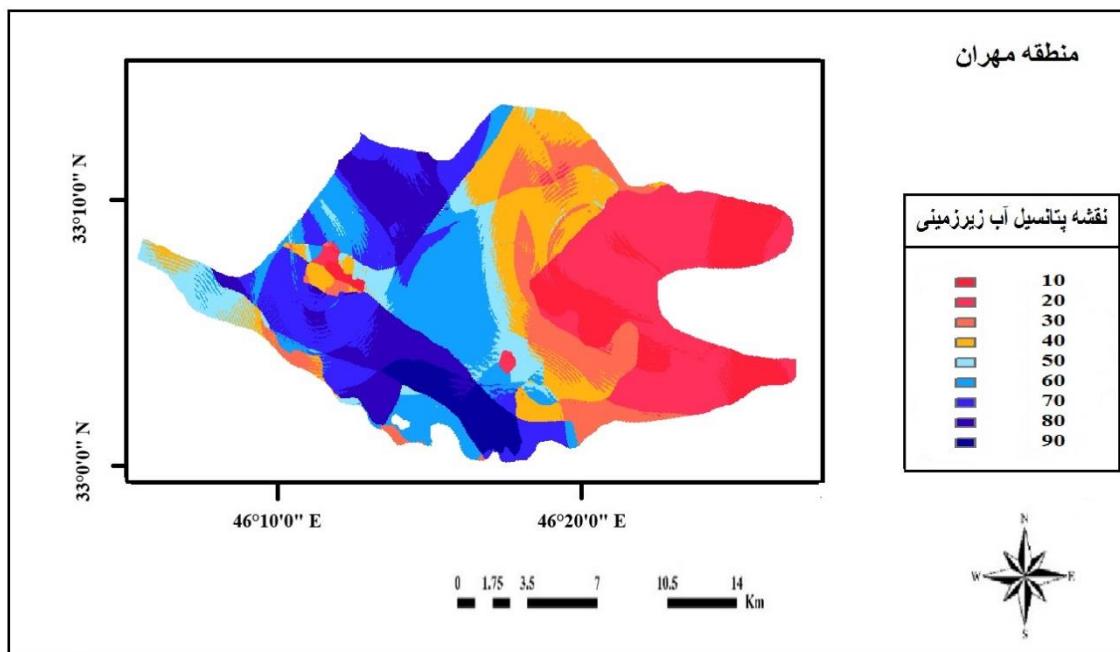
در این شکل مشاهده می‌شود که مناطقی که به رنگ آبی نزدیکتر هستند از پتانسیل آب زیرزمینی بالاتری برخوردار هستند و هرچه به رنگ قرمز نزدیکتر می‌شویم، از پتانسیل آن‌ها کم می‌شود.

### ۳- نتیجه‌گیری

در این پژوهه، با استفاده از داده‌های حاصل از RS و GIS، و استفاده از هفت پارامتر (کاربری اراضی، ستگشناستی، ارتفاع، شیب، چگالی خطواره، چگالی زهکشی و عمق آب زیرزمینی) با وزن‌های مختلف (با توجه به معیار AHP)، ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مهران صورت گرفت و نقشه نهایی ایجاد شد. نقشه نهایی نشان داد که ۰.۳۸٪ منطقه دارای پتانسیل کم (امتیاز ۱۰ تا ۳۰)، ۰.۳۶٪ منطقه دارای پتانسیل متوسط (امتیاز ۴۰ تا ۶۰)، و ۰.۲۷٪ منطقه دارای پتانسیل زیاد (امتیاز ۷۰ تا ۹۰) آب زیرزمینی هستند. نقشه بدست آمده توسط این روش را می‌توان با مقامات محلی و سیاست‌گذاران مدیریت منابع آب به عنوان یک منبع اولیه در انتخاب سایت‌های مناسب برای حفاری گمانه‌های جدید استفاده کرد. همچنین انعطاف‌پذیری این روش اجازه می‌دهد تا به تجدید نظر در پارامترهای موجود و وزن‌های آن‌ها پرداخت و بنابراین این روش را می‌توان در یک تنوع وسیع تری از مناطق دیگر به کار برد.

### جدول ۳: کلاس‌بندی و وزن عوامل مورد استفاده برای نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

عوامل	کلاس‌بندی	آگریکلتور	ارضهای ساکن	ارتفاع	شیب	چگالی خطواره	چگالی زهکشی	عمق آب زیرزمینی
کاربری اراضی	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	Agriculture Forest Range Urban	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰	(۳۰٪) ۰/۳۰	(۳۰٪) ۰/۳۰	(۱۰٪) ۰/۱۰
سنگ‌شناسی	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	Dsh II Q Ag	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰
ارتفاع	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰
شیب	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	<۱۷۸ ۱۷۸-۲۲۵ ۲۲۵-۲۷۷ ۲۷۷-۳۴۷	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰
چگالی خطواره	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	>۰.۵ ۰.۵-۰.۱ ۰.۱-۰.۳ ۰.۳-۰.۳۱ <۰.۳۱	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	>۰.۵ ۰.۵-۰.۱ ۰.۱-۰.۳ ۰.۳-۰.۳۱ <۰.۳۱	>۰.۵ ۰.۵-۰.۱ ۰.۱-۰.۳ ۰.۳-۰.۳۱ <۰.۳۱	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰
چگالی زهکشی	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	<۰.۱۵ ۰.۱۵-۰.۳ ۰.۳-۰.۴۵ ۰.۴۵-۰.۷ ۰.۷-۱.۳	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	<۰.۱۵ ۰.۱۵-۰.۳ ۰.۳-۰.۴۵ ۰.۴۵-۰.۷ ۰.۷-۱.۳	<۰.۱۵ ۰.۱۵-۰.۳ ۰.۳-۰.۴۵ ۰.۴۵-۰.۷ ۰.۷-۱.۳	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰
عمق آب زیرزمینی	خیلی زیاد زیاد متوسط پایین	<۱۹ ۱۹-۳۷ ۳۷-۵۴ ۵۴-۷۴ >۷۴	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	<۱۹ ۱۹-۳۷ ۳۷-۵۴ ۵۴-۷۴ >۷۴	<۱۹ ۱۹-۳۷ ۳۷-۵۴ ۵۴-۷۴ >۷۴	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰	۹۰ ۷۰ ۵۰ ۳۰ ۱۰



شکل ۳: نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مهران

## مراجع

- [1] F. Abdalla, "Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt," *Journal of African Earth Sciences*, vol. 70, pp. 8–17, 2012.
- [2] I. Chenini and A. Ben Mammou, "Groundwater recharge study in arid region: An approach using GIS techniques and numerical modeling," *Computers & Geosciences*, vol. 36, no. 6, pp. 801–817, 2010.
- [3] R. L. Church, "Geographical information systems and location science," *Computers & Operations Research*, vol. 29, no. 6, pp. 541–562, 2002.
- [4] S.O. Tweed, M. Leblanc, J.A. Webb, and M.W. Lubczynski, "Remote sensing and GIS for mapping groundwater recharge and discharge areas in salinity prone catchments," *SE Australia. Hydrogeol. J.* 15, 75–96, 2007.
- [5] D. Entekhabi, and M. Moghaddam, "Mapping recharge from space: roadmap to meeting the grand challenge," *Hydrogeol. J.* 15, 105–116, 2007.
- [6] D. Das, "Satellite remote sensing in subsurface water targeting," In: Proceeding ACSM-ASPRS Annual Convention, pp. 99–103, 1990.
- [7] J. Hoffmann, and P. Sander, "Remote sensing and GIS in hydrogeology," *Hydrogeol. J.* 15, 1–3, 2007
- [8] A. Rahman, "A GIS based DRASTIC model for assessing groundwater vulnerability in shallow aquifer in Aligarh, India," *Appl. Geograph.* 28, 32–53, 2008.
- [9] M. Gupta, and P.K. Srivastava, "Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India," *Water Int.* 35, 233–245, 2010.
- [10] M. Al Saud, "Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques." *Hydrogeol. J.* 18, 1481–1495, 2010.
- [11] H.H. Elewa, and A.A. Qaddah, "Groundwater potentiality mapping in the Sinai Peninsula, Egypt, using remote sensing and GIS-watershed-based modeling," *Hydrogeol. J.* 19, 613–628, 2011.
- [12] J. Konkul, W. Rojborwornwittaya, and S. Chotpantarat, "Hydrogeologic characteristics and groundwater potentiality mapping using potential surface analysis in the Huay Sai area, Phetchaburi Province, Thailand," *Geosci. J.* 18 (1), 89–103, 2014.