

هیدروژنومورفولوژی، شماره ۸، پاییز ۱۳۹۵، صص ۲۰-۱

وصول مقاله: ارسال ۱۳۹۴/۰۱/۰۵ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۵/۱۰/۰۴

## پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی از طریق فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه مهدیشهر

حسن فتحی‌زاد<sup>۱\*</sup>

حمید علیپور<sup>۲</sup>

سیده نگار هاشمی‌نسب<sup>۳</sup>

حاجی کریمی<sup>۴</sup>

### چکیده

آب‌های زیرزمینی به‌عنوان بخش مهمی از آب‌های تجدیدپذیر جهان به‌حساب می‌آیند. با افزایش جمعیت، گرایش به زندگی شهرنشینی و غیره، تقاضا برای این منابع روز به روز در حال افزایش است. امروزه استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تبدیل به یکی از ابزارهای قدرتمند و مقرون به صرفه جهت شناسایی و اکتشاف منابع آب زیرزمینی قابل دسترس شده است. هدف از این تحقیق نیز مشخص کردن نواحی بالقوه آب‌های زیرزمینی در منطقه‌ی مهدیشهر واقع در استان سمنان با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد. پارامترهایی که برای شناسایی نواحی بالقوه آب‌های زیرزمینی در نظر گرفته شده است عبارتند از واحدهای سنگ‌شناسی، خطواره‌ها، شیب، توپوگرافی، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی و

۱- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

Email:hasan.fathizad@gmail.com

۲- دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

۳- دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۴- دانشیار و عضو هیئت علمی گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام.

خطوط همباران که با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، مدل ارتفاعی رقومی، تصویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup>، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ و آمار باران‌سنجی ایستگاه‌های هواشناسی از طریق تکنیک‌های سنجش از دور و GIS به دست آمده‌اند. تمام لایه‌ها در کلاس‌های مختلف از طریق تحلیل سلسله مراتبی جهت تعیین نواحی بالقوه آب‌های زیرزمینی مورد وزندهی قرار گرفته و پس از مدل‌سازی در محیط GIS، حوضه‌ی مهدیشهر از نظر نواحی بالقوه آب‌های زیرزمینی تقسیم‌بندی گردید. نتایج نشان داد که از بین ۷ معیار مورد بررسی توسط نظرات کارشناسی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، معیار سنگ‌شناسی و خطواره به ترتیب با اهمیت نسبی ۰/۳۳ و ۰/۲۲ دارای بیشترین اهمیت نسبی و ارجحیت بالا جهت پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در منطقه می‌باشد. همچنین در منطقه مورد مطالعه آبرفت‌های کواترنری شامل تراس‌های قدیم و جدید و رسوبات رودخانه‌ای دارای بیشترین اهمیت نسبی و مطلوبیت و ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع و جدید کم ارتفاع به عنوان مناطق بالقوه خوب آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند.

**کلمات کلیدی:** سنجش از دور، GIS، آب‌های زیرزمینی، AHP، مهدیشهر.

## مقدمه

آب‌های زیرزمینی، آب‌های موجود در فضاهای خالی قشری از زمین هستند (بگهراج<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳: ۶۵). آب‌های زیرزمینی بر خلاف آب‌های سطحی تقریباً در هر جایی قابل دسترس هستند با اینکه تجدیدشونده می‌باشند اما پایدار نیستند (کریشناماتی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۰: ۲۴). در دسترس بودن آب‌های زیرزمینی بستگی به نوع و خواص فیزیکی سنگ‌ها اعم از تخلخل، نفوذپذیری، قابلیت انتقال و

1- Bagyaraj

2- Krishnamurthy

ظرفیت ذخیره‌سازی دارد (شارما<sup>۱</sup> و کوجور، ۲۰۱۲: ۱). روش‌های معمول مورد استفاده در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی عمدتاً بر مطالعات و پیمایش‌های زمینی استوار است (گنه‌پورم<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۹: ۵۰۶). اما پیمایش‌های صحرایی و استفاده از داده‌های زمینی، اغلب وقت‌گیر بوده و با هزینه‌ی زیادی همراه است. با ظهور تکنیک‌های سنجش از دور و GIS، نقشه‌برداری پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در داخل هر یک از واحدهای زمین‌شناسی راحت‌تر صورت می‌گیرد (گنه‌پورم و همکاران، ۲۰۰۹: ۵۰۶؛ سینگ و پارکش<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳؛ جین<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸: ۱۳۵). تلفیق داده‌های سنجش از دور و GIS تبدیل به یکی از ابزارها برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی شده است که در زمینه ارزیابی، نظارت و حفاظت از منابع آب‌های زیرزمینی به ما کمک می‌کنند (مگش<sup>۵</sup> و همکاران ۲۰۱۲: ۱۸۹؛ دار<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۱: ۵۹۷). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی یکی از جامع‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است (عطایی، ۱۳۸۹: ۳۳۳؛ قدسی‌پور، ۱۳۸۸: ۲۳۶).

در زمینه پتانسیل‌یابی و مکانیابی منابع آب زیرزمینی به کمک مدل‌های تصمیم‌گیری و سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعاتی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. رضانی و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان مکانیابی محل‌های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی با به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دو روش وزن‌دهی تجمعی ساده و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی را برای مکانیابی مناطق مناسب تغذیه‌ی

- 
- 1- Sharma
  - 2- Ganapuram
  - 3- Singh and Prakash
  - 4- Jain
  - 5- Magesh
  - 6- Dar

مصنوعی آب‌های زیرزمینی در دشت شمیل و آشکارا در استان هرمزگان، مورد استفاده قرار دادند. پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی توسط صابری و همکاران (۱۳۹۱) نیز با استفاده از تلفیق سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و به کمک مدل تحلیل سلسله مراتبی در تاکدیس کمستان استان خوزستان انجام شد.

آل آدامات<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۳) در بخش شمالی حوضه Azraq اردن با استفاده از GIS، داده‌های سنجش از دور و مدل DRASTIC، آسیب‌پذیری منابع آب‌های زیرزمینی این منطقه را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که ۸۴٪ آب‌های زیرزمینی منطقه دارای آلودگی متوسط و بقیه دارای آلودگی کم هستند.

هدف از این تحقیق نیز مشخص کردن نواحی بالقوه آب‌های زیرزمینی در منطقه مهدیشهر واقع در استان سمنان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

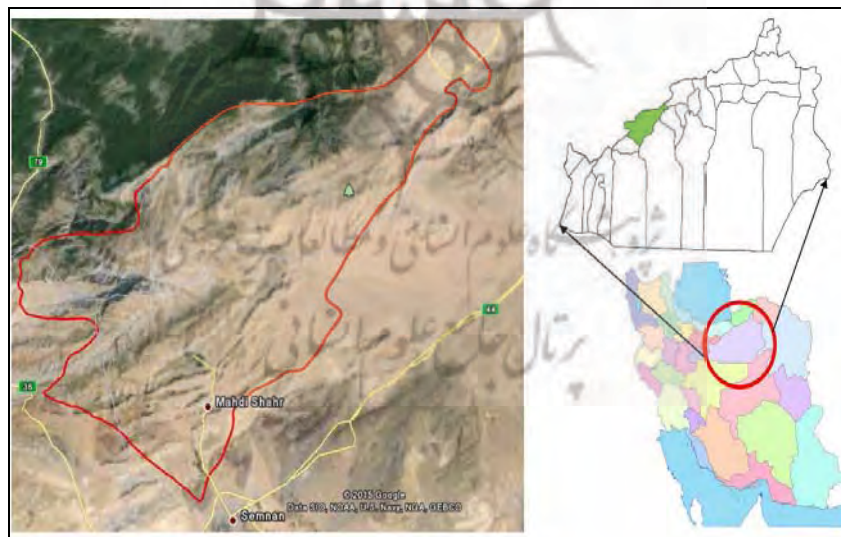
### منطقه‌ی مورد مطالعه

حوضه‌ی مهدیشهر در جنوب رشته کوه‌های البرز، واقع در ۱۵ کیلومتری شمال شهرستان سمنان می‌باشد. این منطقه در محدوده طول جغرافیایی  $35^{\circ} 00' 53''$  تا  $53^{\circ} 01' 01''$  شرقی و عرض جغرافیایی  $35^{\circ} 36' 13''$  تا  $36^{\circ} 10' 46''$  شمالی واقع شده است. مساحت آن ۱۹۵۴ کیلومتر مربع و حداقل ارتفاع آن از سطح دریا ۱۱۵۳ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۷۲۴ متر می‌باشد. شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی مهدیشهر را نشان می‌دهد. در محدوده‌ی منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۸ شهر و روستا وجود دارد که در شکل (۲) موقعیت آن‌ها نشان داده شده است.

1- Al-Adamat

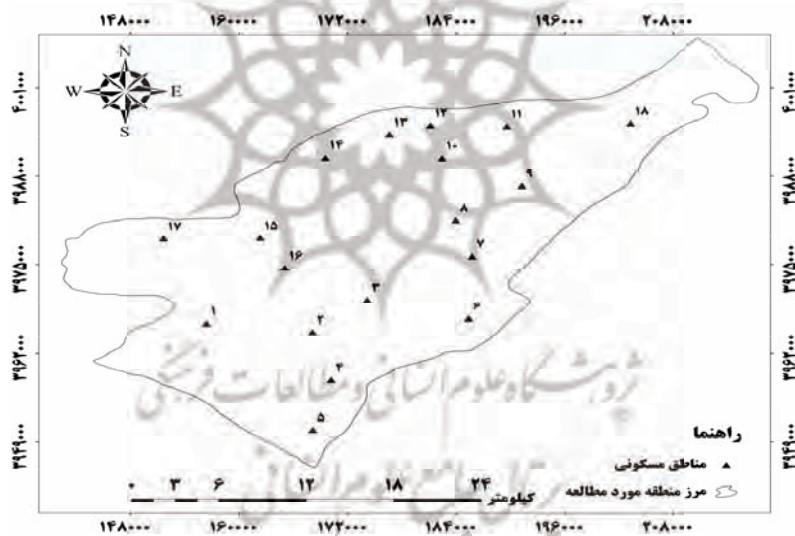
برای انجام این پژوهش، نقشه‌ی توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، داده‌های رقومی ارتفاعی منطقه (SRTM) با وضوح ۹۰ متر، تصویر ماهواره‌ای لندست ETM<sup>+</sup> به تاریخ ۲۰۰۲/۰۸/۳۰، نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰، آمار باران‌سنجی شش ایستگاه هواشناسی منطقه مورد استفاده قرار گرفت.

جهت تعیین نواحی بالقوه آب‌های زیرزمینی حوضه‌ی مهدیشهر از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS جهت استخراج نقشه‌های توپوگرافی، خطواره‌ها، پوشش گیاهی، شیب، تراکم زهکشی، بارش و لیتولوژی استفاده شده است. تمام لایه‌ها به صورت رستری تهیه و به هر کدام بر اثر ضریب تأثیر خود طبق روش AHP وزن اختصاص داده شد و با استفاده از اکستنشن Arc hydro tools در محیط ArcGIS، DEM منطقه‌ی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نهایتاً نقشه‌ی شبکه‌ی زهکشی منطقه به روش استراهلر تهیه گردید.



شکل (۱) موقعیت حوزه‌ی مهدیشهر

در روش AHP هر کدام از معیارهای اصلی توسط کارشناسان مربوطه به صورت شفاهی مورد مقایسه قرار گرفتند و وزن هر کدام محاسبه شد. پس از استخراج تمامی معیارهای مورد نیاز در این مطالعه و تهیهی فرمهای نظرخواهی متخصصان (فرم پرسشنامه)، بایستی نظرات کارشناسی مورد ارزیابی قرار گیرد تا نرخ ناسازگاری آن به دست آید. کنترل نرخ ناسازگاری قضاوت‌های تصمیم‌گیرندگان بر اساس روابط ریاضی و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice صورت گرفت. این نرم‌افزار قادر است وزن نسبی معیارها و زیر معیارهای در نظر گرفته شده را نسبت به یکدیگر و سطوح بالاتر با بکارگیری روش بردار ویژه تعیین کند. در نهایت وزن نهایی گزینه‌ها محاسبه و بر اساس معیارهای تعیین شده اولویت‌بندی می‌شود.



شکل (۲) موقعیت اراضی مسکونی در محدوده‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه

پس از وارد کردن معیارها در این نرم‌افزار میزان نرخ ناسازگاری آن‌ها برای تعیین درستی ماتریس‌های مقایسه‌ی زوجی، محاسبه گردید. نرخ ناسازگاری اگر کمتر از ۰/۱

باشد می‌توان نتیجه گرفت که سطح مطلوبی از سازگاری در مقایسات زوجی وجود داشته است و در غیر این صورت این نرخ نشان‌دهنده‌ی قضاوت ناسازگاری می‌باشد نقشه‌های معیار تهیه شده سپس در محیط Spatial Analyst، با روی هم‌گذاری مورد همپوشانی وزنی (weighted overlay) قرار گرفتند و نهایتاً نقشه‌ی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی منطقه در ۴ کلاس خوب، خوب تا متوسط، متوسط و ضعیف تهیه گردید.

جدول (۱) تعیین ارزش معیارها نسبت به یکدیگر توسط نظرات کارشناسی

| ارزش عددی     | ترجیحات   |
|---------------|---|
| ۹             | کاملاً ارجح یا کاملاً مهم‌تر یا کاملاً مطلوب‌تر |
| ۷             | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی              |
| ۵             | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی                   |
| ۳             | کمی ارجح یا کمی مهم‌تر یا کمی مطلوب‌تر          |
| ۱             | ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان                 |
| ۲ و ۴ و ۶ و ۸ | ترجیحات بین فواصل فوق                           |

## بحث و نتایج

در روش تحلیل سلسله مراتبی بعد از مشخص شدن وزن‌ها برای تولید نقشه‌ی پتانسیل‌یابی منابع آب تمام اوزان زیرمعیارها در آن‌ها تأثیر داده و نقشه‌ی وزن‌دار هر یک از معیارها تولید شد. در نهایت با توجه به وزن هر معیار اصلی نقشه نهایی پتانسیل منابع آبی محاسبه گردید که در چهار کلاس پتانسیل کم، پتانسیل متوسط، پتانسیل متوسط تا خوب و پتانسیل خوب طبقه‌بندی شد.

در تحقیق حاضر نقش هفت معیار واحدهای سنگ‌شناسی، خطواره‌ها، شیب، توپوگرافی، تراکم زهکشی، پوشش گیاهی و خطوط همباران در پتانسیل‌یابی

آب‌های زیرزمینی منطقه‌ی مهدیشهر با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار گرفته است که نتایج در جداول و شکل‌های مربوطه آورده شده است.

### – سنگ‌شناسی

با توجه به تأثیر وضعیت لیتولوژی بر روی سیستم‌های هیدروژئولوژیکی، نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه را می‌توان به سه گروه عمده‌ی سازندهای سخت کربناته، سازندهای سخت غیرکربناته و رسوبات آبرفتی تقسیم نمود. سازندهای زمین‌شناسی در جدول ۲ و ۳ سازندها و واحدهای زمین‌شناسی نشان داده شده است. شکل (۳) نقشه‌ی واحدهای سنگ‌شناسی حوضه‌ی مهدیشهر را نشان می‌دهد.

جدول (۲) سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبخیز مهدیشهر

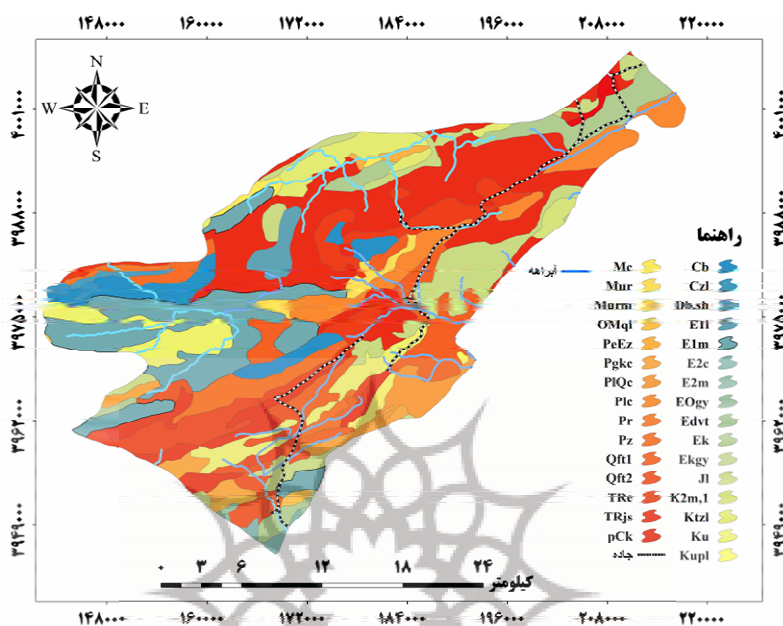
| سازند              | جنس                                      | سن            |
|--------------------|--|---------------|
| باروت              | شیل، ماسه‌سنگ و دولومیت                  | کامبرین نزدیک |
| روته               | آهک و دولومیت                            | پرمین         |
| الیکا              | دولومیت و آهک                            | تریاس         |
| شمشک               | ماسه‌سنگ، شیل و آهک                      | ژوراسیک نزدیک |
| لار                | آهک و دولومیت                            | ژوراسیک دور   |
| تیزکوه             | آهک ضخیم لایه و توده‌ای                  | کرتاسه        |
| زیارت              | سنگ آهک و سنگ آهک مارنی                  | ائوسن         |
| کرج                | شیل، سنگ آتشفشانی آندزیتی و لایه‌های آهک | ائوسن         |
| آبرفت‌های کواترنری | تراس‌های قدیم و جدید و رسوبات رودخانه‌ای | کواترنری      |

جدول (۴) معیار زمین‌شناسی و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۴) نقشه‌ی واحدهای زمین‌شناسی منطقه‌ی حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد



جدول (۳) واحدهای سنگ‌شناسی حوضه‌ی آبخیز مهدیشهر

| اندکس | جنس  | اندکس | جنس  |
|-------|--|-------|--|
| Mur   | مارن، مارن ژپیس دار، ماسه‌سنگ و کنگلومرا                         | Cb    | تناوبی از دولومیت، سنگ آهک و شیل                 |
| Murm  | مارن و مارن ژپیس دار، با میان لایه‌های ماسه‌سنگ                  | Czl   | واحد تفکیک نشده شامل سیلتستون میکادار و ماسه سنگ |
| OMql  | سنگ آهک ریفی توده‌ای تا ضخیم لایه                                | Db.sh | سنگ آهک، شیل و مارن تفکیک نشده                   |
| pCk   | شیل اسلیتی با میان لایه‌های فرعی ماسه سنگ کوارتزیتی              | E1l   | آهک پلاژیک و بیومتریک جلبکی و متریک              |
| PeEz  | سنگ آهک ریفی و مارن ژپیس دار                                     | E1m   | مارن، مارن ژپیس دار و سنگ آهک                    |
| Plc   | کنگلومرای پلی‌متال و ماسه سنگ                                    | E2c   | کنگلومرا و ماسه سنگ                              |
| PIQc  | کنگلومرای پلی ژنیک سست   | Edvt  | شیل تیره توفدار با میان لایه‌هایی از توف         |
| Pr    | سنگ آهک توده‌ای تا متوسط لایه                                    | Ekgy  | ژپیس   |
| Pz    | سنگهای تفکیک نشده پالئوزوئیک                                     | EOgy  | گچ (قاچ نمکی)                                    |
| اندکس | جنس  | اندکس | جنس  |
| Qft1  | ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های وهپایه‌ای قدیمی مرتفع              | Jl    | سنگ آهک توده‌ای - نازک لایه خاکستری روشن         |
| Qft2  | ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع          | Ktzi  | سنگ آهک اربیتولین دار ضخیم لایه تا توده‌ای       |
| TRe   | سنگ آهک الپتی، سنگ آهک شیلی، دولومیت، سنگ آهک دولومیتی           | Ku    | سنگهای تفکیک نشده کرتاسه بالایی                  |
| TRjs  | ماسه سنگ، سیلتستون و گل‌سنگ و تناوب لایه‌هایی از زغال سنگ رگه‌ای | Kupl  | آهک پلاژیک گلوبوترونکانادار                      |
|       |  | Mc    | کنگلومرای قرمز و ماسه سنگ                        |



شکل (۳) نقشه‌ی واحدهای سنگ‌شناسی حوضه‌ی مهدیشهر

جدول (۴) معیار زمین‌شناسی: سازندها و اهمیت نسبی آن‌ها

| سازند              | آبرفت‌های کواترنری تیزکوه | سازند لار | سازند باروت | سازند شمشک | روته | الیکا | زیارت | کرج | هندسی نسبی | اهمیت  |
|--------------------|---------------------------|-----------|-------------|------------|------|-------|-------|-----|------------|--------|
| آبرفت‌های کواترنری | ۱                         | ۲         | ۳           | ۴          | ۵    | ۶     | ۷     | ۸   | ۹          | ۰/۳۰۴۳ |
| سازند تیزکوه       | ۱/۲                       | ۱         | ۲           | ۳          | ۴    | ۵     | ۶     | ۷   | ۸          | ۰/۲۲۰۱ |
| سازند روته         | ۱/۳                       | ۱/۲       | ۱           | ۲          | ۳    | ۴     | ۵     | ۶   | ۷          | ۰/۱۵۵۰ |
| سازند لار          | ۱/۴                       | ۱/۳       | ۱/۲         | ۱          | ۲    | ۳     | ۴     | ۵   | ۶          | ۰/۱۰۷۱ |
| سازند الیکا        | ۱/۵                       | ۱/۴       | ۱/۳         | ۱/۲        | ۱    | ۲     | ۳     | ۴   | ۵          | ۰/۰۷۳۴ |
| سازند زیارت        | ۱/۶                       | ۱/۵       | ۱/۴         | ۱/۳        | ۱/۲  | ۱     | ۲     | ۳   | ۴          | ۰/۰۶۰۱ |
| سازند کرج          | ۱/۷                       | ۱/۶       | ۱/۵         | ۱/۴        | ۱/۳  | ۱/۲   | ۱     | ۲   | ۳          | ۰/۰۳۴۷ |
| سازند شمشک         | ۱/۸                       | ۱/۷       | ۱/۶         | ۱/۵        | ۱/۴  | ۱/۳   | ۱/۲   | ۱   | ۲          | ۰/۰۲۷۶ |
| سازند باروت        | ۱/۹                       | ۱/۸       | ۱/۷         | ۱/۶        | ۱/۵  | ۱/۴   | ۱/۳   | ۱/۲ | ۱          | ۰/۰۱۷۷ |

### - پوشش گیاهی سبز

با استفاده از تصاویر موجود و شاخص‌های پوشش گیاهی متنوع مانند NDVI، نقشه‌ی پوشش گیاهی منطقه در فصل خشک به دست آمد. پوشش گیاهی در نواحی مرکزی عمدتاً مزارع و باغات هستند که بر روی دره‌های آبرفتی واقع شده‌اند. جدول (۵) معیار پوشش گیاهی، کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۵) نقشه‌ی پوشش گیاهی منطقه حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد.

جدول (۵) معیار پوشش گیاهی: کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها

| کلاس      | پوشش | بدون پوشش | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|-----------|------|-----------|---------------|------------|
| پوشش      | ۱    | ۲         | ۱/۴۱۴۲        | ۰/۶۶۶۷     |
| بدون پوشش | ۱/۲  | ۱         | ۰/۷۰۷۱        | ۰/۳۳۳۳     |

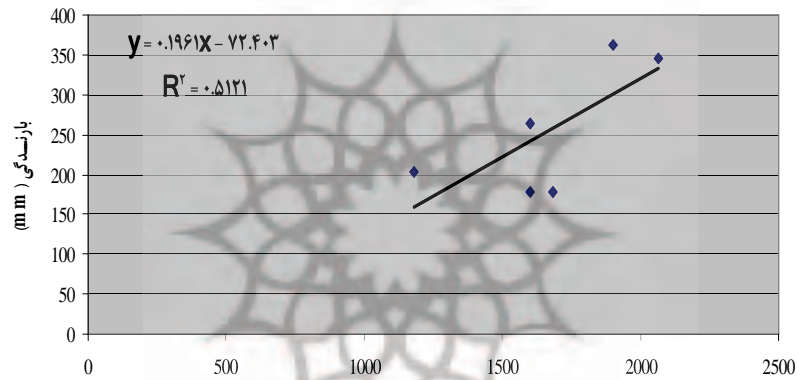
### - شبکه‌ی زهکشی و بارش

شبکه‌ی زهکشی بر اساس میزان تراکم آبراهه‌ها در نفوذ رواناب به ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید جدول (۶)، معیار شبکه زهکشی، کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۶)، نقشه‌ی تراکم آبراهه منطقه حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد.

جهت تهیه‌ی نقشه‌ی همباران منطقه، ابتدا با استفاده از آمار ۱۴ ساله بارندگی مربوط به ۶ ایستگاه باران‌سنجی موجود در کل منطقه رابطه‌ی گرادیان بارندگی با ارتفاع منطقه به دست آمد (شکل ۷). سپس با استفاده از رابطه‌ی گرادیان و DEM منطقه، نقشه‌ی همباران تهیه گردید. میانگین بارندگی ایستگاه مهدیشهر ۲۵۰ میلی‌متر در سال است اما با توجه به کوهستانی بودن منطقه، بارندگی در نقاط دیگر منطقه بیشتر است. طبق نقشه‌ی همباران منطقه، بارندگی تا ۶۵۰ میلی‌متر در منطقه دیده می‌شود لذا منطقه از بارندگی ۲۵۰ میلی‌متر تا ۶۵۰ میلی‌متر به ۳ کلاس طبقه‌بندی گردید.

جدول (۶) معیار شبکه‌ی زهکشی: کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها

| کلاس‌ها   | ۱/۸ - ۲/۶ | ۱/۴ - ۱/۸ | ۱/۴ - ۱/۹ | ۰/۹ - ۱/۴ | ۰/۵ - ۰/۹ | ۰/۵    | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|---------------|------------|
| ۱/۸ - ۲/۶ | ۱         | ۳         | ۸         | ۸         | ۹         | ۴/۴۴۱۳ | ۰/۵۲۶۲        |            |
| ۱/۴ - ۱/۸ | ۱/۳       | ۱         | ۷         | ۷         | ۸         | ۲/۶۴۹۹ | ۰/۳۱۴۰        |            |
| ۰/۹ - ۱/۴ | ۱/۸       | ۱/۷       | ۱         | ۱         | ۲         | ۰/۵۱۳۵ | ۰/۰۶۰۸        |            |
| ۰/۵ - ۰/۹ | ۱/۸       | ۱/۷       | ۱         | ۱         | ۲         | ۰/۵۱۳۵ | ۰/۰۶۰۸        |            |
| ۰/۵       | ۱/۹       | ۱/۸       | ۱/۲       | ۱/۲       | ۱         | ۰/۳۲۲۲ | ۰/۰۳۸۲        |            |



ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (m)

شکل (۶) گرادیان بارش با ارتفاع منطقه

جدول (۷) معیار بارش، کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۷) نقشه همپاران منطقه حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد.

جدول (۷) معیار بارش: کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها

| کلاس‌ها      | ۴۵۰ - ۶۵۰ mm | ۲۵۰ - ۴۵۰ mm | ۲۵۰ < mm | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|--------------|--------------|--------------|----------|---------------|------------|
| ۴۵۰ - ۶۵۰ mm | ۱            | ۵            | ۷        | ۳/۲۷۱۱        | ۰/۷۱۴۷     |
| ۲۵۰ - ۴۵۰ mm | ۱/۵          | ۱            | ۵        | ۱             | ۰/۲۱۸۵     |
| mm < ۲۵۰     | ۱/۷          | ۱/۵          | ۱        | ۰/۳۰۵۷        | ۰/۰۶۶۸     |

**-خطواره**

برای استخراج خطواره‌ها از فیلترهای جهت‌دار آشکارسازی لبه مانند Laplacian، Sobel و Robert استفاده گردید تراکم خطواره‌های منطقه در ۵ کلاس طبقه‌بندی گردید. جدول (۸) معیار تراکم خطواره، کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۸) نقشه تراکم خطواره‌های منطقه حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد.

جدول (۸) معیار تراکم خطواره: کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها

| کلاس‌ها  | ۱/۶-۲/۲۲ | ۱/۶-۱/۶ | ۱/۲-۱/۶ | ۰/۸-۱/۲ | ۰/۴-۰/۸ | ۰-۰/۴  | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|----------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------------|------------|
| ۱/۶-۲/۲۲ | ۱        | ۳       | ۵       | ۷       | ۹       | ۳/۹۳۶۳ | ۰/۵۱۰۱        |            |
| ۱/۲-۱/۶  | ۱/۳      | ۱       | ۳       | ۵       | ۷       | ۲/۰۳۶  | ۰/۲۶۳۸        |            |
| ۰/۸-۱/۲  | ۱/۵      | ۱/۳     | ۱       | ۳       | ۵       | ۱      | ۰/۱۲۹۶        |            |
| ۰/۴-۰/۸  | ۱/۷      | ۱/۵     | ۱/۳     | ۱       | ۳       | ۰/۴۹۱۱ | ۰/۰۶۳۶        |            |
| ۰-۰/۴    | ۱/۹      | ۱/۷     | ۱/۵     | ۱/۳     | ۱       | ۰/۲۵۴۰ | ۰/۰۳۲۹        |            |

جدول (۹) معیار شیب: کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها

| کلاس   | ۰-۷٪ | ۷-۲۱٪ | ۲۱-۴۲٪ | ۴۲-۶۳٪ | > ۶۳٪ | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|--------|------|-------|--------|--------|-------|---------------|------------|
| ۰-۷٪   | ۱    | ۵     | ۷      | ۸      | ۹     | ۴/۷۸۹۴        | ۰/۵۴۶۹     |
| ۷-۲۱٪  | ۱/۵  | ۱     | ۶      | ۷      | ۸     | ۲/۳۲          | ۰/۲۶۴۹     |
| ۲۱-۴۲٪ | ۱/۷  | ۱/۶   | ۱      | ۶      | ۷     | ۱             | ۰/۱۱۴۲     |
| ۴۲-۶۳٪ | ۱/۸  | ۱/۷   | ۱/۶    | ۱      | ۶     | ۰/۴۴۷۱        | ۰/۰۵۱۱     |
| > ۶۳٪  | ۱/۹  | ۱/۸   | ۱/۷    | ۱/۶    | ۱     | ۰/۲۰۱۳        | ۰/۰۲۳۰     |

**-شیب و توپوگرافی**

بر اساس داده‌های SRTM، نقشه‌ی شیب منطقه در ۵ کلاس تهیه شد. جدول (۹) معیار شیب، کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۹) نقشه‌ی شیب منطقه حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد. با تجزیه و تحلیل داده‌های SRTM، شرایط توپوگرافی

منطقه تعیین شد. منطقه دارای آب‌وهوای تقریباً نیمه‌خشک با شرایط کوهستانی است. حداقل ارتفاع منطقه ۱۱۵۰ متر و حداکثر ارتفاع آن ۳۷۲۴ متر از سطح دریا است. اختلاف ارتفاع زیاد بین حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه باعث شده تا دامنه‌های زیادی با شیب‌های زیاد تشکیل شده که این دامنه‌ها حرکت آب را به سوی مناطق با ارتفاع کمتر هدایت می‌کنند. جدول (۱۰) معیار توپوگرافی، کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۱۰) نقشه‌ی توپوگرافی منطقه حاصل از وزن‌دهی را نشان می‌دهد.

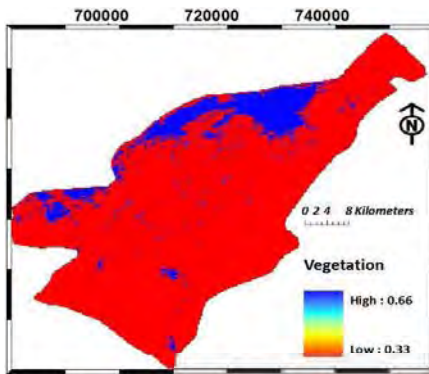
جدول (۱۱) معیارهای اصلی و اهمیت نسبی آن‌ها و شکل (۱۱) نقشه‌ی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی منطقه به روش AHP را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰) معیار توپوگرافی: کلاس‌ها و اهمیت نسبی آن‌ها

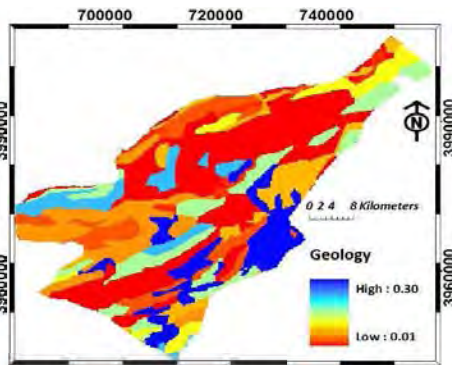
| کلاس‌ها     | $1800 < m < 2800$ | $1800 - 2800$ m | $2800 - 3800$ m | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|---------------|------------|
| $< 1800$ m  | ۱                 | ۵               | ۹               | ۳/۵۵۶۹        | ۰/۷۳۵۲     |
| ۱۸۰۰-۲۸۰۰ m | ۱/۵               | ۱               | ۵               | ۱             | ۰/۲۰۶۷     |
| ۲۸۰۰-۳۸۰۰ m | ۱/۹               | ۱/۵             | ۱               | ۰/۲۸۱۱        | ۰/۰۵۸۱     |

جدول (۱۱) معیارهای اصلی و اهمیت نسبی آن‌ها

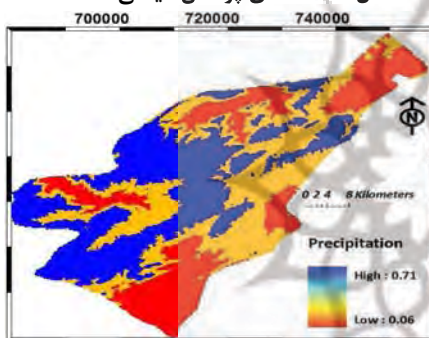
| کلاس       | زمین شناسی | خطواره | شبکه زهکشی | شیب بارش | توپوگرافی | پوشش گیاهی | میانگین هندسی | اهمیت نسبی |
|------------|------------|--------|------------|----------|-----------|------------|---------------|------------|
| سنگ‌شناسی  | ۱          | ۲      | ۳          | ۴        | ۵         | ۶          | ۴/۱۸          | ۰/۳۳       |
| خطواره     | ۱/۲        | ۱      | ۲          | ۳        | ۴         | ۵          | ۳/۰۳          | ۰/۲۲       |
| شبکه‌زهکشی | ۱/۳        | ۱/۲    | ۲          | ۳        | ۴         | ۵          | ۲/۱۴          | ۰/۱۶       |
| شیب        | ۱/۴        | ۱/۳    | ۱/۲        | ۱        | ۲         | ۳          | ۱/۴۹          | ۰/۱۱       |
| بارش       | ۱/۵        | ۱/۴    | ۱/۳        | ۱/۲      | ۱         | ۲          | ۱/۰۳          | ۰/۰۸       |
| توپوگرافی  | ۱/۶        | ۱/۵    | ۱/۴        | ۱/۳      | ۱/۲       | ۱          | ۰/۸۵          | ۰/۰۶       |
| پوشش گیاهی | ۱/۷        | ۱/۶    | ۱/۵        | ۱/۴      | ۱/۳       | ۱/۲        | ۰/۵۰          | ۰/۰۴       |



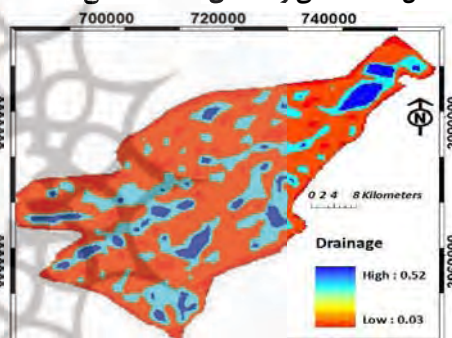
شکل (۵) نقشه‌ی پوشش گیاهی منطقه



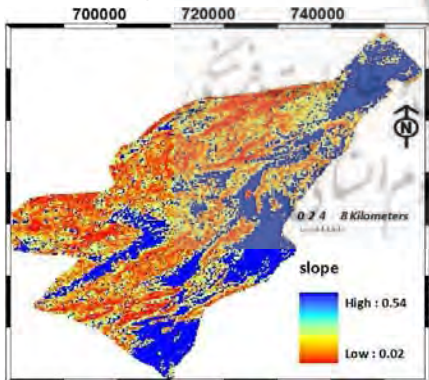
شکل (۴) نقشه‌ی واحدهای سنگ‌شناسی منطقه



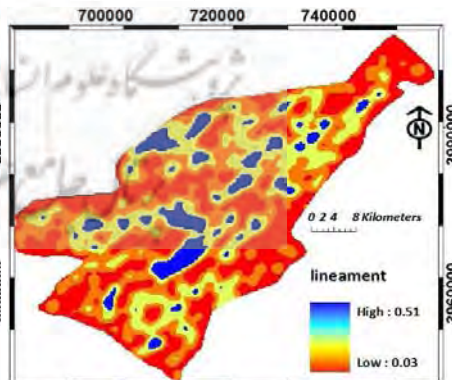
شکل (۷) نقشه‌ی همباران منطقه



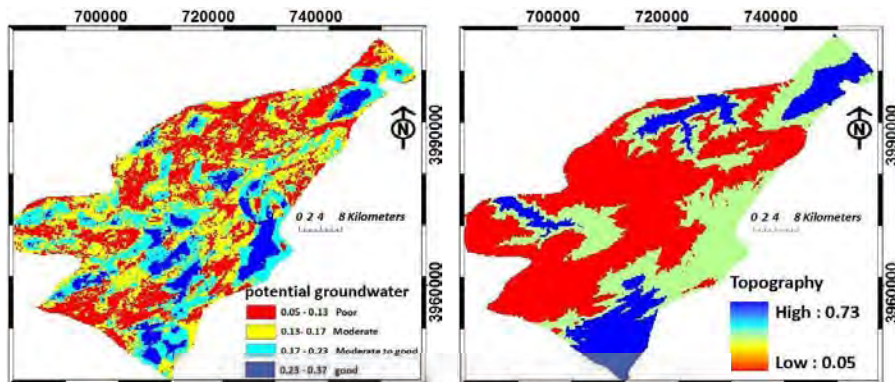
شکل (۶) نقشه‌ی تراکم آبراهه منطقه



شکل (۹) نقشه‌ی شیب منطقه



شکل (۸) نقشه‌ی تراکم خطواره‌های منطقه



شکل (۱۰) نقشه‌ی توپوگرافی منطقه حاصل از وزن‌دهی  
شکل (۱۱) نقشه‌ی پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی منطقه

### نتیجه‌گیری

اکتشاف آب‌های زیرزمینی در زمین‌های سخت سنگی کاریچیده‌ای است اما برنامه‌های کاربردی پیشرفته RS و GIS با رویکردی یکپارچه، روش‌های مؤثر و کارآمدی را برای مطالعه‌ی توسعه و مدیریت منابع آبی به وجود می‌آورند که می‌توان بر این پیچیدگی غلبه کرد. در این مقاله، هفت لایه شامل سازندهای زمین‌شناسی، چگالی خطواره‌ها، شیب، توپوگرافی، بارندگی، پوشش گیاهی و تراکم زهکشی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه و به وسیله‌ی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد وزن‌دهی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان داد که از بین ۷ معیار مورد بررسی توسط نظرات کارشناسی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، معیار زمین‌شناسی و خطواره به ترتیب با اهمیت نسبی ۰/۳۳ و ۰/۲۲ دارای بیشترین اهمیت نسبی و ارجحیت بالا جهت پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در منطقه می‌باشد. قسمت‌هایی که دارای پوشش گیاهی، تراکم آبراهه، بارندگی و تراکم خطواره بیشتر و همچنین دارای شیب و ارتفاع کمتر بودند،



از لحاظ وزن‌دهی دارای اهمیت نسبی بیشتر و در نتیجه مکان مناسبی برای پتانسیل آب‌های زیرزمینی می‌باشد. در منطقه‌ی مورد مطالعه آبرفت‌های کواترنری شامل تراس‌های قدیم و جدید و رسوبات رودخانه‌ای دارای بیشترین اهمیت نسبی و مطلوبیت و ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای قدیمی مرتفع و همچنین ذخایر تراسی و مخروط افکنه‌های کوهپایه‌ای جدید کم ارتفاع به عنوان مناطق بالقوه خوب آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند. همچنین با وجود تراکم زهکشی بالا بر روی واحد سنگی کنگلومرای پلی‌ژنیک سست، این مناطق نیز مناطق خوب محسوب شده است. به علاوه وجود تراکم زیاد خطواره‌ها در سازندهای ماسه سنگی شمشک و باروت و آهک‌های ضخیم لایه‌ی سازند تیزکوه جز مناطق مناسب آب‌های زیرزمینی می‌باشند.

نتایج حاکی از تأثیر مثبت روش تحلیل سلسله مراتبی بر شناسایی مناطق با احتمال وجود آب زیرزمینی است. همچنین این پژوهش نشان داد مدل‌سازی از جمله روش‌های ارزشمند برای تعیین وضعیت احتمالی تغییرات مکانی است. با توجه به اینکه این روش در تعیین پتانسیل یک حوزه از نظر منابع آب زیرزمینی جزء فناوری‌های نوین محسوب می‌گردد، می‌تواند راهبردی مناسب در ارتقاء شیوه‌های سنتی و کاهش هزینه‌های مرتبط با آن باشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع

- رضانی، مهربان مجید؛ ملک محمدی، بهرام؛ جعفری، حمیدرضا و یوسف رفیعی (۱۳۹۰). مکانیابی محل‌های انجام عملیات تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی با به کارگیری روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعات موردی: استان هرمزگان، دشت شمیل و آشکارا)، مجله‌ی علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران، ۱۴: صص ۱-۱۰.
- صابری، علیرضا؛ رنگزن، کاظم؛ مهجوری، رضا و محمدرضا کشاورزی (۱۳۹۱). پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور (RS) و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تقادیس کمستان استان خوزستان، مجله‌ی زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، ۶: صص ۱۱-۲۰.
- Abdalla, F. (2012), **Mapping of Groundwater Prospective Zones Using Remote Sensing and GIS Techniques: A Case Sstudy from the Central Eastern Desert, Egypt**, Journal of African Earth Sciences, Vol 70, 27, PP. 8-17.
- Al-Adamat, R.A.N.; Foster, I.D.L.; Baban, S.M.J. (2003), **Groundwater Vulnerability and Risk Mapping for the Basaltic Aquifer of the Azraq Basin of Jordan Using GIS, Remote Sensing and DRASTIC**, Applied Geography, 23, PP. 303-324.
- Bouaziz, M.; Leidig, M.; Gloaguen, R. (2011), **Optimal Parameter Selection for Qualitative Regional Erosion Risk Monitoring: A Remote Sensing Study of SE Ethiopia**, GEOSCIENCE FRONTIERS Vol. 2, Issue 2, PP. 237-245.
- Chaabouni, R.; Bouaziz, S.; Peresson, H.; Wolfgang, J. (2012), **Lineament Analysis of South Jenein Area (Southern Tunisia) Using Remote Sensing Data and Geographic Information System**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 15, PP. 197-206.

- Chenini, I.; Mammou, A.B. (2010), **Groundwater Recharges Study in Arid Region: An Approach Using GIS Techniques and Numerical Modeling**, Computers & Geosciences 36, PP. 801-817.
- Dar, I.A.; Sankar, K.; Dar, M.A. (2010), **Remote Sensing Technology and Geographic Information System Modeling: An integrated Approach towards the Mapping of groundwater Potential Zones in Hard Rock Terrain**, Mamundiyar Basin, Journal of Hydrology 394, PP. 285-295.
- Elewa, H.H.; Fathy, R.G.; Qaddah, A.A. (2011), **The Sustainable Development and Management of Groundwater Resource Requires Precise Quantitative Assessment Based on Scientific Principle and Modern Techniques**, Hydrogeology Journal, 19: 613-628.
- Ganapuram, S.; Kumar, G.; Krishna, I.; Kahya, E.; Demirel, M. (2008), **Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi basin Using Remote Sensing and GIS**, Advances in Engineering Software, Vol. 40, Issue 7, PP. 506-518.
- Ganapuram, S.; Vijaya Kumar, G.T.; Murali Krishna, I.V.; Kahya, E. (2009), **Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi Basin Using Remote Sensing data and GIS**, Advances in Engineering Software 40, pp. 506-518.
- Ishizaka, A.; Labib, A., (2009), **Analytic Hierarchy Process and Expert Choice: Benefits and Limitations**, ORInsight, Vol. 22, Issue 4, PP. 201-220.
- Jain, PK. (1998), **Remote Sensing Techniques to locate Ground Water Potential zones in upper Urmil River Basin**, District Chatarpur-central India, J Ind Soc Remote Sens, Vol. 26, Issue 3, PP. 135-147.
- Kheirkhah Zarkesh, M. (2005), **DSS for Floodwater Site Selection in Iran**, PhD Thesis, Wageningen University, p. 273.
- Khodaei, K.; Nassery, H.R. (2013), **Groundwater Exploration Using Remote Sensing and Geographic Information Systems in a Semi-**

- arid Area (Southwest of Urmieh, Northwest of Iran)**, Arabian Journal of Geosciences, 6, PP. 1229-1240
- Krishnamurthy, J., Mani, A., Jayaraman, V., Manive, M., (2000), **Groundwater Resources Development in Hard Rock Terrain an Approach Using Remote Sensing and GIS Techniques**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Vol. 2, Issue 3/4, PP. 204–215.
- Madi, K.; Zhao, B. (2013), **Neotectonic belts, Remote Sensing and Groundwater Potentials in the Eastern Cape Province, South Africa**, International Journal of Water Resources and Environmental Engineering, Vol. 5, Issue 6, PP. 332-350.
- Magesh, N.S.; Chandrasekar, N.; Soundranayagam, J.P. (2012), **Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, GIS and MIF Techniques**, GEOSCIENCE FRONTIERS, Vol. 3, Issue 2, PP. 189-196.
- Malczewski, J. (2006), **GIS-based Multicriteria Decision Analysis: A Survey of the Literature**, International Journal of Geographical Information Science, Volume 20, Issue 7, PP. 703-726.
- Meijerink, A.M.J. (1996), **Remote Sensing Applications to Hydrology: Groundwater**, Hydrological Sciences Journal, 41, PP. 549–561.
- Moore, I.D.; Gryson, R.B.; Landson, A.R. (1991), **Digital Terrain Modeling: Review of Hydrological, Geomorphological, and Biological Applications**, Hydrological Processes, 5, PP. 3-30.
- Oswald, M. (2004), **Implementation of the Analytical Hierarchy Process with VBA in ArcGIS**, Computers and Geosciences, 30, PP .637–646.
- Pickup, G.; Chewings, V.H., (1996), **Correlations between DEM-derived Topographic Indices and Remotely Sensed Vegetation Cover in Rangelands**, Earth Surface Processes and Landforms 21, PP. 517-529.