

## تهیه نقشه مناطق مستعد آبهای زیرزمینی با استفاده از GIS و MIF

### مطالعه موردی: شهرستان ارومیه

وحید محمدنژاد آروق\* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه  
صیاد اصغری - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه  
بهالالدین گل محمدزاده - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری مشهد

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۰۸ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۹/۱۸

### چکیده

با افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی و همچنین کشاورزی، توجه به مدیریت آبهای سطحی و زیرسطحی افزایش یافته است. در پژوهش حاضر با ترکیب داده‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و فاکتورهای چندتأثیر (MIF)، به تهیه نقشه مناطق مستعد آبهای زیرزمینی در محدوده شهرستان ارومیه اقدام شده است. نقشه‌های موضوعی هر یک از عوامل مؤثر بر آبهای زیرزمینی، شامل: تراکم شبکه زهکشی، تراکم خطوط راه‌ها، توپوگرافی، سنگ‌شناسی، بارش، کاربری اراضی و شیب، با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. در مرحله بعد، پس از آماده کردن نقشه رستری این عوامل، بر اساس روش MIF به هریک از آنها وزنی اختصاص داده یافت. در نهایت نقشه‌های موضوعی مذکور در قالب نرم‌افزار GIS و با استفاده از الگوریتم روی هم قرارگیری وزنی، محاسبه شد و نقشه نهایی پتانسیل آبهای زیرزمینی به دست آمد. نقشه استعداد آبهای زیرزمینی در چهار طبقه بسیار خوب، خوب، ضعیف و بسیار ضعیف قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد مناطقی که دارای حداکثر تراکم شبکه زهکشی و رسوبات کواترنری هستند، از پتانسیل آبهای زیرزمینی بسیار بالایی برخوردارند. در نهایت، مقایسه نقشه نهایی با پراکندگی چاه‌های پیژومتری و سطح ایستابی آنها، دقت بالای روش مورد استفاده در این محدوده را نشان داد.

کلیدواژه‌ها: پتانسیل آبهای زیرزمینی، GIS، MIF، RS.

## مقدمه

یکی از منابع بسیار با ارزش برای انسان‌ها آبهای زیرزمینی هستند. این منبع با ارزش، فراهم‌کننده آب مصرفی بخش‌های مختلف در سرتاسر زمین به‌شمار می‌رود. آبهای زیرزمینی موجب تقویت سلامتی انسان‌ها، توسعه اقتصادی و تنوع زیستی در یک منطقه می‌شوند. رشد سریع جمعیت در کشورهای مختلف و از جمله ایران، موجب افزایش تقاضای آب زیرزمینی برای مصارف خانگی، کشاورزی و صنعتی شده است. دسترسی به آبهای زیرزمینی به‌منزله یک منبع دینامیک طبیعی محدود بوده و علت آن، وجود آبهای زیرزمینی در سازندهای زیرسطحی مختلف است و انسان قادر به مشاهده مستقیم آنها نبوده و به‌دلیل نوسان، اندازه‌گیری زمانی و فضایی آن مشکل است (سارولی و همکاران، ۲۰۱۲: ۹۲). بر این اساس، بررسی‌های کمی، مدیریت صحیح و استفاده مناسب از آبهای زیرزمینی، اهمیت می‌یابد. در این مطالعه تلاش بر این است تا نقشه پتانسیل آبهای زیرزمینی در محدوده شهرستان ارومیه، به‌منظور مدیریت صحیح و استفاده درست از این منبع مهم، تهیه شود.

ترکیب داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، در پایش آبهای زیرزمینی، برآورد، نظارت و حفاظت از منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (چاودهوری و چاوداری، ۲۰۱۰: ۱۲۱۰). ضمن اینکه این ابزار در تهیه نقشه‌های نواحی مستعد آبهای زیرزمینی بسیار مفید هستند. طی چند سال گذشته، استفاده از داده‌های سنجش از دور در کنار داده‌های مشاهده‌ای، موجب برآورد آسان و سیستمی مناطق مستعد آبهای زیرزمینی شده است (تی‌واری، ۱۹۹۶؛ توماس، ۱۹۹۹ و چاودهاری، ۲۰۱۰). اگرچه تصاویر ماهواره‌ای قادر به تعیین مستقیم موقعیت آبهای زیرزمینی نیستند، اما از طریق بررسی نقشه‌های تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای (کاربری اراضی، لندفرم‌ها و غیره)، می‌توان به شاخص‌های وجود آب زیرزمینی در یک منطقه پی برد (جها و پیفر، ۲۰۰۶).

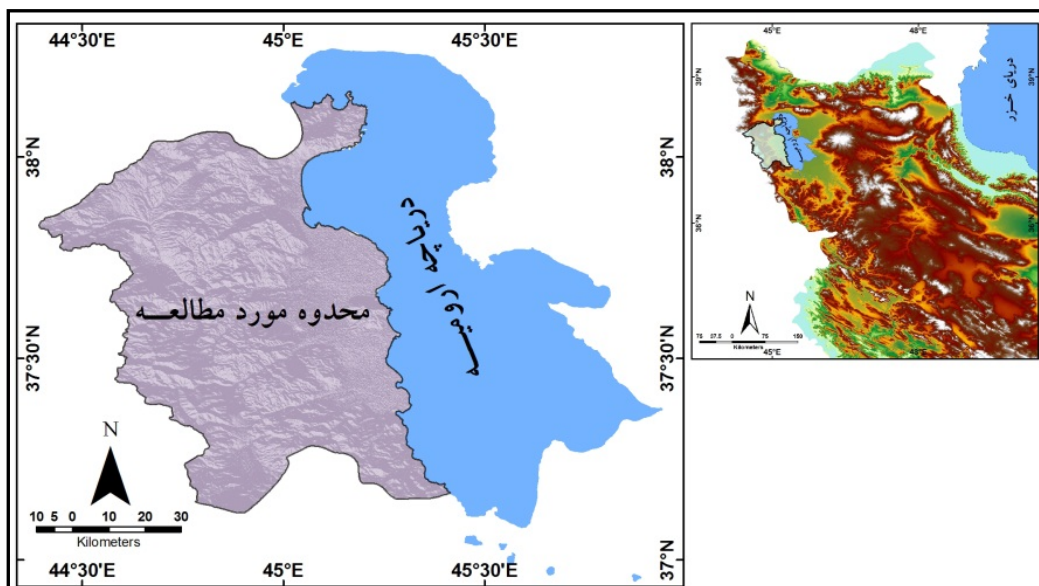
بسیاری از محققان برای ارزیابی مناطق مستعد آبهای زیرزمینی، سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی را به‌کار گرفته‌اند و اغلب به این نتیجه رسیده‌اند که عوامل تعیین‌کننده مناطق مستعد آبهای زیرزمینی، گوناگون است. عواملی چون، خطوط گسلی و شکستگی‌ها، تراکم شبکه زهکشی، ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، شدت بارندگی و بافت خاک، در پراکندگی آبهای زیرزمینی مؤثرند (ساندر، ۱۹۹۶؛ داس، ۲۰۰۰؛ سنر، ۲۰۰۵ و گاناپورام، ۲۰۰۸). داده‌های حاصل از این عوامل در کنار پیمایش‌های میدانی، نتایج رضایت‌بخشی به‌همراه دارد. باید توجه داشت که این نتایج از منطقه‌ای به منطقه دیگر فرق می‌کند؛ زیرا شرایط محیطی در همه جا یکسان نیست (فتحی عبدالله، ۲۰۱۲).

با در نظر گرفتن مطالعات قبلی دانشمندان، برای تهیه نقشه استعداد آبهای زیرزمینی در محدوده شهرستان ارومیه، روش سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش فاکتورهای چندتأثیر (MIF)<sup>۱</sup> و همچنین سنجش از دور به‌کار گرفته شد. فاکتورهای مورد استفاده در این پژوهش عبارتند از: سنگ‌شناسی (لیتولوژی)، کاربری اراضی، تراکم شبکه زهکشی، تراکم خطواره‌ها، شیب، ارتفاع و میزان بارندگی (ماگش، ۲۰۱۲: ۱۹۱) که هر یک از این فاکتورها به نقشه تبدیل شده و در نتیجه‌گیری نهایی مورد استفاده قرار گرفت.

هدف اصلی این پژوهش، ارائه روشی مناسب برای بررسی و مطالعه عوامل مؤثر بر آبهای زیرزمینی، تعیین نواحی مستعد آبهای زیرزمینی و در نهایت، تهیه نقشه مربوطه است؛ ضمن اینکه در این پژوهش، به منظور تطبیق نتایج با واقعیت بیرونی، نقشه استعداد آبهای زیرزمینی با داده‌های مربوط به چاه‌های مختلف موجود در محدوده مورد مطالعه، مقایسه شده است.

### محدوده مورد مطالعه

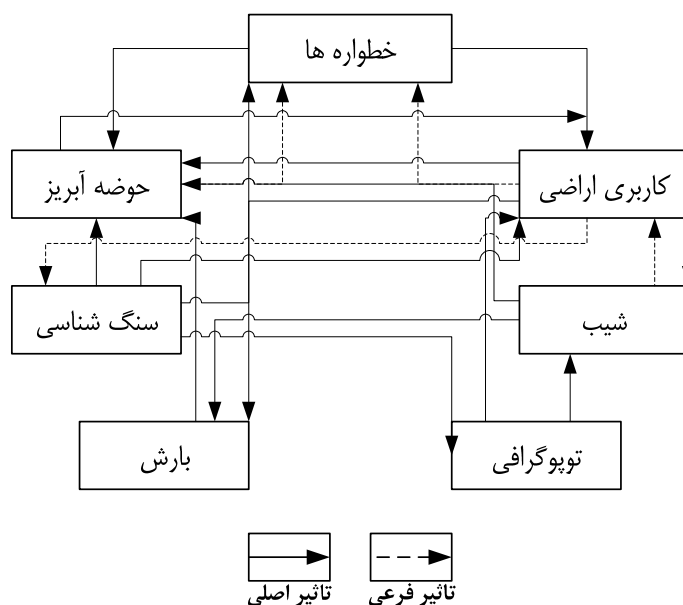
محدوده مورد مطالعه در بخش مرکزی استان آذربایجان غربی و در شهرستان ارومیه قرار گرفته است. با توجه به شرایط موجود در منطقه و خشکسالی‌های چند سال گذشته و همچنین شرایط دریاچه ارومیه و لزوم برنامه‌ریزی صحیح و مناسب در استفاده از آبهای سطحی و زیرسطحی در حوضه این دریاچه، این منطقه برای مطالعه موردی انتخاب شد. منطقه مورد مطالعه در محدوده عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۸ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۰ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۴۵ درجه ۳۰ دقیقه شرقی واقع شده است و حدود ۵۱۹۱ کیلومتر مربع مساحت دارد. با توجه به تصویر SRTM منطقه، مشخص می‌شود که از لحاظ مورفولوژی کلی، منطقه به دو بخش کوهستانی و دشت تقسیم می‌شود. بخش غربی محدوده، کوهستانی و دارای شیب زیادی است؛ در حالیکه بخش غربی آن دشت بوده و با شیب بسیار کم، در نهایت به دریاچه ارومیه می‌رسد (شکل ۱). ناهمواری محدوده مورد مطالعه بین ۱۲۴۴ و ۳۵۹۱ متر ارتفاع دارد. سه رودخانه اصلی به نام‌های باراندوزچای، شهرچای و نالوچای در این ناحیه با جهت غربی - شرقی جریان دارند. اداره هواشناسی آذربایجان غربی، متوسط بارندگی در این محدوده را حدود ۳۴۱ میلی‌متر در سال گزارش کرده است.



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه

## مواد و روش‌ها

روش مورد استفاده در این پژوهش، تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور با روش فاکتورهای چندتأثیر (MIF) است. هفت عامل مؤثر در آبهای زیرزمینی، شامل: سنگ‌شناسی، شیب، کاربری اراضی، خطواره‌ها، حوضه آبریز، توپوگرافی و بارندگی، مورد بررسی قرار گرفت (ماگش، ۲۰۱۲: ۱۹۱). ارتباط بین فاکتورهای مؤثر در پتانسیل آبهای زیرزمینی در شکل ۲ نشان داده شده است. هر یک از روابط بر اساس شدت و نقشی که در پتانسیل آبهای زیرزمینی دارند، وزن‌دهی شده است. نقشه نهایی، حاصل روی هم قرارگیری نقشه‌های موضوعی هر یک از این عوامل است. در نهایت عاملی که بیشترین وزن را داراست، بیشترین تأثیر را در نقشه نهایی دارد.



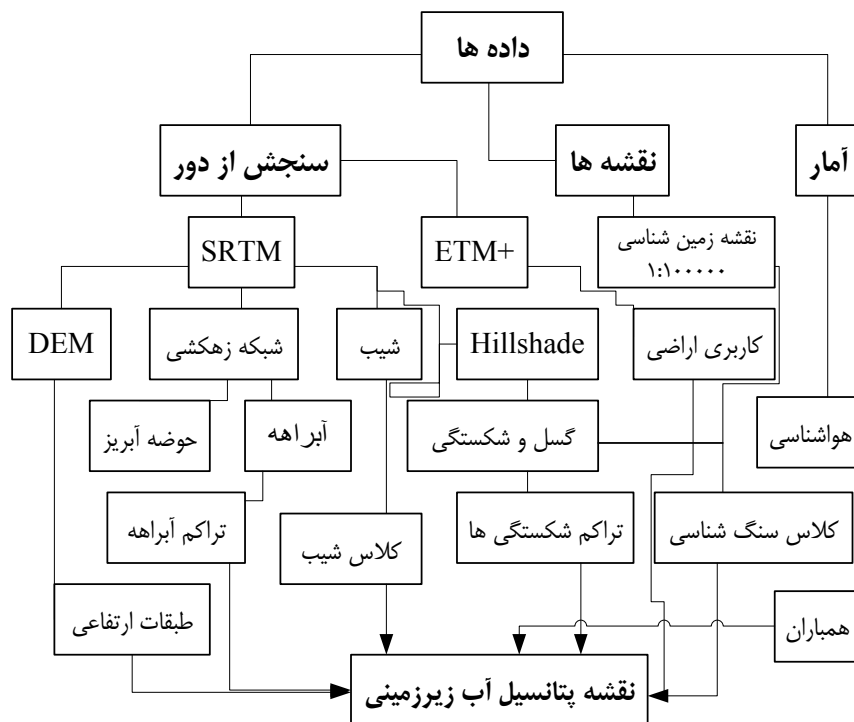
شکل ۲. روابط بین عوامل مؤثر بر پتانسیل آبهای زیرزمینی

برگرفته از: ماگش، ۲۰۱۲

از سوی دیگر داده‌های سنجش از دور، مانند تصاویر ETM+ با قدرت تفکیک ۳۰ متر و تصاویر SRTM، در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه برای استخراج سنگ‌شناسی و خطواره‌های محدوده، بررسی شدند. از تصویر ETM برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد. گفتنی است، با اینکه نقشه کاربری اراضی محدوده در سازمان منابع طبیعی در دسترس بود، ولی با توجه به تاریخ انتشار که مربوط به چند سال پیش بود، محقق بر آن شد تا نقشه جدیدی با در نظر گرفتن نقشه قبلی تهیه کند. بنابراین ابتدا تصویر ماهواره‌ای محدوده را تهیه کرده و پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم در نرم‌افزار ENVI، به تهیه نقشه مذکور اقدام شد. در نهایت نقشه به دست آمده با نقشه قبلی مقایسه و تکمیل شد.

داده‌های SRTM، داده‌های پایه در نظر گرفته شد. با استفاده از این داده‌ها، نقشه شبکه زهکشی منطقه و نقشه تراکم شبکه زهکشی در محیط GIS تهیه شد. شایان ذکر است که نقشه‌های شیب و توپوگرافی نیز از SRTM به دست آمد.

با در نظر گرفتن فاکتورهای هفت‌گانه، نقشه این فاکتورها با توجه با داده‌های بیان شده در بالا تهیه شد. تمامی مراحل تهیه و استخراج نقشه‌های مربوط، در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت پذیرفت. سپس با در نظر گرفتن اهمیت هر یک از فاکتورها، به هر نقشه وزنی اختصاص یافت و نقشه‌های موضوعی جدیدی ترسیم شدند. در نهایت با روی هم قراردادن<sup>۱</sup> این نقشه‌ها بر اساس وزنشان، نقشه پتانسیل آبهای زیرزمینی تهیه شد. در کنار آن، از داده‌های چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق منطقه استفاده شد تا صحت نتایج بررسی شود. داده‌ها و مراحل تهیه نقشه نهایی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. داده‌ها و نقشه‌های موضوعی تهیه شده برای هدف پژوهش

برگرفته از: عبدالله، ۲۰۱۲

## یافته‌های پژوهش

به‌منظور تهیه نقشه استعداد آبهای زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه، نقشه‌های موضوعی، شامل نقشه شیب، شبکه زهکشی، خطواره‌ها، توپوگرافی و سنگ‌شناسی، از تصاویر و نقشه‌های پایه استخراج شد. روش این مطالعه بر تعیین پارامترهای اصلی و مهم مؤثر در آبهای زیرزمینی استوار است. این عناصر به شرح زیر هستند:

۱. شیب؛ که بر رواناب‌ها و میزان نفوذ آن به زیر زمین تأثیر دارد؛
۲. شبکه زهکشی؛ که توزیع فضایی رواناب‌ها و تغذیه آبهای زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛
۳. خطواره‌ها؛ که بر نفوذپذیری و خلل و فرج ثانویه، تأثیر مثبت گذاشته و موجب نفوذ عمودی آب می‌شود؛

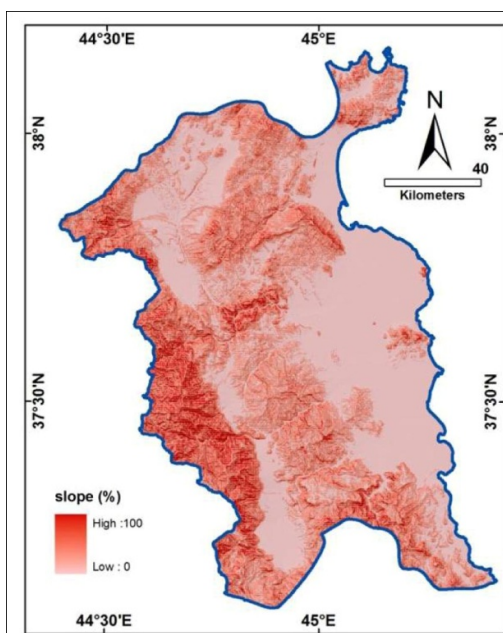
۴. سنگ‌شناسی؛ که قابلیت نفوذپذیری را تشدید یا کم می‌کند؛

۵. لایه‌های مختلف توپوگرافیکی (عبداله، ۲۰۱۲).

پس از درجه‌بندی اهمیت هر کدام از لایه‌ها و بخش‌های مختلف این لایه‌ها، به وزن‌دهی آنها اقدام شد. تمامی لایه‌های وزن‌دهی‌شده، در محیط GIS تلفیق شدند و در نهایت نقشه پتانسیل آبهای زیرزمینی منطقه به‌دست آمد.

### شیب

وجود یا جابه‌جایی سفره‌های آب زیرزمینی تا حد زیادی به شیب توپوگرافیکی و ساختمانی وابسته است. بنابراین می‌توان شیب را عاملی مهم در جریان رواناب یا نفوذ آن برشمرد. به همین دلیل لایه شیب در تهیه نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفت. باید توجه داشت که سرعت رواناب در مناطق کم‌شیب، ناچیز است. سرعت کم رواناب موجب نفوذ بیشتر آب در زمین می‌شود. برعکس در مناطق پرشیب، سرعت نفوذ آب بسیار کاهش می‌یابد (عبداله، ۲۰۱۲). با توجه به این مفاهیم، نقشه شیب محدوده مورد مطالعه از داده‌های SRTM استخراج شد. نقشه حاصله در چهار گروه طبقه‌بندی گردید و در محیط GIS، به هر کلاس وزن مخصوصی تعلق گرفت. بازه‌های مختلف نقشه شیب بدین شرح طبقه‌بندی شدند: ۰ تا ۱۵، ۱۵ تا ۳۰، ۳۰ تا ۴۵ و بیشتر از ۴۵ درصد. در وزن‌دهی به تمامی عوامل از اعداد ۱ تا ۱۰ استفاده شد. اعداد بزرگتر، اهمیت بالای آن فاکتور را نشان می‌دهد. کلاس‌بندی نقشه شیب از بسیار کم‌شیب تا بسیار پرشیب، بر پایه نقش آنها در پتانسیل آب زیرزمینی صورت پذیرفت (شکل ۴).



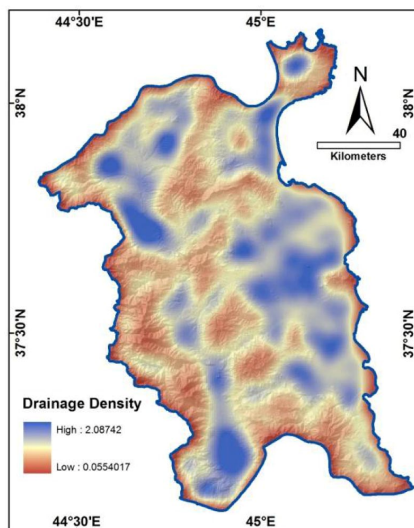
شکل ۴. نقشه شیب منطقه مورد مطالعه

### شبکه زهکشی

بررسی مورفومتریکی دقیق شبکه رودخانه، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های شرایط هیدرولوژیکی به‌شمار می‌رود؛ چرا که بافت، الگو و تراکم شبکه زهکشی، با توجه به سنگ‌های بستر تعیین می‌شود، بنابراین می‌تواند در میزان نفوذ رواناب به زمین دخالت داشته باشد (ادت، ۱۹۹۸).

شبکه زهکشی محدوده مورد مطالعه، با استفاده از داده‌های SRTM تولید شد. با توجه به داده‌های حاصل از SRTM مشخص شد که در بیشتر بخش‌های مورد مطالعه، الگوی شبکه زهکشی از نوع شاخه درختی است. معمولاً این نوع شبکه زهکشی در مناطقی با سنگ‌های تقریباً یکسان ایجاد می‌شود (ماگش، ۲۰۱۲). در این ناحیه نیز بیشتر سنگ‌های برونزده، از نوع آهک است. با روی هم قرار دادن نقشه سنگ‌شناسی و شبکه آبراهه محدوده مورد مطالعه، مشخص شد که تعداد و تراکم آبراهه‌ها در سازندهایی مانند رسوبات مخروط‌افکنه‌ای جدید و قدیم (رسوبات کواترنری)، بیشتر از سایر بخش‌هاست.

نقشه تراکم شبکه زهکشی (شکل ۵)، با استفاده از شبکه زهکشی حاصل از داده‌های SRTM تولید شد. این نقشه در چهار طبقه قرار گرفت. در واقع بازه طبقه‌بندی آن بین ۰/۰۵۵ تا ۲/۰۸ کیلومتر در کیلومتر مربع محاسبه شد. رابطه بین تراکم زهکشی و میزان نفوذ آب معکوس است؛ هر جا شبکه زهکشی زیاد باشد، نشان‌دهنده تمرکز آب به صورت رواناب بوده و این خود موجب کاهش نفوذ آب می‌شود. از سوی دیگر، وجود تراکم بالای زهکشی، ممکن است نشان‌دهنده سازندهایی باشد که مستعد ایجاد مسیرهای جریانی متعددی هستند (شعبان، ۲۰۰۴). اما رسوبات کواترنری، به‌ویژه نهشته‌های مخروط‌افکنه‌ای، از این قانون مستثنی هستند. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، بیشترین تراکم زهکشی در رسوبات آبرفتی مشاهده می‌شود. بنابراین در نگاه اول، چنین به نظر می‌رسد که این مناطق مستعد آبهای زیرزمینی نیستند، اما باید توجه داشت که بستر این جریانات، اغلب از رسوبات شنی و ماسه‌ای تشکیل شده است که سازندهای بسیار نفوذپذیر به‌شمار می‌روند. بنابراین می‌توان گفت که بستر این جریانات محیط‌های مناسبی برای نفوذ آب به سفره‌های آبی هستند. در نتیجه در پژوهش حاضر، هنگام وزن‌دهی به عامل تراکم زهکشی، تراکم‌های بیشتر، وزن بیشتری را به خود اختصاص دادند.



شکل ۵. نقشه تراکم شبکه زهکشی ( $\text{Km/Km}^2$ )

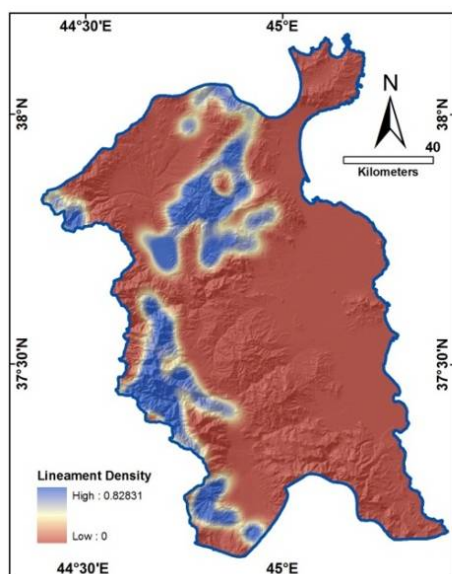
### سنگ‌شناسی

وجود و جریان آبهای زیرزمینی به تخلل و نفوذپذیری سنگ بستر نیز، وابسته است (سریده‌ها، ۲۰۰۹). سنگ‌هایی با تخلل زیاد، نفوذپذیری بالایی دارند. ظرفیت نفوذ آب در سنگ‌ها معمولاً از فرایندهای هوازدگی، سختی سنگ و میزان

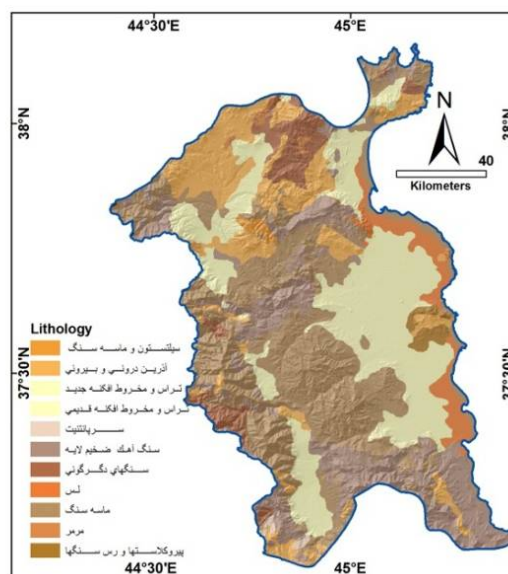
درز و شکاف آنها تعیین می‌شود. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تهیه و در محیط GIS رقومی شد و نوع سازندهای آن مشخص گردید. سپس بر اساس نفوذپذیری سازندها، وزن‌دهی انجام گرفت. در نهایت نقشه سنگ‌شناسی محدوده، بر اساس وزن و میزان اهمیت آن در وجود آبهای زیرزمینی، ترسیم شد. این نقشه به منزله یکی از فاکتورهای مؤثر بر پتانسیل آبهای زیرزمینی، در تهیه نقشه نهایی مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۶). با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که بخش عمده‌ای از منطقه را سنگ‌های آهکی پوشانده است. البته باید اشاره کرد که این توده‌های آهکی، خالص نبوده و همراه با سنگ‌های دیگر هستند. علاوه بر انواع مختلف سنگ آهک، رسوبات کواترنری، سنگ‌های آذرین و دگرگونی نیز در محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. در این بین رسوبات مخروط‌افکنه‌ای (کواترنری)، مساحت چشمگیری را به خود اختصاص داده‌اند و بیشتر آنها در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه پراکنده شده‌اند.

### تراکم خطواره‌ها

هدف از تهیه این نقشه، درک ارتباط بین نفوذ آبهای سطحی و سیستم درز و شکاف سنگ‌هاست. میزان نفوذ آبهای سطحی، به‌ویژه در سطح سنگ‌های سخت، تا حدود زیادی به وجود و گسترش سیستم درز و شکاف و شکستگی‌ها و همچنین میزان هوازگی وابسته است (سینگ، ۲۰۰۳). بی‌شک شکستگی‌ها و گسل‌های اصلی، نقاط مناسبی برای نفوذ آب به‌شمار می‌روند. این فاکتورها، عوامل هیدرولوژیکی - زمین‌شناختی بسیار مهمی در تغذیه و جابه‌جایی آبهای زیرزمینی محسوب می‌شوند. تراکم خطواره‌ها می‌تواند به‌طور غیر مستقیم نشان‌دهنده مناطق مستعد آبهای زیرزمینی (مناطق تغذیه) باشد. نواحی با تراکم بالا، نواحی مناسبی از لحاظ آبهای زیرزمینی شمرده می‌شوند (هاردیس، ۱۹۹۸).



شکل ۷. تراکم خطواره‌ها ( $\text{Km/Km}^2$ )



شکل ۶. نقشه سنگ‌شناسی محدوده مورد مطالعه

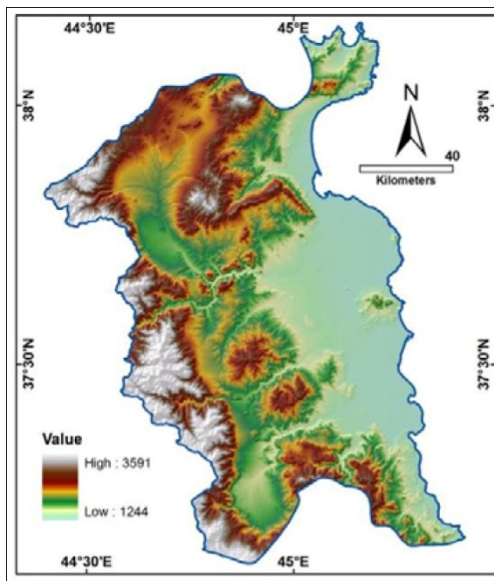


نقشه تراکم خطواره‌های منطقه مورد مطالعه در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشخص می‌شود که خطواره‌های محدوده مورد مطالعه بیشتر در غرب و مرکز شمال گسترده شده‌اند؛ ضمن اینکه از لحاظ تراکم، بین صفر تا ۰/۲۸ متفاوتند.

### توپوگرافی

توپوگرافی سطحی، جهت و سرعت حرکت رواناب‌های سطحی را تعیین می‌کند. بدین لحاظ می‌تواند نقش مهمی در پراکندگی آبهای زیرزمینی ایفا کند (عبداله، ۲۰۱۲). مدل رقومی ارتفاعی محدوده مورد مطالعه از داده‌های SRTM تهیه و در تحلیل‌های ارتفاعی محدوده، به کار گرفته شد.

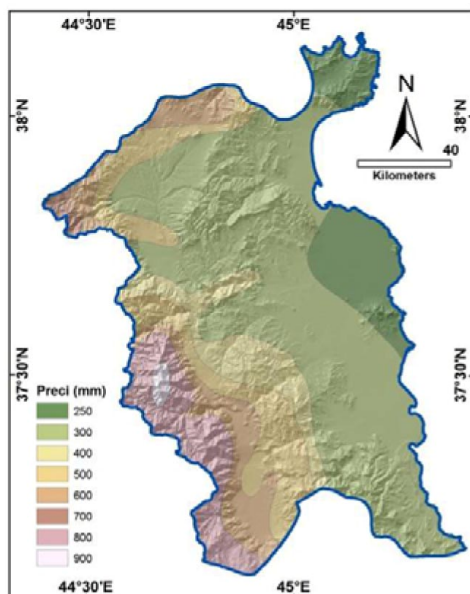
کمترین ارتفاع منطقه ۱۲۴۴ و بیشترین ارتفاع، ۳۵۹۱ متر است. این اختلاف ارتفاع موجب شیب سطحی زمین می‌شود که خود در پراکندگی آبهای زیرزمینی و نفوذ آبهای سطحی تأثیر می‌گذارد. با توجه به شکل ۸، مشخص می‌شود که اغلب سطوح کم ارتفاع در بخش غربی محدوده مورد مطالعه قرار دارد. همچنین در بخش غربی کوه‌های شرقی نیز مناطق کم‌ارتفاعی مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت اگر شیب توپوگرافیکی با شیب ساختمانی، هم جهت باشد، در تغذیه و جابه‌جایی سفره‌های آب زیرزمینی تأثیر بسیار زیادی خواهند داشت.



شکل ۸. نقشه هیپسومتری محدوده مورد مطالعه

### بارش

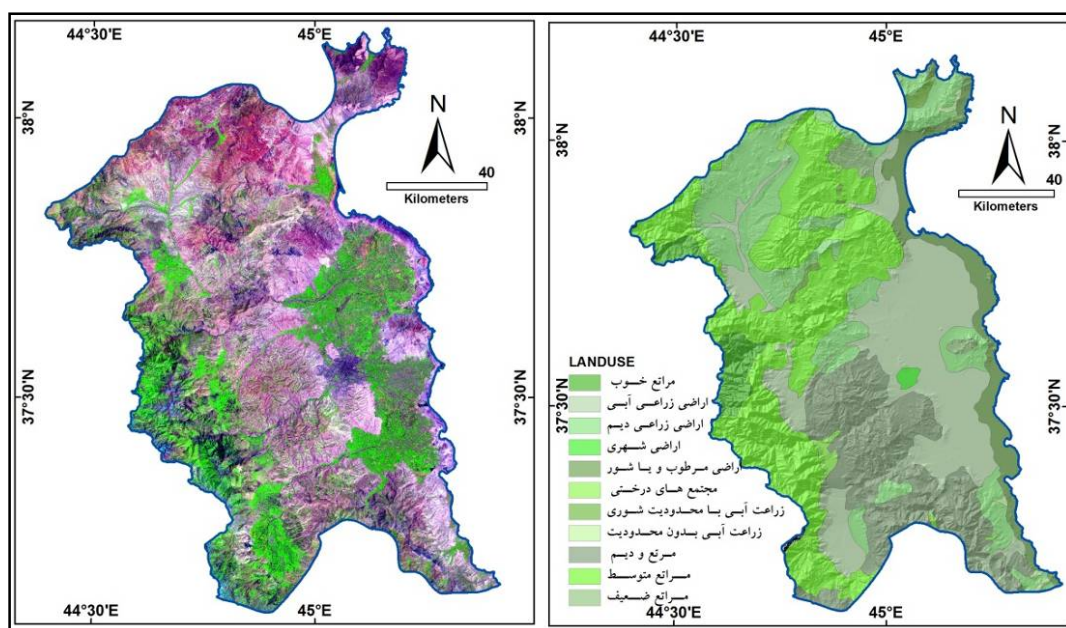
متوسط بارندگی سالانه منطقه در حدود ۳۴۱ میلی‌متر است. بارندگی محدوده مورد مطالعه بیشتر تحت تأثیر جریان‌های غربی در زمستان و جریانات همرفتی در بهار است. توزیع فضایی بارندگی می‌تواند به‌طور مستقیم بر میزان نفوذ و افزایش پتانسیل آبهای زیرزمینی، تأثیرگذار باشد (ماگش، ۲۰۱۲). با توجه به اهمیت بارندگی در آبهای زیرزمینی، نقشه خطوط همبارش منطقه تهیه شد و وزن‌دهی آنها در محیط GIS انجام گرفت (شکل ۹). مناطقی با بارش بالا، وزن زیاد و بر عکس مناطق کم‌بارش، وزن کمی به خود گرفتند.



شکل ۹. توزیع بارش در محدوده مورد مطالعه

### کاربری اراضی

کاربری‌های مختلف می‌تواند در میزان نفوذ آب دخیل باشد. برای مثال، در کاربری‌های شهری و مسکونی تقریباً هیچ نوع نفوذی وجود ندارد؛ در حالیکه مراتع، بسیار خوب می‌توانند موجب نفوذ مقادیر زیاد آب در زمین شوند. نقشه کاربری اراضی محدوده با استناد به نقشه‌های کاربری موجود و همچنین تصویر ماهواره‌ای ETM، تولید شد (شکل ۱۰). با توجه به نقشه مذکور مشخص می‌شود که بخش گسترده‌ای از محدوده را مراتع ضعیف تا خوب و همچنین زمین‌های کشاورزی ضعیف تا خوب پوشانده است. محدودیت شوری تنها در امتداد نوار ساحلی دریاچه ارومیه وجود دارد.

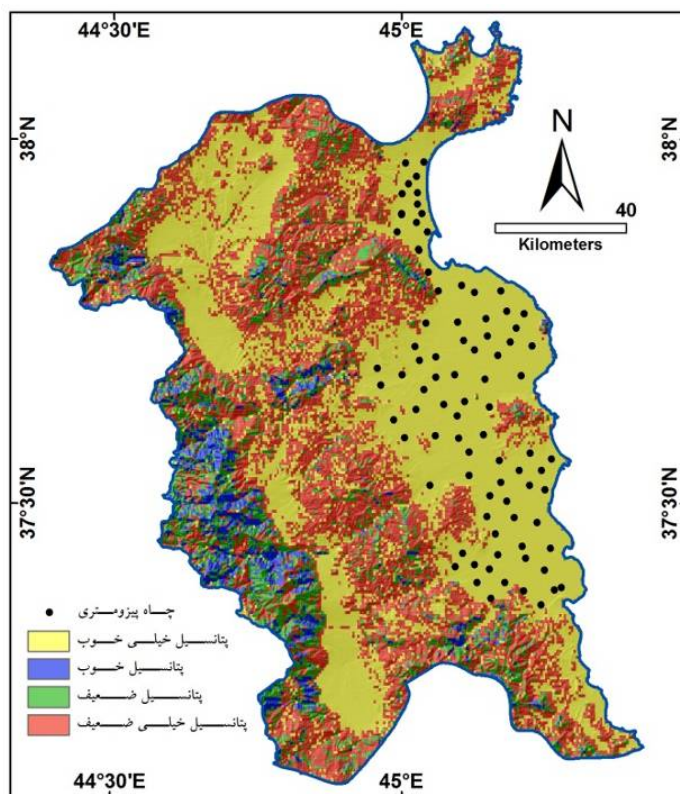


شکل ۱۰. تصویر ETM و نقشه کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه

### استخراج نقشه مناطق مستعد آبهای زیرزمینی

تهیه نقشه مناطق مستعد آبهای زیرزمینی، پیش‌نیاز برنامه‌ریزی و توسعه کشاورزی و صنعتی به‌شمار می‌رود. به این منظور هر یک از نقشه‌های موضوعی، شامل سنگ‌شناسی، تراکم زهکشی، شیب و... در محیط GIS وزن‌دهی شده و بر اساس این وزن‌ها با همدیگر ادغام شدند. تهیه نقشه نهایی تا حد زیادی به ادغام فاکتورهای چندگانه وابسته است (سیکدار و همکاران، ۲۰۰۴). در این روش نقشه‌های موضوعی تهیه شده، بر اساس اهمیت هر یک از آنها در آبهای زیرزمینی، وزن‌دهی می‌شوند. در نهایت این نقشه به روش هم‌قرارگیری وزنی<sup>۱</sup> سایر نقشه‌ها تولید می‌شود؛ ضمن آنکه نقشه تهیه شده به کلاس‌های مختلفی تقسیم می‌شود. معیار تقسیم‌بندی کلاس‌ها به استعداد ذخیره و انتقال آب وابسته است.

نقشه استعداد آبهای زیرزمینی به‌وسیله تحلیل فضایی در قالب نرم‌افزار ArcGIS، تهیه شد (شکل ۱۱). این نقشه نشان‌دهنده مناطقی از محدوده مورد مطالعه است که از لحاظ آبهای زیرزمینی مستعد و غنی هستند. کل محدوده به چهار بخش خیلی خوب، خوب، ضعیف و خیلی ضعیف تقسیم شد. به‌طور کلی در محدوده مورد مطالعه، زمین‌های پوشیده از رسوبات مخروط‌افکنه‌ای کواترنری با شیب بسیار پایین و تراکم آبراه‌های بالا شرایط بسیار خوبی از لحاظ آبهای زیرزمینی دارند. اغلب این زمین‌ها در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه و نیز در شرق کوه‌های غربی پراکنده است.



شکل ۱۱. نقشه مناطق دارای پتانسیل آبهای زیرزمین و ارتباط آن با چاه‌های بی‌زومتری

## بحث و نتیجه‌گیری

نقشه مناطق مستعد آبهای زیرزمینی در محدوده شهرستان ارومیه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش MIF، تهیه شد. منظور از مناطق مستعد آبهای زیرزمینی در این پژوهش، پهنه‌بندی مناطق تغذیه آبهای زیرزمینی است؛ به این معنا که در چه مناطقی استعداد تشکیل یا وجود سفرهای زیرزمینی وجود دارد. با استفاده از این روش، در هزینه و زمان صرفه‌جویی خوبی صورت می‌گیرد. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های موضوعی مانند تراکم زهکشی، سنگ‌شناسی، تراکم خطواره‌ها، کاربری اراضی و ... استفاده شد. با توجه به نقشه مناطق مستعد آبهای زیرزمینی مشخص می‌شود که بخش گسترده‌ای از منطقه از لحاظ پتانسیل آبهای زیرزمینی در شرایط بسیار خوبی قرار دارد. این کلاس در حدود ۲۵۴۳ کیلومترمربع مساحت دارد. این مناطق از بیشترین تعداد شبکه زهکشی با بستر سنی و همچنین رسوبات مخروط‌افکنه‌ای و زمین‌های کشاورزی تشکیل شده است. گفتنی است که با توجه به نقشه نهایی ملاحظه می‌شود که پس از کلاس بسیار خوب، کلاس خیلی ضعیف، بیشترین مساحت را دارد. در نقشه مذکور بایستی به این نکته توجه کرد که نواحی دارای پتانسیل خوب، بیشتر در نواحی کوهستانی واقع شده است. البته در برنامه‌ریزی نهایی برای استفاده از آبهای زیرزمینی این منطقه، باید این موضوع را مد نظر داشت که سهولت بهره‌برداری از سفره‌های آبی نیز مهم است. دو عامل اصلی موجب شده تا کلاس خوب در مناطق کوهستانی قرار بگیرد: الف) وجود شکستگی‌ها و گسل‌ها و ب) وجود آهک‌های توده‌ای با شبکه‌ای از درز و شکاف‌ها.

در نهایت به منظور آزمایش میزان صحت این روش، نقشه نهایی با نقشه پراکندگی چاه‌های محدوده مورد مطالعه، مقایسه شد (شکل ۱۱). در این راستا پراکندگی و سطح ایستابی ۸۶ حلقه چاه پیزومتری در محدوده دشت ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به داده‌های موجود مشخص می‌شود که متوسط سطح ایستابی کل چاه‌ها در حدود ۱۳۰۶/۲۷ متر بالاتر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد. حداکثر ارتفاع سطح ایستابی چاه‌ها، ۱۳۹۴/۰۶ متر و حداقل آن ۱۲۷۹/۲۲ متر است. البته در اینجا پراکندگی چاه‌ها نیز اهمیت زیادی دارد. با توجه به شکل ۱۱ مشخص می‌شود که تمامی چاه‌های مورد مطالعه از لحاظ پتانسیل آبهای زیرزمینی در کلاس بسیار خوب قرار دارند و این ارتباط می‌تواند دقت و صحت این روش را اثبات کند.

می‌توان گفت روش مورد استفاده در این پژوهش، یک روش عملی و تجربی مناسب در زمینه مطالعه آبهای زیرزمینی به‌شمار می‌رود؛ یعنی می‌توان با تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور و روش MIF، در کمترین زمان و با کمترین هزینه به اهداف مورد نظر دست یافت.

## منابع

- Abdalla, F., 2012, **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, No. 70, PP. 8–17.
- Chowdhury, A., Jha, M.K., 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, Vol. 59, No. 6, PP. 1209-1222.

- Das, S., Behera, S.C., Kar, A., Narendra, P., Guha, S., 1997, **Hydrogeomorphological Mapping in Groundwater Exploration Using Remotely Sensed Data, A Case Study in Keonjhar District, Orissa**, Journal of Indian Society of Remote Sensing, Vol. 25, No. 4, PP.247-259.
- Edet, A.E., Okereke, C.S., Teme, S.C., Esu, E.O., 1998, **Application of Remote Sensing Data to Groundwater Exploration: A Case Study of the Cross River State, Southeastern Nigeria**, Journal of Hydrogeology, Vol. 6, No. 3, PP. 394-404.
- 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, No. 40, PP. 506-518.
- Haridas, V.R., Aravindan, S., Girish, G., 1998, **Remote Sensing and its Applications for Groundwater Favourable Area Identification**, Quarterly Journal of GARC, Vol. 6, No. 6, PP. 18-22.
- Jha, M.K., Chowdary, V.M., Chowdhury, A., 2010, **Groundwater Assessment in Salboni Block, West Bengal (India) Using Remote Sensing, GIS and Multi-criteria Decision Analysis Techniques**, Hydrogeology Journal, Vol. 18, No. 21, PP. 1713-1728.
- Lee, S., Kim, Y.S. and Oh, H.J., 2012, **Application of a Weights-of-Evidence Method and GIS to Regional Groundwater Productivity Potential Mapping**, Journal of Environmental Management, Vol. 96, No. 1, PP. 91-105.
- Magesh, N.S., 2012, **Delineation of Groundwater Potential Zones in Theni District, Tamil Nadu, Using Remote Sensing, GIS and MIF Techniques**, Geoscience Frontiers, Vol. 3, No. 2, PP. 189 – 196.
- Sander, P., Chesley, M., Minor, T., 1996, **Groundwater Assessment Using Remote Sensing and GIS in a Rural Groundwater Project in Ghana: Lessons Learned**, Hydrogeology Journal, Vol. 4, No. 3, PP. 78-93.
- Sener, E., Davraz, A., Ozcelik, M., 2005, **An Integration of GIS and Remote Sensing in Groundwater Investigations: a Case Study in Burdur, Turkey**, Hydrogeology Journal, Vol. 13, No. 6, PP. 826-834.
- Shaban, A., Khawlie, M., Abdallah, C., 2006, **Use of Remote Sensing and GIS to Determine Recharge Potential Zone: the Case of Occidental Lebanon**, Hydrogeology Journal, Vol. 14, No. 4, PP. 433-443.
- Sikdar, P.K., Chakraborty, S., Enakshi, A., Paul, P.K., 2004, **Land Use / Land Cover Changes and Groundwater Potential Zoning in and Around Raniganj Coal Mining Area, Bardhaman District, West Bengal – a GIS and Remote Sensing Approach**, Journal of Spatial Hydrology, Vol. 4, No. 5, PP. 1-24.
- Singh, A.K., Prakash, S.R., 2003, **An Integrated Approach of Remote Sensing, Geophysics and GIS to Evaluation of Groundwater Potentiality of Ojhala Subwatershed, Mirzapur District, UP, India**, in: Map India Conference, <http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/ground/mi03014.htm>
- Sreedhar, G., Vijaya Kumar, G.T., Murali Krishna, I.V., Ercan, K., Cüneyd, D.M., 2009. **Mapping of Groundwater Potential Zones in the Musi Basin Using Remote Sensing Data and GIS**, Advances in Engineering Software, Vol. 40, No. 7, PP. 506 –518.
- Thomas, A., Sharma, P.K., Sharma, M.K., Sood, Anil, 1999, **Hydrogeomorphological Mapping in Assessing Groundwater by Using Remote Sensing Data, Case Study in Lehra Gage Block, Sangrur District, Punjab**, Journal of Indian Society of Remote Sensing, Vol. 27, No. 1, PP. 31-42.

Tiwari, A., Rai, B., 1996, **Hydromorphological Mapping for Groundwater Prospecting Using Landsat - MSS Images, Case Study of Part of Dhanbad District, Bihar**, Journal of Indian Society of Remote Sensing, Vol. 24, No. 3, PP. 281-285.