

بسم الله الرحمن الرحيم



دانشکده علوم زمین  
پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی هیدروژئولوژی

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در توده گرانیتی شیرکوه یزد

نگارنده: فرخنده طاهری

استاد راهنما:

دکتر هادی جعفری

استاد مشاور:

دکتر محمد رضایی

دی ۱۳۹۵

این مجموعه پیشکش است به:

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته ای که از خواسته هایشان گذشته اند، سختی ها را به جان خریده اند و  
خود را سپر بلای مشکلات و ناملایمات کرده اند تا من به جایگاهی که اکنون در آن  
ایستاده ام برسم.

و برادرم

که همواره در طول تحصیل متحمل زحماتم و تکیه گاه من در مواجهه با مشکلات  
بوده و وجودش مایه دلگرمی من بوده است.

## شکر و قدردانی

سپاس خداوندیکتا راست که بشر را فطرت آموخت و بدین خصلت اشرف مخلوقات نمود، حمد بیکران او راست که هر چه بگری به حکمت نگارده است و آسمانها بدین نظم استوار ساخته است، بیچ پدیده ای جز در وضعی که خالق آن معین نموده است سزاوار نیست و آدمی را جز به نظاره و بیان گوشه های کوچکی از آن همه ظرافت معذور نمی باشد، آنچنان که این پژوهش جز کاوش گوشه ای از طبیعت بیکران بیچ نیست. ولذا

من به سرچشمه خورشید نه خود بردم راه      ذره ای بودم و مهر تو مرا بالا برد

در این راستا مراتب سپاس قلبی خود را به استاد گرامیم جناب آقای دکتر مهدی جعفری که مرا به شاکردی پذیرفتند و همواره با راهنمایی های ارزنده علمی و اخلاقی خود مرا م侖 لطف و محبت قرار داده اند، کمال شکر و قدردانی را دارم.

از مشاور گرامیم جناب آقای دکتر محمد رضایی به خاطر تمام بهکاری ها، صبوری ها و هر آنچه که به من آموخته اند سپاسگزاری می کنم. همچنین از اساتید فریخته و مهربانم جناب آقای دکتر غلامحسین کرمی و رحیم باقری که در طی دوران تحصیل افتخار شاکردیشان را داشته ام و زحمت دآوری این رساله را نیز مستقبل شدند؛ نهایت شکر و قدردانی را دارم.

از تمامی دوستان و بهکلاسی های عزیزم، بخصوص خانم بهاره یزدی زاده، فاطمه میرشکاری، زهرا بوسلیک و فاطمه باقری کمال شکر را داشته و آرزوی توفیق روز افزون ایشان را از خداوند بزرگ مسئلت دارم.

و در نهایت از بهکاری و همراهی تمامی اعضای خانواده ام که همیشه همراه، همل و راهنمای من در تمامی مراحل زندگی بوده اند، صمیمانه شکر می نمایم. از خداوند منان طول عمر و توفیق روز افزون این بزرگواران را در جهت سربلندی فرهنگ و دانش این مرز و بوم خواستارم.

## تعهد نامه

اینجانب **فرخنده طاهری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته رشته زمین شناسی گرایش آب شناسی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان **پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در توده گرانیتهی شیرکوه یزد** تحت راهنمایی آقای **دکتر هادی جعفری** متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

## چکیده

با توجه به اینکه سازندهای سخت از منابع مهم ذخیره آب در دنیا می‌باشند، در این پژوهش پتانسیل آب زیرزمینی در سنگ‌های گرانیتی منطقه شیرکوه واقع در جنوب غرب یزد مورد ارزیابی قرار گرفته است. این منطقه به لحاظ اهمیت اصلی‌ترین منبع تغذیه آبخوان آبرفتی دشت یزد- اردکان می‌باشد. در این مطالعه ابتدا پارامترهای مؤثر در تعیین میزان پتانسیل آب زیرزمینی مشخص گردید. این پارامترها شامل لایه‌های تراکم خطواره، تراکم آبراهه، بارش، لیتولوژی، شیب و پوشش گیاهی می‌باشند که با استفاده از نرم‌افزارهای مربوطه نظیر سنجش از دور (RS) و GIS تهیه شده‌اند. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی از دو روش دانش محور منطق فازی پیوسته و ارزیابی چند معیاره جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی استفاده گردید. در روش فازی پس از فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS، با استفاده از عملگرهای مختلف فازی لایه‌های اطلاعاتی تلفیق شده‌اند. پس از اعتبارسنجی، عملگر گاما به عنوان بهترین عملگر جهت تلفیق و تهیه نقشه نهایی انتخاب گردید که در این روش حدود ۲۰ درصد از مساحت کل منطقه به عنوان نواحی مناسب شناسایی گردید. در روش ارزیابی چند معیاره پس از وزن دهی لایه‌ها با نظر کارشناسی، لایه‌های اطلاعاتی به روش ترکیب خطی وزن دار تلفیق شدند و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تولید گردید. پس از صحت سنجی نتایج هر دو مدل توسط موقعیت منابع آبی و دبی آن‌ها، با توجه به انطباق بسیار خوب منابع آبی با مناطق دارای پتانسیل مناسب در روش ارزیابی چند معیاره، این روش جهت تعیین مناطق مناسب از نظر پتانسیل آب زیرزمینی استفاده گردید. در این روش حدود ۴۰ درصد از مساحت کل منطقه به عنوان مناطق خوب و بسیار خوب شناسایی شدند که این مناطق شامل دره‌های موجود در منطقه (بخش هوازده توده گرانیتی) و قسمت مرکزی توده گرانیتی (بخش درز و شکافدار) می‌باشد.

**کلید واژه:** پتانسیل یابی آب زیرزمینی، منطق فازی، ارزیابی چند معیاره، شیرکوه، یزد

## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- طاهری، ف.، جعفری، ه.، رضایی، م.، ۱۳۹۵، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه یزد با استفاده از سنجش از دور و GIS، نهمین همایش ملی زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران.
- طاهری، ف.، جعفری، ه.، رضایی، م.، ۱۳۹۵، انتخاب عملگر مناسب روش منطق فازی در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه، یزد، بیستمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تهران، تهران.

## فهرست مطالب

### فصل اول: مقدمه

|         |                                    |    |
|---------|------------------------------------|----|
| ۱-۱     | بیان مسئله                         | ۲  |
| ۲-۱     | موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه | ۳  |
| ۳-۱     | آب و هوای منطقه                    | ۳  |
| ۴-۱     | ضریب اقلیمی دمارتن                 | ۵  |
| ۵-۱     | نمودار آمبروترمیک                  | ۵  |
| ۴-۱     | ژئومورفولوژی منطقه شیرکوه          | ۶  |
| ۵-۱     | زمین شناسی منطقه                   | ۷  |
| ۱-۵-۱   | چینه شناسی و سنگ شناسی             | ۷  |
| ۱-۵-۱-۱ | گرانیت شیرکوه (G)                  | ۹  |
| ۲-۵-۱-۱ | سازند سنگستان (Ks)                 | ۹  |
| ۳-۵-۱-۱ | سازند تفت (Kt)                     | ۱۰ |
| ۴-۵-۱-۱ | سازند دره زنجیر (Kdz)              | ۱۰ |
| ۵-۵-۱-۱ | کنگلومرای کرمان (Pgk)              | ۱۱ |
| ۲-۵-۱   | تکتونیک و زمین ساخت منطقه          | ۱۱ |
| ۶-۱     | ویژگی های منابع آب منطقه شیرکوه    | ۱۲ |

### فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

|       |                                                   |    |
|-------|---------------------------------------------------|----|
| ۱-۲   | مقدمه                                             | ۱۶ |
| ۲-۲   | تعریف سازند سخت                                   | ۱۶ |
| ۳-۲   | هیدروژئولوژی سازندهای سخت (سنگهای متبلور)         | ۱۷ |
| ۱-۳-۲ | شکل ظاهری (Landforms) و سیستم زهکشی               | ۱۸ |
| ۲-۳-۲ | جریان آب زیرزمینی در سنگهای درز و شکافدار         | ۲۱ |
| ۴-۲   | پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی و عوامل مؤثر بر آن | ۲۳ |
| ۱-۴-۲ | عامل لیتولوژی                                     | ۲۳ |
| ۲-۴-۲ | عامل ساختاری                                      | ۲۴ |
| ۳-۵-۲ | توپوگرافی                                         | ۲۶ |
| ۴-۵-۲ | هیدرولوژی و هیدروژئولوژی                          | ۲۶ |

|    |                                                                               |
|----|-------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۷ | ۵-۲ سیستم اطلاعات جغرافیایی .....                                             |
| ۲۸ | ۶-۲ سنجش از دور .....                                                         |
| ۲۹ | ۷-۲ سوابق مطالعات انجام شده در ارتباط با پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی ..... |

### فصل سوم: مواد و روش ها

|    |                                                                         |
|----|-------------------------------------------------------------------------|
| ۳۸ | ۱-۳ مقدمه .....                                                         |
| ۳۸ | ۲-۳ جمع آوری اطلاعات .....                                              |
| ۳۹ | ۳-۳ عملیات صحرایی .....                                                 |
| ۴۰ | ۴-۳ پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای .....                                  |
| ۴۰ | ۱-۴-۳ تصحیح اتمسفری .....                                               |
| ۴۱ | ۲-۴-۳ موزاییک کردن (یکپارچه سازی) تصاویر .....                          |
| ۴۱ | ۳-۴-۳ یکجا کردن تصاویر (Stack) .....                                    |
| ۴۱ | ۵-۳ پردازش تصاویر .....                                                 |
| ۴۲ | ۱-۵-۳ ترکیب رنگی کاذب .....                                             |
| ۴۲ | ۲-۵-۳ نسبت باندی .....                                                  |
| ۴۳ | ۶-۳ تهیه لایه های اطلاعاتی مورد نیاز .....                              |
| ۴۳ | ۱-۶-۳ لایه شیب .....                                                    |
| ۴۵ | ۲-۶-۳ لایه زهکشی .....                                                  |
| ۴۶ | ۳-۶-۳ لایه پوشش گیاهی .....                                             |
| ۴۷ | ۴-۶-۳ لایه خطواره .....                                                 |
| ۴۸ | ۵-۶-۳ لایه لیتولوژی .....                                               |
| ۵۰ | ۶-۶-۳ لایه بارش .....                                                   |
| ۵۲ | ۷-۳ تلفیق لایه های اطلاعاتی .....                                       |
| ۵۲ | ۱-۷-۳ پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی به روش منطق فازی .....             |
| ۵۲ | ۲-۷-۳ پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی به روش ارزیابی معیار چندگانه ..... |
| ۵۳ | ۸-۳ صحت سنجی نتایج .....                                                |

### فصل چهارم: پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه

|    |                                                                                 |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|
| ۵۶ | ۱-۴ مقدمه .....                                                                 |
| ۵۶ | ۲-۴ پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه به روش فازی پیوسته ..... |

|    |                                                                                   |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۵۸ | ۳-۴ روش محاسبه مقادیر شیب و نقطه عطف.....                                         |
| ۵۹ | ۴-۴ تولید لایه های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه به روش فازی.....                    |
| ۵۹ | ۴-۴-۱ لایه فازی پوشش گیاهی منطقه شیرکوه.....                                      |
| ۵۹ | ۴-۴-۲ لایه فازی لیتولوژی منطقه شیرکوه.....                                        |
| ۶۰ | ۴-۴-۳ لایه فازی تراکم آبراهه در منطقه شیرکوه.....                                 |
| ۶۰ | ۴-۴-۴ لایه فازی شیب در منطقه شیرکوه.....                                          |
| ۶۲ | ۴-۴-۵ لایه فازی بارش در منطقه شیرکوه.....                                         |
| ۶۲ | ۴-۴-۶ لایه فازی تراکم خطواره در منطقه شیرکوه.....                                 |
| ۶۴ | ۵-۴ تلفیق لایه های اطلاعاتی فازی و تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی.....             |
| ۶۵ | ۴-۵-۱ عملگر فازی AND.....                                                         |
| ۶۶ | ۴-۵-۲ عملگر فازی OR.....                                                          |
| ۶۷ | ۴-۵-۳ عملگر فازی Product.....                                                     |
| ۶۹ | ۴-۵-۴ عملگر فازی SUM.....                                                         |
| ۷۰ | ۴-۵-۵ عملگر فازی Gamma.....                                                       |
| ۷۵ | ۴-۶ پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه به روش ارزیابی چند معیاره..... |
| ۷۹ | ۴-۷ مقایسه نتایج حاصل از روش فازی و ارزیابی چند معیاره.....                       |
| ۸۱ | ۴-۸ تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در توده گرانیته شیرکوه.....             |

### فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادها

|    |                    |
|----|--------------------|
| ۸۴ | ۵-۱ مقدمه.....     |
| ۸۴ | ۵-۲ نتایج.....     |
| ۸۵ | ۵-۳ پیشنهادها..... |
| ۸۷ | منابع.....         |
| ۹۱ | پیوست ها.....      |

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: نقشه راه‌های دسترسی منطقه مورد مطالعه با اقتباس از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ راه های کشور..... ۴
- شکل ۱-۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با اقتباس از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ یزد و آباده..... ۸
- شکل ۱-۲: نیمرخ شماتیک اشکال ظاهری در یک پهنه سنگی بلورین ..... ۱۸
- شکل ۲-۲: محیط کاملاً درز و شکافدار (a) محیط تخلخل دوگانه (b) محیط ناهمگن (c) ..... ۲۲
- شکل ۱-۳: برداشت درزه از نقاط مختلف توده گرانیتهی شیرکوه..... ۳۹
- شکل ۲-۳: تصویر ماهواره‌ای اولیه (الف) و تصحیح شده (ب) منطقه مورد مطالعه ..... ۴۰
- شکل ۳-۳: نمودار جریان (فلوچارت) مراحل پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه..... ۴۴
- شکل ۴-۳: لایه شیب در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۴۵
- شکل ۵-۳: لایه تراکم آبراهه در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۴۶
- شکل ۶-۳: لایه پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد ..... ۴۷
- شکل ۷-۳: لایه تراکم خطواره در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد ..... ۴۹
- شکل ۸-۳: ترکیب باند ۵-۴-۱ در تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه ..... ۴۹
- شکل ۹-۳: لایه لیتولوژی در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد ..... ۵۰
- شکل ۱۰-۳: رابطه بین بارش و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۵۱
- شکل ۱۱-۳: لایه بارش منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۵۱
- شکل ۱-۴: تولید لایه پوشش گیاهی در منطقه شیرکوه به روش فازی ..... ۶۰
- شکل ۲-۴: تولید لایه لیتولوژی در منطقه شیرکوه به روش فازی..... ۶۱
- شکل ۳-۴: تولید لایه تراکم آبراهه‌ها در منطقه شیرکوه به روش فازی ..... ۶۱
- شکل ۴-۴: تولید لایه شیب در منطقه شیرکوه به روش فازی ..... ۶۲
- شکل ۵-۴: تولید لایه بارش در منطقه شیرکوه به روش فازی ..... ۶۳
- شکل ۶-۴: تولید لایه تراکم خطواره در منطقه شیرکوه به روش فازی ..... ۶۳
- شکل ۷-۴: دیاگرام‌های گل‌سرخ‌ی مربوط به ایستگاه‌های درزه برداری انتخاب شده در توده گرانیتهی شیرکوه ..... ۶۴
- شکل ۸-۴: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه یزد بر اساس روش تلفیق فازی AND..... ۶۶
- شکل ۹-۴: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی OR..... ۶۷
- شکل ۱۰-۴: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی product..... ۶۸
- شکل ۱۱-۴: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی SUM..... ۷۰
- شکل ۱۲-۴: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی Gamma..... ۷۲

- شکل ۴-۱۳: تطابق موقعیت منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۷۳
- شکل ۴-۱۴: نقشه تغییرات مکانی دبی چاه‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۷۳
- شکل ۴-۱۵: نقشه تغییرات مکانی دبی چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۷۴
- شکل ۴-۱۶: نقشه تغییرات مکانی دبی قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد..... ۷۴
- شکل ۴-۱۷: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه شیرکوه با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره ... ۷۸
- شکل ۴-۱۸: تطابق موقعیت منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه شیرکوه بر روی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی. ۷۸
- شکل ۴-۱۹: مقایسه نتایج حاصل از پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه ..... ۸۰
- شکل ۴-۲۰: نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی در توده گرانیتی شیرکوه (بر اساس روش ارزیابی چندمعیاره) ..... ۸۲

## فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۱: طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۹) ..... ۵
- جدول ۱-۲: اشکال ظاهری در پهنه‌ها سنگهای بلورین ..... ۱۹
- جدول ۱-۴: وزن نقشه‌های موضوعی و مقادیر توانمندی آنها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد ..... ۷۷
- جدول ۲-۴: نتایج کمی حاصل از دو روش ارزیابی چند معیاره و منطق فازی پیوسته ..... ۷۹
- جدول I-۱: آزمون خطواره‌های برداشت شده در توده گرانیتی جهت ترسیم دیاگرام‌های گل سرخی ..... ۹۶



# فصل اول

## مقدمه

## ۱-۱- بیان مسئله

افت شدید سطح ایستابی، کاهش کیفیت آب، وارد شدن تنش‌های شدید در اثر خشکسالی در آبخوان-های آبرفتی و همچنین پیشرفت روش‌های اکتشاف آب در سازندهای سخت باعث افزایش توجه به منابع آبی در سازندهای سخت در سال‌های اخیر شده است.

کشور ایران سرزمینی است خشک با نزولات جوی بسیار کم به طوری که بارندگی آن کمتر از یک سوم متوسط بارندگی در سطح دنیاست. با توجه به موقعیت خاص آب و هوایی ایران و کمبود بارش و همچنین توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاص برخوردار است. از طرفی به علت محدودیت منابع آب آبرفتی از نظر کیفی و کمی و به علت گسترش وسیع سازندهای سخت در سطح کشور، مطالعات و تحقیقات منابع آب به منظور بهره‌برداری آن‌ها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

با توجه به این که سازندهای سخت از منابع مهم ذخیره و تأمین آب در دنیا می‌باشد، در این پژوهش پتانسیل آب زیرزمینی در سنگ‌های گرانیتی منطقه شیرکوه واقع در جنوب غرب یزد مورد ارزیابی قرار گرفته است. این ناحیه، اصلی‌ترین منبع تغذیه آب‌های زیرزمینی حوضه آبریز دشت یزد-اردکان و کویر سیاه‌کوه می‌باشد. از طرف دیگر، منابع آب سطحی در این نواحی در اکثر ماه‌های سال وجود ندارد. بنابراین، با توجه به کمبود و یا نبود آب‌های سطحی و اهمیت آب‌های زیرزمینی، لزوم بررسی و مطالعه پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی منطقه شیرکوه مشخص می‌گردد. واژه مکان‌یابی، یا هم‌ارز آن پتانسیل-یابی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد، به مفهوم مشخص نمودن مکان‌هایی است که خصوصیات و شرایط مناسب را جهت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی دارا باشند. پتانسیل‌یابی از طریق تعیین و بررسی مجموعه‌ای از عوامل و پارامترهای مؤثر (مانند لیتولوژی، ساختارهای تکتونیکی، هیدرولوژی و ...) صورت می‌گیرد. در واقع تلفیق مجموعه این پارامترها، می‌تواند مکان‌های دارای پتانسیل مناسب از نظر وجود آب زیرزمینی را مشخص نماید. مکان‌هایی که طی فرآیند پتانسیل‌یابی

معرفی می‌گردند، مکان‌هایی هستند که به صورت بهینه، تمامی شرایط و پارامترهای مؤثر را دارا بوده و می‌توانند جهت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد استفاده قرار گیرند.

تاکنون مطالعه‌ای در خصوص پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه یزد صورت نگرفته است. با توجه به نیازهای آبی دشت‌های اطراف، مطالعه سازند سخت می‌تواند گام مؤثری در پاسخگویی به نیازهای آبی منطقه باشد. بنابراین هدف از انجام مطالعه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت گرانیته شیرکوه با توجه به عوامل مؤثر بر پیدایش منابع آب زیرزمینی و تعیین محل‌های مناسب بهره‌برداری از آن‌ها می‌باشد.

#### ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه شیرکوه بین مدارهای  $23^{\circ} 31'$  تا  $45^{\circ} 31'$  عرض شمالی و نصف‌النهارهای  $50^{\circ} 53'$  تا  $30^{\circ} 54'$  طول شرقی و در زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. این منطقه از اطراف توسط دشت یزد-اردکان در شرق، دشت تفت-علی‌آباد در شمال، کویر ابرکوه در غرب و جنوب غربی احاطه شده است. این کوه‌ها از جنوب غربی یزد شروع و تا جنوب شرقی آن ادامه داشته و مساحت حدود سه هزار کیلومتر مربع را به خود اختصاص می‌دهد. راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه مسیرهای ۱- یزد-تفت-ده‌بالا ۲- یزد-تفت-فیض‌آباد-سانج ۳- یزد-مهریز-منشاد می‌باشد (شکل ۱-۱).

#### ۱-۳- آب و هوای منطقه

ارتفاعات شیرکوه که در جنوب و جنوب غرب شهر یزد در جهت شمال غرب- جنوب شرق قرار گرفته، مانند دیواری بلند قد برافراشته است و تنها عاملی است که دمای منطقه را تعدیل می‌کند. همچنین با نزولات جوی نسبتاً مناسب خود توانسته است تا حدودی از شدت تأثیر کویرهای داخل و اطراف استان یزد بکاهد و حداقل امکان حیات و زیستن را به این استان ارزانی دارد (امیدوار، ۱۳۸۶). کوهستان شیرکوه به دلیل ارتفاع زیاد آن پرباران‌ترین منطقه استان به شمار می‌رود و دارای میانگین بارندگی سالانه ۲۵۰ میلی‌متر می‌باشد. از نظر رژیم حرارتی ۳ ماه از سال معتدل و ۳ ماه سرد و ۶ ماه بسیار سرد

५

#### ۴-۱- اقلیم منطقه

دمارتن<sup>۱</sup> با استفاده از متوسط بارندگی و دمای سالانه، فرمول (۱-۱) را جهت تشخیص نوع اقلیم منطقه ارائه نمود.

$$I = \frac{P}{T + 10} \quad (1-1)$$

در این رابطه I ضریب اقلیمی، P متوسط بارندگی سالانه بر حسب میلی‌متر و T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتی گراد می‌باشد. زیاد بودن I ممکن است یا به دلیل پایین بودن دما یا بالا بودن بارندگی باشد (علیزاده، ۱۳۸۹). جدول (۱-۱) ۶ نوع آب و هوای طبقه‌بندی شده بر اساس فرمول دمارتن را نشان می‌دهد. مقدار ضریب اقلیمی دمارتن در منطقه مورد مطالعه برابر ۱۵/۲۴ برآورد شده است و طبق جدول (۱-۱)، اقلیم منطقه از نوع نیمه خشک می‌باشد.

جدول ۱-۱: طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن (علیزاده، ۱۳۸۹)

| نام اقلیم   | محدوده ضریب خشکی دمارتن (I) |
|-------------|-----------------------------|
| خشک         | کوچکتر از ۱۰                |
| نیمه خشک    | ۱۰ تا ۱۹/۹                  |
| مدیترانه‌ای | ۲۰ تا ۲۳/۹                  |
| نیمه مرطوب  | ۲۴ تا ۲۷/۹                  |
| مرطوب       | ۲۸ تا ۳۴/۹                  |
| بسیار مرطوب | بزرگتر از ۳۵                |

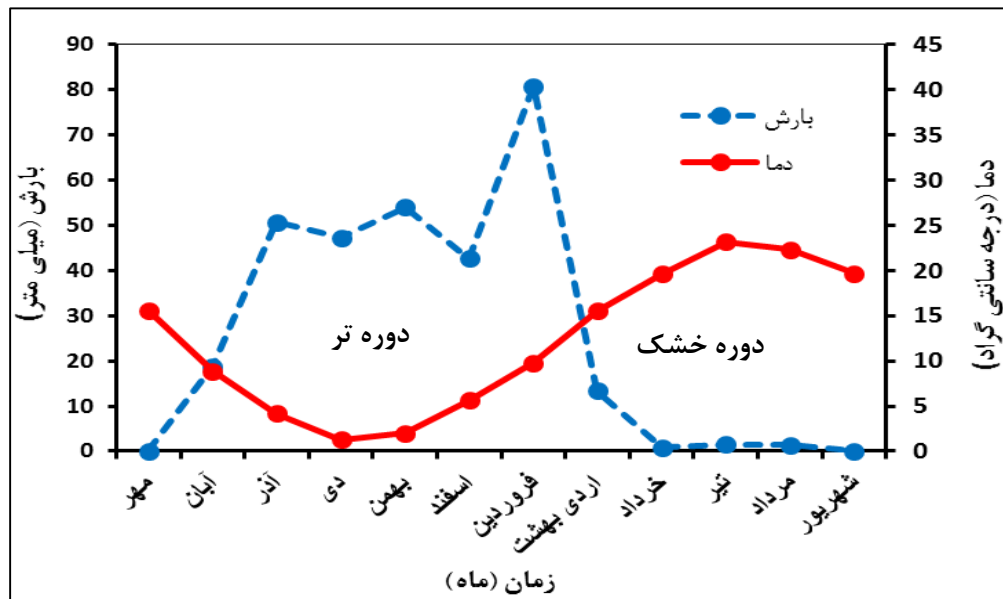
#### ۵-۱- نمودار امبروترمیک

شکل (۲-۱) منحنی امبروترمیک<sup>۲</sup> منطقه شیرکوه را بر اساس تغییرات ماهانه دما نسبت به بارش نشان می‌دهد. در این شکل ملاحظه می‌شود که از آبان ماه تا اردیبهشت ماه بارندگی بر دما فزونی

<sup>۱</sup> De Martonne

<sup>۲</sup> Embrothermic

دارد. لذا این دوره را می‌توان دوران مرطوب سال به حساب آورد و سایر ماه‌های سال به عنوان ماه‌های خشک (دوره خشک) می‌باشند.



شکل ۱-۲: نمودار آمپروترمیک منطقه مورد مطالعه

#### ۴-۱- ژئومورفولوژی منطقه شیرکوه

شیرکوه مجموعه کوه‌هایی است که مساحتی معادل سه هزار کیلومترمربع را شامل شده و از جنوب غربی شهر یزد شروع و تا جنوب شرقی آن ادامه دارند. این کوهستان که غالباً در زمستان از برف و یخ پوشیده است، آب بخش اعظمی از استان را تأمین می‌کند. گرچه از نظر تقسیم بندی، از شیرکوه به عنوان یکی از کوه‌های منفرد ایران یاد شده، لیکن به صورت یک رشته کوه با قله‌های بلند بوده که ارتفاع بلندترین نقطه آن از سطح دریا در حدود ۴۰۷۵ متر می‌باشد. به نظر می‌رسد وجه تسمیه این کوه به دلیل شباهت آن به یک شیر خفته بر دستانش از فاصله دور باشد (قبادیان، ۱۳۶۱).

اسامی تعدادی از قله‌های شیرکوه به شرح زیر است:

- قله شیرکوه با ارتفاع ۴۰۷۵ متر در قسمت جنوب غربی روستای ده بالا.

- قله برف‌خانه طزر جان با ارتفاع ۳۹۹۰ متر شامل برف‌خانه، قله غربی برف‌خانه، قله اصلی برف‌خانه که مشرف به بخش طزر جان بوده و دیواره‌ها و سوزنی‌های بسیار زیبایی دارد.
- قله سنگی بنادک که مشرف به روستای بنادک سادات و در شمال غربی بخش منشاد قرار دارد. ارتفاع بنادک ۲۰۴۰ متر می‌باشد.
- کوه منشاد با ارتفاع ۳۸۷۵ متر و شامل قله‌هایی به نام منشاد، خیبر، مهریز و نیریز در قسمت جنوب شرقی بخش منشاد قرار گرفته است.

#### ۱-۵- زمین شناسی منطقه

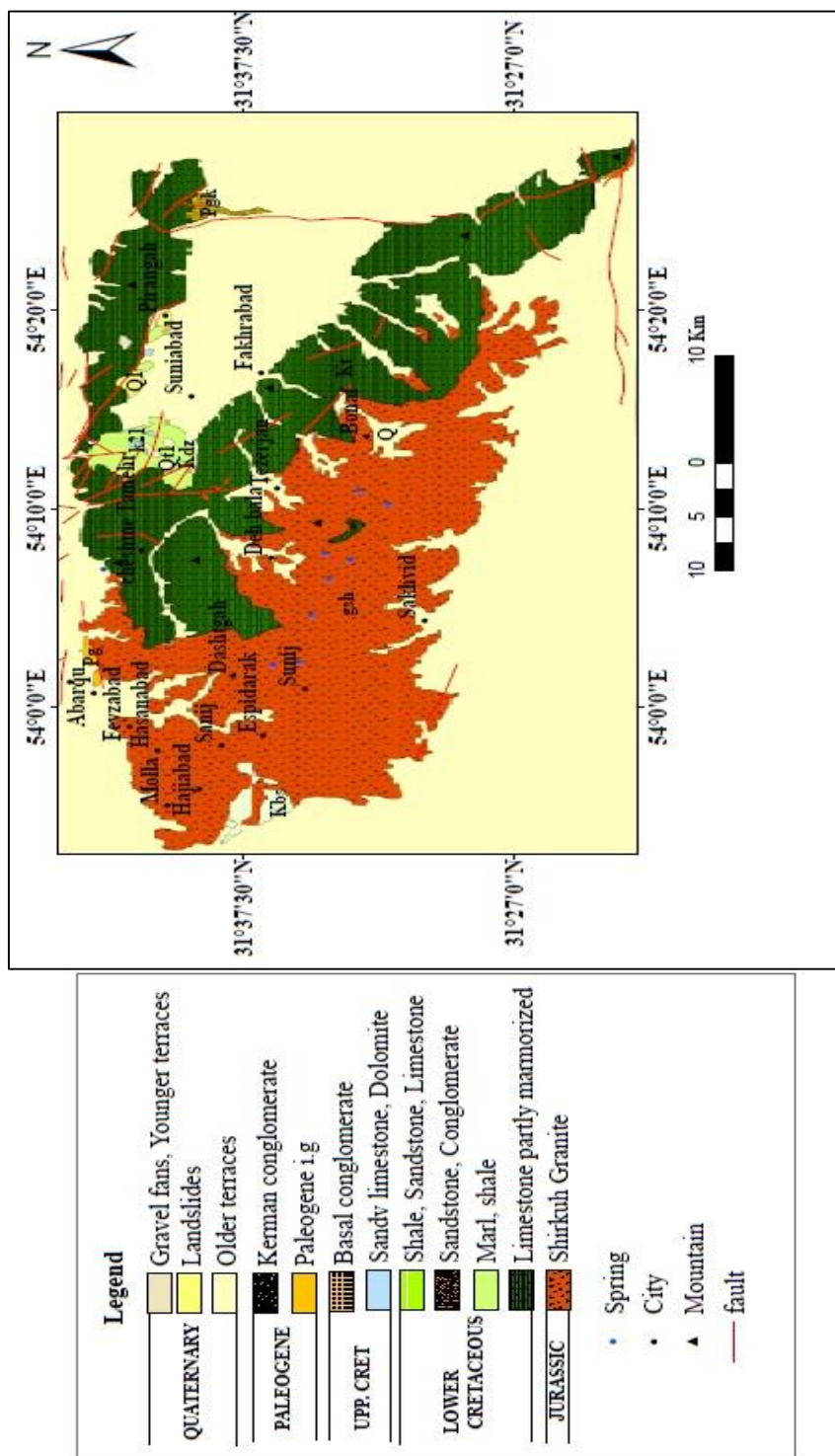
باتوجه به سن پرتوسنجی و جایگاه چینه شناسی، گرانیت شیرکوه در زمان ژوراسیک میانی تشکیل شده است (مجیدی فرد، ۱۳۷۵). ایران مرکزی در ابتدا بخشی از گندوانا بود که از طریق پالئوتتیس از صفحه اوراسیا جدا می‌شد. در تریاس، حرکت رو به شمال ایران مرکزی سبب اتصال آن به صفحه اوراسیا شد. در همین زمان وقوع ریفت در محل فعلی زاگرس سبب باز شدن یک اقیانوس به نام نئوتتیس گردید. با از بین رفتن پالئوتتیس، پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی فرو رفت. این فرورانش سبب فعالیت‌های آذرین مانند تزریق گرانیت شیرکوه در میان خرده قاره ایران مرکزی شده است (Berberian.F and Berberian.M, 1981). پس از آن در ژوراسیک بالایی تا کرتاسه پایینی، رخداد سیمرین پسین، موجب فرسایش گرانیت شیرکوه و تشکیل سازند سنگستان شامل کنگلومرا و ماسه سنگ شده که با ناپیوستگی آذرین پی، بر روی گرانیت شیرکوه قرار گرفته است (خسرو تهرانی و وزیری مقدم ۱۳۷۲). پیشروی دریا در کرتاسه زیرین (بارمین-آپتین) باعث نهشته شدن آهک‌های ضخیم لایه سازند تفت با ناپیوستگی هم‌شیب، بر روی سازند سنگستان شده است (مجیدی فرد، ۱۳۷۵).

#### ۱-۵-۱- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی

از نظر چینه‌شناسی، منطقه مورد مطالعه شامل یک توده بزرگ باتولیت گرانیتوئیدی به سن ژوراسیک فوقانی، به‌علاوه چند سازند رسوبی به سن کرتاسه بوده که به صورت ناپیوستگی آذرین پی بر روی

باتولیت یاد شده قرار می گیرد. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با اقتباس از نقشه های

۱:۲۵۰۰۰۰ یزد و آباده در محیط GIS تهیه شده که در شکل (۱-۲) نشان داده شده است.



شکل ۱-۲: نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه با اقتباس از نقشه های ۱:۲۵۰۰۰۰ یزد و آباده

#### ۱-۵-۱-۱- گرانیت شیرکوه (G)

گرانیت شیرکوه باتولیت بزرگی است که در ۴۰ کیلومتری جنوب باختری یزد (نزدیک شهرستان تفت) رخنمون دارد و از نوع گرانیت‌های دانه‌درشت است که به داشتن بیوتیت فراوان و گارنت شاخص است (آقا نباتی، ۱۳۸۳). فراوانی گارنت می‌تواند به منشأ آناتکتیکی این توده اشاره داشته باشد (اسلامی‌زاده و امامی، ۱۳۸۲). مطالعات بعدی (شیبی و اسماعیلی، ۱۳۸۸) نیز تأییدکننده تیپ S و پراآلومینوس بودن این گرانیتوئیدها بوده و همچنین ترکیب عمده آن‌ها را گرانودیوریت تا مونزوگرانیت و لوکوگرانیت بیان می‌دارد. گرانیتوئیدهای شیرکوه تا حدی تکتونیزه و خرد شده هستند. تغییر شکل کانی‌ها بر اثر فشار، در زیر میکروسکوپ دیده می‌شود که احتمالاً حاصل تأثیر فاز فشاری لارامین، در کرتاسه پایانی است که دقیقاً همزمان با بسته شدن حوضه اقیانوسی باریک موجود در منطقه بوده است. در گرانیتوئیدهای شیرکوه، سه رخساره تشخیص داده شده که سن آن‌ها بعد از ژوراسیک و قبل از کرتاسه پایانی است. بر اساس ترکیب سنگ‌شناسی و سن جایگیری، این رخساره‌ها شامل گرانودیوریت، گرانودیوریت - گرانیت و گرانیت هستند (حاج ملاعلی و علوی نائینی، ۱۳۷۱). این گرانیتوئیدها در دیاگرام‌ها، ماهیت کالک آلکالن نشان می‌دهند. انواع غالب سنگ‌های این باتولیت، سنگ‌های گرانودیوریت تا مونزوگرانیت دارای بلورهای درشت هستند.

#### ۱-۵-۱-۲- سازند سنگستان (Ks)

قدیمی‌ترین تشکیلات مربوط به کرتاسه زیرین است. سازند سنگستان یک سازند غیر رسمی متشکل از آواری‌های سرخ رنگ شامل کنگلومرا و ماسه سنگ دانه‌ریز تا دانه‌درشت همراه با لایه‌های شیلی و آهکی در قسمت بالا می‌باشد (آقاناتی، ۱۳۸۳). نبوی (۱۹۷۲) این آواری‌ها را ردیف‌های پیشرونده کرتاسه پایینی ایران مرکزی می‌داند که با سنگ آهک‌های اربیتولین<sup>۱</sup> دار بارمین<sup>۲</sup>-آلبین<sup>۳</sup> ارتباط پیوسته دارد. آواری‌های مورد نظر به صورت ناپیوستگی آذرین پی<sup>۴</sup> بر روی گرانیت شیرکوه قرار می‌گیرند (ابوتراب،

<sup>1</sup> Orbitolina

<sup>2</sup> Barremian

<sup>3</sup> Albian

<sup>4</sup> Nonconformity

۱۳۶۰). ترکیب آواری این سازند، نشان دهنده شروع پیشروی دریای کرتاسه پس از فاز سیمین پسین می‌باشد. رخنمون این سازند در منطقه خیلی کم است.

#### ۱-۵-۱-۳- سازند تفت (Kt)

نام این سازند توسط نبوی (۱۹۷۲) و با اقتباس از نام شهرستان تفت انتخاب شده، ولی واحد سنگی تفت برش الگو ندارد. این تشکیلات در منطقه مورد مطالعه دارای ضخامت زیادی می‌باشد. به طور کلی شامل یک سری سنگ‌های آهکی کرتاسه پایینی به رنگ خاکستری با لایه‌بندی متوسط تا ضخیم می‌باشد. در محل‌هایی که سازند سنگستان وجود دارد، سازند تفت به صورت تدریجی بر روی آن قرار می‌گیرد و در جاهایی نیز مستقیماً بر روی گرانیات شیرکوه به صورت ناپیوستگی آذرین پی واقع می‌شود. این رسوبات در بالا با مرز تدریجی به سازند دره زنجیر تبدیل می‌گردند. سازند تفت در ارتفاعات شیرکوه و نواحی اطراف آن چین خوردگی بسیار ملایمی را متحمل شده و در منطقه مورد مطالعه به صورت یک چین تک شیب<sup>۱</sup> دیده می‌شود. شیب لایه‌های آهکی آن بین ۱۰ تا ۲۰ درجه متغیر بوده و جهت شیب به طرف شمال شرقی می‌باشد. در بخش‌های سطحی این آهک‌ها آثار انحلال و پدیده کارستی شدن به صورت حفرات و غارهای سطحی مشاهده می‌گردد. با توجه به شواهد کارست سطحی و شیب کم آهک‌ها و برهنه بودن این سنگ‌های آهکی (فاقد پوشش خاک) می‌توان انتظار پدیده کارست عمقی را داشت (کرم‌پور، ۱۳۷۸).

#### ۱-۵-۱-۴- سازند دره زنجیر (Kdz)

سازند دره زنجیر از رسوبات ضخیمی شامل مارن‌ها و شیل‌هایی به رنگ سبز روشن با عدسی‌هایی از سنگ آهک و ماسه تشکیل شده است. در مسیر راه تفت به ده بالا و در ناحیه دره زنجیر روی سنگ‌های آهکی تفت (Kt) را یکسری آهک مارنی، شیل آهکی (Kdz) که برخی از آن‌ها را آهک زیست تخریبی (Organo detritic) همراهی می‌کند در معرض دید قرار می‌گیرد که دارای آمونیت‌های مشخص آلبین

---

<sup>۱</sup> Monocline

می‌باشند. این سنگ‌ها (سازند دره زنجیر) تنها در مسیر دره زنجیر ( شمال شرق منطقه مورد مطالعه) دیده شده و گهگاه به صورت پراکنده در دیگر نواحی همچون شمال مهریز نیز برونزد آن دیده شد است. سن این سازند کرتاسه زیرین بوده و مرز آن با آهک تفت به صورت تدریجی می‌باشد. از بالا نیز دارای مرز تدریجی با آهک‌های بالایی کرتاسه زیرین می‌باشد.

#### ۱-۵-۱-۵- کنگلومرای کرمان (Pgk)

این رسوبات قدیمی‌ترین تشکیلات پالئوژن هستند و با کنگلومرای تیپ کرمان قابل مقایسه است. سن این سازند پالئوسن تا ائوسن زیرین است و احتمالاً در حین فاز لارامید به وجود آمده است. رخنمون آن در غرب شهر مهریز به صورت باندی به طول تقریبی ۱۷ کیلومتر و عرض متوسط ۱ کیلومتر با امتداد شمالی-جنوبی موازی گسل مزوار-پوزه دمه، مشاهده می‌شود. این برونزد در بخش شرقی منطقه قرار گرفته و گسترش زیادی ندارد.

#### ۱-۵-۲- تکتونیک و زمین ساخت منطقه

پیامد رخداد سیم‌رین پسین در منطقه مورد مطالعه با فعالیت‌های ماگمایی روبرو بوده است که سرانجام آن توده نفوذی گرانیت تا گرانودیوریتی شیرکوه در میان سنگ‌های وابسته به سازندهای شمشک است که در پهنه‌ای وسیع نمایان شده است و این خود گویای این مطلب است که زمان جایگزینی ماگمای گرانیتی شیرکوه پس از ژوراسیک زیرین بوده است. کرتاسه پایینی با سنگ‌های تخریبی خود به گونه‌ای پیشرونده روی سنگ‌های نفوذی شیرکوه جای می‌گیرند.

گسل اصلی موجود در ناحیه شامل گسل دهشیر (نایین-بافت) و گسل‌های فرعی آن گسل زردشتی، گسل تفت و گسل دره زنجیر می‌باشد.

درزه‌های موجود در منطقه از نظر ژنتیکی دارای دو منشأ متفاوت می‌باشند: گروه اول درزه‌های اولیه یا غیر سیستماتیک بوده که منشأ غیرزمین ساختی داشته که همزمان با نفوذ و جایگیری و سرد شدن

توده نفوذی در آن شکل گرفته‌اند. دسته دوم درزه‌های ثانویه یا زمین ساختی بوده که منشأ آن فرآیندهای فشارشی یا برشی حاصل از تحولات زمین ساختی کلی منطقه می‌باشند.

#### ۱-۶- ویژگی‌های منابع آب منطقه شیرکوه

چشمه‌های کوچک فصلی که معمولاً فصول گرم سال خشک می‌شوند، به فراوانی در دامنه ارتفاعات دیده می‌شود. آب موجود در این چشمه‌ها از ذوب برف‌های ارتفاعات و زهکشی آب نفوذ کرده به درون شکستگی‌ها تأمین می‌شود. منطقه فاقد رودخانه دائمی بوده و بزرگترین جویبار ناحیه در منطقه سانج قرار دارد که به صورت فصلی بوده و در فصول گرم سال خشک است. منابع آب منطقه شیرکوه شامل ده‌ها چشمه در آهک‌های تفت و گرانیتهای شیرکوه، صدها قنات در گرانیتهای شیرکوه و آبرفت‌ها و نیز تعدادی چاه در آبرفت وسط دره‌های گرانیتهی و گرانیتهای هوازده می‌باشند. قنات‌ها مهم‌ترین منبع آبی از نظر آبدهی و بهره‌برداری می‌باشند. آب زیرزمینی در بخش هوازده سطحی و بخش درز و شکافدار زیر آن، از طریق چشمه‌ها و قنات‌های موجود در این منطقه تخلیه می‌شوند. تعدادی چشمه گرانیتهی نیز از گرانیتهای هوازده وسط دره‌ها و آبراهه‌ها تخلیه می‌شوند. آبدهی این چشمه‌ها کم می‌باشد. طبق گزارش‌های آماری شرکت آب منطقه‌ای یزد، آبدهی آن‌ها معمولاً کمتر از ۱ لیتر در ثانیه است و بعضی از آن‌ها ۱۰-۱ لیتر در ثانیه آبدهی دارند. قنات‌ها و چشمه‌های گرانیتهی که از اهمیت بیشتری برخوردار هستند، در منطقه مورد مطالعه به وفور یافت می‌شوند و تعداد آن‌ها طبق گزارش‌های آماری شرکت آب منطقه‌ای یزد به صدها دهنه می‌رسد. آبدهی تعداد زیادی از آن‌ها بین ۱۰-۱ لیتر در ثانیه و تعداد کمتری از آن‌ها در محدوده‌های پایین‌تر (کمتر از یک لیتر در ثانیه) و یا بالاتر (بیش از ده لیتر در ثانیه) می‌باشد.

بر طبق گزارش مهندسین مشاور مه‌اب یزد (۱۳۷۱) عمق مادر چاه قنات‌های مذکور عمدتاً بین ۵ الی ۲۰ متر بوده و به ندرت از این مقدار تجاوز می‌کند. طول این قنات‌ها بسیار متغیر بوده، که تعداد زیادی از آن‌ها به علت شیب زیاد منطقه دارای طول کمتر از ۲۰۰ متر می‌باشند. تراکم قنات‌ها زیاد بوده و

گاهی به ۴ قنات در هر کیلومتر مربع می‌رسد. تعدادی از این قنات‌ها پس از اتمام ذوب برف در فصل خشک، فاقد آبدهی مناسب هستند که اصطلاحاً هوایین گفته می‌شوند.

در منطقه مورد مطالعه چند چشمه آهکی از سازند تفت خارج می‌شوند. آبدهی چشمه‌های آهکی منطقه کاملاً متغیر است و از حدود ۱۰۰۰ لیتر در ثانیه در ماه‌های پر آب تا صفر در ماه‌های تابستان و پاییز نوسان دارند. این وضعیت در چشمه تامهر و غربالبیز مشاهده می‌شود که احتمالاً جریان مجرای (Conduit flow) در آن‌ها وجود دارد. چشمه آهکی طرنج واقع در نزدیکی روستای طرنج با دبی حدود ۲۰۰ لیتر در ثانیه در فصل خشک نیز آبدهی مناسبی دارد (جعفری، ۱۳۸۲).



## فصل دوم

### مروری بر مطالعات پیشین

## ۲-۱- مقدمه

با توجه به اینکه آب‌های زیرزمینی به طور مستقیم قابل رؤیت و در دسترس نیستند، روش‌های مورد استفاده برای تعیین محل مناسب برای استخراج آب زیرزمینی می‌بایست از دقت بالایی برخوردار بوده تا نتایج حاصل از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. با اینکه آب زیرزمینی یک پدیده زیرسطحی می‌باشد ولی از RS<sup>۱</sup> و GIS<sup>۲</sup> به عنوان روشی برای پی بردن به تغییرات سطحی زمین که بررسی آن در روی زمین امکان پذیر نبوده و یا هزینه بر می‌باشد، استفاده می‌شود. در مطالعات هیدروژئولوژی، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی به منظور ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. با تفسیر داده‌های ماهواره‌ای و استفاده از داده‌های واقعی زمینی، امکان تشخیص و ترسیم عوارض مختلف زمین‌شناسی، ساختاری و خصوصیات هیدرولیکی آن‌ها فراهم می‌شود. بنابراین نقش RS و GIS به عنوان ابزار قدرتمند و کاربردی در مطالعات آب‌های زیرزمینی و تعیین مناطق بالقوه ثابت شده است (Machiwal *et al.*, 2011).

## ۲-۲- تعریف سازند سخت

سنگ‌های سخت شامل محدوده وسیعی از سنگ‌های آذرین و دگرگون هستند که همه آن‌ها دارای دو ویژگی مشترک می‌باشند. سنگ‌های سخت بر خلاف سنگ‌های رسوبی فاقد تخلخل اولیه هستند و از طرف دیگر به علت وجود شکستگی و تأثیر فرایندهای هوازدگی همه آن‌ها دارای تخلخل ثانویه می‌باشند که این ویژگی امکان ذخیره و انتقال آب زیرزمینی را در این سنگ‌ها به وجود می‌آورد. طبق تعریف، گرانیت‌ها و گنایس‌ها معمول‌ترین سنگ‌های سخت هستند. سنگ‌های کربناته و آتشفشانی معمولاً جزء سنگ‌های سخت نمی‌باشند زیرا دارای تخلخل اولیه می‌باشند (Larsson, 1984).

<sup>1</sup> Remote Sensing

<sup>2</sup> Geographic information system

## ۲-۳- هیدروژئولوژی سازندهای سخت (سنگهای متبلور)

سنگهای متبلور شامل سنگهای آذرین درونی (گرانیت، دیوریت و غیره) و سنگهای دگرگونی (گنایس، گرانولیت، کوارتزیت، شایست و فیلیت و غیره) می‌باشند. سنگهای آذرین درونی نظیر گرانیت معمولاً به صورت توده‌های نفوذی با اندازه بزرگ ظاهر می‌شوند درحالی که برخی از سنگهای دیگر نظیر دیوریت‌ها و پگماتیت‌ها، در اندازه‌های نسبتاً کوچک به صورت دایک و رگه ظاهر می‌شوند.

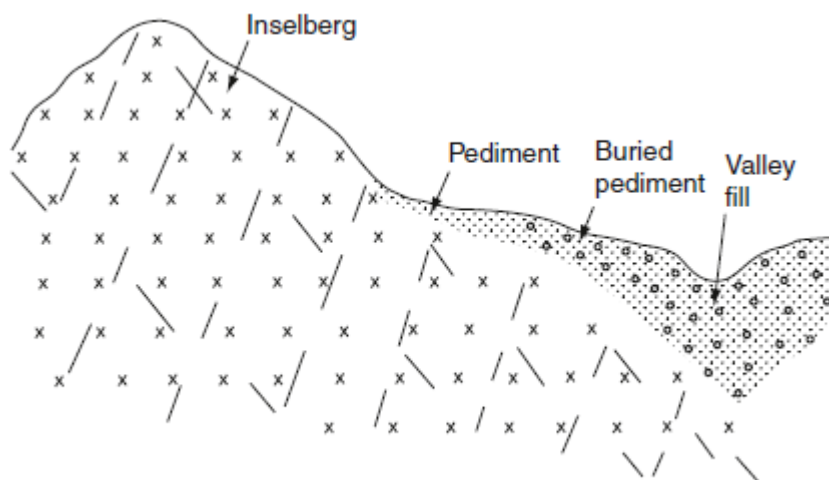
سنگهای متبلور مانند سایر سنگهای سخت، توسط تخلخل اولیه و نفوذپذیری اندک مشخص می‌شوند. با این حال، هوازگی و شکستگی می‌تواند تخلخل ثانویه قابل توجه و نفوذپذیری مهم و بسیار متغیری در آنها ایجاد کند. سنگهای کریستالین، مناطق سپری پرکامبرین را در نقاط مختلف جهان، به طور عمده در کانادا، شمال شرقی ایالات متحده، چین، استرالیا، روسیه و بسیاری از کشورهای آفریقایی تشکیل می‌دهند. رخنمون کمتر اما مهم از سنگهای متبلور نیز در خارج از مناطق سپر، در اسپانیا، فرانسه و در مرکز اروپا یافت می‌شود. میزان کل رخنمون سنگهای سپری در حدود ۲۰ درصد از سطح زمین فعلی یعنی در حدود ۳۰ میلیون کیلومتر مربع می‌باشد.

در گذشته، سنگهای کریستالین مانند دیگر سنگهای سخت به دلیل نفوذپذیری کم و همچنین مشکلات در حفاری چاه‌های آب به منظور استخراج آب‌های زیرزمینی مورد توجه قرار نمی‌گرفتند. با این وجود در چند دهه اخیر، به دلیل نیاز به آب آشامیدنی سالم برای جمعیت‌های زیاد روستایی، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، سنگهای متبلور برای استخراج آب‌های زیرزمینی با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گرفتند (Wright and Burgess, 1992; Lloyd, 1999; Ahmad, 2007). روش‌های سریع‌تر و کارآمدتر از حفاری چاه‌های آب، مانند حفاری چکشی (DTH) نیز تا حد زیادی برای حفر چاه در سنگهای متبلور وجود دارند. سنگهای متبلور، میزبان بالقوه‌ای برای دفن ایمن پسماندهای رادیواکتیو می‌باشند.

### ۲-۳-۱- شکل ظاهری (Landforms) و سیستم زهکشی

اشکال ظاهری محصول نهایی هوازدگی طبیعی می‌باشند، که به سه عامل شرایط آب و هوایی حال و گذشته، انواع سنگ و ویژگی‌های ساختاری آن و مدت زمانی که تحت تأثیر هوازدگی قرار می‌گیرند، بستگی دارند. لندفرم‌ها (landforms) به دو گروه (۱) اشکال فرسایشی (۲) اشکال رسوبی تقسیم می‌شوند. اشکال فرسایش معمولاً در اثر مقاومت سنگ‌های سخت ایجاد شده و شامل تپه‌های ساختاری (Structural hills)، کوهک‌ها (inselbergs)، دشت کوهپایه‌ای (pediment)، دشت کوهپایه‌ای مدفون (buried pediments)، دره‌های فرسایشی (erosional valleys) و رسوبات دره‌ای (valley fills) می‌باشند (شکل ۱-۲). ویژگی‌های مشخصه از جمله پتانسیل آب زیرزمینی این اشکال در جدول (۱-۲) آورده شده است (Singhal and Gupta, 2010).

اشکال رسوبی توسط فرآیندهای رسوبی طبیعی به عنوان مثال، رودخانه‌ها، یخچال‌ها طبیعی، باد و غیره توسعه می‌یابند. اشکال رسوبی معمولاً در رسوبات نامتراکم ایجاد می‌شوند، اما ممکن است در سنگ‌های سخت نیز تشکیل گردند. بنابراین می‌توانند نقش مهمی را در توسعه آب‌های زیرزمینی برای نیازهای محلی ایفا کنند.



شکل ۱-۲: نیمرخ شماتیک اشکال ظاهری در یک پهنه سنگی بلورین (Singhal and Gupta, 2010)

جدول ۱-۲: اشکال ظاهری در پهنه‌ها سنگ‌های بلورین (Singhal and Gupta, 2010)

| Landform          | Description                                                                   | Shape                         | Lithology                                           | Groundwater potential                |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Structural hills  | Ridges and erosional valleys                                                  | Ridges and valleys            | Competent rocks (quartzites and granite gneiss)     | Poor                                 |
| Inselbergs        | Isolated residual hills in a vast plain                                       | Island-like                   | Quartzites, granites etc.                           | Poor                                 |
| Pediments         | Law-lying rock outcrops, sometimes dissected by gullies                       | Irregular                     | Crystallines with thin veneer of soil cover         | Moderate, suitable for borewells     |
| Buried pediments  | Law-lying bed rock covered with in situ material generally with high moisture | Irregular                     | In situ weathered material                          | Good, suitable for dug wells         |
| Erosional valleys | Elongated depression occurring between two adjacent hills                     | Irregular generally elongated | Bedrock is of incompetent rocks viz. phyllites etc. | Poor                                 |
| Valley fills      | Marked by presence of palaeodrainage pattern in pediments                     | -                             | Coarse sediments and rock debris                    | Good, suitable for dug and borewells |

#### تپه‌های ساختاری (Structural hills)

مورفولوژی تپه‌های ساختاری به وسیله ساختارهای سنگی در مقیاس بزرگ و لیتولوژی کنترل می‌شود. آن‌ها به وسیله فرآیندهای تکتونیکی و فرسایشی ایجاد می‌شوند. از آنجا که سنگ‌ها در این واحد، سخت و فشرده می‌باشند، نفوذ پذیری کمی دارند و به عنوان مناطق رواناب شناخته می‌شوند. نفوذ محدود در امتداد صفحات ضعیف مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌تواند رخ دهد. به طور کلی وجود آب زیرزمینی در آن‌ها محدود است.

#### کوهک‌ها (Inselbergs)

تپه‌های ساختاری کوچکی می‌باشند که به صورت مجزا در بالای سطح عمومی دشت‌های فرسایشی

اطراف قرار گرفته‌اند. شبیه به تپه‌های ساختاری، به دلیل سطح تغذیه کم، شیب زیاد و نفوذپذیری کم، پتانسیل آب زیرزمینی آن‌ها کم می‌باشد.

#### دره‌های فرسایشی (Erosional valleys)

دره‌های باریکی می‌باشند که بین تپه‌های ساختاری قرار می‌گیرند. این دره‌ها ضخامت محدودی از مواد غیرمتراکم دارند، به همین دلیل پتانسیل آب زیرزمینی آن‌ها کم می‌باشد.

#### دشت‌های کوهپایه‌ای (Pediment)

یک سطح فرسایشی با کف سنگی و مسطح یا با شیب کم و یا یک دشت با برجستگی کم می‌باشد. این ویژگی‌ها معمولاً به دلیل فرآیندهای برهنه سازی توسط عوامل سطحی نظیر آب‌های جاری در مناطق خشک و نیمه خشک در دامنه کوه یا فلات توسعه می‌یابند. پتانسیل آب زیرزمینی در این واحد به وسیله ضخامت کم مواد هوازده و نوسانات زیاد سطح ایستابی محدود شده است. با این وجود، دشت‌های کوهپایه‌ای توسعه یافته در طول خطواره‌ها، ممکن است منبع بالقوه‌ای از آب زیرزمینی باشند.

#### دشت‌های کوهپایه‌ای مدفون (Buried pediment)

وقتی سطوح شیب دار دشت کوهپایه‌ای (pediment) به تدریج توسط ضخامتی از مواد هوازده پوشیده می‌شوند، تشکیل می‌گردند. ضخامت مواد هوازده در آن ممکن است به ۲۰ تا ۱۰۰ متر برسد. دشت کوهپایه‌ای مدفون (Buried pediment) رطوبت بیشتر و پوشش گیاهی متراکم‌تری نسبت به دشت کوهپایه‌ای (pediment) دارد. نوسانات سطح ایستابی کم و سطح تغذیه بزرگ است. از این رو مناطق بالقوه‌ای برای توسعه آب‌های زیرزمینی از طریق حفر چاه‌های دستی و گمانه‌ها را تشکیل می‌دهند.

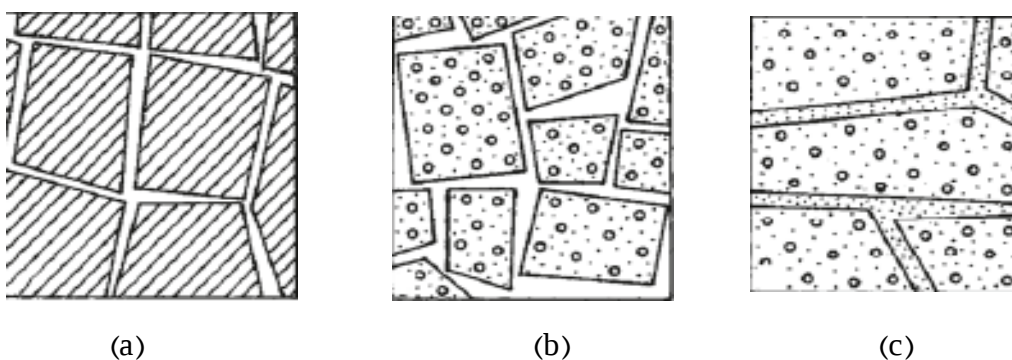
#### رسوبات دره‌ای (Valley fills)

یکی از انواع نهشته‌های کانالی می‌باشند که توسط فرآیندهای فرسایشی در دره‌های موجود در توده‌های کریستالین توسعه می‌یابند. این نوع لندفرم‌ها به وسیله شیب‌های کمتر، رطوبت بیشتر و پوشش گیاهی متراکم‌تر قابل تشخیص می‌باشند. بنابراین، رسوبات دره‌ای مهم‌ترین لندفرم برای توسعه آب‌های زیرزمینی در گستره سازندهای سخت می‌باشند.

ویژگی‌های زهکشی کمی و کیفی یک حوضه به عنوان یک راهنمای غیرمستقیم از ویژگی‌های هیدولوژیکی یک منطقه می‌باشند. بنابراین برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی مفید هستند. اشکال شبکه زهکشی به زمین‌شناسی سطحی، ساختار و نفوذپذیری سنگ‌ها بستگی دارند. الگوی زهکشی دندریتی از مشخصه سنگ‌های بلورین توده‌ای می‌باشند، در حالی که الگوی مستطیلی زاویه‌دار از ویژگی‌های سنگ‌های درز و شکافدار می‌باشد. الگوهای موازی، شیب‌های زیاد و اغلب رواناب سطحی بالاتری را نشان می‌دهند.

## ۲-۳-۲- جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های درز و شکافدار

محیط سنگ‌های درز و شکافدار شامل دو مجموعه مختلف شامل مناطق درز و شکافدار و محیط متخلخل می‌باشد (شکل ۲-۲). مناطق شکستگی به وسیله تخلخل میانگین پایین و تداوم جانبی بزرگ مشخص می‌شوند. از سوی دیگر، محیط متخلخل، تخلخل بالا و تداوم فضایی کمتری را دارا می‌باشد. در سنگ‌های درز و شکافدار، حرکت آب‌های زیرزمینی در امتداد ناپیوستگی‌ها نظیر مناطق برشی، شکستگی‌ها و درزه‌ها رخ می‌دهد. اتصال بین ناپیوستگی‌های سنگ و فاصله آن‌ها، اندازه و جهت‌یافتگی روزنه‌ها، تخلخل و نفوذپذیری این توده‌های سنگی را مشخص می‌کند. درزه‌ها و شکستگی‌های باز که با مواد سنگی هوازده و شکسته شده پر نشده‌اند، مسیرهای بالقوه‌ای برای حرکت آب زیرزمینی می‌باشند، اما زمانی که با رسوبات رسی پر شده باشند نفوذپذیری آن‌ها تا حد زیادی کاهش می‌یابد. این مواد پرکننده پوسته‌های شکستگی را شکل می‌دهند که روی حرکت املاح از شکستگی‌ها به درون ماتریکس متخلخل تأثیر می‌گذارند.



شکل ۲-۲: محیط کاملاً درز و شکافدار (a) محیط تخلخل دوگانه (b) محیط ناهمگن (c)

زبری سطح مشترک در درزه‌هایی با بازشدگی کم حائز اهمیت می‌باشد. زبری شکستگی‌ها، که باعث کاهش نقطه به نقطه در شکستگی می‌شود سبب کاهش هدایت هیدرولیکی طبق معادله (۱-۲) می‌گردد. (Domenico and Schwartz, 1998).

$$K = \frac{\rho_w g a^2}{12\mu[1+c(x)^n]} \quad (1-2)$$

در معادله مذکور،  $a$  بازشدگی شکستگی،  $c$  ثابت بزرگتر از یک،  $x$  متغیری برای بیان زبری،  $\rho$  چگالی سیال ( $\text{Kg/m}^3$ )،  $g$  شتاب جاذبه ( $\text{m/s}^2$ )،  $\mu$  ویسکوزیته سیال ( $\text{kg/m.s}$ )،  $K$  هدایت هیدرولیکی در سنگ‌های درز و شکافدار ( $\text{m/s}$ ) و  $n$  توان بزرگتر از یک می‌باشد. تنش مؤثر شامل مؤلفه‌های تنش نرمال، تنش برشی و فشار مایع است که همچنین از فاکتورهای مؤثر بر بزرگی هدایت هیدرولیکی می‌باشد. مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهد که نفوذپذیری به طور قابل توجهی با افزایش فشار همه جانبه، کاهش می‌یابد.

بسته به تخلخل و نفوذپذیری شکستگی‌ها و بلوک‌های ماتریکس، تشکیلات سنگی درز و شکافدار می‌توانند به سه گروه (a) محیط کاملاً درز و شکافدار (b) محیط تخلخل دوگانه و (c) محیط ناهمگن طبقه

بندی شوند (شکل ۲-۲). در محیط کاملاً درز و شکافدار، تخلخل و نفوذپذیری فقط مربوط به شکستگی-های به هم پیوسته بوده در حالی که بلوک‌ها نفوذناپذیر هستند. محیط تخلخل دوگانه، هم شکستگی‌ها و هم بلوک‌های ماتریکس در جریان آب زیرزمینی نقش دارند، اما نقش اصلی بر عهده شکستگی‌ها می‌باشد. زمانی که شکستگی‌ها با مواد رسی و سیلتی پر شده باشند، نفوذپذیری شکستگی‌ها به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد و چنین محیطی ناهمگن (Heterogeneous) نامیده می‌شود.

## ۲-۴- پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی و عوامل مؤثر بر آن

پتانسیل‌یابی به مفهوم مشخص نمودن مکان‌هایی است که خصوصیات و شرایط مناسب را جهت بهره‌برداری منابع آب زیرزمینی دارا باشند. پارامترها و عوامل تأثیرگذار موجود (مانند لیتولوژی، ساختاری، توپوگرافی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی)، اهمیت و اثرگذاری هریک از پارامترها و همچنین قضاوت و نظر کارشناسی از ارکان پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد. افراد مختلف، پارامترهای متفاوتی را در زمینه پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مؤثر دانسته و روش کار خود را بر مبنای همان عوامل و پارامترها بنا نهاده‌اند. در ادامه از بین عوامل و پارامترهای مؤثر در پتانسیل‌یابی، چهار پارامتر اصلی که بیشترین نقش را در مکان‌یابی دارند بررسی می‌گردند. هر کدام از این پارامترها خود شامل زیرمجموعه و عوامل کوچکتر می‌باشند که در ادامه به آن‌ها پرداخته می‌شود.

### ۲-۴-۱- عامل لیتولوژی

نوع سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی یک منطقه نقش مهمی در تمرکز جریان آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها ایفا می‌کند. لیتولوژی و خصوصیات وابسته به آن، نظیر بافت و درجه خلوص سنگ‌ها بر روی تخلخل و نفوذپذیری تأثیر می‌گذارد. تغییر در پارامترهایی نظیر تخلخل و یا نفوذپذیری، پتانسیل جریان را برای متمرکز شدن و توسعه فرآیندهای انحلالی تغییر می‌دهد. آبخوان‌های آبرفتی، با تخلخل اولیه، ظرفیت ذخیره سازی بیشتری نسبت به کارست و سنگ‌های درز و شکافدار دارا می‌باشند. آب زیرزمینی یا در میان فضاهای خالی موجود در بین رسوبات آبرفتی (تخلخل اولیه) وجود دارد و یا در میان درز و

شکاف موجود در سنگ‌های سخت (تخلخل ثانویه) جای می‌گیرد (Oikonomidis et al., 2015). تفاوت عمده منافذ موجود در مواد رسوبی سازندهای نرم با درز و شکاف‌های موجود در سازندهای سخت در این است که در اولی معمولاً به هم پیوسته‌اند و لوله‌های کم و بیش باریکی را در سرتاسر ضخامت لایه مواد رسوبی به وجود می‌آورند، ولی درز و شکاف‌های سازند سخت ممکن است ناپیوسته و مجزا باشند (آبشیرینی، ۱۳۸۳). وقوع، منشأ، حرکت و ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های سخت وابسته به چهارچوب زمین‌شناسی مانند لیتولوژی، ضخامت، ساختار و نفوذپذیری سنگ می‌باشد (Jasmin and Mallikarjuna, 2011).

## ۲-۴-۲- عامل ساختاری

عوامل ساختمانی و تکتونیکی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها، ظرفیت ذخیره سازی و انتقال آب در سنگ‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Oikonomidis et al., 2015). وقوع و حرکت آب‌های زیرزمینی در سنگ‌های سخت پیچیده و دشوار می‌باشد. در دسترس بودن و وقوع آب‌های زیرزمینی عمدتاً محدود به شکستگی‌ها و مناطق هوازده می‌باشد (Jasmin and Mallikarjuna, 2011). شکستگی‌ها به عنوان نقاط ضعف همه سازندها و واحدهای زمین شناسی تلقی می‌شوند، راهی برای عبور آب و محلی برای تجمع آب به صورت مخازن زیرزمینی می‌باشند. مطالعات شکستگی‌ها برای تحقیقات آب زیرزمینی در گستره سازندهای سخت حائز اهمیت می‌باشند.

شکستگی‌ها از نظر نحوه تشکیل به دو دسته شکستگی کششی و برشی تقسیم می‌شوند. شکستگی‌های کششی معمولاً با باز شدگی سطوح شکستگی همراه می‌باشند. این امر، راه را برای عبور آسان و سریع آب فراهم می‌نماید. شکستگی‌های برشی در اثر دو نیروی مخالف ایجاد می‌شوند و وضعیت انتقال آب در شکستگی‌های برشی مشاهده نمی‌شود. به همین دلیل در بررسی‌های هیدروژئولوژی، شکستگی‌های کششی از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند. به طور کلی شکستگی‌ها باعث به وجود آمدن زون‌های نفوذپذیر در سازندهای سخت و نیمه‌سخت می‌شوند. این امر در سنگ‌های متراکمی که هیچ تخلخل اولیه‌ای هم ندارند، دیده می‌شود (Singhal and Gupta, 2010). کاظمی و همکاران (۱۳۸۳)، رابطه بین

عوامل ساختاری با فراوانی منابع آب را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که رابطه زیادی بین فراوانی چشمه‌ها با فاصله از عناصر تکتونیکی و خطواره‌ها وجود دارد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که از روابط بین فراوانی چشمه‌ها با عناصر تکتونیکی، خطواره‌ها و شبکه هیدروگرافی می‌توان برای پتانسیل-یابی منابع آب زیرزمینی استفاده کرد.

خطواره‌ها (lineaments) نیز از اهمیت خاصی در مسائل هیدروژئوژیکی برخوردارند. اصطلاح خطواره اولین بار توسط هابز و همکاران (Hobbs et al., 1985) عنوان شد. آن‌ها خطواره‌ها را خطوطی که ساختمان پی سنگ را آشکار می‌سازد تعریف نمود. در واقع خطواره‌ها ویژگی‌های خطی هستند که توسط فعالیت‌های تکتونیکی توسعه یافته‌اند و انعکاسی از سطح کلی شکستگی‌های زیر زمین می‌باشند (Subba, 2006). لذا اگر پذیرفته شود که خطواره‌ها معرف شکستگی‌های پوسته می‌باشند، می‌توان چنین استنباط نمود که در مناطقی که خطواره‌ها تراکم بالایی دارند، تراکم شکستگی‌ها نیز زیاد می‌باشد. بسیاری از هیدروژئولوژیست‌ها از آنالیز خطواره‌ها برای یافتن محل‌های مناسب حفر چاه استفاده می‌کنند. این امر در مواردی که پی سنگ با بیش از ۵۰ متر خاک‌های سطحی پوشیده شده نیز گزارش شده است (Lattman and Parizak, 1964). در مجموع از آنالیز شکستگی‌ها و خطواره‌ها، در موارد زیر استفاده می‌شود (Fetter, 1988).

۱- تعیین تاریخچه تنش و کرنش در منطقه

۲- یافتن محل‌های مناسب جهت حفر چاه‌های بهره‌برداری منابع آب

۳- یافتن محل‌های مناسب جهت حفر چاه‌های مشاهده‌ای

۴- بررسی نفوذپذیری و زهکشی

۵- یافتن محل‌ها مناسب جهت پی سدها

۶- کنترل زهکشی معادن

۷- بررسی پایداری شیب‌ها

۸- یافتن محل مناسب جهت دفن زباله

## ۲-۵-۳- توپوگرافی

توپوگرافی شامل پستی و بلندی‌های سطح زمین می‌باشد. ارتفاع یکی از فاکتورهای توپوگرافی است که نقش مهمی در میزان وقوع بارندگی، میزان تبخیر و تعرق، درجه حرارت و تغییرات آن و پوشش گیاهی منطقه دارد که این عوامل به نوبه خود در میزان آب نفوذی به درون زمین و میزان تشکیل رواناب مؤثر می‌باشند (Shekhar and Pandey, 2014). توپوگرافی که در استخراج نقشه شیب به ما کمک می‌کند، یک عنصر اصلی تعیین کننده سطح آب زیرزمینی می‌باشد (رضایی و همکاران، ۱۳۹۰).

با توجه به مطالب ذکر شده، طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب از فاکتورهای مؤثر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی هستند که این فاکتورها در گرادیان هیدرولیکی و جهت حرکت آب زیرزمینی و محل تشکیل آبخوان نقش مؤثری دارند. البته با توجه به انطباق تقریبی طبقات ارتفاعی و شیب با یکدیگر، سیستم جریان آب زیرزمینی در اغلب موارد متأثر از شیب سطح زمین است.

## ۲-۵-۴- هیدرولوژی و هیدروژئولوژی

از جمله پارامترهای مهم و تأثیرگذار در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، وضعیت هیدرولوژی منطقه می‌باشد. هیدرولوژی (Hydrology) یا آبشناسی به معنای وسیع کلمه علم آب است. علمی که در مورد پیدایش، خصوصیات و نحوه توزیع آب در طبیعت بحث کند (علیزاده، ۱۳۸۹). هیدروژئولوژی نیز به بررسی منابع آب زیرزمینی یک منطقه در ارتباط با زمین شناسی آن ناحیه می‌پردازد. مشخصات هیدرولوژی و هیدروژئولوژی هر آبخوان یکی از گویاترین بخش‌ها در اکتشافات و پتانسیل‌یابی منابع آب است. نقش عوامل هیدرولوژی به همراه پارامترهای اقلیمی مانند بارش و مشخصات شبکه زهکشی مانند رده‌بندی و تراکم شبکه آبراهه به صورت غیرمستقیم نشان دهنده میزان نفوذپذیری بوده به نحوی که بالا بودن تراکم و رده آبراهه نشان دهنده کاهش نفوذپذیری و کم بودن تراکم آبراهه به شرط مهیا بودن شرایط زمین‌شناسی، خاک و پوشش گیاهی نشان دهنده بالا بودن نفوذپذیری می‌باشد. مطالعات نشان داده که الگو و تراکم زهکشی هر محدوده توسط لیتولوژی مواد سطحی و ساختمان‌های موجود کنترل

می‌شود (رحیمی، ۱۳۹۰). در مورد نقش رده آبراهه‌ها بر روی مکان‌یابی تحقیقات مختلفی صورت گرفته است از جمله صراف (Saraf, 2001) در مکان‌یابی نواحی مناسب جهت استفاده از آب زیرزمینی، رده‌های ۳ به بالا را برای پتانسیل‌یابی منابع آب مناسب دانسته است به این علت که رده‌های بالاتر به دلیل اینکه حجم بالاتری از آب را منتقل می‌کنند بنابراین بحث رواناب در آن‌ها بیشتر از نفوذپذیری حائز اهمیت می‌باشد. در مورد رده‌های پایین نظیر رده ۱ نیز به علت شیب بالا و گنجایش پایین انتقال آب، نقش کمتری در نفوذپذیری خواند داشت. تراکم زهکشی یک تابع معکوس از نفوذپذیری می‌باشد، بنابراین یک پارامتر مهم در ارزیابی زون‌های پتانسیل آب می‌باشد (Shekhar and pandey, 2014). نقش آبراهه‌ها جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت و آهکی متفاوت بوده و از آن‌ها به عنوان نقاط وضعی در سازندها یاد می‌شود که بر اثر شکستگی و پدیده انحلال توسعه یافته‌اند و به صورت آبراهه در آمده‌اند. بنابراین تراکم آبراهه نیز یکی از پارامترهای مهم در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی می‌باشد که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۵- سیستم اطلاعات جغرافیایی (Geographic Information System)

سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیستمی متشکل از رایانه، نرم‌افزار، روش و مدل‌های طراحی شده به منظور، دریافت، تجزیه و تحلیل، مدیریت و نمایش داده‌های زمین، برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های پیچیده و مسائل مدیریتی است. در واقع GIS یک بانک اطلاعاتی است که وجه تمایز آن با یک بانک اطلاعاتی معمولی، فراگیر بودن و هوشمندی نسبی آن است. فراگیر است از آن رو که اطلاعات گرافیکی (مکانی) و اطلاعات غیر گرافیکی و توصیفی و مقداری یک جا در آن جمع شده است. هوشمند است از آن جهت مجموعه‌ای متشکل از اطلاعات تصویری قادر به انتخاب، تلفیق و تحلیل داده است. به عبارت دیگر نقشه‌ها و اطلاعات توصیفی و رقومی مربوط به عوارض زمین است. این دو گروه از اطلاعات رابطه‌ای منسجم دارند و این مجموعه در واقع مدل ساده‌ای از واقعیت است.

مهم‌ترین توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی عبارتند از :

۱. امکان استفاده هم زمان اطلاعات توصیفی و نقشه‌ای

۲. قابلیت ترکیب و تلفیق نقشه‌های مختلف با یکدیگر

۳. قابلیت به روز کردن اطلاعات

مهم‌ترین مزیت این سیستم استفاده همزمان از اطلاعات توصیفی و نقشه‌ای است که این ویژگی امکان تجزیه و تحلیل بر روی نقشه‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌نماید (محمدی مطلق، ۱۳۹۱). در واقع GIS ابزار مورد نیاز برای ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات در موقعیت‌های جغرافیایی مختلف را فراهم می‌کند. مؤلفه‌های کلیدی GIS عبارتند از الف) یک سیستم مدیریت پایگاه داده (DBMS) ب) ابزارهایی که نقشه‌های دیجیتال هوشمند را ایجاد می‌کنند که قابلیت تجزیه و تحلیل و پردازش و چاپ را دارا می‌باشند. ج) یک رابط کاربر گرافیکی (GUI) برای استفاده آسان (Singhal and Gupta, 2010). در سال‌های اخیر، روش‌های رقومی نه تنها برای یکپارچه‌سازی داده‌های مختلف برای تشخیص مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، بلکه برای حل مشکلات مربوط به آب‌های زیرزمینی نیز استفاده می‌شود. این داده‌های مختلف با استفاده از ابزارهای GIS در قالب نقشه‌های موضوعی آماده می‌شوند. سپس این نقشه‌های موضوعی با استفاده از ابزار تحلیل‌گر فضایی یکپارچه می‌گردند. ابزار تحلیل‌گر فضایی با عملگرهای ریاضی و بولین با توجه به هدف، برای توسعه یک مدل مانند تعیین مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Pothiraj and Rajagopalan, 2012).

## ۲-۶- سنجش از دور (Remote Sensing)

سنجش از دور علم و هنر کسب اطلاعات در مورد اجسام، اراضی یا پدیده‌های مختلف، به کمک جمع-آوری اطلاعات از آن‌ها، البته بدون تماس با پدیده‌های تحت بررسی و به طور خلاصه «علم و هنر کسب اطلاعات از پدیده‌ها یا اجسام بدون تماس با آن‌ها» می‌باشد (زبیری، ۱۳۷۵). سنجش از دور به دلیل قابلیت تشخیص خطواره‌ها اهمیت بسیار زیادی در هیدرولوژی سنگ‌های سخت دارد. از این رو می‌توان شکستگی‌ها، که محل حرکت آب‌های زیرزمینی می‌باشد را تشخیص داد (Oikonomidis et al. 2015). در واقع سنجش از دور، شامل مطالعه داده‌های ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی و یک روش قدرتمند برای

اکتشاف منابع زمین، نقشه‌برداری و مدیریت آن‌ها می‌باشد. داده‌های سنجش از دور معمولاً در مقایسه با روش‌های معمولی بررسی‌های هیدرولوژیکی مقرون به صرفه‌تر است، به خصوص برای مناطق دور افتاده از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد (Machiwal *et al.*, 2011). سنجش از دور یکی از منابع اصلی جمع‌آوری اطلاعات در مورد عوارض سطحی مربوط به آب‌های زیرزمینی مانند سنگ‌شناسی، عوارض ساختاری و کاربری اراضی می‌باشد (Singhal and Gupta, 2010). امروزه سنجش از دور به عنوان ابزار قوی مطرح بوده که جایگاه خاصی در پایش منابع آب دارا می‌باشد. اقداماتی نظیر بررسی کیفیت آب شامل مطالعات شوری، بررسی مواد معلق، بررسی رنگ آب و همچنین مطالعات کمی منابع آب شامل اندازه‌گیری تغییرات عمق یا ژرفاسنجی منابع آب از جمله اقداماتی است که می‌توان به کمک سنجش از دور انجام داد (Krishnamurohy *et al.*, 2000).

به دلیل اینکه در بسیاری از سازندهای سخت‌کشور اطلاعات و داده‌های کافی در دسترس نیست، استفاده از روش‌های سنجش از دور جزء روش‌های مناسب مطالعه سازندهای سخت در کشور است. تلفیق اطلاعات سنجش از دور و داده‌های زمینی به ویژه در سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌تواند نتایج ارزشمندی در برداشته باشد. سنجش از دور و GIS با مزیت‌های مکانی، طیفی و قابلیت‌های زمانی و مهارت پوشش وسیع داده‌ها و دستیابی به مناطق صعب‌العبور در یک زمان کوتاه، از ابزارهایی می‌باشند که نسبت به ابزارهای دستی دارای کاربردها و توانایی‌های بیشتری هستند.

## ۷-۲- سوابق مطالعات انجام شده در ارتباط با پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی

سنر و همکاران (Sener *et al.*, 2005) به منظور پژوهش بر روی آب‌های زیرزمینی در منطقه بوربور (Borbor) ترکیه از تلفیق نتایج سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند. آن‌ها با ایجاد هفت نقشه موضوعی و ترکیب آن‌ها مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی را مشخص نمودند.

پراساد و همکاران (Prasad *et al.*, 2008) در مقاله خود کاربرد تکنیک‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های ژئوالکتریکی برای اکتشاف آب زیرزمینی را مورد مطالعه قرار داده و

نشان دادند که آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت توسط عواملی چون ساختار، لیتولوژی، لندفرم و شرایط تغذیه کنترل می‌شود.

دیبی و همکاران (Dibi *et al.*, 2010) در ارزیابی مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از GIS به این نتیجه رسیدند که استفاده از GIS در ترکیب با آنالیز چند معیاره (MCA<sup>1</sup>) یک روش قوی برای توصیف زون‌های دارای پتانسیل آب زیرزمینی است

ماچیوال و همکاران (Machiwal *et al.*, 2011) از طریق هفت لایه اطلاعاتی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه راجستان (Rajasthan) واقع در غرب هند را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از روش‌های سنجش از دور و GIS و اختصاص وزن مناسب به لایه‌ها با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP<sup>2</sup>) با توجه به اهمیت نسبی لایه‌ها در وقوع آب زیرزمینی، منطقه مورد مطالعه را به لحاظ پتانسیل آب زیرزمینی به چهار بخش خوب، متوسط، ضعیف و بسیار ضعیف تقسیم‌بندی کردند. نتایج نهایی با استفاده از داده‌های آبدی چاه‌های موجود صحت سنجی گردید.

عبدالله (Abdalla, 2012) به بررسی مناطق امید بخش جهت اکتشاف آب زیرزمینی در کویر مرکزی مصر پرداخت. وی پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی شیب، شبکه جریان، لیتولوژی، خطواره و ارتفاع به منظور تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی، از روش ارزیابی چند معیاره جهت تلفیق لایه‌ها استفاده نمود. در این مدل به هر لایه بسته به نقش خود در ذخیره آب زیرزمینی وزنی اختصاص یافت. پس از تهیه نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی، مناطق با تراکم خطواره بالا (بخش غربی منطقه مورد مطالعه) و همچنین نهشته‌های کواترنری مناطق مناسبی جهت اکتشاف آب زیرزمینی مشخص شدند.

پوتیراژ و راجاگوپالان (Pothiraj and Rajagopalan, 2012) اقدام به شناسایی مناطق بالقوه آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و GIS در گستره سازند سخت زیرحوضه وای‌جای (Vaigai) در

---

<sup>1</sup> Multi Criteria Analysis

<sup>2</sup> Analytical Hierarchy process

هند نمودند. لایه‌های موضوعی زمین‌شناسی، خطواره، ژئومورفولوژی و نقشه زهکشی با استفاده از پردازش داده‌های سنجش از دور تهیه شده و پس از طبقه‌بندی و اختصاص وزن مناسب به لایه‌ها با توجه به تأثیر آن‌ها در مناطق بالقوه، تلفیق لایه‌ها در نرم‌افزار GIS انجام گردید. نتایج نشان داد که دره‌های پر شده از رسوبات و دشت‌های کوهپایه‌ای مدفون از پتانسیل بالایی برخوردار می‌باشند. همچنین حضور خطواره‌ها در منطقه باعث افزایش مناطق بالقوه آب زیرزمینی می‌گردد.

رامایا و همکاران (Ramaiah *et al.*, 2012) سنگ‌های سخت منطقه کلار (Kolar) در کارناتای (Karnata) هند را برای شناسایی مناطق بالقوه آب زیرزمینی با استفاده از سنجش از دور و GIS مورد مطالعه قرار دادند. ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی این منطقه یک راه ساده و کارآمد برای تشخیص مناطق بالقوه فراهم نمود، بر اساس واحدهای ژئومورفولوژی مختلف مناطق بالقوه آب زیرزمینی به چهار دسته بسیار خوب تا خوب، خوب تا متوسط، متوسط تا ضعیف و ضعیف تا بسیار ضعیف تقسیم بندی شدند. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق دشت‌های کوهپایه‌ای مدفون به عنوان مناطق دارای پتانسیل مناسب برای اکتشاف آب زیرزمینی مشخص شده، در حالی که تپه‌های برهنه به عنوان مناطق با پتانسیل ضعیف معرفی گردید.

ماگش و همکاران (Magesh *et al.*, 2012) با استفاده روش‌های سنجش از دور و GIS و روش وزن‌دهی فاکتور تأثیر چندگانه<sup>1</sup> (MIF) محدوده تنی (Theni) واقع در جنوب هند را به لحاظ پتانسیل آب زیرزمینی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها پس از آماده‌سازی لایه‌های موضوعی لیتولوژی، خطواره، تراکم آبراهه، خاک، شیب، کاربری اراضی و بارش با اختصاص وزن مناسب به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش وزن‌دهی MIF و تلفیق لایه‌ها در نرم‌افزار GIS منطقه مورد نظر را به لحاظ پتانسیل آب زیرزمینی به چهار دسته بسیار خوب، خوب، ضعیف و بسیار ضعیف تقسیم‌بندی کردند.

---

<sup>1</sup> Multi influencing factor

ارزیابی مناطق بالقوه آب زیرزمینی در سنگ‌های کریستالین واقع در جنوب غرب نیجریه (Nigeria) توسط فاشا و همکاران (Fashae et al., 2014) انجام شده است. در منطقه مورد مطالعه سنگ بستر گرانیت و گنیس توسط ضخامتی از واحدهای ساپرولیت هوازده پوشیده شده است. آن‌ها پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، ژئومورفولوژی، بارش، خاک، تراکم زهکشی، تراکم خطواره، شیب و کاربری اراضی و وزن دهی لایه‌ها با تکنیک (AHP) در محیط GIS، منطقه مورد مطالعه را به سه بخش مناطق دارای پتانسیل بالقوه بالا، متوسط و پایین تقسیم بندی نمودند. بخش بزرگتری از منطقه مورد مطالعه (حدود ۷۸ درصد از مساحت کل) دارای پتانسیل بالقوه متوسط بوده و اعتبار سنجی داده‌ها توسط گمانه‌ها و داده‌های آبدی چاه‌ها صورت گرفت. همبستگی خوبی بین آبدی چاه‌ها و مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی مشاهده گردید به گونه‌ای که چاه‌های با آبدی بیشتر از ۱۵۰ مترمکعب در روز در مناطق با پتانسیل بالا و چاه‌های با آبدی ۷۵-۱۵۰ و ۷۵ < مترمکعب در روز به ترتیب در مناطق با پتانسیل متوسط و ضعیف قرار گرفته‌اند.

شکار و پاندی (Shekar and Pondey, 2014)، به بررسی و تشخیص مناطق بالقوه آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت حوضه پالامو (Palamu) با استفاده از سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک آنالیز سلسله مراتبی (AHP) پرداختند. منطقه مورد مطالعه غنی از رسوبات زغالی و سنگ‌های گرانیت، آهک و دولومیت و همچنین دارای شرایط آب و هوایی نیمه‌خشک می‌باشد. پنج لایه موضوعی لیتولوژی، ژئومورفولوژی، شیب، تراکم خطواره و بارش تهیه شده و سپس براساس تجربه میدانی و نظرات کارشناسی با استفاده از تکنیک AHP به هر لایه وزن خاصی اختصاص یافته است. پس از تلفیق لایه‌های موضوعی در نرم افزار GIS و تهیه نقشه نهایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی، منطقه مورد مطالعه نشان داد که ۳/۲۲ درصد از منطقه دارای پتانسیل بالقوه عالی، ۵/۸۷ درصد منطقه بسیار خوب، ۲/۵۱ درصد خوب، ۱۳/۲۷ درصد متوسط، ۳۶/۸۹ درصد ضعیف و ۳۸/۲۳ درصد بسیار ضعیف می‌باشد.

سواکومار و همکاران (Sevakumar *et al.*, 2015) به شناسایی مناطق بالقوه در سنگ‌های سخت منطقه تامیل نادو (Tamilnadu) در هند پرداختند. به منظور شناسایی این مناطق لایه‌های موضوعی مختلف مانند لیتولوژی، ژئومورفولوژی، خطواره، شیب و زهکشی با استفاده از داده‌های سنجش از دور تهیه و در محیط GIS تلفیق گردیدند. براساس نتایج به دست آمده منطقه مورد مطالعه از نظر پتانسیل آب زیرزمینی از خوب تا ضعیف طبقه‌بندی گردید. برآمدگی‌های سنگی و تپه‌های برهنه به عنوان مناطق با پتانسیل ضعیف در نظر گرفته شده و دشت‌های کوهپایه‌ای مدفون و دره‌های پر شده از رسوبات به عنوان مناطق با پتانسیل خوب معرفی شدند.

آرنوس (Arenous, 2016) به منظور شناسایی، ارزیابی و تولید نقشه پتانسیل آب زیرزمینی (GWP<sup>1</sup>) برای حوضه بیابانی فیران (Feiran)، هشت لایه اطلاعاتی شیب، تراکم زهکشی، لیتولوژی، لندفرم، تراکم خطواره، بارش، ارتفاع و انحنا (Curvature) را تهیه و سپس به هر کدام از لایه‌ها بر اساس توانایی ذخیره و انتقال آب وزنی اختصاص داد. در نهایت پس از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش ارزیابی معیار چندگانه نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی تهیه شد. نتایج نشان داد که واحدهای سنگی شکسته شده و رسوبات دره که عمدتاً شامل شن و ماسه و آبرفت ضخیم بودند به عنوان مناطق با پتانسیل مناسب شناسایی شدند. وی جهت اعتبار سنجی نتایج مدل خود از آبدهی چاه‌های موجود در منطقه استفاده کرد.

از جمله مطالعات انجام شده در خصوص پتانسیل‌یابی منابع آبی در سازندهای سخت در ایران می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

کاوسی و همکاران (۱۳۷۴)، به منظور تعیین مناطق مناسب از لحاظ پتانسیل آب زیرزمینی در تاکدیس-های شاویش و تنوش در شمال شرق خوزستان از سنجش از دور (RS)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ترکیب روش‌های منطق فازی و تحلیل سلسله مراتبی (FAHP) استفاده نمودند. پس از به دست آوردن لایه‌های موجود با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سایر منابع در دسترس، تمامی این

---

<sup>1</sup> Groundwater potential zone

لایه‌ها در محیط GIS مورد تفسیر و آنالیز قرار گرفته و به داده‌های رستری تبدیل گردید. و بر روی داده‌ها تحلیل‌های مربوط به فازی کردن زیرلایه‌ها انجام شده و با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن لایه‌ها تعیین گردید. لایه‌های حاصله با استفاده از روش همپوشانی فازی (Fuzzy overly) تلفیق و مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی شناسایی گردید.

آبشیرینی (۱۳۸۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان کاربرد تکنیک‌های دورسنجی و GIS در شناخت و پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی کارستی در تاقدیس پابده-لالی، لایه‌های موضوعی شیب، شبکه زهکشی، کیفیت شیمیایی آب چشمه‌ها در فصل تر و خشک، شکستگی و فاصله از چشمه‌ها را به کار گرفت و برای تلفیق آن‌ها از مدل بولین با فرض مساوی بودن تأثیر پارامترهای مختلف استفاده کرد. در نهایت ۴۳ نقطه را به عنوان مکان‌های مناسب جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی معرفی نمود.

قدرت و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه خود پارامترهای مؤثر و قابل دسترس در تعیین پتانسیل آب زیرزمینی سازندهای سخت شهرستان ارسنجان واقع در شمال شرق استان فارس را مشخص نمودند. پارامترهای مذکور در مطالعه آن‌ها شامل داده‌های ارتفاعی راداری (SRTM)، نقشه شیب، نقشه هم باران، نقشه زمین‌شناسی و چگالی شکستگی‌ها بود. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ایجاد ماتریس مقایسه زوجی، وزن نهایی پارامترها تعیین گردید. در نهایت با تلفیق لایه‌ها و اعمال وزن نهایی پارامترها در محیط GIS اقدام به تعیین زون بندی و پتانسیل‌یابی منطقه مورد مطالعه شده و پتانسیل منابع آب به صورت مناطق مناسب و نامناسب مشخص گردید.

قشقائی نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، در مطالعه خود به شناسایی منابع جدید آب در تاقدیس بیرک با استفاده از سنجش از دور و GIS پرداختند. آن‌ها با شناسایی پارامترهای مؤثر در پتانسیل‌یابی و اختصاص وزن مناسب به لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتب زوجی (AHP) و تلفیق لایه‌های مربوطه، نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی را تهیه نمودند. جهت کاهش هزینه اکتشافی لایه‌ای

تحت عنوان لایه اقتصادی که در واقع عمق احتمالی برخورد به آب زیرزمینی می‌باشد، بر روی نقشه مناطق مستعد مشخص گردید.

خدری و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی پتانسیل منابع آب در تاقدیس پیون در جنوب غرب ایران پرداختند. بدین منظور پارامترهای مؤثر در پتانسیل‌یابی شامل لیتولوژی، شیب، پوشش گیاهی و تراکم خطواره‌ها شناسایی و مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) وزن لایه‌های مؤثر در حضور آب مشخص شده و در نهایت نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد نظر با تلفیق لایه‌های مربوطه استخراج شده است. بر اساس نتایج، بالاترین پتانسیل در نقاط مرکزی تاقدیس یعنی محلی با ارتفاع کمتر و تمرکز زیاد چشمه‌ها مشخص گردید.

ماه‌گلی و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی نقاط دارای پتانسیل آب زیرزمینی سازند سخت شمال حسینیة واقع در مرز استان لرستان پرداختند. لایه‌های مختلف با استفاده از سنجش از دور تهیه شده و در نهایت در محیط GIS تلفیق گردید. در نهایت مناطق با کم‌ترین ارتفاع و زمین‌های کشاورزی به‌عنوان مناطق با پتانسیل بالا معرفی گردید.

با توجه به مطالب مذکور، مکان‌یابی از طریق تلفیق مجموعه عوامل و پارامترهای مؤثر در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی صورت می‌گیرد، به عبارت دیگر محدوده‌هایی که جهت پتانسیل‌یابی معرفی می‌گردند، شامل مکان‌هایی است که شرایط و پارامترهای مؤثر جهت ایجاد مخازن آب زیرزمینی را دارا باشد.



فصل سوم

مواد و روش ها

### ۳-۱- مقدمه

امروزه برای مطالعه پارامترهای آب‌های زیرزمینی، همواره از ابزارهایی نظیر سنجش از دور، GIS و عملیات صحرایی استفاده می‌شود. با تلفیق این فنون و سایر منابع در دسترس، لایه‌های اطلاعاتی را می‌توان تهیه نمود که هر کدام تأثیر منحصر به فردی در تخمین وجود یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی دارند (Khalek and Omran, 2008). نوع و تعداد لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی توسط سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعات مختلف، تفاوت قابل ملاحظه‌ای دارند. همچنین در اکثر مطالعات برای وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی و ویژگی‌های آن‌ها قضاوت کارشناس به‌کار برده می‌شود (Machiwal et al., 2011). در این فصل با هدف بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه یزد ابتدا روش تهیه داده‌های لازم بیان می‌گردد و سپس نحوه استخراج اطلاعات مورد نیاز و مرتبط با هدف تحقیق توضیح داده می‌شود.

### ۳-۲- جمع‌آوری اطلاعات

جمع‌آوری و تهیه داده‌های اولیه جهت انجام تحقیق، از ارکان اصلی تحقیق به‌شمار می‌آید. در مطالعات GIS نیز جمع‌آوری و تهیه داده‌های لازم، از مهم‌ترین قسمت‌های کار می‌باشد که گاه ۸۵ درصد هزینه یک پژوهش GIS را در بر می‌گیرد (علوی پناه، ۱۳۸۲).

داده‌های گردآوری شده برای انجام این تحقیق شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- جمع‌آوری و مرور مطالب نظری و پایه، در خصوص موضوع‌های مرتبط با پژوهش، شامل مبانی نظری سازند سخت، پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی و دورسنجی با استفاده از مقالات علمی.

۲- مدل رقومی ارتفاع (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی و

اکتشافات معدنی کشور

۳- تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه که توسط سنجنده Landsat ETM<sup>+</sup> و ASTER تهیه شده است. لازم به ذکر است که از سه قطعه (Sheet) تصویر ماهواره‌ای جهت پوشش منطقه مطالعاتی استفاده شده است.

۴- اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی، شرایط اقلیمی و ویژگی‌های زمین‌شناسی (چینه‌شناسی، لیتولوژی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی) که از گزارش‌ها و کتب مختلف جمع‌آوری گردیده است. این اطلاعات جهت دستیابی به شناخت اولیه منطقه و اتخاذ راهبرد مناسب مطالعه لازم می‌باشند.

### ۳-۳- عملیات صحرایی

نظر به شناخت منطقه مورد مطالعه، بازدید صحرایی از بخش‌های مختلف منطقه انجام گرفت. همچنین در این بازدید اقدام به برداشت درزه از نقاط مختلف توده گرانیته شیرکوه (شکل ۳-۱) و همچنین برداشت موقعیت چشمه‌ها جهت صحت‌سنجی نتایج پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی گردید.



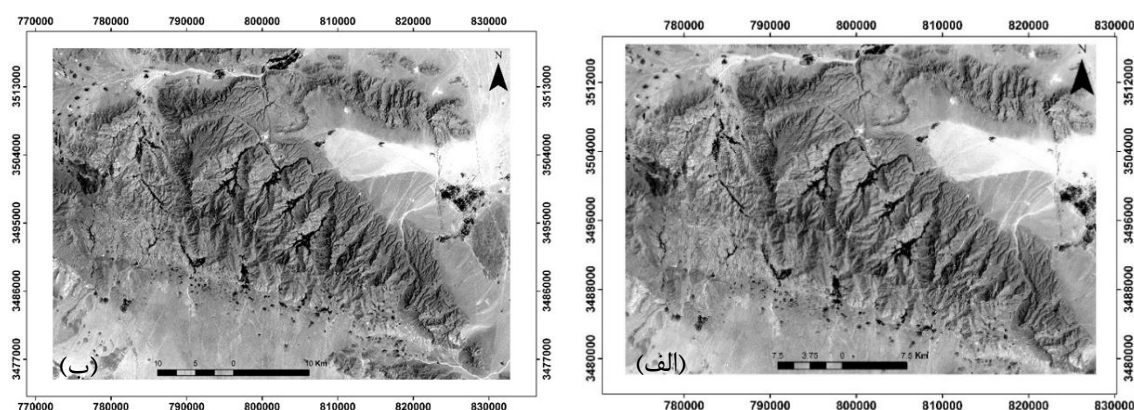
شکل ۳-۱: برداشت درزه از نقاط مختلف توده گرانیته شیرکوه

### ۳-۴- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

قبل از استفاده اصلی از تصاویر ماهواره‌ای نیاز به پیش پردازش می‌باشد. این عملیات شامل تصحیحات اتمسفری، موزاییک کردن، یکجا کردن (Stack) تصاویر در یک فایل و برش تصویر به اندازه مورد نظر پروژه می‌باشد.

#### ۳-۴-۱- تصحیح اتمسفری

به دلیل تأثیر ذرات موجود در جو زمین، ممکن است نوری که به سنجنده می‌رسد کمتر یا بیشتر از حدی باشد که از زمین تابیده شده است. با استفاده از تصحیحات جوی می‌توان این تأثیرات را در طیف تصویر کم یا تعدیل کرد. بنابراین قبل از شروع پردازش داده‌ها لازم است که بر روی آن‌ها تصحیحات جوی صورت گیرد. برای تشخیص اثرات اتمسفری می‌توان از مشاهده انعکاس (Reflectance) آب رودخانه‌ها، آب‌های سطحی و بررسی اثر مه استفاده نمود. با توجه به این نکته که انعکاس آب در باند TM 4 صفر است، در صورت صفر نبودن، این مقدار از همه پیکسل‌ها در تمام باندها کسر می‌گردد و همچنین اثر مه نیز به صورت پیکسل‌های تیره قابل مشاهده است که در صورت وجود باید تصحیح گردد (رسولی، ۱۳۸۷). شکل (۲-۳) تصویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> منطقه مورد مطالعه را قبل و بعد از تصحیح اتمسفری نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲: تصویر ماهواره‌ای اولیه (الف) و تصحیح شده (ب) منطقه مورد مطالعه

### ۳-۴-۲- موزاییک کردن (یکپارچه سازی) تصاویر

یکپارچه سازی یا موزاییک کردن تصاویر عبارت از اتصال تصاویر دارای مرز مشترک به منظور دستیابی به یک تصویر یکپارچه می‌باشد. در تولید تصاویر یکپارچه، لازم است داده‌ها هم‌مختصات شده باشند تا مرز اتصال آن‌ها فاقد جابه‌جایی مکانی باشد. از سوی دیگر تغییرات جوی و شدت نور خورشید در سین‌های با تاریخ مختلف، منجر به نوسانات ناخواسته رادیومتری می‌شود. از این رو منظره تحت موزاییک باید حتی‌المقدور از لحاظ زمانی به هم نزدیک باشند و یا اختلاف رنگ تنظیم شود. معیار و استاندارد قضاوت درباره یکدستی و یکپارچگی تصویر، بررسی چشمی ترکیبات رنگی حاصل است.

### ۳-۴-۳- یکجا کردن تصاویر (Stack)

برای کار بر روی تصاویر ماهواره‌ای تهیه شده نیاز به یکسری تصحیحات می‌باشد. قبل از اینکه تصحیحات تصاویر ASTER انجام گیرد، با توجه به آنکه داده‌های NVIR (مادون قرمز نزدیک) و SWIR (مادون قرمز کوتاه) از لحاظ دقت مکانی یکسان نبوده و در دو فایل جدا قرار دارند، ابتدا دقت مکانی تصاویر SWIR به ۱۵ متر ارتقاء یافت و سپس باندهای آن با باندهای NVIR به صورت یکجا (Stack) در یک فایل ذخیره شدند.

### ۳-۵- پردازش تصاویر

هدف اساسی در فرآیند پردازش، استخراج هر چه دقیق‌تر اطلاعات کاربردی از تصاویر کاربردی از تصاویر ماهواره‌ای تصحیح شده است. بنابراین، در مرحله پردازش فرض می‌گردد که کلیه اقدامات پیش پردازش مورد نیاز در روند رفع اعوجاج‌ها و خطاهای موجود در تصاویر اعمال شده و تصاویر آماده انواع پردازش-های رقومی است (رسولی، ۱۳۸۷). تکنیک‌های متعددی جهت پردازش تصویر، جهت استخراج اطلاعات وجود دارد که در ادامه موارد استفاده شده در این تحقیق اشاره شده است.

### ۳-۵-۱- ترکیب رنگی کاذب

هر تصویر رقومی از آرایش منظم اعداد تشکیل یافته است که هر یک از این اعداد به یک عنصر منفرد تصویری به نام پیکسل نسبت داده می‌شود. این آرایش منظم تنها یک تصویر تک رنگ (سیاه و سفید) را نشان می‌دهد، ولی اگر بخواهیم یک تصویر رنگی داشته باشیم لازم است که  $DN^1$  هر پیکسل را به یکی از سه رنگ اصلی (قرمز، سبز، آبی) اختصاص دهیم. داده‌های رقومی اسکنرهای چند طیفی با  $N$  باند را می‌توان یا به عنوان یک مجموعه منظم که عناصر آن به صورت بردارهای  $N$  بعدی مشخص شده است، یا به صورت مجموعه‌ای از  $N$  مورد آرایش منطبق (مختصات یکسان) در نظر گرفت. اگر  $N=3$  باشد، بنابراین هر یک از سه مؤلفه‌های تصویر می‌تواند به صورت سه رنگ اصلی ترکیب شده و در نتیجه یک تصویر رنگی تولید نماید. تصویر کاذب رنگی، ترکیب سه باند مختلف است که به صورت رنگ‌های قرمز، سبز و آبی با هم ترکیب می‌شوند. چنانچه باندهای ترکیبی در طول موج قرمز، سبز و آبی باشد تصویر حاصله با رنگ واقعی به دست خواهد آمد و در صورتی که باندهای ترکیبی متفاوت از قرمز، سبز و آبی باشد تصویر حاصله رنگ کاذب خواهد داشت.

### ۳-۵-۲- نسبت باندی

یکی از روش‌های رایج در پردازش تصاویر، روش نسبت باندی می‌باشد. به وسیله این روش می‌توان اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین برد. این روش یکسری از نویزها را افزایش و سری دیگر را کاهش می‌دهد. علاوه بر آن اختلاف بین درجات روشنایی را آشکار کرده و مرزها را مشخص تر می‌سازد. بنابراین برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی و تشخیص سنگ‌ها بکار می‌رود. با شناخت خصوصیات انعکاسی پدیده‌های مختلف و با استفاده از روش فوق می‌توان پدیده‌های مختلف را بارز ساخت.

---

<sup>1</sup> Digital Number

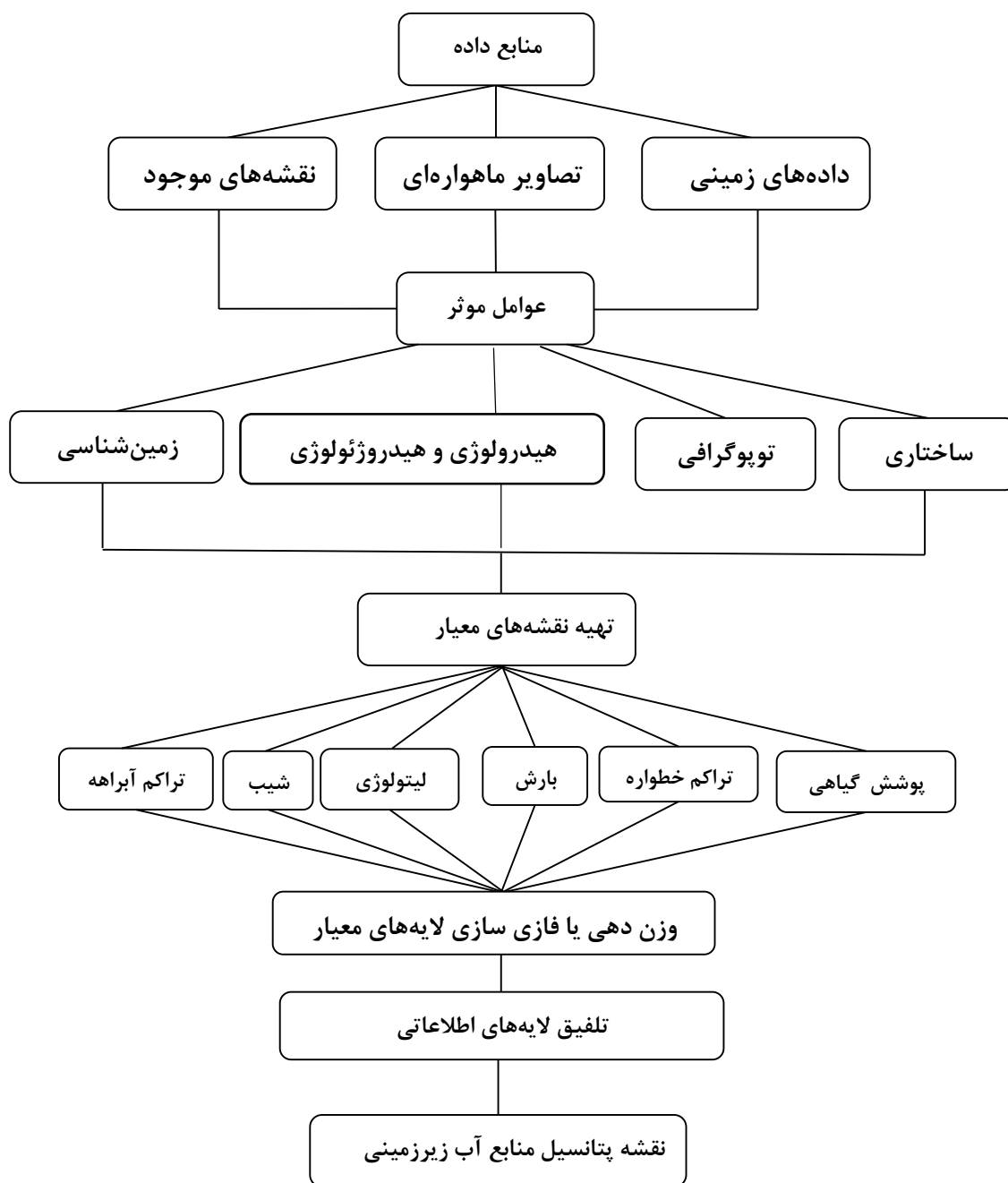
### ۳-۶- تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

در شکل (۳-۳) فلوچارت (نمودار جریان) پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی مطابق آنچه در این تحقیق انجام شده، ارائه شده است. بر اساس مرور مطالعات قبلی که در فصل دوم به آن پرداخته شد عوامل ساختاری، توپوگرافی، زمین‌شناسی، هیدرولوژی و هیدروژئولوژی در تعیین مناطق پتانسیل آب زیرزمینی مؤثر بوده که نقش آن‌ها در قالب شش لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی، تراکم خطواره، بارش، لیتولوژی، شیب و تراکم آبراهه بررسی شده است. نحوه تهیه هر کدام از لایه‌های اطلاعاتی در ادامه بیان گردیده است.

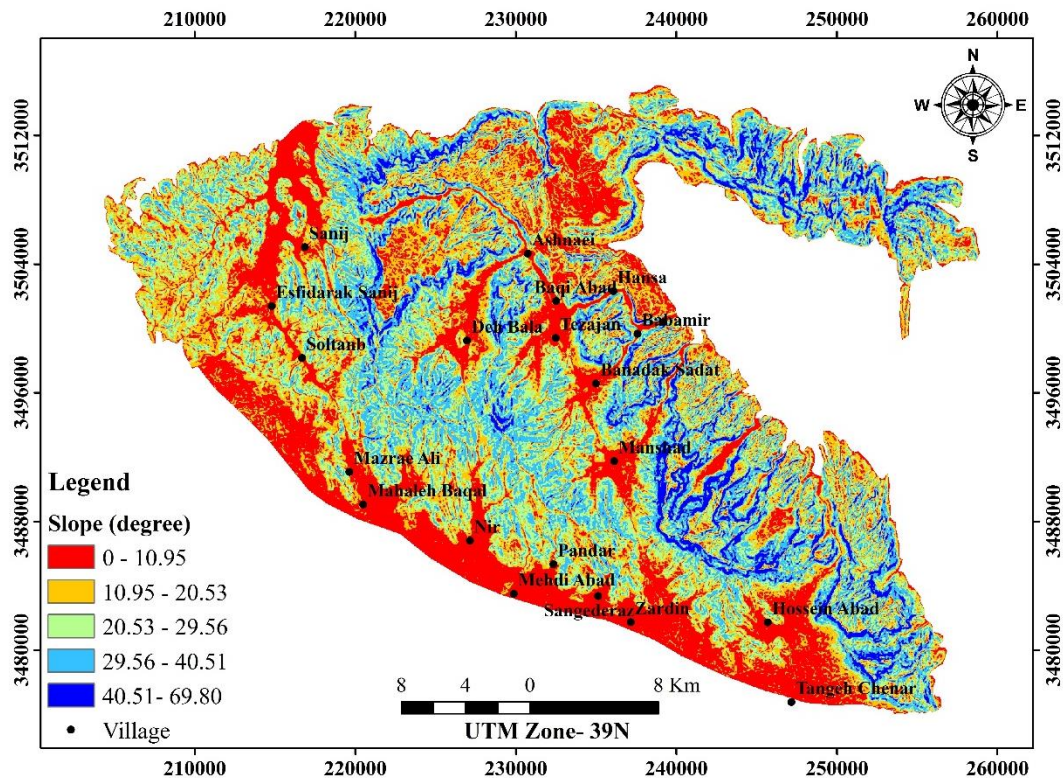
#### ۳-۶-۱- لایه شیب

شیب نقش مهمی در سرعت جریان آب ایفا می‌کند. این عامل، نفوذ آب به درون زمین و تغذیه آبخوان را کنترل می‌کند. در مناطقی که شیب ملایم است، رواناب سطحی فرصت بیشتری جهت نفوذ دارد، در حالی که در مناطق با شیب زیاد جریان رواناب راحت‌تر صورت می‌گیرد و این امر باعث کاهش نفوذ آب باران می‌شود (Adiat et al., 2012).

این لایه اطلاعاتی به کمک مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.2 تهیه گردید. شیب با استفاده از تابع Reclassify به پنج کلاس (Class) طبقه‌بندی شد، که هر کدام از کلاس‌ها در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. ارزش هر پیکسل در نقشه شیب نشان دهنده مقدار شیب بر حسب درجه می‌باشد.



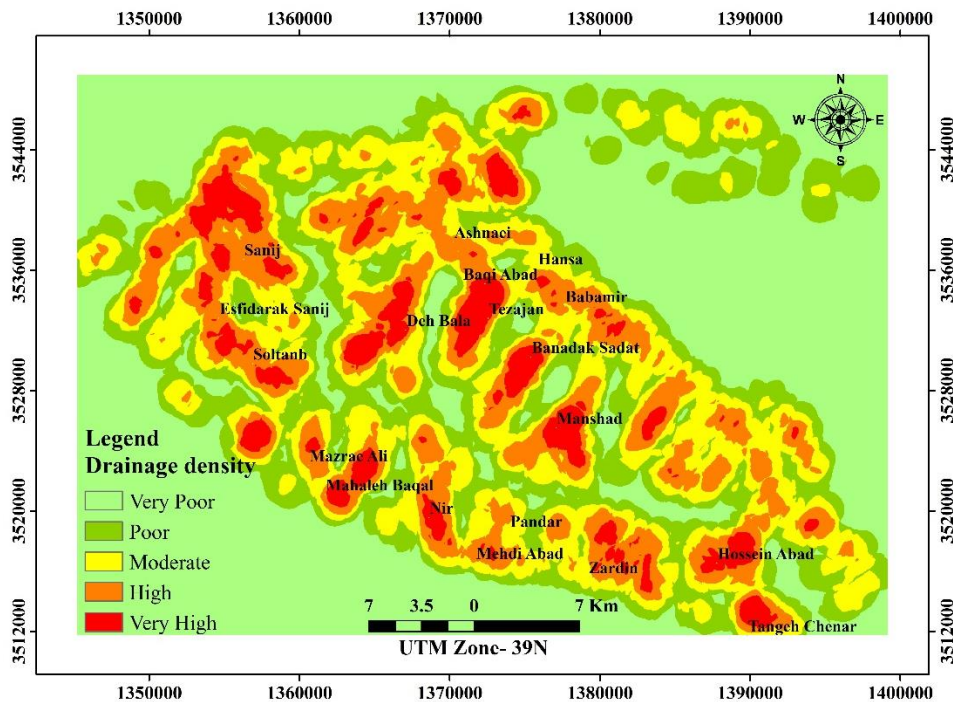
شکل ۳-۳: نمودار جریان‌ی (فلوچارت) مراحل پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه



شکل ۳-۴: لایه شیب در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

### ۳-۶-۲- لایه زهکشی

مطالعات نشانگر آنست که نوع زهکشی هر منطقه توسط لیتولوژی واحدهای زمین‌شناسی، توپوگرافی، ساختارهای تکتونیکی و زمین‌شناسی کنترل می‌شود. با توجه به اینکه آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند. لیکن در سازندهای سخت و آهکی که عمده لیتولوژی منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود، نقش آبراهه‌ها جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی متفاوت بوده و از آن‌ها به عنوان نقاط وضعی در سازندها یاد می‌شود که بر اثر شکستگی و پدیده انحلال توسعه یافته و به صورت آبراهه در آمده‌اند. برای استخراج شبکه زهکشی منطقه از نقشه DEM استفاده شده و با استفاده از نرم‌افزار Global Mapper شبکه زهکشی ترسیم گردید. سپس لایه تراکم آبراهه‌ها (Drainage density) با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.2 تهیه شد (شکل ۳-۵). منظور از تراکم آبراهه، تعداد آبراهه در واحد سطح می‌باشد.



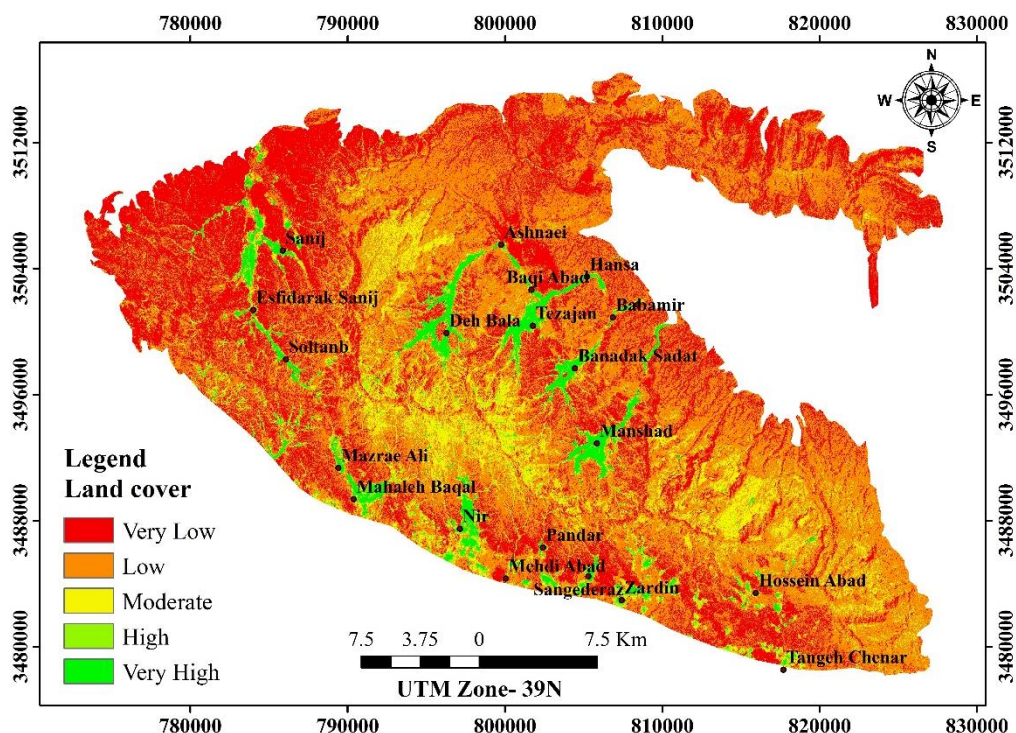
شکل ۳-۵: لایه تراکم آبراهه در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

### ۳-۶-۳- لایه پوشش گیاهی

هر چه پوشش گیاهی در منطقه بیشتر باشد، فرصت نفوذ بیشتر می شود لذا در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، پتانسیل آب زیرزمینی بیشتر می باشد. در مناطقی که پوشش گیاهی زیاد باشد، به علت وجود برگ گیاهان میزان هوموس خاک افزایش یافته و نفوذپذیری افزایش می یابد. همچنین فشار ریشه گیاهان در این مناطق سبب تخریب و شکستگی سنگ ها شده که عامل مؤثری در افزایش میزان نفوذپذیری است. هرچه تراکم پوشش گیاهی بیشتر باشد، از میزان رواناب ناشی از بارندگی شدید جلوگیری شده و زمان لازم جهت نفوذ ریزش های جوی فراهم می گردد (ماه گلی و همکاران، ۱۳۹۳). برای تهیه وضعیت پوشش گیاهی در منطقه، از تصاویر ماهواره ای استفاده گردید. پوشش گیاهی منطقه با استفاده از شاخص NDVI (رابطه ۳-۱) در نرم افزار ENVI تعیین گردید.

$$NDVI = \frac{NIR - red}{NIR + red} \quad (\text{رابطه ۳-۱})$$

که در این معادله NIR باند مادون قرمز و red باند قرمز می‌باشد. لایه پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه در شکل (۳-۶) نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: لایه پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

### ۳-۶-۴- لایه خطواره

شکستگی‌ها و ساختارهای تکتونیکی، که اصطلاحاً خطواره نیز نامیده می‌شوند، به دلیل ایجاد فضاهایی در سازندها و واحدهای زمین‌شناسی جهت عبور آب و حرکت آن به نقاط پایین‌تر درون زمین، نقاط ضعیفی در نظر گرفته می‌شوند که اهمیت آن‌ها در سازندهای سخت و آهکی بیشتر است. بنابراین به عنوان پارامتر مثبتی جهت پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود.

اخیراً سنجش از دور (RS) به طور فزاینده در تحقیقات با مقیاس کوچک و منطقه‌ای برای تشخیص خطواره‌ها استفاده می‌شود که اطلاعات مهمی از سیستم‌های شکستگی سطحی و زیرسطحی فراهم می‌کند. ویژگی‌های خطی منطقه‌ای یک سیمای سطحی از ویژگی‌های ساختاری زیرسطحی نظیر درزه‌ها و گسل‌ها در مناطق با سنگ سخت بوده که به عنوان مناطق بالقوه در نظر گرفته می‌شوند. همچنین

این شکستگی‌ها به عنوان خط لوله خوبی برای حرکت آب زیرزمینی عمل نموده و باعث افزایش تخلخل ثانویه می‌شوند (Ganapuram et al., 2009).

آنالیز خطواره‌ها و گسل‌ها نشان دهنده حرکت و ذخیره آب زیرزمینی می‌باشند. بنابراین راهنمای مهمی برای اکتشاف آب زیرزمینی شمرده می‌شوند. جهت تهیه این لایه از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه از سنجنده لندست ETM<sup>+</sup>، ASTER و همچنین نقشه زمین‌شناسی استفاده شد. لایه تراکم خطواره‌ها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS10.2 تهیه شده که در شکل (۷-۳) نمایش داده شده است. این لایه نشان دهنده تعداد خطواره‌ها در واحد سطح می‌باشد. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه این ساختارها بر روی تصاویر ماهواره‌ای به صورت خطی خود را نشان می‌دهند، ممکن است با دیگر عوارض خطی نظیر خطوط آبراهه و جاده‌ها اشتباه گرفته شوند. بنابراین جهت تشخیص درز و شکستگی‌های تکتونیکی از علائم و نشانه‌هایی که این قبیل عوارض و ساختارها بر روی تصویر از خود نشان می‌دهند، کمک گرفته می‌شود. این نشانه‌ها شامل موارد زیر است:

۱- حالت خطی پوشش گیاهی

۲- گودی‌هایی که به صورت خطی قرار دارند

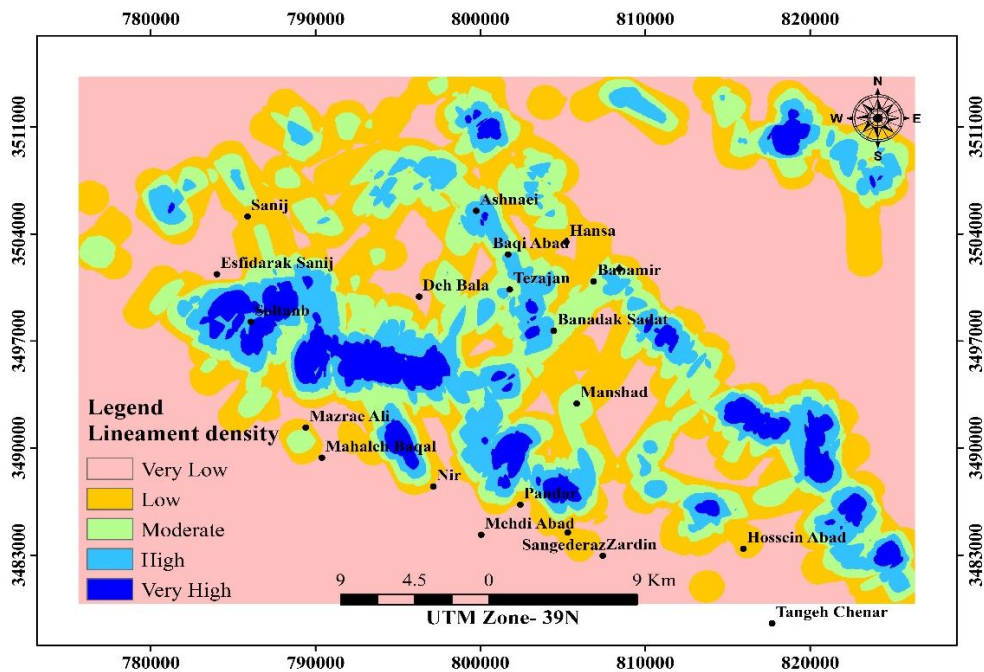
۳- قطع شدگی امتداد برآمدگی‌ها

### ۳-۶-۵- لایه لیتولوژی

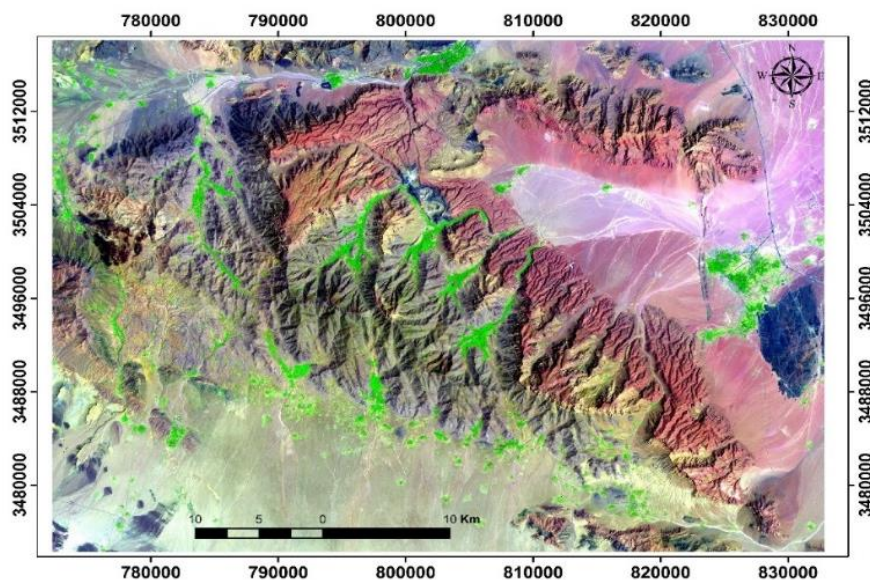
نوع سنگ‌شناسی و خصوصیات وابسته به آن نظیر بافت و درجه خلوص سنگ‌ها نقش مهمی در تخلخل، نفوذپذیری اولیه و تمرکز جریان آب زیرزمینی در داخل سنگ‌ها ایفا می‌کند (آبشیرینی، ۱۳۸۳). واحدهای سنگی که مستعد هوازگی هستند ارزش بیشتری داشته و بالعکس واحدهای سنگی که کمتر شکسته شده و کمتر در معرض هوازگی هستند ارزش کمتری دارند (Arnous, 2016).

به منظور ایجاد لایه لیتولوژی که یکی از پارامترهای مؤثر در مکان یابی آب‌های زیرزمینی می‌باشد، از تصاویر ماهواره‌ای منطقه بهره گرفته شد. ترکیب باندی مناسب جهت تشخیص و تمایز لیتولوژی، ترکیب

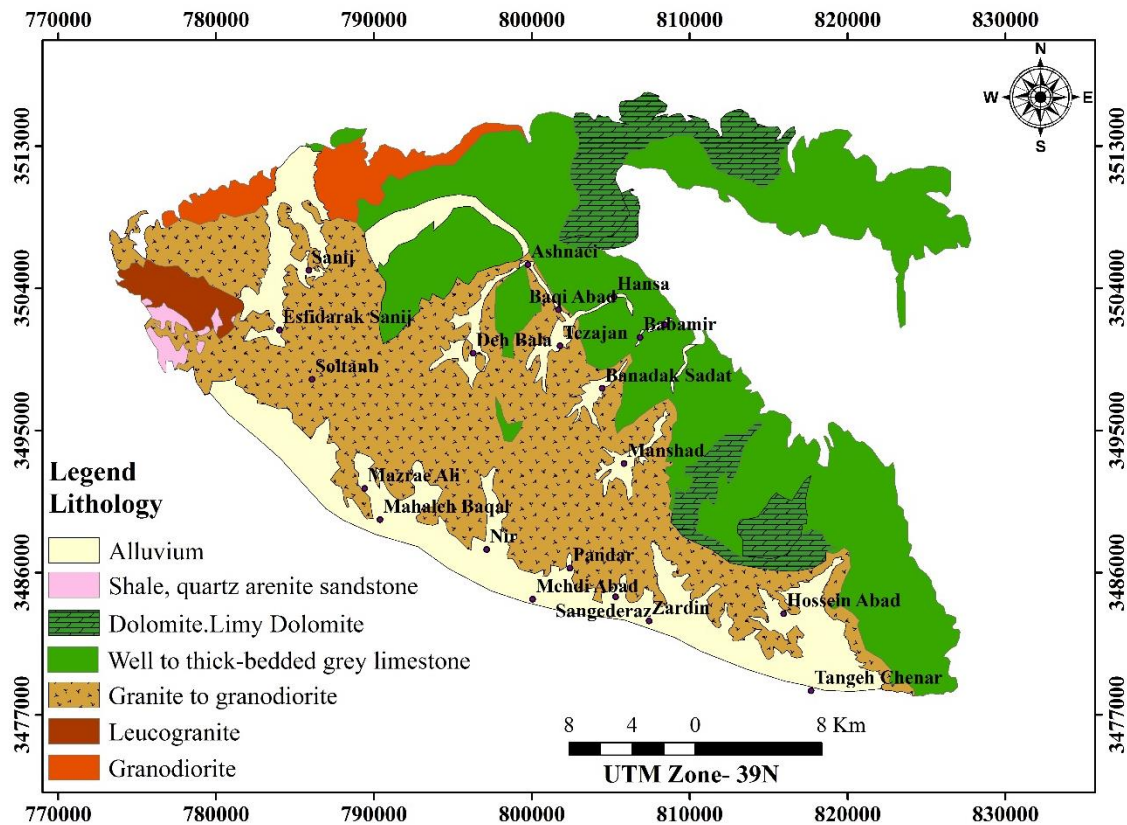
۵-۴-۱ در نظر گرفته شد (شکل ۳-۸). به منظور بالا بردن دقت از نقشه زمین شناسی منطقه و عملیات میدانی نیز کمک گرفته شد. همانطور که در شکل (۳-۹) مشاهده می شود پنج نوع واحد لیتولوژیکی شامل آهک، دولومیت، گرانودیوریت، گرانیت و لوکوگرانیت و واحد آبرفتی در منطقه مورد مطالعه مشخص گردیده است.



شکل ۳-۷: لایه تراکم خطواره در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد



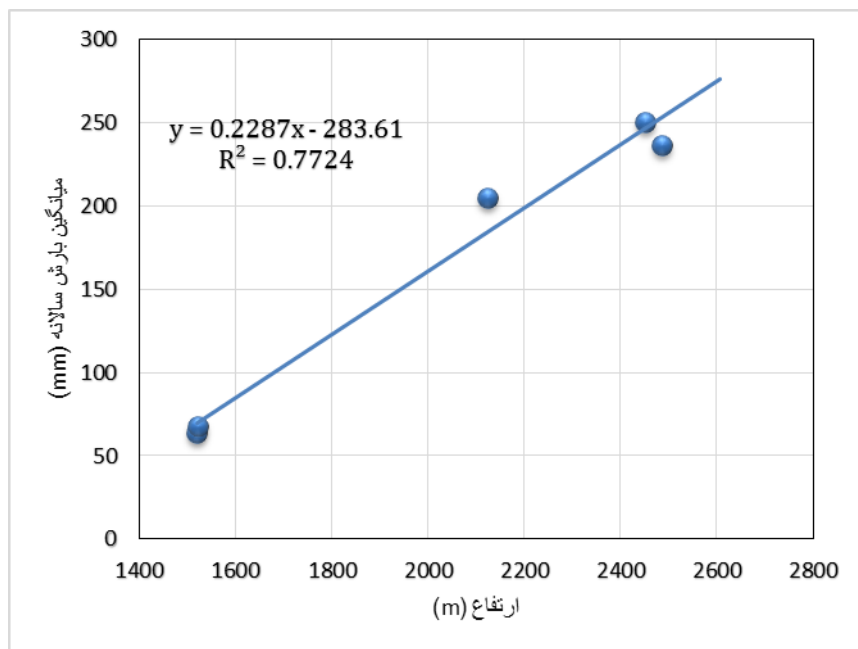
شکل ۳-۸: ترکیب باند ۵-۴-۱ در تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه



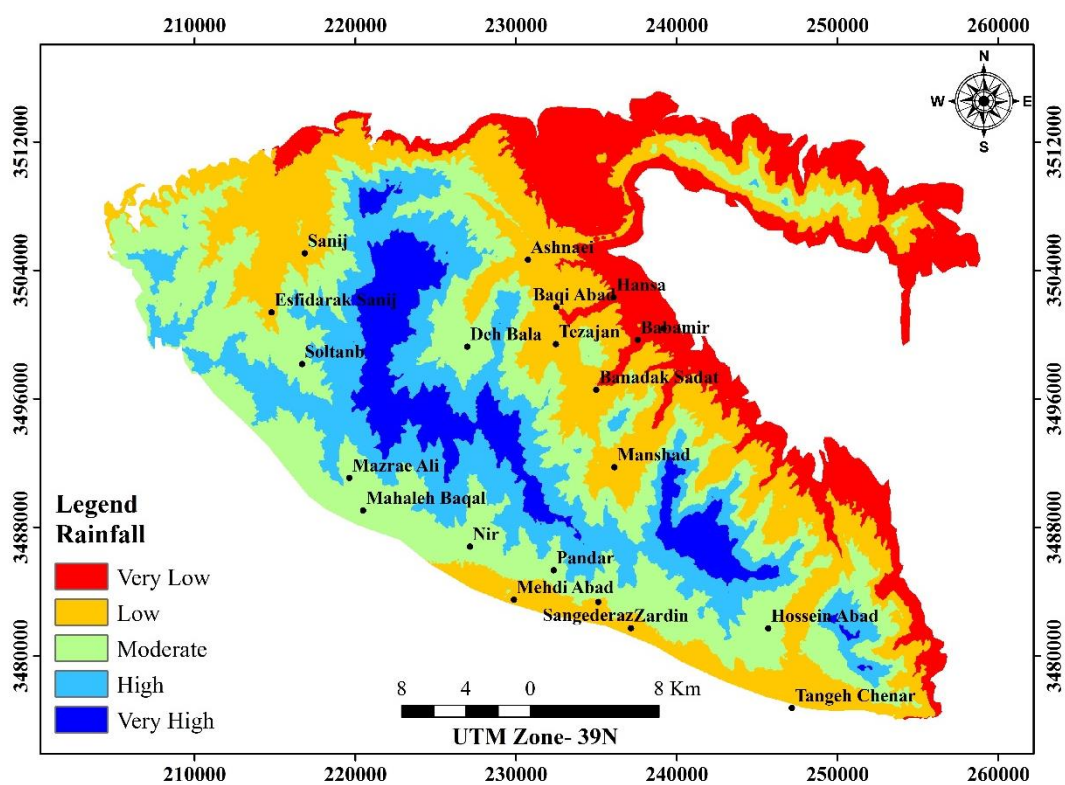
شکل ۳-۹: لایه لیتولوژی در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

### ۳-۶-۶- لایه بارش

بارش منبع اصلی تغذیه آب زیرزمینی می باشد (Shashank *et al.*, 2014). برای تهیه نقشه همبارش در منطقه مورد مطالعه از آمار ده ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰) هفت ایستگاه موجود در منطقه شیرکوه (نیر، دهبالا، فیض آباد، بیداخوید، تنگ چنار، مهریز و ابرکوه) استفاده شده و رابطه بین بارش و ارتفاع محاسبه گردید (شکل ۳-۱۰). به کمک نقشه DEM و رابطه بارش-ارتفاع، درون یابی در نرم افزار ArcGIS انجام و نقشه همبارش تهیه گردید (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۰: رابطه بین بارش و ارتفاع در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد



شکل ۳-۱۱: لایه بارش منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

### ۳-۷- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تولید لایه‌های اطلاعاتی، بایستی کلیه لایه‌ها باهم تلفیق گردند. روش‌های داده محور<sup>۱</sup> و دانش محور<sup>۲</sup> دو روش اصلی برای ترکیب و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی می‌باشد که برای مشخص کردن مناطق امید بخش بکار می‌روند که در این پژوهش روش دانش محور مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق از دو روش دانش محور منطق فازی و ارزیابی چند معیاره جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی استفاده شده است.

#### ۳-۷-۱- پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی به روش منطق فازی<sup>۳</sup>

برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی بایستی ابتدا این لایه‌ها فازی سازی شوند. لازم به ذکر است که لایه‌های اطلاعاتی در روش فازی بدون قضاوت کارشناسی ایجاد می‌گردند. در واقع در این روش وزن لایه‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود. در این پژوهش پس از فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی اقدام به تلفیق آن‌ها با استفاده از عملگرهای مختلف فازی OR، SUM، AND، PRODUCT و GAMMA شده است. در نهایت پس از اعتبار سنجی نتایج حاصل از این عملگرها، بهترین عملگر جهت تلفیق لایه‌ها انتخاب گردید.

#### ۳-۷-۲- پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی به روش ارزیابی چند معیاره<sup>۴</sup>

در روش ارزیابی چند معیاره، لایه‌های اطلاعاتی با توجه به اهمیت آن‌ها در امر پتانسیل‌یابی وزن‌دهی می‌گردند. همچنین طبقه‌های مختلف لایه‌ها با توجه به اهمیت آن‌ها در ذخیره و انتقال آب رتبه‌بندی می‌شوند. غالباً وزن‌دهی صورت گرفته در روش ارزیابی معیار چندگانه، بر پایه نظر کارشناسی می‌باشد. در نهایت لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار<sup>۵</sup> تلفیق می‌گردند و نقشه پتانسیل

---

<sup>۱</sup> Data-Driven

<sup>۲</sup> Knowledge-Driven

<sup>۳</sup> Fuzzy logic

<sup>۴</sup> MultiCriteria Evaluation

<sup>۵</sup> Weighted linear combination

منابع آب زیرزمینی تولید می‌گردد.

### ۳-۸- صحت سنجی نتایج

پس از انجام هر پروژه پهنه بندی (مکان‌یابی) لازم است که نتایج به دست آمده با توجه به واقعیت‌ها و اطلاعات موجود پیرامون آن‌ها، مورد بررسی قرار گیرد. به عبارتی باید نقشه مکان‌یابی به دست آمده صحت سنجی گردد. در غیر این صورت اعتماد به نتایج مکان‌یابی یا تصمیم‌گیری جهت انجام مراحل بعدی مطالعات، از جمله اکتشافات ژئوفیزیکی و حفاری اکتشافی از موفقیت کمتری برخوردار گردیده و ریسک سرمایه‌گذاری برای انجام مطالعات مذکور بالا خواهد بود. در چنین شرایطی نتایج پهنه بندی در حاله‌ای از ابهام و عدم اطمینان قرار گرفته و نه تنها کمکی به صرفه جویی در وقت و هزینه نخواهد نمود، بلکه ممکن است موجب سردرگمی، طولانی شدن مطالعات، افزایش هزینه، أخذ نتایج نامطلوب و عدم بهره‌مندی از منابع آب موجود گردد. در این تحقیق جهت ارزیابی میزان صحت نتایج مدل‌ها در منطقه مورد مطالعه، موقعیت منابع آبی شامل چاه، چشمه و قنات و همچنین دبی آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته است.



## فصل چهارم

پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه

در این فصل نتایج حاصل از پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه که به دو روش مدلسازی منطق فازی پیوسته و مدل ارزیابی چند معیاره<sup>۱</sup> (MCE) انجام شده است، ارائه و مورد بحث قرار می‌گیرد. تولید و بررسی نقشه‌های فازی جهت استفاده در روش مدلسازی به روش منطق فازی و نقشه‌های موضوعی در روش ارزیابی چند معیاره (MCE) از جمله موارد مطرح شده در این فصل به شمار می‌آید. صحت نتایج پتانسیل‌یابی هر دو مدل در منطقه مورد مطالعه بر اساس نتایج داده‌های زمینی و عملیات صحرایی موقعیت منابع بهره‌برداری شامل چاه، چشمه و قنات به همراه بررسی تغییرات مکانی دبی آن‌ها کنترل شده است.

#### ۴-۲- پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه به روش فازی پیوسته<sup>۲</sup>

مدل سازی به روش منطق فازی یکی از روش‌های دانش‌محور بوده که بر اساس تئوری مجموعه‌های فازی (لطفی زاده، ۱۹۶۵) بنا شده است. به طور کلی کاربرد منطق فازی در یک مسئله شامل سه مرحله تبدیل مقادیر عددی به مجموعه‌ای از مقادیر فازی<sup>۳</sup>، اثر اعمال مجموعه‌ای از قواعد استنتاجی (قانون اگر- آنگاه) بر روی مقادیر فازی و بازگرداندن مقادیر فازی<sup>۴</sup> و تبدیل آن‌ها به مقادیر عددی می‌باشد. یک مجموعه فازی به صورت گروه‌هایی از اعضاها است که میزان عضویت<sup>۵</sup> و تعلق آن‌ها به مجموعه، با توجه به تخصیص عددی بین صفر و یک تعیین می‌شود. یکی از اساسی‌ترین مباحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. زیرا اساس اختلاف روش‌های فازی در تعریف تابع عضویت می‌باشد. برای به دست آوردن تابع عضویت هیچ الگوریتم مشخصی وجود ندارد، بلکه تجربه، نوآوری و حتی اعمال نظر شخصی در شکل‌گیری و تعریف تابع عضویت می‌تواند مؤثر باشد. هنر به کارگیری این روش، در تعریف تابع عضویتی است که در جهت رسیدن به اهداف محاسباتی و یا تخمین، حداکثر قدرت مدل‌سازی را داشته باشد. بدیهی است چنانچه تابع عضویت سازگار و مطابق با واقعیت‌های حاکم

<sup>1</sup> MultiCriteria Evaluation

<sup>2</sup>Continuous fuzzification

<sup>3</sup> Fuzzification

<sup>4</sup> Defuzzification

<sup>5</sup> Membership

بر سیستم تحت بررسی تعریف نشود و عوامل اصلی مؤثر را نادیده بگیرد، مدل حاصل از آن فاقد توانایی‌های لازم برای انعکاس همه واقعیت‌ها خواهد بود (حسنی پاک و شرف الدین، ۱۳۸۰). از آنجا که در روش فازی که یک روش دانش‌محور می‌باشد وزن‌ها توسط کارشناس به داده‌های ساده شده (طبقه‌بندی شده) تخصیص می‌یابد و این ساده سازی موجب کاهش نرخ پیش‌بینی و تولید مدل‌های جهت‌دار می‌گردد، یوسفی و کارانزا (Yousefi and Carranza, 2015) روش فازی پیوسته را برای تولید لایه‌های شاهد وزن‌دار ارائه نمودند. در این روش از تابع لجستیک به منظور تخصیص امتیاز عضویت فازی مقادیر پیوسته شواهد فضایی استفاده می‌گردد. این محققین تبدیلات خطی و غیرخطی (با استفاده از تابع لجستیک) را بر روی داده‌های شاهد اعمال نموده و ضمن مقایسه نتایج نشان دادند که تبدیلات غیر خطی برای وزن‌دهی مناسب‌تر هستند. تابع لجستیکی کل داده‌ها را به دامنه محدوده (۰-۱) انتقال می‌دهد. این تابع بر اساس مقادیر بیشینه و کمینه و تغییرات شیب بین آن‌ها، داده‌ها را به فضای صفر و یک انتقال می‌دهد. در این تحقیق برای فازی کردن نقشه‌ها از تابع لجستیک طبق معادله (۴-۱) استفاده شده است (Yousefi and Carranza, 2015).

$$F_x = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev - i)]} \quad (4-1)$$

در این رابطه،  $F_x$  امتیاز فازی اختصاص یافته به  $Ev$  در بازه صفر و یک،  $Ev$  مقدار عددی لایه‌ها در بازه نامحدود،  $S$  و  $i$  به ترتیب شیب و نقطه عطف تابع لجستیک می‌باشند (Yousefi and Carranza, 2015). این پارامترها شکل تابع و در نتیجه مقدار تابع عضویت فازی را تعیین می‌کنند و وزن‌ها در دامنه صفر و یک قرار می‌گیرند. در رابطه فوق  $Ev$  مقدار عددی تراکم خطواره، تراکم آبراهه، شیب، پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و بارش می‌باشد. بنابراین با استفاده از تابع فوق می‌توان نقشه‌های فازی تراکم خطواره، تراکم آبراهه و ... را تولید و در نهایت با استفاده از یک عملگر فازی مناسب مناطق بالقوه آب زیرزمینی را شناسایی نمود.

#### ۳-۴- روش محاسبه مقادیر شیب و نقطه عطف

برای فازی سازی مجموعه‌ای از داده‌ها، معمولاً به بالاترین کلاس از داده‌ها امتیاز نزدیک به یک (برای مثال ۰/۹ یا ۰/۹۹) و به کمترین کلاس از داده‌ها یک امتیاز نزدیک به صفر (مانند ۰/۱ یا ۰/۰۱) اختصاص می‌یابد. این امتیازها با استفاده از آزمون و خطا و یا با استفاده از قضاوت کارشناسی در نظر گرفته می‌شوند. بر اساس روش ارائه شده توسط یوسفی و نیکانن (Yousefi and Nykanen, 2015)، مقادیر مناسب  $s$  و  $i$  در تابع لجستیک رابطه (۴-۱) با استفاده از دستگاه دو معادله و دو مجهول زیر محاسبه می‌گردد (Yousefi and Nykanen, 2015).

$$F_{Ev(min)} = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev_{min} - i)]}$$

$$F_{Ev(max)} = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev_{max} - i)]}$$
(۲-۴)

که در آن  $F_{Ev(min)}$  و  $F_{Ev(max)}$  به ترتیب امتیاز فازی کمترین و بیشترین مقدار شاهد یعنی ۰/۰۱ و ۰/۹۹ است و  $Ev_{min}$  و  $Ev_{max}$  مقادیر حداقل و حداکثر در مجموعه داده‌های ورودی است. با حل این دستگاه معادلات مقادیر مناسب  $s$  و  $i$  برای انتقال مجموعه داده‌های شواهد فضایی به محدوده ۰-۱ به دست می‌آید. با توجه به توضیحات قبلی دستگاه معادلات (۲-۴) می‌تواند به صورت زیر نوشته شود (Yousefi and Nykanen, 2015).

$$\begin{cases} 0.01 = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev_{min} - i)]} \\ 0.99 = \frac{1}{1 + \exp[-s(Ev_{max} - i)]} \end{cases}$$
(۳-۴)

پس از حل دستگاه فوق مقادیر  $s$  و  $i$  بر حسب پایین‌ترین ( $Ev_{min}$ ) و بالاترین ( $Ev_{max}$ ) مقادیر شواهد فضایی در مجموعه داده‌های ورودی به صورت روابط (۴-۴) و (۴-۵) قابل محاسبه می‌باشد.

$$i = \frac{Ev_{max} + Ev_{min}}{2}$$
(۴-۴)

$$S = \frac{9.2}{Ev_{max} - Ev_{min}} \quad (5-4)$$

#### ۴-۴- تولید لایه‌های اطلاعاتی منطقه مورد مطالعه به روش فازی

برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی بایستی ابتدا لایه‌های اطلاعاتی نیز به صورت فازی تبدیل گردد. این کار باعث می‌شود بازه تعریف شده در هر لایه بین صفر و یک قرار گیرد که شرط اجرای روش فازی می‌باشد. تولید لایه‌های اطلاعاتی فازی در این تحقیق در محیط GIS و به صورت مجزا برای هر کدام از نقشه‌ها انجام شده است.

##### ۴-۴-۱- لایه فازی پوشش گیاهی منطقه شیرکوه

با داشتن مقادیر  $Ev_{max}$  و  $Ev_{min}$  برای این لایه اطلاعاتی که برابر ۰ و ۲۵۵ می‌باشد، بر طبق معادلات (۴-۴) و (۵-۴) مقادیر  $S$  و  $i$  به ترتیب ۰/۰۳۶ و ۱۲۷/۵ محاسبه گردید. در نهایت مقادیر فازی برای این لایه بر طبق معادله (۱-۴) بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۸ به دست آمده است. در واقع این لایه اطلاعاتی استانداردسازی شده است به عبارت دیگر بازه نقشه مورد نظر بین صفر و یک قرار گرفته است (شکل ۱-۴). همانطور که در شکل مشاهده می‌شود بیشترین پوشش گیاهی در قسمت شرقی توده گرانیته و دره‌های منطقه مورد مطالعه شامل ده‌بالا، منشاد، طزرجان، سانج و بناداک سادات قرار دارد.

##### ۴-۴-۲- لایه فازی لیتولوژی منطقه شیرکوه

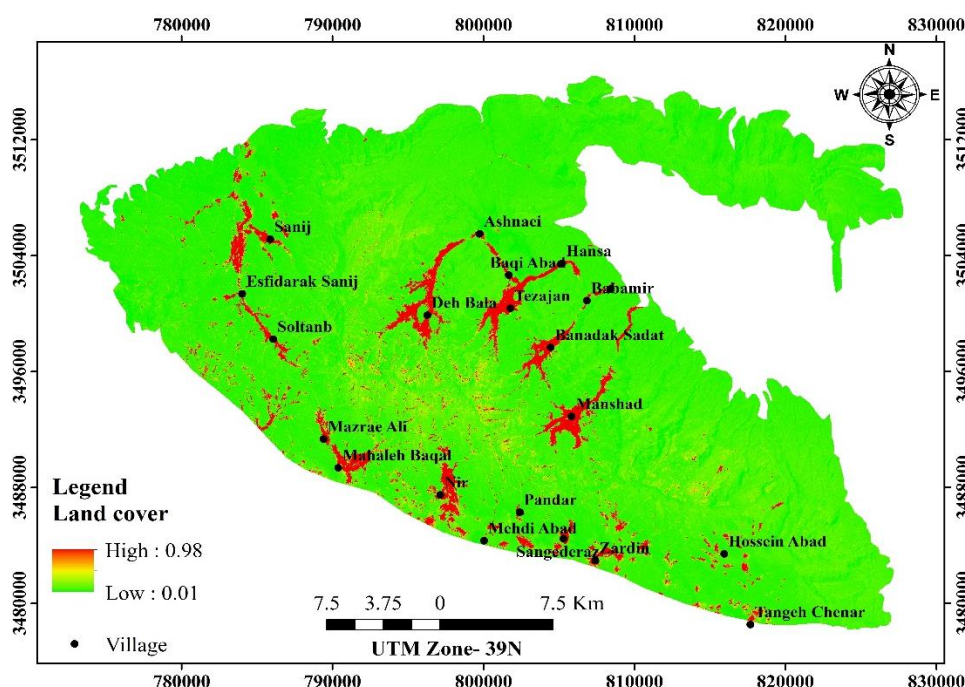
مقادیر  $Ev_{max}$ ،  $Ev_{min}$  و  $S$  و  $i$  برای این لایه به ترتیب ۰، ۹۰، ۰/۱۰۲ و ۴۵ می‌باشد. با داشتن این مقادیر و همچنین مقدار عددی خود لایه ( $Ev$ ) مقادیر فازی آن بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۸ محاسبه گردید (شکل ۴-۲). پنج نوع واحد سنگ‌شناسی آهک، دولومیت، گرانودیوریت، گرانیته و لوکوگرانیته و واحدهای آهکی در منطقه مورد مطالعه مشخص شده است. همانطور که شکل (۲-۴) نشان می‌دهد، بیشترین ارزش به آبرفت اختصاص داده شده است و در بین سنگ‌های آذرین به گرانودیوریت به دلیل هوازدگی و انحلال بیشتر، ارزش بیشتری نسبت به سایر سنگ‌های آذرین اختصاص یافته است.

#### ۳-۴-۴- لایه فازی تراکم آبراهه در منطقه شیرکوه

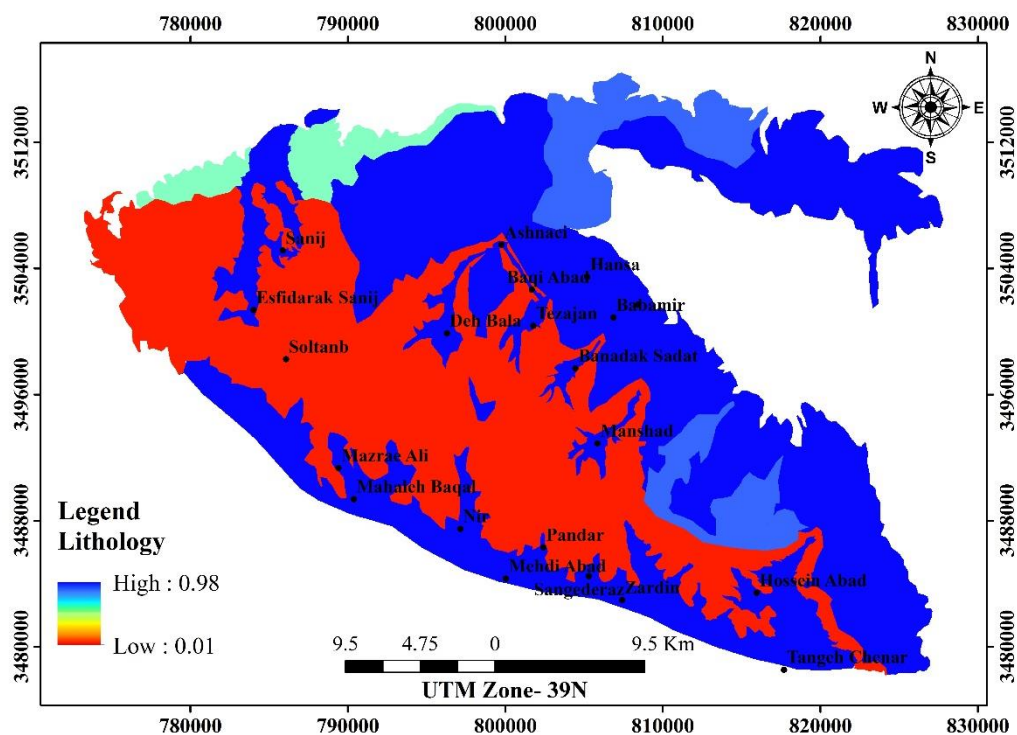
مقادیر  $E_{V_{min}}$ ،  $E_{V_{max}}$ ،  $S$  و  $i$  برای این لایه به ترتیب ۰، ۲/۴، ۳/۸۱۷ و ۱/۲۰۵ می‌باشد. در نهایت با داشتن این مقادیر و همچنین مقدار  $E_V$ ، مقادیر فازی برای این لایه بین ۰/۰۹۹ تا ۰/۹۹ به دست آمد (شکل ۳-۴). در این شکل مناطق با تراکم بالای آبراهه مشخص شده‌اند که در واقع بیشترین تراکم آبراهه‌ها مربوط به دره‌ها می‌باشند. همانطور که در شکل (۳-۴) مشاهده می‌شود به مناطق پرتراکم، بیشترین ارزش و به مناطق کم‌تراکم، کمترین ارزش اختصاص داده شده است.

#### ۴-۴-۴- لایه فازی شیب در منطقه شیرکوه

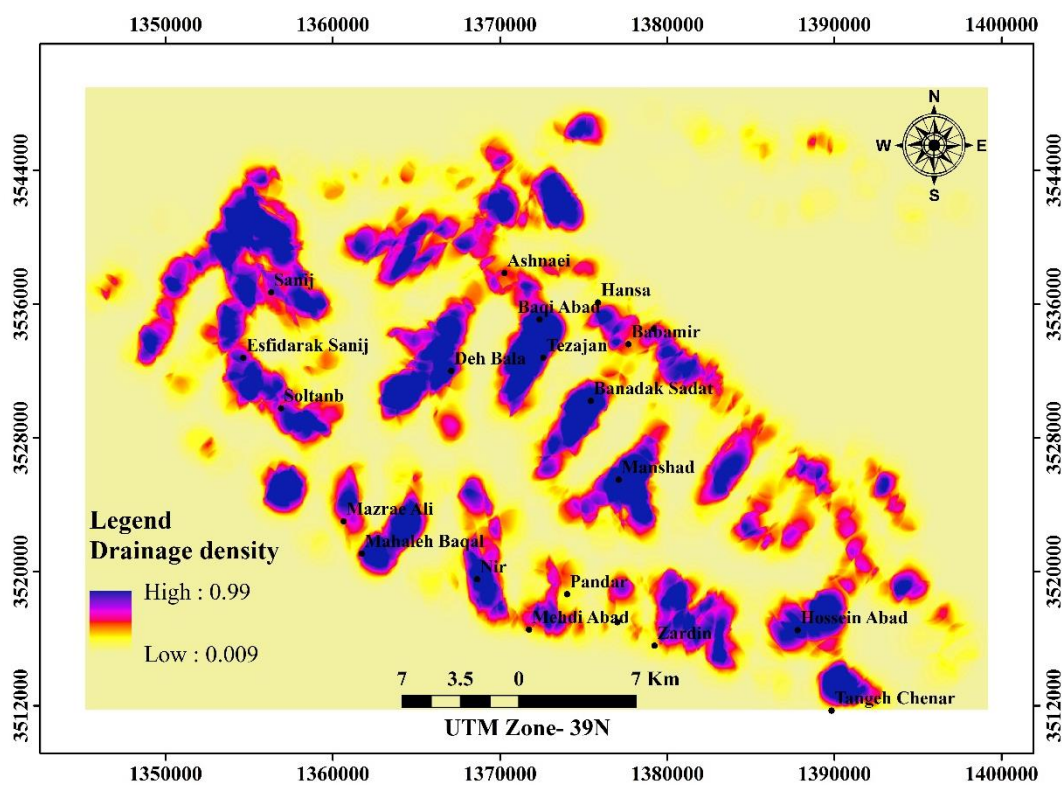
مقادیر  $E_{V_{min}}$ ،  $E_{V_{max}}$ ،  $S$  و  $i$  برای این لایه به ترتیب ۰، ۶۹/۸۰، ۰/۱۳۱ و ۳۴/۹ می‌باشد. با داشتن این مقادیر امتیاز فازی اختصاص یافته به  $E_V$  بین ۰/۰۱ تا ۰/۹۸ محاسبه گردید (شکل ۴-۴). همانطور که در شکل (۴-۴) مشاهده می‌شود به طبقات با درجه شیب کمتر، بیشترین ارزش اختصاص داده شده است. دره‌های موجود در منطقه مورد مطالعه کمترین شیب را دارا بوده و بنابراین بیشترین ارزش را به خود اختصاص داده است.



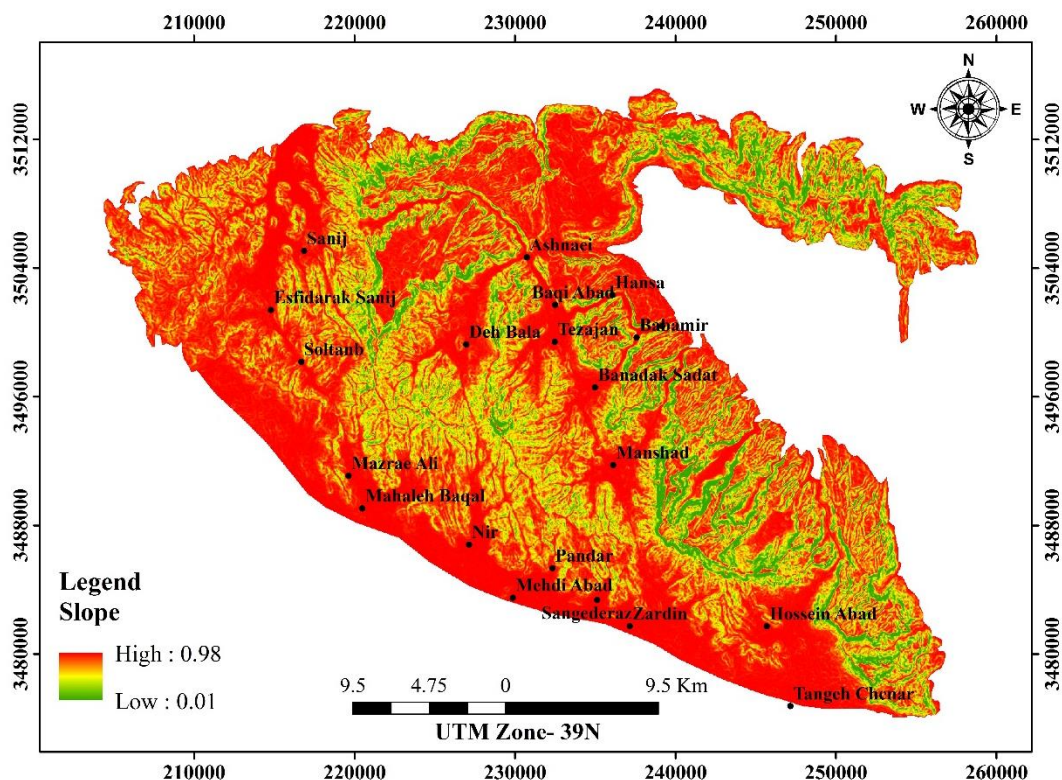
شکل ۴-۱: تولید لایه پوشش گیاهی در منطقه شیرکوه به روش فازی



شکل ۴-۲: تولید لایه لیتولوژی در منطقه شیرکوه به روش فازی



شکل ۴-۳: تولید لایه تراکم آبراهه‌ها در منطقه شیرکوه به روش فازی



شکل ۴-۴: تولید لایه شیب در منطقه شیرکوه به روش فازی

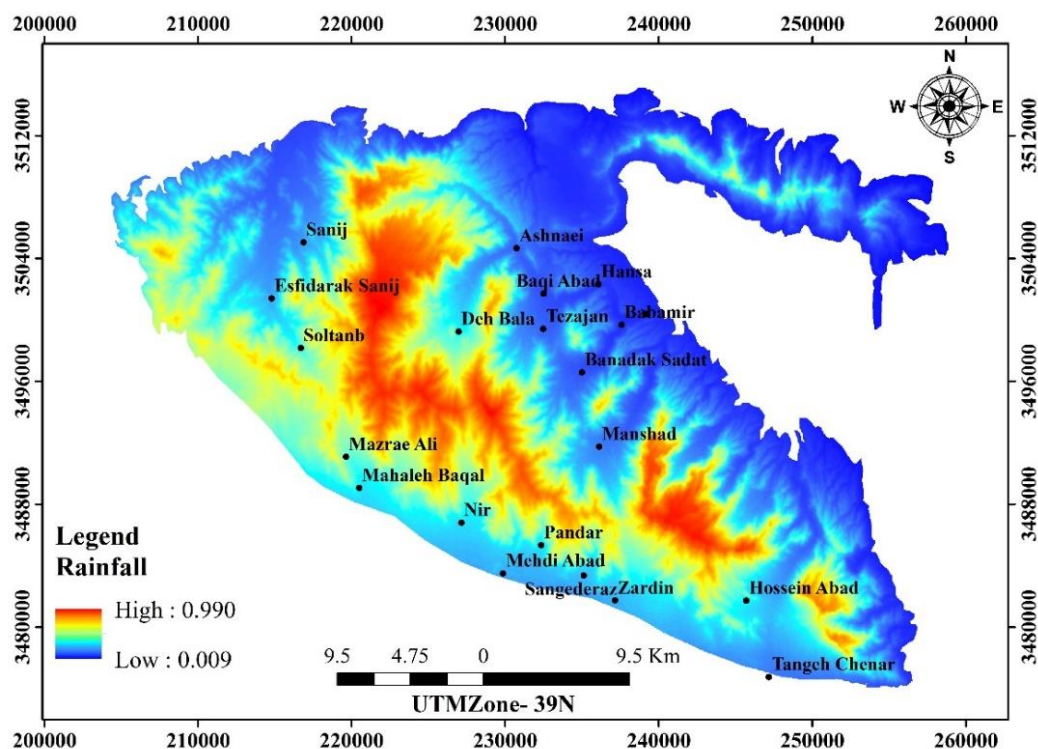
#### ۴-۴-۵- لایه فازی بارش در منطقه شیرکوه

مقادیر  $E_{vmin}$ ،  $E_{vmax}$ ،  $S$  و  $i$  برای این لایه به ترتیب برابر  $۰/۰۱۶$  و  $۰/۰۲۲۷$ ،  $۰/۰۱۴۶$  و  $۰/۰۱۶$  محاسبه شده و مقادیر فازی برای این لایه بین  $۰/۰۰۹$  تا  $۰/۰۹۹$  محاسبه گردید. شکل (۴-۵) توزیع بارش در منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد همانطور که مشاهده می شود بیشترین مقدار بارش مربوط به ارتفاعات توده گرانیته می باشد.

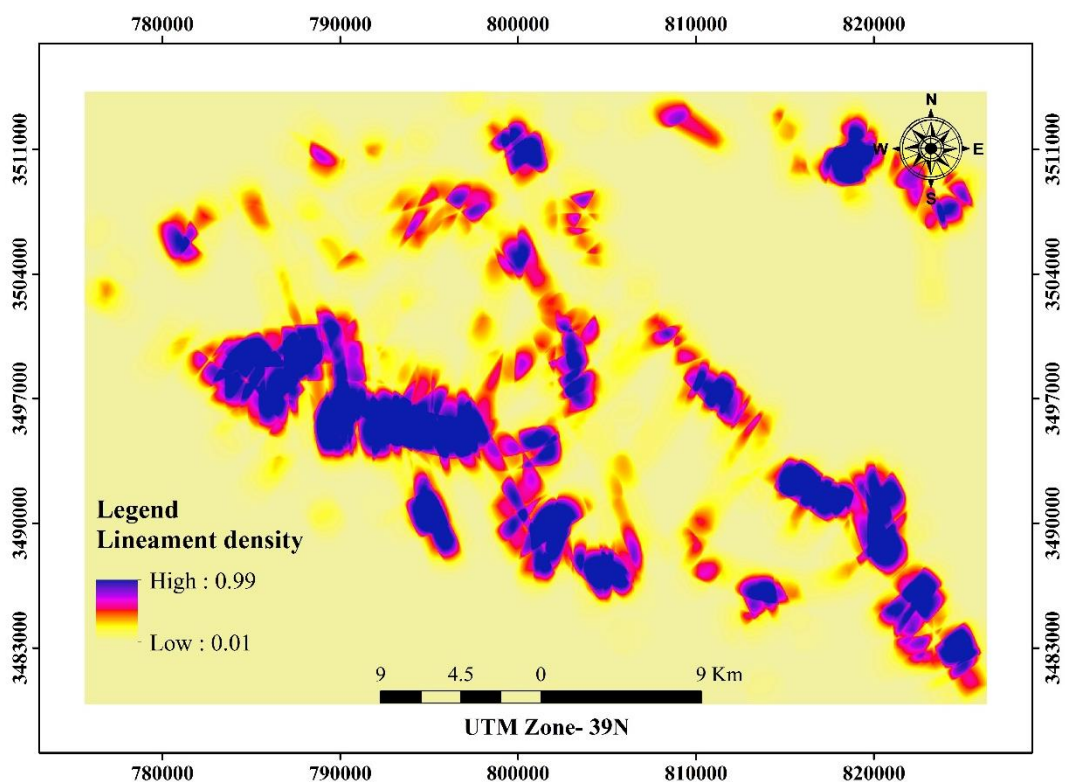
#### ۴-۴-۶- لایه فازی تراکم خطواره در منطقه شیرکوه

مقادیر  $E_{vmin}$ ،  $E_{vmax}$ ،  $S$  و  $i$  برای این لایه به ترتیب  $۰$ ،  $۰/۰۵۹$ ،  $۰/۰۵۶$  و  $۱/۰۲۹$  بوده، مقادیر فازی بین  $۰/۰۱$  تا  $۰/۰۹۹$  قرار می گیرد. بیشترین تراکم خطواره در بخش جنوب غربی توده گرانیته شیرکوه مشاهده می شود (شکل ۴-۶). با توجه به رزدياگرام های ترسيم شده در قسمت های مختلف توده

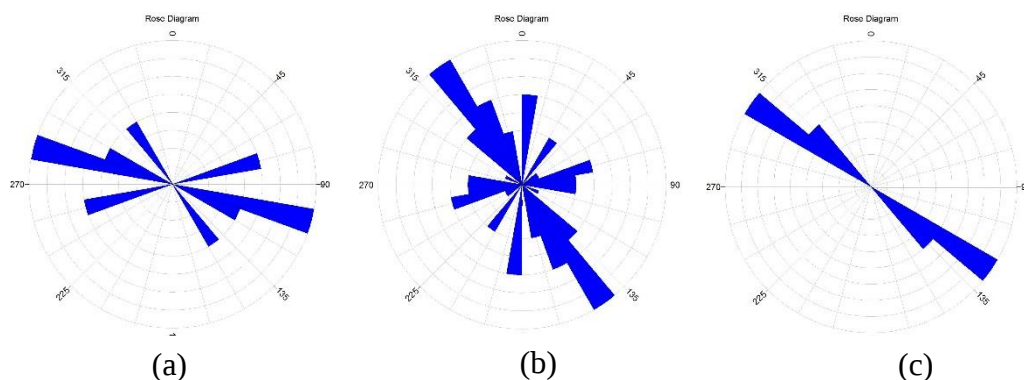
گرانیتی مشاهده می‌شود اکثر خطواره‌ها دارای روند شمال غرب-جنوب شرق می‌باشند (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۵: تولید لایه بارش در منطقه شیرکوه به روش فازی



شکل ۴-۶: تولید لایه تراکم خطواره در منطقه شیرکوه به روش فازی



شکل ۴-۷: دیاگرام‌های گل‌سرخ‌ی مربوط به ایستگاه‌های درزه برداری انتخاب شده در توده گرانیتی شیرکوه (آزیموت خطواره‌های برداشت شده جهت ترسیم این دیاگرام‌ها در ضمیمه آورده شده است).

#### ۴-۵- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی فازی و تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

پس از تولید لایه‌های اطلاعاتی مربوط به پارامترهای تأثیرگذار در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی و فازی کردن آن‌ها، بایستی لایه‌های مذکور را تلفیق نمود. انواع مختلفی از عملگرهای فازی برای ترکیب مجموعه‌های فازی وجود دارد (لطفی‌زاده، ۱۹۶۵). با در دست داشتن دو یا چند نقشه با توابع عضویت فازی برای مجموعه‌های مشابه، عملگرهای متنوعی را می‌توان برای ترکیب کردن مقادیر عضویت با یکدیگر به کار گرفت. پنج عملگر محاسباتی که برای ترکیب مجموعه‌های فازی سودمند هستند شامل عملگر فازی AND، عملگر فازی OR، عملگر فازی product (ضرب فازی)، عملگر فازی SUM (جمع فازی) و عملگر فازی GAMMA می‌باشند (John and Carranza, 2009). در ادامه ترسیم نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه توسط هر کدام از عملگرها تشریح شده است. پس از انتخاب مناسب‌ترین عملگر جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی تهیه و مناطق با پتانسیل مناسب مشخص شده است.

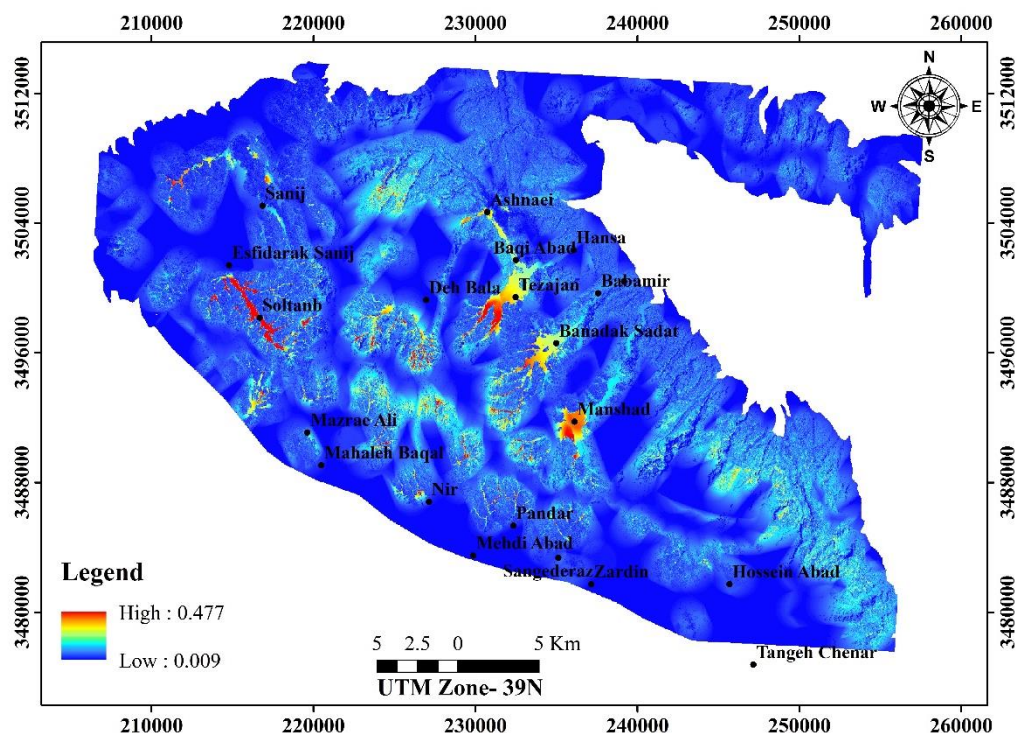
#### ۴-۵-۱- عملگر فازی AND

تلفیق فازی AND بر اساس ارزش حداقل سلول‌ها عمل می‌کند. به عبارت دیگر کمترین مقدار هر پیکسل در نظر گرفته شده و سپس لایه‌ها تلفیق می‌گردند. این روش زمانی مفید است که بخواهیم کمترین مخرج مشترک برای عضویت هر سلول از همه معیارهای ورودی را شناسایی کنیم. در صورت استفاده از این عملگر، در هر سلول از نقشه خروجی کوچک‌ترین مقدار عضویت داده‌های ورودی به عنوان ارزش نهایی تولید می‌شود. در واقع این عملگر تمایل به تولید مقادیر کوچک دارد که تخمینی محافظه کارانه می‌باشد. این عملگر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{FA} = \text{MIN} (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n)$$

که در این رابطه  $\mu_{FA}$  خروجی نمره فازی، MIN یک تابع ریاضی که کوچک‌ترین مقدار را از بین مقادیر ورودی انتخاب می‌کند،  $\mu_1$  مقدار عضویت برای نقشه ۱ در یک موقعیت بخصوص و  $\mu_2$  مقدار عضویت برای نقشه ۲ می‌باشد.

بنابراین خروجی عملگر فازی AND به وسیله کمترین نمره فازی در هر مکان کنترل می‌شود. البته عضویت‌های فازی باید با توجه به یک پیش فرض باشند، به عنوان مثال فرض کنید مقدار عضویت برای نقشه A برابر ۱ و برای نقشه B برابر ۰/۵ است. در این صورت عضویت برای ترکیب با استفاده از عملگر AND برابر ۰/۵ است. شکل (۴-۸) نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس تلفیق فازی به کمک عملگر فازی AND را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در خروجی این عملگر بیشتر مناطق به عنوان مناطق با پتانسیل ضعیف معرفی گردیده است. این عملگر بیشتر دره‌ها را به عنوان مناطق با پتانسیل مناسب تشخیص داده است. مقادیر فازی نزدیک به یک، مناطق با پتانسیل مناسب و مقادیر فازی نزدیک به صفر مناطق با پتانسیل ضعیف را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه یزد بر اساس روش تلفیق فازی AND

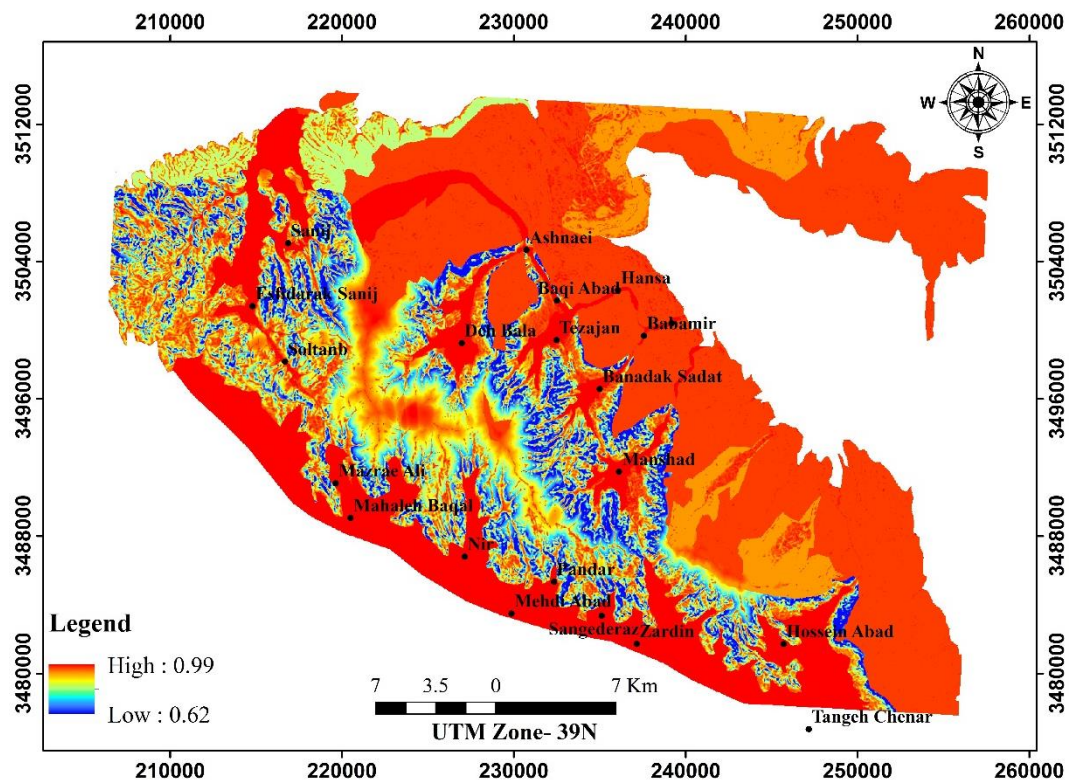
#### ۴-۵-۲- عملگر فازی OR

تلفیق فازی OR بر اساس ارزش حداکثر سلول‌ها عمل می‌کند. به عبارت دیگر مقادیر عضویت خروجی توسط مقادیر حداکثر عضویت نقشه‌ها کنترل می‌شوند. این روش زمانی مفید است که می‌خواهیم بیشترین ارزش هر عضو برای هر معیار ورودی را تشخیص دهیم. تابع فازی OR به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{FO} = \text{MAX} (\mu_1, \mu_2, \mu_3, \dots, \mu_n)$$

در این رابطه MAX یک تابع ریاضی است که بیشترین مقدار را از بین مقادیر ورودی انتخاب می‌کند. شکل (۴-۹) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه که به روش تلفیق فازی بر اساس عملگر OR تهیه شده است را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود شمال شرق منطقه مورد مطالعه که شامل آهک تفت می‌باشد به عنوان مناطق با پتانسیل بالا نشان داده شده است. با بررسی لایه‌های اطلاعاتی مشاهده می‌شود این عملگر تنها مناطقی که از نظر لیتولوژی مناسب هستند (دارای ارزش

بیشتری می‌باشند) را به عنوان مناطق با پتانسیل بالا معرفی نموده است. در این روش تمام لایه‌های اطلاعاتی بر روی نتیجه نهایی تأثیری ندارند و تنها بیشترین مقدار عضویت از بین لایه‌های اطلاعاتی در نظر گرفته می‌شود. پس می‌توان به راحتی روش تلفیق OR را برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی نامناسب تلفیق نمود.



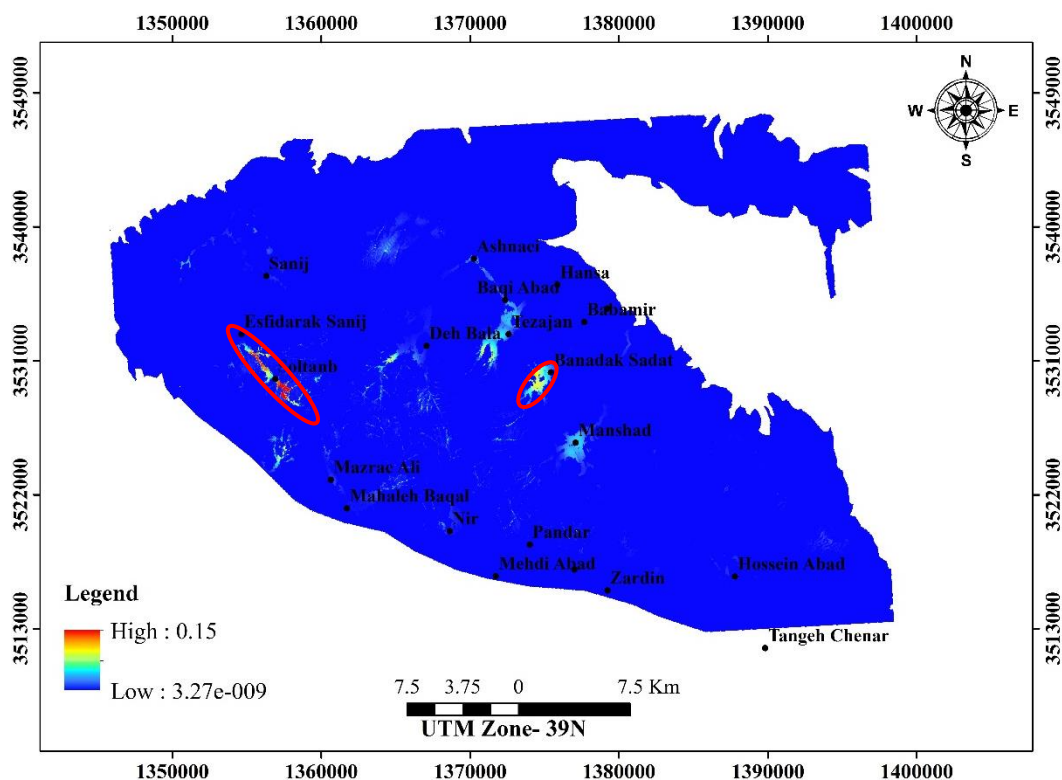
شکل ۴-۹: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی OR

#### ۴-۵-۳- عملگر فازی Product

تلفیق فازی حاصل ضرب جبری فازی برای هر سلول شامل حاصل ضرب هر یک از ارزش‌های فازی برای تمام معیارهای ورودی می‌باشد. محصول به دست آمده کمتر از هر یک از ورودی‌ها خواهد بود. حاصل ضرب فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{FAP} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

در این رابطه  $\mu_{FAP}$  نمره فازی خروجی و  $\mu_i$  تابع عضویت فازی برای  $i$  امین نقشه و  $i=1,2,\dots,n$  تعداد نقشه‌هایی است که قرار است ترکیب شوند. این عملگر باعث می‌شود تا در نقشه خروجی اعداد کوچکتر شده و به سمت صفر میل کنند، بنابراین اثر آن کاهشی می‌باشد. در نتیجه تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرند. به همین دلیل این عملگر حساسیت بالایی در مکان‌یابی اعمال می‌کند. مزیتی که این روش بر عملگرهای OR و AND دارد این است که کلیه مقدارهای عضویت مشترک بر روی نتیجه نهایی تأثیر می‌گذارد. شکل ۴-۱۰ نقشه پتانسیل آب زیرزمینی شیرکوه یزد که به روش تلفیق فازی بر اساس "حاصل ضرب جبری فازی" تهیه شده است را نشان می‌دهد. بر اساس این روش تلفیق بیشتر مناطق به عنوان پتانسیل ضعیف در نظر گرفته شده و تنها تعدادی از دره‌ها که در شکل مشخص شده است به عنوان مناطق با پتانسیل بالا شناخته شده‌اند.



شکل ۴-۱۰: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی product

#### ۴-۵-۴- عملگر فازی SUM

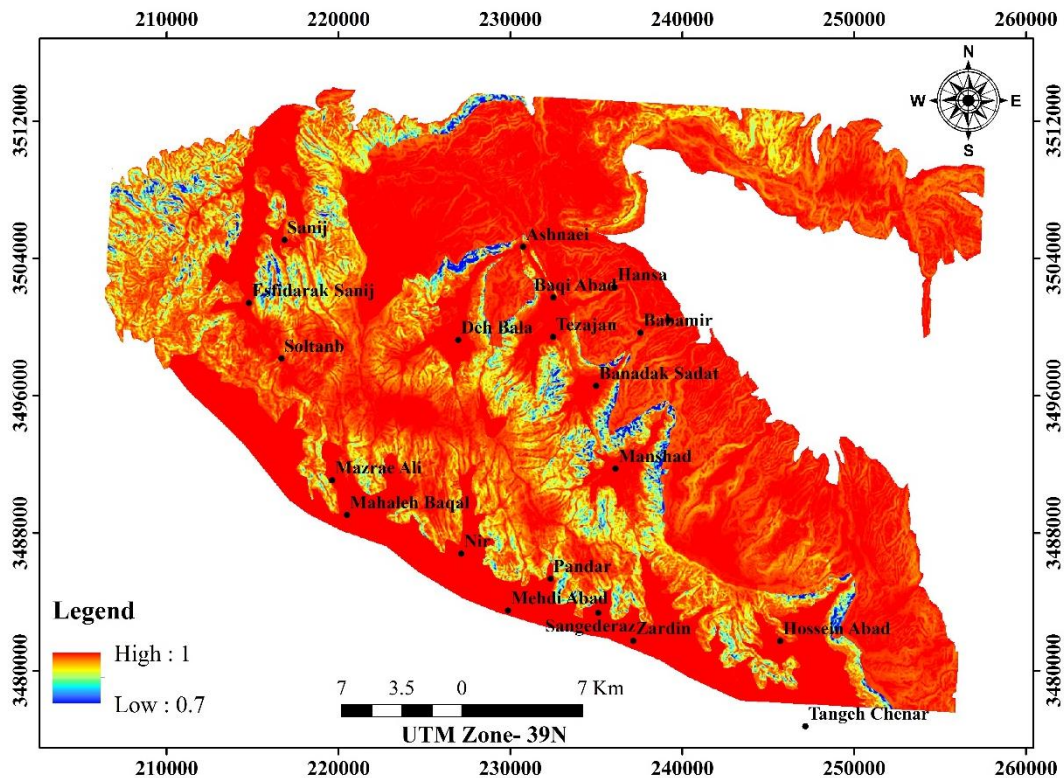
جمع فازی، اضافه کردن ارزش فازی از هر مجموعه مکان‌های سلولی که به آن تعلق دارد، می‌باشد.

جمع فازی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{FAS} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

در نقشه خروجی بر خلاف ضرب فازی ارزش پیکسل‌ها به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرند. نتیجه همیشه بزرگ‌تر یا مساوی بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی مشترک است، بنابراین اثر آن افزایشی است. جمع جبری فازی حاصل جمع جبری نیست و نباید با روش جمع مورد استفاده در روش مجموع وزنی و تلفیق یا همپوشانی وزنی، اشتباه گرفته شود. استفاده از جمع فازی خیلی متداول نمی‌باشد.

شکل ۴-۱۱ نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه یزد که به روش تلفیق فازی به کمک عملگر "جمع جبری فازی" تهیه شده است را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل به دلیل اثر افزایشی این عملگر قسمت عمده منطقه به عنوان مناطق با پتانسیل بالا معرفی شدند که این امر با واقعیت همخوانی ندارد. برای اثبات این امر قسمت آهکی منطقه مورد مطالعه که در شمال شرق منطقه مورد مطالعه با پتانسیل بالا نشان داده شده است، تنها دارای شیب مناسب (کم) بوده در صورتی که سایر پارامترهای تأثیرگذار مانند پوشش گیاهی، بارش، تراکم خطواره و تراکم آبراهه در این منطقه از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی نامناسب می‌باشند. با توجه به مطالب مذکور این عملگر نیز برای تلفیق لایه‌ها نامناسب می‌باشد.



شکل ۴-۱۱: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی SUM

#### ۴-۵-۵- عملگر فازی Gamma

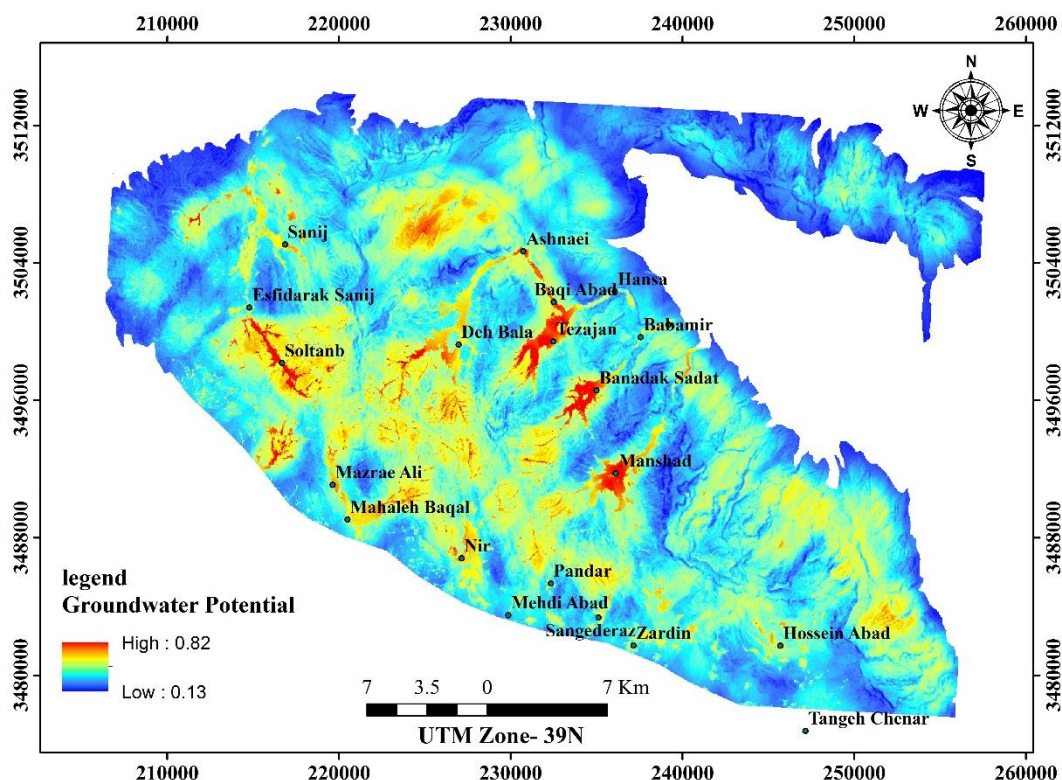
نوع عملگر مورد استفاده بستگی به نحوه تأثیرپذیری فاکتورها از یکدیگر و یا اثر نهایی (افزایشی یا کاهش) عملگر روی مجموعه پارامترها دارد. خروجی حاصل ضرب جبری فازی کمتر یا برابر کمترین امتیاز فازی در هر مکان در نقشه‌های ورودی شاهد فازی است. بنابراین حاصل ضرب جبری فازی تأثیر کاهش یا بدبینانه دارد. خروجی جمع جبری فازی بیش‌تر یا مساوی بالاترین امتیاز فازی در هر مکان در نقشه شاهد ورودی بوده و بنابراین جمع جبری فازی اثر خوش بینانه دارد (Carranza, 2009). عملگر گاما در واقع تلفیق و استفاده همزمان دو عملگر جمع و ضرب فازی است. به عبارت دیگر به منظور تبدیل اثر افزایشی و کاهش دو عملگر فوق از عملگر گامای فازی به صورت یک عملگر واحد، استفاده شده است.

$$\mu_{FG} = (\prod_{i=1}^n \mu_i)^{1-\gamma} (1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i))^{\gamma}$$

که در آن  $\lambda$  پارامتر انتخاب شده در محدوده صفر و یک است. وقتی  $\lambda$  یک باشد، ترکیب همان جمع جبری فازی خواهد بود و وقتی صفر باشد ترکیب برابر با حاصل ضرب جبری فازی است. انتخاب صحیح و آگاهانه  $\lambda$  مقدارهایی در خروجی به وجود می‌آورد که هر یک سازگاری قابل انعطافی میان گرایش‌های افزایشی جمع جبری فازی و اثرات کاهشی حاصل ضرب جبری برقرار می‌کند. تلفیق فازی "گاما" روابطی بین معیارهای ورودی متعدد ایجاد می‌کند که روش‌های تلفیق فازی AND و OR به تنهای قادر به ایجاد آن نمی‌باشند. از روش تلفیق فازی "گاما" زمانی می‌توانیم استفاده کنیم که بخواهیم امتیازدهی بزرگ‌تر از "حاصل ضرب فازی" و کمتر از "جمع جبری فازی" باشد.

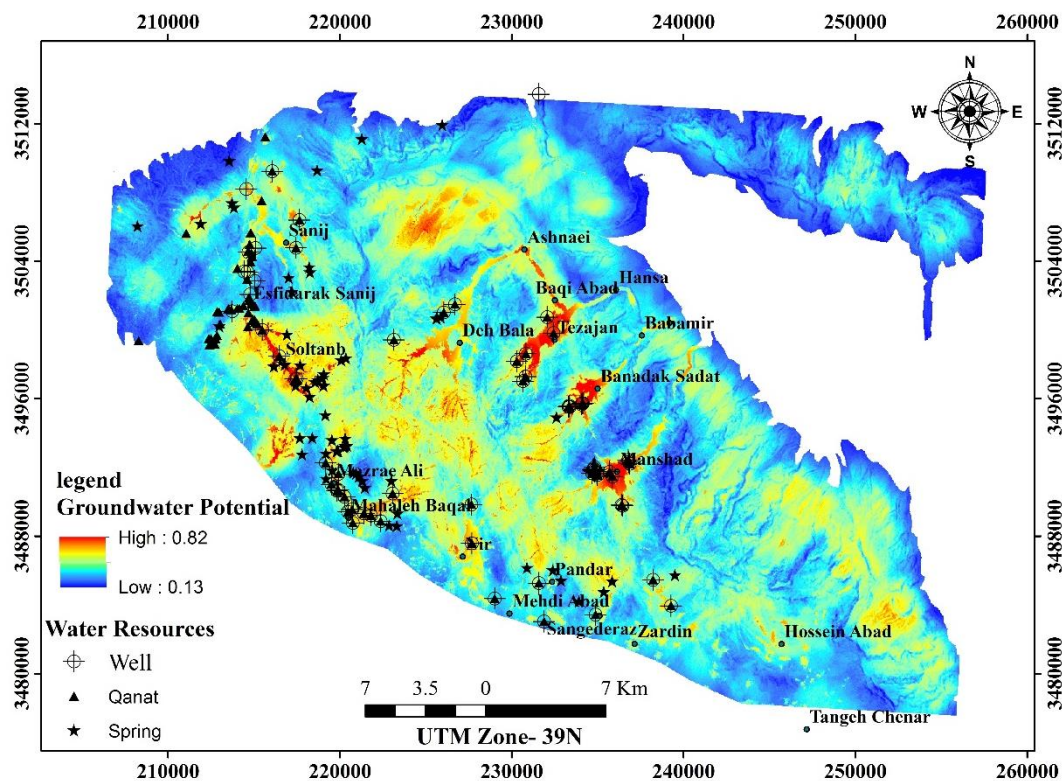
شکل ۴-۱۲ نقشه پتانسیل آب زیرزمینی شیرکوه که به روش تلفیق فازی بر اساس عملگر "گاما" تهیه شده است، را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۴-۱۲ مشاهده می‌شود دره‌های موجود در منطقه مورد مطالعه از پتانسیل بسیار خوبی برخوردار می‌باشند. در این دره‌ها شیب کم و پوشش گیاهی زیاد بوده در نتیجه فرصت کافی برای نفوذ آب فراهم می‌گردد. همچنین تراکم آبراهه‌ها نیز زیاد بوده که این آبراهه‌ها بر اثر شکستگی و پدیده هوازدگی توسعه یافته‌اند.

با توجه به توضیحات قبلی که در مورد هر یک از عملگرهای تلفیق فازی ارائه گردید و نتایج حاصل از آن‌ها در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در شیرکوه یزد، استفاده از عملگر گاما به عنوان عملگر مناسب معرفی شده که در ادامه صحت نتایج پتانسیل‌یابی با استفاده از این عملگر از طریق کنترل زمینی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

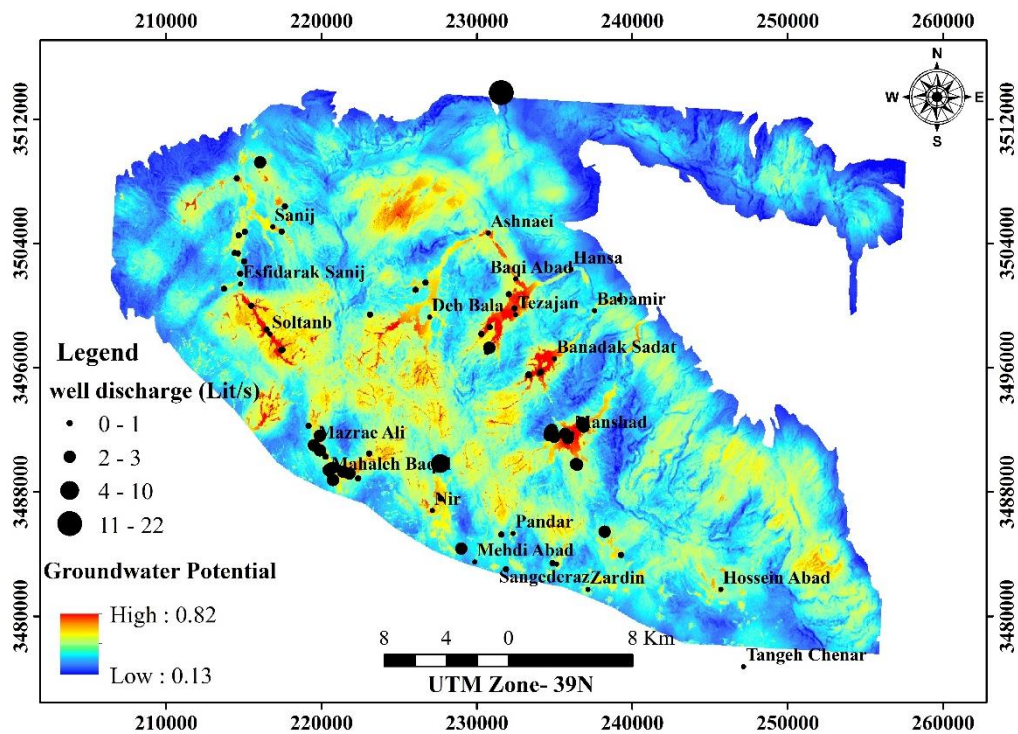


شکل ۴-۱۲: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه بر اساس روش تلفیق فازی Gamma

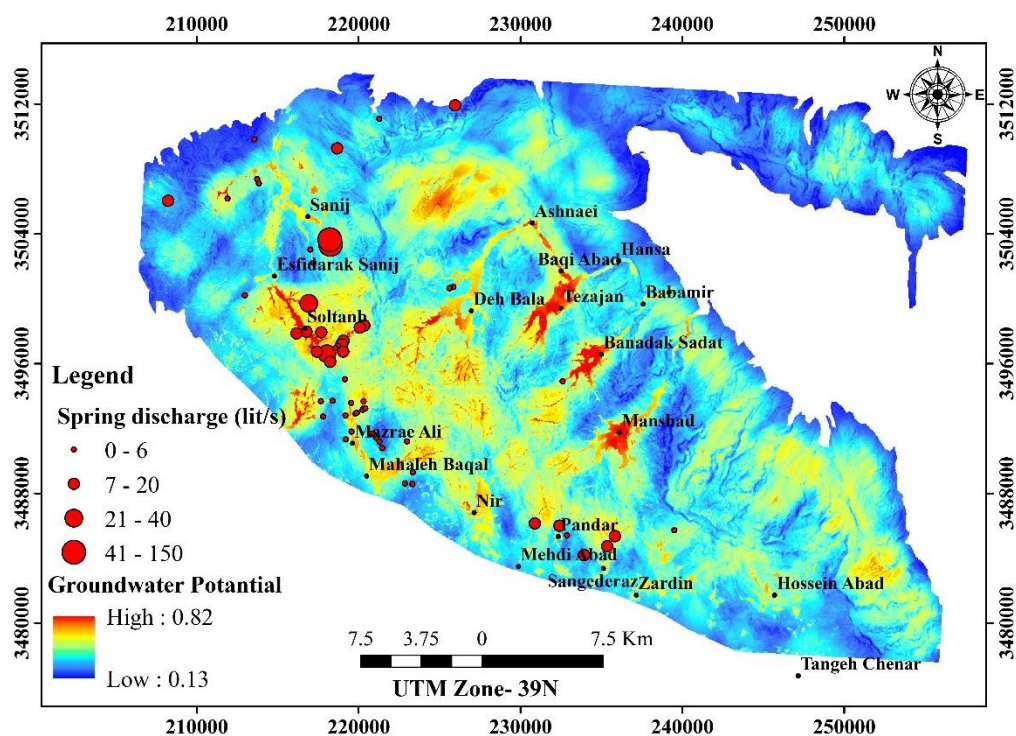
برای تأیید صحت نتایج حاصل از عملگر گاما از موقعیت منابع آبی (شکل ۴-۱۳) و همچنین دبی آن‌ها (شکل‌های ۴-۱۴، ۴-۱۵، ۴-۱۶) استفاده گردید. همانطور که مشاهده می‌شود در مناطق با پتانسیل بالا تجمع چشمه‌ها و دیگر منابع آبی و همچنین دبی آن‌ها بالا می‌باشد. بر طبق مطالب ذکر شده می‌توان پی برد که خروجی این عملگر مطابق با واقعیت بوده و این عملگر می‌تواند به عنوان عملگر مناسب جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی انتخاب گردد. سایر مناطق با پتانسیل خوب آب زیرزمینی روی نقشه مشخص شده‌اند که در این مناطق تراکم خطواره و بارش نسبت به سایر مناطق بالاتر می‌باشد.



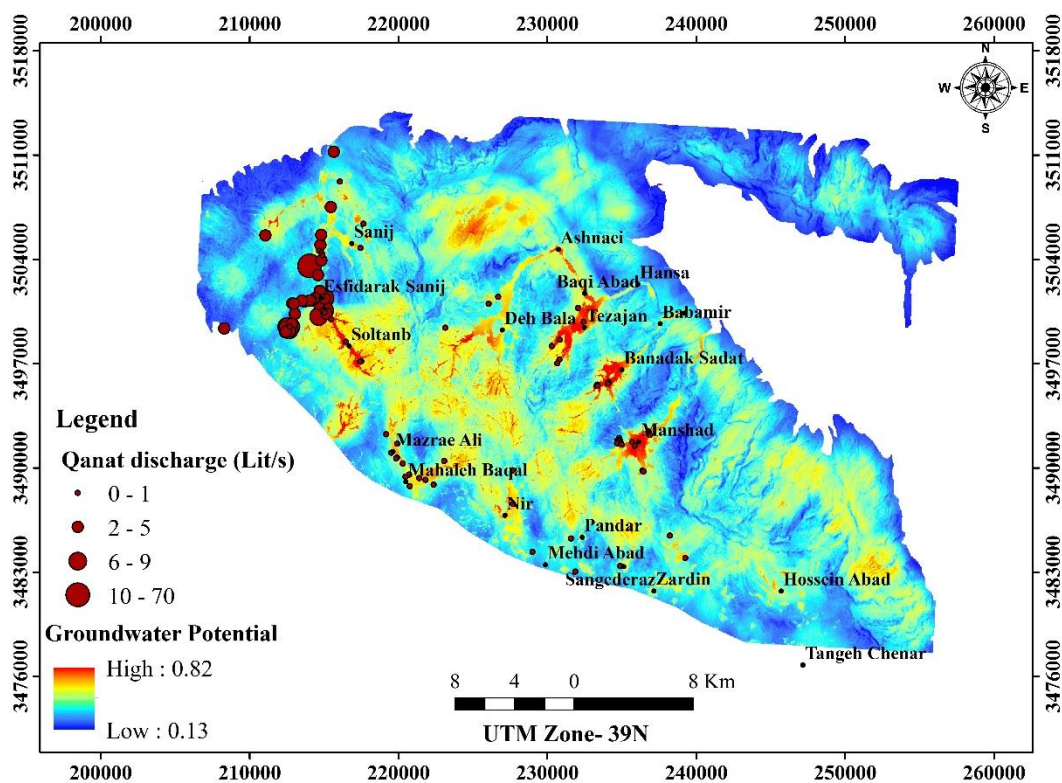
شکل ۴-۱۳: تطابق موقعیت منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد بر روی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی



شکل ۴-۱۴: نقشه تغییرات مکانی دبی چاه‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد



شکل ۴-۱۵: نقشه تغییرات مکانی دبی چشمه‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد



شکل ۴-۱۶: نقشه تغییرات مکانی دبی قنات‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

#### ۶-۴- پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه به روش ارزیابی چند معیاره

هر نقشه موضوعی مانند لیتولوژی، خطواره و شیب یک علامتی از شرایط و رخداد آب زیرزمینی به ما می‌دهد. به منظور به دست آوردن نقشه نهایی آب‌های زیرزمینی یکپارچه کردن لایه‌ها، در نرم‌افزار GIS ضروری است. زون‌های اکتشاف آب زیرزمینی به طور عمده بر پایه یکپارچگی یا تلفیق معیارهای چندگانه مانند لیتولوژی، شیب، تراکم خطواره و تراکم آبراهه می‌باشند. این فرایند اغلب به عنوان مدل ارزیابی چند معیاره<sup>۱</sup> (MCE) شناخته شده است (Skidar et al., 2004). در این مدل نقشه‌های موضوعی منطقه مورد مطالعه با توجه به سهم خود در ذخیره سازی آب زیرزمینی از ۱ تا ۳ رتبه‌بندی شده‌اند که در جدول (۱-۴) با اصطلاح Map Rank مشخص شده‌اند. برای تهیه وزن نقشه، رتبه هر کدام از نقشه‌ها به جمع کل آن‌ها تقسیم شده است (جدول ۱-۴). طبقه‌بندی‌های مختلف هر نقشه (Class ranges) بسته به توانایی آن‌ها در ذخیره و انتقال آب زیرزمینی از یک مقیاس عددی بین ۱ تا ۵ که در آن ۵ مطلوب‌ترین ویژگی به لحاظ پتانسیل آب زیرزمینی می‌باشد، رتبه‌بندی شده‌اند. همانطور که در جدول ۱-۴ نشان داده شده است، برای محاسبه مقدار توانمندی (Capability Value) رتبه هر طبقه از لایه‌ها به جمع کل آن‌ها تقسیم شده است. در نهایت برای محاسبه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی مقادیر  $W_i$  (وزن لایه‌ها) در  $CV_i$  (مقدار توانمندی) ضرب گردید (شکل ۴-۱۷).

$$GWP = \sum W_i * CV_i \quad (۶-۴)$$

که در این رابطه GWP پتانسیل آب زیرزمینی و  $W_i$  وزن نقشه و  $CV_i$  مقدار توانمندی می‌باشد. رابطه فوق به شکل عمومی زیر قابل ارائه می‌باشد.

$$GWP = \sum (Sp, Dd, Lt, Ld, Rf, LR) \quad (۷-۴)$$

که در آن Sp شیب، Dd تراکم زهکشی، Lt لیتولوژی، Ld تراکم خطواره، Rf بارش و LR پوشش گیاهی می‌باشد.

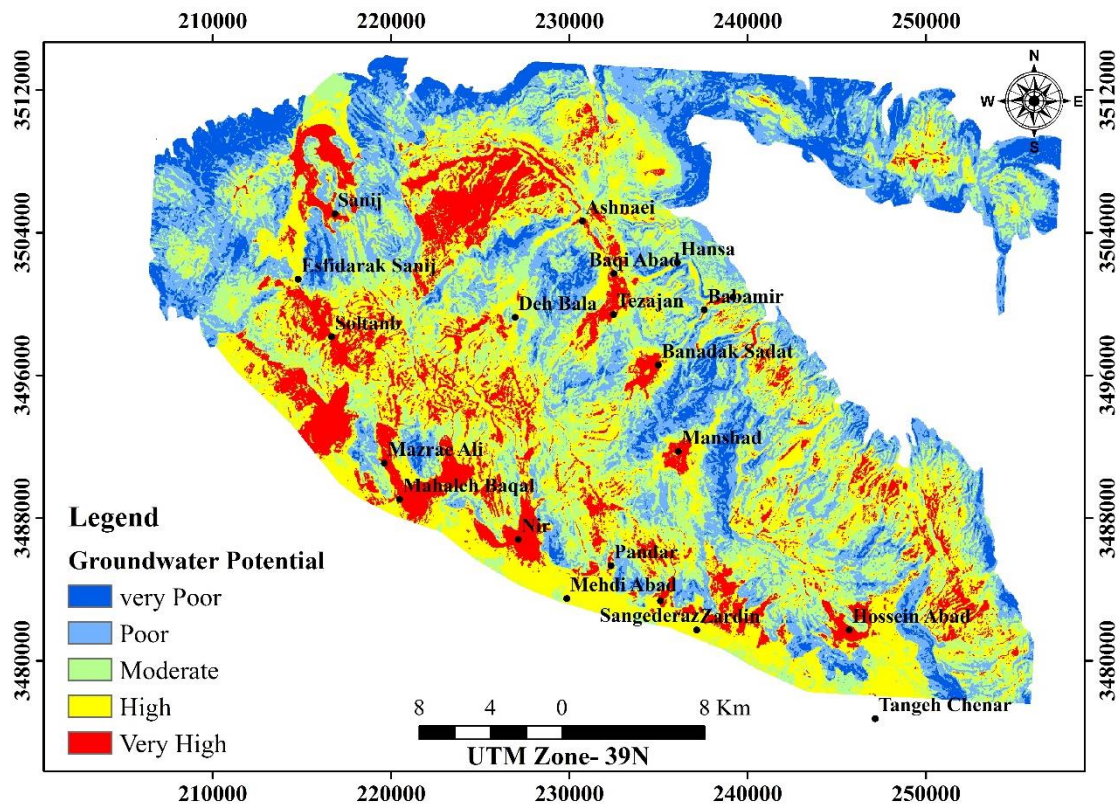
<sup>۱</sup> MultiCriteria Evaluation

پس از رتبه بندی هر یک از لایه‌های اطلاعاتی منطقه شیرکوه مطابق جدول (۴-۱)، تلفیق آن‌ها با توجه به وزن اختصاص یافته به آن‌ها در مدل ارزیابی چند معیاره انجام شده و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه در شکل (۴-۱۷) ارائه شده است. همانطور که در شکل (۴-۱۷) نشان داده شده است در مجموع پنج منطقه با پتانسیل خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف شناسایی شده که به ترتیب ۱۲، ۲۸، ۲۶، ۲۳ و ۱۰ درصد سطح منطقه مورد مطالعه را در بر می‌گیرد. به طور کلی دره‌های موجود در منطقه مورد مطالعه (منشاد، بنادک‌سادات، طزرجان، ده‌بالا، سلطان‌ب و سانج) که از هوازگی توده گرانیتهی ایجاد شده‌اند، به عنوان مناطق با پتانسیل خوب در نظر گرفته شده است. در واقع تأثیر فرآیندهای هوازگی در این توده سبب ایجاد تخلخل ثانویه شده که به موجب آن آب به راحتی در این سنگ‌ها نفوذ کرده و ذخیره می‌گردد. بنابراین دره‌ها (بخش هوازده) از پتانسیل بالایی برخوردار می‌باشند. از این بخش می‌توان به عنوان لایه آبدار هوازده (Weathered Aquifer) نام برد. مناطق با تراکم خطواره و بارش بالا به ویژه بخش مرکزی توده گرانیتهی نیز به عنوان مناطق خوب تا متوسط برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی شناسایی شده است. شکستگی‌ها و ترک‌های موجود در سنگ اجازه می‌دهند تا آب به راحتی نفوذ کند و تغذیه آب‌های زیرزمینی صورت گیرد. در واقع قسمت‌هایی از توده گرانیتهی که به شدت شکسته و خرد شده‌اند (بخش درزو شکافدار) از پتانسیل مناسبی برخوردار می‌باشند که از آن می‌توان به عنوان لایه آبدار شکسته یا درز و شکافدار (Fractured Aquifer) نام برد (شکل ۴-۱۷).

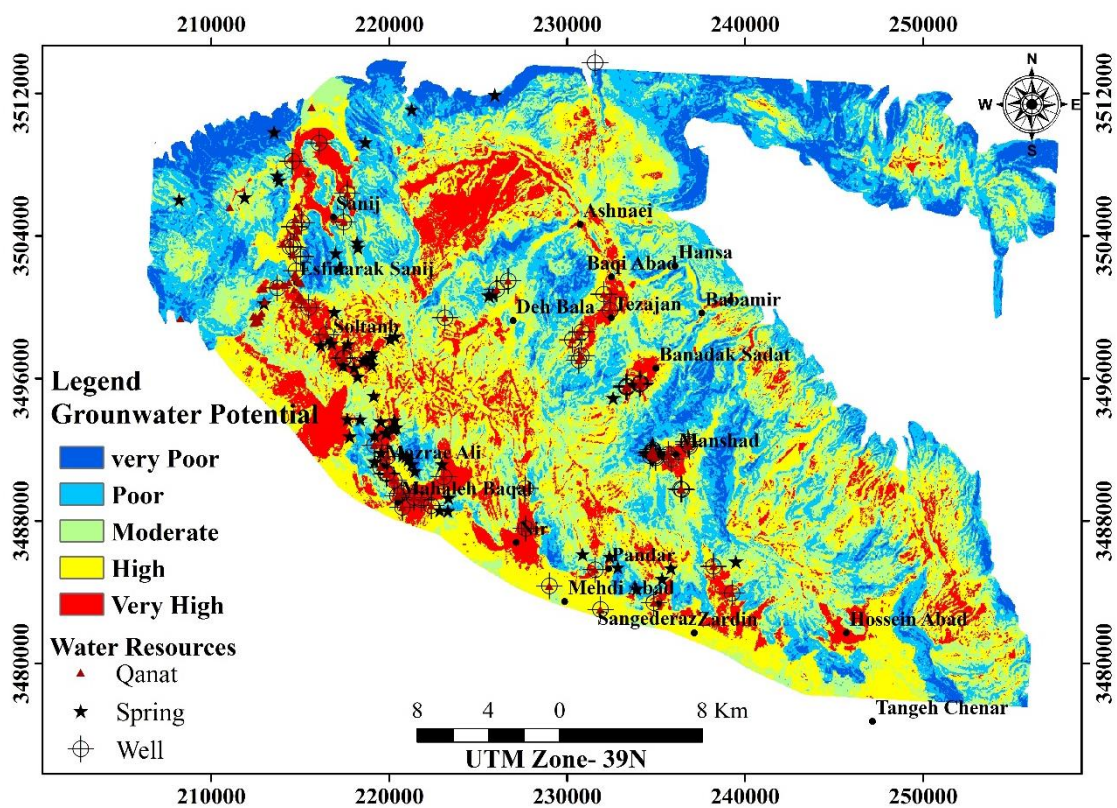
جهت صحت سنجی نتایج حاصل از مدل ارزیابی چند معیاره از پراکندگی منابع آبی (شکل ۴-۱۸) استفاده گردید. همانطور که مشاهده می‌شود انطباق بسیار خوبی بین مناطق با پتانسیل بالا و موقعیت منابع آبی دیده می‌شود. در حقیقت تمامی منابع آبی موجود در منطقه شامل چشمه‌ها، چاه‌ها و قنات‌ها در مناطق با پتانسیل خوب آب زیرزمینی قرار گرفته‌اند که این موضوع صحت نتایج مدل ارزیابی معیار چندگانه را در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه نشان می‌دهد.

جدول ۴-۱: وزن نقشه‌های موضوعی و مقادیر توانمندی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه شیرکوه یزد

| Thematic layer                                       | Map Rank | Map Weight (Wi) | Class ranges  | Rank | Capability value (CVi) |
|------------------------------------------------------|----------|-----------------|---------------|------|------------------------|
| Lithology                                            | 2        | 2/14= 0.142     | Alluvium      | 5    | 0.31                   |
|                                                      |          |                 | Limestone     | 4    | 0.25                   |
|                                                      |          |                 | Dolomite      | 3    | 0.18                   |
|                                                      |          |                 | Granodiorite  | 2    | 0.12                   |
|                                                      |          |                 | Granite       | 1    | 0.06                   |
|                                                      |          |                 | Shale, quartz | 1    | 0.06                   |
| Lineament and fracture density (km/km <sup>2</sup> ) | 3        | 3/14= 0.214     | 0-.20         | 1    | 0.06                   |
|                                                      |          |                 | 0.20-0.57     | 2    | 0.13                   |
|                                                      |          |                 | 0.57-0.96     | 3    | 0.20                   |
|                                                      |          |                 | 0.96-1.40     | 4    | 0.26                   |
|                                                      |          |                 | 1.40-2.59     | 5    | 0.33                   |
| Land cover                                           | 1        | 1/14= 0.071     | 0-31          | 1    | 0.06                   |
|                                                      |          |                 | 31-54         | 2    | 0.13                   |
|                                                      |          |                 | 54-103        | 3    | 0.20                   |
|                                                      |          |                 | 103-193       | 4    | 0.26                   |
|                                                      |          |                 | 193-255       | 5    | 0.33                   |
| Slope (degree)                                       | 3        | 3/14= 0.214     | 0-10.95       | 5    | 0.33                   |
|                                                      |          |                 | 10.95-20.53   | 4    | 0.26                   |
|                                                      |          |                 | 20.53-29.56   | 3    | 0.20                   |
|                                                      |          |                 | 29.56-40.51   | 2    | 0.13                   |
|                                                      |          |                 | 40.51-69.80   | 1    | 0.06                   |
| Drainage density (km/km <sup>2</sup> )               | 2        | 2/14= 0.142     | 0-0.19        | 1    | 0.06                   |
|                                                      |          |                 | 0.19-0.53     | 2    | 0.13                   |
|                                                      |          |                 | 0.53-0.89     | 3    | 0.20                   |
|                                                      |          |                 | 0.89-1.31     | 4    | 0.26                   |
|                                                      |          |                 | 1.31-2.42     | 5    | 0.33                   |
| Rainfall data (mm)                                   | 3        | 3/14= 0.214     | 27.46-176.17  | 1    | 0.06                   |
|                                                      |          |                 | 176.17-252.78 | 2    | 0.13                   |
|                                                      |          |                 | 252.78-322.62 | 3    | 0.20                   |
|                                                      |          |                 | 322.62-410.50 | 4    | 0.26                   |
|                                                      |          |                 | 410.50-602.01 | 5    | 0.33                   |



شکل ۴-۱۷: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه شیرکوه با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره



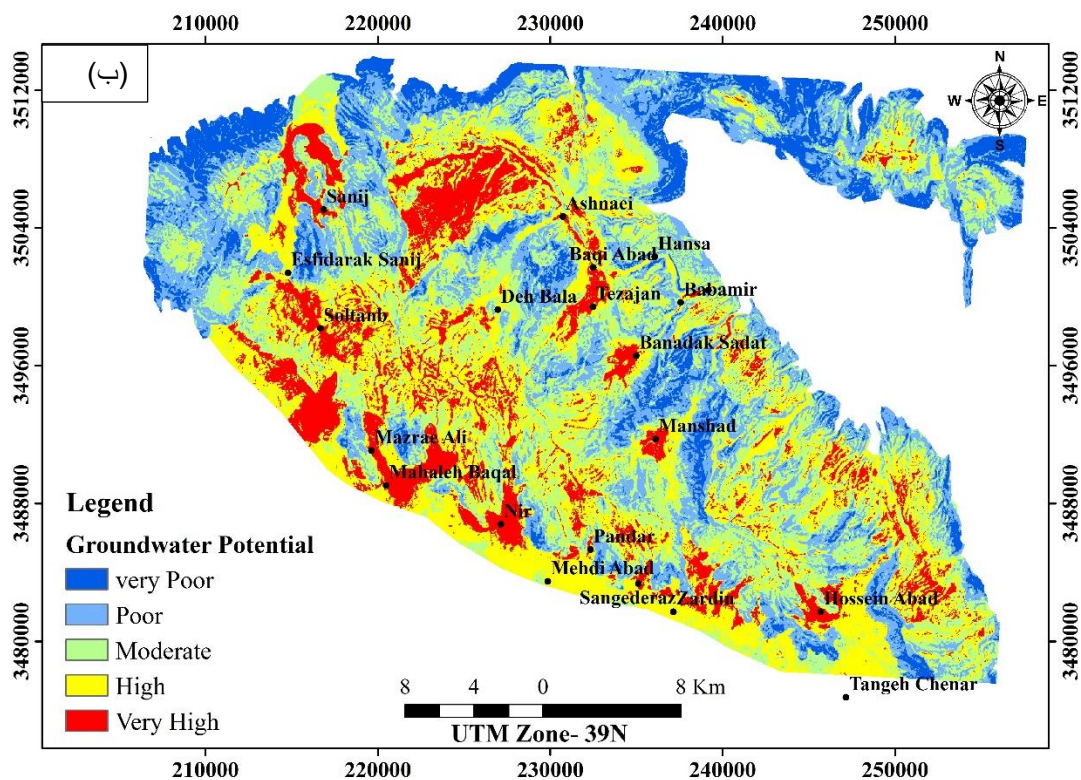
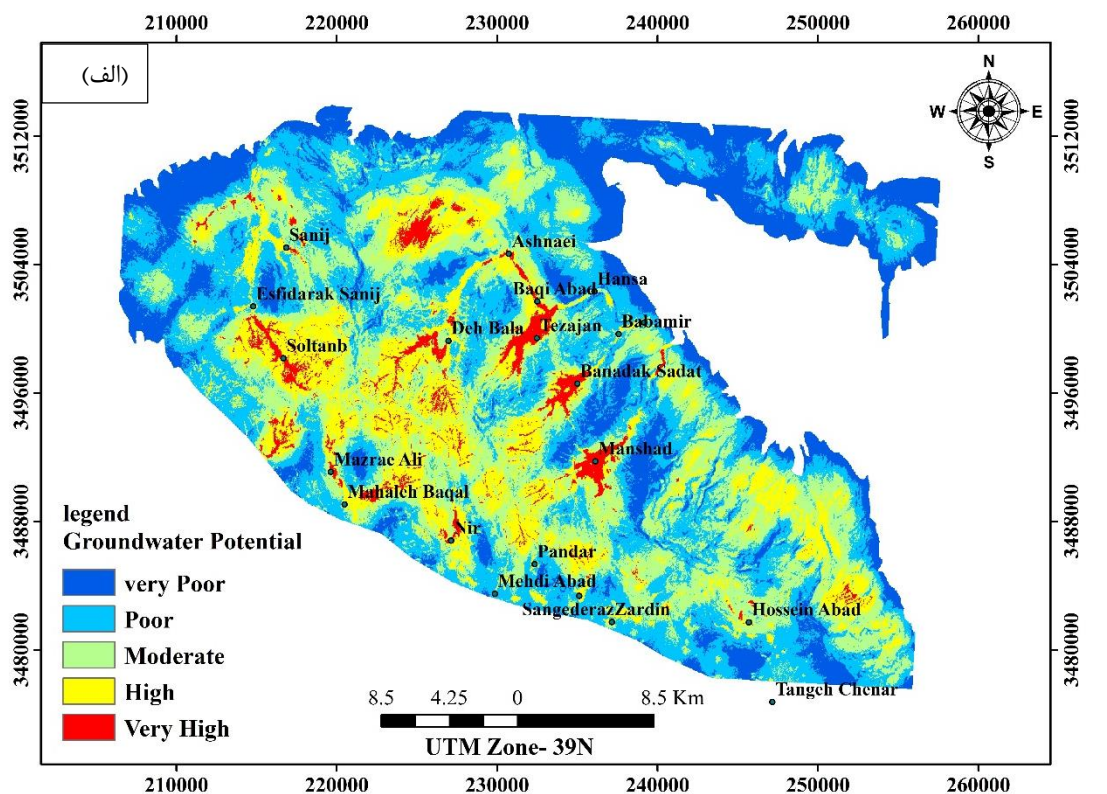
شکل ۴-۱۸: تطابق موقعیت منابع آبی موجود در منطقه مورد مطالعه شیرکوه بر روی نقشه پتانسیل آب زیرزمینی

#### ۷-۴- مقایسه نتایج حاصل از روش فازی و ارزیابی چند معیاره

روش فازی مبتنی بر عدم دخالت کارشناس و ورود وزن بوده بنابراین از وزن‌دهی دلخواه و جهت‌دار در این روش جلوگیری می‌شود. در حالی که روش ارزیابی چند معیاره متکی بر قضاوت کارشناس و ورود وزن می‌باشد. نتایج حاصل از این دو روش جهت مقایسه در شکل‌های (۴-۱۹) نشان داده شده است. مطابق نتایج هر دو روش، بخش‌های هوازده (دره‌ها) و بخش‌های مرکزی توده گرانیته (بخش درز و شکافدار) از پتانسیل مناسبی برخوردار می‌باشند. به عبارت دیگر این دو روش نتایج تقریباً مشابهی جهت پتانسیل آب‌های زیرزمینی در این دو بخش نشان می‌دهند. مقایسه نتایج حاصل از روش فازی و مدل ارزیابی چند معیاره نشان دهنده این مطلب است که روش فازی با عملکرد گاما نیز می‌تواند به عنوان یک روش مناسب برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در سازند سخت مورد استفاده قرار گیرد. بررسی نتایج کمی حاصل از دو مدل جدول (۴-۲) نشان می‌دهد در روش ارزیابی چند معیاره حدود ۴۰ درصد و در روش منطق فازی حدود ۲۰ درصد از کل منطقه مورد مطالعه از پتانسیل خوب و بالای منابع آب زیرزمینی برخوردار می‌باشند.

جدول ۴-۲: نتایج کمی حاصل از دو روش ارزیابی چند معیاره و منطق فازی پیوسته

| Groundwater potential | Percent of area in MCE method | Percent of area in Fuzzy logic method |
|-----------------------|-------------------------------|---------------------------------------|
| Very poor             | 11                            | 19                                    |
| Poor                  | 23                            | 33                                    |
| Moderate              | 26                            | 28                                    |
| High                  | 28                            | 16                                    |
| Very High             | 12                            | 4                                     |

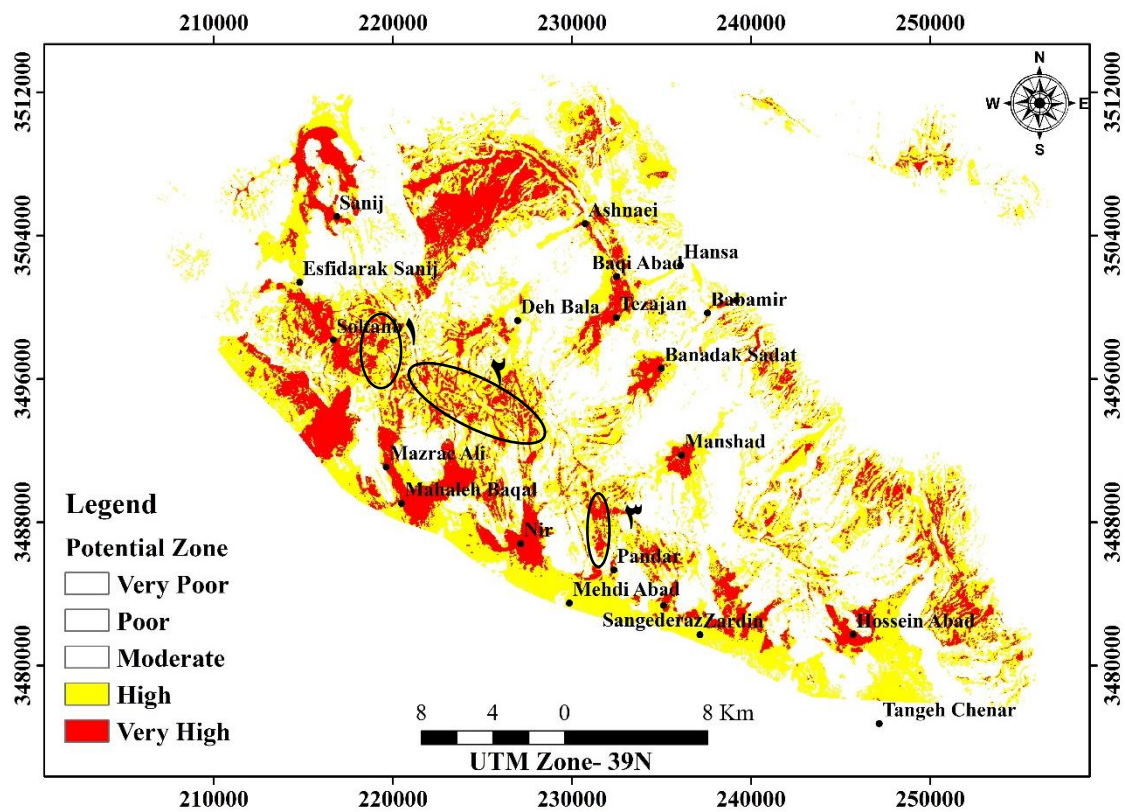


شکل ۴-۱۹: مقایسه نتایج حاصل از پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در منطقه شیرکوه به روش تلفیق فازی گاما (الف)

و روش ارزیابی چند معیاره (ب)

#### ۴-۸- تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در توده گرانیتی شیرکوه

با توجه به انطباق بسیار خوب منابع آبی با مناطق دارای پتانسیل مناسب در مدل ارزیابی چند معیاره نظر به دخالت نظر کارشناسی در آن، این روش جهت تعیین مناطق مناسب از نظر پتانسیل منابع آب انتخاب گردید. بر اساس این مدل حدود ۴۰ درصد از کل مساحت منطقه به عنوان مناطق با پتانسیل مناسب تشخیص داده شد. این مناطق شامل دره‌های موجود در منطقه شیرکوه (لایه آبدار هوازده) و بخش مرکزی توده گرانیتی (لایه آبدار درز و شکافدار) می‌باشد. در حال حاضر منابع موجود در دره‌ها توسط افراد محل مورد استفاده قرار می‌گیرد. نظر به هدف تحقیق، مناطق جدید دارای پتانسیل، جهت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی در شکل (۴-۲۰) مشخص شده‌اند. این مناطق اغلب در بخش‌های درز و شکافدار توده گرانیتی واقع شده‌اند. منطقه شماره ۲ که در شکل (۴-۲۰) مشخص شده است به لحاظ وسعت مناسب بوده و بنابراین به دلیل کاهش ریسک حفاری می‌تواند در اولویت قرار گیرد. ذکر این نکته ضروری است با توجه به اینکه مناطق معرفی شده در بالادست دره‌ها قرار گرفته‌اند به طور یقین در تغذیه آن‌ها نقش مؤثری داشته و بنابراین بهره‌برداری از آن‌ها بایستی با احتیاط و برای اهداف خاص نظیر شرب انجام گیرد. بخش‌هایی از واحدهای آهکی منطقه مورد مطالعه نیز پتانسیل بالایی به لحاظ منابع آب زیرزمینی نشان داده‌اند. با توجه به اینکه این مناطق تنها بر اساس معیارهای مورد نظر در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت (گرانیت) تعیین شده‌اند، تأیید پتانسیل آب زیرزمینی در آن‌ها نیازمند بررسی معیارهای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در مناطق کارستی می‌باشد. با توجه به اینکه این موضوع از اهداف تحقیق حاضر نبوده است، از قضاوت در خصوص پتانسیل آب زیرزمینی در این مناطق خودداری می‌گردد.



شکل ۴-۲۰: نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی در توده گرانیتی شیرکوه (بر اساس روش ارزیابی چندمعیاره)

## فصل پنجم

نتیجہ گیری و پیشہ دہ

## ۵-۱- مقدمه

در این فصل نتایج حاصل از پتانسیل‌یابی منابع آبی در توده گرانیتهی شیرکوه یزد با استفاده از روش فازی و ارزیابی چند معیاره ارائه شده، همچنین با توجه به مطالعات صورت گرفته و تجارب به دست آمده پیشنهادهایی جهت مطالعات آینده ارائه می‌گردد.

## ۵-۲- نتایج

نتایج حاصل از روش‌های منطق فازی و ارزیابی چند معیاره در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازند سخت شیرکوه شامل موارد زیر می‌باشد:

- پس از فازی سازی لایه‌های اطلاعاتی، بیشترین مقادیر فازی لایه‌های پوشش گیاهی، تراکم آبراهه و شیب مربوط به دره‌ها و بیشترین مقادیر فازی برای لایه‌های بارش و تراکم خطواره در بخش مرکزی توده گرانیتهی مشاهده شد.
- جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، عملگرهای مختلف فازی AND, OR, SUM, PRODUCT و GAMMA مورد استفاده قرار گرفتند. عملگر فازی گاما ( $0/9$ ) به عنوان بهترین عملگر جهت تلفیق و تهیه نقشه نهایی، انتخاب گردید.
- جهت تأیید صحت نتایج حاصل از عملگر گاما از موقعیت منابع آبی و همچنین دبی آن‌ها استفاده گردید. نتایج نشان داد که در مناطق با پتانسیل بالا تجمع چشمه‌ها و دیگر منابع آبی و همچنین دبی آن‌ها بالا بوده که این امر می‌تواند بیانگر این باشد که خروجی عملگر گاما مطابق با واقعیت منطقه می‌باشد.
- بر اساس مدل منطق فازی حدود ۲۰ درصد از مساحت کل شیرکوه به عنوان مناطق با پتانسیل خوب و خیلی خوب شناسایی شد.
- در روش ارزیابی چند معیاره در مجموع پنج منطقه با پتانسیل خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف شناسایی گردید. به طور کلی دره‌ها (بخش هوازده توده گرانیتهی) و بخش مرکزی توده گرانیتهی (بخش درز و شکافدار) به عنوان مناطق با پتانسیل مناسب در نظر گرفته شد.

- مقایسه نتایج حاصل از روش فازی با مدل ارزیابی چند معیاره نشان دهنده این مطلب است که روش فازی به عنوان یک روش دانش محور، می تواند جهت ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت مناسب باشد.
- با توجه به انطباق بسیار خوب منابع آبی با مناطق دارای پتانسیل مناسب در مدل ارزیابی چند معیاره، این روش جهت تعیین مناطق مناسب از نظر پتانسیل منابع آب انتخاب گردید. در این روش حدود ۴۰ درصد از مساحت کل منطقه به عنوان مناطق با پتانسیل خوب و خیلی خوب تعیین گردید. نتایج نشان داد که دره های موجود در منطقه (سازند سخت هوازده) شامل منشاد، بنادک سادات، طزرجان، سانج، ده بالا و سلطاناب دارای پتانسیل مناسب می باشند. همچنین بخش مرکزی توده گرانیته (سازند سخت درز و شکافدار) به علت تراکم بالای خطواره و بارش از پتانسیل آب زیرزمینی مناسبی برخوردار است. از آن جایی که منابع آب موجود در این دره ها توسط افراد محل در حال بهره برداری می باشد، بخش مرکزی توده گرانیته (لایه آبدار درز و شکافدار) به عنوان مناطق جدید جهت بهره برداری منابع آب زیرزمینی مشخص گردید.

### ۵-۳- پیشنهادها

- در این تحقیق از روش فازی و ارزیابی چندمعیاره جهت آنالیز و تحلیل پارامترها و در نهایت مکان یابی بهره گرفته شده است. با توجه به این که روش هایی نظیر تصمیم گیری چند معیاره<sup>۱</sup> (MCDM)، فاکتور تأثیر چندگانه<sup>۲</sup> (MIF) و منطق بولین نیز به طور معمول در مکان یابی مورد استفاده قرار می گیرند، بنابراین پیشنهاد می گردد مطالعات بعدی با استفاده از این روش ها انجام گیرد و نتایج با روش های به کار گرفته شده در این تحقیق مقایسه گردد.

<sup>۱</sup> Multi-Criteria decision making

<sup>۲</sup> Multi influencing factor

- در این تحقیق بخش‌هایی از توده گرانیتی شیرکوه به عنوان مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی مشخص گردید که می‌تواند در برنامه توسعه آینده منطقه مورد توجه قرار گیرد. پیشنهاد می‌گردد جهت تکمیل مطالعات بررسی‌های ژئوفیزیکی و در صورت امکان حفاری‌های اکتشافی در این بخش‌ها نیز انجام شود.
- در این تحقیق بخش‌هایی از قسمت‌های آهکی این منطقه به عنوان مناطق مناسب از نظر پتانسیل منابع آب زیرزمینی تشخیص داده شده است پیشنهاد می‌گردد در مطالعات آینده بخش آهکی از نظر معیارهای پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در مناطق کارستی، مورد ارزیابی قرار گیرد تا بتوان در خصوص پتانسیل آب زیرزمینی در این بخش اظهار نظر نمود.

منابع

## منابع فارسی

- آبشیرینی ا، (۱۳۸۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "کاربرد تکنیکهای دورسنجی و جی ای اس در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی کارست در تاق‌دیس پابده -لالی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- آقاباتی ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی/ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، انتشارات دایره سبز
- اسلامی زاده م و امامی ع، (۱۳۸۲)، "کانسار مس پورفیری دره زرشک در جنوب غرب یزد"، بیست و دومین گردهمای علوم زمین، ص ۴۷ تا ۵۹، سازمان زمین‌شناسی کشور بخش زمین‌شناسی اقتصادی و اکتشاف
- امیدوار ک، (۱۳۸۶)، "بررسی تحلیل شرایط سینوپتیکی و ترمودینامیکی رخداد بارش در منطقه شیرکوه"، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۵۹، ص ۸۱ - ۹۸.
- جعفری ه، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تکامل هیدروشیمیایی منابع آب سازند سخت شیرکوه یزد"، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه شیراز.
- حاج ملا علی ع و علوی نائینی م، (۱۳۷۱)، "نقشه زمین‌شناسی خضرآباد مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسینی پاک ع و شرف‌الدین م، (۱۳۸۰)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.
- خدیری ا، رضائی م و اشجاری ج، (۱۳۹۰)، "پتانسیل یابی منابع آب کارست در تاق‌دیس پیون با استفاده از GIS و RS"، چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ص ۱-۱۰.
- خسرو تهرانی خ و وزیری مقدم ح، (۱۳۷۲)، "چینه‌شناسی کرتاسه زیرین در نواحی غرب و جنوب غربی یزد"، فصلنامه علوم زمین، سال دوم، شماره ۷، ص ۳۶ - ۴۶.
- رسولی ع، (۱۳۸۷)، "مبانی سنجش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای"، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، ص ۱۱۲-۱۴۹.
- رضایی م، دواتگر ن، تاجداری خ و ابولپور ب، (۱۳۹۰)، "بررسی تغییرات مکانی برخی شاخص‌های کیفی آب‌های زیرزمینی استان گیلان با استفاده از زمین‌آمار"، مجله آب و خاک، سال بیست و چهارم، شماره ۵.
- رحیمی د، (۱۳۹۰)، "پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی دشت شهرکرد"، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۴، دانشگاه اصفهان، ص ۱۲۷-۱۴۲.

- رنگزن ک، آبشیرینی ا، و چرچی ع، (۱۳۸۳)، "استفاده از سنجش از دور و GIS در بررسی ارتباط عوامل ساختاری، لیتولوژیکی و توپوگرافی در برونزد چشمه‌های تاقدیس پابده -لالی"، بیست و سومین همایش علوم زمین، تهران.
- زبیری م و مجد ع، (۱۳۷۵)، "آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی"، انتشارات تهران
- شبیبی م و اسماعیلی د، (۱۳۸۸)، "پتروژنز گرانیتوئیدهای پرآلومین شیرکوه (جنوب غرب یزد)"، *مجله علوم دانشگاه تهران*، جلد ۳۵، شماره ۳، ص ۷۱ تا ۸۳.
- شبیبی م و اسماعیلی د، (۱۳۸۹)، "شواهد سنگ‌شناختی و ژئوشیمیایی رستیت در گرانیت آناتکسی شیرکوه، جنوب غرب یزد"، *مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران*، شماره ۱، ص ۱۳۵ تا ۱۴۶.
- علی پناه س.ک، (۱۳۸۲)، "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)"، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۸-۳۵.
- علیزاده ا، (۱۳۸۹)، "اصول هیدرولوژی کاربردی"، انتشارات آستان قدس، دانشگاه امام رضا (ع).
- قدرت م، هبیتی ز و میرعرب ع، (۱۳۸۹)، "پتانسیل‌یابی منابع آب کارست با استفاده از سیستم تصمیم‌گیری AHP"، دومین کنفرانس سراسری مدیریت جامع منابع آب، کرمان، ص ۱-۷.
- قشقائی نژاد س، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در تاقدیس بیرک با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS"، دانشگاه سیستان بلوچستان.
- قبادیان ع، (۱۳۶۱)، "سیمای طبیعی استان یزد در ارتباط با مسائل کویری (بررسی عمومی، ژئومورفولوژی، پتروولوژی، هیدرولوژی)"، استانداری یزد، ص ۳۵۰.
- کرم‌پور ف، (۱۳۷۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی‌های ویژگی‌های هیدروژئوشیمیایی و هیدروژئولوژیکی منابع آب در سازندهای سخت منطقه شیرکوه یزد"، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه شیراز.
- کاظمی ر، غیومیان ج و جلالی ن، (۱۳۸۳)، "بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS"، *مجله منابع طبیعی*، شماره ۷۳، دانشگاه اصفهان، ص ۳۳-۴۱.
- کاوسی م، چیت‌سازان م، چرچی ع و شیرمردی م، (۱۳۹۱)، "پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از RS و GIS و FAHP (محدوده مورد مطالعه: تاقدیس‌های شاویش تنوش و کمردراز در شمال شرق خوزستان)"، شانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی، دانشگاه شیراز، ص ۱-۱۰.

- گزارش نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ یزد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی.
- محمدی ز، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد : "کاربرد تکنیکهای سنجش از دور و جی ای اس در شناخت و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی مطالعه موردی تاقдіس گورپی -استان خوزستان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
- مجیدی فرد م، (۱۳۷۹)، "نقشه زمین شناسی یزد مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- محمدی مطلق ر، (۱۳۹۱)، "آموزش کاربردی GIS"، انتشارات پرسون، تهران، چاپ اول، ص ۲۹۶
- ماه گلی آ، چیت سازان م، میرزایی ی، (۱۳۹۳). "پتانسیل یابی آب زیرزمینی در سازند سخت با استفاده از GIS و سنجش از دور مطالعه موردی: شمال حسینیة".

## References

- Arnous M.O., (2016), "Groundwater potentiality mapping of hard-rock terrain in arid regions using geospatial modelling: example from Wadi Feiran basin, South Sinai, Egypt", *Hydrogeology Journal*, vol. 24, pp 1375-1392.
- Berberian F and Berberian M, (1981), "Tectono-plutonic episodes in Iran. Zagros Hindu Kush Himalaya Geodynamic Evolution", pp 5-32.
- Carranza E.J.M, (2008), "Geochemical anomaly and mineral prospectivity mapping in GIS", *Elsevier Science*, Vol. 11, ISBN: 978-0-444-51325-0, pp 249-310
- Dibi B, Doumouya I, Konan-Waidhet A. B, Kouame K. I, Angui K. T, and Issiaka S, (2010), "Assessment of the Groundwater Potential Zone in Hard Rock through the Application of GIS The Case of Aboisso Area(South-East of Cote d'ivoire)", *Journal of Applied Sciences(Faisalabad)*, vol. 10, pp 2058-2067.
- Fetter C.W,(1988), "Applied hydrogeology, U. S. A. Merrill publishing compony First Federal Geographic Technology Conference (Washington, DC:National), pp 238-344.
- Fashae O. A, Tijani M.N, Talabi A.O, and Adedeji O. I, (2014), "Delineation of groundwater potential zones in the crystalline basement terrain of SW-Nigeria: an integrated GIS and remote sensing approach", *Applied Water Science*, vol. 4, pp 19-38.

- Jasmin I, and Mallikarjuna P, (2011), "Review: satellite-based remote sensing and geographic information systems and their application in the assessment of groundwater potential, with particular reference to India", *Hydrogeology Journal*, vol. 19, pp 729-740.
- Higgins C.G and Coates D.R, (1990), "Groundwater geomorphology: the role of subsurface water", *earth-surface processes and landforms*, Vol. 15, pp 195-197
- Hobbs B.E, Means W.D, and Williams P.F, (1985), "The relationship between foliation and strain: an experimental investigation: reply", *Journal of structural geology*, vol.7, pp 123-124.
- Krishnamurthy J, Venkatesa Kumar N, Jayaraman V, and Manivel M, (2000), "An approach to demarcate ground water potential zones through remote sensing and a geographical information system", *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, pp 1867-1884.
- Lattman L.H, and Parizek R.R, (1964), "Relationship between fracture traces and the occurrence of ground water in carbonate rocks", *Journal of hydrology*, vol. 2, pp 73-91.
- Larsson L, (1984), "Ground water in hard rocks", Unesco.
- Magesh N.S, Chandrasekar N, and 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, pp 189-196.
- Machiwal D, Jha, M. K, and Mal B. C. (2011), "Assessment of groundwater potential in a semi-arid region of India using remote sensing", *Water Resources Management*, vol. 25, pp 1359-1386.
- Oikonomidis D, Dimogianni S, Kazakis N, and Voudouris K,(2015), "A GIS/Remote Sensing-based methodology for groundwater potentiality assessment in Tirnavos area", *Journal of Hydrology*, vol. 525, pp 197-208.
- Omran A.A, (2008), "Integration of remote sensing, geophysics and GIS to evaluate groundwater potentiality a case study in Sohag Region, Egyp", *The 3rd international conference on water resources and arid environments and the 1st Arab Water Forum*.
- Pothiraj P, and Rajagopalan B, (2012), "A GIS and remote sensing based evaluation of groundwater potential zones in a hard rock terrain of Vaigai sub-basin, India", *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 6, pp 2391-2407.
- Prasad R.K, Mondal N .C, Pallavi B and Nandakumar M.V, (2007), "Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS", *Environ Geology Journal*, Vol. 55, pp. 467-475.
- Rao N.S, (2006), "Groundwater potential index in a crystalline terrain using remote sensing data", *Environmental Geology*, vol. 50, pp 1067-1076.

- Ramaiah S.N, Gopalakrishna G.S, Vittala S.S, and Najeeb K.M, (2012), “Geomorphological Mapping for Identification of Ground Water Potential Zones in Hard Rock Areas Using Geo-spatial Information-A Case Study in Malur Taluk, Kolar District, Karnataka, India”, *Nature, Environment and Pollution Technology*, vol. 11, pp 369-376.
- Saraf A.K and Chaudhary P.R, (1998), “Integrated remote sensing and GIS for groundwater exploration and identification of artificial recharges sites”, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 10, pp 1825-1841.
- Sener E, Davraz A, and 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.
- Shekhar S, and Pandey A.C, (2015), “Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques”, *Geocarto International*, vol. 30, No. 4, pp 402-421.
- Singhal B. B. S, and Gupta R. P, (2010), “Applied hydrogeology of fractured rocks: Second Edition”, *Springer Science and Business Media*, pp 237-257, ISBN: 978-90-481-8799-7
- Shekhar Sh and Pandey A.Ch, (2014), “Delineation of groundwater potential zone in hard rock terrain of India using remote sensing, geographical information system (GIS) and analytic hierarchy process (AHP) techniques”, *Geocarto International*, vol. 30, No. 4, pp 402-421.
- Sivakumar S, lakshumanan C, Rajesh J and Karthick p, (2015), “Identification of groundwater potential zones in hardrock terrain of Thiruvannamalai-Tamilnadu, India- A geomatiics based approach”, *International Journal of Remote Sensing and Geoscience*, vol. 4, N0. 1, pp 2319-3484.
- Sikdar P. K, Chakraborty S, Adhya E And 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. 2.
- Todd D. K, and Mays L. W, (1980), “Groundwater hydrology: Third Edition”.
- Yousefi M, And Carranza E.J.M, (2015), “Prediction–area (P–A) plot and C–A fractal analysis to classify and evaluate evidential maps for mineral prospectivity modeling”, *Computers and Geosciences*, vol. 79, pp 69-81.

- Yousefi M, And Nykanen V, (2016), “Data-driven logistic-based weighting of geochemical and geological evidence layers in mineral prospectivity mapping”, *Journal of Geochemical Exploration*, vol. 164, pp 94 -106.



پوست

جدول I- ۱ آزمون خطاهاى برداشت شده در توده گرانیتهى جهت ترسیم دیاگرامهای گل سرخی

| NO    | A   |     | b   |     | C   |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|
| 1     | 325 | 323 | 290 | 332 | 300 |
| 2     | 105 |     | 325 | 94  | 304 |
| 3     | 320 |     | 240 | 263 | 302 |
| 4     | 104 |     | 315 | 140 | 305 |
| 5     | 100 |     | 95  | 321 | 315 |
| 6     | 324 |     | 340 | 250 | 305 |
| 7     | 98  |     | 320 | 333 | 301 |
| 8     | 115 |     | 96  | 6   | 314 |
| 9     | 96  |     | 330 | 248 | 318 |
| 10    | 70  |     | 265 | 323 | 310 |
| 11    | 326 |     | 145 | 254 | 316 |
| 12    | 103 |     | 235 | 252 | 301 |
| 13    | 68  |     | 339 | 329 | 306 |
| 14    | 114 |     | 5   | 251 | 312 |
| 15    | 99  |     | 30  | 32  |     |
| 16    | 113 |     | 268 | 313 |     |
| 17    | 71  |     | 331 | 7   |     |
| 18    | 112 |     | 140 | 312 |     |
| 19    | 72  |     | 314 | 341 |     |
| 20    | 69  |     | 4   |     |     |
| Total | 21  |     | 40  | 28  | 14  |

## **Abstract:**

Regarding the importance of hard rocks in storing water resources in the world, in this research groundwater potentiality of the Shirkuh granitic rocks located in southwest of Yazd city was evaluated. The area is known as the main recharge zone of the alluvial aquifer of Yazd-Ardekan plain. In this study the effective parameters in groundwater potentials were firstly determined. They are included as lineament density, drainage density, rainfall, lithology, topographic slope and vegetation cover layers which were prepared using RS and GIS softwares. Having been provided thematic maps, two knowledge-driven strategies including continuous fuzzification and multi-criteria evaluation models were used to combine thematic maps. In fuzzy model, after fuzzification of the maps in GIS environment, the thematic maps were combined using various fuzzy operators. After the evaluation, Gama was selected as the best operator for combination and providing the final map. In this method about 20% of the studied area was identified as the groundwater potential zones. In multi-criteria evaluation model, after weighting the maps with the expert opinion, the thematic maps were combined using weighted linear combination method and the groundwater potentiality map was created. After validation the results of the both models by water resources location and discharge, a good correlations were found in in multi-criteria model and so this method was applied in groundwater potential mapping of the region. In this method about 40% of the studied area was detected as good and very good potential zones which are locate mainly in the valleys (the weathered granitic hardrock) and the central part of the granite massive rock (the fractured hardrock).

**Keyword:** Groundwater potentiality assessment, Fuzzy logic model, Multi-criteria evaluation model, Shir-kuh, Yazd.



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Earth Sciences**

**M. Sc. Thesis in Hydrogeology**

**Identification of groundwater potential zones in granitic mass of  
Shirkuh, Yazd**

**By: Farkhondeh Taheri**

**Supervsior:**

**Dr. Hadi Jafari**

**Advisor:**

**Dr Mohamad Rezaei**

**January 2017**