





دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
گروه اکتشاف معدن

## تهیه نقشه پتانسیل مطلوب آب‌های زیرزمینی در محیط‌های آهکی در غرب شاهرود

نام دانشجو: میثم داودآبادی فراهانی

استاد راهنما:

دکتر حمید آقاجانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲



دانشگاه صنعتی شاهرود

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

باسمه تعالی

شماره:

تاریخ:

ویرایش:

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد  
با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان  
نامه کارشناسی ارشد آقای میثم داودآبادی قراهنی رشته معدن گرایش اکتشاف تحت عنوان "تهیه نقشه  
پتانسیل مطلوب آبهای زیرزمینی در محیط های آهکی در غرب شاهرود" که در تاریخ ۱۳۹۳/۶/۱۹ با  
حضور هیأت داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: **بسیار خوب** امتیاز ۱۸-۱۷) ☒ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱- عالی (۲۰ - ۱۹) ۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

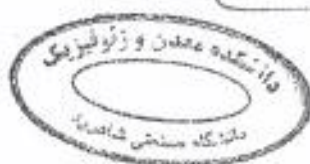
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶) ۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

| اعضای هیأت داوران               | نام و نام خانوادگی    | مرتبه علمی | امضاء |
|---------------------------------|-----------------------|------------|-------|
| ۱- استاد راهنمای اول            | دکتر حمید آقاچلی      | استادیار   |       |
| ۲- استاد راهنمای دوم            | ---                   | ---        |       |
| ۲- استاد مشاور                  | ---                   | ---        |       |
| ۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی | دکتر علی نجائی        | استادیار   |       |
| ۴- استاد ممتحن                  | دکتر منصور ضیایی      | استادیار   |       |
| ۵- استاد ممتحن                  | دکتر علیرضا عرب امیری | استادیار   |       |

رئیس دانشکده:

امضاء



تقدیم به :

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را و... عشق را

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید.

## تقدیر و تشکر

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و مورد بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است.

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی شائبه‌ی او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم.

اما از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تامین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه از پدر و مادر عزیزم، این دو معلم بزرگوام که همواره بر کوتاهی و درشتی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی چشم داشت برای من بوده‌اند، از همسر مهربانم به‌جهت همکاری و همیاری بسیارش، از استاد با کمالات و شایسته، جناب آقای دکتر حمید آقاجانی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند و از اساتید فرزانه و دلسوز، جناب آقای دکتر ضیایی و جناب آقای دکتر عرب‌امیری که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

همچنین بر خود لازم می‌دانم از آقای مهندس شریفی و اساتید راهنمای محترم ایشان آقای دکتر علیرضا عرب‌امیری و آقای دکتر ابوالقاسم کامکار، به جهت ایجاد امکان دسترسی به پایان‌نامه کارشناسی ارشد ایشان و راهنمایی‌های فراوان این عزیزان تشکری ویژه کنم.

از دانشجویان محترم، آقای مهندس باغزندانی و خانم مهندس محمدزاده و از آقای مهندس زارعی مسئول محترم آزمایشگاه‌های دانشکده مهندسی معدن به‌جهت کمک‌های این عزیزان در عملیات برداشت گرانی‌سنجی در منطقه تشکر فراوان دارم.

میثم داودآبادی فراهانی

تأیستان ۹۲

## تعهد نامه

اینجانب میثم داودآبادی فراهانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن - گرایش اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تهیه نقشه پتانسیل مطلوب آبهای زیرزمینی در محیط‌های آهکی در غرب شاهرود تحت راهنمایی دکتر حمید آقاجانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون 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 می‌باشد 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 تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای 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 اخلاق انسانی رعایت شده است.



میثم داودآبادی فراهانی

۱۳۹۲/۶/۳۱

### مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. 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 نمی‌باشد.

## چکیده

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است؛ که امروزه برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب توسعه زیادی پیدا کرده است. امکان تشکیل مخزن آب زیرزمینی و قابلیت آبدهی هر مخزن قبل از هر چیز به ویژگی‌های فیزیکی و سنگ‌شناسی محیط‌های متخلخل وابسته است. از این‌رو بررسی خصوصیات سنگ‌ها و منافذ موجود در آن‌ها، از نظر مطالعه آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارد. این موضوع یعنی شرایط فیزیکی محیط را می‌توان با عوامل مختلفی مثل توپوگرافی زمینی، شیب منطقه مورد مطالعه، جنس واحدهای سنگی، درزه و شکاف‌ها و میزان پوشش گیاهی بررسی نمود. هر یک از این پارامترها به نوعی در ایجاد یک سفره آب زیرزمینی و شناسایی آن دخیل بوده و با توجه به ویژگی مرتبط، نقش‌های کم تا زیاد را بازی می‌کند. در این تحقیق پارامترهای شیب، جهت شیب، ارتفاع، شبکه آبراهه‌ای (زهکشی)، پوشش گیاهی، خطواره‌ها و واحدهای سنگی محدوده مورد بررسی در غرب شاهرود به کمک تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های ماهواره‌ای از سنجنده  $ETM^+$  تهیه و پس از تصحیحات و پردازش‌های لازم، نقشه‌های رقومی این پارامترها به طور جداگانه تهیه گردید. سپس برای استفاده از این نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار GIS لایه‌های اطلاعاتی برای دو روش تلفیق مجموع وزنی و فازی تهیه گردید. این لایه‌ها در دو روش مذکور تلفیق شده و نتایج و محدوده‌های با احتمال بالا یا نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی تهیه گردید که به لحاظ وجود چاه‌های آب موجود در منطقه از اعتبار بالایی برخوردار می‌باشد. در نقشه پتانسیل تهیه شده حدود ۱۵ درصد از محدوده ۱۷۰ کیلومترمربعی مورد بررسی، بعنوان مناطق دارای شانس وجود سفره آب زیرزمینی مشخص شدند.

بررسی‌ها نشان داد که نتایج تعیین پتانسیل آب زیرزمینی از اعتبار بالایی برخوردار است. با توجه به همخوانی نتایج حاصل از تلفیق اطلاعات حاصل از سنجش از دور و گرانی‌سنجی با چاه‌های منطقه و نیز نتایج حاصل از اعتبارسنجی این نقشه با اطلاعات حاصل از روش ژئوالکتریک، محتمل‌ترین و بهترین مناطق یا محدوده‌ها برای وجود آب زیرزمینی را می‌توان مشخص نمود.

**کلید واژه‌ها:** آب زیرزمینی، سنجش از دور، ژئوالکتریک، گرانی‌سنجی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقشه پتانسیل

مطلوب، روش فازی

## مقالات مستخرج از پایان نامه

- Davoodabadi Farahani, Meysam; Aghajani, Hamid; (2013), **Mapping potential area of groundwater aquifers using Remote Sensing and GIS by index overlay integration model**, International Conference on Civil Engineering Architecture & Urban Sustainable Development, Tabriz, Iran.
- داودآبادی فراهانی، میثم؛ آقاجانی، حمید؛ (۱۳۹۱)، کاربرد روشهای ژئوفیزیکی در اکتشاف منابع آب، همایش ملی علوم مهندسی آب و فاضلاب، کرمان.
- داودآبادی فراهانی، میثم؛ آقاجانی، حمید؛ (۱۳۹۱)، تلفیق داده‌های اکتشافی ژئوفیزیکی و دورسنجی در محیط GIS با استفاده از مدل فازی به منظور پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در منطقه تپال شاهرود، همایش ملی عمران و توسعه پایدار، مشهد.
- داودآبادی فراهانی، میثم؛ آقاجانی، حمید؛ (۱۳۹۱)، اکتشاف آب زیرزمینی به کمک داده‌های دورسنجی ETM در جنوب غرب شاهرود، دومین همایش ملی انجمن علمی زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی، ص ۷۶۶، تهران.

## فهرست مطالب

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| فصل اول: کلیات و اهداف پایان نامه.....                              | ۱  |
| ۱-۱- مقدمه .....                                                    | ۲  |
| ۲-۱- اهمیت استفاده از آب‌های زیر زمینی .....                        | ۳  |
| ۳-۱- عوامل موثر در تجمع منابع آبهای زیرزمینی .....                  | ۴  |
| ۴-۱- کلیاتی راجع به سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی .....     | ۶  |
| ۵-۱- سابقه مطالعاتی در زمینه آبهای زیرزمینی .....                   | ۷  |
| ۶-۱- ضرورت انجام کار .....                                          | ۱۰ |
| ۷-۱- روش تحقیق و مراحل کار .....                                    | ۱۱ |
| ۸-۱- اهداف و ساختار پایان نامه .....                                | ۱۲ |
| فصل دوم: مبانی روش‌های اکتشاف آب و جغرافیای محدوده مورد مطالعه..... | ۱۳ |
| ۱-۲- مقدمه‌ایی بر محیط تشکیل آب زیرزمینی .....                      | ۱۴ |
| ۱-۱-۲- جریان آب زیرزمینی در کارست .....                             | ۱۵ |
| ۲-۱-۲- سیستم‌های زهکشی در کارست .....                               | ۱۶ |
| ۳-۱-۲- عوامل موثر در توسعه آبخوان‌های کارستی .....                  | ۱۷ |
| ۲-۲- مبانی روش‌های اکتشاف آب زیرزمینی .....                         | ۲۱ |
| ۱-۲-۲- مقدمه .....                                                  | ۲۱ |
| ۲-۲-۲- روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی .....                               | ۲۳ |
| ۲-۲-۲- الف- روش‌های ژئوالکتریکی .....                               | ۲۴ |
| ۲-۲-۲- ب- روش گرانی سنجی .....                                      | ۲۷ |
| ۲-۲-۲- ج- روش مغناطیس سنجی .....                                    | ۲۷ |
| ۲-۲-۲- د- روش های لرزه ایی .....                                    | ۲۸ |
| ۳-۲-۲- سنجش از دور و کاربرد آن در مدیریت منابع آب.....              | ۲۹ |
| ۳-۲-۲- الف- مقدمه .....                                             | ۲۹ |
| ۳-۲-۲- ب- ارزیابی کمی منابع آب به کمک سنجش از دور .....             | ۳۰ |
| ۳-۲-۲- ج- ارزیابی کیفی منابع آب .....                               | ۳۱ |
| ۴-۲-۲- سیستم اطلاعات جغرافیایی .....                                | ۳۳ |
| ۴-۲-۲- الف- مقدمه .....                                             | ۳۳ |
| ۴-۲-۲- ب- تاریخچه ادغام RS و GIS در آب‌های زیرزمینی .....           | ۳۴ |

|    |                                                                              |
|----|------------------------------------------------------------------------------|
| ۳۷ | ۳-۲- محدوده مطالعاتی .....                                                   |
| ۳۷ | ۳-۲-۱- موقعیت و مشخصات جغرافیایی .....                                       |
| ۳۸ | ۳-۲-۲- راه‌های دسترسی به منطقه .....                                         |
| ۳۸ | ۳-۲-۳- آب و هوای منطقه .....                                                 |
| ۳۹ | ۳-۲-۴- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده .....                             |
| ۴۱ | <b>فصل سوم: پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های رقومی اولیه.....</b> |
| ۴۲ | ۳-۱- مقدمه .....                                                             |
| ۴۵ | ۳-۲- پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های رقومی .....                 |
| ۴۵ | ۳-۲-۱- مقدمه .....                                                           |
| ۴۸ | ۳-۲-۲- پیش پردازش .....                                                      |
| ۴۸ | ۳-۲-۳- الف- تصحیح داده‌های ماهواره ای .....                                  |
| ۴۸ | ۳-۲-۳- الف-۱- تصحیحات داده‌های .....                                         |
| ۴۹ | ۳-۲-۳- الف-۲- تصحیحات هندسی .....                                            |
| ۴۹ | ۳-۲-۳- الف-۳- تصحیحات رادیومتری (آتمسفری) .....                              |
| ۵۰ | ۳-۲-۳- ب- موزائیک کردن .....                                                 |
| ۵۰ | ۳-۲-۳- پردازش داده‌ها .....                                                  |
| ۵۱ | ۳-۲-۳- الف- افزایش تباین (کنتراست) .....                                     |
| ۵۳ | ۳-۲-۳- ب- ایجاد تصاویر رنگی .....                                            |
| ۵۵ | ۳-۲-۳- ج- نسبت‌گیری طیفی .....                                               |
| ۵۵ | ۳-۲-۳- د- تحلیل مؤلفه‌های اصلی .....                                         |
| ۵۷ | ۳-۲-۳- د-۱- تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی .....                   |
| ۵۹ | ۳-۲-۳- ه- فیلتر کردن تصویر .....                                             |
| ۶۰ | ۳-۳- تهیه نقشه رقومی خطواره .....                                            |
| ۶۰ | ۳-۳-۱- مقدمه .....                                                           |
| ۶۲ | ۳-۳-۲- استخراج خطواره‌ها از تصاویر ماهواره ای .....                          |
| ۶۴ | ۳-۴- تهیه نقشه رقومی زمین‌شناسی یا واحدهای سنگی .....                        |
| ۶۶ | ۳-۵- تولید نقشه رقومی طبقات ارتفاعی .....                                    |
| ۶۷ | ۳-۶- تولید نقشه رقومی شیب .....                                              |
| ۶۸ | ۳-۷- تولید نقشه رقومی جهت شیب .....                                          |
| ۶۹ | ۳-۸- تولید نقشه رقومی شبکه زهکشی .....                                       |

|          |                                                                                  |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------|
| ۷۰.....  | ۸-۳- تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی.....                                            |
| ۷۳.....  | فصل چهارم: تولید لایه های اطلاعاتی و تلفیق آنها به روشهای مختلف در محیط GIS..... |
| ۷۴.....  | ۱-۴- مقدمه.....                                                                  |
| ۷۴.....  | ۲-۴- تلفیق لایه های اطلاعاتی.....                                                |
| ۷۵.....  | ۱-۲-۴- مدل بولین.....                                                            |
| ۷۶.....  | ۲-۲-۴- مدل همپوشانی شاخص.....                                                    |
| ۷۶.....  | ۳-۲-۴- مدل منطق فازی.....                                                        |
| ۷۷.....  | ۳-۴- تولید لایه ها اطلاعاتی برای روش مجموع وزنی.....                             |
| ۷۷.....  | ۱-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی تراکم طول خطواره ها.....                              |
| ۷۸.....  | ۲-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی تراکم نقاط برخورد شکستگی ها.....                      |
| ۸۰.....  | ۳-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی زمین شناسی.....                                       |
| ۸۳.....  | ۴-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی شیب.....                                              |
| ۸۴.....  | ۵-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی جهت شیب.....                                          |
| ۸۵.....  | ۶-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی توپوگرافی.....                                        |
| ۸۶.....  | ۷-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی شبکه زهکشی.....                                       |
| ۸۸.....  | ۸-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی.....                                       |
| ۹۲.....  | ۴-۴- تلفیق لایه های اطلاعاتی به روش های فازی.....                                |
| ۹۳.....  | ۱-۴-۴- تولید لایه های اطلاعاتی به روش فازی.....                                  |
| ۹۴.....  | ۱-۴-۴- الف-تولید نقشه رقومی خطواره به روش فازی.....                              |
| ۹۴.....  | ۱-۴-۴- ب-تولید نقشه رقومی تراکم نقاط برخورد شکستگی ها به روش فازی.....           |
| ۹۵.....  | ۱-۴-۴- ج-تولید نقشه رقومی زمین شناسی به روش فازی.....                            |
| ۹۶.....  | ۱-۴-۴- د-تولید نقشه های رقومی شیب و جهت شیب به روش فازی.....                     |
| ۹۸.....  | ۱-۴-۴- ه-تولید نقشه رقومی ارتفاعی به روش فازی.....                               |
| ۹۸.....  | ۱-۴-۴- و-تولید نقشه رقومی زهکشی به روش فازی.....                                 |
| ۹۹.....  | ۱-۴-۴- ز-تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی به روش فازی.....                            |
| ۱۰۰..... | ۲-۴-۴- تلفیق لایه های اطلاعاتی.....                                              |
| ۱۰۱..... | ۲-۴-۴- الف- عملگر فازی "حاصلضرب جبری".....                                       |
| ۱۰۲..... | ۲-۴-۴- ب- عملگر فازی "جمع جبری فازی".....                                        |
| ۱۰۴..... | ۲-۴-۴- ج- عملگر فازی "گاما".....                                                 |

فصل پنجم: اعتبارسنجی، نتایج و پیشنهادات..... ۱۰۷

۱-۵- اعتبارسنجی ..... ۱۰۸

۲-۵- جمع بندی و نتایج ..... ۱۱۷

۳-۵- پیشنهادات ..... ۱۱۹

فهرست منابع: ..... ۱۲۱

## فهرست شکل‌ها

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| شکل ۱-۲: آثار حفرات کارستی درون سنگهای آهکی.....                                                             | ۱۵ |
| شکل ۲-۲: نحوه تشکیل سفره آب زیرزمینی در محیط کارستی.....                                                     | ۱۶ |
| شکل ۳-۲: موقعیت محدوده مورد مطالعه در برگه یک صدهزارم شاهرود.....                                            | ۳۷ |
| شکل ۱-۳: تصویر ماهواره ای منطقه مورد مطالعه.....                                                             | ۴۳ |
| شکل ۲-۳: مراحل اجرایی روشکار پتانسیلیابی آبهای زیرزمینی در محیط GIS.....                                     | ۴۴ |
| شکل ۳-۳: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۳، ۲، و ۱.....                                                          | ۵۱ |
| شکل ۴-۳: آشکارسازی جهت رسیدن به یک تصویر واضح و روشن از باندهای ۷، ۴، و ۲ در محیط RGB.....                   | ۵۳ |
| شکل ۵-۳: تصویر مجازی رنگی حاصل ترکیب باندهای ۵، ۳ و ۱ به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی.....              | ۵۴ |
| شکل ۶-۳: تصویر ترکیبی حاصل از تلفیق باندهای مولفه‌های اصلی.....                                              | ۵۹ |
| شکل ۷-۳: تصویر PC1 بعد از اجرای فیلتر جهتی در راستای ۴۵ درجه برای تفکیک خطواره‌ها.....                       | ۶۰ |
| شکل ۸-۳: استخراج رقومی خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه از تصویر ماهواره‌ای ETM+ در محیط نرم‌افزار ArcGIS..... | ۶۳ |
| شکل ۹-۳: نمودار گلسرخی خطواره‌ها در محدوده مورد بررسی.....                                                   | ۶۴ |
| شکل ۱۰-۳: نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....                                                       | ۶۵ |
| شکل ۱۱-۳: نقشه رقومی ارتفاعی منطقه (DEM).....                                                                | ۶۷ |
| شکل ۱۲-۳: نقشه رقومی شیب منطقه.....                                                                          | ۶۸ |
| شکل ۱۳-۳: نقشه جهت شیب در محدوده مورد مطالعه.....                                                            | ۶۹ |
| شکل ۱۴-۳: نقشه رقومی زهکشی منطقه.....                                                                        | ۷۰ |
| شکل ۱۵-۳: نقشه NDVI منطقه مورد مطالعه.....                                                                   | ۷۱ |
| شکل ۱-۴: لایه اطلاعاتی تراکم طول خطواره‌ها در منطقه.....                                                     | ۷۸ |
| شکل ۲-۴: لایه اطلاعاتی تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها.....                                                      | ۷۹ |
| شکل ۳-۴: لایه اطلاعاتی رقومی زمین‌شناسی.....                                                                 | ۸۲ |
| شکل ۴-۴: لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی وزن‌دهی شده.....                                                           | ۸۲ |
| شکل ۵-۴: لایه اطلاعاتی شیب منطقه.....                                                                        | ۸۴ |
| شکل ۶-۴: لایه اطلاعاتی جهت شیب.....                                                                          | ۸۵ |

- شکل ۴-۷: لایه اطلاعاتی ارتفاعی منطقه..... ۸۶
- شکل ۴-۸: لایه اطلاعاتی زهکشی منطقه..... ۸۸
- شکل ۴-۹: لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی منطقه..... ۹۰
- شکل ۴-۱۰: نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه به روش همپوشانی شاخص..... ۹۱
- شکل ۴-۱۱: نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه به روش همپوشانی شاخص وزن دار..... ۹۲
- شکل ۴-۱۲: نقشه رقومی طول خطواره منطقه به روش فازی..... ۹۴
- شکل ۴-۱۳: تولید نقشه رقومی تراکم نقاط برخورد شکستگی ها در منطقه به روش فازی..... ۹۵
- شکل ۴-۱۴: تولید نقشه رقومی زمین شناسی منطقه به روش فازی..... ۹۶
- شکل ۴-۱۵: نقشه شیب منطقه به روش فازی..... ۹۷
- شکل ۴-۱۶: نقشه جهت شیب منطقه به روش فازی..... ۹۷
- شکل ۴-۱۷: نقشه ارتفاعی منطقه به روش فازی..... ۹۸
- شکل ۴-۱۸: تولید نقشه زهکشی منطقه به روش فازی..... ۹۹
- شکل ۴-۱۹: تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی منطقه به روش فازی..... ۱۰۰
- شکل ۴-۲۰: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از عملگر فازی "حاصل ضرب جبری"..... ۱۰۲
- شکل ۴-۲۱: تولید نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از عملگر جمع جبری فازی..... ۱۰۳
- شکل ۴-۲۲: نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از عملگر گاما در روش فازی..... ۱۰۵
- شکل ۵-۱: موقعیت ایستگاه های ژئوفیزیکی..... ۱۰۸
- شکل ۵-۲: موقعیت سونداژهای الکتریکی در مطالعه ژئوالکتریک..... ۱۰۹
- شکل ۵-۳: لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی..... ۱۱۱
- شکل ۵-۴: نقشه تراکم نقاط قطعی وجود آب زیرزمینی..... ۱۱۱
- شکل ۵-۵: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش همپوشانی شاخص با لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی..... ۱۱۳
- شکل ۵-۶: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش همپوشانی شاخص وزن دار با لایه اطلاعاتی منابع آب زیرزمینی..... ۱۱۴
- شکل ۵-۷: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش فازی حاصل ضرب جبری فازی با لایه اطلاعاتی آب زیرزمینی..... ۱۱۵
- شکل ۵-۸: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش فازی حاصل جمع جبری فازی با لایه اطلاعاتی آب زیرزمینی..... ۱۱۶
- شکل ۵-۹: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش فازی گاما با لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی..... ۱۱۷

## فهرست جدول ها

- جدول ۱-۱: برخی مطالعات انجام شده روی موضوع اکتشاف آب با استفاده از دورسنجی..... ۹
- جدول ۱-۳: محدوده طول موج و مشخصه باندهای مورد استفاده در تصاویر..... ۴۸
- جدول ۲-۳: واحدهای سنگی موجود در منطقه و مساحت هر کدام از آنها..... ۶۶
- جدول ۱-۴: امتیاز دهی برای تراکم طول خطواره‌ها..... ۷۸
- جدول ۲-۴: انواع وزن های مورد نیاز برای واحدهای سنگی منطقه..... ۸۱
- جدول ۳-۴: امتیازدهی برای میزان شیب منطقه..... ۸۳
- جدول ۴-۴: امتیاز دهی در نظر گرفته شده برای جهات شیب مختلف..... ۸۵
- جدول ۵-۴: امتیاز دهی برای ارتفاع توپوگرافی منطقه..... ۸۶
- جدول ۶-۴: امتیازدهی برای چگالی زهکشی منطقه..... ۸۷
- جدول ۷-۴: امتیازدهی برای پوشش گیاهی منطقه..... ۸۹
- جدول ۸-۴: امتیازدهی برای لایه‌های اطلاعاتی مختلف برای روش همپوشانی شاخص وزن‌دار..... ۹۲
- جدول ۱-۵: خلاصه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژزنی الکتریکی در منطقه تپال..... ۱۱۰
- جدول ۲-۵: مساحت کلاس های مختلف نقشه‌های پتانسیل تهیه شده به روش‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع..... ۱۱۲

# **فصل اول**

## **کلیات و اهداف پایان نامه**

## ۱-۱- مقدمه

تاریخچه بهره برداری از آب‌های زیرزمینی، به گذشته‌های دور بر می‌گردد. قبل از بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، بشر در کنار رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و چشمه‌ها زندگی می‌کرده است. مسلماً یکی از قدم‌های بزرگ تمدن زمانی برداشته شد که انسان راه به‌دست آوردن آب با وسایل مصنوعی را یافت [نسب، ۱۳۹۰]. از دیرباز در مناطق خشک آسیا نیز بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی صورت می‌گرفته است. اولین راه بهره‌برداری از آب زیرزمینی احتمالاً چاه بوده است. قدیمی‌ترین چاه آبی که تاکنون به‌جای مانده در دره رود سند است؛ که ساختمان آن را به ۶۰۰۰ سال پیش مربوط می‌دانند. مصریان در ۳۰۰۰ سال قبل از میلاد مسیح در حفر چاه در زمین‌های سنگی مهارت داشته‌اند. چینیان قدیم با روش حفاری آهسته، که سال‌ها و بلکه ده‌ها سال طول می‌کشید و شبیه روش حفاری ضربه‌ای امروزی بود، چاه‌هایی با عمق اعجاب‌انگیز ۱۵۰۰ متر نیز حفر کرده‌اند [صدقت، ۱۳۸۷].

یکی از ابتکارات بشر در استفاده از آب‌های زیرزمینی در گذشته ساختن قنات یا کاریز بوده است که مبتکر ساختن آن ایرانیان بوده‌اند. قدمت قنات در ایران حدود ۳۰۰۰ سال می‌باشد. آثار قنات‌های قدیمی در نقاط مختلف کشور ما به فراوانی دیده می‌شود. طول پاره‌ای از این قنات‌ها به ده‌ها کیلومتر می‌رسد [شریفی، ۱۳۹۱].

پیرپرو (۱۶۸۰-۱۶۰۸) و ادمه ماریو (۱۶۸۴-۱۶۲۰)، دانشمندان فرانسوی، اولین کسانی بودند که موفق شدند منشأ اصلی آب‌های زیرزمینی و سطحی را تشخیص دهند. پرو با اندازه‌گیری مقدار بارندگی و آب جاری در یک حوضه نشان داد که مقدار آب جاری خیلی کمتر از مقدار باران بوده است. ماریو ضمن تأیید تجربه پرو، راجع به نفوذ آب در زیرزمین بررسی‌هایی انجام داد و نتیجه‌گیری کرد که چشمه‌ها با بارانی که به زمین نفوذ می‌کند، تغذیه می‌شوند [ملکیان، ۱۳۹۱].

## ۱-۲- اهمیت استفاده از آب‌های زیر زمینی

با توجه به رشد جمعیت، توسعه شتابان اقتصاد و گرم شدن زمین در اثر گازهای گلخانه‌ای، تشدید مصرف و استفاده نامطلوب از منابع آب شیرین، پیش‌بینی شده است که تا سال ۲۰۲۵ تقریباً ۳/۵ میلیارد نفر در کشورهای دچار بحران آب زندگی کرده و کمتر از ۱/۲ میلیارد نفر به آب سالم دسترسی خواهد داشت و تا سال ۲۰۵۰ بیش از ۴/۵ میلیارد نفر از مردم جهان در معرض صدمات و زیان‌های ناشی از کمبود و آلودگی آب قرار خواهند گرفت. کمبود آب تاثیر شدیدی در دسترسی به غذا، سلامتی انسان، معیشت و توسعه اقتصادی دارد [رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰].

آب زیرزمینی یکی از مهم‌ترین و بزرگ‌ترین منابع تأمین آب شیرین مورد نیاز انسان است، که بعد از یخچال‌ها و یخ‌پهنه‌ها، بالاترین ذخیره آب شیرین زمین را به خود اختصاص می‌دهد. امروزه بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، برای مصارفی چون کشاورزی، صنعت و شرب توسعه زیادی پیدا کرده است. در مناطق خشک و دور از سایر منابع تولید آبی چون رودخانه‌ها و دریاچه‌های آب شیرین، غالباً تنها راه تأمین آب برای مصارف مختلف، استفاده از منابع آب زیرزمینی است. علی‌رغم استخراج پرهزینه‌تر آب‌های زیرزمینی نسبت به سایر منابع نظیر رودخانه‌ها، به دلایل زیر منابع آب‌های زیرزمینی بیشتر مورد توجه است [صداقت، ۱۳۸۷].

۱ - معمولاً آب‌های زیرزمینی عاری از جانداران بیماری‌زا است و احتیاج به تصفیه ندارد.

۲ - دمای آب‌های زیرزمینی نسبتاً ثابت و برای عمل تبادل حرارتی در کارخانه‌ها مفید است.

۳ - ترکیب شیمیایی آب‌های زیرزمینی معمولاً ثابت است.

۴ - آب‌های زیرزمینی غالباً بی‌رنگ و فاقد مواد تیره کننده است.

۵ - آلودگی‌های زیستی و رادیواکتیو کمتر روی آب زیرزمینی تأثیر دارد.

۶ - آب‌های زیرزمینی غالباً تحت تأثیر خشک‌سالی‌های کوتاه مدت قرار نمی‌گیرد.

۷ - در بسیاری از مناطقی که آب سطحی قابل اطمینانی وجود ندارد، آب‌های زیرزمینی غالباً در دسترس است.

استفاده از آب‌های زیرزمینی در کشور ما، که فاقد منابع آب سطحی فراوان است، از دیرباز رواج بسیار داشته است. امروزه نیز بخش مهمی از آب‌های مورد نیاز، به‌ویژه در کشاورزی و برای مصارف شهری، از منابع زیرزمینی تأمین می‌شود. در حال حاضر در سطح کشور سالانه حدود ۷۸ میلیارد مترمکعب آب از منابع زیرزمینی برداشت می‌شود. این رقم بخش بزرگی از کل آب‌های مصرفی در کشور ما را تشکیل می‌دهد. مقایسه این رقم با حجم جریان‌های سطحی، اهمیت استفاده از آب‌های زیرزمین را در ایران نشان می‌دهد. بنا به آمار موجود حجم تقریبی جریان‌های سطحی در حوضه‌های آبریز کشور به طور متوسط سالانه حدود ۷۷ میلیارد مترمکعب است، که تمام این آب نیز توسط سدهای مخزنی مهار نشده و بخشی از آن، به‌ویژه در ماه‌هایی از سال که نیاز کمتری به آب وجود دارد، هدر می‌رود [صدقت، ۱۳۸۷].

### ۱-۳- عوامل موثر در تجمع منابع آب‌های زیرزمینی

علی‌رغم این‌که آب در زیرزمین در منافذ و فضاهای خالی سنگ‌ها و خاک‌ها جمع می‌شود، اما همه آب موجود در زیرسطح زمین به راه‌های معمولی، مثل حفر چاه، قابل برداشت نیست. هنگامی که چاهی در زمین حفر می‌شود، ممکن است به خاک‌ها یا سنگ‌های مرطوب یا حتی اشباع از آب برخورد کند. ولی تا زمانی که این آب‌ها نتوانند آزادانه به‌داخل چاه تراوش کنند، مستقیماً قابل بهره‌برداری نیستند. "آب زیرزمینی" یا "آب زیر سطحی" اصطلاحی است که به تمام آب‌های موجود در زیر سطح زمین اطلاق می‌شود. قسمت اعظم آب موجود در زیر زمین بخشی از "چرخه آب" است. بنابراین آب باران و برف (به طور کلی آب‌های جوی) منشاء اصلی آب‌های زیرزمینی است. که یکی از

عوامل موثر در تعیین منابع آب زیرزمینی است و در بررسی‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد [قبادی،

۱۳۸۶]

حجم آب موجود در منافذ خالی سنگ‌ها و خاک‌ها ممکن است نسبتاً کم یا زیاد باشد. به علاوه، جابجایی آب نیز در سنگ‌های مختلف متغیر است. امکان تشکیل مخزن آب زیرزمینی و قابلیت آبدهی هر مخزن قبل از هر چیز به ویژگی‌های فیزیکی و سنگ‌شناسی محیط‌های متخلخل وابسته است. از این‌رو بررسی خصوصیات سنگ‌ها و منافذ موجود در آن‌ها، از نظر مطالعه آب‌های زیرزمینی اهمیت زیادی دارد [رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰].

این موضوع یعنی شرایط فیزیکی محیط را می‌توان با عوامل مختلفی مثل توپوگرافی سطح زمین، شیب منطقه مورد مطالعه و میزان پوشش گیاهی بررسی نمود و علاوه بر آن جنس واحدهای سنگی و ترکیب و تخلخل یا عدم تخلخل، از مواردی است که تاثیر زیادی در تجمع یا ذخیره سازی آب سازندها دارد. سنگ‌های سطحی، غالباً دارای فضاهای خالی یا منافذی هستند که آب می‌تواند درون آن‌ها جمع شده و به حرکت درآید. اختلافات موجود در شکل، اندازه، تعداد، نحوه ارتباط و ترتیب قرار گرفتن منافذ سنگ‌ها، نتیجه فرآیندهای زمین‌شناسی مختلف در تشکیل سنگ‌ها و تغییرات بعدی نظیر تکتونیک، گسل‌خوردگی، چین‌خوردگی هوازدگی در آن‌ها است. منافذ موجود در سنگ‌ها، اغلب کوچک و در ارتباط با هم می‌باشند. ولی گاهی نیز در بعضی سنگ‌ها فضاهای خالی بزرگ یافت می‌شود. مثلاً در سنگ‌های آهکی، مجاری بزرگ زیرزمینی و غارها ممکن است توسعه پیدا کرده باشد. در پاره‌ای از سنگ‌ها نیز ممکن است منافذ سنگ بی‌ارتباط باهم باشند و در نتیجه آب در درون سنگ قادر به حرکت نباشد [رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰].

به منظور شناخت و بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی، آشنایی با کارست و منابع آب موجود در کارست بسیار ضروری می‌باشد؛ زیرا آب شرب حدود ۲۵٪ از جمعیت جهان از منابع آب موجود در سنگ‌های کارستی تامین می‌شود. در شرایط فعلی، منابع فراوانی از آب زیرزمینی مناسب به صورت

آبخوان‌های کارستی در زاگرس جنوبی، زاگرس شمالی، البرز و ایران مرکزی وجود دارد؛ که شناخت، ارزیابی و بهره‌برداری از آن‌ها در گرو آشنایی با مناطق کارستی و مسائل کارست می‌باشد [قبادی، ۱۳۸۶].

در تشکیل یک منبع آب زیرزمینی یا تشکیل یک سفره، عوامل موثر زیادی وجود دارند؛ که می‌توان به مواردی نظیر میزان بارش سالانه در منطقه، میزان پوشش گیاهی، تمرکز و چگالی خطواره‌ها، گسل‌خوردگی‌ها، نوع واحدهای سنگی و میزان سالم و یا هوازده بودن آن‌ها، توپوگرافی منطقه مورد مطالعه و میزان صاف یا ناهمواری، شیب منطقه و میزان شبکه آبراهه‌ای و تمرکز یا جهت‌یافتگی آنها که بر میزان نفوذپذیری واحدهای سنگی و عوامل نظیر اثر دارد؛ اشاره نمود. برای تهیه و تعیین میزان اثربخشی این عوامل ابتدا لازم است که این موارد در منطقه مورد مطالعه بررسی شده و در نهایت میزان اثرگذاری آن‌ها وزن‌دهی و سپس با هم تلفیق شوند؛ که در این پایان‌نامه برای انجام این مهم، از ترکیب دو فناوری سنجش از دور<sup>۱</sup> و GIS<sup>۲</sup> استفاده شده است.

#### ۱-۴- کلیاتی راجع به سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

سیستم اطلاعات جغرافیایی یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت و تجزیه و تحلیل اطلاعات مکانی است؛ که قابلیت جمع‌آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات جغرافیایی (مکانی) را دارد. تکنولوژی GIS با جمع‌آوری و تلفیق اطلاعات پایگاه داده‌های معمولی، به وسیله تصویرسازی و استفاده از آنالیزهای جغرافیایی، اطلاعاتی را برای تهیه نقشه‌ها فراهم می‌سازد. این اطلاعات به منظور واضح‌تر جلوه دادن رویدادها، پیش‌بینی نتایج و تهیه نقشه‌ها به کار گرفته می‌شوند [ورشوساز، ۱۳۸۲].

---

<sup>۱</sup> Remote Sensing (RS)

<sup>۲</sup> Geographic Information System (GIS)

امروزه سنجش از دور به عنوان یک ابزار بسیار قوی مطرح است؛ که جایگاه خاصی در پایش منابع طبیعی به ویژه منابع آب دارا می باشد. با توجه به اینکه وسعت بسیار زیادی از سطح زمین پوشیده از آب است، جهت مطالعات منابع آب، اقدامات میدانی کاری پردردسر و پرهزینه بوده و جایگاه خود را به پردازش تصاویر ماهواره ایی داده است. اقداماتی نظیر بررسی کیفیت آب شامل مطالعات شوری، بررسی مواد معلق و رسوب، بررسی رنگ آب، بررسی وجود فیتوپلانکتون ها و جلبک ها در آب، میزان کلروفیل و همچنین مطالعات کمی منابع آب شامل اندازه گیری های تغییرات عمق و یا ژرفاسنجی منابع آب از جمله اقداماتی است که می توان به کمک سنجش از دور انجام داد [ملکیان، ۱۳۹۱].

داده های سنجش از دور به دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش های تکراری و ارزان بودن، در مقایسه با سایر روش های گردآوری اطلاعات از قابلیت های ویژه ای برخوردار است که امروزه عامل نخستین در مطالعه سطح زمین و عوامل تشکیل دهنده آن محسوب می شود. امکان رقومی بودن داده ها موجب شده است که سیستم های کامپیوتری بتوانند از این داده ها به طور مستقیم استفاده کنند و سیستم های داده های جغرافیایی و سیستم های پردازش داده های ماهواره ایی با استفاده از این قابلیت، طراحی و تهیه شده است. سهل الوصول بودن داده ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و دقت بالای آنها از امتیازات خاص این فن محسوب می شود [گروه اطلاعات زمین مرجع سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۹].

## ۱-۵- سابقه مطالعاتی در زمینه آب های زیرزمینی

مطالعات ژئوالکتریکی و همچنین گرانی سنجی، هر یک بطور جداگانه برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی در مناطق مختلف انجام شده است. از مطالعات انجام شده با استفاده از روش ژئوالکتریک می توان به تحقیق تاپفر و همکاران (۱۹۷۳)، اولورون و فاسویی (۱۹۹۳)، کالینسکی و همکاران

(۱۹۹۴)، اوگور (۲۰۰۰) و یاداف و سینگ (۲۰۰۷) اشاره نمود [Tapfer et al, 1973; Olorunfemi & Fasuyi, 1993; Kalinski et al, 1994; Yugur, 2000; Yadav and Singh, 2007].

با توجه به وجود اختلاف چگالی در سنگهای کارستی آبدار می‌توان اکتشاف سفره های آب کارستی را به روش گرانی‌سنجی نیز انجام داد. حاجیان در سال ۱۳۸۸ با تحقیقی تحت عنوان اکتشاف قناتهای زیرزمینی مدفون با استفاده از داده های میکروگرانی سنجی این موضوع را اثبات کردند [حاجیان، ۱۳۸۸]. ون‌نوستراند (۱۹۷۶)، علی و وایتلی (۱۹۸۱)، میچل (۱۹۹۶)، مورتی (۲۰۰۱)، توماس جاکوب و همکاران (۲۰۰۸) و لانگرژن و همکاران (۲۰۰۹) نیز در تحقیقات خود امکان اکتشاف منابع آب با روش گراویمتری را ثابت کردند. [Van Nostrand, 1976; Ali and Whitely, 1981; Michele, 1996; Murty, 2001; Jacob et al, 2008; Longuevergne et al, 2009]

اکتشاف منابع آب با روشهای دورسنجی نیز ممکن می‌باشد. مارینو در سال ۱۹۷۶، سرینیواس و کریشنامورتی در سال ۱۹۹۶ و کریشنامورتی و همکاران در سال ۲۰۰۰ در مقالات خود این موضوع را به اثبات رساندند. [Marino, 1976; Krishnamurthy & Srinivas, 1996; Krishnamurthy et al, 2000]

در جدول ۱-۱ به برخی دیگر از مطالعات انجام شده به‌منظور پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی با استفاده از روش های دورسنجی اشاره شده است. در این جدول به هر یک از فاکتورهای دخالت داده شده در هر کدام از تحقیقات به عمل آمده و همچنین نتیجه نهایی تحقیق اشاره شده است.

از کارهای تلفیقی انجام شده می‌توان به تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی، دورسنجی و زمین‌شناسی توسط شاهی در سال ۱۳۸۹، تلفیق داده‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و گرانی‌سنجی توسط رشیدی گویا در سال ۱۳۸۹، تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی و هیدروژئولوژی برای اکتشاف آب توسط ابراهیم و همکاران در سال ۱۹۹۲، تلفیق اندازه‌گیریهای گرانی، مغناطیس و ژئوالکتریک جهت اکتشاف آب توسط سلطان در سال ۲۰۰۷ و تلفیق داده‌های دورسنجی و گرانی‌سنجی در شناخت منابع آب زیرزمینی توسط فوکودا و همکاران در سال ۲۰۰۹ را اشاره کرد [شاهی، ۱۳۸۹؛ رشیدی گویا، ۱۳۸۹؛ Ibrahim et al, 1992; Sultan, 2007; Fukuda et al, 2009].

جدول ۱-۱: برخی مطالعات انجام شده روی موضوع اکتشاف آب با استفاده از دورسنجی [Mashaal Al Saud, 2010]

| محقق                | سال  | فاکتورهای درگیر در مطالعه                                      | نتیجه       |
|---------------------|------|----------------------------------------------------------------|-------------|
| میسر                | ۱۹۶۳ | شکستگی                                                         | نارضا یتبخش |
| راج و لاریجیا       | ۱۹۷۸ | شکستگی                                                         | نارضا یتبخش |
| تیلور               | ۱۹۸۰ | شکستگی ها و گسل ها                                             | نارضا یتبخش |
| ال شازلی و همکاران  | ۱۹۸۳ | پوشش گیاهی، ویژگی های ژئومورفولوژیکی، کاربری زمین و زمین شناسی | نامشخص      |
| سیلان               | ۱۹۸۳ | سنگ شناسی، مورفولوژی، جنس خاک و کاربری زمین                    | نارضا یتبخش |
| سلمان               | ۱۹۸۳ | زهکشی و آبراهه ها                                              | نامشخص      |
| احمد و همکاران      | ۱۹۸۴ | شکستگی ها و آبراهه ها                                          | نامشخص      |
| ال باز              | ۱۹۹۲ | توپوگرافی، شکستگی و آبراهه ها                                  | رضا یتبخش   |
| گوستافسون           | ۱۹۹۴ | شکستگی ها و پوشش گیاهی                                         | رضا یتبخش   |
| تیو                 | ۱۹۹۵ | شکستگی ها و خطواره ها                                          | رضا یتبخش   |
| ساندر و همکاران     | ۱۹۹۶ | پوشش گیاهی، زهکشی و آبراهه ها، سنگ شناسی و شکستگی ها           | رضا یتبخش   |
| ساوان و همکاران     | ۱۹۹۶ | سنگ شناسی و خطواره ها                                          | رضا یتبخش   |
| ادت و همکاران       | ۱۹۹۸ | شکستگی ها و آبراهه ها                                          | رضا یتبخش   |
| رابینسون و همکاران  | ۱۹۹۹ | شکستگی ها و آبراهه ها                                          | نامشخص      |
| داس                 | ۲۰۰۰ | زمین شناسی، مورفولوژی، جنس خاک، کاربری زمین و شکستگی ها        | نامشخص      |
| بلال و عمار         | ۲۰۰۲ | شکستگی ها، آبراهه ها و سنگ شناسی                               | رضا یتبخش   |
| سنر و همکاران       | ۲۰۰۵ | زمین شناسی، شکستگی و کاربری زمین                               | رضا یتبخش   |
| کومار و همکاران     | ۲۰۰۷ | مورفولوژی، زمین شناسی، شیب، شکستگی ها                          | رضا یتبخش   |
| گاناپورام و همکاران | ۲۰۰۸ | مورفولوژی، زمین شناسی، آبراهه ها و زهکشی، شیب و کاربری زمین    | نامشخص      |

داده‌های رقومی ماهواره‌ای بیشترین تاثیر را در مطالعات آب‌های زیرزمینی برعهده دارند. تکنیک GIS بزرگترین راه ادغام، تفسیر و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با منابع آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌آورد. ادغام لایه‌های اطلاعاتی تاثیرگذار در شناسایی منابع آب زیرزمینی در محیط GIS باعث فهم بهتر و دقیق‌تر عوامل کنترل کننده این منابع، در مقایسه با سایر روش‌ها می‌شود. از جمله مطالعات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به تحقیق طباطبایی و فروغی نسب در سال ۱۳۹۰ اشاره نمود؛ که در آن از سیستم اطلاعات جغرافیایی برای اکتشاف منابع آب جدید در منطقه اردکان استان یزد بهره برده است. از دیگر تحقیقات انجام گرفته با کمک GIS می‌توان به تحقیق کاندراپوس و همکاران در سال ۲۰۱۰، سی‌سی‌اوقلو در سال ۲۰۱۲، لیو و همکاران در سال ۲۰۱۲ و تالوکدار و همکاران در سال ۲۰۱۳ اشاره نمود [طباطبایی و فروغی نسب، ۱۳۹۰؛ Chandra Bose et al, 2010; Cicioglu, 2012; Liu et al, 2012; Talukdar et al, 2013]

## ۱-۶- ضرورت انجام کار

امروزه دسترسی به منابع آب یکی از مهمترین چالشهای دولتها و ملتهاست. چرا که با افزایش جمعیت و فعالیت انسان‌ها مصرف آب نیز زیادتر می‌شود. این در حالی است که مقدار آب کره زمین ثابت است و در نتیجه نیاز و وابستگی انسان به آب بیشتر می‌شود. با توجه به افزایش نیاز به آب و اینکه تنها منبع مطمئن بهره‌برداری در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند شهر شاهرود، سفره‌های آب زیرزمینی می‌باشد، لذا نقش مدیریت صحیح بهره‌برداری و حفاظت آب‌های زیرزمینی پررنگ‌تر می‌گردد. حفاظت و نگهداری کیفیت آب زیرزمینی در یک حوزه وسیع مستلزم داشتن یک دید کلی از وضعیت و امکانات بالقوه منابع آب زیرزمینی در آن منطقه می‌باشد.

در حال حاضر روش‌های متعددی جهت مطالعه منابع آب زیرزمینی استفاده می‌شود؛ ولی مثل تمامی روش‌های اکتشافی کاربرد سلسله مراتبی آن‌ها و اولویت دادن به روش اکتشافی در مراحل زمانی مختلف سبب خواهد شد که در بحث هزینه‌ها و زمان صرفه‌جویی گردد. در اکتشاف منابع آب

زیرزمینی از روش‌های پیمایش زمینی و روش‌های مختلف ژئوفیزیک استفاده می‌شود. در سال‌های اخیر توسعه فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و فراگیر شدن این روش در علوم مختلف، در مطالعات آب زیرزمینی هم کاربرد فراوانی یافته و در هیدرولوژی سطحی و زیرسطحی، تعیین نقاط پتانسیل‌دار، میزان آلودگی آن‌ها، کیفیت آب زیرزمینی و .... کاربرد پیدا کرده است.

با توجه به ویژگی‌های فناوری سنجش از دور مانند دید فرامنطقه‌ای، در دسترس بودن، هزینه پائین و سرعت در به نتیجه رسیدن آن، سبب شده که بتوان از آن در شروع عملیات اکتشافی منابع زیرسطحی استفاده نمود. همچنین با توجه به قرارگیری منطقه شاهرود در نواحی نیمه خشک و احساس کمبود شدید آب در منطقه، ضرورت استفاده از روش‌های سریع دوجندان شده که می‌تواند نقشی موثر در شناسایی منابع آبی منطقه داشته باشد.

این تحقیق با هدف شناساندن نقش سنجش از دور در مطالعات منابع آب تدوین گردیده است؛ تا راه- گشایی باشد در استفاده از این تکنیک در مدیریت منابع آب کشور.

## ۱-۷- روش تحقیق و مراحل کار

به‌طور خلاصه در انجام این تحقیق موارد زیر به انجام خواهد رسید:

۱- تهیه کلیه داده‌های موجود و مرتبط در منطقه از زمین‌شناسی، توپوگرافی و ...

۲- خرید اطلاعاتی مورد نیاز مثل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های رقومی و ...

۳- پردازش اولیه و نهایی تصاویر ماهواره‌ای و آماده‌سازی برای استخراج الگوهای مورد نیاز

۴- تهیه نقشه‌های رقومی موضوعی مورد نیاز مانند خطواره‌ها، سنگ‌شناسی و ...

۵- تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در روش‌های مختلف

۶- ارزیابی و وزن‌دهی کنترل‌کننده‌های منابع آب زیرزمینی

۷- تهیه نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی با ادغام و تلفیق لایه‌های مختلف

۸- اعتبارسنجی نتایج داده‌های دیگر

## ۱-۸-اهداف و ساختار پایان نامه

در این تحقیق با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و فناوری سنجش از دور، داده‌های هیدروژئولوژی، داده‌های زمین‌شناسی و همچنین برداشتهای صحرایی مستقیم در منطقه و استفاده از سامانه سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تلفیق این داده‌ها قصد آن وجود دارد که مناطق مستعد وجود سفره آب زیرزمینی به نقشه درآورده شود. برای اعتبارسنجی این نقشه نیز از داده‌های قطعی وجود سفره‌ی آب زیرزمینی نظیر چاه‌های فعال و غیرفعال و مطالعات ژئوفیزیکی در منطقه استفاده خواهد شد

در فصل اول کلیاتی از موضوع، تاریخچه و سابقه کار، ضرورت انجام، مراحل و ساختار پایان‌نامه آمده است.

در فصل دوم در خصوص ویژگی‌های عمومی محدوده مطالعاتی مطالبی عنوان خواهد شد و کلیاتی درباره مبانی آب‌یابی، سنجش از دور و GIS بیان می‌شود.

در فصل سوم روش‌های پیش‌پردازش یا تصحیح، پردازش و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای بیان خواهد شد و همچنین کلیه داده‌های اولیه به نقشه‌های رقومی مورد نیاز تبدیل می‌شود.

در فصل چهارم نقشه‌های رقومی شده در فصل قبل به لایه‌های اطلاعاتی تبدیل شده و در نرم افزار ArcGIS با روش‌های مختلف تلفیق می‌گردند.

فصل پنجم نیز اختصاص به اعتبارسنجی نتایج تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با مقایسه با داده‌های موجود دیگر، نظیر چاه‌های موجود و نتایج برداشتهای ژئوفیزیکی پرداخته می‌شود.

## **فصل دوم**

### **مبانی روش‌های اکتشاف آب و جغرافیای**

#### **محدوده مورد مطالعه**

## ۲-۱- مقدمه‌ای بر محیط تشکیل آب زیرزمینی

سفره آب به لایه یا منطقه قابل نفوذی در زیر سطح زمین گفته می‌شود که آب در آن می‌تواند جریان یابد. سفره آب همچنین باید قابلیت آبدهی خوبی داشته باشد. سفره‌های دارای بازدهی قابل توجه اغلب در رسوبات ناپیوسته شنی و ماسه‌ای تشکیل می‌شوند. آبرفتها، یعنی رسوباتی که توسط رودها در دره‌ها و دشتها برجای گذارده می‌شوند، معمولاً سفره‌های آب زیرزمینی خوبی تشکیل می‌دهند. رسوبات رسی گرچه از تخلخل زیادی برخوردارند، ولی چون قابلیت نفوذ کمی دارند، با وجود حجم آب زیادی که ممکن است در خود ذخیره کرده باشند، سفره آب زیرزمینی تشکیل نمی‌دهند و به عنوان مواد غیر قابل نفوذ در نظر گرفته می‌شوند. در سنگهای متراکم نیز آب معمولاً در نمونه‌هایی ایجاد می‌شود که از تخلخل ثانویه قابل توجه برخوردار باشند. در این میان بهترین سفره‌های آب معمولاً در سنگهای آهکی درزه و شکافدار ایجاد می‌شود. این نوع سنگ‌ها را اصطلاحاً کارست می‌نامند.

کارست از نقطه نظر زمین‌شناسی سیمای پیچیده‌ای دارد و دارای ویژگی‌های مخصوص به خود است. هر چند در اصطلاح فنی به پدیده خوردگی و انحلال توده سنگ‌های کربناته (آهک و دولومیت) کارست گفته می‌شود؛ ولی این پدیده در سایر سنگ‌های انحلال‌پذیر مانند سنگ‌های سولفات و کلروره نیز اتفاق می‌افتد. ضمن اینکه پدیده فوق در سنگ‌های آواری هم دیده می‌شود؛ برای مثال ماسه سنگ‌ها و کنگلومراهای دارای سیمان کربناته و یا سولفات تحت تأثیر انحلال کارستی خواهند شد [قبادی، ۱۳۸۶] (شکل ۲-۱).



شکل ۱-۲: آثار حفرات کارستی درون سنگهای آهکی [با اندکی تغییر، [www.web.viu.ca](http://www.web.viu.ca)]

کارست پدیده‌ایی در پوسته زمین است که آثار آن به صورت اشکال مختلف از قبیل حفرات و غارها در سطح و در زیر سطح وجود دارند. علت ایجاد چنین پدیده‌ایی به وجود شکستگی‌ها و قابلیت انحلال توده سنگ مربوط می‌شود؛ که در نتیجه آن یک سیستم آب زیرزمینی می‌تواند شکل گیرد. بنابراین، شکل‌گیری یک سیمای کارستی در گروی وجود دو عامل است: اول این که توده سنگ قابلیت انحلال داشته باشد و دوم این که زمینه تشکیل یک سیستم جریان آب زیرزمینی را داشته باشد. با این تعریف، ۲۷ درصد پوسته زمین از کارست تشکیل شده است [قبادی، ۱۳۸۶].

## ۲-۱-۱- جریان آب زیرزمینی در کارست

جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های کارستی با جریان آب در زمین‌های غیر کارستی تفاوت دارد. این موضوع نشان‌دهنده ویژگی‌های هیدروژئولوژیکی زمین‌های کارستی است. تقریباً تمام پدیده‌های زیرزمینی و سطحی که در مناطق کارستی وجود دارند، حضورشان در رابطه با جریان آب است. به این دلیل بررسی دقیق و مطالعات کامل روی انواع جریان آب و مدت ماندگاری این جریان‌ها در نواحی کارستی لازم و مفید خواهد بود. البته با توجه به شرایط زمین‌شناسی مشکل است که تأثیر توقف آب روی مناطق کارستی که به اشباع آب منجر می‌گردد، نسبت به حرکت آب در این مناطق مورد بررسی دقیق قرار گیرد و نتیجه‌ایی مستدل بیان گردد [قبادی، ۱۳۸۶]. شکل ۲-۲ نحوه تشکیل یک سیستم آب زیرزمینی در مناطق کارستی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: نحوه تشکیل سفره آب زیرزمینی در محیط کارستی [با اندکی تغییر، [www.web.viu.ca](http://www.web.viu.ca)]

## ۲-۱-۲- سیستم‌های زهکشی در کارست

چشمه‌ها مهم‌ترین زهکش‌های طبیعی آب‌های زیرزمینی هستند؛ که در مناطق کارستی تحت عنوان چشمه‌های کارستی مورد مطالعه قرار می‌گیرند. آن‌ها به صورت پراکنده در نواحی کارستی گسترش دارند. مهم‌ترین چشمه‌ها در اطراف مناطق فرسایش یافته، دره‌های رودخانه‌ایی و نزدیک سواحل دریا واقع هستند. مسئله مهم در مورد این زهکش‌های طبیعی، دائمی یا موقتی بودن آن‌هاست؛ که این موضوع با میزان بارندگی ارتباط مستقیم دارد [قبادی، ۱۳۸۶]. اما به طور کلی خصوصیات هیدروژئولوژیکی و ظرفیت چشمه‌های کارستی با چند عامل مهم نظیر وضعیت

زمین‌شناسی، جذب سطحی، میزان ناتراوا بودن مواد تشکیل دهنده آبخوان و تخلخل مفید یا موثر مواد تشکیل دهنده آبخوان موثر است.

## ۲-۱-۳- عوامل موثر در توسعه آبخوان‌های کارستی

### الف- لیتولوژی

توسعه کارست در هر سازندی و با هر توالی چینه‌شناسی امکان‌پذیر نیست. لیتولوژی مهمترین عامل کنترل‌کننده کارستی شدن تحت شرایط اقلیمی و تکتونیکی حاکم بر منطقه است. با توجه به تعریف کارست، انحلال‌پذیری از شروط اصلی تشکیل و توسعه این پدیده است که وابسته به ترکیب سنگ می‌باشد. در سازندهای کارستی هر چه درجه خلوص سنگ کربناته بالاتر باشد، امکان پیشرفت پدیده کارست در آن بیشتر است و هر چه میزان ناخالصی سنگ کربناته (عمدتاً به صورت مواد رسی) بیشتر باشد، میزان انحلال کمتر و در نتیجه توسعه درزه و شکاف کمتر است. برعکس هر گاه میزان ناخالصی (مواد رسی) کم باشد، حلالیت و در نتیجه توسعه درزه و شکاف وسیع‌تر خواهد بود. یکی از پارامترهای مهم در سازندهای کربناته نسبت میزان  $\text{CaO}$  به  $\text{MgO}$  در آنها است. به این ترتیب که هر چه این نسبت بیشتر باشد، قابلیت انحلال سنگ زیادتر می‌شود. به همین دلیل تحت شرایط یکسان در سنگ آهک نسبت به دولومیت، کارستی شدن توسعه بیشتری دارد [White, 1988].

### ب- وضعیت چینه‌شناسی

چینه‌شناسی بیانگر ضخامت، خواص سنگ‌شناسی لایه‌ها، موقعیت یک لایه نسبت به لایه‌های زیرین و بالایی و جایگاه آن در ستون چینه‌شناسی منطقه می‌باشد. ضخامت سنگ‌های کربناته در واقع محدوده گسترش سیستم کارست را مشخص می‌کند. در صورتی که سازندهای کربناته ضخامت و گسترش قابل توجهی داشته باشند، امکان افزایش آبخوان کارستی افزایش می‌یابد و چنانچه لایه‌بندی افقی باشد، ممکن است عملکرد آنها نسبت به نفوذ آب خنثی باشد. اما اگر سطوح لایه‌بندی

شیب دار باشند، میزان خلل و فرج و شکاف‌های ایجاد شده بیشتر می‌شود و شرایط نفوذ بهتر می‌شود [خدری، ۱۳۹۰؛ شکری، ۱۳۹۰].

### ج- شرایط تکتونیکی

شکستگی‌ها عامل اصلی گسترش تخلخل ثانویه، نفوذپذیری و توسعه کارست در سنگ‌های سخت محسوب می‌شود. زیرا آنها بافت اولیه و دست نخورده سنگ را بر هم زده و مناطقی خردشده را ایجاد می‌کنند؛ که در مراحل بعدی امکان نفوذ آب و گسترش انحلال در مجاری زیرزمینی را فراهم می‌نماید (شکل ۲-۳). اغلب شکستگی‌ها در اثر نیروهای تکتونیکی ایجاد می‌شوند، ولی گاهی هم هوازگی و تخریب مکانیکی عامل ایجاد این شکستگی‌ها هستند [مینویی، ۱۳۸۸]. از نظر ساختاری و ایجاد درزه و شکاف، وجود سنگ‌های کربناته، چین خوردگی، گسل، شیب لایه باعث ایجاد سیستم درز و شکاف‌های متفاوتی می‌گردد [خدری، ۱۳۹۰]. در اینجا تأثیر گسل، چین خوردگی و درزه و شکاف در شکل‌گیری کارست بررسی می‌شود.

### ج-۱- گسل

نقش گسل در کنترل و انتقال آب زیرزمینی، بسته به شرایط گسل و وضعیت منطقه می‌تواند خنثی، مثبت و یا منفی باشد. گسل‌ها با ایجاد درز و شکاف و فرآیند برشی نمودن، افزایش خردشدگی، تخلخل ثانویه و یا معبر انتقال آب به زون کارستی، می‌توانند دارای نقش مثبت باشند. در حالی که می‌توانند با جابجایی یک لایه ناتراوا و سد نمودن لایه تراوا مانع حرکت و انتقال آب گردند و یا پرشدگی شکاف گسل‌ها با مواد ناتراوای متراکم مانند کلسیت، کوارتز یا رس در توسعه کارست نقش منفی دارد و ممکن است یک زون کارستی با وجود داشتن شرایط لازم، به دلیل فرار آب از طریق گسل پتانسیل مناسبی نداشته باشد [خدری، ۱۳۹۰].

گسل‌هایی که ساز و کار کششی دارند قابلیت بیشتری برای هدایت آب دارند و برعکس گسل‌های دارای ساز و کار فشارشی مسیرهای مناسبی برای جریان و انتقال آب زیرزمینی نیستند [White, 1988].

## ج-۲- درزه و شکاف

وجود درزه و شکاف یکی از مهمترین عوامل ایجاد تخلخل و فضای لازم برای جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های سخت می‌باشد. درزه‌ها با ایجاد سطوح ضعیف در پیکره سنگ آهک امکان انحلال را در امتداد این سطوح افزایش می‌دهند و به این ترتیب مجاری نفوذ آب‌های سطحی به داخل زمین فراهم می‌شود. شکستگی‌های دارای عمق نفوذ زیاد، ارتباط هیدرولیکی مناسبی با لایه‌های مستعد کارستی شدن که رخنمون ندارند را فراهم می‌کنند [White, 1988].

هر چه تراکم درزه‌ها و میزان بازشدگی آنها بیشتر باشد، مقدار آب نفوذی به داخل سازند و توسعه کارست بیشتر خواهد بود. موثرترین سیستم شکستگی در گسترش شبکه‌های کارستی، گروهی هستند که در اثر نیروهای کششی تشکیل شده‌اند. این شکستگی‌ها کمترین مقاومت را در برابر جریان آب دارند [مینویی، ۱۳۸۸]. بنابراین درزه‌های کششی به دلیل بازشدگی زیاد دارای درجه اهمیت بالاتری نسبت به سایر انواع درزه‌ها هستند.

## ج-۳- چین خوردگی

چین‌خوردگی‌ها در اثر اعمال فشارهای تکتونیکی بر پوسته زمین حاصل می‌شوند؛ که با ایجاد تغییر در توالی چین‌شناسی، بالا آمدن و ارتفاع گرفتن سازندهای مختلف، ایجاد انواع شکستگی‌ها در دامنه‌ها، محور و یا محل پلانژها باعث پیدایش و یا عدم پیدایش پدیده کارست و آبخوان‌های کارستی می‌گردند. چین‌خوردگی و بالاآمدگی در سنگ‌ها نیز باعث ایجاد ارتفاع و افزایش شیب هیدرولیکی می‌گردد [White, 1988].

## د- اقلیم و آب و هوا

پارامترهای اقلیمی به طور عمده شامل بارش، دما و فشار گاز  $CO_2$  می‌باشد؛ که در ادامه تشریح می‌گردند.

## د-۱- بارش

بارش یکی از مهمترین عواملی است که به طور مستقیم و غیرمستقیم در پتانسیل آب‌های کارستی یک سازند مستعد برای ذخیره آب، تأثیرگذار است. مقدار و نوع بارش‌های جوی بسته به اقلیم و ارتفاع منطقه متفاوت است. هر چه حجم و مقدار بارش در ناحیه‌ای بیشتر باشد (در شرایط یکسان)، مقدار آب نفوذی به درون آبخوان کارستی بیشتر بوده و در نتیجه دبی خروجی از این آبخوان افزایش می‌یابد. نوع نزولات و شدت آن نیز در نرخ نفوذ موثر است. به این ترتیب که بارش‌های سیل آسا و ناگهانی، حجم زیادی رواناب تولید می‌کنند و در مقایسه با بارش‌های تدریجی و یا بارش برف که فرصت بیشتری برای نفوذ دارند، دارای اهمیت کمتری هستند [خدری، ۱۳۹۰؛ شکری، ۱۳۹۰].

#### د-۲- دما

عامل درجه حرارت دارای نقش دوگانه در توسعه کارست است. با افزایش درجه حرارت میزان گازکربنیک محلول در آب کاهش یافته و میزان انحلال آهک نیز کم می‌شود. از طرف دیگر درجه حرارت فعالیت موجودات ذره‌بینی که مواد آلی موجود در درزه و شکاف سنگ‌های آهکی را تجزیه می‌کنند، افزایش می‌دهد. تأثیر دیگر دما بر روی تبخیر است. تبخیر به طور غیرمستقیم آب نفوذی به داخل زمین را کاهش می‌دهد [Bogli, 1980; White, 1898].

#### د-۳- فشار گاز دی اکسید کربن

با افزایش فشار  $CO_2$ ، انحلال آهک بیشتر شده و در نتیجه توسعه کارست افزایش می‌یابد. افزایش میزان گازهای با خاصیت اسیدی در جو مانند دی اکسید کربن، باران‌های اسیدی با خاصیت خوردندگی بیشتر را تشکیل می‌دهد و نرخ انحلال سطحی درزه‌ها را افزایش می‌دهد. همچنین میزان گاز کربنیک موجود در خلل و فرج خاک‌ها در حین نفوذ آب که خود به عوامل پیچیده دیگری همچون پوشش گیاهی، مواد آلی خاک و وجود باکتری‌های هوازی تجزیه کننده آنها در پیکره خاک بستگی دارد، نقش زیادی در ادامه انحلال دیواره‌ها و افزایش پدیده دارد [خدری، ۱۳۹۰].

#### ه- پوشش گیاهی

پوشش گیاهی نیز یکی از عواملی است که می‌تواند به طور مستقیم بر توسعه کارست موثر باشد. گیاهان چندین تأثیر مثبت و یک تأثیر منفی در جذب آب و نفوذ دادن آن در زمین و نهایتاً در توسعه کارست دارند. عمده‌تأثیرات مثبت آنها ناشی از داشتن ریشه‌های نفوذ کننده در خاک و سنگ و ایجاد یک فضای نفوذپذیر در کنار آنها، افزایش  $\text{CO}_2$  در اطراف ریشه‌ها و بالا بردن اسیدیته آب که لازمه انحلال سنگ‌های کربناته است، ایجاد مانع در مقابل تولید رواناب و جلوگیری از فشردن شدن سطح خاک و در نتیجه جلوگیری از تابش مستقیم خورشید بر خاک و کاهش تبخیر از سطح خاک می‌باشد [شکری، ۱۳۹۰].

پوشش گیاهی و به ویژه درختان انبوه، یک اثر منفی در جذب آب توسط خاک نیز دارد، چون مانع از رسیدن قسمتی و یا در مواردی تمامی نزولات جوی به زمین می‌گردد. یعنی بدون آنکه بخشی از آب به زمین برسد و در زمین نفوذ کند و یا از سطح زمین قابل جمع‌آوری باشد، از همان سطح برگ‌ها و شاخه‌ها و تنه درختان تبخیر شده و مجدداً به جو بر می‌گردد [خدری، ۱۳۹۰].

## ۲-۲- مبانی روش‌های اکتشاف آب زیرزمینی

### ۲-۲-۱- مقدمه

امکان تعیین موقعیت آب‌های کارستی با استفاده از شواهد سطحی و هیدروژئولوژیکی وجود دارد، اما با این وجود، یافتن آب زیرزمینی اغلب با استفاده از مشاهدات مستقیم امکان‌پذیر نمی‌باشد [Mohd Nadun et al, 2010]. روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های غیرمستقیم اکتشاف منابع آب می‌باشد. در روش‌های ژئوفیزیکی، گام اول در مطالعات آب‌یابی، دستیابی به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه می‌باشد. داده‌های دورسنجی در مطالعه و شناخت آب‌های سطحی بسیار ارزشمند می‌باشد. با استفاده از این داده‌ها می‌توان اطلاعات بسیار دقیق از خصوصیات زمین یافت که نمی‌توان براحتی از روش‌های مشاهده زمینی به این اطلاعات رسید [Mohd Nadun et al., 2010]. کاوش‌های ژئوفیزیکی به منظور مطالعه ویژگی‌های تکتونیکی و زمین‌شناسی سازندها، تفکیک و بررسی

لایه‌های زمین، تعیین ضرایب الاستیسیته لایه‌ها، برآورد پارامترهای دینامیکی لایه‌های سطحی، بررسی رفتار لایه‌های سطحی و زیرسطحی، سفره‌های آب زیرزمینی و غیره صورت می‌گیرد. بنابراین در صورتی که نتایج حاصل از انجام این روش‌ها به طور صحیح مورد تعبیر و تفسیر واقع شوند، می‌توانند اطلاعات مفید و با ارزشی از ویژگی‌های زمین‌شناسی مناطق مورد استفاده و همچنین محدوده‌ی تجمع نهشته‌های سودمند و ویژگی‌های کمی و کیفی سفره‌های آب زیرزمینی در اختیار متخصصین قرار دهند [نیک پیمان، ۱۳۸۸].

به‌علت اهمیت اکتشاف منابع آب، تلاش در جهت کمینه نمودن هزینه‌های اقتصادی، مدت زمان اکتشاف و ریسک اکتشافی از یک سو و افزایش شانس برخورد با زون‌های خرد شده و هوازده سنگ بستر و تعیین محل‌های حفاری با آبدهی بالا و پایدار از سوی دیگر توجه محققان مختلف را به خود جلب نموده است. روش‌های بررسی و اکتشاف آبخوان‌ها را به دو دسته‌ی مستقیم و غیرمستقیم می‌توان تقسیم نمود [Kearey and Brooks, 1991].

#### الف- روش‌های مستقیم

در روش‌های مستقیم، با حفر گمانه، وضعیت آب زیرزمینی و سنگ کف در یک منطقه بررسی می‌شود. این روش‌ها پرهزینه بوده و در مرحله اکتشاف تفصیلی و در محل‌های تعیین شده به کمک روش‌های غیرمستقیم اجرا می‌شوند.

#### ب- روش‌های غیرمستقیم

متداول‌ترین روش‌های غیرمستقیم در اکتشاف منابع آب، روش‌های ژئوفیزیکی است. تاکنون بیشترین کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در صنعت نفت برای شناخت حوضه‌های نفتی جدید و نیز اکتشاف معادن برای تعیین موقعیت کانسارهای معدنی بوده است. به همین دلیل قسمت اعظم کارهای پژوهشی و توسعه دستگاه‌های ژئوفیزیکی در راستای اهداف این دو زمینه اکتشافی حرکت کرده است [داودآبادی فراهانی و آقاجانی، ۱۳۹۱].

## ۲-۲-۲- روش‌های اکتشاف ژئوفیزیکی

در حال حاضر با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی می‌توان در موارد زیر در حل مشکلات هیدروژئولوژی موفقیت داشت.

- تعیین محل لایه‌ها و حودات تکتونیکی زیرزمینی مثل شکستگی‌ها
  - تخمین سطح ایستابی و عمق لایه‌ی آبدار
  - تعیین گسترش عرضی- ضخامت و حجم لایه‌های زیرزمینی
  - تخمین تخلخل کل و ذخایر آبی در یک لایه‌ی آبدار
  - اندازه‌گیری سرعت جریان آب زیرزمینی
  - تعیین درجه شوری آبها
  - تعیین مسیر جریان‌ات رودخانه‌های زیرزمینی
  - کشف مناطق انتقال آب به دریا و بالعکس
  - تعیین محل خروج و فوران چشمه‌های گرم معدنی
- استفاده از ژئوفیزیک در زمینه مطالعات آب، ژئوتکنیک، عمران، خوردگی و آلودگی محیط زیست نسبت به زمینه‌های قبلی از سابقه کمتری برخوردار است؛ ولی در سال‌های اخیر شتاب بیشتری گرفته است. این روش‌ها به ویژه در مطالعات زیست محیطی به عنوان روشی غیرمخرب هم‌اکنون از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند. جدول ۱-۱ کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در علوم مختلف را نشان می‌دهد [Reynolds, 1998].

جدول ۱-۱ کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در علوم مختلف [Reynolds, 1998].

| کاربرد |   |   |   |   |   | پارامتر فیزیکی وابسته        | روش ژئوفیزیکی        |
|--------|---|---|---|---|---|------------------------------|----------------------|
| ۶      | ۵ | ۴ | ۳ | ۲ | ۱ |                              |                      |
| s      | s | s | s | p | p | چگالی                        | گرانی                |
| m      | — | s | p | p | p | خودپذیری مغناطیسی            | مغناطیسی             |
| s      | s | p | m | p | p | خواص کشسانی-چگالی            | لرزه نگاری شکست مرزی |
| m      | s | s | m | p | p | خواص کشسانی-چگالی            | لرزه نگاری بازتابی   |
| p      | p | p | p | m | m | مقاومت ویژه                  | مقاومت سنجی          |
| m      | p | m | p | — | — | اختلاف پتانسیل               | پتانسیل خودزا        |
| s      | m | p | m | m |   | مقاومت ویژه - ظرفیت الکتریکی | پلاریزاسیون القایی   |
| p      | p | p | p | p | s | رسانایی - خودالقایی الکتریکی | الکترومغناطیس        |
| s      | s | m | p | m | m | رسانایی                      | فرکانس بسیار پایین   |
| p      | p | p | m | — | — | ضریب دی الکتریکی             | رادار نفوذی زمین     |
| —      | m | m | p | p | s | مقاومت ویژه                  | مگنتوتلوریک          |

#### راهنمای جدول

۱ اکتشاف هیدروکربن‌ها

۲ مطالعات زمین شناسی ناحیه ایی

۳ اکتشاف کانسارهای معدنی

۴ مطالعات مهندسی

۵ مطالعات هیدروژئولوژی

۶ کاوش فضاهای خالی

p: روش اصلی (اولیه)      s: روش مکمل      m: دارای کاربرد بدون بسط برای این کاربرد      -: نامناسب

در ادامه به توضیح اجمالی روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف منابع آب پرداخته می‌شود.

## ۲-۲-۲ الف- روش‌های ژئوالکتریکی

روش ژئوفیزیکی اصلی در مطالعات و اکتشاف آب زیرزمینی، روشهای الکتریکی هستند؛ که در آن با استفاده از اختلاف بین مقاومت‌ویژه‌ی لایه‌های زیرسطحی و سفره آب زیرزمینی، پتانسیل‌یابی آب انجام می‌گیرد. روش‌های الکتریکی مجموعه‌های متنوعی از روش‌های مختلف را شامل می‌شود؛ که تقریباً در همه آنها پارامتر فیزیکی اصلی، رسانایی یا مقاومت‌ویژه طبقات زیر سطحی است. تعداد کمی از این روش‌ها از میدان‌های طبیعی زمین (پتانسیل خودزا و مگنتوتلوریک) استفاده می‌کنند و در بیشتر آنها از میدان‌های ایجاد شده توسط فرستنده دستگاه استفاده می‌شود. از کاربردهای روش‌های الکتریکی در خصوص منابع آب می‌توان شناسایی مرز آب شور و شیرین، بررسی آلودگی‌های آبهای زیرزمینی، شناسایی سطح ایستابی آب زیرزمینی و شناخت ویژگی‌هایی نظیر

تخلخل را نام برد. در بین روش‌های مختلف ژئوالکتریکی، روش مقاومت‌ویژه متداول‌ترین روش می‌باشد. مقاومت الکتریکی سنگها با یک سری فاکتورها مثل تخلخل، مقدار آب آزاد یا محصور، درجه شوری، مقاومت سنگ درونگیر و ... مرتبط است. تاکنون جهت اکتشاف منابع آب و یا شناخت مولفه‌های دیگر یک سفره آب، نظیر حجم ذخیره و یا عمق سنگ کف آن مطالعات ژئوالکتریکی بسیار زیادی در داخل و خارج کشور انجام شده است؛ که اصول کار در تمام آنها تقریباً مشابه یکدیگر می‌باشد. در این مطالعات با استفاده از یکی از آرایه‌های الکترودی، برداشتهای ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه انجام شده و بعد از پردازش داده‌های به دست آمده، به هدف اکتشافی خود رسیده‌اند [موحد دانش، ۱۳۶۴].

در ادامه، توضیحی در مورد هر یک از روش‌های الکتریکی ارائه شده است.

#### الف- روش مقاومت‌ویژه

این روش معمولاً با استفاده از تزریق جریان‌های پیوسته توسط دو الکتروود به زمین اجرا می‌شود. انتشار جریان الکتریکی بین دو الکتروود از طریق یون‌های باردار موجود در آب زیرزمینی یا کانی‌های رساناهای بعضی از سنگ‌ها صورت می‌پذیرد و با استفاده از دو الکتروود فلزی، اختلاف پتانسیل حاصل اندازه‌گیری می‌شود و از آنجا مقاومت ظاهری زمین به دست می‌آید. بر حسب چگونگی اندازه‌گیری‌ها سه روش را می‌توان ارائه کرد.

۱- تهیه پروفیل یا نقشه تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری در یک عمق بررسی مشخص

۲- بررسی تغییرات مقاومت‌ویژه ظاهری در عمق ( سونداژ زنی)

۳- تلفیقی از دو روش قبل برای ایجاد تصویر مقاومت‌ویژه طبقات زیرسطحی

این روش در مطالعه ناپیوستگی‌های قائم و افقی در خواص الکتریکی زمین و همچنین در اکتشاف توده‌های ناهنجار رسانا بکار می‌رود و امروزه بطور وسیع در مطالعات و تحقیقات هیدروژئولوژیکی به منظور بررسی‌های زیر سطحی و علی‌الخصوص در اکتشاف سفره‌های زیرزمینی بکار برده می‌شود [فتحی و همکاران، ۱۳۸۳].

## ب- روش‌های الکترومغناطیسی

در این روش میدان الکترومغناطیسی ایجاد شده به وسیله سیم‌پیچ به زمین فرستاده می‌شود و در نتیجه آن میدان ثانویه‌ای در رساناهای زیر سطحی مثل کانسارهای فلزی رسانا ایجاد شده که توسط پیچه‌های گیرنده دریافت می‌شود. با استفاده از تغییر فرکانس جریان ارسالی، عمق نفوذهای متفاوتی ملاحظه می‌شود. روش MT، روش اندازه‌گیری میدان‌های الکترومغناطیسی طبیعی فرکانس پایین است، روش VLF یا فرکانس بسیار پایین را می‌توان به نوعی روشی استاتیکی در نظر گرفت که در آن تنها به دستگاه گیرنده احتیاج است. روش‌های الکترومغناطیسی از نظر تنوع دستگاهی و آرایشهای مورد استفاده بسیار گسترده بوده و به این ترتیب در اغتشاشات، مطالعات هیدروژئولوژی و کانسارهای معدنی کاربرد زیادی دارند. البته در این روش‌ها به جز روش MT عمق بررسی‌ها زیاد نمی‌باشد [داودآبادی فراهانی و آقاجانی، ۱۳۹۱].

## ج- روش پلاریزاسیون القایی

مبنای این روش تغییرات رسانایی یا مقاومت‌ویژه با تغییر فرکانس است. در تکنیک حوزه زمان یا جریان پیوسته، زمین تحت یک جریان الکتریکی شارژ می‌شود. سپس با قطع جریان، در حالت تخلیه شدن زمین، پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود. در تکنیک حوزه فرکانس یا جریان متناوب تغییرات مقاومت‌ویژه و فرکانس اندازه‌گیری می‌شود. این روش بطور عمده در مطالعه کانسارهای فلزی استفاده می‌شود، اما در سالهای اخیر کاربرد آن در مطالعات هیدروژئولوژیکی نیز شتاب بیشتر گرفته است.

## د- روش رادار نفوذی به زمین

این روش در واقع جز روشهای الکترومغناطیسی است که در آن از گستره فرکانسی بالا (100MHz تا 10GHz) استفاده می‌شود. در این فرکانسها به جای رسانایی زمین، تراوایی دی‌الکتریک آنها پارامتر غالب است. انرژی الکترومغناطیسی فرستاده شده در مرز طبقات با ضریب تراوایی الکتریکی متفاوت دچار پراکندگی و بازتاب می‌شود. آب ضریب دی‌الکتریکی زیادی دارد ولی

این ضریب برای سنگها مقدار کمی است. بدین ترتیب از این روش بیشتر برای مطالعات آب و ناپیوستگی های زمین شناختی استفاده می شود [داودآبادی فراهانی و آقاجانی، ۱۳۹۱].

## ۲-۲-۲-ب- روش گرانی سنجی

میدان گرانی زمین به طور معمول یکنواخت نبوده و تحت تأثیر اغتشاشات محلی دستخوش تغییرات در محدوده هایی می شود؛ که در آنجا تغییرات چگالی مواد زیر سطحی وجود دارد. گرچه این بی هنجاری ها اغلب بسیار کوچک بوده و درحد یک میلیونیم میدان زمین است، ولی به وسیله دستگاه های اندازه گیری حساس می توان آن ها را اندازه گیری کرد.

روش گرانی می تواند نقش قابل توجهی در اکتشافات منابع آب زیرزمینی داشته باشد. محدوده های با چگالی کم می توانند بیانگر محیط های مناسبی از نظر تشکیل منابع آب های زیرزمینی باشند و با روش گرانی قابل شناسایی هستند. ژاکوب و همکاران در سال ۲۰۰۸ در تحقیقی با استفاده از روش گراویمتری توانستند تغییرات حجم ذخیره آب یک سفره آب زیرزمینی را ثبت کنند [Jacob et al, 2008]. عبدعلا و همکاران در سال ۲۰۰۷ با استفاده از این روش عمق سنگ بستر سفره آب

زیرزمینی را شناسایی کردند [Abd alla et al, 2007]

## ۲-۲-۲-ج- روش مغناطیس سنجی

زمین به طور طبیعی دارای میدان مغناطیسی است. تغییرات مکانی میدان مغناطیسی زمین برحسب مختصات جغرافیایی، قابل پیش بینی و دستیابی است. وجود کانی های مغناطیسی مثل مگنتیت می تواند به طور محلی یا منطقه ای در میدان زمین اغتشاش ایجاد کند. برداشتها در این روش را به دلیل گسترش میدان مغناطیسی زمین تا کیلومترها در بالای سطح زمین، می توان از طریق هواپیما، بالگرد یا ماهواره انجام داد. این روش را با توجه به اینکه سنگ های آذرین از خاصیت مغناطیسی بیشتری نسبت به سنگ های رسوبی برخوردارند، می توان در شناسایی تغییرات لیتولوژی در

مقیاس‌های بزرگ مورد استفاده قرار داد. برداشت‌ها در این روش نسبت به روش گرانی ساده‌تر ولی پردازش و تحلیل پیچیده‌تر از روش گراویمتری دارد [موحد دانش، ۱۳۶۴].

مروری کوتاه بر سابقه بررسی‌های ژئوفیزیکی در ارتباط با اکتشافات آب نشان می‌دهد که از روشهای مغناطیسی همانند روش گرانی بیشتر در مرحله شناسایی، برای بررسی زون‌های گسله و شکستگی‌ها استفاده شده است. بطور مثال در منطقه سرعین بررسی‌های اولیه نوروزی و مهرنیا در سال ۱۳۷۷ نشان داد که علاوه بر شناسایی زون‌های گسله، با توجه به تغییر خودپذیری مغناطیسی سنگهای خشک نسبت به سنگهایی که در تماس با آب قرار دارند؛ می‌توان از روش مغناطیسی برای شناسایی زون‌های حاوی آب گرم استفاده کرد. سلطان و همکاران در تحقیقی که بر روی یک سفره آب زیرزمینی در مصر انجام داد، با تلفیق روشهای مقاومت ویژه، گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی توانست یک سفره آب زیرزمینی را آشکارسازی کند. در این تحقیق از روش مقاومت ویژه برای آشکارسازی سفره آب زیرزمینی و جداسازی لایه‌های زیرسطحی از هم، از روش گرانی‌سنجی برای اکتشاف منبع آب از طریق شناخت روندهای ساختاری زیرزمینی و از روش مغناطیس‌سنجی جهت نشان دادن عمق سنگ کف و همچنین عمق سطح ایستابی و ضخامت لایه‌ی رسوبات استفاده شده است [نوروزی و مهرنیا، ۱۳۷۷].

## ۲-۲-۲-۵- روش‌های لرزه‌ای

این روش‌ها بر مبنای ایجاد انرژی با استفاده از یک چشمه مصنوعی مثل ضربه یا انفجار و انتشار آن در طبقات زیر سطحی طراحی شده است. انرژی لرزه‌ای پس از عبور از لایه‌های زیرین به گیرنده موجود در سطح می‌رسد؛ با استفاده از زمان عبور امواج از این لایه‌ها و فاصله بین چشمه و گیرنده، سرعت عبور امواج از لایه‌ها تعیین می‌شود.

کاربرد روش لرزه‌نگاری انعکاسی بیشتر در اکتشاف هیدروکربورها متمرکز است. این موضوع بعلا قدرت زیاد این روش در تصویرسازی سکانس‌های رسوبی مرتبط با مخازن هیدروکربوری واقع در

عمق‌های چند کیلومتری است. اما از کاربردهای لرزه نگاری شکست مرزی مطالعات کم عمق و با قدرت تفکیک زیاد است که در زمینه‌هایی مانند آب و مهندسی بکار گرفته می‌شود. این روش می‌تواند روش مناسبی برای تصویر سازی از افق سنگ کف در داخل زمین باشد [نوروزی، ۱۳۸۸].

## ۳-۲-۲- سنجش از دور و کاربرد آن در مدیریت منابع آب

### ۳-۲-۲- الف- مقدمه

از دیر باز روش‌های مختلفی برای جمع‌آوری داده‌ها بخصوص داده‌های مکانمند وجود داشته است. انجام مشاهدات نجومی، نقشه‌برداری زمینی، هیدروگرافی، فتوگرامتری و سنجش‌ازدور روش‌های عمده جمع‌آوری اطلاعات مکانمند می‌باشد. سنجش‌ازدور<sup>۱</sup> از زمره روش‌های جمع‌آوری داده‌ها محسوب می‌شود که در آن‌ها تماس فیزیکی با اشیاء مورد اندازه‌گیری در حداقل ممکن نگه داشته می‌شود. در مقابل روش‌های زمینی که در آن‌ها عامل انسانی وظیفه برداشت و تفسیر را بر عهده دارد و معمولاً در تماس مستقیم یا با فاصله کم از اشیاء انجام می‌شود. در سنجش‌ازدور جمع‌آوری داده‌ها به‌وسیله سنجنده انجام می‌شود [ملکیان، ۱۳۹۱].

سنجش از دور در بسیاری از زمینه‌های علمی و تحقیقاتی کاربردهای گسترده‌ای دارد. از جمله کاربردهای فن سنجش از دور می‌توان به استفاده از آن در زمین‌شناسی، آب‌شناسی، معدن، شیلات، کارتوگرافی، جغرافیا، مطالعات زیست‌شناسی، مطالعات زیست‌محیطی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، هواشناسی، کشاورزی، جنگلداری، توسعه اراضی و به‌طور کلی مدیریت منابع زمینی و غیره اشاره کرد [ملکیان، ۱۳۹۱].

داده‌های سنجش از دور به‌دلیل یکپارچه و وسیع بودن، تنوع طیفی، تهیه پوشش‌های تکراری و ارزان بودن، در مقایسه با سایر روش‌های گردآوری اطلاعات از قابلیت‌های ویژه‌ای برخوردار است که

---

<sup>۱</sup> . Remote Sensing

امروزه عامل نخستین در مطالعه سطح زمین و عوامل تشکیل‌دهنده آن محسوب می‌شود. امکان رقومی بودن داده‌ها موجب شده است که سیستم‌های کامپیوتری بتوانند از این داده‌ها به‌طور مستقیم استفاده کنند و سیستم‌های داده‌ها جغرافیایی و سیستم‌های پردازش داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از این قابلیت طراحی و تهیه شده است. سهل‌الوصول بودن داده‌ها، دسترسی سریع به نقاط دور افتاده و دقت بالای آنها از امتیازات خاص این فن محسوب می‌شود.

امروزه سنجش از دور به‌عنوان یک ابزار بسیار قوی مطرح بوده که جایگاه خاصی در مدیریت منابع طبیعی بخصوص منابع آب دارا می‌باشد. با توجه به اینکه وسعت بسیار زیادی از سطح زمین پوشیده از آب است جهت مطالعات منابع آب، اقدامات میدانی کاری پردردسر و پرهزینه بوده جایگاه خود را به پردازش تصاویر ماهواره‌ای داده است. اقداماتی نظیر بررسی کیفیت آب شامل مطالعات شوری، بررسی مواد معلق و رسوب، بررسی رنگ آب، بررسی وجود فیتوپلانکتون‌ها و جلبک‌ها در آب، میزان کلروفیل و همچنین مطالعات کمی منابع آب شامل اندازه‌گیری‌های تغییرات عمق و یا ژرفاسنجی منابع آب از جمله اقداماتی است که می‌توان به‌کمک سنجش از دور انجام داد [Kumar,2007].

## ۲-۲-۳-ب- ارزیابی کمی منابع آب به کمک سنجش از دور

به‌کمک سنجش از دور می‌توان تغییرات عمق را در آب‌های کم عمق مانند دریاچه‌ها، استخرها، سواحل دریاها و ... اندازه‌گیری نمود [زبیری و مجد، ۱۳۷۵]. همان‌طوری که ذکر گردید سنجش از دور متکی بر انرژی بازتابی از پدیده‌ها است، بنابراین علت اینکه نمی‌توان در آب‌های عمیق ژرفاسنجی را به‌کمک سنجش از دور انجام داد این است که هیچ‌کدام از طول موج‌ها قادر نیستند تا بیش از ۳۰ متر در آب نفوذ کنند. بنابراین بازتاب آب‌های خیلی عمیق عملاً ناچیز و صفر می‌باشد. انرژی با طول موج‌های بلندتر از ۰٫۷ میکرومتر به‌ندرت در آب نفوذ می‌کنند و تنها انرژی‌های کمتر از این مقدار می‌تواند در آب نفوذ نمایند.

به‌طور کلی می‌توان این‌طور بیان نمود که در اعماق کمتر آب، طول موج‌های مرئی می‌توانند در آب نفوذ کنند و به ته آب برسند و بازتاب نمایند. مثلاً طول موج آبی (۰,۵-۰,۴ میکرومتر) در عمق کمتر از ۳۰ متر به ته آب می‌رسد و مقداری بازتاب می‌نماید، این بازتاب با کاهش عمق بیشتر خواهد شد. در آب‌های با عمق دو یا سه متر یا کمتر، نور قرمز نیز (۰,۷-۰,۶ میکرومتر) به کف آب می‌رسد و میزان بازتاب نور قرمز نیز افزایش می‌یابد [زبیری و مجد، ۱۳۷۵].

همان‌طوری که ذکر گردید اگر عمق آب زیاد باشد انرژی قبل از رسیدن به کف آب جذب می‌شود ولی در آب‌های کم عمق قسمتی از انرژی مرئی به کف آب رسیده و باز می‌تابد که قسمتی از آن قادر است بدون جذب شدن به سطح آب برسد. نور آبی و سبز برای نفوذ در آب بهتر از نور قرمز عمل می‌کنند و مادون قرمز به سختی می‌تواند در آب نفوذ کند. بنابر این با مقایسه بازتاب این باندها می‌توان عمق آب را تعیین کرد. استفاده از داده‌های سنجنده TM و ETM+ ماهواره لندست بدین‌منظور می‌تواند مفید باشند. اگر چه اندازه تفکیک زمینی این سنجنده‌ها ۳۰ متر است با این حال به دلیل این که در طیف گسترده از آبی تا مادون قرمز تصویربرداری را انجام می‌دهند جهت انجام ژرفاسنجی آب می‌توان از آنها استفاده کرد. بنابراین ژرفاسنجی را می‌توان با استفاده از تصویر ترکیب‌رنگی کاذب بصورت رقومی و تفسیر آن و یا با ساختن مدل انتقال نور در آب و با استفاده از ارزش‌های بازتابی کف دریا انجام داد.

## ۲-۲-۳-ج- ارزیابی کیفی منابع آب

از جمله سنجنده‌هایی که می‌توان در مطالعات آب‌شناسی و بررسی کیفیت آب مورد استفاده قرار گیرد سنجنده CZCS ماهواره نیمباس ۷ است [زبیری و مجد، ۱۳۷۵]. این سنجنده مجهز به باندهایی است که مخصوصاً برای بررسی سبزینه طراحی شده است. توان تفکیک فضایی باندهای این سنجنده نسبتاً کم و توان تفکیک طیفی آن بالا می‌باشد و این بدان دلیل است که بتوان رنگ و درجه حرارت آب‌های ساحلی و اقیانوس‌ها را اندازه‌گیری کرد. منظور از اصطلاح رنگ اقیانوس‌ها خصوصیات

انعکاس طیفی آب اقیانوس‌ها است. این خصوصیات بسته به مقدار مواد معلق و محلول آلی و غیرآلی متفاوت است.

مطالبی که در بخش قبل در مورد عمق‌سنجی ارائه گردید، فقط وقتی امکان دارد که آب دریا شفاف و زلال باشد. در آب‌های گل‌آلود که آب حاوی مقدار زیادی ماسه ریز و گل می‌باشد نور توسط مواد معلق در آب بازتاب پیدا می‌کند. بنابراین خصوصیات طیفی آب با حضور مواد معلق در آب تغییر می‌کند. وجود مواد معلق در آب باعث پراکنش انرژی نفوذ یافته به آب می‌شود و بازتاب را در نزدیکی سطح زیاد می‌کند، بنابراین تعیین عمق آب را غیر ممکن می‌سازند.

ارزیابی و اندازه‌گیری مواد معلق در آب معمولاً یکی از پارامترهایی است که در بررسی کیفیت آب مد نظر قرار می‌گیرند. وجود مواد معلق در آب میزان بازتاب را در طیف مرئی افزایش می‌دهد.

تا قبل از انقلاب صنعتی مشکلی بنام مشکل کیفیت آب وجود نداشت، اما امروزه به دلیل عدم مدیریت شهری، صنعتی و کشاورزی اکثر منابع آب دچار تخریب کیفیت شده‌اند. به آسانی می‌توانند بوسیله سنجش از دور تشخیص داده شوند، بخصوص وقتی بوسیله کانال‌های روباز به داخل دریاچه یا رودخانه تخلیه شوند.

قسمتی از طیف الکترومگنتیک شامل مرئی و مادون قرمز برای بارزسازی شاخص‌های کیفیت مناسب می‌باشند. مادون قرمز حرارتی نیز می‌تواند برای اندازه‌گیری کیفیت آب استفاده شود. سنجش از دور حرارتی در طیف ۸-۱۴ میکرومتر بدین‌منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌اندازه‌گیری مستقیم انرژی منتشر شده از سطح آب وابسته است. امواج میکروویو معمولاً برای تعیین شاخص‌های کیفیت آب مناسب نیستند زیرا مقدار کمی از آن می‌تواند به داخل آب نفوذ کنند [زبیری و مجد، ۱۳۷۵].

به طور کلی جهت بررسی کیفیت آب، رابطه بین پارامترهای کیفیت آب و تابش طیفی<sup>۱</sup> پدیده‌ها باید ارزیابی شوند.

---

<sup>۱</sup> . Radiance

بعضی از محققین معتقدند که استفاده از بازتاب طیفی<sup>۱</sup> بجای تابش طیفی یا ارزشهای رقومی (DN) می تواند در مطالعات سنجش از دور مفید تر باشد و اطلاعات واقعی تری را از پدیده ها در اختیار قرار دهد.

وجود مواد معلق و رسوبات در آب خصوصیات انعکاسی آب را تغییر می دهد. برای پی بردن به وضعیت کیفیت آب بایستی رابطه تجربی بین پارامترهای کیفیت آب و یک یا چند باند طیفی برقرار شود. شاخص های کیفیت آب مانند رنگ، کلروفیل، مواد معلق و شوری معمولاً به کمک سنجش از دور ارزیابی می گردند.

سنجش از دور می تواند در پایش و تخمین میزان تمرکز خزها و جلبک ها در دریاچه ها و منابع آب استفاده شود. به کمک سنجش از دور می توان محل تمرکز کلروفیل را در منابع آب شناسائی و مشاهده نمود. کلروفیل رنگدانه ای است که اجازه می دهد گیاهان، نور خورشید را بر اثر عمل فتوسنتز به انرژی تبدیل کنند. بدلیل اینکه اندازه گیری بیوماس حقیقی جلبک ها و خزها در آب بسیار مشکل است، اندازه گیری میزان کلروفیل می تواند نشان دهنده میزان بیوماس جلبک ها در آب قلمداد گردد. افزایش میزان کلروفیل سبب کاهش انرژی بازتابی در طول موج آبی و افزایش آن در طول موج سبز می گردد.

علاوه بر موارد ذکر شده به کمک سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای می توان نشت مواد نفتی را بر پهنه های دریاها و اقیانوس ها شناسایی و به کمک ابزار GIS آن را ردیابی کرد [ملکیان، ۱۳۹۰].

## ۲-۲-۴- سیستم اطلاعات جغرافیایی

### ۲-۲-۴- الف- مقدمه

---

<sup>۱</sup> . Reflectance

سیستم اطلاعات جغرافیایی یک بانک اطلاعاتی نوین است که وجه تمایز آن با یک بانک اطلاعاتی معمولی، فراگیر بودن و هوشمندی نسبی آن است. این سیستم را از آن روکه اطلاعات گرافیکی (مکانی) و اطلاعات غیرگرافیکی (توصیفی-مقداری) مربوط به زمینه‌های گوناگون به طور یکجا در آن جمع شده است، می‌توان یک سیستم فراگیر نامید و از آن جهت که مجموعه‌ای متشکل از اطلاعات تصویری که قادر به انتخاب، تلفیق و تحلیل داده‌ها است، در خود جای می‌دهد یک سیستم هوشمند می‌باشد. عبارت دیگر، در سیستم های اطلاعات جغرافیایی، پدیده‌های (عوارض) روی زمین و اطلاعات مربوط به آن پدیده‌ها یکجا و بصورتی منسجم جمع شده‌اند [ثنایی نژاد، ۱۳۸۱]. به این دلیل می‌توان کاربردهای زیادی در حوزه علوم منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای آن متصور شد، که از آن جمله می‌توان به مدیریت سیستم‌ها و منابع آبی، مدیریت حوزه های آبریز، تخصیص منابع آبی، برنامه‌ریزی و مدل‌سازی توزیع آب، مدل‌سازی هیدرولوژیکی، تعیین مکان بهینه جهت احداث سد، مدیریت و هدایت سیلاب‌ها، مدیریت آب‌های زیرزمینی و جلوگیری از آلودگی آن‌ها و طراحی بهینه شبکه‌های توزیع آب و تعیین مسیر بهینه خطوط انتقال آب اشاره نمود.

## ۲-۲-۴-ب- تاریخچه ادغام RS و GIS در آب‌های زیرزمینی

لانگلی و همکاران در سال ۱۹۹۸، به بررسی و نقش مدل‌های مفهومی آب‌های زیرزمینی توسط GIS پرداختند و از آن به‌عنوان انقلابی در مدیریت منابع آب یاد کردند [Longley et al, 1998]. واتکینز و همکاران در سال ۱۹۹۶، تحقیقی راجع به کاربرد GIS در جریان آب‌های زیرزمینی ارائه نمودند، که در آن مسیر توسعه و افزایش و یا کاهش آب‌های زیرزمینی را توسط ابزار GIS بیان می‌نمود [Watkins et al, 1998]. پیندر در سال ۲۰۰۲، موقعیت‌یابی آب‌های زیرزمینی را به‌صورت مرحله به مرحله، توسط GIS بیان نمود و به شناسایی سطح آب‌های زیرزمینی با استفاده از این

تکنیک پرداخت و با این روش بر مشکلات ناشی از کسب داده‌های اولیه به‌صورت زمینی و دستی فایق آمده و توانست به نتایج سریع‌تر و دقیق‌تری در این زمینه دست پیدا کند [Pinder, 1998].

رمپال و روا در سال ۱۹۸۹، از داده‌های لندست MMS مربوط به منطقه دوداگونی<sup>۱</sup>، واقع در کارناتاکا<sup>۲</sup> در هندوستان به بررسی و پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی پرداختند. از نقطه نظر ایشان، حضور آب‌های زیرزمینی به شناسایی پارامترهایی نظیر نقشه‌های خطواره‌ها و شکست‌ها، لیتولوژی منطقه، ژئولوژی منطقه بستگی داشت. بنابراین آنها با بررسی موارد و رابطه آنها با حضور و یا عدم حضور آب‌های زیرزمینی به پتانسیل‌یابی منطقه مورد مطالعه پرداختند [Rampal & Roa, 1989].

کمرجو و همکاران در سال ۱۹۹۵ در صحرای گوداواری<sup>۳</sup> هندوستان، توسط داده‌های دورسنجی به بررسی مناطق پتانسیل‌دار آب‌های زیرزمینی پرداختند. آنها در ابتدا لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز نظیر خطواره و شیب و زمین‌شناسی و ... را تولید کرده و سپس آنها را وزن‌دهی نموده و در انتها نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را تولید کرده و خروجی خود را با مقایسه با داده‌های واقعی مقایسه و اعتبار سنجی نمودند [Kamaraju et al, 1995].

در سال ۱۹۹۲، بوبا و همکاران با مطالعه بر روی داده‌های لندست مربوط به منطقه کریک<sup>۴</sup> در جنوب کانادا، به کمک داده‌های ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، به بررسی پارامترهای تغذیه و تخلیه آب‌های زیرزمینی پرداختند [Bobba et al, 1992].

کریشنامورتی و همکاران (۱۹۹۷)، از دورسنجی و GIS برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی منطقه تامیل نادو<sup>۵</sup> هندوستان استفاده کردند. ایشان اقدام به تهیه نقشه‌های رقومی سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، خطواره و زهکشی از داده‌های ماهواره‌ای نمودند. این نقشه‌های گوناگون، وزن‌دهی

---

<sup>۱</sup> Doddaguni

<sup>۲</sup> Karnataka

<sup>۳</sup> Godavari

<sup>۴</sup> Big Creek

<sup>۵</sup> Tamil Nadu

شده و جهت تعیین مناطق پتانسیل دار آب زیرزمینی با یکدیگر تلفیق شدند [Krishnamurthy et al, 1997].

موسا و همکاران (۲۰۰۰)، از دورسنجی و GIS برای تولید نقشه مورد نیاز جهت پتانسیل یابی آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه‌ی خود (لانگات، مالزی)<sup>۱</sup> استفاده نمودند. در این رابطه آنها از داده‌های ETM لندست کمک گرفتند و لایه‌های اطلاعاتی بارش، لیتولوژی، دانسیته خطواره، دانسیته زهکشی، کاربری اراضی، نقشه ارتفاعی، شیب منطقه و نوع خاک را استخراج نمودند. سپس این لایه‌های اطلاعاتی را پس از تعدیل نمودن توسط مدل "DRASTIC"<sup>۲</sup>، با هم تلفیق کرده و در نتیجه نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را ترسیم نمودند [Musa et al, 2000].

سیکدر و همکاران (۲۰۰۴)، از دورسنجی و GIS برای تشریح وضعیت کاربری اراضی، پوشش اراضی و همچنین برای تعیین مناطق پتانسیل دار آب زیرزمینی یکی از مناطق بنگال غربی<sup>۳</sup> در هندوستان استفاده نمودند. ایشان از داده‌های ماهواره IRS و نقشه‌های توپوگرافی در این رابطه کمک گرفتند و تغییرات پوشش گیاهی و کاربری اراضی و آب زیرزمینی منطقه مورد مطالعه را در طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۹۸ مورد بررسی قرار دادند [Sikder et al, 2004].

السعود (۲۰۱۰)، به کمک سنجش از دور و GIS به مطالعه آب‌های زیرزمینی منطقه پنینسولا<sup>۴</sup> پرداخت و اظهار داشت با توجه بدی آب و هوا و وجود مناطق صعب‌العبور در این محدوده، مطالعه زمینی و دستی، امری سخت و طاقت فرسا به‌شمار می‌آید؛ از این‌رو سنجش از دور نقشی حیاتی در دستیابی به این هدف ایفا می‌کند. وی با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای لندست-۷، استر و SRTM، لایه‌های اطلاعاتی بارش، لیتولوژی، خطواره، شیب، زهکشی و پوشش گیاهی را تولید نموده است و سپس این لایه‌ها را وزن‌دهی نموده و آنها را با یکدیگر در محیط GIS تلفیق نموده است. به این

---

<sup>۱</sup> Langat, Malaysia

<sup>۲</sup> . Depth to water, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of vadose zone media, and aquifer hydraulic Conductivity

<sup>۳</sup> Bangal

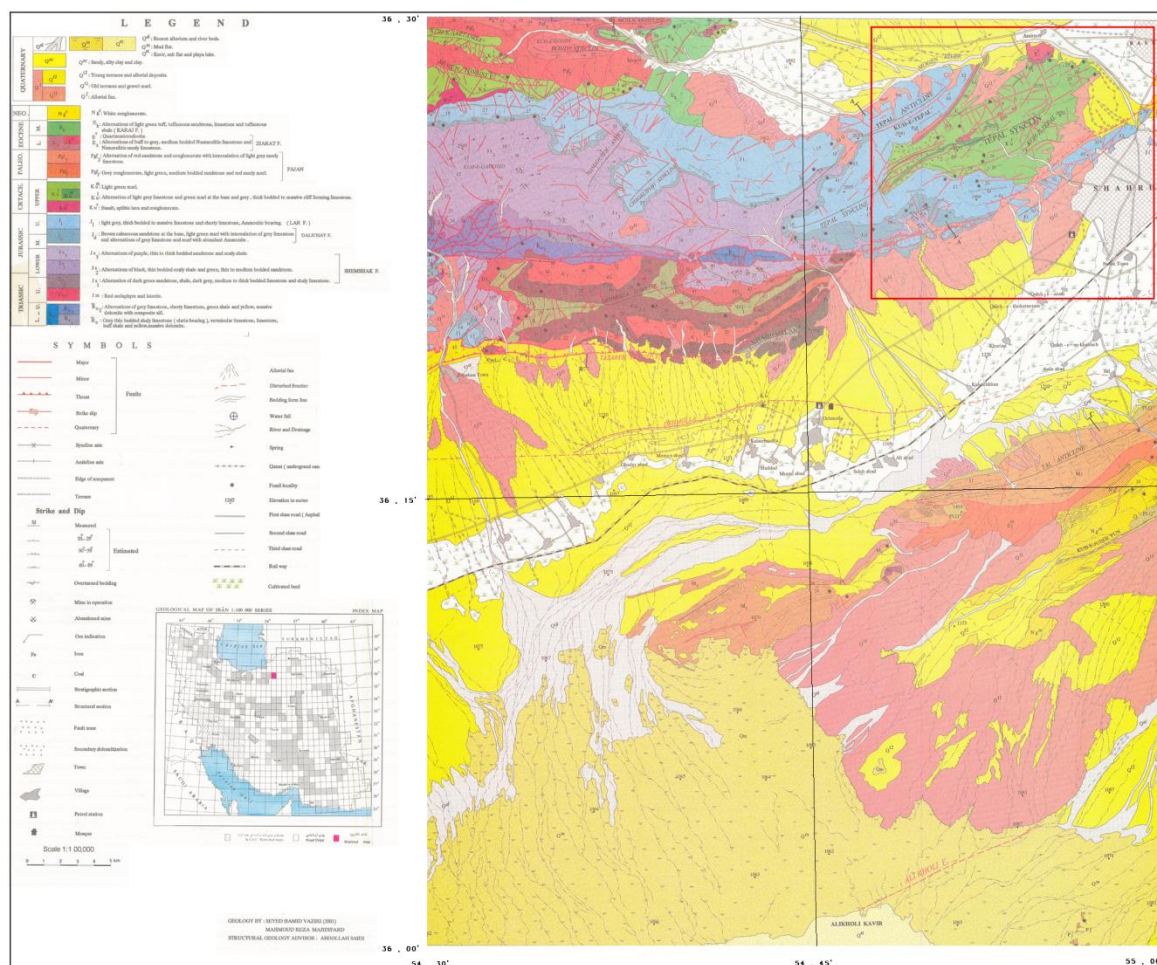
<sup>۴</sup> Peninsula

ترتیب نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه تولید شده است [Mashael Al Saud, 2010].

## ۲-۳- محدوده مطالعاتی

### ۲-۳-۱- موقعیت و مشخصات جغرافیایی

محدوده مورد مطالعه، بین عرض‌های جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۵ درجه طول شرقی واقع شده است. وسعت محدوده مورد بررسی حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع می‌باشد (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳: موقعیت محدوده مورد مطالعه در برگه یک صد هزارم شاهرود [وزیری، ۱۳۸۰]

محدوده مورد بررسی واقع در برگه یک صد هزارم شاهرود می باشد و این برگه نیز بخشی از چهار گوش گرگان با مقیاس یک دویست و پنجاه هزارم می باشد. شهر شاهرود بعنوان مرکز بزرگترین شهرستان استان سمنان در قسمت جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه واقع می باشد. محدوده مورد بررسی از شمال به بسطام و دشت بسطام و از جنوب به جاده ترانزیتی شاهرود به تهران و محدوده شمالی روستای ده ملا محدود می باشد.

مهم ترین روستاهای منطقه، روستاهای مجن واقع در شمال غرب شاهرود، ده ملا واقع در جنوب غرب شاهرود و مهماندوست، کلاته خان، حسین آباد و علی آباد واقع در جنوب و غرب شاهرود، قلعه شوکت نظام و تل واقع در جنوب شاهرود می باشند. منطقه شاهرود دارای دامداری و تولیدات کشاورزی قابل توجهی نظیر سیب زمینی، فلفل، پنبه، آفتابگردان، گندم، چغندر قند و میوه جاتی مانند انگور، زردآلو و گلابی می باشد [وزیری، ۱۳۸۰].

## ۲-۳-۲- راه های دسترسی به منطقه

راه های اصلی منطقه مورد مطالعه جاده های درجه یک (آسفالت) دامغان به شاهرود، بسطام و مجن به شاهرود و جاده معدن طرزه می باشد. سایر جاده های منطقه از نوع درجه دو مانند جاده معدن آموزشی ده ملا و جاده های درجه سه می باشد که مجموعاً دستیابی به برون زدهای منطقه را امکان پذیر نموده است [وزیری، ۱۳۸۰].

## ۲-۳-۳- آب و هوای منطقه

ارتفاعات شمالی منطقه مورد مطالعه، بخشی از ارتفاعات البرز شرقی است. ارتفاعات البرز شرقی نسبت به ارتفاعات البرز غربی رو به نقصان گذاشته و کم عرض تر و باریک تر هستند تا آنکه در ۲۰۰ کیلومتری شرق دریای خزر، ارتفاعات آن در شرق گلستان تمام می شود.

قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه در زمستان دارای آب و هوای نسبتاً سرد و خشک و در تابستان دارای آب و هوای معتدل می باشد، اما قسمتهای جنوبی منطقه دارای آب و هوای نیمه

خشک کویری با بارندگی کم می‌باشد. حداکثر درجه حرارت در منطقه، ۳۹ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت ۱۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. میزان بارندگی سالیانه از ۷۲ تا ۱۸۳ میلی‌متر می‌باشد که در برخی زمانها افزایش قابل توجهی دارد. مهم‌ترین رودخانه منطقه شاهرود، رودخانه تاش است که از کانون‌های آبگیر شاهکوه و شاهوار، حد فاصل تاش و مجن سرچشمه گرفته و دارای ویژگی‌های رودهای فصلی است [وزیری، ۱۳۸۰].

#### ۲-۳-۴- زمین ریخت‌شناسی

بخش اعظم سنگهای رخنمون یافته منطقه در شمال آن قرار دارد و بخشی از ارتفاعات البرز شرقی می‌باشد که دارای روند گسترش شمال‌شرقی - غربی است. این سنگ‌ها که در بیشتر مناطق، ارتفاعات بلند را ساخته است، اساساً از واحدهای سنگ آهکی شکل گرفته است. ارتفاعات بلند با شیب توپوگرافی بسیار شدید را در سلسله کوه‌های شمالی محدوده مورد بررسی، در توالی‌های سازند لار و کرتاسه بالایی می‌توان مشاهده نمود. در قسمت‌های جنوبی منطقه عمدتاً توالی‌های مارنی، با ارتفاع ناچیز قابل مشاهده است [وزیری، ۱۳۸۰]. از آنجا که واحد سنگی موجود در محدوده مورد بررسی عمدتاً از جنس کارستی می‌باشد، لازم است ابتدا توضیحاتی راجع به منابع آب کارستی داده شود.

در این فصل، ابتدا مقدماتی از روش‌های معمول اکتشاف آب زیرزمینی مطرح گردید و سپس موقعیت محدوده مورد مطالعه در این تحقیق تشریح شد. در ادامه و در فصل بعد روش پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تهیه تصاویر مورد نیاز جهت شناسایی مناطق امیدبخش منابع آب زیرزمینی به روش دورسنجی ارائه می‌گردد.

#### ۲-۴- داده‌ها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس‌های متناسب از محدوده مورد بررسی، داده‌های توپوگرافی (هم بصورت نقشه رقومی ارتفاعی و هم برداشتی توسط دوربین نقشه‌برداری)، داده‌های ماهواره‌ای لندست، داده‌های ژئوالکتریک و داده‌های گرانی‌سنجی می‌باشند.

همچنین از نرم‌افزارهای ENVI 4.4، ArcGIS 9.2، Surfer 8، Geosoft، Google Earth و Microsoft Office در انجام این تحقیق بهره گرفته شده است.

## **فصل سوم**

**پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه-**

**های رقومی اولیه**

### ۳-۱ مقدمه

امروزه برای مطالعه پارامترهای آب‌های زیرزمینی، همواره از ابزارهایی نظیر فناوری سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و کار زمینی صورت می‌پذیرد. در این راستا با ادغام این فنون و سایر داده‌های زمینی لایه‌های اطلاعاتی را می‌توان تهیه نمود که هرکدام تأثیری منحصر بفرد در تخمین وجود و یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی دارند. تولید لایه‌هایی نظیر سنگ‌شناسی، خطواره‌ها، زهکشی، زمین‌شناسی، شیب و ... و تلفیق آنها با یک منطق خاص و استخراج یک خروجی مناسب همواره، یک چرخه پیوسته در امر پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد [ملکیان، ۱۳۹۱]. سنگ-شناسی<sup>۱</sup>، خطواره‌ها<sup>۲</sup>، شکل زمین<sup>۳</sup>، شیب زمینی<sup>۴</sup>، پوشش گیاهی<sup>۵</sup>، محل تغذیه<sup>۶</sup> و تخلیه<sup>۷</sup> آب‌های زیرزمینی و ...، پارامترهای اصلی مورد استفاده بررسی منابع آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند [ساحل و همکاران، ۱۳۸۸].

از بررسی‌های زمینی در مطالعه ساختارها و همبستگی آنها در تفسیر خطواره‌ها بهره گرفته می‌شود. در این تحقیق، داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، مانند نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و داده‌های ماهواره‌ای (شکل ۳-۱)، از سازمان‌های زمین‌شناسی کشور و نقشه‌برداری کشور و داده‌های برداشتی ژئوفیزیکی از منطقه\* تهیه شده است. همچنین تمامی لایه‌های اطلاعاتی تولید شده، در سیستم اطلاعات جغرافیایی ترکیب و تفسیر می‌شوند.

---

\*. داده‌های ژئوالکتریک، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، فریدون شریفی، ۱۳۹۱  
داده‌های گرانی‌سنجی، برداشتی توسط دانشجویان گرانی‌سنجی، ۱۳۹۱

<sup>۱</sup>. Lithology

<sup>۲</sup>. Linementum

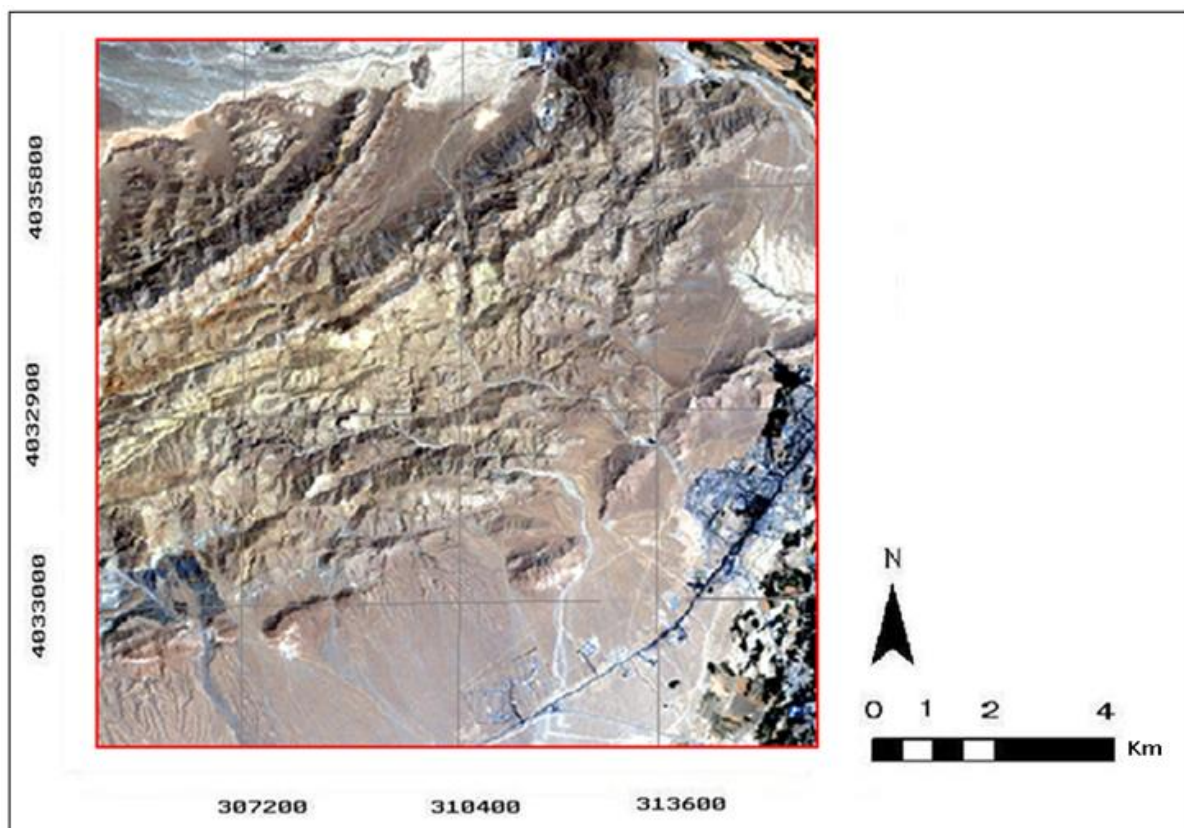
<sup>۳</sup>. Land Use

<sup>۴</sup>. Slope

<sup>۵</sup>. Land Cover

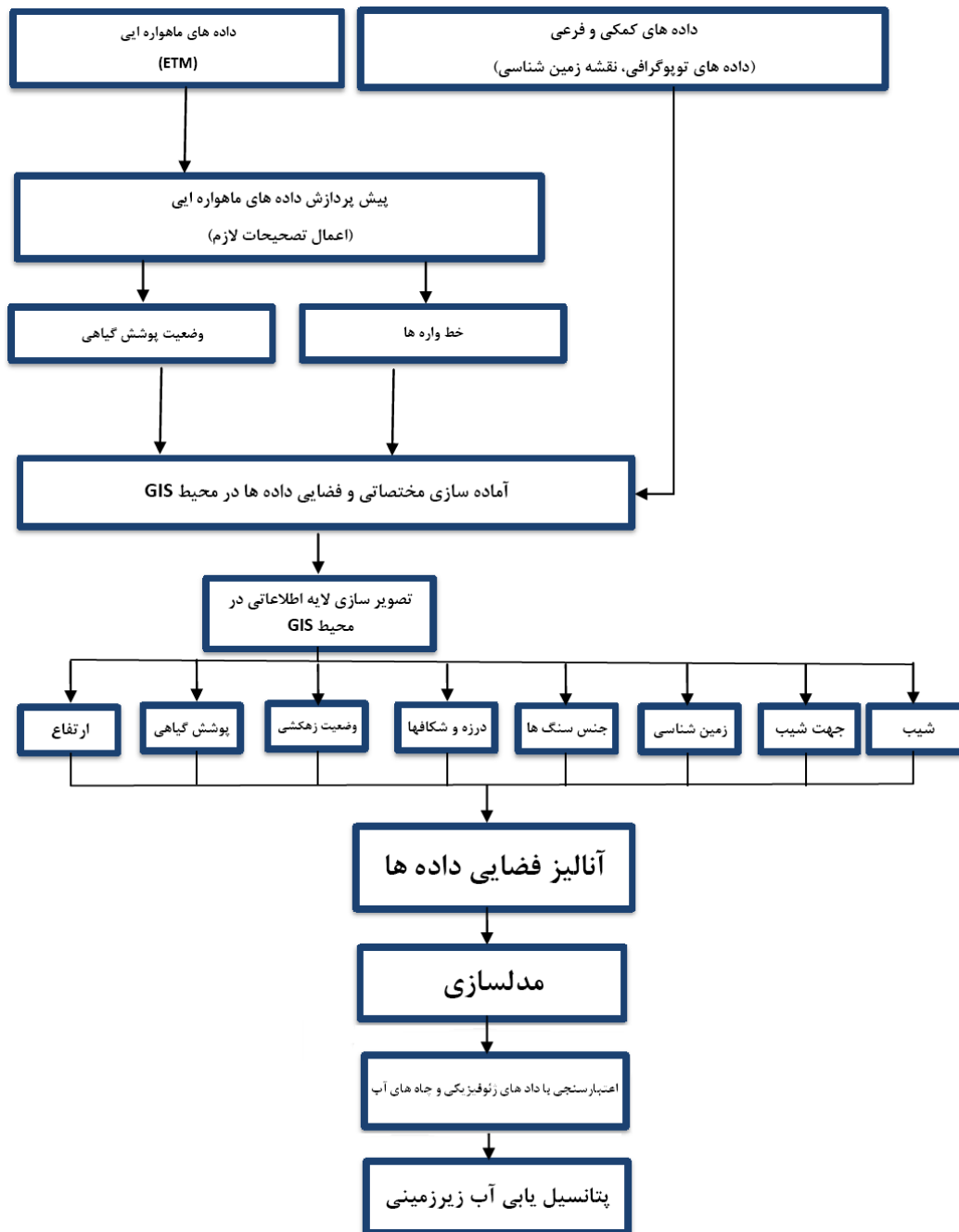
<sup>۶</sup>. Recharge

<sup>۷</sup>. Discharge



شکل ۳-۱: تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه (حاصل ترکیب باندهای ۵،۳،۱)

شکل ۳-۲ فلوچارت روش کار پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی در سیستم اطلاعاتی جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور می‌باشد. مطابق این فلوچارت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و سایر داده‌های کمکی نظیر توپوگرافی به عنوان داده‌های اولیه در این سیستم استفاده می‌شود. با این داده‌ها می‌توان لایه‌های اطلاعاتی نظیر خطواره و شیب را به‌دست آورد. پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مناسب باید این لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تلفیق شوند. با تلفیق این لایه‌ها، بهینه‌ترین پاسخ با در نظر گرفتن کلیه پارامترهای به‌دست آمده جهت تخمین بالاترین احتمال حضور آب‌های زیرزمینی، برای هر پیکسل به‌دست خواهد آمد.



شکل ۳-۲: مراحل اجرایی روش کار پتانسیل یابی آب های زیرزمینی در محیط GIS

برای شناسایی مناطق مستعد، پارامترهای موثری نظیر سنگ شناسی، خطواره ها و شکل زمین و شیب در مطالعات منابع آب های زیرزمینی همواره با یکدیگر مقایسه شده و بر اساس روش های مختلف بهترین مکان برای این مهم تعیین می شوند. بدین ترتیب داده های سنجش از دور اطلاعات فضایی دقیق و موثری در مقایسه با روش های پیمایش های هیدروژئولوژیکی ارائه می دهد. بنابراین با

استفاده داده‌های رقومی ماهواره‌ای، مفیدترین لایه‌های مورد نیاز تهیه و در محیط GIS ادغام و تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی مرتبط با منابع آب‌های زیرزمینی را فراهم می‌آورد. ادغام لایه‌های اطلاعاتی موثر در شناسایی منابع آب زیرزمینی در محیط GIS باعث فهم بهتر و دقیق‌تر از عوامل کنترل‌کننده این منابع در مقایسه با سایر روش‌ها می‌شود [Mohanty and behera, 2012; Madan et al, 2007]. برای رسیدن به این هدف مراحل کاری زیر باید انجام شود تا لایه‌های مورد نیاز آماده‌سازی شود.

- ۱- تهیه نقشه‌های موضوعی منطقه نظیر نقشه زمین‌شناسی، خطواره‌ها و شیب با استفاده از داده‌های دورسنجی و دیگر منابع داده‌ای نظیر مدل رقومی ارتفاعی DEM
- ۲- ارزیابی مشخصه‌های کنترل‌کننده آب‌های زیرزمینی با ترکیب و تلفیق داده‌های دورسنجی، مدل رقومی ارتفاع و بررسی‌های صحرایی زمین‌شناسی.
- ۳- تعیین مناطق مستعد برای آب‌های زیرزمینی با ادغام لایه‌های اطلاعاتی تهیه شده در محیط GIS.

پس به منظور استفاده از داده‌های سنجش از دور، ابتدا کلیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به متغیرهای موثر در این خصوص تهیه می‌گردد که در ادامه این موضوع به تفکیک با نگرشی بر منطقه مطالعاتی تشریح می‌شود.

## ۳-۲- پردازش داده‌های ماهواره‌ای و تولید نقشه‌های رقومی

### ۳-۲-۱- مقدمه

جهت انجام هرکار، در وهله اول لازم است که داده‌های اولیه موجود و مورد نیاز در آن زمینه گردآوری شود. فناوری دورسنجی نیز همانند سایر روش‌های تحقیقی، همگام با نیازها جامعه و شاید فراتر از آن رشد کرده است. به طور کلی امروزه حجم عظیمی از اطلاعات ماهواره‌ای با دقت‌ها و قدرت

تفکیک‌های گوناگون در دسترس می‌باشد. در چند دهه اخیر پیشرفت‌های زیادی در زمینه علوم مرتبط با سنجش از دور و ماهواره انجام گرفته و اطلاعات گران‌سنگی از این طریق به‌ویژه توسط ماهواره‌های لندست پنج و هفت، اسپات، ایکونوس، IRS هند و... به دست آمده است. داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این بررسی بر پایه جدیدترین داده‌های موجود ایران از سنجنده آشکارساز موضوعی (ETM+) ماهواره لندست به شماره گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۵ استوار است.

ماهواره Landsat یکی از ماهواره‌هایی است که جهت مطالعه منابع زمینی در چند سال اخیر بیش از سایر ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. استفاده جهانی اطلاعات سنجش از دور ابتدا توسط ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ آغاز شد. این تحقیقات که با استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس صورت گرفته باعث افزایش کارایی زمین‌شناسان در زمینه پژوهش‌های معدنی گردیده است [اسدی‌هارونی، ۱۳۸۹]. لندست‌های ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب در تاریخ‌های ۱۳۵۱/۵/۱ و ۵۴/۴/۳۱ و ۵۶/۱۲/۱۴ (هجری شمسی) به فضا پرتاب شدند. طراحی آنها به گونه‌ای بوده است که هر روز کره زمین را در یک مدار قطبی با ارتفاع حدود ۹۰۰ Km دور زده و در نتیجه قسمت اعظم کره زمین را با ۲۵۱ گردش ماهواره مورد تصویربرداری قراردهند. با از کار افتادن لندست‌های ۱ و ۲ و ۳ لندست‌های ۴ و ۵ در تاریخ‌های ۶۱/۴/۲۵ و ۶۲/۱۲/۱۰ (هجری شمسی) به فضا پرتاب و در ارتفاع ۷۰۰ Km از سطح زمین قرار گرفتند و در نتیجه کره زمین را با ۲۳۳ گردش پوشش می‌دادند. ماهواره لندست ۴ در سال ۱۹۹۳ میلادی از کار افتاد. اخیراً نیز لندست‌های ۶ و ۷ به فضا پرتاب شده‌اند. ماهواره لندست ۷ آخرین ماهواره از سری ماهواره‌های لندست است که تاکنون به فضا پرتاب شده است. لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد. این ماهواره دارای جرم تقریبی ۲۲۰۰ کیلوگرم است و در مداری خورشید آهنگ با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر و زاویه‌ی میل ۹۸/۲ درجه به دور زمین می‌گردد. ماهواره لندست ۷، با دوره‌ی چرخش ۱۶ روزه (۲۳۳ مدار بر دور)، در ۱۰ صبح از استوا می‌گذرد.

یکی از سنجنده‌های تعبیه شده در ماهواره لندست از نوع اسکن کننده نوری - مکانیکی می‌باشد که به <sup>1</sup>TM معروف است. این سنجنده دارای قابلیت تفکیک ۳۰ متر بر روی زمین بوده و در هفت باند طول موجی (شش باند بازتابی و یک باند حرارتی) تصویر برداری می‌کند. اخیراً به جای سنجنده TM، سنجنده نوع <sup>+</sup>ETM با هفت باند بازتابی و یک باند حرارتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. باند هشتم لندست نوع <sup>+</sup>ETM دارای قابلیت تفکیک زمینی ۱۵ متر می‌باشد. تجهیزات <sup>+</sup>ETM شامل سنسورهایی است که تشعشعات زمین را در سه باند معین به شرح زیر آشکار می‌کنند [جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵]:

۱ - باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR)، شامل باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ و ۸ (پانکروماتیک) با محدوده طیفی ۰/۴ تا ۱ میکرون.

۲ - باندهای مادون قرمز کوتاه (SWIR) شامل باندهای ۵ و ۷ با محدوده طیفی ۱ تا ۳ میکرون.

۳ - باند بلند مادون قرمز حرارتی (LWIR) شامل باند ۶ با محدوده طیفی ۸ تا ۱۲ میکرون  
همانگونه که ذکر گردید، علاوه بر ۷ باند مندرج در جدول ۱-۳، باندی پانکروماتیک در طول موج ۰/۵-۰/۹ میکرون با قدرت تفکیک ۱۵ متر نیز به این ماهواره افزوده شده که مزیتی نسبت به لندست ۵ می‌باشد. از تلفیق این باند با سایر باندها و تصویرسازی ترکیبی از ۳ باند در محیط RGB، تصاویر رنگی با قدرت تفکیک مکانی حدود ۱۵ متر بدست می‌آید؛ که در مقایسه با ماهواره لندست ۵ دو برابر از نظر تفکیک تواناتر شده است [آقاجانی و نعیمی، ۱۳۸۹].

جدول ۳-۱: محدوده طول موج و مشخصه باندهای مورد استفاده در تصاویر

| باند | طول موج (میکرون) | رنگ یا مشخصه   |
|------|------------------|----------------|
| ۱    | ۰/۴۵-۰/۵۲        | طیف آبی        |
| ۲    | ۰/۵۲ - ۰/۶۰      | مرئی سبز       |
| ۳    | ۰/۶۳ - ۰/۶۹      | قرمز           |
| ۴    | ۰/۶۹-۰/۷۵        | محدوده نزدیک   |
| ۵    | ۱/۵۵-۱/۷۵        | فرو سرخ میانی  |
| ۶    | ۱۰/۴-۱۲/۵        | بازتابی حرارتی |
| ۷    | ۲/۰۸-۲/۳۵        | دور            |

### ۳-۲-۲- پیش پردازش

برای آماده سازی و تهیه تصویر ماهواره ای مناسب به جهت مطالعات دورسنجی مراحل زیر باید به ترتیب اجرا گردد؛ تا تصویری قابل استفاده در انجام بررسی های معدنی و زمین شناسی فراهم گردد [آقاجانی و نعیمی، ۱۳۸۹]. در زیر به طور خلاصه این مراحل تشریح می شود.

#### ۳-۲-۲- الف- تصحیح داده های ماهواره ای

داده های خام برداشت شده توسط سنجنده ها، با وجود تصحیحات اولیه در ایستگاه های زمینی، با نواقصی همراه است که پیش از پردازش اطلاعات ضروری است این کمبودها برطرف گردد.

#### ۳-۲-۲- الف-۱- تصحیحات داده ای

هدف از این تصحیحات، مرمت تصاویری است که به دلیل خطای ابزار اسکن کننده و یا بروز اشتباه در مراحل بعدی انتقال، ثبت و نسخه برداری، خطاهای حذف شده ای در آن ها بروز کرده باشد.

این گونه خطاها، با استفاده از ارزش عددی خطوط قبل و بعد خط یا خطوط گم شده، قابل ترمیم است.

### ۳-۲-۲-الف-۲- تصحیحات هندسی

داده‌های ماهواره‌ای، به دلیل وجود انحنا و چرخش زمین، و نیز ناهمواری‌های سطح زمین، ارتفاع سنجنده، انحراف پانوراماتیک، عدم ثبات سکوها و خطای تجهیزات مربوطه دارای خطاهایی می‌باشند که در نتیجه آن عوارض زمینی دارای مختصات واقعی نیستند. تصحیح هندسی به منظور ایجاد تصویری در قالب یک شبکه تعیین شده جغرافیایی انجام می‌گیرد. تصحیحات هندسی معمولاً به سه روش صورت می‌گیرد:

۱- با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی موجود (در ایران ترجیحاً ۱:۲۵۰۰۰) Image to Map

۲- با استفاده از تصاویر مکان مرجع شده قبلی و اطمینان از دقت آنها Image to Image

۳- با استفاده از GPS و عملیات صحرائی

در این پروژه از روش انطباق نقشه به تصویر و نیز برای دقت بیشتر از روش تصویر به تصویر استفاده شده است. برای کنترل کیفیت کار تصحیح هندسی، میزان خطای مجاز (RMS) نباید از ۳ بزرگتر باشد [اسدی هارونی، ۱۳۸۹].

### ۳-۲-۲-الف-۳- تصحیحات رادیومتری (آتمسفری)

بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی پس از برخورد و عبور از جو زمین به سنجنده می‌رسند. نظر به اینکه محدوده‌های مختلف امواج الکترومغناطیس، رفتارهای گوناگونی در هنگام گذر از جو زمین دارند، لذا میزان بازتاب برگشتی پدیده‌ها در برخی از طول موج‌ها بیانگر بازتاب حقیقی آن‌ها نمی‌باشند [الستانی و شهریار، ۱۳۹۰].

در واقع ارزش عددی هر پیکسل در داده‌های ماهواره‌ای، میزان بازتابندگی واقعی آن پدیده در سطح زمین نبوده است و از عواملی مانند جذب و پراکنش جوی، زاویه تابش خورشید حساسیت

سنجنده و سایه و... تأثیر پذیرفته است. در محدوده طول موج مرئی، امواج الکترومغناطیس در هنگام عبور از جو به میزان بیشتر جذب و پراکنده می‌شوند، در حالی که در محدوده فرو سرخ، امواج بدون پخش از جو زمین گذشته و برگشت داده می‌شوند. بنابراین اطلاعاتی که در باندهای مختلف طیف مرئی و فرو سرخ نزدیک ثبت می‌گردند، بازتاب واقعی پدیده‌ها نبوده و باید تصحیح گردند.

در داده‌های TM بدلیل کالیبره بودن داده‌هایی که معمولاً در اختیار کاربر قرار می‌گیرد، این نوع تصحیحات معمولاً (برعکس داده‌های استر) انجام نمی‌گیرد [اسدی هارونی، ۱۳۸۹]. ولی در هر حال یکسری کارهایی نظیر dark object برای حذف اثرات گرد و غبار بر روی طیف بازتابی و destriping برای حذف خطوط موازی و مصنوعی احتمالی در تصاویر انجام می‌گیرد.

### ۳-۲-۲-ب- موزائیک کردن

در برخی مواقع به علت اینکه تصویر محدوده مورد مطالعه یا داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در چند صفحه داده‌ای قرار می‌گیرند، برای تهیه تصاویر در مقیاس کاری مورد نظر، لازم است که عمل موزائیک داده‌ها صورت گیرد.

برای موزائیک کردن داده‌های دو صحنه کنار هم انتخاب شده و به منظور انطباق بهینه بین تصاویر چندین نقطه مشترک در مناطق هم‌پوشانی دو تصویر انتخاب می‌شود. جهت به دست آوردن تصویری مناسب لازم است که خطی محدوده مرزی دو تصویر را محدود کند که به خط موزائیک معروف است [آقا جانی و نعیمی، ۱۳۸۹]. به علت اینکه داده‌های ماهواره لندست هفت مربوط به ورقه مذکور کاملاً در یک صحنه داده‌های ماهواره‌ای قرار دارند؛ نیاز به موزائیک در این بخش نبوده است.

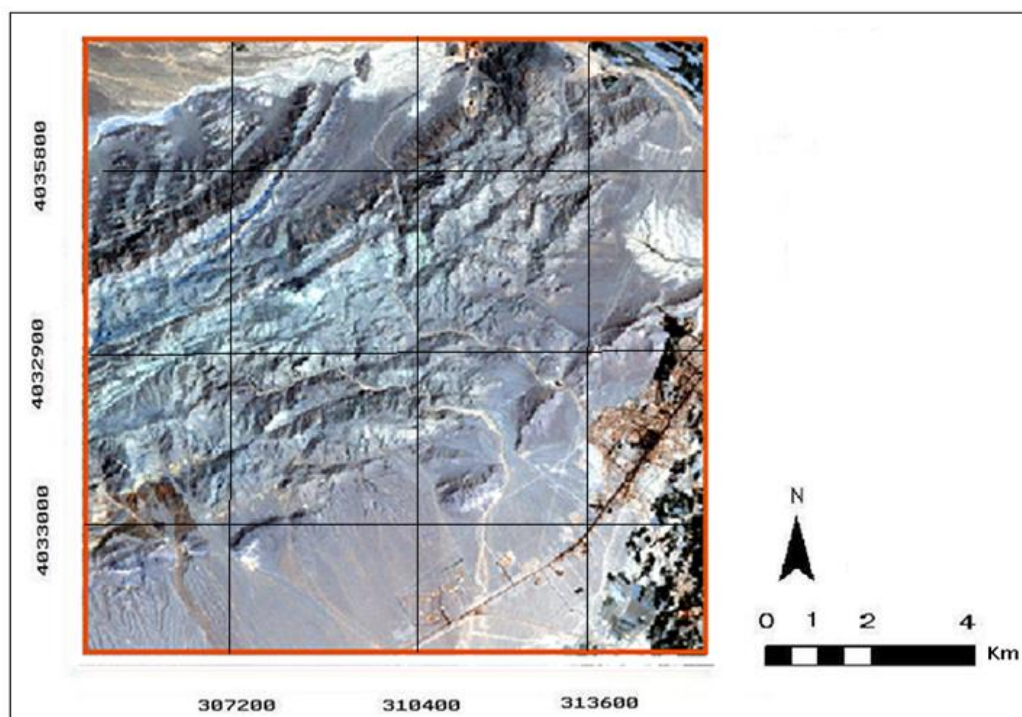
### ۳-۲-۳- پردازش داده‌ها

پردازش تصاویر ماهواره‌ای، یکسری فرایندهایی است که برای دستیابی به تصویری با کیفیت بهتر و قابل درک‌تر، و برای منظورهای مختلف، با مجموعه‌ای از باندهای طیفی صورت می‌گیرد. با توجه به شباهت‌های بافتی، طیفی و هندسی پس از طی این فرایندها، پدیده‌های مختلف سطح زمین-

را می‌توان از هم تفکیک نمود [جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵]. تصاویر ایجاد شده از ترکیب باندها در محیط RGB در شرایطی با رنگ طبیعی پدیده‌ها هماهنگی دارد که حاصل ترکیب باندهای ۱، ۲، ۳ به ترتیب با فیلترهای رنگی آبی، سبز و قرمز ( $R, G, B=3, 2, 1$ ) باشد (شکل ۳-۳). در غیر این صورت تصاویر تهیه شده دارای رنگ‌های مجازی بوده و هیچگونه انطباقی بامشاهدات صحرایی نخواهد داشت [ملکیان، ۱۳۹۱]. در فرایند پردازش تصاویر، عملیات گوناگونی روی داده‌ها انجام می‌گیرد؛ که در زیر به برخی از آنها اشاره می‌گردد.

### ۳-۲-۳- الف- افزایش تباین (کنتراست)

با توجه به تنوع پدیده‌های سطحی زمین و نیز عواملی مانند زمان و نوع تصویربرداری، زاویه تابش خورشید و توپوگرافی منطقه، با داده‌های مختلف و متفاوتی سروکار داریم. هدف از اعمال این روش، ایجاد تغییراتی در تصویر اولیه برای دستیابی به اطلاعات تصویری با کیفیت بالاتر برای تشخیص پدیده‌ها می‌باشد.

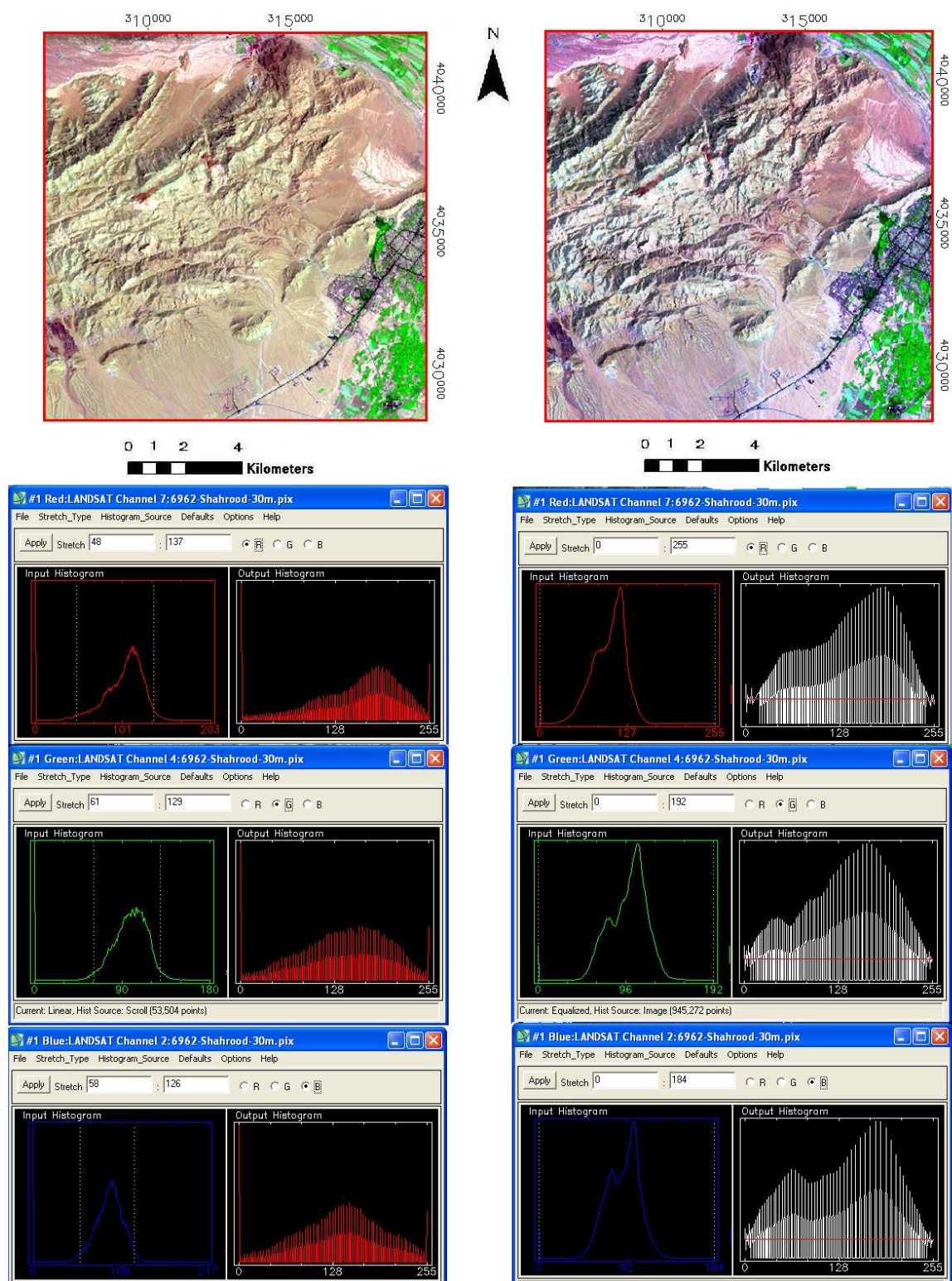


شکل ۳-۳: تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۲، و ۳

حتی بعد از انجام تصحیحات رادیومتری بسیاری از عوارض زمین‌شناسی در تصاویر کاملاً واضح نیستند. دلیل عدم وضوح عوارض فوق می‌تواند بخاطر وجود بازتابش‌های مختلف پدیده‌ها در یک تصویر باشد. برای مثال در تصاویر TM درجه روشنایی پیکسل‌ها می‌تواند در دامنه ۰ تا ۲۵۵ قرار گیرد، اما عملاً در بسیاری از موارد درجه روشنایی تصاویر در دامنه محدودتری مثلاً بین ۵۰ تا ۱۵۰ قرار می‌گیرند که در این صورت عمل بارزسازی برای تصویر سبب وضوح بیشتر آن گشته و از این طریق می‌توان تفاوت بین پدیده‌ها را آشکارتر نمود. این عمل آشکارسازی موجب افزایش توان کاربر برای تفسیر بصری می‌شود [مالمیریان، ۱۳۸۱].

برای مرتفع ساختن این مشکل، از روش‌های آشکارسازی یا Image Enhancement استفاده می‌گردد. بعد از انجام تصحیحات رادیومتری و هندسی و جداسازی محدوده مورد نظر (Sub Map)، هیستوگرام ارزش عددی پیکسل‌های هر باند به طور جداگانه بررسی و با اعمال روش Interactive Stretching، عوارض روی زمین، در هر باند واضح‌تر گردیدند. سپس تصاویر حاصله با هدف تشخیص و تفکیک کنترل کننده‌های شناخت مناطق مستعد آب زیرزمینی (ساختارها و واحدهای سنگی) مورد پردازش و تفسیر قرار گرفتند.

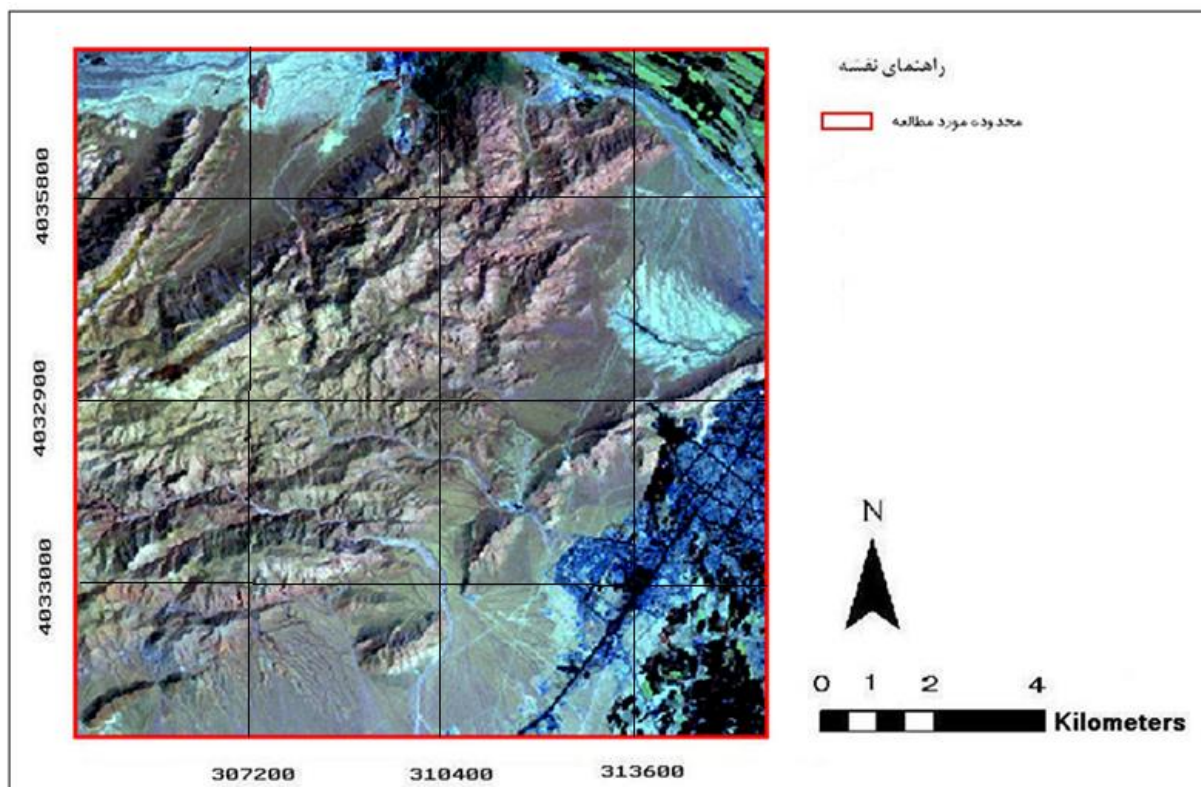
در شکل ۳-۴ تصویر مجازی رنگی حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۴ و ۲ قبل و بعد از بارزسازی، با درجات روشنایی نشان داده شده که با استفاده از روش خطی، تصویری با کیفیت بالاتر و مناسب بدست آمده است.



شکل ۳-۴: آشکارسازی جهت رسیدن به یک تصویر واضح و روشن از باندهای ۷، ۴، و ۲ در محیط RGB (سمت چپ: قبل از بارزسازی- سمت راست: بعد از بارزسازی)

### ۳-۲-۳- ایجاد تصاویر رنگی

ایجاد تصاویر رنگی مختلف، نمایش همزمان سه باند تصویری با بکارگیری فیلترهای قرمز، سبز و آبی روشی برای پردازش تصویر و بارز کردن پدیده‌ها می‌باشد. با توجه به اینکه هر تصویر سیاه و سفید ۲۵۶ گام خاکستری را نمایش می‌دهند و تصاویر رنگی را با حدود ۶,۰۰۰,۰۰۰ رنگ می‌توان تولید نمود. بنابراین در تفسیر داده‌های ماهواره‌ای، تصاویر رنگی برتری ویژه‌ای دارند [جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵]. از طرفی تصاویر رنگی می‌توانند ترکیبی از محدوده‌های طیفی مختلف باشند؛ که راهنمای شناخت پدیده‌ها می‌باشد. شکل ۳-۵ حاصل ترکیب باندهای ۵، ۳ و ۱ به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی پس از آشکارسازی است.



شکل ۳-۵: تصویر مجازی رنگی حاصل ترکیب باندهای ۵، ۳ و ۱ به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی

### ۳-۲-۳-ج- نسبت‌گیری طیفی

این عملیات روش دیگری جهت بارز کردن پدیده‌ها است؛ که بر اساس شناخت بازتاب طیفی آنها در طول موج‌های گوناگون می‌باشد. این روش با بکارگیری مدل‌های ریاضی و آماری بین بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها در باندهای مختلف امکان‌پذیر است [جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵]. با دانستن وضعیت بازتاب یک پدیده در محدوده طول موج‌های مختلف و بکارگیری عملیات ریاضی بین باندها، می‌توان بازتاب طیفی پدیده مورد نظر را افزایش و به وضوح آن را مشاهده نمود [لرستانی و شهریار، ۱۳۹۰].

تصاویر نسبتی از تقسیم مقادیر جزء تصویری در یک باند طیفی بر مقادیر جزء تصویری مربوط به باند دیگر برای هر جزء تصویر به دست می‌آیند. تصویر رقومی جدید به وسیله نسبت مقادیر المان‌ها در دو تصویر ایجاد می‌شود. مزیت اصلی این تصاویر آن است که خصوصیات رنگی یا طیفی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منظره بر اثر تغییرات توپوگرافی منتقل می‌کنند و بر محتوای رنگ داده تاکید می‌کنند [علوی پناه، ۱۳۸۵]. از داده‌های سنجش از دور و با استفاده از تصاویر نسبی باندی به طور گسترده در آشکارسازی نواحی دارای دگرسانی گرمایی و همچنین پوشش گیاهی استفاده شده است [Huff et al, 1999, Bennet et al, 1993, Kaufmann, 1988; Abrams et al, 1983, Rowan et al, 1979].

در این تحقیق با توجه به اینکه به آشکارسازی نواحی دگرسان که از این روش قابل انجام می‌باشد، نیازی وجود ندارد، از انجام عملیات پردازش، به روش نسبت‌گیری طیفی صرف‌نظر گردید و برای تعیین مناطق دارای پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه از روش NDVI استفاده شد؛ که در ادامه توضیح داده خواهد شد.

### ۳-۲-۳-د- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

اگر هر کدام از باندهای  $ETM^+$  به طور جداگانه بررسی شوند، ارتباط زیادی بین آنها مشاهده می‌شود. به گونه‌ایی که بیشتر نواحی که در یک باند روشن یا تاریک هستند، در باندهای دیگر هم، همین ویژگی را دارند. اغلب، ارتباط زیاد ایجاد شده بین باندها در تحلیل داده‌های تصویر چند طیفی، ایجاد اشکال و دشواری در تحلیل‌ها می‌نماید؛ یعنی تصاویر ایجاد شده توسط داده‌های ماهواره‌ای ناشی از باندهای گوناگون، اغلب شبیه به یکدیگر به نظر می‌رسند و اساساً اطلاعات مشابهی را منتقل می‌کنند. در حقیقت این تشابه و ارتباط بین باندها، باعث به وجود آمدن یک سری اطلاعات اضافی و زائد می‌شود. اگر این داده‌های اضافی کاهش یابند، مقدار داده‌هایی که برای توصیف تصاویر چند طیفی احتیاج است، به صورت فشرده درمی‌آیند.

تحلیل و آنالیز مؤلفه‌های اصلی، روشی برای خارج کردن یا کاهش دادن چنین اطلاعات زائدی است که با فشرده کردن مجموعه داده‌های چند طیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد. این روش که اولین بار در سال ۱۹۸۹ توسط چاوز و کاورتینگ<sup>۱</sup> مطرح شد، عملیاتی برای دستیابی به حداقل حجم داده‌ها و حداکثر تباین بین  $n$  باند طیفی است، که براساس اندازه‌گیری واریانس، کوواریانس و انحراف معیار باندهای مختلف انجام می‌شود. تحلیل مولفه اصلی برای کاهش ابعاد متغیرهای اندازه‌گیری ( $p$  بعد) به مولفه‌های اصلی نماینده ( $m$  بعد که  $m$  از  $p$  کوچکتر است) با ترکیب خطی از متغیرهای اندازه‌گیری شده به کار می‌رود [جاهدی و فرخی، ۱۳۷۵]. اگر متغیرهای اندازه‌گیری شده  $p$  بعدی  $(i=1-p, x_i)$  باشند. در این صورت مؤلفه‌های اصلی  $(j=1-m, Z_j)$  را می‌توان به صورت ترکیب خطی زیر بیان کرد.

$$Z_j = a_{1j}x_1 + a_{2j}x_2 + \dots + a_{pj}x_p = \sum_{i=1}^p a_{ij}x_i$$

ضرایب  $a_{1j}$  تا  $a_{pj}$  را می‌توان تحت شرایط زیر به دست آورد:

---

<sup>۱</sup>. Chaves and Yaw Kwarteng, 1989

$\sum a_{ij}^2 = 1$ ، مجموع ضرایب باید یک باشد.

$\sigma_{zj}^2$ ، واریانس ماکزیمم مقدار باشد.

$Z_{j+1}, Z_j$  باید مستقل از هم باشند.

برای داده‌های چند طیفی (مانند لندست)، اولین مؤلفه اصلی (PC1) شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است و مؤلفه‌های بعدی (PC2, PC3, ..., PCn) هر یک دربرگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می‌باشند [اسدی هارونی، ۱۳۸۹].

هر تصویر مؤلفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند تصاویر نسبی، به عنوان تصویر جداگانه سیاه و سفید می‌توانند تحلیل شوند و یا هر سه تصویر مؤلفه اصلی برای تشکیل یک ترکیب رنگی با یکدیگر در یک محیط آورده شوند. در این حالت، بیشترین واریانس n باند طیفی در یک تصویر ترکیب رنگی مشاهده می‌شوند. این واریانس بیشتر از واریانسی است که در ترکیب رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می‌شود و جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مانند واحدهای سنگی و دگرسانی نمایش می‌دهد؛ لذا به زمین‌شناسان کمک می‌کند تا مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص کنند. همچنین کاربر می‌تواند مناطق کوچکی را که از هر طیفی کاملاً متفاوت از کل صحنه تصویر هستند (مانند مناطق دگرسان شده یا خطواره‌ها و یا مناطق با پوشش گیاهی و یا کاربری اراضی متفاوت) مشخص کند [Alsaud, 2007].

### ۳-۲-۳-۱- تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی

اختلاف بین تحلیل استاندارد و انتخابی مؤلفه‌های اصلی در این است که در تحلیل استاندارد، همه باندهای یک تصویر (مثلاً ۶ باند غیر گرمایی  $ETM^+$ ) به عنوان داده ورودی در محاسبه مؤلفه‌های اصلی به کار می‌روند در حالی که در تحلیل انتخابی بر حسب نوع هدف، تعداد مشخصی از باندها

انتخاب می‌شوند. استفاده اساسی از تحلیل مؤلفه اصلی در کاهش تعداد تصاویر یا متغیرها است که کاهش بعدی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. در سال ۱۹۸۹ کروستا و موره<sup>۲</sup> برای اولین بار روشی را که مؤلفه اصلی جهت یافته موضوعی<sup>۳</sup> (FPCS) نامیده می‌شود، پیشنهاد کردند که امروزه به نام روش کروستا مشهور است. این روش، یک فن ساده و جدید برای نقشه‌برداری دگرسانی‌ها با استفاده از تصاویر لندست است. در این روش تنها به اطلاعات مقدماتی درباره خواص طیفی کانی‌ها و پوشش گیاهی نیاز است [اسدی هارونی، ۱۳۸۹].

روش کروستا بر اساس ۶ باند لندست و همچنین ۴ باند انتخاب شده بر اساس ویژگی‌های طیفی کانی‌های دگرسان و پوشش گیاهی استوار است. در حقیقت فن توسعه یافته این روش، بر اساس انتخاب ۴ باند برای PCA است، که در این روش بر پایه بررسی مقادیر ویژه بردار<sup>۴</sup> مؤلفه اصلی مشخص گردد که کدام یک از مؤلفه‌های اصلی اطلاعات مربوط به نشانه‌های طیفی<sup>۵</sup> هدف‌های خاص را به طور مستقیم متمرکز می‌کنند. از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و کروستا، به طور گسترده برای آشکارسازی دگرسانی‌ها در ایالت‌ها و کمربندهای فلزایی استفاده شده است [Tangestani and Moore,2000; Loughlin,1991; Kaufmann,1988]. شکل ۳-۶ حاصل از باندهای تحلیل مؤلفه اصلی می‌باشد که می‌توان واحدهای مختلف سنگی روی آن را بررسی و معلوم نمود.

---

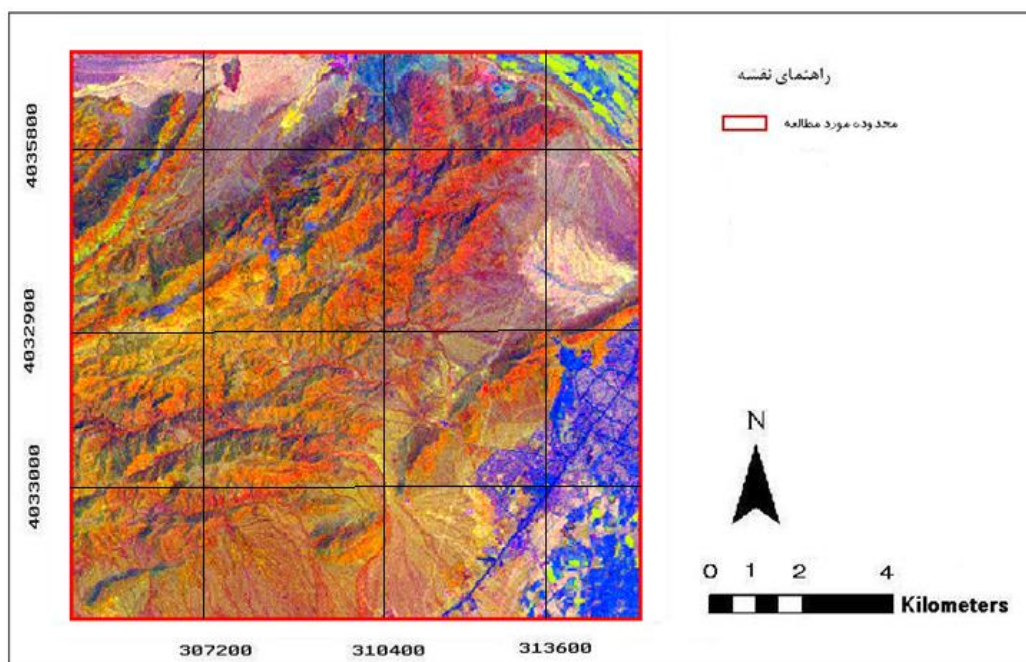
<sup>۱</sup> . Dimensionality reduction

<sup>۲</sup> . Crosta and Moore, 1989

<sup>۳</sup> . Feature Oriented Principal Components Selection

<sup>۴</sup> . Eigenvector

<sup>۵</sup> . Spectral Signature

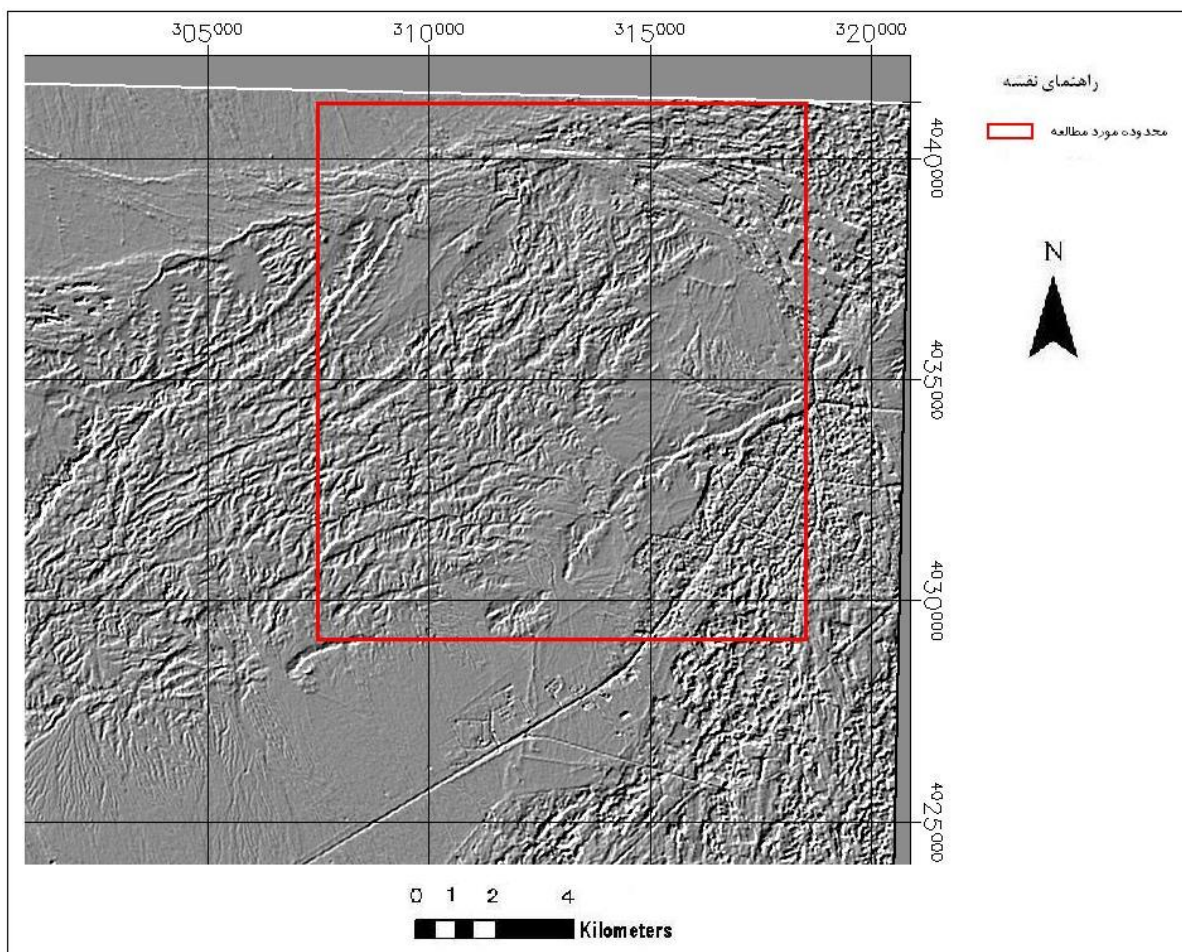


شکل ۳-۶: تصویر ترکیبی حاصل از تلفیق باندهای مولفه‌های اصلی ( $R, G, B = PC1, PC4, PC5$ )

### ۳-۲-۵- فیلتر کردن تصویر

عمل پردازشی که با استفاده از آن برخی درجه‌های روشنایی برای ایجاد یک تصویر به کار می‌رود، اصطلاحاً فیلتر کردن نام دارد. در واقع فیلتر کردن نوعی ارزش‌گذاری طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل‌های همسایه‌اش تغییر می‌کند و تصویر جدیدی می‌سازد که می‌تواند تباین آن با تصویر اصلی متفاوت باشد. فیلترهای مهم و معمول در سنجش از دور شامل فیلترهای پایین‌گذر، فیلترهای بالا‌گذر و فیلترهای جهتی می‌باشد [ارنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰]. برای تعیین خطواره می‌توان فیلترهای مختلفی نظیر فیلتر جهتی (Directional) یا لاپلاسیان (Laplacian) را استفاده نمود. فیلتر جهتی معمولاً برای تعیین ساختارها در جهات مختلف موثر می‌باشد. با بکارگیری فیلتر گسترش و کشیدگی و PCA کردن باند ۱ می‌توان به راحتی گسل‌ها را شناسایی کرد [اسدی هارونی، ۱۳۸۹؛ صفایی قهنویه و همکاران، ۱۳۹۰].

شکل (۳-۷) تصویر PC1 بعد از اجرای فیلتر جهتی در راستای ۴۵ درجه برای تفکیک خطواره‌های شمال‌شرقی - جنوب‌غربی را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷: تصویر PC1 بعد از اجرای فیلتر جهتی در راستای ۴۵ درجه برای تفکیک خطواره‌ها

### ۳-۳- تهیه نقشه رقومی خطواره

#### ۳-۳-۱- مقدمه

خطواره اولین بار به وسیله هابس (Hobbs, 1912) برای مشخص کردن ارتباط فضایی عوارض سطح زمین ارایه شد؛ که شامل خطالراس‌ها یا مرزهای نواحی مرتفع، خطوط زهکشی، خطوط ساحلی و خطوط مرزی سازندها (مرز جدایش واحدهای سنگی) یا خطوط رخنمون‌ها می‌باشد. هابس در سال ۱۹۱۲ دره‌های تنگ و خطوط واضح شکستگی یا زون‌های برشی گسل‌ها را نیز به موارد بالا اضافه کرد. او معتقد بود هر تعداد از این شکل‌ها ممکن است به هم پیوندند و تشکیل خطواره دهند.

همچنین ثابت کرد که بیشتر خطواره‌ها با خطوط سائزموکتونیک‌ی منطبق‌اند و به همین علت خطواره‌ها تا پیش از این وسیله‌ای برای تشخیص مراکز لرزه‌خیزی بودند [Hobbs, 1912].

همانند مباحث تفسیر عکس‌های هوایی، برای تصاویر ماهواره‌ای هم سه راه برای تشخیص خطوط شکستگی ساختاری وجود دارد [حاجی و همکاران, ۱۳۸۸]:

(۱) تشخیص تغییرات ناگهانی مرزهای لیتولوژی و جابجایی لایه‌ها در تصاویر رنگی

(۲) بررسی فرورفتگی‌ها و دره‌های مستقیم به عنوان زون‌های شکستگی

(۳) بررسی برآمدگی‌های خطی به عنوان Scarp های گسلی و دایک‌ها

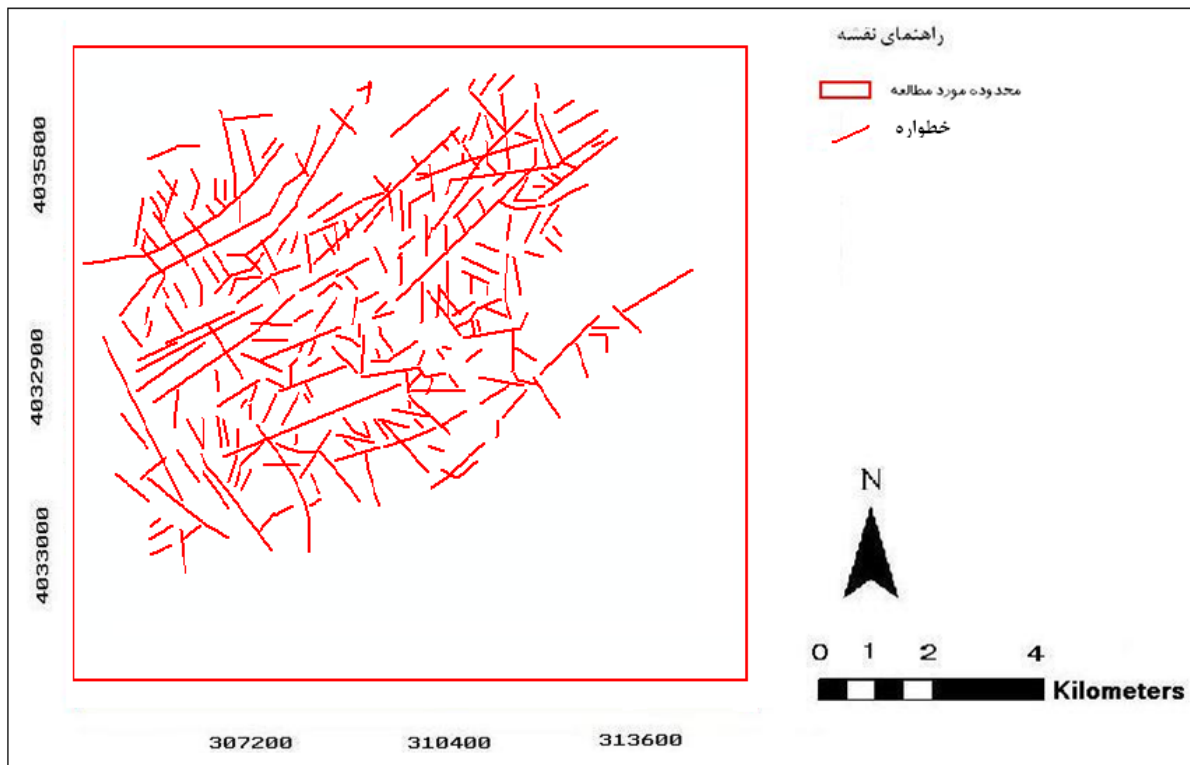
خطواره‌ها که اغلب شکستگی‌های اصلی در نزدیکی سطح زمین هستند، نقش مهم و انکارناپذیری در خواص و مهاجرت آب‌ها دارند. به‌طور معمول شناسایی و تفسیر خطواره‌ها با استفاده از برداشت‌های زمینی و عکس‌های هوایی انجام می‌گیرد. این کار برای مناطق وسیع بسیار وقت‌گیر و هزینه‌بر است. در دهه‌های اخیر تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاعی در کنار دانش زمین‌شناسی، ابزار مناسبی برای استخراج خطواره‌ها بوده است.

اگر چه بیشتر خطواره‌ها حداقل در بخشی از طولشان بر گسل‌ها منطبق می‌شوند، اما همه خطواره‌ها لزوماً منطبق بر فعالیت‌های تکتونیک‌ی و گسلی نیستند. خطواره‌ها در سراسر دنیا مشخص‌کننده مناطق ضعیف پوسته زمین هستند و اگر هیچ‌گونه جابجایی ساختاری در آنها مشاهده نشود، ممکن است سنگ‌ها کاملاً خرد شده و مستعد فرسایش باشند. شکل‌های خطی تفسیر شده روی تصاویر ماهواره‌ای ابتدا خطواره نامیده می‌شوند و در مرحله بعد اگر بررسی‌های میدانی و نقشه‌های مبنا وجود جابجائی ساختمانی را تأیید کرد، به عنوان گسل مشخص می‌شوند. به‌منظور شناسایی ساختمان‌های زمین‌شناسی نیمه‌عمیق و نزدیک سطح و بارزسازی سطوح شکستگی و تخمین امتداد و شیب آنها شناخت و تحلیل خطواره‌ها بسیار با اهمیت است.

### ۳-۳-۲- استخراج خطوطها از تصاویر ماهواره‌ای

برای شناسایی ساختمان‌های زمین‌شناسی نزدیک سطحی و بارزسازی سطوح شکستگی و تخمین امتداد و شیب آنها، شناخت و تحلیل خطوطها بسیار مهم می‌باشد. عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای دو سری از مهمترین منابع اطلاعاتی برای مطالعه خطوطها هستند. عکس‌های هوایی اغلب برای یافتن خطوطها و جزئیات مربوط به آنها مناسب‌تر می‌باشند، اما تعدادی از خطوطها تنها بر روی تصاویر ماهواره‌ای آشکار می‌شوند. تصاویر ماهواره‌ای نسبت به عکس‌های هوایی در تحلیل خطوطها یک مزیت بزرگ دارد که قادر است یک ناحیه وسیع را به طور همزمان و با دقت مورد بررسی قرار دهد، زیرا که خطوطها بر روی تصاویر ماهواره‌ای مثل تصاویر سنجنده‌های TM، ETM+ و ... یکسان مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست به علت زاویه کم خورشید و از بین بردن جزئیات فضایی نوفه و پوشش منطقه‌ای و فراگیر تصاویر ETM استفاده می‌شود [کازمی و همکاران، ۱۳۸۵]. اهمیت و مفهوم زمین‌شناسی خطوطها استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای مستلزم انطباق با واقعیت‌های زمینی می‌باشد. با در نظر گرفتن وضوح فضائی سنجنده ETM تعدادی از خطوطهای بزرگ که مرتبط با مناطق شکستگی هستند، می‌توان نشانه‌هایی از وجود گسله‌ها و درزهای پیوسته دانست. شکل مناطق شکستگی ممکن است با یکدیگر متفاوت باشد که این امر به میدان نیروهای تکتونیکی و ویژگیهای مکانیکی توده سنگ‌ها بستگی دارد. با توجه به نوع کار جهت استخراج خطوطها لازم است از رایانه استفاده شود. بدین منظور ابتدا باید تصویر DEM منطقه مورد نظر را توسط نرم‌افزار بر اساس نقشه رقومی توپوگرافی منطقه تهیه کرد. سپس توسط این تصویر در نرم‌افزار ArcGIS لایه اطلاعاتی فوق‌الذکر را تهیه نمود. همچنین از باند هفت تصویر TM نیز می‌توان استفاده کرد، چرا که در محدوده طول موج ۲/۳۵ - ۲/۰۸ میکرومتر فعال است. این باند به رطوبت پوشش گیاهی و خاک حساس است، ولی عامل بسیار مهمی است که باعث می‌شود در مطالعات زمین‌شناسی، به ویژه در لیتولوژی از آن استفاده شود. حساس بودن این باند به یون‌های

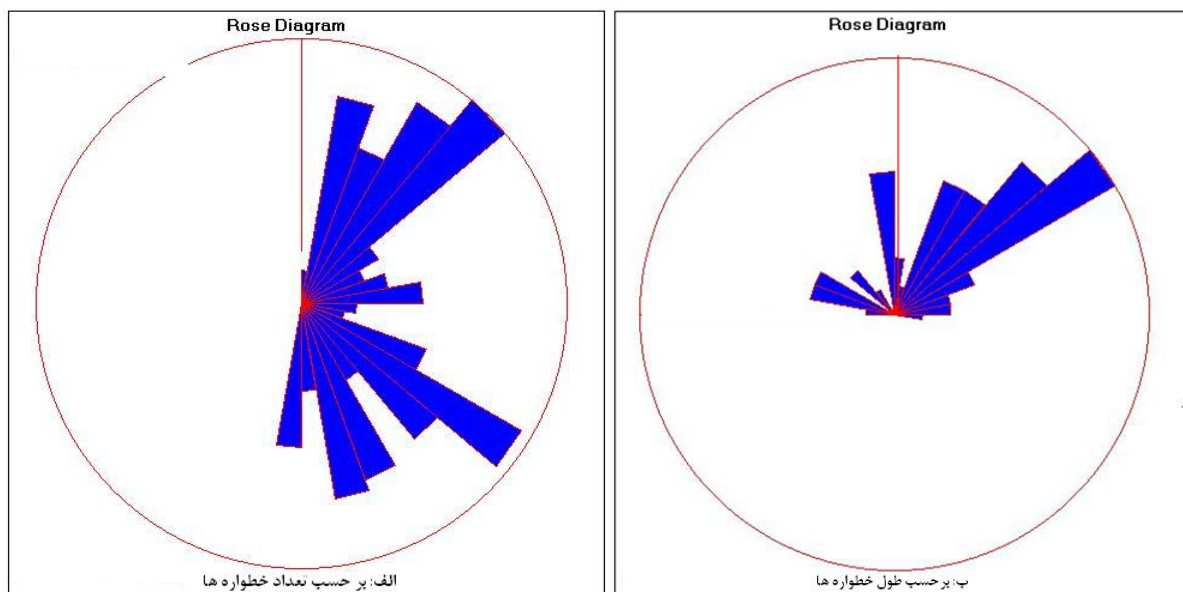
هیدروکسیل کانی‌ها، باعث می‌شود که بتوان به راحتی لایه‌ها و سازندهای مختلف زمین‌شناسی را از هم تفکیک کرد [بیگ، ۱۳۸۸؛ Ghulam et al, 2004; AlSaud, 2008]. شکل (۳-۸) خطواره‌های استخراج شده منطقه مورد مطالعه با استفاده از تصویر ماهواره‌ای ETM+ در محیط نرم افزار ArcGIS را نشان می‌دهد. در این شکل تعداد ۲۷۳ خطواره ترسیم شده است.



شکل ۳-۸: استخراج رقومی خطواره‌ها در منطقه مورد مطالعه از تصویر ماهواره‌ای ETM+ در محیط نرم‌افزار

ArcGIS

به‌منظور شناسایی وضعیت خطواره‌ها و گسترش، جهت یافتگی و تمرکز آنها، داده‌های استخراج شده در شکل (۳-۸) را بر روی نمودار گل‌سرخ (Rose Diagram) انتقال داده و نمودار مربوط ترسیم گردید (شکل ۳-۹). مطابق این شکل عمده‌ی خطواره‌ها در راستای شمال‌شرقی-جنوب‌غربی متمرکز شده است.



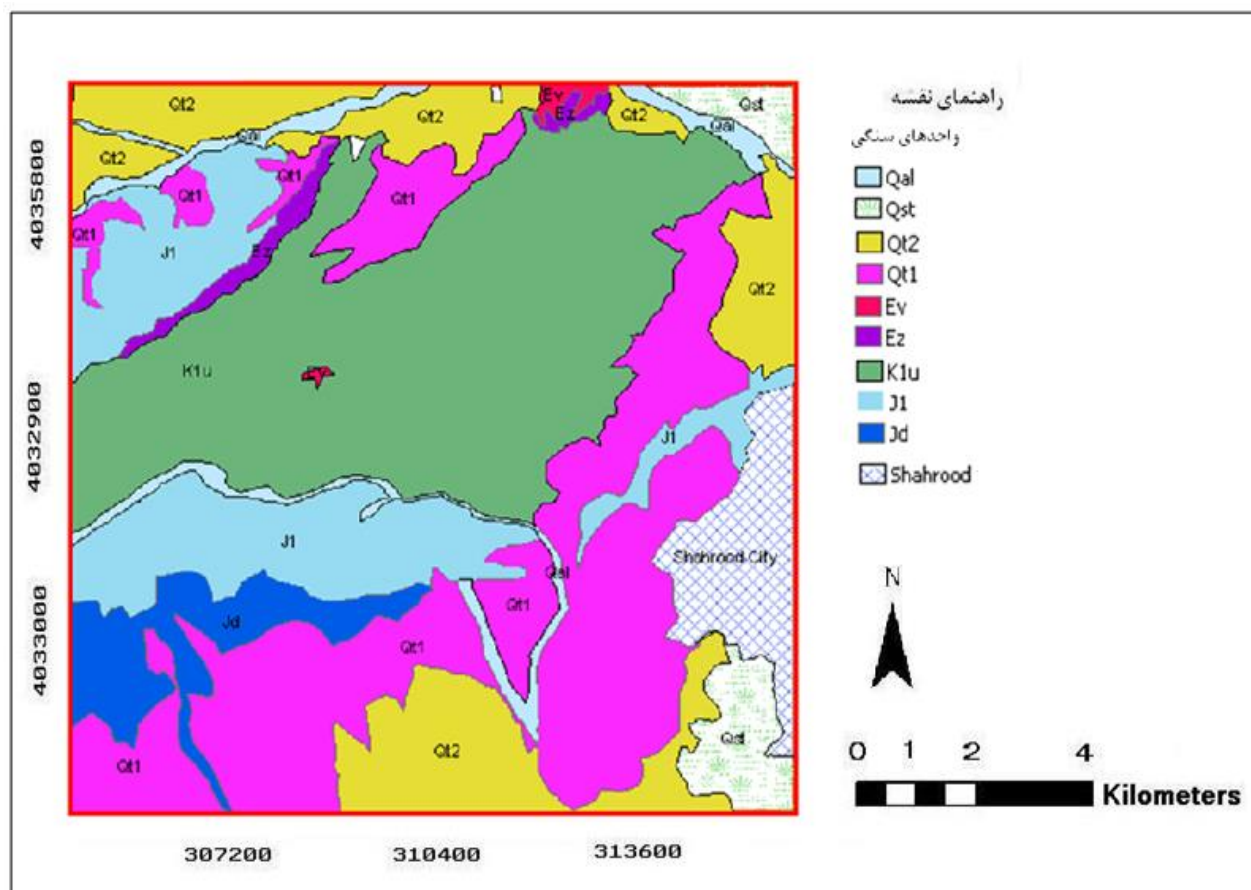
شکل ۳-۹: نمودار گلسرخی خطواره‌ها در محدوده مورد بررسی

(الف: بر حسب تعداد خطواره‌ها- ب: بر حسب طول خطواره‌ها)

### ۳-۴- تهیه نقشه رقومی زمین‌شناسی یا واحدهای سنگی

همان‌گونه که گفته شد، یکی از ابزارهای نوین در زمینه مطالعه آب‌های زیرزمینی، استفاده از فناوری سنجش از دور است. از سوی دیگر مطالعات زمین‌شناسی نقش مهمی را در تهیه برنامه مدیریت آب‌های زیرزمینی ایفا می‌کند [Kumar,2007]. برخلاف روش‌های مرسوم تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی که پرهزینه و وقت‌گیر هستند؛ استفاده از سنجش از دور علاوه بر دقت عمل مکانی، کم‌هزینه و سریع می‌باشد. یکی از کاربردهای مهم این تصاویر، تعیین نوع واحدهای سنگی و سازند-های زمین‌شناسی است. میزان حساسیت سنگ‌ها به فرسایش و خصوصیات سنگ‌ها مانند نرمی و سختی آن نقش موثری در مطالعات مربوط به خاک‌شناسی، زمین‌شناسی و آمایش سرزمین حوضه-های آبخیز دارد [Ghulam et al,2004]. در نتیجه در اختیار داشتن نقشه زمین‌شناسی هر حوضه آبخیز، کمک موثری در زمینه مطالعات عمومی آبخیزداری می‌کند. شکل (۳-۱۰) نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که از پردازش تصویر ماهواره‌ای ETM<sup>+</sup> با استفاده

از نرم افزار ENVI و در محیط GIS ترسیم شده است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه عمدتاً از تراس-های جوان و قدیم و مخروط‌افکنه‌های آبرفتی می‌باشد که خود امتیاز مثبتی جهت نفوذ آب‌های سطحی و در نتیجه پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی در آن نقاط محسوب می‌شود. مساحت هر یک از واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه در جدول (۲-۳) ارائه شده است.



شکل ۳-۱۰: نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

جدول ۳-۲: واحدهای سنگی موجود در منطقه و مساحت هر کدام از آنها

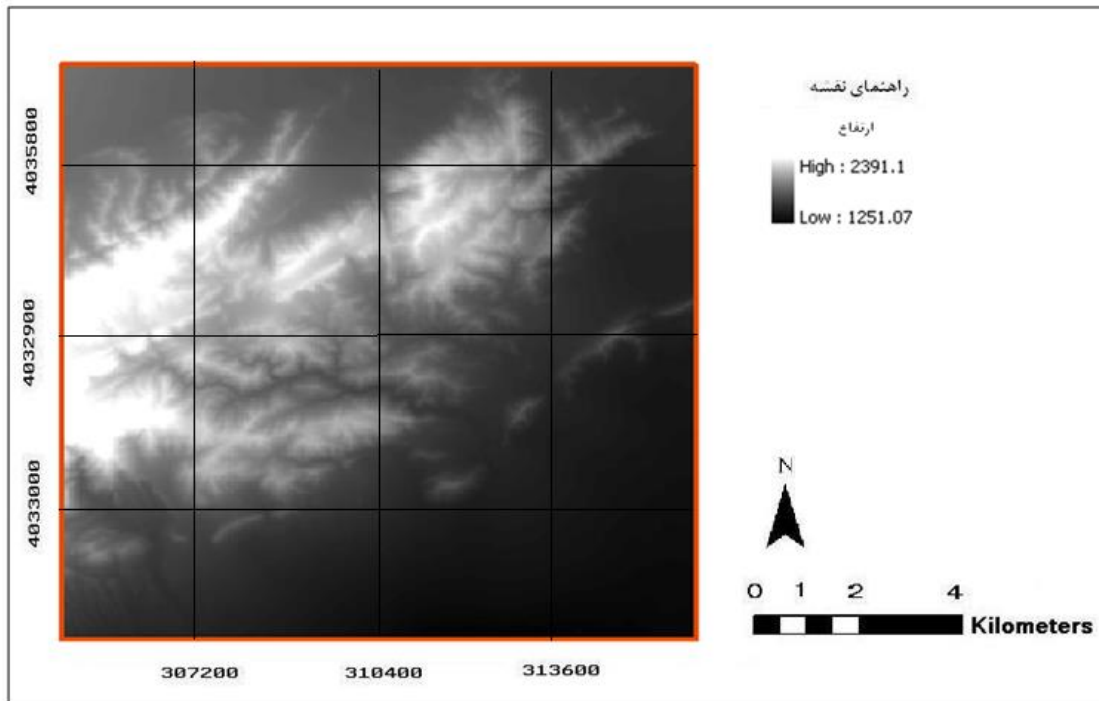
| واحد سنگی | مساحت<br>(کیلومتر مربع) | درصد پوشش واحد<br>سنگی نسبت به کل<br>محدوده مورد مطالعه | سن واحد سنگی و ویژگی سنگ شناسی                                         |
|-----------|-------------------------|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|
| K1u       | 52.8                    | 28.6                                                    | کرتاسه بالایی - توالی های سنگ آهک ضخیم و مارن                          |
| Qt1       | 48.5                    | 26.3                                                    | رسوبات کواترنر - پادگانه آبرفتی قدیم و مارن گراولی                     |
| Qt2       | 25.8                    | 14.0                                                    | رسوبات کواترنر - پادگانه آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی                   |
| J1        | 24.1                    | 13.1                                                    | ژوراسیک بالایی - سنگ آهک ضخیم و آهک چرتی                               |
| Jd        | 8.7                     | 4.7                                                     | ژوراسیک بالایی - توده دولومیتی                                         |
| Qst       | 6.4                     | 3.5                                                     | کواترنر - کویر و نمکزار                                                |
| Qal       | 5.8                     | 3.1                                                     | کواترنر - آبرفت و مسیر رودخانه                                         |
| Ev        | 1.7                     | 0.9                                                     | ائوسن زیرین - تناوب سنگ آهک دولومیت دار و سنگ آهک ماسه ایی دولومیت دار |
| Ez        | 1.6                     | 0.9                                                     | ائوسن زیرین - تناوب سنگ آهک دولومیت دار و سنگ آهک ماسه ایی دولومیت دار |
| Shahrood  | 8.9                     | 4.8                                                     | ناحیه شهری شهرستان شاهرود                                              |

### ۳-۵- تولید نقشه رقومی طبقات ارتفاعی

نقشه‌های توپوگرافی نقشه‌هایی هستند که با استفاده از خطوط هم‌ارتفاع، نمایشی از وضعیت ناهمواری‌های یک مکان را ارائه می‌دهند. از این جهت مشخص‌ترین ویژگی نقشه‌های توپوگرافی، وجود خطوط هم‌ارتفاع یا منحنی‌های میزان است. برای ترسیم منحنی‌های میزان یک محدوده وسیع، از عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود.

برای ترسیم مدل رقومی ارتفاعی (DEM) اولیه محدوده مورد مطالعه، از تصویر ETM+ و نرم‌افزار ArcGIS 9.2 بهره گرفته شد. سپس با توجه به انجام برداشت توپوگرافی در قسمت‌هایی از منطقه توسط دوربین نقشه‌برداری توتال استیشن، اقدام به بروزرسانی نقشه DEM گردید. برای این منظور ابتدا باید از DEM منطقه، تصویر TIN (مثلث‌بندی شده) را ساخت و آنگاه با داده‌های پربند شده از برداشت توپوگرافی که به وسیله نرم‌افزار Surfer ترسیم شده، تصویر TIN را در محیط ArcGIS 9.2 بروز نموده و سپس این تصویر را به یک تصویر رستری به صورت DEM تبدیل نمود.

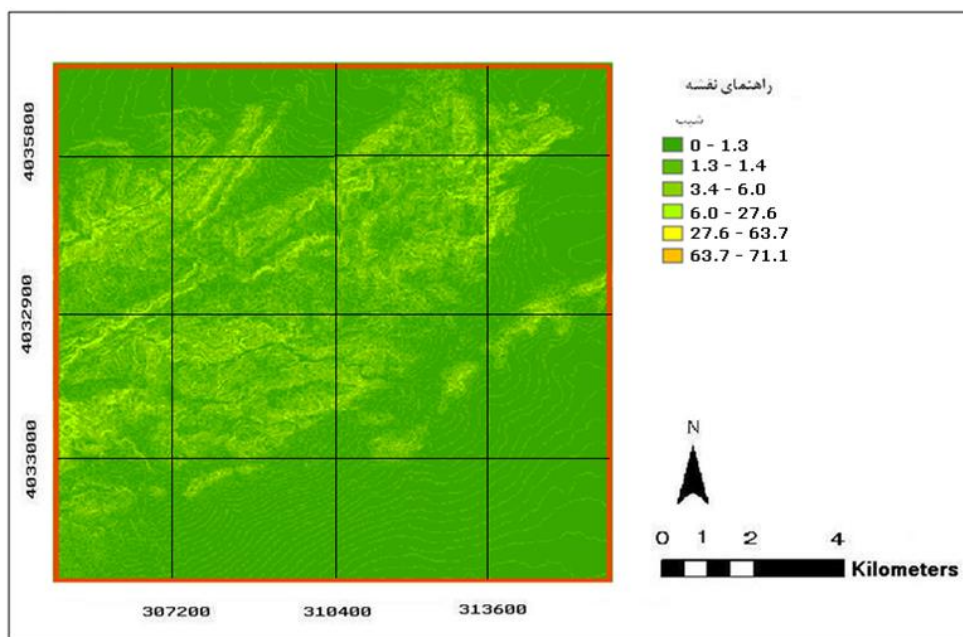
شکل (۱۱-۳) نقشه DEM نهایی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل دامنه ارتفاعات در محدوده مورد بررسی از ۱۲۵۰ متر تا ۲۳۹۰ متر می‌باشد.



شکل ۱۱-۳ : نقشه رقومی ارتفاعی منطقه (DEM)

### ۳-۶- تولید نقشه رقومی شیب

شیب توپوگرافی یک عامل مهم کنترل‌کننده سیستم جریان آب سطحی و زیرزمینی است. گسترش پدیده کارست در شیب‌های کم (به دلیل تماس بیشتر آب با آهک) بیشتر بوده و پدیده انحلال در این شیب‌ها تشدید می‌شود [Krishnamurthy et al, 1997]. برای این منظور تصویر  $ETM^+$  منطقه، با استفاده از نرم‌افزار GIS رقومی شده و پس از تهیه مدل ارتفاعی رقومی، نقشه شیب منطقه در دسته‌های مختلف تهیه گردید (شکل ۱۲-۳).

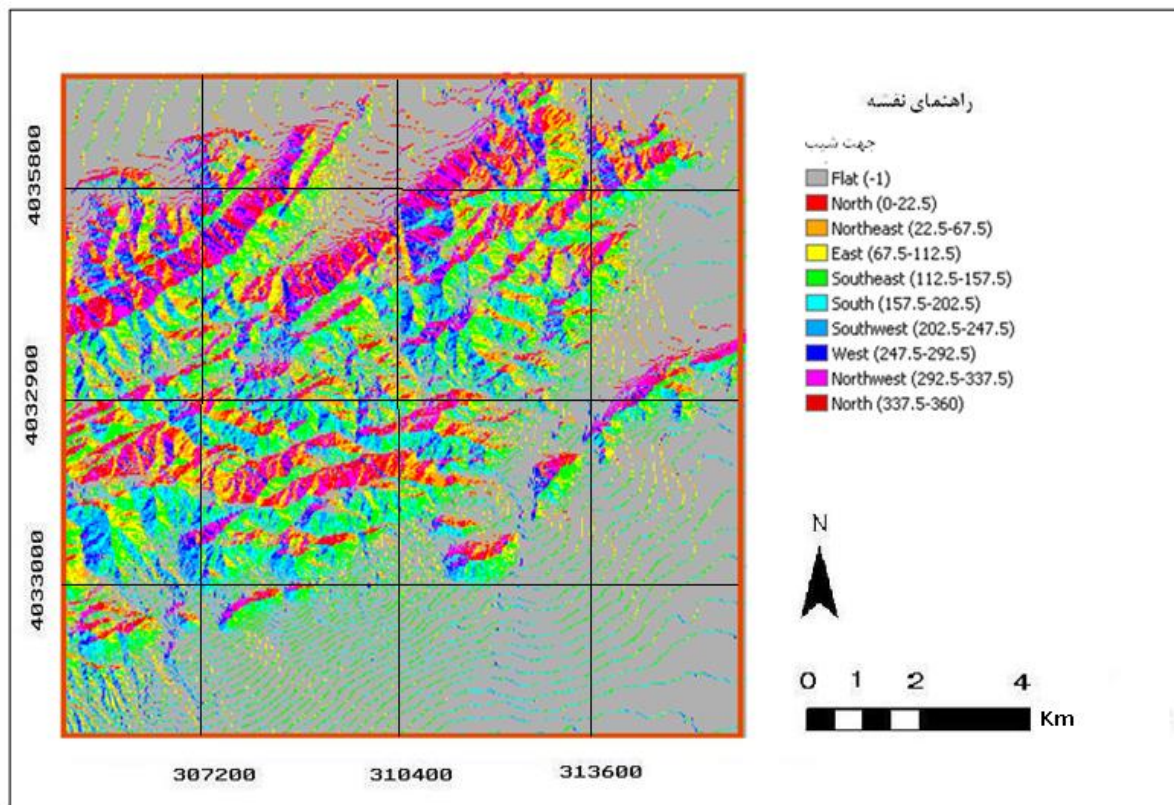


شکل ۳-۱۲: نقشه رقومی شیب منطقه

مطابق شکل ۳-۱۲ شیب منطقه در ده بازه نشان داده شده است که در آن کمترین بازه شیب با رنگ سبز نمایش داده شده است و نقاط ارتفاعی منطقه نیز که بالاترین شیب را در این محدوده دارا می‌باشند، در آخرین بازه جای گرفته‌اند و رنگ قرمز را به خود اختصاص داده‌اند، که مشاهده می‌شود در محدوده مورد بررسی، هیچ نقطه‌ای با این مقدار شیب وجود ندارد.

### ۳-۷- تولید نقشه رقومی جهت شیب

جهت شیب نیز یکی دیگر از عواملی است که می‌تواند بر احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی تاثیرگذار باشد. این عامل از آن جهت می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد که جهت تابش نور خورشید در یک منطقه با توجه به تبخیر سریعتر آب‌های سطحی در جهاتی که مورد تابش بیشتر آفتاب قرار گرفته‌اند، موجب کاهش احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی و در جهاتی که مورد تابش کمتر نور خورشید قرار گرفته‌اند، موجب افزایش احتمال تشکیل یک سفره آب زیرزمینی شود [رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰]. شکل (۳-۱۳) نقشه جهت شیب در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۳: نقشه جهت شیب در محدوده مورد مطالعه

### ۳-۸- تولید نقشه رقومی شبکه زهکشی<sup>۱</sup>

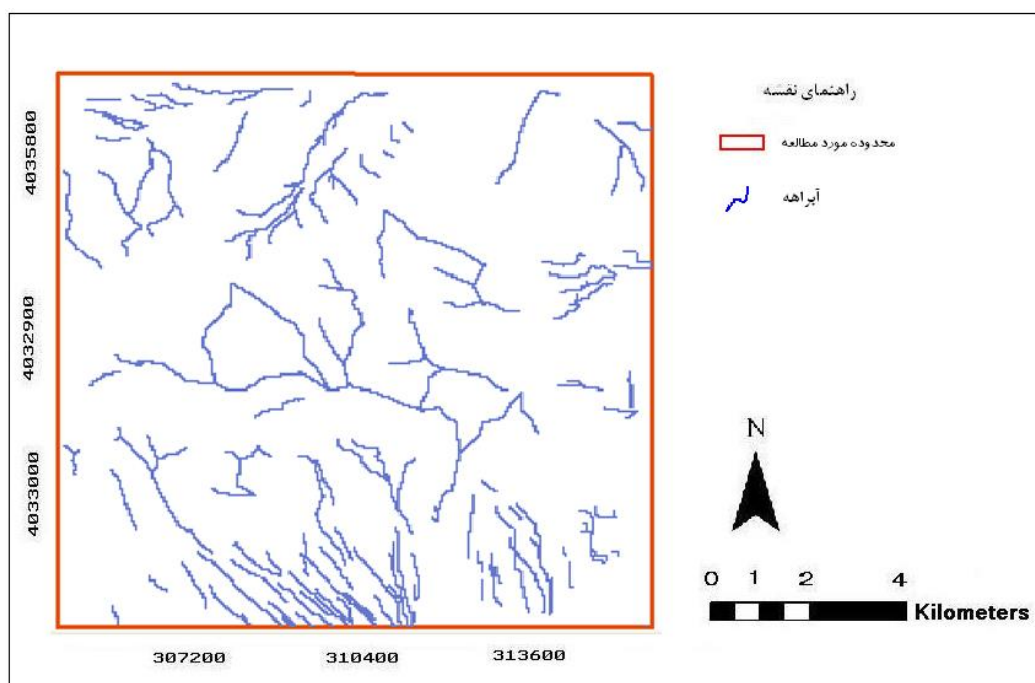
یکی از پارامترهای تعیین کننده در ایجاد آب های زیرزمینی، پدیده زهکشی در آن منطقه می باشد. با بررسی این فاکتور می توان حدس زد که در منطقه ی مورد نظر، آیا شانس حضور آب زیرزمینی وجود دارد یا خیر [Abdel et al, 2008].

بر اساس شرایط توپوگرافی، همواره جهت جریان آب های سطحی از بالادست به سمت نقاط پائین دست می باشد. به مرور زمان، مسیرهایی ایجاد می شود که مسیر حرکت آب های سطحی را کنترل می کند و از نقاط ارتفاعی به نقاط فرودست هدایت می نماید و چنانچه بتوان این مسیرها را شناسایی

<sup>۱</sup> . Hydrography net layer

و بر روی آن مطالعه نمود می‌توان نقشه شبکه زهکشی یک منطقه را تعیین و ترسیم نمود [ملکیان، ۱۳۹۱].

امروزه مطالعات صحرایی و نمونه‌برداری جای خود را به نرم افزارهای تخصصی داده است و این کار به راحتی از این طریق صورت می‌پذیرد. در نرم افزار ArcGIS نیز با در دست داشتن تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد نظر می‌توان نقشه زهکشی آن منطقه را تهیه نمود. بدین ترتیب با استفاده از تصویر ماهواره‌ای سنجنده ETM<sup>+</sup> در محیط نرم‌افزار ArcGIS اقدام به ترسیم شبکه زهکشی منطقه گردید (شکل ۳-۱۴).



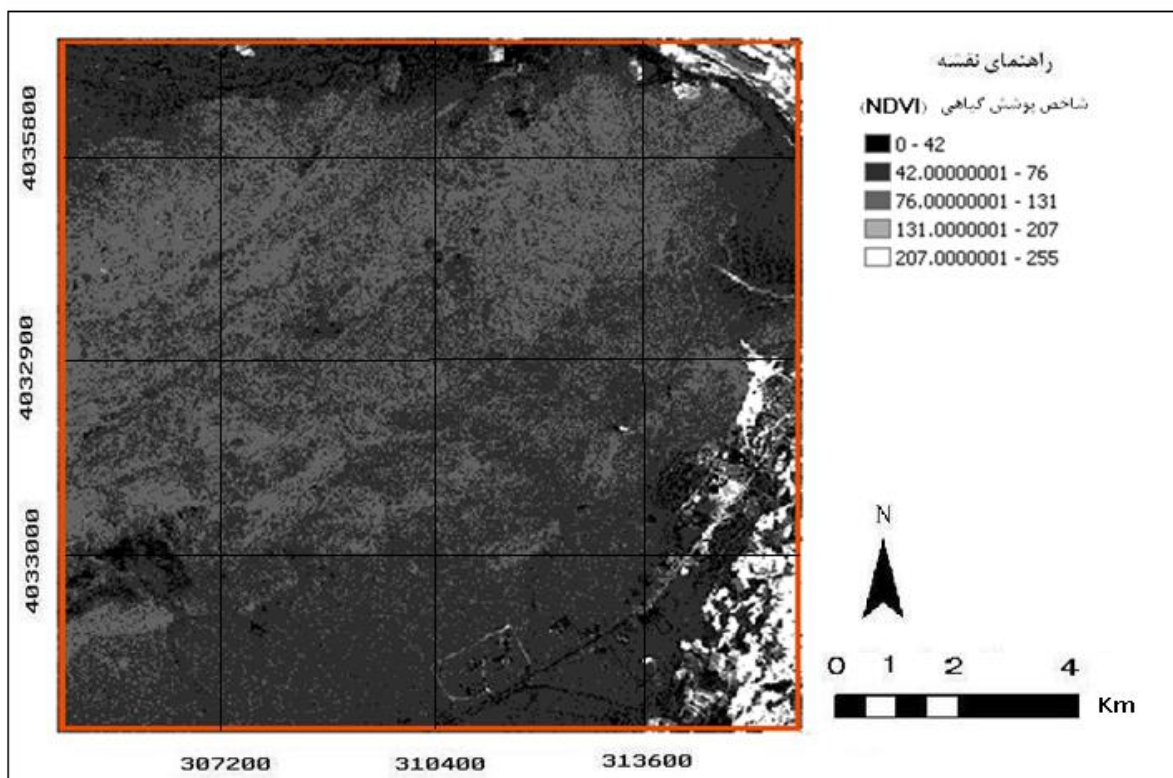
شکل ۳-۱۴: نقشه رقومی زهکشی منطقه

### ۳-۸- تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی

پوشش گیاهی در هر منطقه یک معرف فیزیکی بسیار مهم در تخمین حضور آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد. عواملی نظیر کشاورزی و مناطق شهری و مناطق بیابانی و مناطق جنگلی و ... خود دلیل خوبی بر وجود و یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی در یک منطقه محسوب می‌گردد. برای

شناسایی، مقدار و تنوع پوشش گیاهی شاخص‌های فراوانی ارائه شده است [Krishnamurthy et al, 1995; Sener et al, 2005].

NDVI<sup>۱</sup>، شاخص پوشش گیاهی است که همواره می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای نظیر ETM استخراج نمود و منطقه مورد نظر را بر اساس پوشش گیاهی موجود به تصویر کشید. بنابراین بر اساس این تفسیر میتوان مناطقی با پوشش گیاهی بالا را از مناطق کم‌پوشش جدا نمود و یا حتی منطقه مورد مطالعه را بر این اساس دسته‌بندی کرد. شکل (۳-۱۵) نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق این نقشه مشاهده می‌شود که پوشش گیاهی در محدوده مورد بررسی، عمدتاً در منطقه شهری شاهرود که در قسمت جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه واقع شده است وجود دارد.



شکل ۳-۱۵: نقشه NDVI منطقه مورد مطالعه

<sup>۱</sup> Normalized Difference Vegetation Index

در این فصل با اشاره به عوامل موثر در پی‌جویی و یافتن پتانسیل‌های منابع آب زیرزمینی، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، لایه‌های اطلاعاتی مختلف تهیه گردید. به این ترتیب که ابتدا نقشه رقومی هریک از عوامل تهیه گردید. در ادامه کار در فصل چهارم برای آماده‌سازی جهت پردازش‌های GIS، مجدداً اطلاعات دسته‌بندی شده و لایه‌های اطلاعاتی حاصل می‌گردد و سپس با روش‌های مختلف، این لایه‌ها با هم تلفیق خواهند شد. در نهایت نقشه‌های پتانسیل منابع آب زیرزمینی تلفیقی حاصل از روش‌های مختلف با هم مقایسه می‌شوند.

## **فصل چهارم**

**تولید لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق آنها به**

**روش‌های مختلف در محیط GIS**

## ۴-۱- مقدمه

در فصل سوم به بررسی و شناخت روش پیشنهادی جدید جهت تعیین مناطق امیدبخش از نظر وجود آب‌های زیرزمینی به کمک فنون سنجش از دور و GIS پرداخته شد و همچنین از داده‌های اولیه‌ای نظیر تصاویر ماهواره‌ای، پارامترهای تاثیرگذار در پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی مثل خطواره، زهکشی، زمین‌شناسی و ... استخراج و به نقشه‌های رقومی تبدیل شد. با توجه به اینکه میزان تاثیر پارامترهای مذکور در تعیین رخداد هدف متغیر می‌باشد و هر کدام تاثیر متفاوتی نسبت به یکدیگر دارند، در نتیجه بایستی هر کدام از این پارامترها وزن‌دار شود که در ادامه توضیح داده شده است. پس از تولید نقشه‌های رقومی از پارامترهای فوق‌الذکر، در مرحله بعد هر کدام از آنها تبدیل به لایه‌های اطلاعاتی می‌شود. به عبارت دیگر نقشه‌های رقومی باید در بازه‌های مختلف امتیازدهی شود.

## ۴-۲- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تولید لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای تاثیرگذار بر پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی، بایستی لایه‌های مذکور را وزن‌دهی و تلفیق نمود. وزن هر آیت‌م در یک لایه اطلاعاتی معرف میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به سایر معیارها در پتانسیل‌یابی احتمال وقوع پدیده هدف می‌باشد. با توجه به اینکه غالباً معیارهای مورد مطالعه در هر پروژه زیاد و دارای ارزش یکسان نمی‌باشند، لذا برای در نظر گرفتن اهمیت معیارها و لحاظ کردن مستقیم آنها در پهنه‌بندی به منظور تلفیق لایه‌ها ضرورت امر وزن‌دهی معیارها امری انکار ناپذیر می‌باشد. روش‌های مختلفی برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در اکتشاف معادن و پتانسیل‌یابی‌های معدنی وجود دارد. به طور کلی این روش‌ها بر پایه داده‌ها (داده محور) و یا بر پایه مدل‌های مفهومی کانی‌سازی و دانش کارشناسی (کارشناس محور) می‌باشند. آنچه که در تعیین محدوده‌های دارای پتانسیل بالای ذخایر معدنی حائز اهمیت است، استفاده صحیح و دقیق از تمامی داده‌های موجود می‌باشد.

در روش وزن‌دهی به داده‌ها هیچ محدودیتی در تعداد لایه‌های اطلاعاتی وجود ندارد و کلیه اطلاعات مرتبط و مؤثر در شناخت ذخایر معدنی می‌توانند مورد ارزیابی قرار گیرند. در این روش، داده‌ها پس از بررسی و پردازش، به صورت لایه‌های اطلاعاتی ارزش‌دهی شده دوتایی یا چندتایی طبقه‌بندی شده و آماده تحلیل نهایی می‌گردند و در نهایت، خروجی به صورت یک لایه اطلاعاتی ارائه می‌شود. در روش‌های متکی بر مدل مفهومی کانی‌سازی و نظر کارشناسی، داده‌هایی که به نظر کارشناسان دارای ارزش هستند پس از تحلیل و بررسی به صورت لایه‌های اطلاعاتی جدید تعیین می‌گردند.

در تلفیق به روش متکی بر داده‌ها و دانش کارشناسی، لایه‌های اطلاعاتی که توسط کارشناس تعیین می‌گردند به صورت لایه‌های اطلاعاتی هم‌ارزش و یا دارای ارزش بالاتر به لایه‌های اطلاعاتی متکی بر داده‌ها اضافه می‌گردند. در ذیل روش‌های مختلف تلفیق اطلاعات، تشریح و روش (روش‌های) مناسب برای تلفیق اطلاعات اکتشافی در سیستم اطلاعات جغرافیایی پیشنهاد می‌گردد. روش‌های متداول تلفیق اطلاعات شامل مدل منطق بولین<sup>۱</sup>، مدل همپوشانی شاخص<sup>۲</sup> (IO) و مدل منطق فازی<sup>۳</sup> (گنگ) هستند.

غالباً وزن‌دهی‌های صورت گرفته بر پایه دانش کارشناسی و بر اساس نظر متخصصین با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف مانند محدوده مطالعاتی، پارامترهای مکان‌یابی، تاثیر هر یک از پارامترها و غیره صورت می‌پذیرد.

## ۴-۲-۱- مدل بولین

---

<sup>۱</sup>. Boolean

<sup>۲</sup>. Index Overlay

<sup>۳</sup>. Fuzzy logic

در مدل بولین، وزن‌دهی بر اساس یک (مناسبت کم تا بسیار مناسب) و صفر (نامناسب) است. بنابراین نقشه نهایی فقط به دو قسمت مناسب و نامناسب تقسیم می‌شود. پس از تعریف آیتم مذکور باید اعداد صفر و یک در آن وارد شوند. ترتیب قرارگیری بدین صورت می‌باشد که عدد صفر تنها برای حالت نامناسب و عدد یک برای تمامی حالات به جز نامناسب به کار می‌رود که اختصاص عددها نیاز به نظر کارشناسی دارند. به این نقشه‌های خروجی، نقشه‌های دودویی می‌گویند [حکمت‌پور و همکاران، ۱۳۸۶].

از این روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در این مطالعه بهره گرفته نشده است زیرا در این روش طبق تعریف آن، وقوع یک پدیده به صورت صفر و یکی بیان می‌شود؛ یا به عبارت دیگر احتمال وقوع یک رخداد یا صفر است و یا یک، که این مطلب مغایر با هدف این مطالعه یعنی تعیین موقعیت آب-های زیرزمینی از نظر مکانی و تحلیل منطقه مورد مطالعه بر اساس احتمال حضور آب‌های زیرزمینی می‌باشد.

#### ۴-۲-۲- مدل همپوشانی شاخص

این روش را می‌توان یکی از ساده‌ترین و معمول‌ترین روش‌های تلفیق اطلاعات نام برد. در این روش به هر یک از کلاس‌های طبقه‌بندی شده برای هر یک از پارامترهای دخیل در پتانسیل‌یابی مورد نظر، یک وزن کارشناسی داده شده و به این ترتیب هر یک از لایه‌های اطلاعاتی موجود وزن‌دهی می‌گردد. در نهایت، هر یک از پیکسل‌های موجود در تمامی لایه‌ها که وزن مشخصی به خود گرفته‌اند؛ با جمع تمامی وزن‌های اعمال شده در آن پیکسل در نقشه نهایی پتانسیل، نمایش داده می‌شوند.

#### ۴-۲-۳- مدل منطق فازی

روش منطق فازی که تا حدودی مشابه روش نشانه‌های وزن‌دار می‌باشد؛ روشی است که در آن لایه‌های مختلف با موضوعات مختلف وزن‌دهی شده و دانش کارشناسی در آن دارای بیشترین نقش می‌باشد. این روش که هم وابسته به مدل‌های مفهومی متغیر هدف (مثل کانی‌زایی، سفره آب زیرزمینی و ...) و هم وابسته به اطلاعات مورد تفسیر می‌باشد، مناسب‌ترین روش در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی جهت مشخص نمودن مناطق دارای پتانسیل در این پروژه تشخیص داده شد. در روش فازی با توجه به مدل مفهومی سفره آب زیرزمینی و دانش کارشناسی، برای هر یک از فاکتورهای کنترل‌کننده تمرکز آب زیرزمینی، وزن خاصی تعیین می‌شود. در این روش به منظور تعیین مناطق دارای پتانسیل منابع آب، فاکتورهای مذکور تلفیق می‌گردند و در نهایت محدوده‌های پیشنهادی تعیین می‌شود.

#### ۴-۳- تولید لایه‌ها اطلاعاتی برای روش مجموع وزنی

##### ۴-۳-۱- تولید لایه اطلاعاتی تراکم طول خطواره‌ها

برای تولید لایه اطلاعاتی خطواره می‌باید ابتدا نقشه فوق‌الذکر را در محیط نرم‌افزار ArcGIS دوباره طبقه‌بندی<sup>۱</sup> و کلاس‌بندی نمود و سپس امتیازدهی هر طبقه مشخص می‌شود. ملاک امتیازدهی خطواره‌های منطقه بر اساس چگالی آنها بر حسب کیلومتر بر کیلومتر مربع می‌باشد. به عبارت دیگر واحد اندازه‌گیری، طول خطواره بر حسب کیلومتر بر مساحت منطقه بر حسب کیلومترمربع در نظر گرفته می‌شود [Khairul Anam et al, 2000]

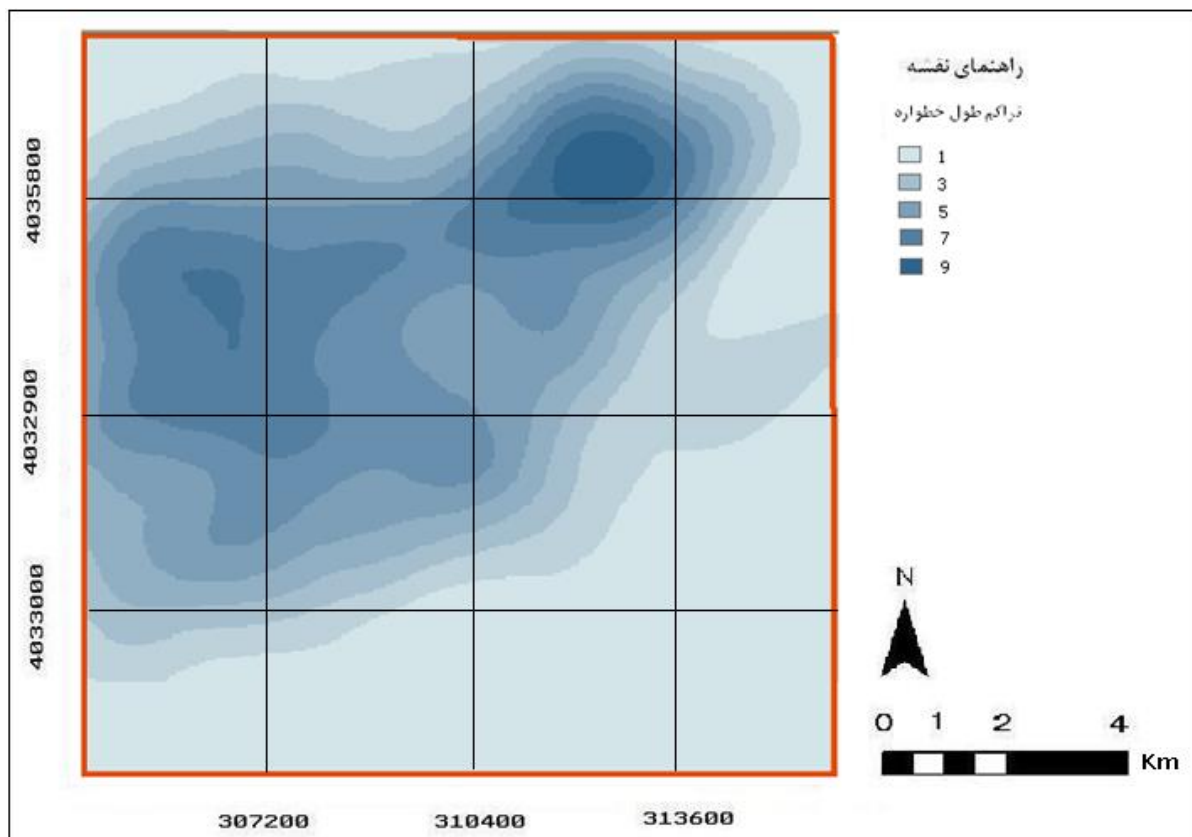
کل محدوده مطالعاتی به پنج بازه امتیازی تقسیم‌بندی و به بیشترین تراکم خطواره‌ای امتیاز ۹ و به همین ترتیب به کمترین تراکم خطواره‌ها امتیاز ۱ اختصاص داده شد (شکل ۴-۱).

---

<sup>۱</sup> . Reclassify

جدول ۱-۴ : امتیاز دهی برای تراکم طول خطواره‌ها [Khairul Anam et al, 2000]

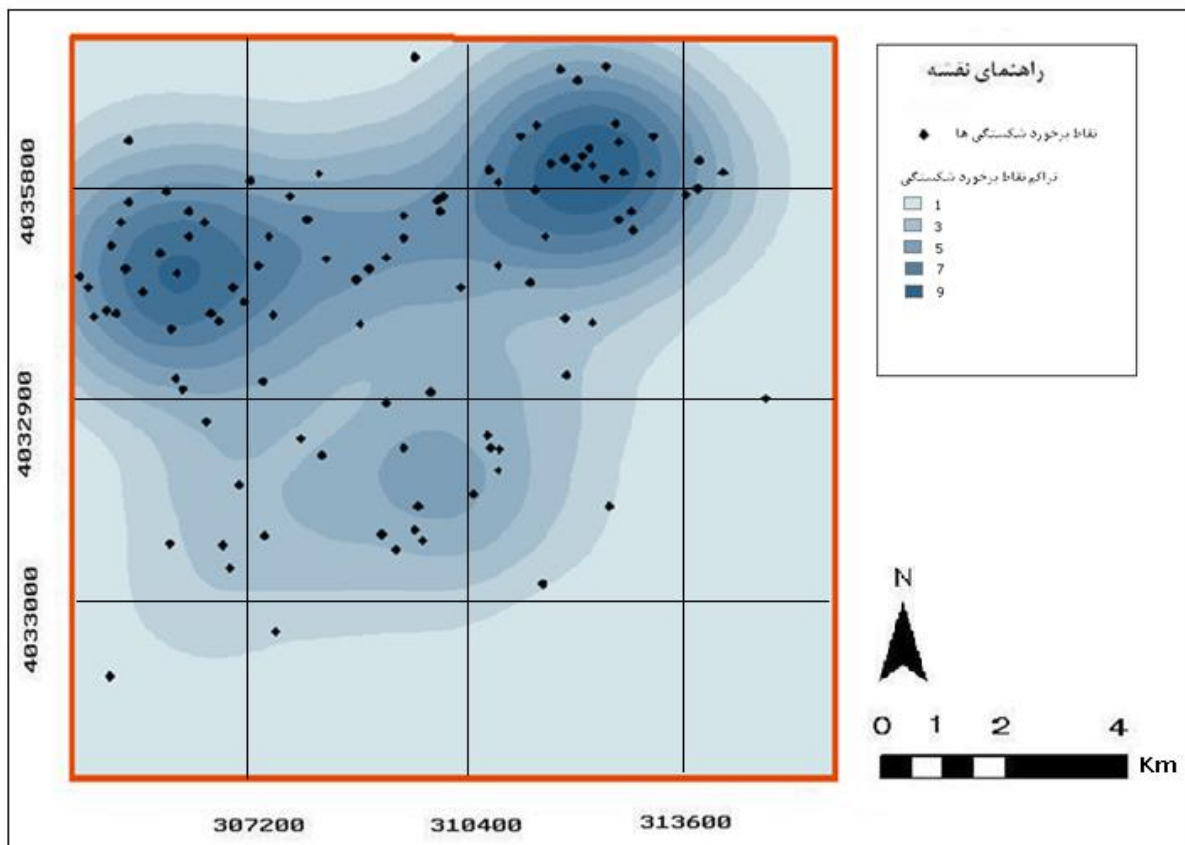
| امتیاز | تراکم طول خطواره ( $\text{km}/\text{km}^2$ ) |
|--------|----------------------------------------------|
| ۹      | $> 1/5$                                      |
| ۷      | $1/2 - 1/5$                                  |
| ۵      | $0/8 - 1/2$                                  |
| ۳      | $0/5 - 0/8$                                  |
| ۱      | $< 0/5$                                      |



شکل ۱-۴ : لایه اطلاعاتی تراکم طول خطواره‌ها در منطقه

۴-۳-۲- تولید لایه اطلاعاتی تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها

یکی از لایه‌های اطلاعاتی که می‌توان از نقشه شکستگی استخراج نمود، تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها می‌باشد. هرچه میزان شکستگی‌ها در یک سنگ متراکم‌تر باشد، شرایط مناسب برای تجمع آب در نقاط شکسته شده بیشتر خواهد بود. در صورتی که میزان برخورد صفحات شکستگی بیشتر باشد، در نتیجه ارتباط هیدرولیکی فضاهای متخلخل (شکستگی‌ها) نیز بیشتر شده و شرایط برای توسعه این فضاها (کارست‌شدگی) مهیاتر خواهد بود. این شرایط (افزایش ارتباط هیدرولیکی) در آبخوان، پتانسیل آبدهی را در صورت تغذیه مناسب، افزایش می‌دهد. از اینرو می‌توان تعداد نقاط برخورد شکستگی‌ها را به عنوان شاخصی برای خردشدگی سازند در نظر گرفت [رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰]. بر این اساس لایه اطلاعاتی تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها وزن‌دهی و آماده شد.



شکل ۴-۲: لایه اطلاعاتی تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها

#### ۴-۳-۳- تولید لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی

برای تهیه لایه اطلاعاتی زمین‌شناسی از نقشه زمین‌شناسی در محیط ArcGIS با بررسی مقالات مختلف [Ganesh Babu & Sashikkumar, 2010; Kouli et al, 2008; Kumar et al, 2007] و با لحاظ نمودن واحدهای سنگی موجود در منطقه، واحدهای زمین‌شناسی دسته‌بندی شده، امتیازدهی شدند. بدین ترتیب که بیشترین امتیاز یعنی اعداد ۷ تا ۹ به بهترین واحد سنگ‌شناسی رسوبی یعنی مخروط‌های آبرفتی جدید و قدیمی و کمترین امتیاز به واحد سنگ‌شناسی واقع در نقاط کویری و نمکزارها یعنی عدد ۱ اختصاص یافته است.

براساس بررسی‌ها و مطالعات انجام شده و بر مبنای واحدهای سنگی موجود در منطقه جدول (۴-۲) برای وزن‌دهی لایه زمین‌شناسی تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. بر طبق این لایه اطلاعاتی، بالاترین امتیاز با بیشترین وسعت، دامنه امتیازی ۷ تا ۹ می‌باشد؛ که این دامنه را واحدهای زمین‌شناسی از واحدهای رسوبی کواترنر و تراس‌های جوان و مخروط‌های آبرفتی جدید<sup>۱</sup> و قدیمی شنی<sup>۲</sup> و آبرفت تشکیل می‌دهند. همچنین کمترین امتیازها نیز در نقاط ارتفاعی منطقه با واحدهای سنگی شیل و مارن و ... که به طبع احتمال حضور آب نیز پائین‌تر است به چشم می‌خورد (شکل ۴-۲).

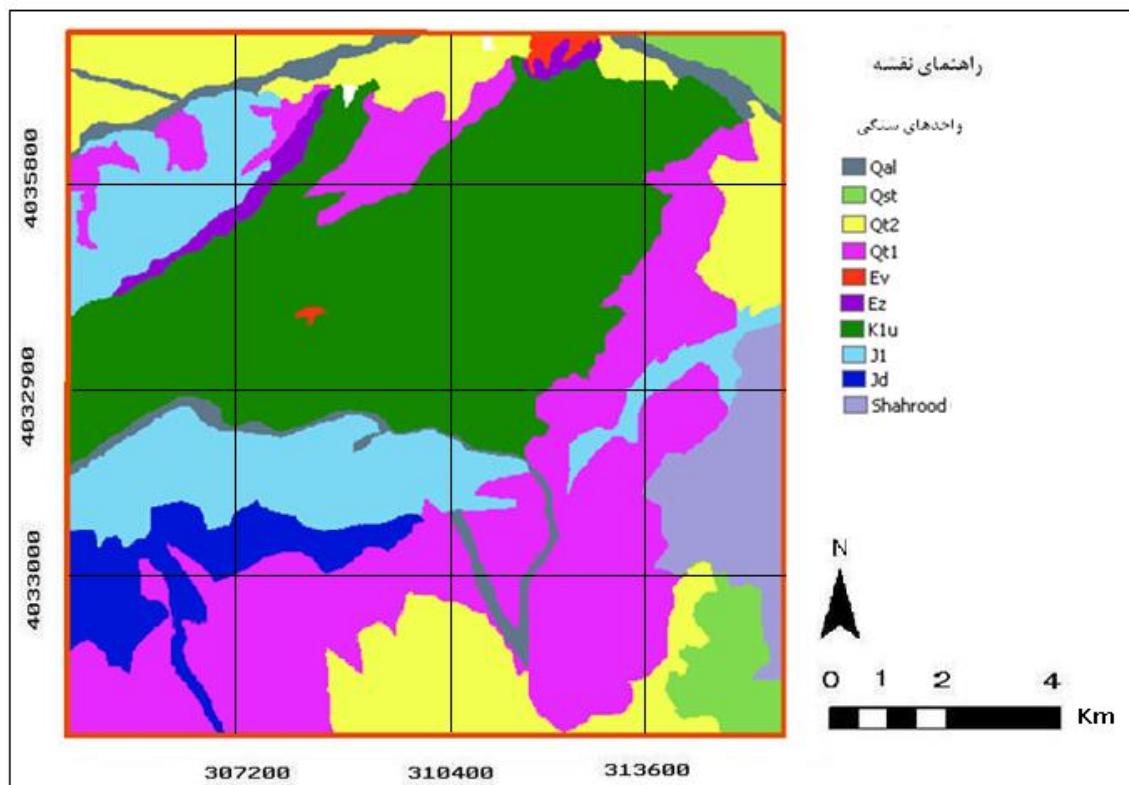
---

<sup>۱</sup> .Young trraces and alluvial fan

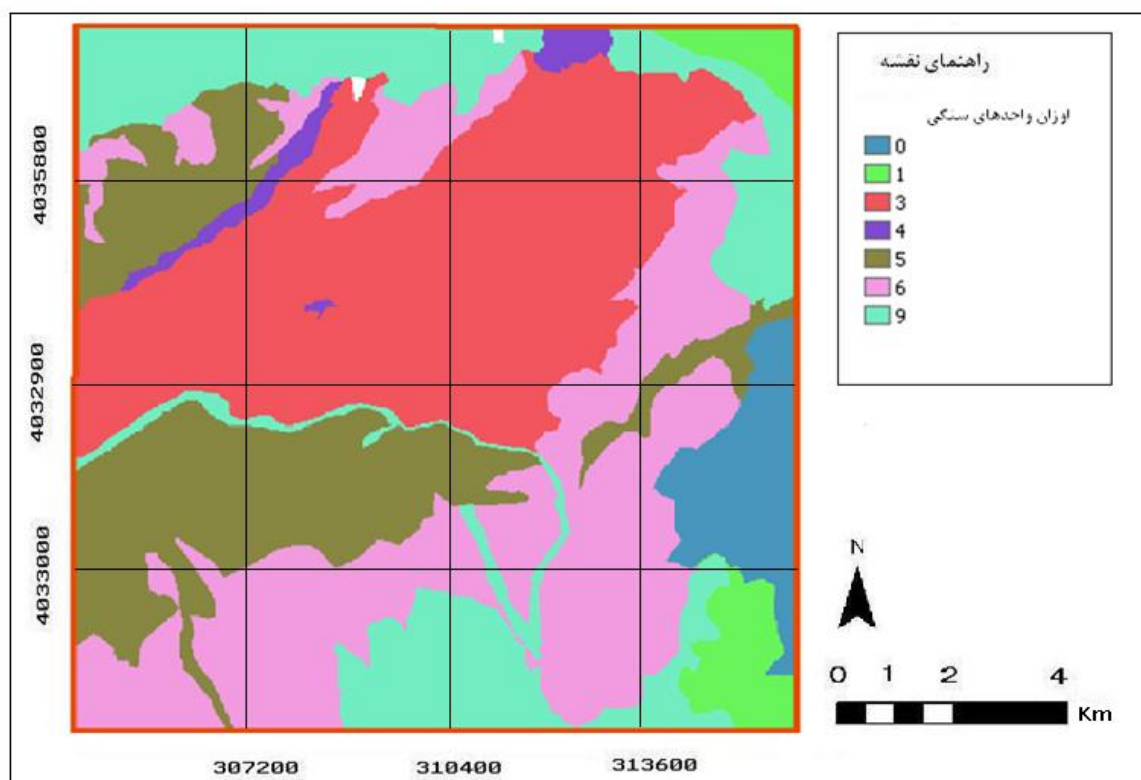
<sup>۲</sup> .Old trraces and gravel fan

جدول ۴-۲: انواع وزن های مورد نیاز برای واحدهای سنگی منطقه [Khairul Anam et al, 2000]

| ردیف | نام واحد سنگی                                                                                                                          | امتیاز                |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|
| ۱    | آلوویوم<br><div> <div> واحدهای رسوبی کوارترنر<br/> مسیرهای رودخانه ایی<br/> تراس های قدیمی<br/> تراس های جوان<br/> آبرفت </div> </div> | ۹<br>۹<br>۸<br>۷<br>۷ |
| ۲    | سنگ آهک ماسه‌ایی- آهک دولومیت دار                                                                                                      | ۵                     |
| ۳    | سنگ آهک - دولومیت                                                                                                                      | ۴                     |
| ۴    | سنگ آهک ضخیم و مارن                                                                                                                    | ۳                     |
| ۵    | کوپر و نمکزار                                                                                                                          | ۱                     |
| ۶    | محدوده شهری شاهرود                                                                                                                     | ۰                     |



شکل ۴-۳: لایه اطلاعاتی رقومی زمین شناسی



شکل ۴-۴: لایه اطلاعاتی زمین شناسی وزن دهی شده

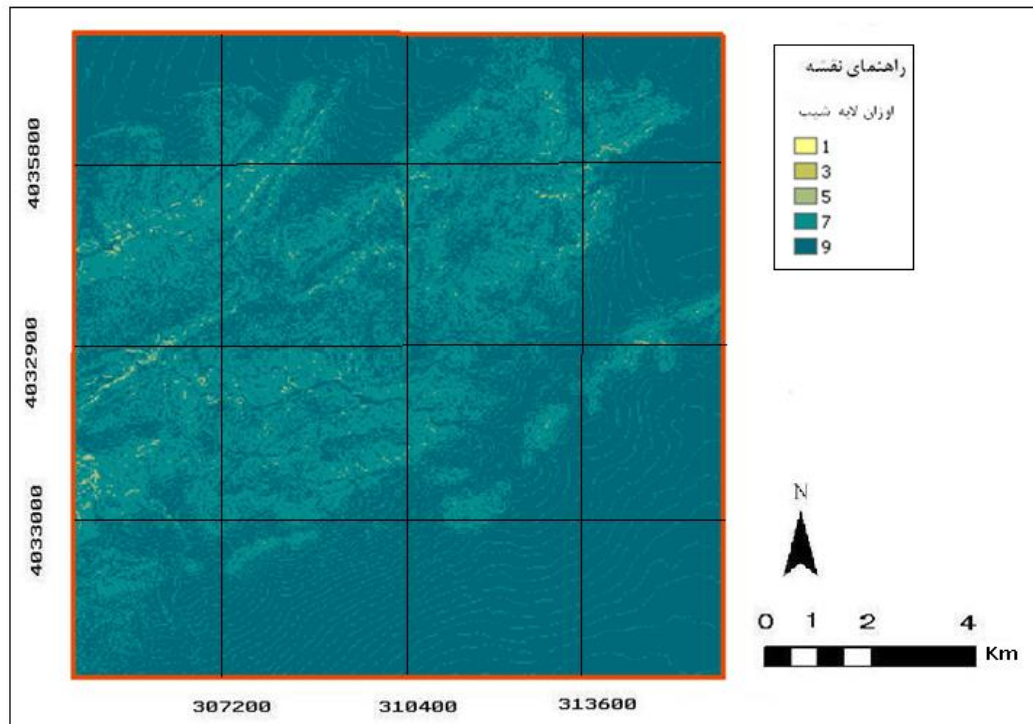
#### ۴-۳-۴- تولید لایه اطلاعاتی شیب

بر اساس شیب منطقه، بهترین محل برای تجمع آب‌های زیرزمینی محدوده‌هایی با حداقل شیب می‌باشد [Madan et al, 2007]. لذا بر همین اساس بازه‌های شیبی منطقه امتیازدهی می‌شود، که البته این کار نیز با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS صورت گرفته است.

شکل (۴-۵) تصویر طبقه‌بندی شده لایه اطلاعاتی شیب منطقه می‌باشد. بر اساس راهنمای این نقشه، بیشترین امتیاز به مناطق دارای کمترین شیب اختصاص داده شده است که به لحاظ مقداری عدد ۹ می‌باشد و کمترین امتیاز به نواحی ارتفاعی نسبت داده شده که همواره حداقل احتمال وجود آب زیرزمینی را دارد، و مقدار این امتیاز نیز عدد ۱ منظور شده است (جدول ۴-۳).

جدول ۴-۳: امتیازدهی برای میزان شیب منطقه [Khairul Anam et al, 2000]

| شیب       | منطقه شیب                       | امتیاز |
|-----------|---------------------------------|--------|
| ۰° - ۳°   | تقریباً مسطح                    | ۹      |
| ۳° - ۷°   | تپه های موجدار (تپه ماهوری)     | ۷      |
| ۷° - ۱۲°  | تپه های پر شیب                  | ۵      |
| ۱۲° - ۲۵° | رشته کوه های باشیب متوسط تا تند | ۳      |
| >۲۵°      | رشته کوه های پرشیب              | ۱      |



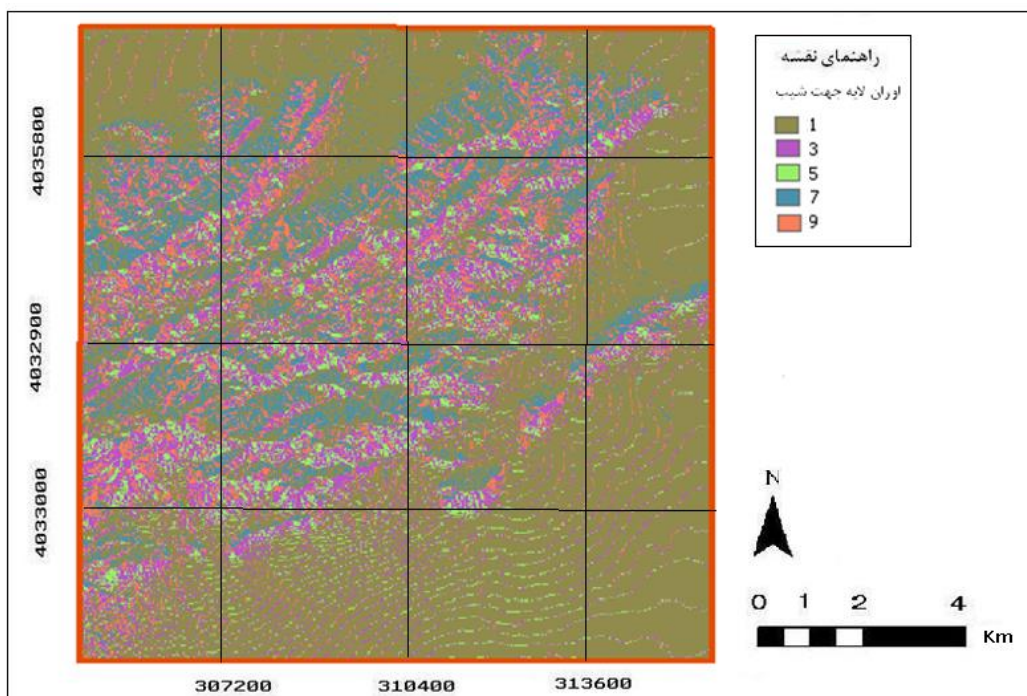
شکل ۴-۵: لایه اطلاعاتی شیب منطقه

#### ۴-۳-۵- تولید لایه اطلاعاتی جهت شیب

در کشور ایران بیشترین شدت تابش نور خورشید در جهت جنوبی می‌باشد و به تبع کمترین شدت تابش، در جهت شمالی می‌باشد؛ لذا جهات شیبی که از جهت شیب جنوبی بیشترین فاصله را دارد، مورد تابش کمتر و جهات شیبی که از جهت شیب شمالی بیشترین فاصله را دارد، مورد تابش بیشتر نور خورشید قرار می‌گیرند. از آنجا که در جهاتی که مورد تابش کمتر آفتاب قرار گرفته‌اند؛ تبخیر سطحی کمتری رخ می‌دهد، لذا جهت شیب می‌تواند در پتانسیل یابی آب زیرزمینی مورد توجه قرار گیرد [رنگزن و سرافراز، ۱۳۹۰]. از این نکته در تولید لایه اطلاعاتی جهت شیب استفاده شده است. جدول (۴-۵) نحوه تخصیص امتیاز برای هر یک از جهات شیب را نشان می‌دهد. لایه اطلاعاتی جهت شیب در شکل (۴-۶) ارائه شده است.

جدول ۴-۴: امتیاز دهی در نظر گرفته شده برای جهات شیب مختلف [Khairul Anam et al, 2000]

| جهت شیب              | امتیاز |
|----------------------|--------|
| شمالی                | ۹      |
| شمال شرقی، شمال غربی | ۷      |
| شرقی - غربی          | ۵      |
| جنوب شرقی، جنوب غربی | ۳      |
| جنوبی، بدون شیب      | ۱      |



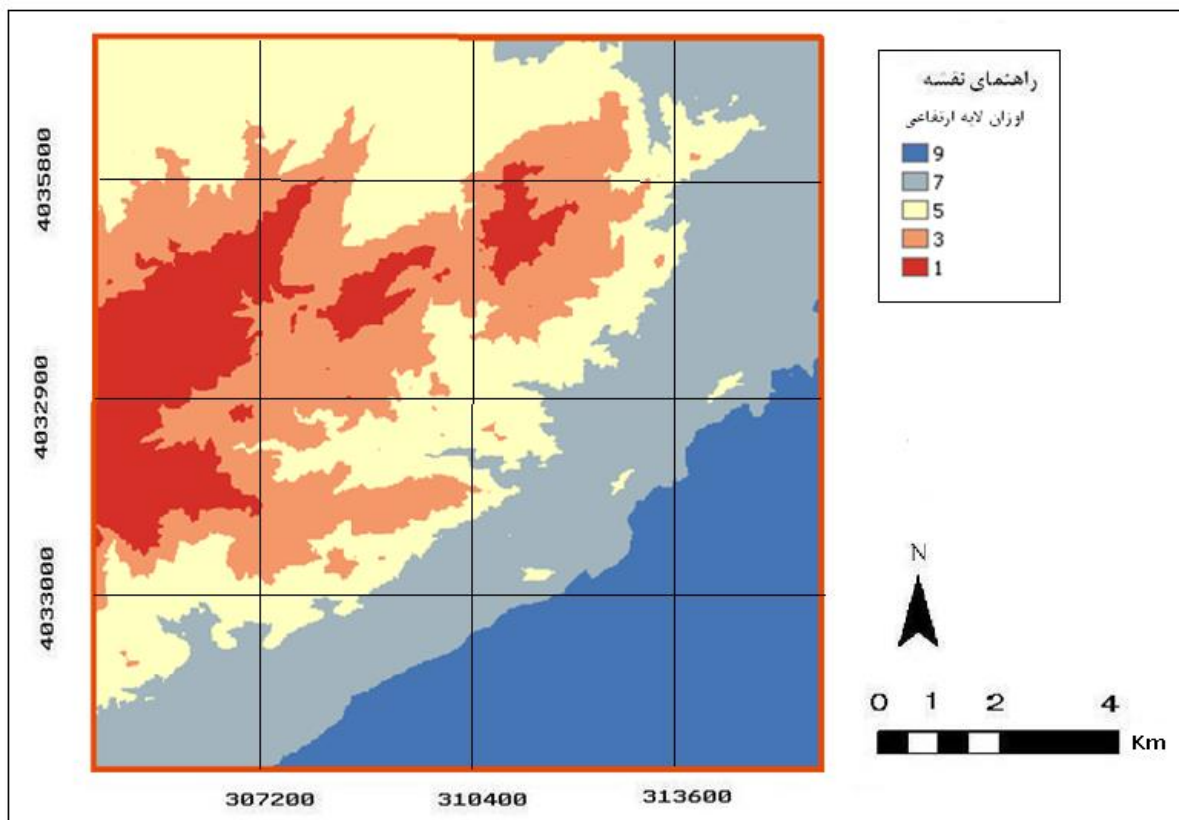
شکل ۴-۶: لایه اطلاعاتی جهت شیب

#### ۴-۳-۶- تولید لایه اطلاعاتی توپوگرافی

پس از تهیه مدل رقومی، نوبت به امتیازدهی بازه‌های مزبور براساس مقدار ارتفاع می‌رسد. برای این کار در نرم‌افزار ArcGIS عمل طبقه‌بندی مجدد انجام می‌شود. پائین‌ترین بازه ارتفاعی، بیشترین امتیاز و بالاترین بازه ارتفاعی کمترین امتیاز را خواهد گرفت [Khairul Anam et al, 2000]. جدول ۴-۵ نحوه تخصیص امتیاز برای هر یک از بازه‌های ارتفاعی را نشان داده است.

جدول ۴-۵: امتیاز دهی برای ارتفاع توپوگرافی منطقه [Khairul Anam et al, 2000]

| امتیاز | منطقه ارتفاعی                   | ارتفاع (m)  |
|--------|---------------------------------|-------------|
| ۹      | تقریباً با توپوگرافی مسطح       | < ۱۴۰۰      |
| ۷      | تپه ماهوری                      | ۱۴۰۰ – ۱۶۰۰ |
| ۵      | تپه های پر شیب                  | ۱۶۰۰ – ۱۸۰۰ |
| ۳      | رشته کوه های باشیب متوسط تا تند | ۱۸۰۰ – ۲۰۰۰ |
| ۱      | رشته کوه های پرشیب              | > ۲۰۰۰      |



شکل ۴-۷: لایه اطلاعاتی ارتفاعی منطقه

#### ۴-۳-۷- تولید لایه اطلاعاتی شبکه زهکشی

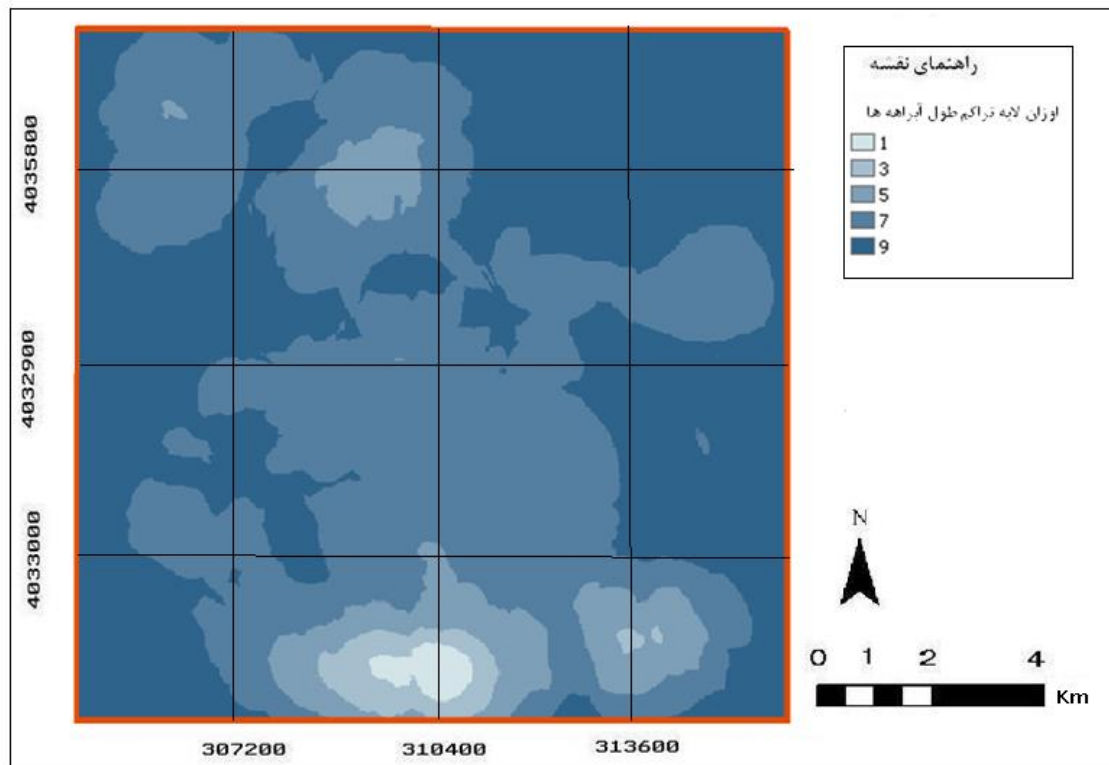
رابطه بین مسیرها و شبکه زهکشی و آب زیرزمینی به این گونه است که اگر در منطقه مورد مطالعه، تراکم مسیرهای زهکشی بیشتر باشد؛ احتمال وجود آب زیرزمینی کمتر خواهد بود. نقشه

زهکشی منطقه نیز بر همین اساس امتیازدهی شده است. به طوری که هر جا که تراکم زهکشی بالا، امتیاز کم و هر جا که تراکم زهکشی پائین باشد، امتیاز بالاتری در نظر گرفته شده است [Khairul Anam et al, 2000].

بر اساس این نکته و استدلال، امتیازدهی لایه اطلاعاتی شبکه زهکشی تهیه شده است (شکل ۴-۸). به این ترتیب که تراکم زهکشی باعث امتیازدهی کمتر آن می شود. یعنی هر جا که میزان شبکه زهکشی بیشتر باشد امتیاز کمتری لحاظ می شود و هر جا که میزان تراکم زهکشی کمتر باشد، امتیاز بیشتری داده شده است (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶ : امتیازدهی برای چگالی زهکشی منطقه [Khairul Anam et al, 2000]

| امتیاز | چگالی زهکشی ( $\text{km/km}^2$ ) |
|--------|----------------------------------|
| ۱      | $> 1/5$                          |
| ۳      | $1/2 - 1/5$                      |
| ۵      | $0/8 - 1/2$                      |
| ۷      | $0/5 - 0/8$                      |
| ۹      | $< 0/5$                          |



شکل ۴-۸: لایه اطلاعاتی زهکشی منطقه

#### ۴-۳-۸- تولید لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی

برای تهیه لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه ابتدا با استفاده از شاخص NDVI نقشه رقومی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره ای ETM+ و فرمول زیر تهیه گردید (شکل ۴-۹).

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

این نسبت باندی همواره عددی در بازه "۰" تا "۲۵۵" متغیر می باشد، که هر چه این عدد به صفر نزدیک شود پوشش گیاهی کمتر و سطح زمین به خاک و یا آب نزدیک می شود و هرچه این عدد به ۲۵۵ نزدیک شود پوشش گیاهی بیشتر می شود [ملکیان، ۱۳۹۱].

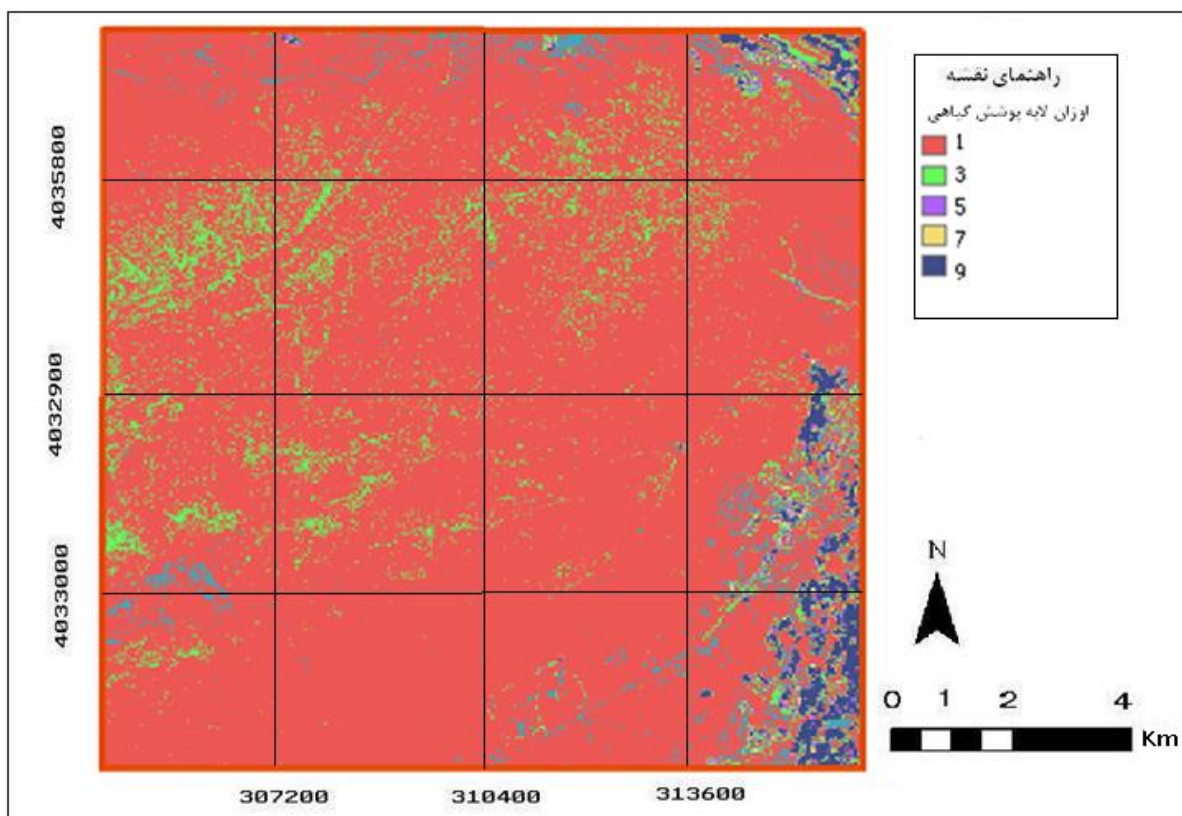
برای تهیه این نقشه در محیط نرم افزار ArcGIS ابتدا تصویر ماهواره ای به عنوان لایه ابتدایی ورودی استفاده می شود. با انتخاب گزینه NDVI، نقشه پوشش گیاهی منطقه مورد نظر ساخته

می‌شود. سپس با پردازش‌هایی روی این تصویر نظیر تنظیم نور، رنگ و درخشندگی با کاربرد فیلترهای مختلف بهترین کیفیت تصویری به دست می‌آید.

حال براساس پوشش گیاهی حاکم بر منطقه و همچنین جداول استاندارد پوشش گیاهی موجود، منطقه به پنج بازه‌ی گیاهی تقسیم گردید و سپس در این محیط، این بازه‌ها امتیازدهی شد (جدول ۷-۴). بازه با بزرگترین اعداد بیشترین امتیاز و بازه با کوچکترین اعداد کمترین امتیاز را دارد (شکل ۹-۴).

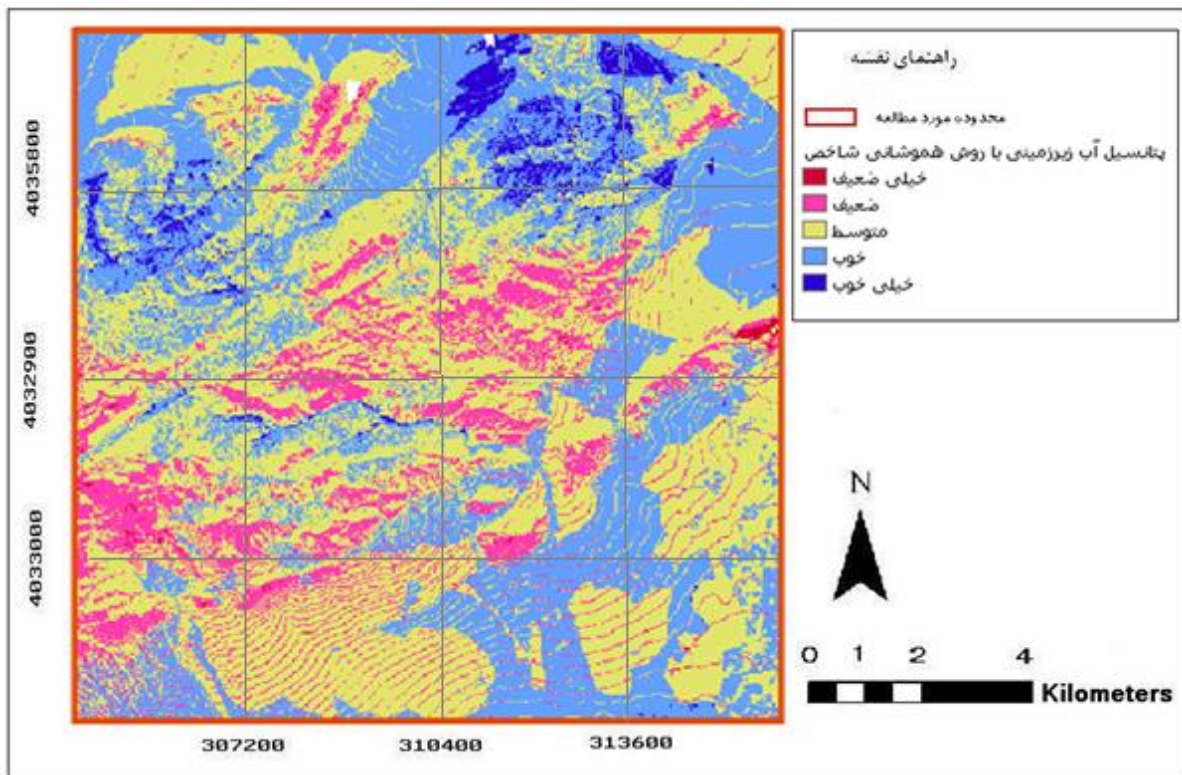
جدول ۷-۴: امتیازدهی برای پوشش گیاهی منطقه [Khairul Anam et al, 2000]

| پوشش گیاهی | بازه عددی NDVI (بر حسب ۰ تا ۲۵۵) | امتیاز |
|------------|----------------------------------|--------|
| منطقه شهری | $49 < NDVI \leq 93$              | ۱      |
| جنگل       | $93 < NDVI \leq 100$             | ۳      |
| بوته زار   | $100 < NDVI \leq 106$            | ۵      |
| کشاورزی    | $106 < NDVI \leq 117$            | ۷      |
| تالاب      | $117 < NDVI \leq 163$            | ۹      |



شکل ۴-۹: لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی منطقه

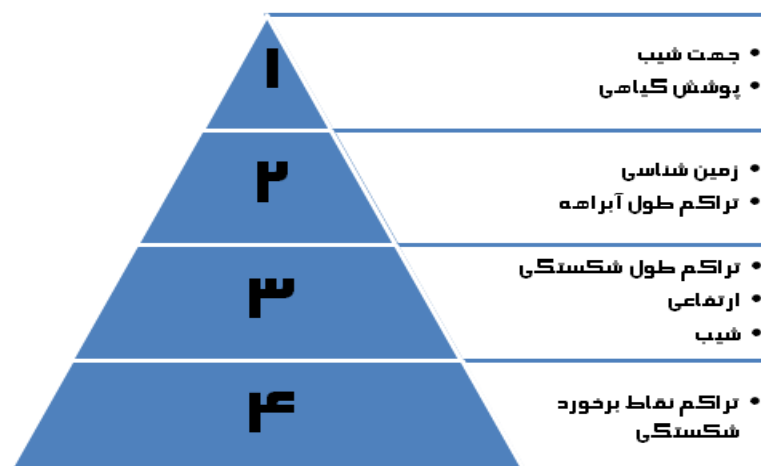
پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هریک از عوامل موثر در منابع آب زیرزمینی، از روش مجموع وزنی جهت تلفیق استفاده گردید. نتایج حاصل در شکل (۴-۱۰) ارائه شده است. پس از تولید نقشه مذکور منطقه مورد مطالعه به پنج بازه شامل مناطق با پتانسیل خیلی بالا، بالا، متوسط، ضعیف، خیلی ضعیف تقسیم‌بندی گردید؛ تا بتوان احتمال وجود و عدم وجود آب‌های زیرزمینی را تجزیه و تحلیل نمود. بر همین اساس، بیشترین پتانسیل وجود آب زیرزمینی با رنگ آبی تیره نمایش داده شده است و کمترین پتانسیل وجود این پدیده نیز با رنگ قرمز تیره نمایش داده شده است.



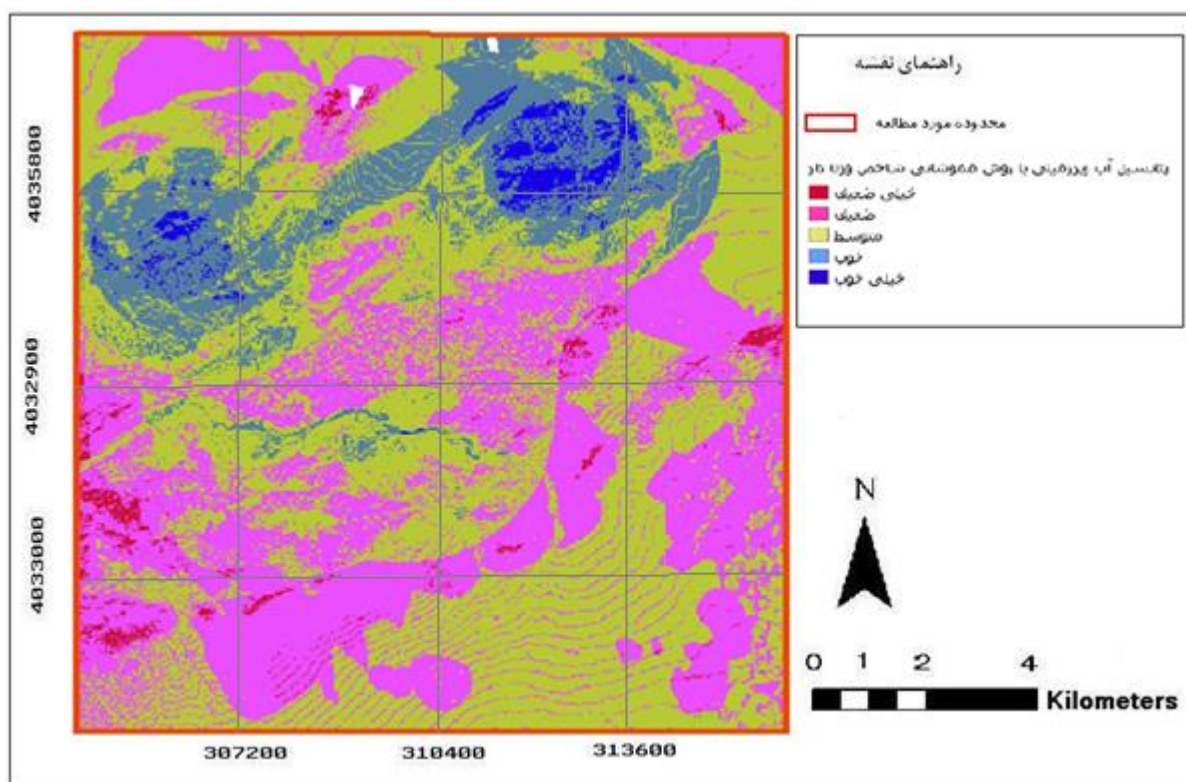
شکل ۴-۱۰: نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه به روش همپوشانی شاخص

از آنجا که اهمیت هر یک از لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر متفاوت می‌باشد، لذا این روش نمی‌تواند روش مناسبی برای تلفیق داده‌ها در نظر گرفته شود. برای اصلاح این مشکل، روش همپوشانی شاخص وزن‌دار برای تلفیق پیشنهاد شده است. در این روش برای هر یک از لایه‌های اطلاعاتی نیز یک وزن اعمال می‌شود. اوزان در نظر گرفته شده برای هر یک از لایه‌ها در جدول ۴-۸ نشان داده شده است.

شکل ۴-۸: امتیازدهی برای لایه‌های اطلاعاتی مختلف برای روش همپوشانی شاخص وزن‌دار



نقشه حاصل از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با روش همپوشانی شاخص وزن‌دار در شکل (۴-۱۱) مشاهده می‌شود که با نتایج حاصل از روش همپوشانی شاخص ساده متفاوت می‌باشد.



شکل ۴-۱۱: نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی منطقه به روش همپوشانی شاخص وزن‌دار

## ۴-۴- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش‌های فازی

یکی دیگر از روش‌های تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزاری ArcGIS، تلفیق به روش فازی می باشد. منطق فازی (گنگ) یکی از پیشرفته‌ترین روش‌هایی است که برای طبقه‌بندی و تلفیق داده به کار می رود. عضویت در روش منطق فازی بر روی یک مقیاس گروه‌بندی شده از "یک" (عضویت کامل) تا "صفر" (عدم عضویت کامل) بیان می‌شود و سپس برای استفاده در این روش بکار گرفته می‌شوند. ابزار تلفیق فازی قادر است، احتمال وقوع یک پدیده متعلق به مجموعه‌های متعددی را تجزیه و تحلیل نماید [Jasmin & Mallikarjuna, 2011]

عضویت در منطق فازی به صورت‌های مختلفی بیان می‌شود و باید در انتخاب آن دقت فراوان نمود. عضویت در منطق فازی به تجربه کارشناس و شناخت وی از منطقه مورد مطالعه بستگی دارد و هر کسی بر اساس تجربه خود آن را انتخاب می کند. روش فازی، تلفیق لایه‌های اطلاعاتی را به چند روش انجام می‌دهد؛ که هر کدام از این روش‌ها کار خود را با در نظر گرفتن ویژگی خاصی از لایه‌های اطلاعاتی انجام می‌دهند.

پیش از آنکه عملیات تلفیق روی داده‌ها انجام گیرد، لازم است که لایه‌های اطلاعاتی برای این روش آماده شوند. این کار یعنی وزن‌دهی به فاکتورهای موجود در هر لایه در محدوده بازه‌ی صفر و یک که اساس کار در این روش می‌باشد.

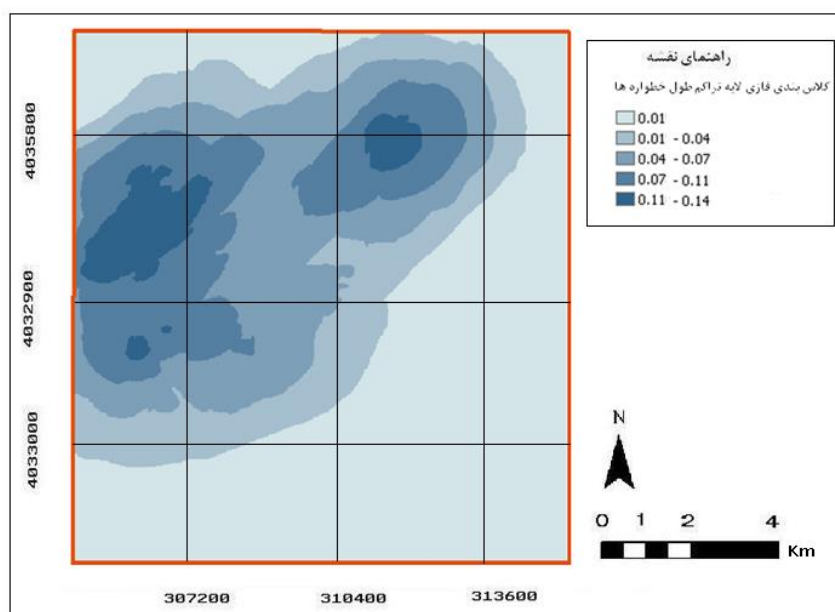
#### ۴-۱- تولید لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی

برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش فازی باید 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 [مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰].

تولید لایه‌های اطلاعاتی فازی در محیط نرم‌افزار ArcGIS صورت می‌گیرد، بدین ترتیب که ابتدا هر کدام از نقشه‌های رقومی تولید شده نظیر خطواره و ... باید تبدیل به لایه اطلاعاتی فازی شود. این عمل باید برای هر یک از نقشه‌های رقومی به صورت مجزا اجرا شود.

#### ۴-۴-۱-الف-تولید نقشه رقومی خطواره به روش فازی

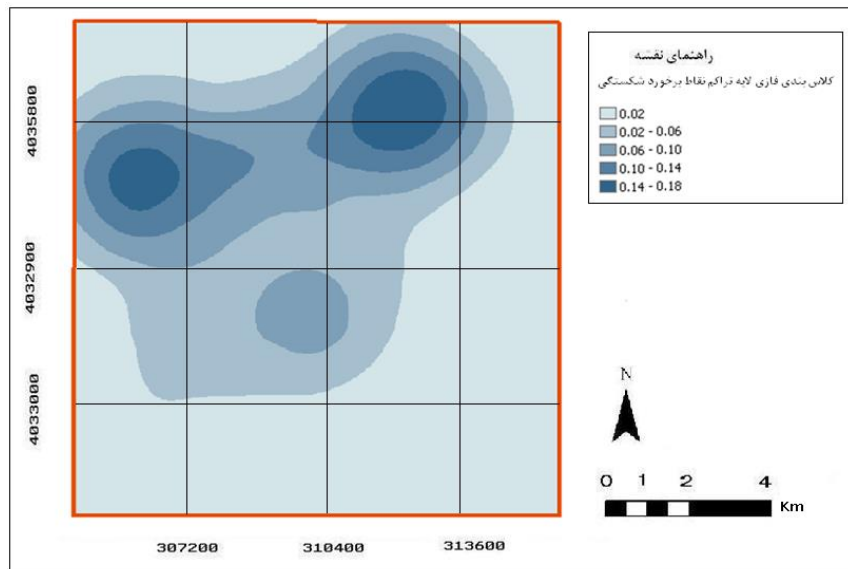
به منظور تهیه لایه مربوط به خطواره که تمرکز و تراکم آن یکی از کنترل کننده‌های تابع هدف (سفره آب زیرزمینی) می‌باشد، نقشه رقومی مربوط در محیط نرم‌افزار ArcGIS با انجام دستورات مختلف، با در نظر گرفتن بازه‌های مناسب به لایه اطلاعاتی تبدیل می‌گردد. شکل (۴-۱۲) نقشه لایه اطلاعاتی خطواره را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۲: نقشه رقومی طول خطواره منطقه به روش فازی

#### ۴-۴-۱-ب-تولید نقشه رقومی تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها به روش فازی

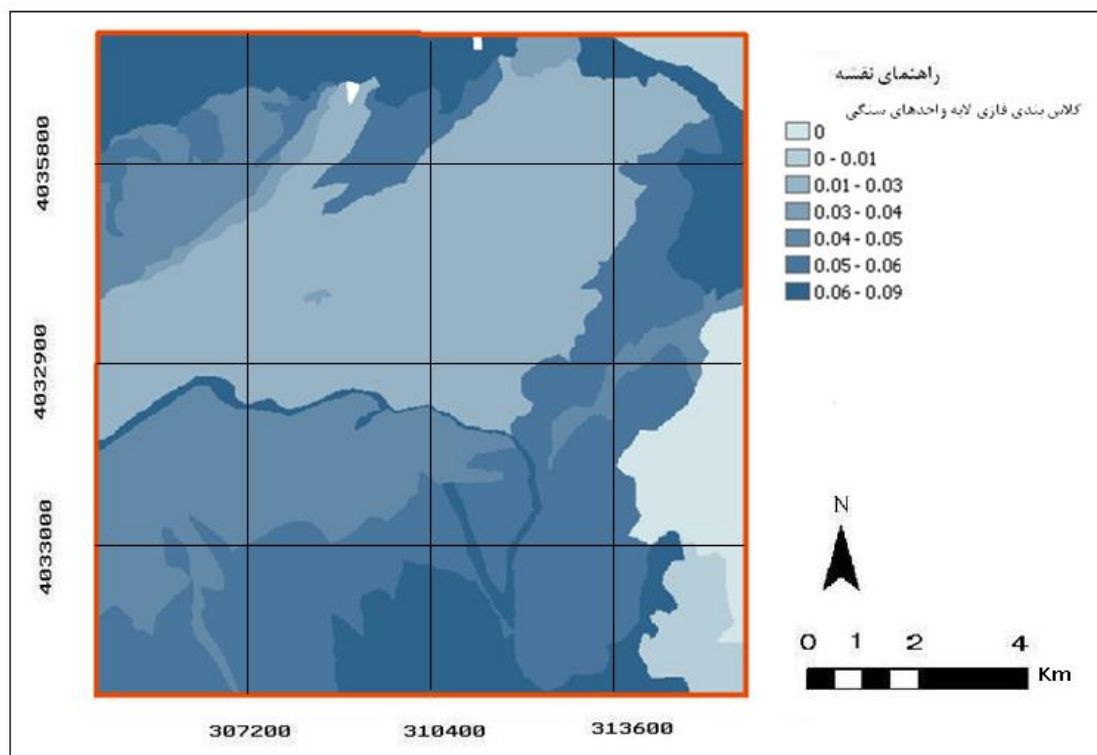
تولید نقشه رقومی تراکم طول شکستگی‌ها نیز دقیقاً به شیوه تولید نقشه رقومی خطواره‌ها انجام می‌گردد؛ با این تفاوت که در این حالت به جای قرار دادن لایه خطواره، لایه نقاط برخورد شکستگی را بعنوان ورودی نرم‌افزار قرار داده و نقشه رقومی تراکم نقاط برخورد شکستگی مطابق شکل ۴-۱۳ از خروجی نرم‌افزار تهیه می‌شود. نقشه رقومی و فازی شده لایه اطلاعاتی تراکم طول شکستگی‌ها می‌باشد. پس از اجرای برنامه مذکور بازه نقشه مورد نظر بین صفر و یک قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۱۳: تولید نقشه رقومی تراکم نقاط برخورد شکستگی‌ها در منطقه به روش فازی

#### ۴-۱-۴-ج-تولید نقشه رقومی زمین‌شناسی به روش فازی

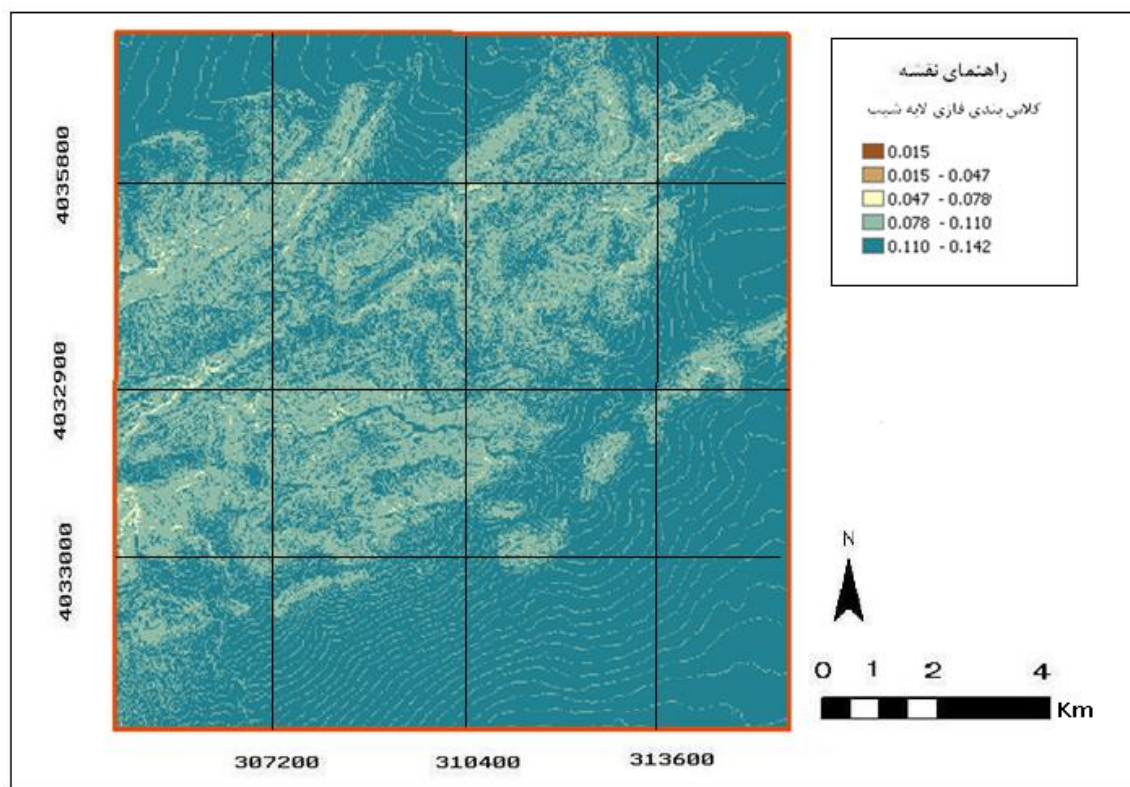
شکل (۴-۱۴) نقشه فازی زمین‌شناسی را نمایش می‌دهد. مطابق این شکل تعداد واحدهای سنگی مرتبط با آب زیرزمینی به هفت کلاس طبقه‌بندی شده است و بر اساس نوع واحد سنگی و تنوع آن، نشان‌دهنده‌ی مقدار گسترش و پتانسیل منابع آب می‌باشد.



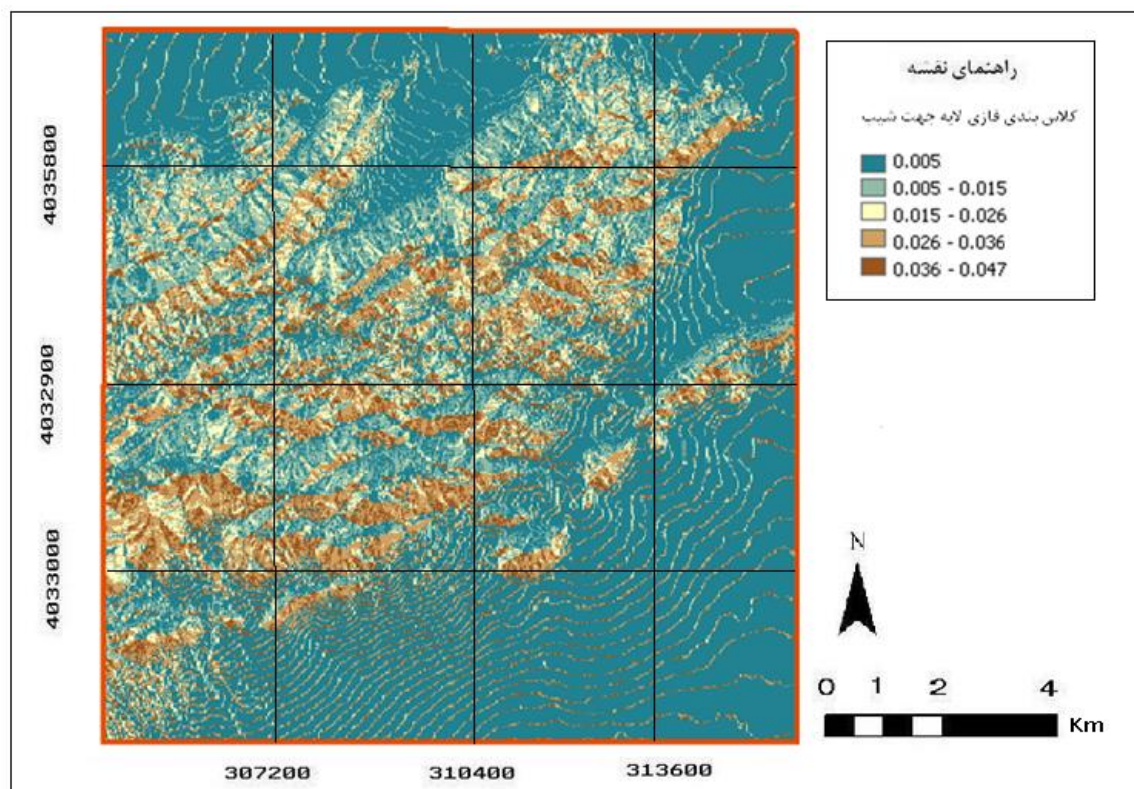
شکل ۴-۱۴: تولید نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه به روش فازی

#### ۴-۱-۴-۴-د-تولید نقشه‌های رقومی شیب و جهت شیب به روش فازی

با در نظر گرفتن لایه‌های شیب و جهت شیب به عنوان ورودی، برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی شیب و جهت شیب در محیط فازی، در پنج بازه اقدام شد. شکل‌های (۴-۱۵) و (۴-۱۶) نقشه‌های تولیدی را نشان می‌دهد.



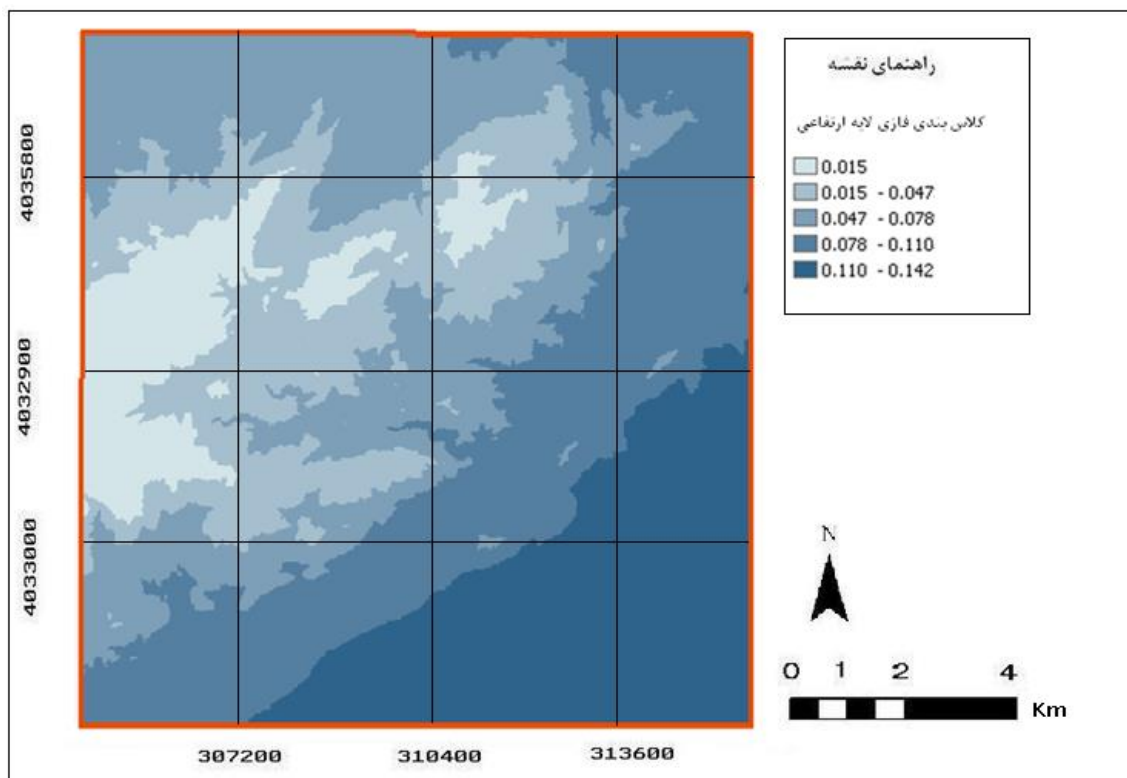
شکل ۴-۱۵: نقشه شیب منطقه به روش فازی



شکل ۴-۱۶: نقشه جهت شیب منطقه به روش فازی

#### ۴-۱-۵- تولید نقشه رقومی ارتفاعی به روش فازی

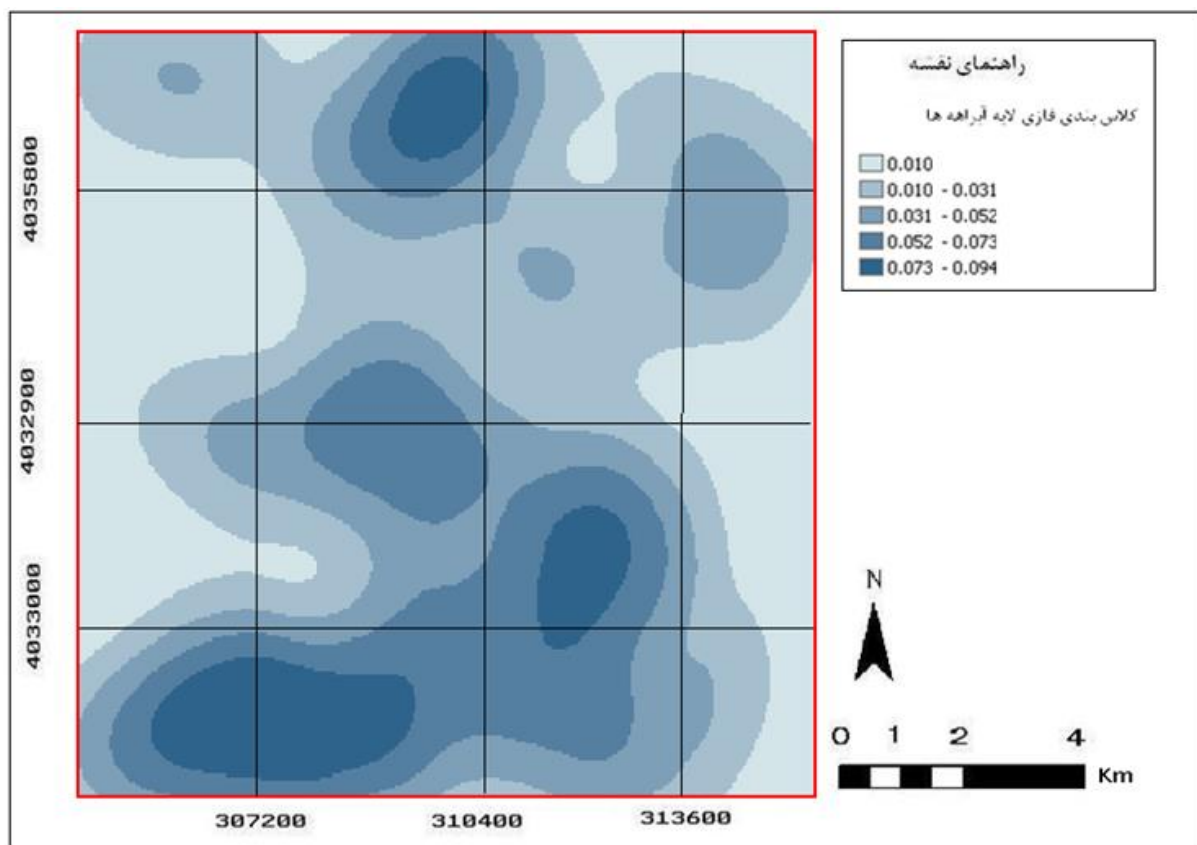
شکل ۴-۱۷ نقشه فازی شده ارتفاعی منطقه را نشان می‌دهد که برای تهیه این لایه نیز همانند سایر لایه‌ها از جعبه ابزار Spatial Data Modeller و ابزار مربوط به منطق فازی در آن استفاده گردید. مطابق این شکل مناسب‌ترین مناطق برای تجمع آب زیرزمینی به لحاظ توپوگرافی بخش پایینی نقشه است.



شکل ۴-۱۷ : نقشه ارتفاعی منطقه به روش فازی

#### ۴-۱-۶- تولید نقشه رقومی زهکشی به روش فازی

روش تولید نقشه فازی زهکشی نیز به ترتیب نقشه‌های فوق‌الذکر می‌باشد. نقشه تولیدی در شکل (۴-۱۸) مشاهده می‌شود.

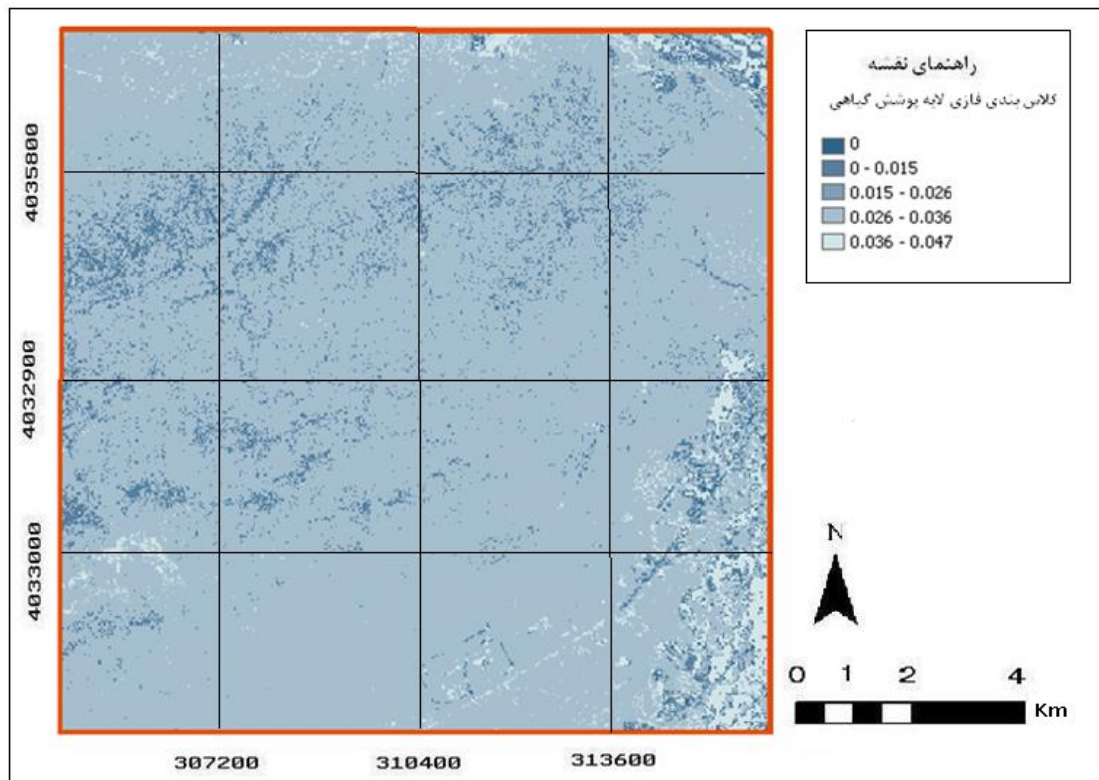


شکل ۴-۱۸: تولید نقشه زهکشی منطقه به روش فازی

#### ۴-۱-۴-۴-ز-تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی به روش فازی

تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی نیز دقیقاً به شیوه تولید سایر نقشه‌های رقومی انجام می‌گردد، با این تفاوت که لایه پوشش گیاهی را در قسمت "Input" وارد نموده و دستور اجرای برنامه داده می‌شود.

شکل ۴-۱۹، نقشه رقومی و فازی شده لایه اطلاعاتی پوشش گیاهی می‌باشد. پس از اجرای برنامه مذکور بازه نقشه مورد نظر بین صفر و یک قرار می‌گیرد.



شکل ۴-۱۹: تولید نقشه رقومی پوشش گیاهی منطقه به روش فازی

#### ۴-۴-۲- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

پس از تولید لایه‌های اطلاعاتی فازی نوبت به تلفیق این لایه به روش فازی می‌رسد. با در دست داشتن دو یا چند نقشه با توابع عضویت فازی برای مجموعه‌های مشابه، عملگرهای متنوعی را می‌توان برای ترکیب کردن مقدارهای عضویت با یکدیگر به کار گرفت. پنج عملگر که برای ترکیب داده‌ها استفاده می‌شوند، عبارتند از: عملگر فازی AND، عملگر فازی OR، حاصل ضرب جبری فازی، جمع جبری فازی و عملگر گامای فازی که همه آنها در تولید نقشه پتانسیل آب زیرزمینی مناسب نبوده و تنها، روش‌هایی که مناسب‌تری دارند، جهت تولید نقشه پتانسیل استفاده گردید که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

#### ۴-۲-الف - عملگر فازی "حاصل ضرب جبری"<sup>۱</sup>

تلفیق فازی حاصل ضرب جبری فازی برای هر سلول، عبارتست از، حاصل ضرب هر یک از ارزش های فازی، برای همه معیارهای ورودی. محصول به دست آمده، از هر یک از ورودی ها کمتر خواهد بود. مرتبط کردن محصول، به تمام معیارهای ورودی با یک رابطه نسبی، کاری بسیار دشوار است که این کار را می توان با روش تلفیق به کمک عملگر حاصل ضرب جبری فازی انجام داد. تلفیق حاصل- ضرب جبری فازی با استفاده از تابع زیر صورت می گیرد:

#### *Fuzzy Product Value*

$$= \prod \mu_i$$

که در این رابطه  $\mu_i$ : تابع عضویت فازی برای  $i$  امین نقشه است و  $i = 1, 2, \dots, n$ : تعداد نقشه های است که قرار است ترکیب شوند.

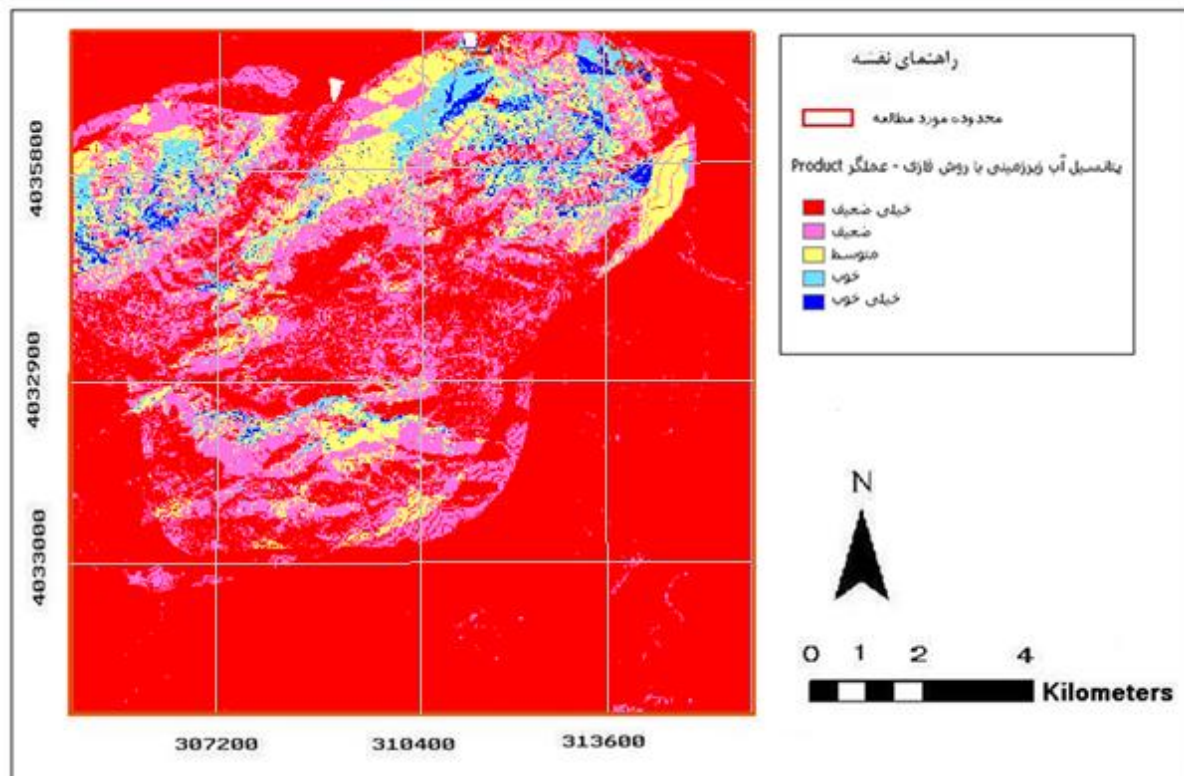
مقدارهای عضویت فازی ترکیب شده با این عملگر به مقدارهای بسیار کوچک میل می کند که این به علت اثر ضرب کردن چندین عدد کوچکتر از یک است. خروجی همواره کوچکتر یا مساوی کوچکترین مقدار عضویت مشترک است و بنابراین به صورت کاهشی است. مزیتی که این روش بر عملگرهای AND و OR دارد این است که کلیه مقدارهای عضویت مشترک بر روی نتیجه نهایی تاثیر می گذارد. شکل (۴-۲۰) نقشه پتانسیل وجود آب های زیرزمینی منطقه می باشد که به روش تلفیق فازی به کمک عملگر "حاصل ضرب جبری فازی" صورت گرفته است.

بر اساس شکل ذیل بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه به عنوان منطقه ای با پتانسیل خیلی ضعیف آب های زیرزمینی معرفی و نواحی با پتانسیل خیلی بالا و بالا نیز محدود به قسمت هایی شده است که در آن چاه های آب منطقه بیشتر در آن نقاط واقع شده است که این مطلب با واقعیت منطقه نیز همخوانی دارد. بنابراین می توان از روش تلفیق فازی "حاصل ضرب جبری" به عنوان روشی مناسب جهت تلفیق لایه های اطلاعاتی آب های زیرزمینی بهره برد. البته لازم به ذکر است که بهترین

---

<sup>۱</sup> . Fuzzy Product Value

روش برای انتخاب مناسب‌ترین روش تلفیق فازی، اعتبارسنجی خروجی عملگرهای فوق‌الذکر می‌باشد که در فصل بعد به آن پرداخته می‌شود.



شکل ۴-۲۰: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از عملگر فازی "حاصلضرب جبری"

#### ۴-۴-۲-ب- عملگر فازی "جمع جبری فازی"

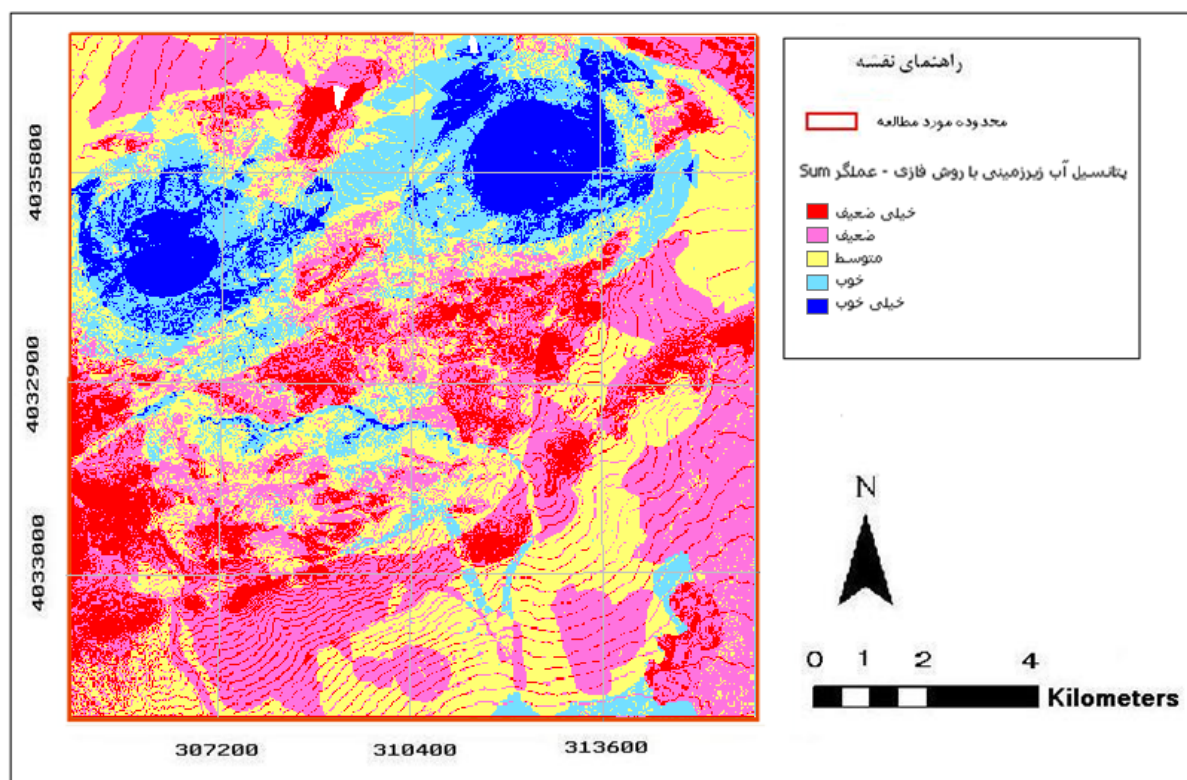
تلفیق فازی به روش مجموع بر اساس تابع زیر عمل می‌کند:

$$\text{Fuzzy Sum Value} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

نتیجه همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت فازی مشترک است. بنابراین اثر آن افزایشی است. دو قسمت از شواهد که هر دو یک فرضیه را تایید می‌کند یکدیگر را تقویت می‌کنند، لذا بکارگیری شواهد ترکیبی بهتر از بکارگیری هر یک از قسمت‌های شواهد به طور جداگانه است.

جمع جبری فازی حاصل جمع جبری نیست و باید با روش افزودنی مورد استفاده در روش مجموع وزنی، اشتباه گرفته نشود. در این دو روش پوشش، فرض بر این است که ورودی مطلوب‌تر و بهتر برای اضافه کردن به همه ارزش‌های عضویت در تجزیه و تحلیل مجموع فازی لزوماً به معنای محل مناسب‌تر است. استفاده از تلفیق جمع جبری فازی خیلی متداول نمی‌باشد.

شکل (۴-۲۱) نقشه پتانسیل وجود و یا عدم وجود آب‌های زیرزمینی منطقه می‌باشد که با روش تلفیق فازی به کمک عملگر "جمع جبری فازی" صورت گرفته است. جمع جبری نیز بخش وسیعی از محدوده مورد نظر را به عنوان پتانسیل خیلی بالا معرفی می‌کند. این روش در نگاه نخست، بین روش‌های تلفیق فازی، روشی نامناسب جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب‌های زیرزمینی محسوب می‌گردد.



شکل ۴-۲۱: تولید نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از عملگر جمع جبری فازی

#### ۴-۲-۴- عملگر فازی "گاما"

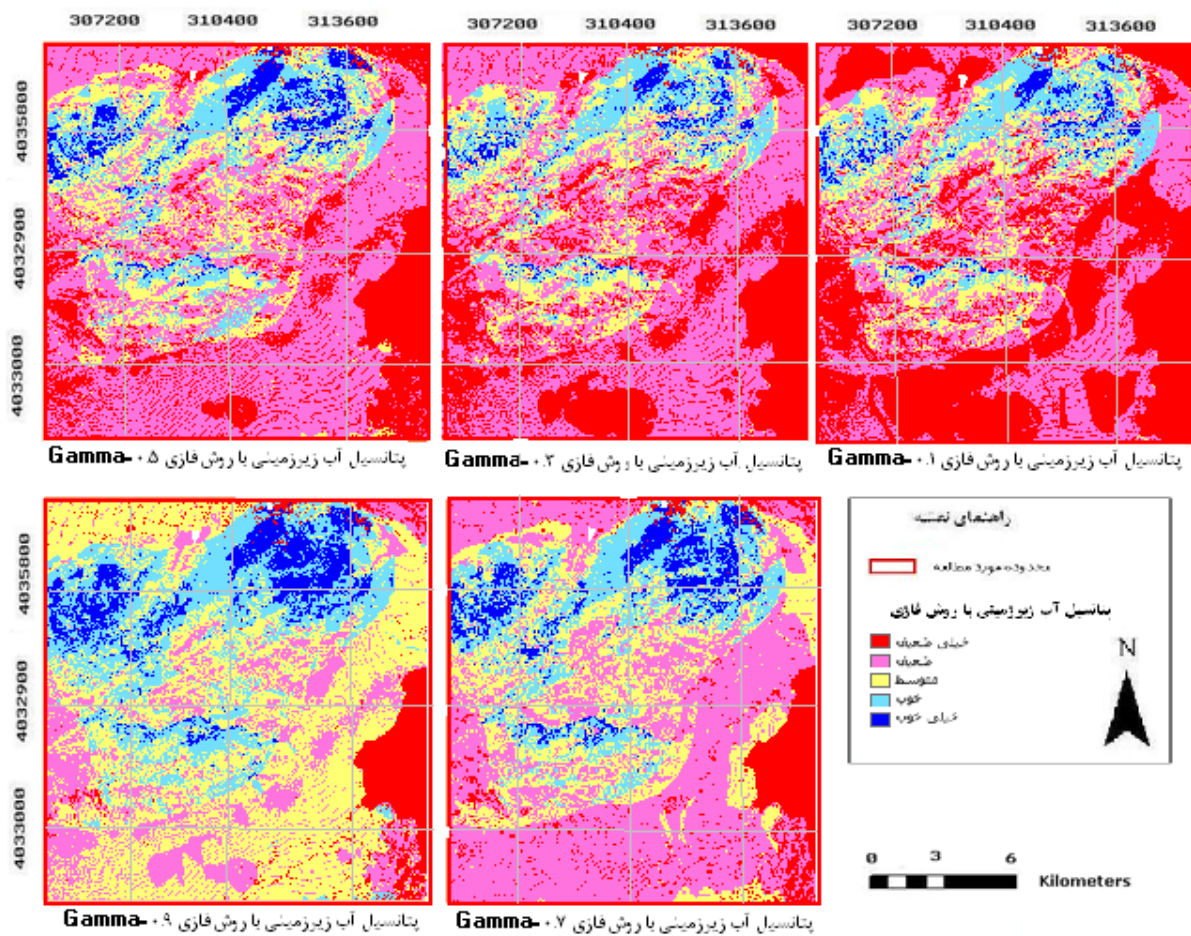
تلفیق فازی "گاما"، محصول جبری مجموع تلفیق "حاصل ضرب جبری" و "حاصل جمع جبری فازی" می‌باشد، که هر دو سبب ایجاد تلفیق فازی "گاما" می‌شوند. تابع کلی به شرح زیر است:

$$Fuzzy\ Gamma\ Value = (جمع\ جبری\ فازی) \times (حاصل\ ضرب\ جبری\ فازی)^{1-7}$$

که در آن  $\gamma$  پارامتر انتخاب شده در محدوده صفر و یک است. وقتی  $\gamma$  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  $\gamma$  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. همان‌طوری که تشریح شد هر یک از عملگرها کاربردهای مختلفی دارند اما در هر پروژه بهتر است تعدادی از عملگرها را در مراحل مختلف به کار برد.

تلفیق فازی "گاما"، روابطی بین ورودی‌های متعدد ایجاد می‌کند که روش‌های تلفیق فازی "و" و فازی "یا" به تنهایی قادر به ایجاد آن نمی‌باشد. از روش تلفیق فازی "گاما" زمانی استفاده می‌شود که پژوهشگر بخواهد بیشتر از فازی "یا" و کمتر از فازی "جمع جبری فازی" امتیازدهی نماید. شکل ۴-۲۲ نقشه پتانسیل حضور و یا عدم حضور آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه می‌باشد که به روش تلفیق فازی به کمک روش فازی "گاما" و با مقادیر گاما ۰,۱ ، ۰,۳ ، ۰,۵ ، ۰,۷ و ۰,۹ تهیه شده است.

بطور کلی و بدون در نظر گرفتن میزان عدد گامای در نظر گرفته شده جهت تلفیق، روش فازی "گاما" را می‌توان به عنوان یک روش مناسب جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب‌های زیرزمینی به حساب آورد.



شکل ۴-۲۲: نقشه رقومی پتانسیل آب زیرزمینی با استفاده از عملگر گاما در روش فازی

در این فصل کلیه روش‌های تلفیق برای لایه‌های استخراجی از داده‌های دورسنجی مورد اشاره قرار گرفت و براساس دو روش همپوشانی شاخص و فازی، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز و موثر، تولید و تلفیق گردید و برای هر کدام، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه گردید.

با مقایسه نقشه‌های پتانسیل ترسیمی از تلفیق داده‌های دورسنجی می‌توان اظهار نمود که بخش اصلی مورد انتظار جهت پتانسیل آب زیرزمینی در قسمت شمال تا شمال غرب و بخشی از مرکز محدوده مورد مطالعه بوده و در راستای جنوب شرق یعنی به سمت شاهرود میزان تمرکز آب زیرزمینی کمتر می‌باشد. برای اعتبارسنجی نتایج حاصله، از داده‌های چاه‌های استخراج آب و همچنین نتایج مطالعات ژئوالکتریک و گرانی‌سنجی انجام شده در قسمت‌هایی از محدوده استفاده می‌شود. بدین منظور در ادامه فصل بعد نتایج حاصل از روش‌های تلفیق اعتبارسنجی خواهد شد. با تهیه لایه رقومی چاه‌ها و تلفیق آن با نقشه‌های پتانسیل آب‌های زیرزمینی، دو نتیجه حاصل می‌گردد:

۱- اعتبارسنجی روش‌های تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

۲- مقایسه نقشه‌های پتانسیل آب‌های زیرزمینی تولید شده با یکدیگر

## **فصل پنجم**

### **اعتبارسنجی، نتایج و پیشنهادات**

## ۵-۱- اعتبارسنجی

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق و تجزیه و تحلیل آنها، لازم است که نتایج حاصل به‌وسیله داده‌های مستقل دیگر، اعتبارسنجی شود. یکی از ملاک‌های تعیین صحت و سقم مراحل صورت گرفته، از تهیه لایه‌های اطلاعاتی تا تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه مورد نظر، تطابق این فرایند با چاه‌های حفاری شده و در حال بهره‌برداری منطقه می‌باشد [ملکیان، ۱۳۹۱]. منبع اطلاعاتی دیگر برای اعتبارسنجی نتایج، مطالعات ژئوفیزیکی انجام گرفته در برخی نقاط محدوده مورد مطالعه می‌باشد. در قسمت مرکزی محدوده مورد بررسی، مطالعات ژئوالکتریک و گرانی‌سنجی انجام شده است (شکل ۵-۱)، که از تلفیق این نتایج و داده‌های چاه‌های آب منطقه که از سازمان آب منطقه‌ای استان سمنان دریافت شده است، لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی تهیه گردید.

با تولید این لایه اطلاعاتی جدید، دو تحلیل زیر امکان‌پذیر خواهد بود:

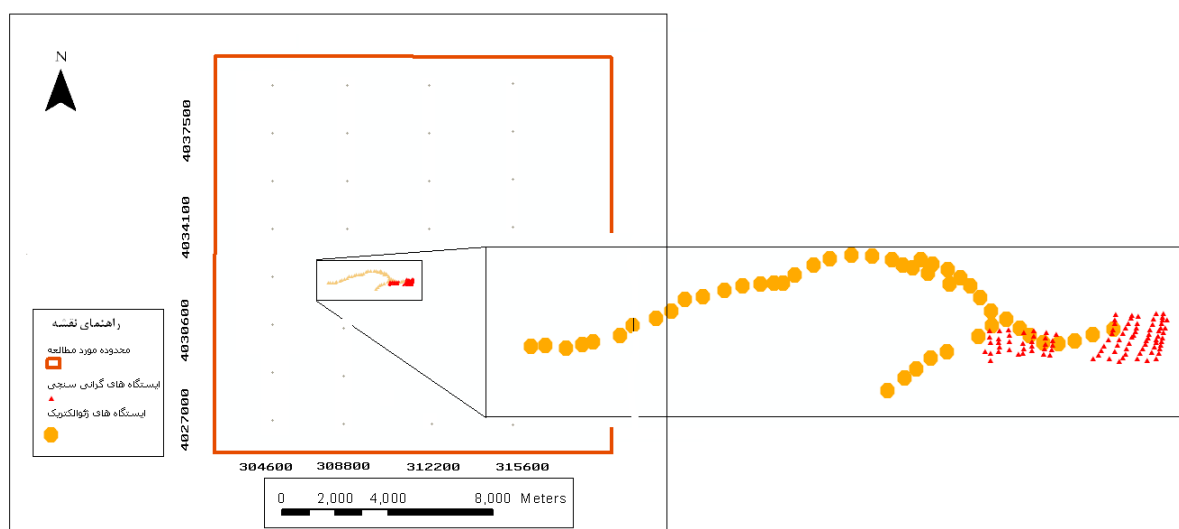
مقایسه بین نقشه‌های پتانسیلی آب زیرزمینی به روش‌های فوق‌الذکر و واقعیت موجود بر منطقه

و تحلیل آن

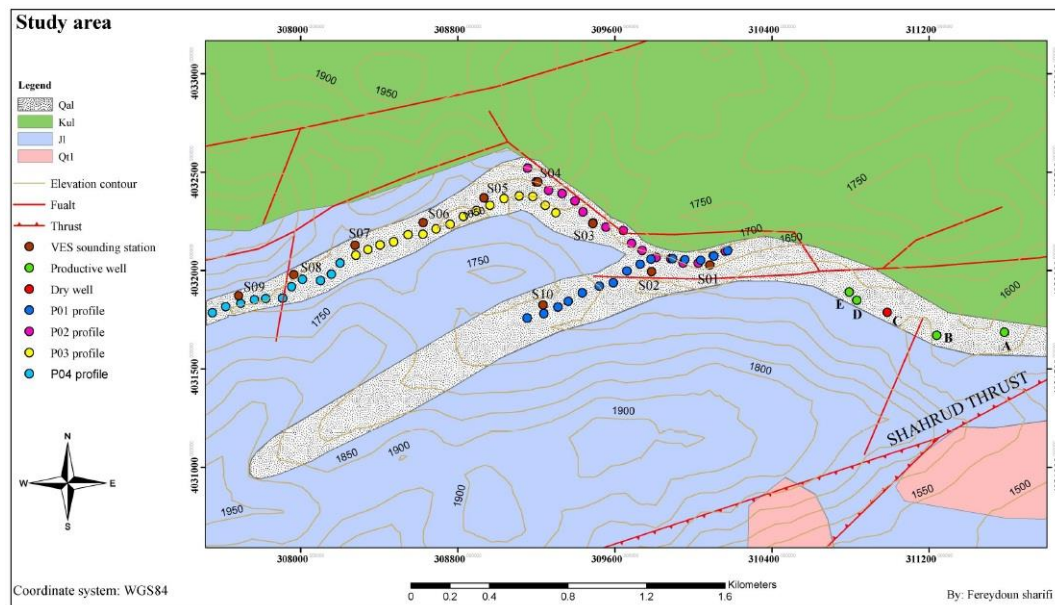
مقایسه نقشه‌های پتانسیلی آب زیرزمینی تولید شده با یکدیگر و انتخاب بهترین روش تلفیق

لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS.

شکل ۵-۱: موقعیت ایستگاه‌های ژئوفیزیکی



شکل ۵-۲ موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک در منطقه را نشان می‌دهد. مطالعه ژئوالکتریک در منطقه، توسط شریفی، در غالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۱ انجام گرفته است.



شکل ۵-۲: موقعیت سونداژهای الکتریکی در مطالعه ژئوالکتریک [شریفی، ۱۳۹۱]

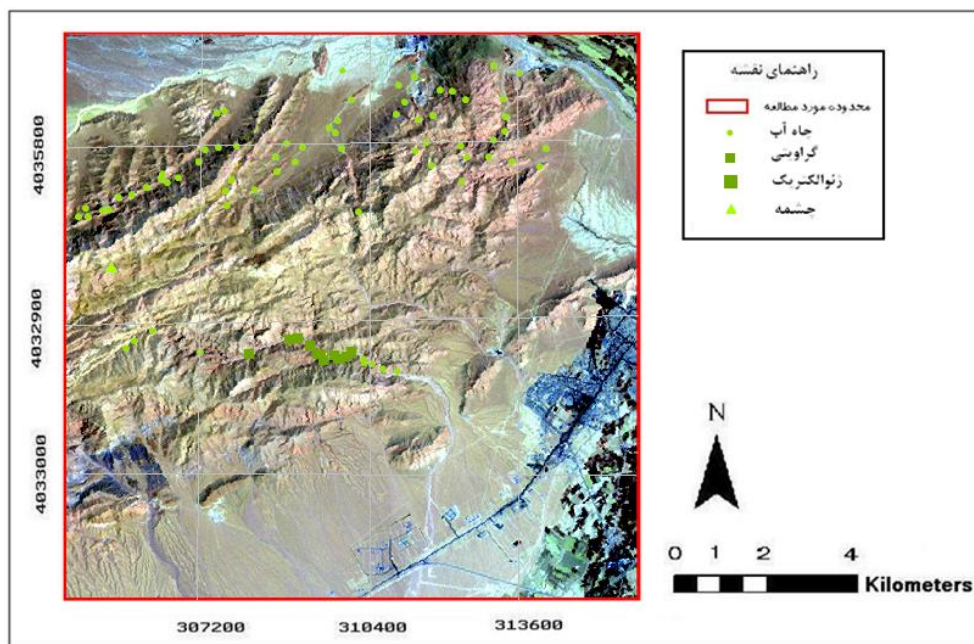
جدول ۵-۱ خلاصه نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوالکتریک را نشان می‌دهد. از این جدول، نقاط مناسب آب زیرزمینی که در ۵ سونداژ معرفی شده است، استخراج و در لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی، به همراه نتایج بررسی‌های گرانی‌سنجی و موقعیت چاه‌های منطقه قرار گرفت.

جدول ۵-۱: خلاصه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژزنی الکتریکی در منطقه تپال [شریفی، ۱۳۹۱]

| سونداژ | نتایج تفسیر                                                        |
|--------|--------------------------------------------------------------------|
| S01    | عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ                        |
| S02    | پتانسیل متوسط حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ              |
| S03    | پتانسیل خوب حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ                |
| S04    | پتانسیل متوسط تا ضعیف برای حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ |
| S05    | پتانسیل متوسط حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ              |
| S06    | عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ                        |
| S07    | عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ                        |
| S08    | پتانسیل متوسط حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ              |
| S09    | عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ                        |
| S10    | عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ                        |

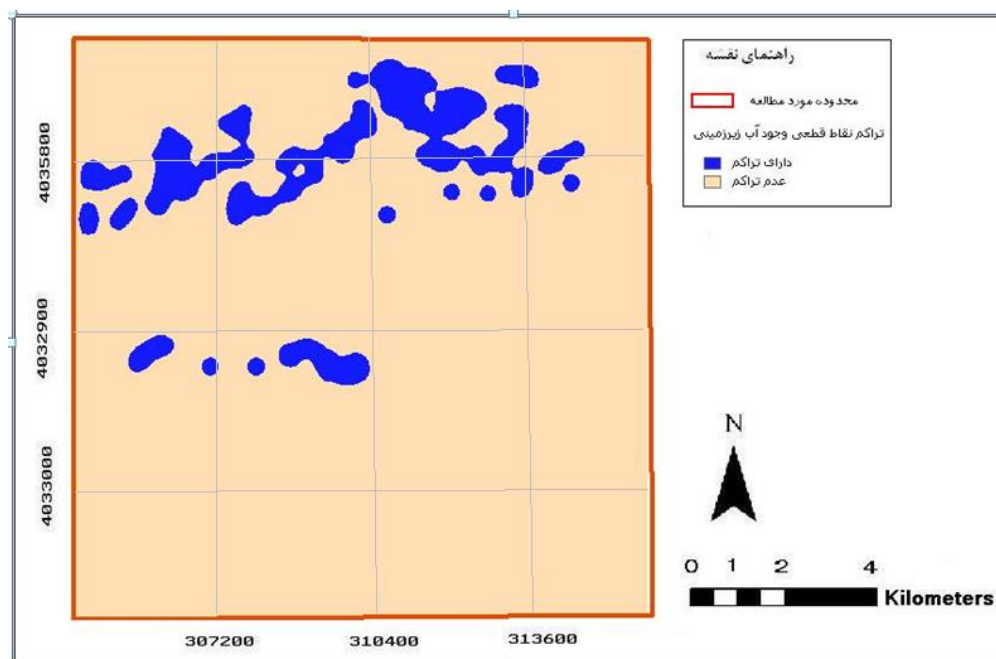
شکل ۵-۳ لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی را نمایش می‌دهد؛ که می‌توان از آن به‌عنوان یک ملاک مناسب جهت اعتبارسنجی نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی تولید شده بهره برد.

با تلفیق لایه اطلاعاتی چاه‌ها با نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی در محیط نرم‌افزار ArcGIS، این امکان فراهم می‌شود که بتوان مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی با مناطق با تراکم بالای چاه‌ها را با یکدیگر مقایسه نمود و میزان هم‌پوشانی این دو با یکدیگر بررسی شود. لازم به ذکر است در بررسی نقشه‌های پتانسیلی همواره نسبت مساحت مناطق با پتانسیل بالا و خیلی بالا در مقایسه با مساحت محدوده متراکم چاه‌ها فاکتوری مهم محسوب می‌گردد. به عبارت دیگر هرچه مساحت مناطق با پتانسیل خیلی بالا تا بالا به مساحت محدوده‌ای که تراکم چاه‌ها بیشتر است، نزدیک‌تر باشد، نشان از دقت بالاتر عملگر تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و در نتیجه دقت بالاتر نقشه پتانسیل آب زیرزمینی دارد.



شکل ۳-۵: لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی

شکل ۴-۵ نقشه تراکم نقاط قطعی وجود آب زیر زمینی را نشان می‌دهد. در این شکل ۱۶۹ کیلومترمربع از محدوده دارای عدم تراکم و ۱۷ کیلومتر مربع، یعنی ۹ درصد از محدوده، دارای تراکم به لحاظ وجود منابع قطعی آب زیرزمینی نشان داده شده است.



شکل ۴-۵: نقشه تراکم نقاط قطعی وجود آب زیرزمینی

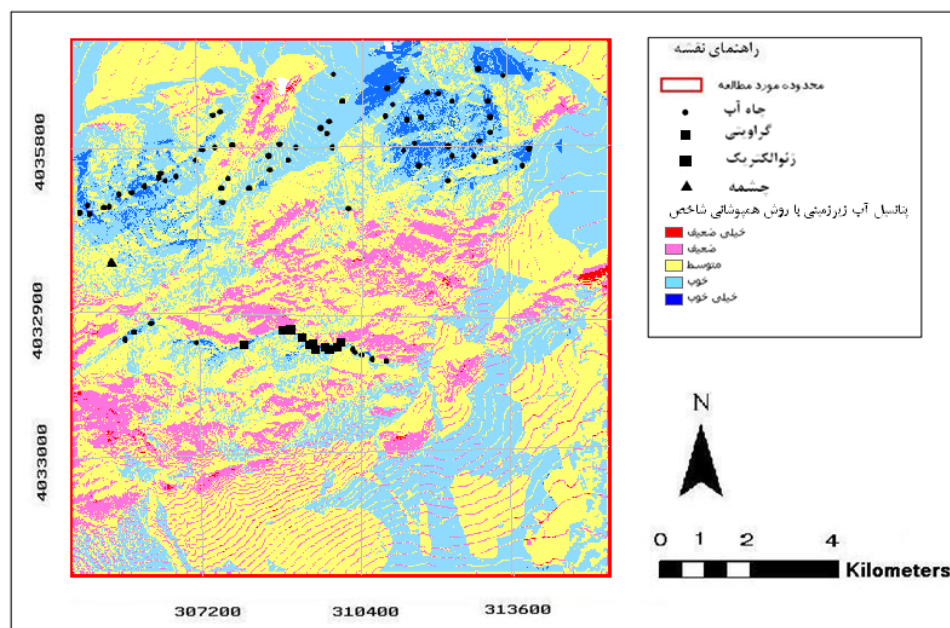
جدول ۵-۲ مساحت کلاس‌های مختلف نقشه‌های پتانسیل تهیه شده با استفاده از روش‌های مختلف تلفیق را بر حسب کیلومتر مربع نشان می‌دهد. با فرض قرار دادن کلاس‌های خوب و خیلی خوب بعنوان نواحی دارای تراکم بالای منابع قطعی آب زیرزمینی و مقایسه مجموع مساحت‌های این دو کلاس با مساحت نواحی دارای تراکم منابع قطعی آب زیرزمینی که در شکل نشان داده شده، می‌توان مناسب‌ترین روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی را تعیین نمود.

جدول ۵-۲: مساحت کلاس‌های مختلف نقشه‌های پتانسیل تهیه شده به روش‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع پتانسیل وجود آب زیرزمینی

| روش تلفیق             | پتانسیل وجود آب زیرزمینی |      |       |     |          |
|-----------------------|--------------------------|------|-------|-----|----------|
|                       | خیلی ضعیف                | ضعیف | متوسط | خوب | خیلی خوب |
| همپوشانی شاخص         | ۲                        | ۱۸   | ۸۶    | ۷۱  | ۹        |
| همپوشانی شاخص وزن دار | ۶                        | ۵۱   | ۸۸    | ۲۹  | ۱۲       |
| فازی And              | ۱۹                       | ۱۵۹  | ۲     | ۳   | ۴        |
| فازی Or               | ۰                        | ۱    | ۵۴    | ۱۱۳ | ۱۸       |
| فازی Product          | ۱۰۷                      | ۳۲   | ۳۵    | ۹   | ۳        |
| فازی Sum              | ۱۸                       | ۶۶   | ۷۱    | ۱۵  | ۱۶       |
| فازی گاما (Gamma=0.1) | ۷۲                       | ۶۷   | ۳۰    | ۱۳  | ۴        |
| فازی گاما (Gamma=0.3) | ۳۷                       | ۹۸   | ۳۲    | ۱۴  | ۵        |
| فازی گاما (Gamma=0.5) | ۳۲                       | ۷۰   | ۵۷    | ۲۰  | ۷        |
| فازی گاما (Gamma=0.7) | ۳۰                       | ۵۵   | ۷۰    | ۲۳  | ۸        |
| فازی گاما (Gamma=0.9) | ۲۸                       | ۱۴   | ۱۰۹   | ۲۶  | ۹        |

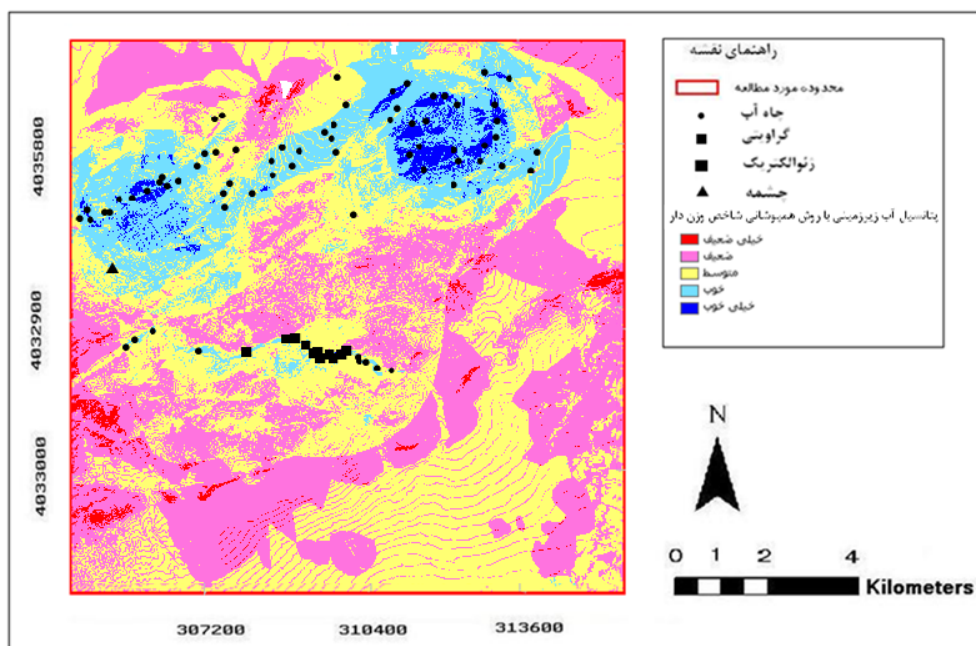
در شکل ۵-۵ نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه به روش همپوشانی شاخص به همراه موقعیت چاه‌ها ارائه شده است. مطابق این شکل، تراکم چاه‌ها تنها در برخی از مناطقی که در نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به عنوان مناطق با پتانسیل خیلی خوب معرفی شده است، بالا می‌باشد و در بسیاری از قسمت‌ها که دارای پتانسیل خوب معرفی شده‌اند، تراکم منابع قطعی آب زیرزمینی مشاهده نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت جهت تعیین مناطق امیدبخش منابع آب زیرزمینی، روش تلفیق همپوشانی شاخص، روش چندان مناسبی در این تحقیق نباشد. این موضوع با مقایسه مساحت‌های این قسمت‌ها که در جدول ۵-۱ آورده شده است، مشهود می‌باشد.

روش تکمیل کننده برای تلفیق به روش مجموع وزنی، روش همپوشانی شاخص وزن دار می باشد که نقشه پتانسیل یابی آب زیرزمینی با استفاده از این روش در شکل ۵-۶ با لایه منابع قطعی آب زیرزمینی تلفیق شده است. مشاهده می شود که همخوانی نسبتاً خوبی بین این دو لایه اطلاعاتی وجود دارد. در این نقشه بین مناطق دارای پتانسیل خیلی خوب و نقشه تراکم مناطق قطعی حضور سفره های آب زیرزمینی همخوانی بالایی وجود دارد. در این نقشه ۱۲ کیلومتر مربع از محدوده مورد مطالعه بعنوان نواحی دارای پتانسیل خیلی خوب تعیین شده که با مساحت ۱۷ کیلومتر مربعی مناطق متراکم منابع قطعی آب زیرزمینی تطابق خوبی دارد. می توان نتیجه گرفت، این روش برای تلفیق داده های اطلاعاتی بمنظور پتانسیل یابی آب زیرزمینی، روش نسبتاً مناسبی در این تحقیق می باشد.



شکل ۵-۵: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش همپوشانی شاخص با لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب

زیرزمینی



شکل ۵-۶: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش همپوشانی شاخص وزن دار با لایه اطلاعاتی منابع قطعی

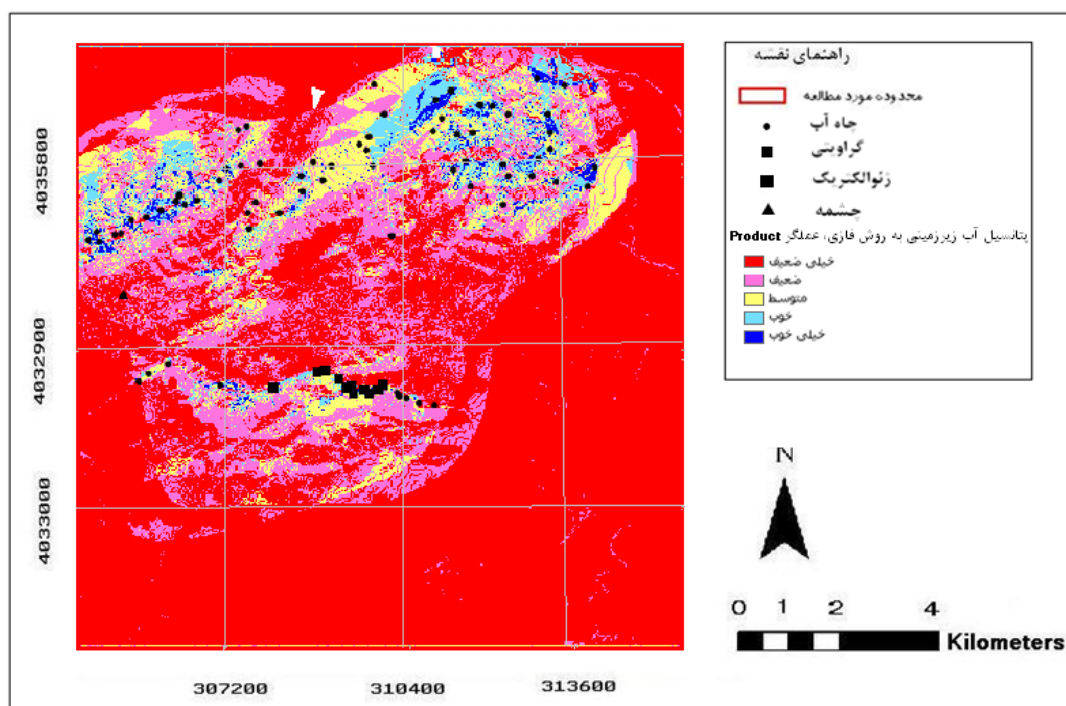
#### آب زیرزمینی

برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، علاوه بر روش همپوشانی، روش‌های فازی نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت؛ تا بهترین روش تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بر اساس مقایسه با واقعیات موجود تعیین گردد.

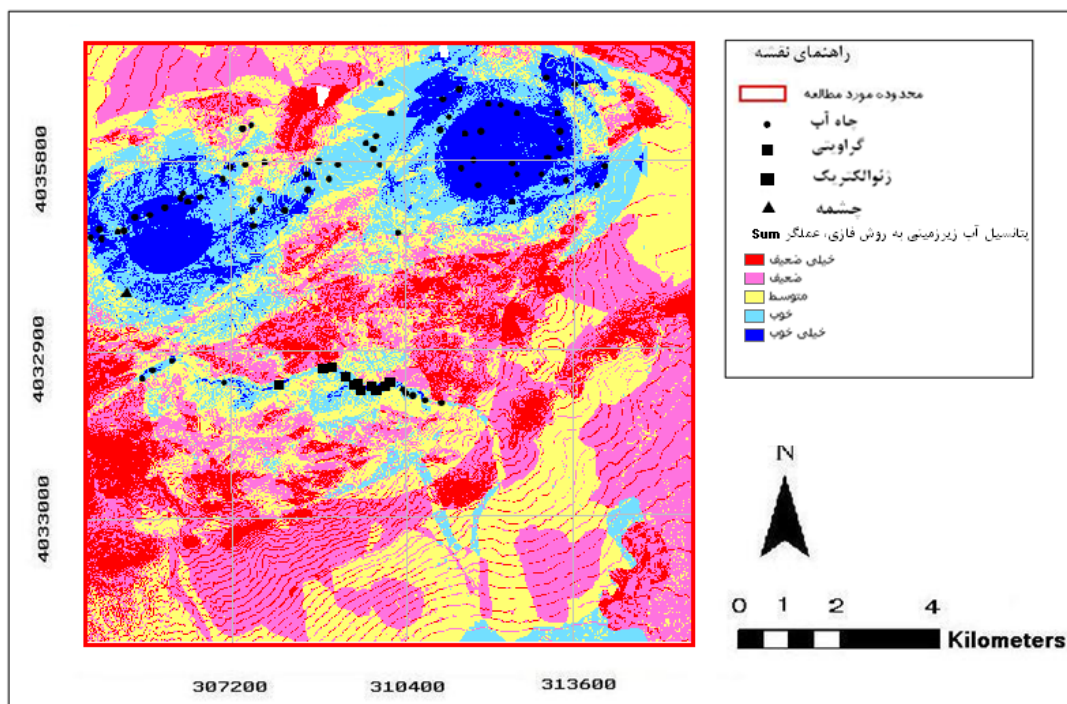
نتایج حاصله از تلفیق به روش حاصل ضرب جبری فازی نشان می‌دهد که این روش نیز نسبتاً محتاطانه بوده و تا حد زیادی واقعیت‌گرا است. همان طور که در شکل (۵-۷) مشاهده می‌شود روش حاصل ضرب جبری فازی، تنها نقاطی که کاملاً منطبق بر موقعیت چاه‌ها می‌باشد به عنوان مناطق پتانسیل خیلی بالا و بالا معرفی نموده است و همچنین مساحت بازه‌های مذکور نیز به محدوده با تراکم بالای چاه‌ها نزدیک است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که از این روش نیز می‌توان جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی محدوده مورد مطالعه بهره جست.

در بررسی روش فازی، روش حاصل جمع جبری بخش نسبتاً زیادی از منطقه را به عنوان مناطق امیدبخش نشان می‌دهد. در این نقشه مناطق دارای پتانسیل بسیار خوب همخوانی چندانی با نواحی

دارای مناطق قطعی آب زیرزمینی ندارد. مطابق جدول ۵-۱ تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در این روش، ۱۹ درصد از محدوده مورد مطالعه را به‌عنوان نواحی با پتانسیل خوب و خیلی خوب آب زیرزمینی بیان می‌نماید. با تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش حاصل جمع جبری فازی با موقعیت چاه-های آب محدوده مورد مطالعه، نتیجه می‌شود که این روش نیز روش چندان مناسبی برای پتانسیل-یابی نواحی مستعد وجود آب زیرزمینی در این تحقیق محسوب نمی‌شود (شکل ۵-۸).

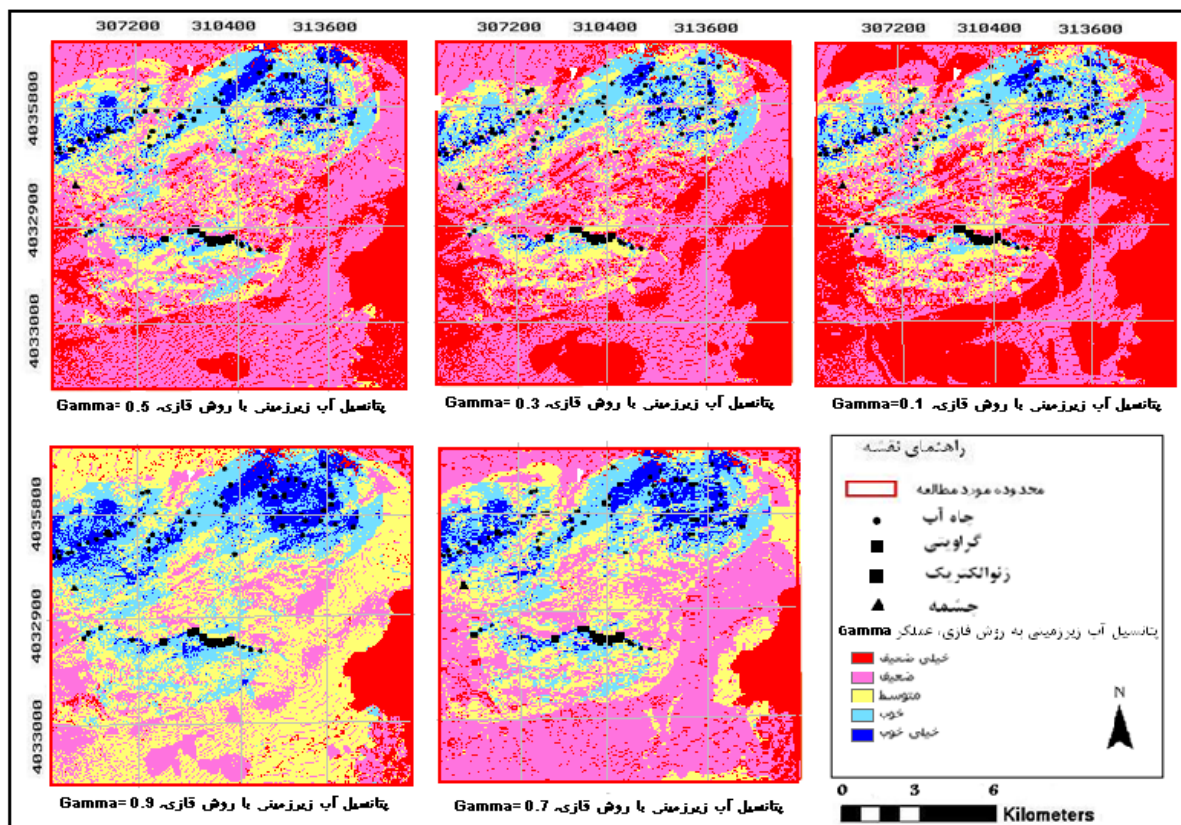


شکل ۵-۷: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش فازی حاصل ضرب جبری فازی با لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی



شکل ۵-۸: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش فازی حاصل جمع جبری فازی با لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی

همان‌گونه که در شکل ۵-۹ مشاهده می‌شود، روش فازی گاما نتایج منظم و مشخص‌تری ارائه داده که با داده‌های قطعی آب زیرزمینی همخوانی دارد. با بررسی این نتایج می‌توان گفت که روش گاما نیز قابلیت بکارگیری جهت تعیین منابع آب زیرزمینی را دارد. در انتخاب میزان عدد گاما برای بکارگیری این روش، مشاهده می‌شود که نقشه ترسیمی با اعمال عدد گامای ۰,۱ همخوانی نسبتاً بالاتری، نسبت به نقشه‌های ترسیمی با عددهای گامای بالاتر دارد. این موضوع با مقایسه مساحت‌های محدوده‌های تعیین شده بعنوان مناطق دارای پتانسیل خوب و خیلی خوب آب زیرزمینی با مساحت نواحی متراکم نقاط دارای سفره‌های قطعی آب زیرزمینی کاملاً مشهود می‌باشد.



شکل ۵-۹: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش فازی گاما با لایه اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی

## ۵-۲- جمع‌بندی و نتایج

به طور کلی هدف اصلی از بررسی‌های دورسنجی و GIS در آب‌های زیرزمینی، پتانسیل‌یابی مناطق مستعد و تمیز دادن آن از مناطق فقیر آب‌های زیرزمینی می باشد. به منظور دستیابی به این هدف، ابتدا اقدام به جمع آوری داده‌های اولیه نظیر داده‌های ماهواره ETM+ و توپوگرافی و... گردید. سپس با طی مراحل آماده سازی داده‌های مذکور، به وسیله نرم افزار ArcGIS، نقشه‌های پارامترهای تاثیر گذار در آب‌های زیرزمینی استخراج شد. در مرحله بعد، نقشه های مذکور به لایه‌های اطلاعاتی وزن دهی شده تبدیل و در نهایت به روش های همپوشانی (جمع وزنی) و فازی با یکدیگر تلفیق شدند.

خروجی بدست آمده، نقشه‌های پتانسیل آب زیرزمینی در غرب شهر شاهرود می‌باشد. سپس این نقشه‌ها توسط نقشه رقومی تراکم چاه‌های آب و نتایج بررسی‌های ژئوفیزیکی، اعتبارسنجی شد. براساس اعتبارسنجی فوق نتایج آتی حاصل گردید:

- فناوری سنجش از دور یک روش نوین و کارآمد در تعیین منابع آب زیرزمینی است. با این فناوری می‌توان در مناطق مختلف به بررسی منابع آب پرداخت و مناطق مناسب برای حفاری چاه‌های آب را تعیین نمود.
- کارایی سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان یک ابزار با در نظر گرفتن روش‌های مختلف می‌تواند در تلفیق لایه‌ها مفید و سودمند باشد.
- از این روش می‌توان در شناسایی مناطق جدید آب زیرزمینی و آب‌های سطحی استفاده کرد و همچنین در مدیریت منابع آب بهره برد.
- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش همپوشانی شاخص وزن‌دار در نرم‌افزار ArcGIS، برای پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی مناسب می‌باشد و می‌توان براساس نتایج به دست آمده از آن مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی را تعیین نمود. تلفیق لایه‌های اطلاعاتی توسط عملگر "حاصل‌ضرب جبری" در روش فازی، پس از اعتبارسنجی به عنوان روش مناسب جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب زیرزمینی محسوب می‌شود. در این روش با توجه به پیوستگی بازه‌های نقشه خروجی و همچنین نزدیک بودن مساحت بازه منطقه با پتانسیل خیلی بالا تا بالا به محدوده حضور متراکم چاه‌ها، می‌توان از آن در تعیین مناطق مستعد آب زیرزمینی بهره برد. در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی توسط عملگر "حاصل‌جمع جبری" در روش فازی بیش از نیمی از محدوده مورد مطالعه به‌عنوان نواحی با پتانسیل بالای آب زیرزمینی تعیین گردید؛ لذا این روش نیز برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب‌های زیرزمینی، نامناسب شناخته شد. تلفیق لایه‌های اطلاعاتی توسط عملگر "گاما" در روش فازی نیز صورت پذیرفت و بر اساس آن و پس از اعتبارسنجی، این روش نیز به عنوان

روشی مطلوب جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی آب زیرزمینی تعیین گردید. همچنین در استفاده از این روش این نتیجه گرفته می‌شود که استفاده از عدد گامای پایین‌تر نتایج قابل قبول‌تری برای تعیین مناطق مستعد حضور سفره‌های آب زیرزمینی ارائه می‌دهد. بنابراین بهترین عملگر و روش‌ها در تعیین پتانسیل منابع آب در این منطقه روش مجموع وزنی و روش‌های فازی گاما و حاصل ضرب جبری فازی هستند.

نتایج حاصل از تولید نقشه‌های رقومی پتانسیل آب زیرزمینی از لایه‌های اطلاعاتی مذکور، در محیط ArcGIS نشان می‌دهد که:

۱. ادغام سنجش از دور و سیستم اطلاعاتی جغرافیایی، به عنوان یک راهکار موثر در شناسایی عوامل تاثیر گذار آب‌های زیرزمینی و تولید نقشه‌های رقومی این عوامل به شمار می‌آید.
۲. ادغام فنون مذکور، راهکاری مناسب برای تولید لایه‌های اطلاعاتی از پارامترهای تاثیرگذار در آب‌های زیرزمینی و وزن‌دهی آن‌ها به شمار می‌آید.
۳. به کمک دورسنجی و GIS، نقشه‌های رقومی مناسب و صحیح پتانسیل آب‌های زیرزمینی تهیه و تولید می‌شود.

## ۵-۳- پیشنهادات

در این راستا پیشنهاد می‌شود که:

- ۱- نقاطی که چاه‌های جدید حفر می‌شود، جهت تایید یا رد نتایج حاصله از این تحقیق بررسی شوند.
- ۲- وسعت مناطق برداشت گرانی‌سنجی افزایش یابد تا به دید صحیح‌تری از تلفیق داده‌های دورسنجی و گرانی‌سنجی دست یافت.

۳- مطالعات گرانی‌سنجی و ژئوالکتریکی در محدوده‌های نسبتاً وسیع‌تر و کاملاً مشابه انجام گردد و نقشه‌های گرانی‌سنجی، ژئوالکتریک و دورسنجی، تلفیق و با موقعیت چاه‌های آب منطقه اعتبارسنجی شود.

۴- این روش با تلفیق دیگر داده‌ها مثل ژئوشیمی درون‌چاهی برای تعیین کیفیت آب زیرزمینی و تعیین بهترین چاه‌ها برای آشامیدن و کشاورزی بررسی گردد.

۵- وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی بر اساس فنون مدیریتی، مثل روش AHP انجام گیرد و نتایج حاصله با استفاده از این روش نیز اعتبارسنجی گردد.

## فهرست منابع:

- آقاجانی، ح؛ نعیمی، ن؛ (۱۳۸۹)، " بررسی‌های دور سنجی در محدوده برگه یکصد هزارم جبال بارز"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۰ صفحه.
- اسدی هارونی، ه؛ (۱۳۸۹)، "کاربرد دورسنجی در اکتشاف ذخائر معدنی"، جزوه درسی سنجش از دور، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.
- بیگ، ف؛ (۱۳۸۸)، "تهیه نقشه خطواره های ساختار زمین‌شناسی کوه بنگستان با استفاده از تصاویر ماهواره ایی و تکنیک های سنجش از دور"، **مجله اکتشاف و تولید**، ص ۴۶-۵۱.
- ثنایی نژاد، س ح؛ (۱۳۸۱)، "مقدمه ای بر سیستم های اطلاعات جغرافیایی"، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.
- جاهدی، ف؛ فرخی، ش؛ (مترجمان)؛ (۱۳۷۵)، " مبانی سنجش از دور"، مرکز سنجش از دور ایران، ۳۲۸ صفحه.
- حاجیان، ع؛ (۱۳۸۸)، "اکتشاف قنات های زیرزمینی مدفون از طریق شبکه های عصبی مصنوعی و با استفاده از داده های میکروگرانی سنجی"، **مجله فیزیک زمین و فضا**، (۱) ۳۵، ص ۹-۱۵.
- حاجی، ع؛ رحیمی، ب؛ سلطانی، م؛ (۱۳۸۸)، "رسم نقشه شکستگی‌های ساختاری منطقه تکنار ایران مرکزی (با استفاده از روش‌های دورسنجی)"، همایش ژئوماتیک، تهران.
- حکمت پور، م؛ فیض نیا، س، ا؛ حسن، خ؛ (۱۳۸۶)، "پهنه بندی مناطق مناسب برای تغذیه مصنوعی در دشت ورامین به کمک GIS و سامانه پشتیبانی تصمیم گیری"، **مجله محیط شناسی**، ص ۱-۶.

- **خدری، ا؛ (۱۳۹۰)،** "تلفیق اطلاعات سنجش از دور و GIS برای پیشرفت توسعه کارست با تحلیل هیدروگراف چشمه ها در تاقدیس پیون"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- **داودآبادی فراهانی، م؛ آقاجانی، ح؛ (۱۳۹۱)،** "کاربرد روش های ژئوفیزیکی مختلف در اکتشاف منابع آب زیرزمینی"، همایش ملی علوم مهندسی آب و فاضلاب، کرمان.
- **رشیدی گویا، ح؛ (۱۳۸۹)،** "اکتشاف قیر طبیعی (گیلسونیت) بوسیله روش های گرانی سنجی و مقاومت ویژه الکتریکی"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
- **رنگزن، ک؛ سرافراز، ع؛ (۱۳۹۰)،** "بررسی عملکرد سیستم شکستگی سازند کنگلو مرای بختیاری بر آبخوان دشت پلی-میانرودان با استفاده از تصاویر ماهواره ایی و جی آی اس"، اهواز، سازمان آب و برق خوزستان.
- **زبیری، م، مجد، ع؛ (۱۳۷۵)،** "آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی"، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه.
- **ساحل، س؛ چیتسازان، م؛ رنگزن، ک؛ میرزایی، ی؛ (۱۳۸۸)،** "تلفیق سنجش از دور و GIS در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی محدوده لالی".
- **سبحانی لاری؛ (۱۳۸۹)،** "سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)".
- **شاهی، ح؛ (۱۳۸۹)،** "تلفیق نتایج داده های ژئوفیزیک، دورسنجی و زمین شناسی با استفاده از مدل ترکیبی وزن های نشانگر برای اکتشاف ذخایر طلای لیستونیتی در منطقه هنگران"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
- **شریفی، ف؛ (۱۳۹۱)،** "اکتشاف آبهای زیرزمینی کارستی در منطقه جنوب غربی تپال شاهرود با استفاده از مدلسازی با روش عددی اجزا محدود و معکوس سازی داده های ژئوالکتریک"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- شریفی، ف؛ عربامیری، ع؛ کامکارروحانی، ا؛ (۱۳۹۱)، "اکتشاف آب‌های کارستی در منطقه تپال شاهرود به کمک روش ژئوالکتریک"، پانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
- شکری، م؛ (۱۳۹۰)، "بررسی توسعه کارست در حوضه آبگیر چشمه علی دامغان با تلفیق مطالعات هیدروژئواوژیکی، RS و GIS"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شمس، م؛ معصوم پور، ج؛ سعیدی، ش؛ شهبازی، ح؛ (۱۳۹۰)، "بررسی مدیریت بحران زلزله در بافت فرسوده شهر کرمانشاه"، مجله آمایش محیط. ص ۵۱-۷۵.
- صفایی قهنویه، ا؛ باباخانی، س؛ روحانی، ف؛ (۱۳۹۰)، "نقش سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در اکتشاف منابع آب زیرزمینی"، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- طباطبائی بفروئی، س ح؛ فروغی نسب، ک؛ (۱۳۹۰)، "اکتشاف منابع جدید در راستای مدیریت منابع آب با استفاده از GIS و RS در حوزه مطالعاتی یزد- اردکان"، دومین کنفرانس ملی پژوهشهای کاربردی منابع آب، ایران، زنجان.
- علوی پناه، ک؛ (۱۳۸۵)، "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین"، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- فاضل بیدگلی، ی؛ (۱۳۸۵)، "تعیین مشخصه آبخوان با وارون سازی دوبعدی داده های ژئوالکتریکی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- فتحی، م؛ شرقی، ی؛ کیمیاقلم، ج؛ رمزی، ح؛ (۱۳۸۳)، "پی جویی ژئوالکتریکی زونهای کارستی آبدار در منطقه اردستان به روش آزیمو تال"، کنفرانس مهندسی معدن ایران.
- فریدانی، ف؛ خداشناس، س؛ (۱۳۸۸)، "سیستم های باستانی تامین آب در مناطق خشک و نیمه خشک"، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، انجمن هیدرولیک ایران.
- قبادی، م. ح؛ (۱۳۸۶)، "زمین شناسی مهندسی کارست"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.

- کاظمی، ر؛ غیومیان، ج؛ جلالی، ن؛ (۱۳۸۵)، "بررسی نقش عوامل ساختاری در فراوانی منابع آب در منطقه کارستی لار با استفاده از سنجش از دور و GIS، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۳، زمستان ۱۳۸۵. ص ۳۳-۴۱.
- کوثر، ن؛ (۱۳۷۲)، "بررسی هیدروژئولوژیکی و غارشناسی غار شاپور"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شیراز.
- گروه اطلاعات زمین مرجع سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۷۹)، "سیستمهای اطلاعات جغرافیایی برای دانش پژوهان علوم زمین و مدلسازی به کمک GIS"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۶۲ صفحه.
- لرستانی، ق؛ شهریار، ع؛ (۱۳۹۰)، "کاربرد ENVI در سنجش از دور"، تهران، نشر انتخاب، ۲۳۸ صفحه.
- مالمیریان، ح؛ (۱۳۸۱)، "اصول و مبانی سنجش از دور و تعبیر و تفسیر تصاویر ماهواره ایی"، چاپ دوم، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۵۱ صفحه.
- ملکیان، ع؛ (۱۳۹۱)، "تهیه نقشه پتانسیل مطلوب منابع آب زیرزمینی منطقه بسطام در محیط GIS"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- موحد دانش، ع ا؛ (۱۳۶۴)، "آب یابی-کاربرد ژئوفیزیک در شناخت آبهای زیرزمینی"، انتشارات عمیدی تبریز، چاپ دوم.
- مهدوی، ع؛ نوری امامزاده، م؛ مهدوی نجف آبادی، ر؛ طباطبائی، س. ح؛ (۱۳۹۰)، "مکانیابی عرصه های مناسب تغذیه مصنوعی سفره های زیرزمینی به روش منطق فازی در حوزه آبریز دشت شهرکرد"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۵۶. ص ۶۳-۷۶.

- مینویی، ا؛ (۱۳۸۸)، "نقش شکستگی ها در جریان آب زیرزمینی در منطقه کارستی کوههای شاهو کردستان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- نسب، ص؛ (۱۳۹۰)، "قنات قصبه گناباد"، پرتال جامع گردشگری ایران، Retrieved from: [www.iranview.ir](http://www.iranview.ir)
- نوروزی، غ؛ (۱۳۸۸)، "ژئوفیزیک اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول
- نوروزی، غ؛ مهرنیا، ا؛ (۱۳۷۷)، "استفاده از دادههای مغناطیسی برای شناسایی زونهای شکسته حاوی آبگرم زیرزمینی در سرعین اردبیل"، سازمان آب و برق استان آذربایجان شرقی.
- نیک پیمان، ی؛ (۱۳۸۸)، "بررسی تاثیر خطواره ها بر روی نوع جریان آب زیرزمینی در آبخوان های کارستی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ورشوساز، م؛ (۱۳۸۲)، "جزوه درسی DTM و تحلیل ساختارها در GIS"، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.
- وزیری، س؛ (۱۳۸۰)، "گزارش زمین‌شناسی نقشه یکصد هزارم شاهرود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.

- <http://web.viu.ca/geoscape/Karst.htm>, (2013)
- Abd Alla, F; (2012); "Mapping of groundwater prospective zones using remote sensing and GIS techniques: A case study from the Central Eastern Desert, Egypt"; Journal of African Earth Sciences , pp 8-17
- Abd Alla, M.A; Sultan, S.A; Hekhemer, H.M and et al; (2007), "Integrated Geophysical Interpretation For Groundwater Potentiality Case Study At The Central Part Of Sinai Peninsula, Egypt", EGM International Workshop.
- Abdel-Khalek, A; Omran, A; (2008); "Integration of Remote Sensing, Geophysics and Gis to Evaluate Groundwater Potentiality – A Case Study In Sohag Region, Egypt"; 3rd International Conference on Water Resources and Arid Environments and the 1st Arab Water Forum.
- Ahmed, F; Andrawis, A; Hagaz, Y; (1984); "Landsat model for groundwater exploration in the Nuba Mountains, Sudan", Adv Space Res, 4(11), pp123–131.

- Ali, H.O; Whitely, R.J; (1981); "Gravity exploration for groundwater in the Bara Basin- Sudan".
- AlSaud, M; (2007); "Using satellite imageries to study drainage pattern anomalies in Saudi Arabia", Environment Hydrology Journal, Vol 15(30), pp1–15.
- AlSaud, M; (2008); "Using ASTER images to analyze geologic linear features in Wadi Aurnah basin, western Saudi Arabia", Open Remote Sensing Journal, Vol 2008(1), pp17–25.
- AlSaud, M; (2009); "Morphometric analysis of Wadi Aurnah drainage system, Western Arabian Peninsula", Open Hydrology Journal, Vol 3, pp1–10
- Bilal, A; Ammar, O; (2002); "Rainfall water management using satellite imagery: examples from Syria", International Journal of Remote Sensing, 23(2), pp207–219.
- Bobba, A G; Bukata, R P; Jerome, J H; (1992); "Digitally processed satellite data as a tool in detecting potential groundwater flow systems", Journal of Hydrology, 131(1-4), pp25-62.
- Bogli, A; (1980); "Karst Hidrology and Physical Speleology", New York, Springer, pp270.
- Bonham-Carte, G F, (1994), "Geographic information systems for geoscientists: Modeling with GIS", Oxford: Pergamon, pp 398.
- Chandra Bose, A; Giridhar, M; Viswanadh, G; (2010); "Identification of Groundwater Potential Zones using GIS and RS", 31st International Conference on Remote Sensing, pp 1-6, Hanoi, Vietnam.
- Cicioglu Sutcu, E; (2012); "Use of GIS to discover potential coalfields in Yatagan–Milas area in Turkey", International Journal of Coal Geology, pp 95-109.
- Das, D; (2000); "GIS application in hydrogeological studies", Available via <http://www.gisdevelopment.net/application/nrm/water/overview/wato0003.htm>, Cited March 2010.
- Edet, A; Okereke, S; Teme, C; Esu, O; (1998); "Application of remote sensing data to groundwater exploration: a case study of the Cross River State, southeastern Nigeria", Hydrogeol J , 6(3), pp394–404.
- El-Baz, F; (1992); "Preliminary observations of environmental damage due to the Gulf war", National Resource Forum, Vol 16(1), pp71–75.

- [El-Shazly, M; El Raikaiby,M; El Kassas, A; \(1983\)](#); "Groundwater investigation of Wadi Araba area, Eastern Desert of Egypt, using Landsat imagery", Proc. 17th Symp. on Remote Sensing of the Environment. Ann Arbor, Michigan, 9–13 May 1983, Harwood, New York, pp 1003–1113.
- [Fukuda, Y; Yamamoto, K; Hasegawa, T; Nakaegawa, T; Nishijima, J; Taniguchi, M; \(2009\)](#); "Monitoring groundwater variation by satellite and implications for in-situ gravity measurements", Science of the total environment, Volume: 407, Pp 3173-3180.
- [Ganapuram, S; Kumar, G; Krishna, I; Kahya, E; Demirel, M; \(2008\)](#); "Mapping of groundwater potential zones in the Musi basin using remote sensing and GIS". Adv Eng Softw, 40(7), pp506-518.
- [Ganesh Babu, O; Sashikkumar, M C; \(2010\)](#), "Demarcation of Groundwater Recharge potential zone for Tiruppur block using GIS. *Journal of soil and water conservation*, 9(3), pp. 154-158.
- [Ghulam, A; Qin, Q; Zhu, L; Abdrahman, P; \(2004\)](#); "Satellite remote sensing of groundwater: quantitative modeling and uncertainty reduction using 6S atmospheric simulations", Int Journal of Remote Sensing, Vol 25(23), pp5509–5524.
- [Gustafsson, P; \(1994\)](#); "SPOT satellite data for exploration of fractured aquifers in a semi-arid area in Botswana", Hydrogeol J, 2(2), pp9–18.
- [Ibrahim, K.E; Hussein, M.T; Giddo I.M; \(1992\)](#); "Application of combined geophysical and hydrogeological techniques to groundwater exploration: a case study of Showak-Wad Elhelew area,Eastern Sudan", Journal of African earth science, Vol 15, No1, pp 1-10.
- [Jacob, T; Bayer, R and et al; \(2008\)](#); "Absolute gravity monitoring of water storage variation in a karst aquifer on the Iarzac plateau(Southern France)", Journal of Hydrology, Vol 359, pp 105-117.
- [Jasmin, I; 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*, 19(4), pp. 729-740.

- [Kalinski, R.J; Kelly, W.E; Bogardi, I; \(1993\);](#) "Combined use of geoelectricsounding and profiling to quantify aquifer protection properties", Ground Water Journal, Vol 31, N4, pp 538–544.
- [Kamaraju, M vv; Bhattacharya, A; Reddy, G S; Reddy, G S; Rao, G C; Murthy, G S; Rao, TCM; \(1995\);](#) "Groundwater potential evaluation of west Godavari District, Andhra Pradesh State, India – A GIS approach", Groundwater J, 34(2), pp318-325.
- [Kearey, P; Brooks, M; \(1991\);](#) "An Introduction to Geophysical Exploration", second edition, pp 173-197.
- [Khairul Anam, M; Juhari, M A; Ibrahim, A; \(2000\),](#) "Groundwater prediction potential zone in langat basin using the integration of RS and GIS" Taipei.
- [Kouli, M; Lidakis, N; Soupios, P; \(2008\),](#) "GIS-Based Aquifer Modeling And Planing Using Integrated Geoenvironmental And Chemical Approach", Nova Science Publishers Inc, pp. 1-61.
- [Krishnamurthy, J; Mani, A; Jayaraman, V; Manivel, M; \(2000\);](#) "Groundwater resources development in hard rock terrain - an approach using remote sensing and GIS techniques", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Volume 2, Issues 3-4, pp 204-215.
- [Krishnamurthy, J; Srinivas, G; \(1995\);](#)"Role of geological and geomorphological factors in ground water exploration: a study using IRS LISS data", International Journal of Remote sensing, Vol 16, No 4, pp 2595-2618.
- [Krishnamurthy, J; Arul Mani, M; Jayaraman, V; Manivel, M; \(1997\);](#) "Selection of sites for artificial recharge towards groundwater development of water resources in India", Proceeding 18th Asian Conf. on Remote Sensing, Kuala Lumpur, 20–24 October.
- [Kumar, P. K; Gopinath, G; Seralathan, P; \(2007\);](#) "Application of remote sensing and GIS for the demarcation of groundwater potential zones of a river basin in Kerala, southwest coast of India", International Journal of Remote Sensing , 28 (24), pp 5583-5601.
- [Liu, J. G; Mason, P. J; Yu, E; Wu, M. C; Tang, C; Huang, R; et al; \(2012\);](#) "GIS modelling of earthquake damage zones using satellite remote sensing", Journal of Geomorphology, pp 518-535.

- Longley, P A; Brooks, S M; McDonnell, R; Macmillan, B; (1998); "Geocomputation: A Primer", John Wiley & Sons Ltd, Chichester, pp. 290.
- Longuevergne, L; Boy, J.P; Florsch, N; Viville, D; Ferhat, G; Ulrich, P; Luck, B; Hinderer, J; (2009); "Local and global hydrological contributions to gravity variations observed in Strasbourg", *Journal of Geodynamics*, Volume 48, Issues 3-5, December 2009, pp 189-194.
- Madan, K; Alivia, C; Chowdary, V; Peiffer, S; (2007); "Groundwater management and development by integrated remote sensing and GIS, Prospects and Constraints", *Water resource management J*, Vol 21, pp427-467.
- Marino, C.M; (1976); "Detection of fresh-water submarine springs by means of remote-sensing techniques: Examples of application in Italy", *Geoexploration J*, Volume 14, Issues 3-4, October 1976, pp 269.
- Mashael Al Saud; (2010); "Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques", *Hydrogeology Journal*, Vol18, pp1481–1495.
- Meisler, H; (1963); "Hydrogeology of the carbonate rocks of the Lebanon Valley", 4th Series Groundwater Report, W17, Pennsylvania Geological Survey, Harrisburg, PA, 81 pp.
- Michele, A.H; (1996) ;"Gravity survey of a Cenozoic basin".
- Mohanty, C; Behera, S C; (2012); "Integrated remote sensing and GIS study for hydrogeomorphological mapping and delineation of groundwater potential zones in Khallikote block, Ganjam district, Orissa", *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 38 (2), pp345-354.
- Mohd Nadun, S; smail Maarof, I; rosmadi Ghazali, R; (2010); "Sustainable Groundwater Potential Zone Using Remote Sensing and GIS", 6th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), pp 1-6.
- Murty, B.V.S; (2001);"The gravity method in ground water exploration in crystalline rock- india".
- Musa, K A; Akhir, J M; Abdullah, I; (2000); "Groundwater prediction potential zone in Langat Basin using the integration of remote sensing and GIS", [www.GISdevelopmant.net](http://www.GISdevelopmant.net) (accessed on July 24, 2003).

- [Olorunfemi M.O, Fasuyi S.A.; \(1993\);](#) “Aquifer types and the geoelectric/hydrogeologic characteristics of part of the central basement terrain of Nigeria (Niger State)”,
- [Pinder, GF; \(2002\);](#) "Groundwater Modeling Using Geographical Information Systems", John Wiley & Sons, New York, pp 248.
- [Rampal, K K; Roa, KVG; \(1989\);](#) "Groundwater targeting using digitally enhanced imagery", [www.GISdevelopment.net](http://www.GISdevelopment.net) (accessed on July 24, 2003).
- [Rauch, H; LaRicca, M; \(1978\);](#) "Water well yield related to lineaments in carbonates and shale of Hagerstown Valley, Maryland". *Trans An Geophys Union*, 59(4),1–28.
- [Reynolds, J.N; \(1998\);](#) "An Introduction to Applied And Environmental Geophysics", John Willy and Sons Ltd.
- [Robinson, C; El-Baz, F; Singhory, V; \(1999\);](#) "Subsurface imaging by RADARSAT: comparison with Landsat TM data and implications for groundwater in the Selima area, northwestern Sudan", *Canadian Journal of Remote Sensing*, 25(3), pp268–277.
- [Salman, A; \(1983\);](#) "Using Landsat image interpretation prospection around Qena rovidence, Egypt", *International Journal of Remote Sensing*, Vol 4, pp1497–1489.
- [Sander, P; Chesley, M; Minor, T; \(1996\);](#) "Groundwater assessment using remote sensing and GIS in a rural groundwater project in Ghana: lessons learned", *Hydrogeol J*, 4(3), pp78–93.
- [Savane, I; Goze, B; Gwyn, H; \(1996\);](#) "Cartographic and structural study using Landsat in the Ivory Coast", In *Proceedings of the 26th Int. Symp. on Remote Sensing of Environment*, Vancouver, BC, 25–29 March 1996, pp 92–97.
- [Seelan, K; \(1983\);](#) "Satellite data in aid of groundwater exploration: a case study from Karnataka, India", *Int Conf on Groundwater and Management*, Sydney, May 1985, pp 169–173.
- [Senser, E; Davraz, A; Ozcelik, M; \(2005\);](#) "an integration of GIS and remote sensing in groundwater investigations: a case study in Burdur, Turkey", *International Journal of hydrogeology*, Vol 13, pp826-834.
- [Sikder, P K; Chakraborty, S; Adhya, E; 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, 4(2), pp 1-24.

- [Siti Nor Eliza, M. N; Ismail, M; Rosmadi, G; Abd Manan, S; Ramli, A; \(2010\);](#) "Sustainable Groundwater Potential Zone Using Remote Sensing and GIS", 6th International Colloquium on Signal Processing & Its Applications (CSPA), Mallaca, pp 1-6.
- [Sultan, S.A; \(2007\);](#) "Geophysical measurements for sub surface mapping and groundwater exploration at the central part of the SINAI, Egypt", The Arabian journal for science and engineering, Vol 34, No 1A.
- [Talukdar, K. K; Thakuria, G; Saikia, R; \(2013\);](#) "Groundwater potential mapping of Guwahati city using geoinformatics"; The Clarion International Multidisciplinary Journal, pp 81-86.
- [Taylor, L; \(1980\);](#) "Fracture traces and water wells: a review", Pennsylvania Geol Journal, 11(3), pp 1-14.
- [Teeuw, R; \(1995\);](#) "Groundwater exploration using remote sensing and a low-cost geographic information system", Hydrogeol J, 3 (3), pp21–30.
- [Topfer, KD Figs, Tabls, Refs. J. Engng; \(1974\);](#) “Geophysical techniques in groundwater exploration, foundation engineering and earthing engineering , Geoelectric resistivity methods”, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Volume 11, Issue 4, April 1974, Page 92.
- [Van Nostrand, R.G; \(1976\);](#) "An example of the use of gravity in groundwater exploration", Geoexploration J, Volume 14, Issues 3-4, October 1976, pp 262-265.
- [Watkins, D W; McKinney, D C; Maidment, D R; Lin, M D; \(1996\);](#) "Use of geographic information system in groundwater flow modeling", Journal of Water Resources Planning and Management, ASCE 122(2), pp88-96.
- [White, W B; \(1988\);](#) "Geomorphology and Hidrology of Karst terrains"; New York: Oxford university Press, pp 464.
- [Yadav, G.S; Singh, S.K; \(2007\);](#) "Integrated resistivity surveys for delineation of fractures for ground water exploration in hard rock areas", Journal of Applied Geophysics, Volume62, pp 301-312.

- [Yugur, Y; \(2000\)](#); "Goelectric exploration and monitoring in rock salt for the safety assessment of underground waste disposal sites" , Journal of Applied Geophysics, Volume 44, Issues 2-3, May 2000, pp 181-196.

## **Abstract**

Groundwater is one of the most important sources of fresh water needed for human is today for uses such as agriculture, industry, and has a lot of drinking. Possibility of underground water reservoir and the discharge of all the physical features and geological formations porous medium dependent. and the characteristics of the rock pores where and the study of underground water is very important. This means that the physical conditions of the environment with several factors such as topography slope of the study area, rock units, joints and cracks, and the vegetation was investigated. In this study, the parameters slope, aspect, elevation, channeled network (drainage), vegetation lineaments and rock units in the study area using satellite images were analyzed by West anymore. The Landsat ETM<sup>+</sup> satellite data preparation and processing of the necessary corrections, the parameters of digital maps were prepared separately. Then use these maps in GIS software and data layers for integrating the weighted sum method and the preparing phase. The map was produced about 15 percent of the potential range of 170 kilometers, underground aquifer were identified as areas of opportunity.

**Key words:** Groundwater, remote sensing, Geoelectric, gravity, GIS, mapping potential, fuzzy methods



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of Mining, petroleum and geophysics engineering**

# **Mapping Groundwater Potential in Karstic Area- West of Shahrood**

**Meysam Davoodabadi Farahani**

**Supervisor:  
Hamid Aghajani**

Summer, 2013

