

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت منابع آب

شناسایی مناطق مستعد وجود سفره‌های آب زیرزمینی با استفاده از

تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در GIS

نگارنده: محمدرضا رنجبری

استاد راهنما:

دکتر رمضان واقعی

دی‌ماه ۹۷

شماره: ۹۷۲۸۴
تاریخ: ۱۰/۲۲/۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدرضا رنجبری با شماره دانشجویی: ۹۵۰۷۲۶۴ رشته: عمران گرایش: مهندسی و مدیریت منابع آب تحت عنوان: شناسایی مناطق مستعد وجود سفره های آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک های پردازش تصاویر ماهواره ای و تلفیق لایه های اطلاعاتی در GIS که در تاریخ ۱۳۹۷/۱۰/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ... عالی) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبۀ علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	رمضان واقعی	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم			
۳- استاد مشاور			
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	مهدی عجمی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	بهناز بیگدلی	استادیار	
۶- استاد ممتحن دوم	غلامحسین کرمی	دانشیار	

نام و نام خانوادگی: رضا نادری
رئیس دانشکده: رضا نادری
دانشکده مهندسی عمران
آپوزش تحصیلات تکمیلی و آموزش و تحقیقات
تجربه: در صورتی که کسی بدون شود حداکثر یکبار دیگر (در مدن مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع)

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تأیید کند.

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

به پاس تعبیر عظیم و آسمانی شان از ایثار و از خودگذشتگی

به پاس عاطفه سرشار و کرمای امیدبخش و جودشان

به پاس قلب های بزرگشان

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند

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.

بر خود لازم می‌دانم که از کلیه سرورانی که بنده را در این پژوهش یاری نمودند، تشکر و قدرانی نمایم. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از وی بتوان حرفی زد.

در ابتدا بایستی از آقای دکتر رمضان واقعی که زحمت راهنمایی این رساله را برعهده گرفتند، تشکر و قدردانی نمایم. ایشان با صبر و حوصله و همچنین راهنمایی‌های دقیق و ارزشمند، مرا در این پژوهش یاری کردند. بدون شک بدون راهنمایی‌های ایشان رسیدن به این مقصود ممکن نبود.

از آقای دکتر غلامحسین کرمی، که زحمت داوری این رساله را بر عهده گرفتند، کمال تشکر و قدردانی را دارم. نظرات و راهنمایی‌های ارزشمند ایشان روشنگر مسیر من در این پژوهش بوده است.

همچنین از خانم دکتر بهناز بیگدلی که با صبر و حوصله فراوان، پاسخگوی سوالات بنده بودند و زحمت داوری این رساله را بر عهده داشتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان از تمامی کسانی که به هر نحو ممکن مرا در این پژوهش یاری کردند، کمال تشکر و سپاسگزاری را دارم.

تعهد نامه

این جانب **محمدرضا رنجبری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی و مدیریت منابع آب** دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه شناسایی مناطق مستعد وجود سفره های آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک های پردازش تصاویر ماهواره ای و تلفیق لایه های اطلاعاتی در GIS تحت راهنمایی **دکتر رمضان واقعی** متعهد می شوم.

- 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 می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- 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.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در سال‌های اخیر با توسعه فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و فراگیر شدن این روش در علوم مختلف، آب‌های زیرزمینی هم بی‌نصیب نبوده و در هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرسطحی، در شناسایی مناطق دارای پتانسیل منابع آب زیرزمینی کاربرد فراوانی پیدا کرده است. منطقه مورد مطالعه در غرب و شمال غرب شاهرود وسعتی حدود ۴۸۰ کیلومترمربع را شامل می‌شود. در این منطقه به دلیل وجود سنگ‌های کربناته و همچنین عملکرد فرسایش و نیروهای تکتونیکی در بخش‌هایی از منطقه آبخوان‌های نسبتاً مناسبی شکل گرفته‌اند. در این تحقیق، با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل یابی و ارزیابی منابع آب در سازندهای سخت انجام شده است. برای این منظور، از مدل رقومی ارتفاعی جهت تهیه لایه شیب، جهت شیب و آبراهه‌ها استفاده گردید. نقشه پایه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱ به ۱۰۰۰۰۰ شاهرود تهیه شد. سپس با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸، خطواره‌های منطقه استخراج شده و بر روی نقشه زمین‌شناسی پیاده گردید. لایه‌های اطلاعاتی گسل، لیتولوژی، شیب، جهت شیب، آبراهه‌ها، مقدار بارندگی و نوع بارش با دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و رتبه‌بندی تجمعی ساده (SAW) وزن‌دهی و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی هم‌پوشانی و به سه دسته ضعیف، خوب و عالی کلاسه‌بندی شدند. نقشه نهایی با چاه‌های بهره‌برداری منطقه، چشمه‌ها و سونداژهای الکتریکی موجود در منطقه اعتبارسنجی شد و نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که تحلیل سلسله مراتبی از اعتبار بالاتری برخوردار است. در روش رتبه‌بندی ساده تجمعی حدود ۲۱٪ منطقه با قابلیت پتانسیل خوب و عالی شناسایی شد، در حالی که در روش سلسله مراتبی حدود ۴۰٪ منطقه قابلیت خوبی برای پتانسیل آب زیرزمینی دارد.

در تهیه نقشه زمین‌شناسی تکنیک‌های تحلیل مولفه مستقل و کمترین کسر نویز کارآمدترین روش‌ها برای استخراج سازندهای منطقه بودند و از بین روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده، روش بیشترین شباهت از درصد انطباق بالاتری در مقایسه با نقشه زمین‌شناسی منطقه برخوردار بود. همچنین ملاحظه شد که نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی عمدتاً توسط عوامل بارش، سنگ‌شناسی و تراکم خطواره‌ها کنترل می‌شوند. سازندهای لار و کرتاسه در وسعتی حدود ۱۸۰ کیلومترمربع که ۳۷٪ منطقه را شامل می‌شوند، از پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی برخوردار می‌باشند. این سازندها با لیتولوژی آهکی و انحلال‌پذیری بالا قابلیت بالایی برای تشکیل آبخوان‌های کارستی را شامل می‌شوند. همچنین مناطقی که از تراکم بالای خطواره در منطقه برخوردار بودند، باعث افزایش نفوذ و تخلخل‌پذیری منطقه شده و بستر مناسبی را برای تغذیه سازندهای سخت منطقه ایجاد کرده است.

کلمات کلیدی: پتانسیل آب زیرزمینی، سیستم اطلاعات مکانی، سنجش از دور، تحلیل سلسله مراتبی

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- محمدرضا رنجبری، رمضان واقعی، بهناز بیگدلی، پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی با استفاده از تصاویر ماهواره و GIS و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، هفتمین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب، آبان ۹۷

فهرست مطالب

م	فهرست جدول‌ها
ن	فهرست شکل‌ها
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق.....
۳	۲-۱- اهداف تحقیق.....
۴	۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.....
۴	۴-۱- آب و هوای منطقه.....
۵	۵-۱- زمین‌شناسی منطقه.....
۶	۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه.....
۱۱	۶-۱- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه.....
۱۳	۷-۱- هیدرولوژی منطقه.....
۱۴	۸-۱- هیدروژئولوژی منطقه.....
۱۵	۹-۱- ساختار پایان‌نامه.....
۱۷	فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته
۱۸	۱-۲- مقدمه.....
۱۸	۲-۲- آبخوان‌های کارستی.....
۱۸	۱-۲-۲- طبقه‌بندی آبخوان‌های کارستی.....
۱۹	۲-۲-۲- پتانسیل‌یابی منابع آب در آبخوان‌های کارستی.....
۲۱	۳-۲- عوامل مؤثر در پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی.....
۲۱	۱-۳-۲- زمین‌شناسی.....
۲۲	۲-۳-۲- عامل ساختاری.....
۲۳	۳-۳-۲- عامل توپوگرافی.....

۲۴	..... ۴-۳-۲ عامل اقلیم
۲۵	..... ۴-۲ کاربرد RS و GIS در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی
۳۰	..... ۱-۴-۲ استخراج خطوطاره‌ها با روش سنجش از دور
۳۳	..... ۲-۴-۲ استخراج لیتولوژی با روش سنجش از دور
۳۴	..... ۵-۲ جمع‌بندی
۳۷	فصل سوم: پردازش تصویر و استخراج لایه‌های اطلاعاتی
۳۸	..... ۱-۳ مقدمه
۳۹	..... ۲-۳ سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)
۳۹	..... ۳-۳ سنجش از دور (RS)
۴۰	..... ۴-۳ مشخصات ماهواره لندست ۸
۴۲	..... ۵-۳ پردازش تصاویر ماهواره‌ای
۴۳	..... ۱-۵-۳ پیش‌پردازش
۴۳	..... ۱-۱-۵-۳ تصحیحات رادیومتریک
۴۴	..... ۲-۱-۵-۳ مدل فلاش
۴۵	..... ۳-۱-۵-۳ تصحیح هندسی
۴۵	..... ۲-۵-۳ ادغام تصاویر
۴۶	..... ۳-۵-۳ کشش کنتراست
۴۷	..... ۴-۵-۳ فیلترگذاری
۴۸	..... ۵-۵-۳ ایجاد تصاویر رنگی
۴۸	..... ۶-۵-۳ نسبت‌گیری طیفی
۴۸	..... ۷-۵-۳ تحلیل مؤلفه‌های اصلی
۵۰	..... ۸-۵-۳ تحلیل مؤلفه‌های مستقل
۵۰	..... ۹-۵-۳ تبدیل کمترین کسر نويز
۵۱	..... ۶-۳ طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور

- ۵۲----- ۱-۶-۳- ارزیابی دقت طبقه‌بندی
- ۵۴..... ۷-۳- تهیه نقشه‌های اطلاعاتی
- ۵۴----- ۱-۷-۳- تهیه نقشه لیتولوژی
- ۵۴----- ۱-۱-۷-۳- تصاویر رنگی
- ۵۶----- ۲-۱-۷-۳- نسبت‌گیری طیفی
- ۵۹----- ۳-۱-۷-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی
- ۶۰----- ۴-۱-۷-۳- تحلیل مؤلفه‌های مستقل
- ۶۱----- ۵-۱-۷-۳- روش کمترین کسر نویز
- ۶۳----- ۶-۱-۷-۳- کلاس‌بندی نقشه‌ها
- ۶۵----- ۷-۱-۷-۳- کلاس‌بندی به روش شاخه درختی
- ۶۷----- ۸-۱-۷-۳- ارزیابی دقت طبقه‌بندی
- ۶۸----- ۲-۷-۳- تهیه نقشه خطواره
- ۷۱----- ۳-۷-۳- تهیه نقشه آبراهه
- ۷۲----- ۴-۷-۳- تهیه نقشه شیب
- ۷۳----- ۵-۷-۳- تهیه نقشه جهت شیب
- ۷۴----- ۶-۷-۳- تهیه نقشه بارش
- ۷۷----- ۷-۷-۳- تهیه نقشه نوع بارش

۷۹ فصل چهارم: تولید و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی

- ۸۰..... ۱-۴- مقدمه
- ۸۰..... ۲-۴- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی
- ۸۰----- ۱-۲-۴- ایجاد سلسله مراتب
- ۸۱----- ۲-۲-۴- مقایسه زوجی و محاسبه وزن معیارها
- ۸۱----- ۳-۲-۴- محاسبه نرخ ناسازگاری
- ۸۲..... ۳-۴- وزن‌دهی نقشه‌های معیار

۸۲	-----	۱-۳-۴- مدل وزنی رتبه‌ای
۸۳	-----	۲-۳-۴- مدل وزنی مقایسه زوجی
۸۳	.....	۴-۴- تلفیق نقشه‌های معیار به روش همپوشانی خطی وزنی
۸۴	.....	۵-۴- استاندارد سازی و رتبه‌بندی نقشه‌های معیار
۸۴	-----	۱-۵-۴- روش رتبه‌بندی تجمعی ساده
۸۵	-----	۲-۵-۴- استانداردسازی به روش AHP
۹۱	.....	۶-۴- وزن‌دهی به نقشه‌های معیار
۹۳	.....	۷-۴- تلفیق نقشه‌های معیار
۹۵		فصل پنجم: اعتبارسنجی، نتایج و پیشنهادها
۹۶	.....	۱-۵- نتیجه‌گیری
۹۶	-----	۱-۱-۵- لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر منابع آب زیرزمینی
۹۸	-----	۲-۱-۵- پردازش تصاویر و استخراج لایه‌های اطلاعاتی
۹۹	-----	۳-۱-۵- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی
۱۰۰	-----	۴-۱-۵- ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه
۱۰۴	.....	۲-۵- پیشنهادها
۱۰۸	-----	پ ۱-۱- تشخیص انواع ترکیبات کانی‌ها و سنگ‌ها
۱۰۸	-----	پ ۱-۱-۱- ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک ۰/۴ تا ۱/۰ میکرومتر:
۱۰۹	-----	پ ۱-۱-۳- ناحیه فروسرخ حرارتی ۳-۲۵ میکرومتر:
۱۱۵		پ ۱-۲-۲- ناحیه فروسرخ حرارتی (TIR)
۱۱۶		مراجع

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۳: لیست باندهای لندست ۸ ۴۱
- جدول ۲-۳: شاخص همبستگی مؤلفه‌های اصلی ۵۹
- جدول ۳-۳: جدول شاخص همبستگی مولفه‌ها مستقل ۶۰
- جدول ۴-۳: کانی‌های تشخیص داده شده در محیط N بعدی ۶۲
- جدول ۵-۳: جدول ارزیابی تشخیص سازندهای منطقه در روش‌های مختلف طبقه‌بندی ۶۵
- جدول ۶-۳: مقادیر ماتریس ابهام ۶۷
- جدول ۷-۳: فیلترهای جهت‌دار ساینز ۶۸
- جدول ۸-۳: فیلترهای جهتی Sobel ۶۹
- جدول ۹-۳: وزن‌دهی لایه خطواره‌ها (Km/Km^2) ۷۰
- جدول ۱۰-۳: وزن‌دهی لایه آبراهه (Km/Km^2) ۷۱
- جدول ۱۱-۳: وزن‌دهی لایه شیب ۷۲
- جدول ۱۲-۳: وزن‌دهی لایه جهت شیب ۷۳
- جدول ۱۳-۳: وزن‌دهی لایه بارش ۷۵
- جدول ۱۴-۳: وزن‌دهی لایه نوع بارش ۷۷
- جدول ۱-۴: مبنای مقایسات زوجی پارامتر ۸۱
- جدول ۲-۴: وزن معیارها به روش SAW ۸۷
- جدول ۳-۴: مقادیر RI ۸۵
- جدول ۴-۴: ماتریس مقایسه زوجی معیارها در مدل AHP جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی ۸۸
- جدول ۵-۴: وزن‌دهی معیارها بر اساس روش AHP ۹۲
- جدول ۶-۴: وزن‌دهی معیارها بر اساس روش SAW ۹۲
- جدول ۱-۵: خلاصه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژزنی الکتریکی در منطقه تپال ۱۰۲
- جدول ۲-۵: مساحت کلاس‌های مختلف به روش‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع ۱۰۳

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه ۴
- شکل ۲-۱: ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه ۵
- شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه ۸
- شکل ۴-۱: سازند لار منطقه مطالعاتی ۱۰
- شکل ۵-۱: نهشته‌های کواترنری منطقه مطالعاتی ۱۱
- شکل ۶-۱: نقشه هیدروگرافی منطقه ۱۴
- شکل ۷-۱: حفرات کارستی منطقه مطالعاتی ۱۵
- شکل ۱-۳: مراحل اجرایی روش کار پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی ۳۸
- شکل ۲-۳: مقایسه نمودار طیفی: تصویر خام بدون تصحیح رادیومتریک با تصویر اعمال الگوریتم FLAASH ۴۵
- شکل ۳-۳: مقایسه نمودار طیفی روش‌های GramSchmidt و PC با نمودار طیفی مینا ۴۶
- شکل ۴-۳: ترکیب رنگی باندهای ۵، ۶ و ۷ ۵۵
- شکل ۵-۳: ترکیب رنگی باندهای ۱۰، ۱۱ و ۷ ۵۵
- شکل ۶-۳: آشکار سازی دولومیت (مناطق سفید) با نسبت تصویر (۶/۳) به تصویر (۷/۴) ۵۶
- شکل ۷-۳: نمودار طیفی غالب کانی‌های منطقه ۵۷
- شکل ۸-۳: نمودار بازنویسی شده کانی‌ها با سنجنده OLI ۵۸
- شکل ۹-۳: ترکیب رنگی مؤلفه‌های اول، دوم و سوم ۵۹
- شکل ۱۰-۳: ترکیب رنگی مؤلفه‌های مستقل برای بارزسازی مناطق آهکی از شیلی و ماسه‌سنگی ۶۰
- شکل ۱۱-۳: تصویر رنگی باندهای ۴، ۳ و ۲ روش MNF به همراه پیکسل‌های خالص منطقه (ستاره سفید) ۶۲
- شکل ۱۲-۳: تصویر کلاسه‌بندی شده روش‌های مختلف ۶۴
- شکل ۱۳-۳: نقشه طبقه‌بندی شده منطقه در مقایسه با نقشه سازمان زمین‌شناسی از منطقه (شکل ب) ۶۶

- شکل ۳-۱۴: استخراج خطوطها با فیلتر Sobins..... ۶۸
- شکل ۳-۱۵: استخراج خطوطها با فیلتر Sobel و مقایسه با خطوطهای نقشه زمین شناسی (خطوط سفید رنگ). ۶۹
- شکل ۳-۱۶: استخراج خطوطها از امولفه اصلی اول و مقایسه با گسل زمین شناسی (خطوط سفید رنگ). ۷۰
- شکل ۳-۱۷: تراکم خطوطها..... ۷۱
- شکل ۳-۱۸: نقشه تراکم آبراههها..... ۷۲
- شکل ۳-۱۹: نقشه شیب منطقه..... ۷۳
- شکل ۳-۲۰: نقشه طبقه بندی شده جهت شیب..... ۷۴
- شکل ۳-۲۱: نمودار بارش ارتفاع متوسط منطقه..... ۷۵
- شکل ۳-۲۲: لایه بارش منطقه..... ۷۶
- شکل ۳-۲۳: منحنی هیپسومتری منطقه..... ۷۶
- شکل ۳-۲۴: نقشه نوع بارندگی (برف یا باران) منطقه..... ۷۷
- شکل ۴-۱: ساختار سلسله مراتب (قدسی پور، ۱۳۸۵)..... ۸۱
- شکل ۴-۲: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روش WLC (الف: روش AHP، ب: روش SAW..... ۹۴
- شکل ۵-۱: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روش WLC (از بالا: روش AHP، پایین به روش SAW..... ۱۰۰
- شکل ۵-۲: موقعیت سونداژهای الکتریکی در مطالعه ژئوالکتریک..... ۱۰۱
- شکل ۵-۳: موقعیت چشمه ها و چاه های بهره برداری منطقه مورد مطالعه..... ۱۰۳
- شکل ۵-۴: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به روش SAW و روش AHP..... ۱۰۵

فصل اول: کلیات

۱-۱- بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق

ایران سرزمینی است خشک با بارش کم، به گونه‌ای که بارندگی آن کمتر از یک‌سوم متوسط بارندگی در سطح خشکی‌های دنیاست. آب‌های زیرزمینی مهمترین منبع تأمین آب برای بیش از ۷۰٪ جمعیت روستایی و نزدیک به ۵۰٪ جمعیت شهری است.

برای توسعه پایدار منابع آب، لازم است مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی شناسایی شوند. با توجه به موقعیت آب و هوایی ایران، کمبود بارش و هم‌چنین توزیع نامناسب مکانی و زمانی آن، منابع آب زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار هستند. آبخوان‌های آبرفتی و سازندهای سخت از پتانسیل بالای آب‌های زیرزمینی برخوردارند. استفاده روزافزون و بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی باعث افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی در این آبخوان‌ها گردیده است. افت سطح آب‌های زیرزمینی سبب خسارت‌های فراوانی از جمله نشست زمین، کاهش نفوذپذیری و شور شدن آب‌های زیرزمینی شده است. بنابراین، جستجو برای یافتن سایر منابع آب زیرزمینی با کمیت و کیفیت مناسب در سازندهای سخت بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

طبق تحقیقات انجام شده، افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت شاهرود سالانه حدود ۷۰ سانتیمتر است که برای مقابله با چنین بحرانی، نیازمند ارزیابی منابع جدید از جمله آبخوان‌های توسعه‌یافته بر روی سازندهای سخت می‌باشد. در منطقه شمال غرب و غرب شاهرود واحدهای سنگی مستعد برای تشکیل آبخوان‌های کارستی وجود دارد. از آنجایی که تاکنون پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی در این مناطق انجام نشده است، بنابراین پتانسیل‌یابی با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل لیتولوژی، خطواره‌ها، شیب و جهت شیب، آبراهه، بارش و نوع بارش اولین قدم در جهت شناسایی منابع آب زیرزمینی این منطقه محسوب می‌شود. به طور کلی هدف اساسی از انجام این تحقیق، ارزیابی پتانسیل منابع آب زیرزمینی سازندهای سخت محدوده غرب و شمال غرب شاهرود با تأکید بر سازندهای کارستی منطقه می‌باشد. نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در این منطقه با استفاده از ابزارهای سنجش از دور

و سیستم اطلاعات جغرافیایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

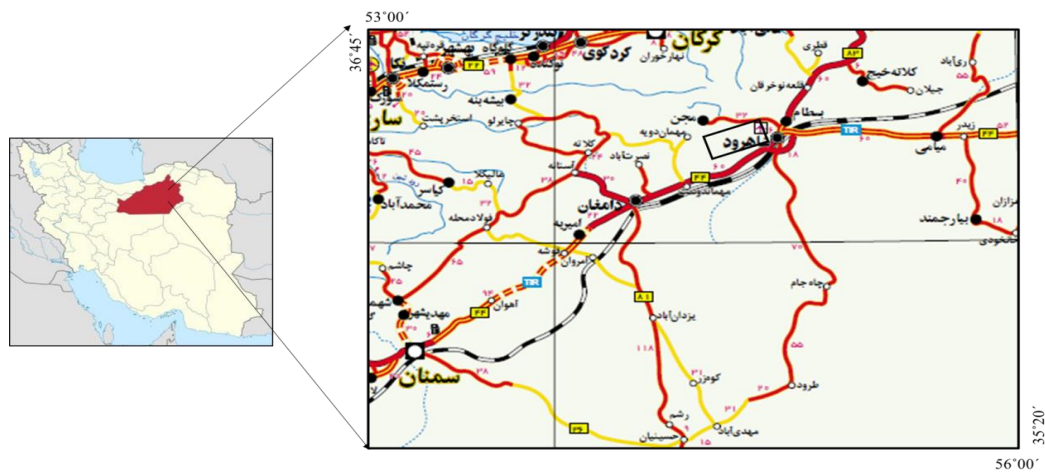
۱-۲- اهداف تحقیق

هدف اصلی از این مطالعه مشخص نمودن مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت شمال غرب و غرب شاهرود می‌باشد. به این ترتیب که با استفاده از علم سنجش از دور و (GIS) در کمترین زمان ممکن و هزینه اندک، منطقه مورد مطالعه از نظر احتمال حضور منابع آب زیرزمینی پهنه‌بندی می‌شود. همچنین نتایج این پهنه‌بندی می‌تواند برای مکان‌یابی محل مناسب حفر چاه در این سازند سخت مورد استفاده قرار بگیرد. در این مطالعه قصد بر آن است که قابلیت‌های تصاویر سنجش از دور و پارامترهای مورد نیاز در منطقه مورد مطالعه برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی در یک سیستم (GIS) پیاده‌سازی و بررسی شوند. بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و انواع تکنیک‌های پردازش تصویر، لیتولوژی و خطواره‌های منطقه که از عوامل مؤثر می‌باشند، استخراج شده و خروجی آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، تا بتوان دقت و کارایی سنجش از دور و تکنیک‌های پردازش تصویر را مورد ارزیابی قرار داد. سپس برای تهیه نقشه منطقه با پتانسیل منابع آب زیرزمینی، لایه‌های اطلاعاتی مؤثر را با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و روش رتبه‌بندی تجمعی ساده در محیط (GIS) تلفیق شدند. برای صحت‌سنجی نقشه به دست آمده و بررسی کارآمد بودن روش‌های استانداردسازی، نقشه را با چاه‌های بهره‌برداری و شواهد دیگر منطقه مورد بررسی و مقایسه قرار داده شد تا بهترین روش، از نظر انطباق با واقعیت زمینی، مشخص شود.

نتایج مستخرج از این پژوهش، می‌تواند تخمینی از قابلیت‌های سنجش از دور و (GIS) برای محققان فراهم آورد تا برای پژوهش‌های بعدی، در مناطق غیرقابل دسترس و بدون اطلاعات کافی، از این تکنولوژی بهره‌مند شوند.

۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بین طول‌های جغرافیایی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۶۰ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۶ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض جغرافیایی واقع شده است. وسعت محدوده که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است حدود ۴۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. وسعت محدوده مورد بررسی از شمال به روستای مجن، از جنوب به شاهرود و روستای ده‌ملا، از شرق به بسطام و از غرب به دامغان محدود می‌باشد. راه‌های اصلی منطقه مورد مطالعه جاده‌های درجه یک (آسفالته) دامغان به شاهرود، بسطام، مجن به شاهرود و جاده معدن طرزه می‌باشند. سایر جاده‌های منطقه از نوع درجه دو مانند جاده معدن آموزشی ده‌ملا و جاده‌های درجه سه می‌باشند.

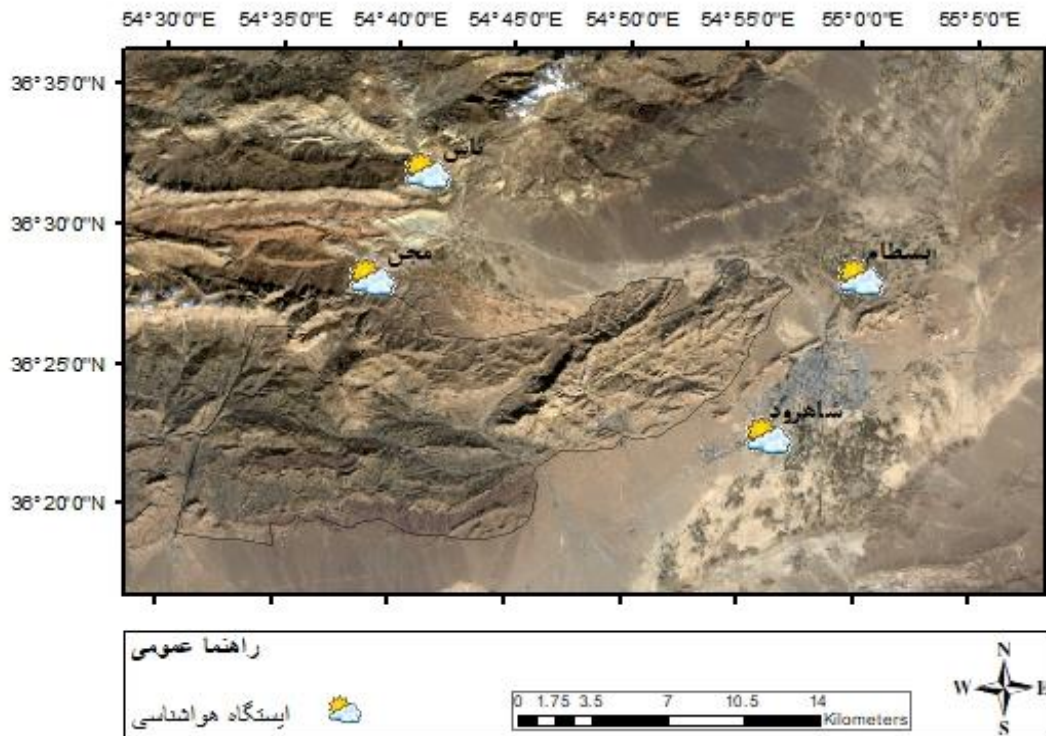


شکل ۱-۱: نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه که در داخل کادر نشان داده شده است

۱-۴- آب و هوای منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای نسبتاً سرد و خشک و در تابستان دارای آب و هوای معتدل می‌باشد. حداکثر درجه حرارت در منطقه حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد و حداقل درجه حرارت حدود ۶ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. با توجه به نقشه‌های هم‌باران که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود رسم شده است، بارش منطقه بین ۱۴۰ تا ۶۳۰ میلیمتر قرار می‌گیرد. بارش‌های

منطقه در ارتفاعات عمدتاً به صورت برف رخ می‌دهد. شکل ۱-۲ ایستگاه‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲: ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه

۱-۵- زمین‌شناسی منطقه

ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه مربوط به دو ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی می‌باشند. قسمت اعظم سنگ‌های رخنمون یافته منطقه بخشی از ارتفاعات البرز شرقی می‌باشد که دارای روند گسترش شمال شرقی - غربی است. این سنگ‌ها که در بیشتر مناطق، ارتفاعات بلند را ساخته است، اساساً از واحدهای سنگی آهکی شکل گرفته است. ارتفاعات بلند با شیب توپوگرافی بسیار شدید را در توالی‌های سازند لار و کرتاسه بالایی می‌توان مشاهده نمود. در قسمت‌های جنوبی منطقه عمدتاً توالی‌های مارنی، با ارتفاع ناچیز را شاهد هستیم (وزیری ۱۳۸۰).

۱-۵-۱- چینه‌شناسی منطقه

با توجه به نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۱-۳)، سازندهای رخنمون یافته در منطقه از قدیم به جدید به طور مختصر معرفی می‌شوند:

الف) سازند سلطانیه (Es) کامبرین زیرین

در محل تیپ الگو از سه عضو دولومیت پایین با ضخامت ۱۲۳ متر، شیل چیقلو با ضخامت ۲۴۷ متر و دولومیت بالایی به ضخامت ۷۹۰ متر تشکیل شده است (آقنایاتی ۱۳۸۳). در منطقه مورد مطالعه این سازند از دولومیت‌های توده‌ای قهوه‌ای روشن تا خاکستری حاوی چرت فراوان و ساخت استروماتولیتی دیده شده است (وزیری ۱۳۸۰).

ب) سازند باروت (Ebt) کامبرین زیرین

این سازند در ناحیه مورد مطالعه با ضخامت ۲۹۰ متر، از تناوب‌های دولومیت قهوه‌ای و خاکستری روشن حاوی چرت به صورت رگه‌ای و سنگ آهک‌های خاکستری با زمینه میکرواسپاریتی و شیل‌های رسی بنفش رنگ تشکیل شده است (وزیری ۱۳۸۰).

پ) سازند زاگون (Ez) کامبرین زیرین

سازند شیلی زاگون واحد سنگ چینه‌ای همگنی از شیل‌های آهک‌دار، ماسه‌سنگ ریزدانه آركوزی، سیلت‌سنگ میکادار زودفرسا است (خسروتهرانی ۱۳۷۶). در منطقه این سازند با ضخامت تقریبی ۱۱۰ متر مشاهده شده که از ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه ارغوانی رنگ و شیل‌های رسی نازک لایه تشکیل شده است (وزیری ۱۳۸۰).

ت) سازند لالون (El) کامبرین زیرین

این سازند در منطقه از تناوب‌های ارغوانی ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه با میان لایه از شیل‌های رسی نازک لایه تشکیل شده است که نسبت به سازند زاگون دارای رخنمون‌های قابل توجه و برجسته می‌باشد (وزیری ۱۳۸۰).

ث) سازند میلا (Em) کامبرین میانی -بالایی

این سازند در منطقه از تناوب‌های ارغوانی ماسه‌سنگ کوارتزیتی ضخیم لایه با میان لایه‌های از شیل رسی نازک لایه تشکیل شده است که نسبت به سازند زاگون دارای رخنمون‌های قابل توجه و برجسته می‌باشد (وزیری ۱۳۸۰).

ج) سازند لشکرک (Ol) اردوویسین زیرین

تناوب‌های این سازند، در منطقه مورد مطالعه از ماسه‌سنگ میکادار ارغوانی، شیل میکادار سبز با میان لایه‌هایی از سنگ آهک نازک لایه خاکستری تشکیل شده است. این سازند در مرز زیرین خود به طور تدریجی بر روی تناوب‌های بخش پنجم سازند میلا قرار می‌گیرد (وزیری ۱۳۸۰).

چ) سازند جیروود (Dj) دونین بالایی

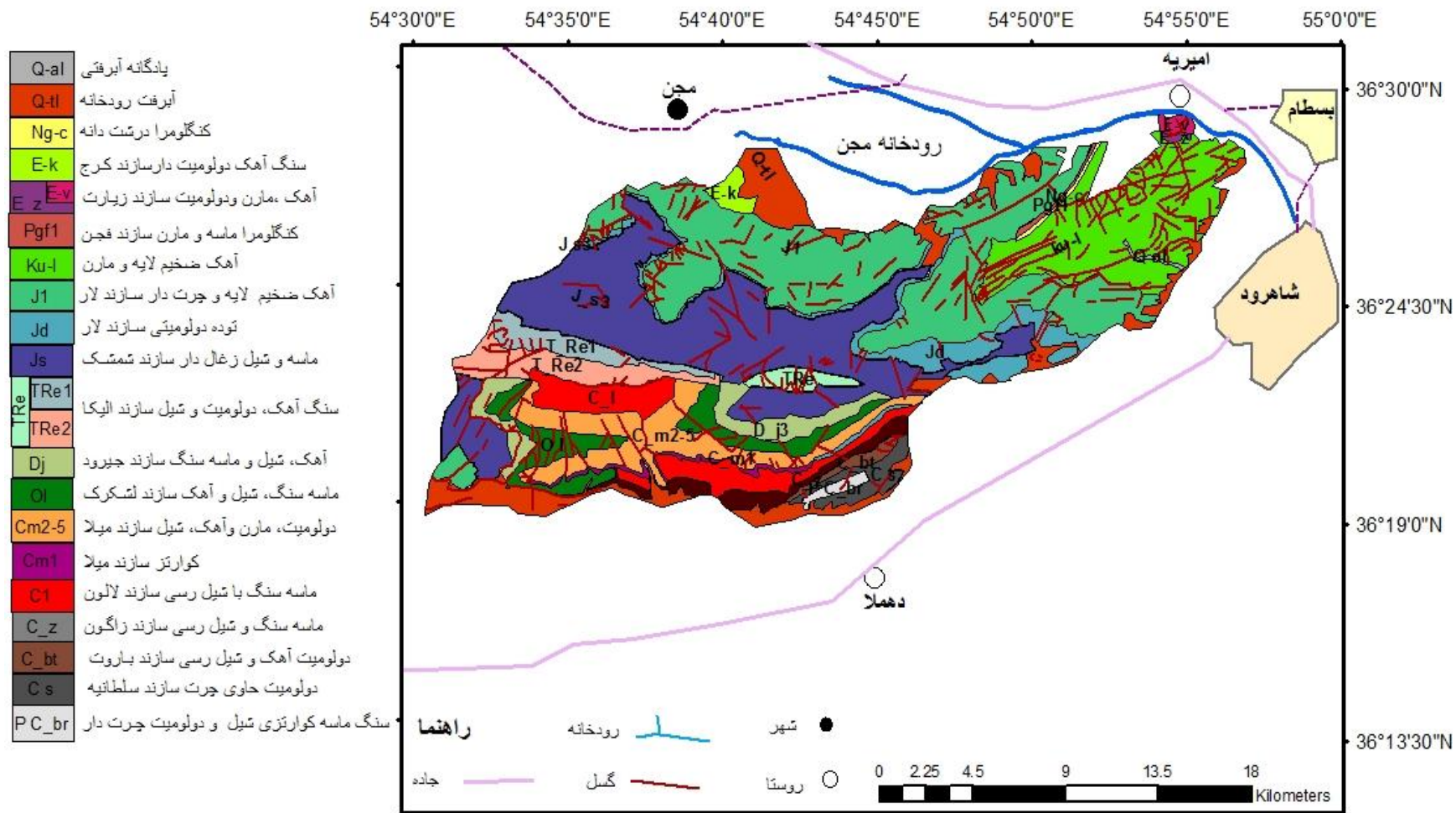
تناوب‌های سازند جیروود با ضخامت تقریبی ۴۵۰ متر در منطقه در چهار بخش بررسی می‌شود:

- تناوب‌های شیل‌های میکادار، شیل و ماسه‌سنگ قرمز رنگ در قاعده سازند
- ضخامت قابل توجهی از کوارتزیت سفیدرنگ
- تناوبی از سنگ‌های ولکانیکی که بعضاً دارای بافت پورفیری بوده و عمدتاً از نوع آندزیت و گاهی ملاگابرو هستند.

- تناوب‌های سنگ آهک خاکستری ضخیم لایه با شیل‌های نخودی و سیاه‌رنگ نازک لایه با میان لایه‌های از طبقات ضخیم لایه ماسه‌سنگ کوارتزیتی قهوه‌ای.

ح) سازند الیکا (TRe) تریاس زیرین

این سازند شامل سنگ آهک‌های شیلی خاکستری نازک، سنگ آهک‌های ورمیکوله خاکستری، سنگ آهک خاکستری، شیل نخودی و دولومیت‌های توده‌ای زرد است (وزیری ۱۳۸۰).



شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه

خ) سازند شمشک (Js3، Js2، Js) ژوراسیک پایین

آسرتو در سال ۱۹۹۶ برش الگوی این سازند را در شمال تهران معرفی نمود. وی این سازند را به چهار بخش تقسیم کرده است که به ترتیب از پایین به بالا شامل ماسه‌سنگ پایینی، سری زغال‌دار پایینی، ماسه‌سنگ بالایی و سری زغال‌دار بالایی می‌باشد. سازند شمشک در منطقه، از ماسه‌سنگ و شیل‌های خاکستری تیره تا سیاه‌رنگ تشکیل شده است (وزیری ۱۳۸۰).

د) سازند دلیچای (Ja) ژوراسیک میانی

ضخامت این سازند در مقطع تیپ ۱۰۷ متر است که شامل آهک مارنی تا ماسه‌ای نازک لایه به رنگ سبز خاکستری با بین لایه‌هایی از شیل مارنی است (درویش‌زاده ۱۳۷۰). تناوب مارن نازک لایه به رنگ سبز تا خاکستری روشن و سنگ آهک‌های سخت به رنگ خاکستری روشن و گاهی چرت‌دار، سازند دلیچای را در محدوده مطالعاتی تشکیل داده‌اند. در مرز بالایی این سازند، سازند لار (فاقد مارن) شکل گرفته است (وزیری ۱۳۸۰).

ذ) سازند لار (La) ژوراسیک میانی – بالایی

در برش الگوی این سازند آهک‌های میکریتی تا توده‌ای به رنگ خاکستری دیده شده است. تغییرات عمودی رخساره‌های سازندهای دلیچای و لار نشان می‌دهد که از زمان ژوراسیک میانی تا ژوراسیک بالایی، پس‌روی دریا سبب شده که رخساره‌های کم عمق سازند لار بر روی رخساره عمیق سازند دلیچای را سبب شوند (گیاهی‌یزدی ۱۳۷۸). سازند لار (شکل ۱-۴) در منطقه مورد مطالعه بخش‌های مرتفع را به خود اختصاص داده و از سنگ آهک‌های خاکستری روشن که دارای نودول‌های چرت فراوان هستند، تشکیل شده است (وزیری ۱۳۸۰).

ر) آهک‌های کرتاسه (Ku^l, Ku^m)

سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی دارای توالی‌های اصلی با ضخامت‌های زیاد می‌باشند که در ابتدا واحد از تناوب‌های سنگ آهک خاکستری روشن با مارن‌های سبز روشن تشکیل یافته و سپس سنگ آهک‌های خاکستری متمایل به قهوه‌ای ضخیم لایه، توده‌ای و صخره‌ساز که به مقدار زیاد فرسایش یافته و هوازده



شکل ۱-۴: سازند لار منطقه مطالعاتی

شده‌اند، تشکیل شده است. همچنین بارش قطرات باران و آب‌های جاری باعث ایجاد حفرات متعددی در آن‌ها شده است. سنگ‌های کرتاسه بالایی بر روی سنگ آهک‌های سازند لار قرار گرفته و با ضخامت تقریبی ۴۰۰ متر دست‌خوش گسل خوردگی و چین‌خوردگی‌های متعددی شده است (وزیری ۱۳۸۰).

ز) سازند فجن (Pg^f) پالتوسن

برش الگوی این سازند را دلنباخ در ۱۰۰ کیلومتری شرق تهران به ضخامت ۱۵۰۰ متر اندازه‌گیری کرده است، ولی ضخامت این سازند تغییرات زیادی دارد (آقناباتی ۱۳۸۳). از نگاه سنگ‌شناختی، این سازند دارای ضخامت متغیری از کنگلومرای پلی‌ژنتیک، ماسه‌سنگ‌های سرخ رنگ و مارن‌های ماسه‌ای است و در منطقه مورد مطالعه در مجاورت با سازندهای زیارت و لار رخنمون دارد.

ژ) سازند زیارت (E^v, E^z) ائوسن زیرین

سازند زیارت از دو بخش تشکیل شده است. بخش زیرین حدود ۱۵۰ متر، از مارن‌های مایل به زرد و گچ‌دار تشکیل شده است و بخش بالایی آن حدود ۳۰۰ متر، سنگ آهک‌های ضخیم لایه ریفی دارای نومولیت فراوان را شامل می‌شود (وزیری ۱۳۸۰).

س) نهشته‌های کواترنری (Q^{al}, Q^{tl}) عهد حاضر

نهشته‌های کواترنری جوان‌ترین رسوبات منطقه می‌باشند که به صورت رسوبات سخت نشده و یا با

فشرده‌گی اندک بخش‌هایی از منطقه را در بر گرفته‌اند. این واحدها شامل پادگان‌های آبرفتی قدیمی و مارن‌های گراولی (Q^{II}) می‌باشند. در شکل ۱-۵ این نهشته‌ها که در قسمت بالادست رودخانه و در کنار دره‌ها تشکیل می‌شوند، در بخش‌هایی شامل پادگان‌های آبرفتی جوان و رسوبات آبرفتی (Q^{al}) می‌باشند



شکل ۱-۵: نهشته‌های کوآترنری منطقه مطالعاتی

۱-۶- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخش‌هایی از دو ایالت ساختاری البرز و ایران مرکزی را شامل می‌شود. با توجه به ویژگی‌های زمین ساختی البرز در طول ادوار گذشته دستخوش رویدادها و پدیده‌های مختلفی مانند عملکرد رویدادهای کوهزایی، چین‌خوردگی و گسلش‌های متعدد بوده است. ایالت ساختار ایران مرکزی دستخوش پدیده‌هایی نظیر چین‌خوردگی و گسلش بوده است. در زیر مختصری درباره چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های منطقه ارائه می‌شود.

الف) چین‌خوردگی

چین‌خوردگی‌های منطقه مورد مطالعه را اساساً ساختمان‌های تاقدیسی و ناودیسی تشکیل می‌دهند. ساختمان‌های فوق عمدتاً دارای محوری در راستای شمال خاور - جنوب باختر و یا خاوری - باختری بوده و از انواع متقارن و یا نامتقارن هستند. برای مثال می‌توان به تاقدیس متقارن تپال در توالی‌های

ژوراسیک در جهت شمال خاور، تاقدیسی مهماندویه و ناودیسی چگلشاه با محوری در راستای شمال خاوری - جنوب باختری اشاره نمود. همچنین از بزرگترین ساختمان‌های مذکور در منطقه می‌توان موارد زیر را معرفی نمود:

- **ناودیس دهملا:** این ناودیس نامتقارن دارای محور بلند در راستای شمال خاور - باختر به موازات راندگی‌های شاهرود و طزره بوده و دربرگیرنده توالی‌های سازند لشکرک و در قسمتی سازند میلا در هسته خود بوده که سازند لالون، زایگون و میلا یال‌های این ناودیس را تشکیل می‌دهند (وزیری ۱۳۸۰).

ب) گسل‌ها

سیستم اصلی گسل‌های منطقه را، راندگی‌ها و سپس گسل‌های امتدادلغز تشکیل می‌دهند. راندگی‌های موجود در منطقه دارای امتداد تقریبی خاوری - باختری بوده و حرکات قابل توجه‌ای را از شمال به سمت جنوب انجام داده‌اند. این راندگی‌ها در مکان‌هایی که شیب گسل نزدیک به صفر شده است، سفره‌های رورانده را به وجود آورده‌اند. گسل‌های اصلی منطقه با توجه به توضیحاتی که داده شد، به شرح زیر دسته‌بندی می‌شوند:

- **گسل راندگی شاهرود:** این گسل یکی از گسل‌های اصلی منطقه بوده و دارای امتداد طولانی در راستای خاور - باختر می‌باشد. گسل فوق از پایین شهر بسطام و شمال شاهرود حرکت کرده و از سمت شمال باختر به سمت جنوب خاور عبور می‌کند. این گسل با حرکت خود از سمت شمال به جنوب سفره‌های رورانده‌ای را در مسیر خود ایجاد می‌کند که می‌توان به سفره رورانده بزرگ سازند الیکا بر روی توالی‌های سازند شمشک و در برخی مناطق بر روی توالی‌های پالئوزوئیک اشاره نمود. این گسل رانده در مسیر خود یال شمالی ناودیس دهملا را نیز بریده است و موجب حذف تناوب‌های سازند زایگون در این یال شده است.

- **گسل راندگی طزره:** این گسل شاخه‌ای جدا شده از گسل رانده شاهرود در ناحیه دهملا می‌باشد که حرکاتی را در جهت شمال باختر - جنوب خاور و در ادامه از سمت شمال به طرف جنوب انجام داده

است. تاثیرات حرکت این گسل در توالی‌های سازند باروت، زایگون و کنگلومرای نئوژن به خوبی قابل مشاهده است.

- **گسل راندگی مجن:** این راندگی در شمال باختر منطقه مورد مطالعه و در جنوب باختر روستای مجن واقع است. این گسل توالی‌های سازند فجن و سنگ آهک‌های کرتاسه بالایی را بر روی سازند لار رانده است. جهت حرکت گسل تقریباً از سمت شمال به طرف جنوب می‌باشد.

- **گسل‌های امتدادلغز:** پس از گسل‌های رانده، گسل‌های امتدادلغز و اساساً راست‌گرد بیشترین گسل‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. این گسل‌ها که عمدتاً با امتداد شمال باختر - جنوب خاور در توالی‌های پالئوزوئیک در ناحیه دهملا و طزره عملکرد دارند، جابه‌جایی‌های قابل توجهی را نیز ایجاد کرده‌اند.

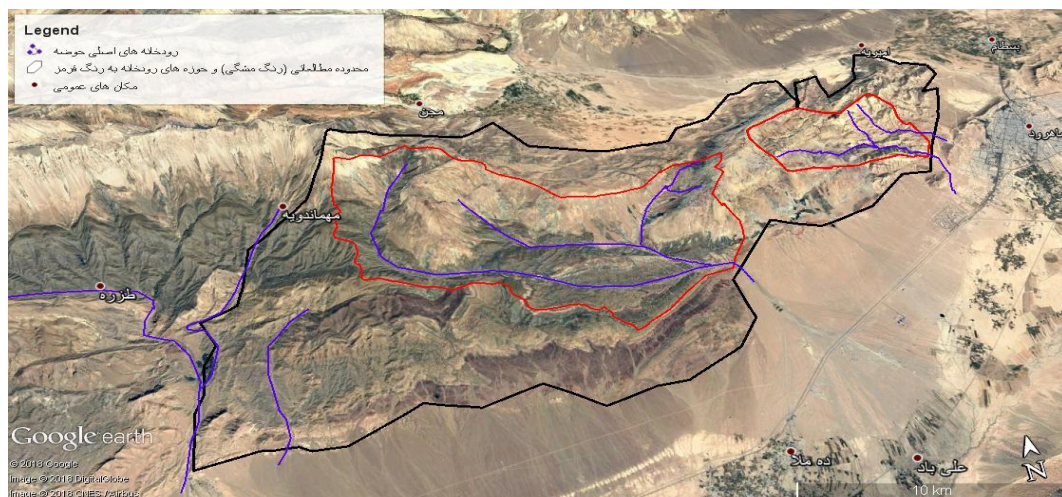
- **گسل‌های کواترنری:** گسل کواترنری دهملا با بهره‌گیری از عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای شناسایی شده‌اند. این گسل امتداد خاوری - باختری دارد.

در محدوده مطالعه، همچنین گسل‌های عادی و معکوس نیز مشاهده شده است. شیب گسل‌های معکوس به بیش از ۴۵ درجه نیز می‌رسد.

۷-۱- هیدرولوژی منطقه

آبراهه‌های کوچک و بزرگ متعددی در منطقه وجود دارند که شامل آبراهه‌های شاهرود، گرگ‌دره و دهملا، مهماندویه و طزره می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۱-۶ ملاحظه می‌شود، مهم‌ترین این آبراهه‌ها، آبراهه دهملا می‌باشد که در محدوده مرکزی محدوده مطالعه واقع شده است. حوضه آبرگیر این آبراهه دارای مساحتی برابر با ۴۴/۵ کیلومترمربع و محیطی برابر با ۵۲/۱ کیلومتر می‌باشد. طول شاخه اصلی این آبراهه برابر ۲۲/۵ کیلومتر است. حوضه آبرگیر دهملا عمدتاً از سازندهای شیلی و ماسه‌سنگی شمشک تشکیل شده است. بنابراین به‌علت پایین بودن نفوذپذیری این سازند، سیل‌خیزی آبراهه دهملا به طور

قابل ملاحظه‌ای بالا می‌باشد. لازم به ذکر است که در محل خروجی آبراهه ده‌ملا از ارتفاعات، تعدادی حوضچه تغذیه‌ای احداث شده است که هر ساله حجم‌های قابل توجهی از سیلاب‌های ایجاد شده را در خود جای می‌دهند. دومین آبراهه مهم منطقه شامل آبراهه شاهرود به طول ۱۵/۵ کیلومتر، در حوضه‌ای به مساحت ۳۳/۴ کیلومترمربع و محیط ۲۴/۹ کیلومتر، می‌باشد که حوضه آبرگیر آن عمدتاً از سازندهای آهکی (سازند لار و کرتاسه) تشکیل شده است. از آنجایی که تراوایی این سازندهای آهکی نسبتاً زیاد است، در نتیجه حجم قابل توجهی از رواناب‌ها در آن نفوذ می‌کند. این ویژگی باعث شده تا سیل خیزی این آبراهه در حوضه آبرگیر خود کاسته شود و سیل‌های حوضه آن محدود به زمان‌هایی باشد که بارش‌های سیل‌آسا اتفاق می‌افتد.



شکل ۱-۶: نقشه هیدروگرافی منطقه

۱-۸- هیدروژئولوژی منطقه

منطقه مورد مطالعه از سازندهای زمین‌شناسی مختلف تشکیل شده است که واحدهای سنگی با تراوایی کم تا واحدهای سنگی با تراوایی بالا را شامل می‌شوند. مهم‌ترین سنگ‌هایی که از استعداد تشکیل آبخوان برخوردار هستند، آهک‌های مربوط به سازند لار و کرتاسه بالایی را شامل می‌شوند. این سازندها به دلیل انحلال‌پذیری بالایی که دارند، آبخوان‌های کارستی مناسبی را تشکیل داده‌اند. در سنگ‌های

کارستی منطقه عوارضی از قبیل کارن‌ها^۱، دره‌های خشک^۲، سنگ‌های برهنه^۳ و حفرات انحلالی کوچک و بزرگ مشاهده شده است. از آنجایی که عوارض بیان کننده توسعه‌یافتگی بالای کارست شامل فروچاله‌ها^۴، گودی‌های مسدود^۵ و پلیه‌ها^۶ در منطقه وجود ندارد، توسعه‌یافتگی کارست‌های منطقه در حد متوسط تا نسبتاً ضعیف می‌باشد. شکل ۷-۱-۷ نمایی از عوارض انحلالی بر روی سنگ‌های کارستی منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱-۷: حفرات کارستی در منطقه مطالعاتی

۹-۱- ساختار پایان نامه

این پژوهش به پنج فصل تقسیم‌بندی شده است که تمام این فصول با یکدیگر در ارتباط بوده و در زیر مختصری توضیح داده می‌شوند:

فصل اول: کلیات

در این فصل کلیاتی از آب‌های زیرزمینی و اهمیت استخراج و اکتشاف آن‌ها بیان می‌شود. سپس به معرفی منطقه، نوع سازندهای منطقه و گسل‌های موجود در منطقه پرداخته می‌شود. در آخر هم توضیحی پیرامون حوضه‌های آبگیر مهم منطقه داده می‌شود.

^۱ Karren

^۲ Dry Valleys

^۳ Bare Rocks

^۴ Sinkholes

^۵ Closed

^۶ Poljes

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

در این فصل توضیحاتی پیرامون موضوع کارست، عوامل مؤثر در پتانسیل بابی منابع آب‌های زیرزمینی نظیر زمین‌شناسی، اقلیم، عامل ساختاری و توپوگرافی منطقه داده می‌شود. همچنین به تحقیقاتی که قبلاً در داخل و خارج از کشور در این زمینه و موضوعات مشابه صورت گرفته، ارائه می‌شود.

فصل سوم: روش انجام کار

در بخش اول این فصل، تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده در تحقیق شامل تصاویر لندست ۸ و همچنین کار و پردازش این تصاویر بیان شده است. بعد از انجام پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم لایه‌های اطلاعاتی به روش‌های مختلف در (Envi) و (ArcGIS) استخراج می‌شوند.

فصل چهارم: ارزیابی پردازش اطلاعات و بحث

در این بخش بررسی مواد و روش‌های وزن‌دهی که شامل مختصری درباره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش رتبه‌بندی تجمعی ساده (SAW) است، توضیح داده می‌شود. در آخر به وزن‌دهی معیارها و گزینه‌ها پرداخته می‌شود.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این فصل به مقایسه نقشه‌های به دست آمده از روش‌های AHP و SAW با چاه‌های بهره‌برداری، چشمه‌ها و مطالعات ژئوفیزیکی انجام شده در منطقه پرداخته و بهترین روش انتخاب می‌گردد. در آخر هم پیشنهادهایی برای مطالعات بعدی ذکر می‌شود.

فصل دوم: مروری بر مطالعات گذشته

۲-۱- مقدمه

با توجه به ضرورت و اهمیت منابع آب و نیاز روز افزون به آن، تأمین آب مورد نیاز یکی از دغدغه‌های جهان امروز می‌باشد. با توجه به موقعیت خاص آب و هوایی ایران و کمبود بارش و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن، منابع آب‌های زیرزمینی از اهمیت خاصی برخوردار هستند. از طرفی با توجه به برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی، پژوهش و تحقیق در خصوص منابع آب سازندهای سخت و به ویژه منابع آب کارستی از اهمیت بالایی برخوردار است.

۲-۲- آبخوان‌های کارستی

کارست عبارت است از گستره‌ای با مرفولوژی خاص و یک سیستم زهکشی زیرزمینی قابل توجه که از حلالیت زیاد برخی از سنگ‌ها در آب‌های طبیعی حاصل می‌شود (Karami 2002). نواحی کارستی عمدتاً بر روی سنگ‌های کربناته (به ویژه سنگ آهک) توسعه پیدا می‌کنند و علاوه بر این در روی دیگر سنگ‌ها که قابلیت انحلال دارند نیز ممکن است ایجاد شوند (مانند سنگ گچ و سنگ نمک). نواحی کارستی به وسیله عوارضی از قبیل مجاری انحلالی، گودی‌های مسدود، فروچاله‌ها، دره‌های خشک و غارها مشخص می‌شوند (White 1988).

امروزه آبخوان‌های کارستی برای تأمین آب شرب از اهمیت بالایی برخوردار هستند، به گونه‌ای که آب شرب حدود ۲۵٪ جمعیت جهان به این آبخوان‌ها وابسته است که حدود ۱۲٪ از سطح خشکی‌های جهان را تشکیل داده‌اند (Ford and Williams 2007).

۲-۲-۱- طبقه‌بندی آبخوان‌های کارستی

سی‌وی‌جیک منطقه کارستی را به سه گروه کارست کامل، کارست ناقص و کارست انتقالی تقسیم‌بندی

کرده است (Karami 2002). در ادامه درباره انواع کارست توضیح مختصری داده می‌شود:

- **کارست کامل**^۱: به گستره‌های کارستی اطلاق می‌شود که کاملاً از سنگ‌های کربناته با قابلیت انحلال بالا تشکیل یافته باشند. این نوع کارست توسط تنوعی از پدیده‌های کارستی سطحی مشخص می‌شود. سرزمین‌های سنگی و برهنه بدون زمین قابل کشت و یا بدون وجود گیاهان، چهره بسیار خاصی به نواحی کارست کامل می‌دهند.

- **کارست ناقص**^۲: به نواحی کارستی گفته می‌شود که در آن‌ها پدیده‌های کارستی نسبتاً اندک و عمق کارستی شدن نیز محدود است. رسوبات کربناته با خاک‌های قابل کشت و گیاهان پوشیده شده و سطوح سنگی برهنه عملاً دیده نمی‌شود. حفره‌های فروکش متداول نبوده و پلیه‌های کارستی وجود ندارند. این نوع کارست معمولاً کارست پوشیده نیز نامیده می‌شود.

- **کارست انتقالی**^۳: در حد واسط کارست‌های کامل و ناقص قرار می‌گیرند. این نوع کارست عمدتاً در سنگ‌های آهکی یافت می‌شوند که توسط رسوبات ناتراوا و با قابلیت انحلال کم از هم تفکیک شده‌اند.

۲-۲-۲- پتانسیل‌یابی منابع آب در آبخوان‌های کارستی

روش‌های متعددی جهت اکتشاف آب‌های کارستی توسط محققان در مقاله‌های متعددی ارائه گردیده است. بعضی از محققان فقط عوامل سطحی همچون شیب و جهت شیب، میزان بارندگی سالانه، لیتولوژی، تراکم خطواره‌ها، کاربری اراضی، تراکم آبراهه‌ها، ویژگی‌های خاک و ژئومورفولوژی منطقه را در نظر گرفته‌اند (Senser et al. 2005, Jaiswal et al. 2003). برخی از محققان از عوامل سطحی و مطالعات ژئوالکتریک استفاده نموده و برخی دیگر از آن‌ها هم از تلفیق عوامل سطحی، هیدرولوژیکی و مطالعات ژئوالکتریک بهره می‌برند (Israil et al. 2006, Subba 2006).

یوسفی (۱۳۹۱) پتانسیل منابع آب زیرزمینی دشت‌های اطراف رشته کوه هزار مسجد را با تاکید بر

^۱ Holokarst

^۲ Transitional karst

^۳ Merokarst

سازندهای کربناته را مورد ارزیابی قرار داده است. وی در پژوهش خود با استفاده از اطلاعات اقلیمی زمین‌شناسی و تصاویر ماهواره‌ای منطقه نقشه‌های معیار لیتولوژی، فاصله از محل برخورد شکستگی، تراکم طول شکستگی، اختلاف ارتفاع نسبت به محل چشمه‌ها، تراکم پوشش گیاهی، شیب و بارش را استخراج و در محیط (GIS) تلفیق نمود. نتایج بیانگر بیشترین پتانسیل آب زیرزمینی در سازندهای کارستی مزدوران و تیرگان بود.

وفادارمبارکی (۱۳۹۴) هیدرولوژی و پتانسیل منابع آب زیرزمینی واحدهای کارستی و سازند سخت کوه مورو - صوفیان را بررسی نموده است. وی لایه‌های لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، ارتفاع با فاکتور بارش و ارتفاع با فاکتور حوضه آبرگیر، شاخص رطوبت، شیب، تراکم آبراهه، جهت شیب و شاخص پوشش گیاهی را در محیط (GIS) با یکدیگر تلفیق و نقشه نهایی را با موقعیت چشمه‌ها و قنات‌ها واسنجی کرد. واسنجی نقشه به دست آمده با موقعیت چشمه‌های منطقه نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد و تراکم شکستگی و نوع لیتولوژی منطقه بیشترین تأثیر را بر تشکیل منابع آب زیرزمینی منطقه داشته است. فخیم و همکاران با پردازش تصاویر ماهواره‌ای و نقشه زمین‌شناسی در منطقه گوغر کرمان، پهنه‌های مناطق کارستی با پتانسیل بالای آب زیرزمینی را مشخص نموده‌اند. در این مطالعه لایه‌های خطواره‌های ساختاری، فاصله از خطواره‌ها، سن‌شناسی، زمین ریخت‌شناسی، نقشه پوششی زمین، تراکم آبراهه‌ها، شیب، بارش و فاصله از محل تخلیه تهیه و در محیط (GIS) تلفیق شدند و با نقشه حاصل از مطالعات ژئوفیزیک زمینی مقایسه کردند. در نهایت محل حفر چاه پیشنهادی، که در پهنه با بالاترین پتانسیل آب زیرزمینی منطقه بود، با روش ژئوفیزیک انطباق داشت (فخیم و همکاران ۱۳۹۵).

ملکی و همکاران (۱۳۹۵) منطقه آهکی خورین، در شمال غرب شهر کرمانشاه را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش، با به کارگیری هشت معیار مؤثر، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل منابع آب کارست منطقه تهیه شده است. نتایج به دست آمده نشان داد که دامنه جنوبی کوه خورین و اطراف تالاب هشیلان، نسبت به دامنه شمالی آن دارای قابلیت نفوذ و پتانسیل منابع آب کارستی بیشتری است. برای صحت‌سنجی این امر، عملیات صحرایی و برداشت داده‌ها به روش سونداژ الکتریکی قائم در دو پروفیل

جداگانه، در دامنه جنوبی و شمالی کوه خورین انجام شد که صحت نتایج به دست آمده را تأیید کرد. سپهری پور هیدروژئولوژی و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی واحدهای سازند سخت و کارستی را در محدوده رودخانه گرمی چای - میانه در آذربایجان شرقی مطالعه نموده است. وی لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی، تراکم شکستگی‌ها، آبراهه‌ها، پوشش گیاهی، شیب و جهت شیب، ارتفاع با دو فاکتور بارش و مساحت و همچنین شاخص رطوبت در محیط (GIS) را تلفیق کرده و با چشمه‌ها و چاه‌های برداشت آب مورد ارزیابی قرار داد. نتایج به دست آمده نشان داد که مناطق دارای لیتولوژی قابل نفوذ و تخلخل بالا و همچنین دارای تراکم شکستگی بالا از پتانسیل بالایی جهت پیدایش منابع آب زیرزمینی برخوردار هستند.

۳-۲- عوامل مؤثر در پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی

عوامل مختلفی متناسب با محدوده مورد پژوهش در پتانسیل یابی منابع آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت تأثیر دارند. این عوامل شامل زمین‌شناسی منطقه، ساختار و تکتونیک منطقه، توپوگرافی و اقلیم منطقه می‌باشند. تأثیر عامل زمین‌شناسی در لیتولوژی منطقه و عامل ساختاری در تراکم خطواره‌ها در نظر گرفته شده است. عامل توپوگرافی، نمایه‌های شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه و ارتفاع منطقه را شامل می‌شود و همچنین عامل اقلیم بارش و نوع بارش را دربر می‌گیرد. در ادامه تأثیر عوامل ذکر شده در پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

۳-۳-۱- زمین‌شناسی

این عامل به صورت نمایه لیتولوژی در پتانسیل یابی اعمال شده است. به علت تاثیرگذاری شدید نوع سازند بر نفوذ آب و قابلیت متفاوت حفظ آب در سازندهای مختلف، این نمایه مد نظر قرار گرفته است. امکان تشکیل مخزن آب زیرزمینی و قابلیت آبدهی هر مخزن قبل از هر چیز به ویژگی‌های فیزیکی و

سنگ‌شناسی محیط‌های متخلخل وابسته است (رنگزن ۱۳۹۰). منطقه مورد مطالعه شامل مجموعه متنوعی از سازندهای زمین‌شناسی می‌باشد که در بین آن‌ها سازند لار و سنگ‌های کرتاسه بالایی، از نظر ذخیره آب‌های زیرزمینی، جزء سازندهایی با آبدهی بسیار خوب و با اهمیت به شمار می‌روند. از نظر فورد و ویلیامز (Ford and Williams 2007) لیتولوژی و اشکال ساختاری بیشترین تأثیر را در تشکیل کارست دارند و وجود سازندهای انحلال‌پذیر از عوامل توسعه کارست می‌باشند. سازندهایی با تخلخل بالا، به دلیل نفوذپذیری دارای پتانسیل قابل توجه آب زیرزمینی می‌باشند (Gintamo 2010).

۲-۳-۲- عامل ساختاری

سیستم درز و شکستگی و همچنین گسل‌های موجود در منطقه، نقش مهمی در انحلال و جهت‌یافتگی سیستم غارها و حفره‌های انحلالی دارند. گسل‌ها، درزه‌ها و شکاف‌ها باعث انتقال آب به درون آبخوان می‌شوند و وجود آن‌ها یکی از مهمترین عوامل ایجاد تخلخل و فضای لازم برای جریان آب زیرزمینی در سنگ‌های سخت می‌باشد (White 1988).

ساختارهای خطی شامل گسل‌ها و خطواره‌هایی هستند که اغلب سبب افزایش تخلخل و نفوذپذیری می‌شوند و احتمال حضور آب زیرزمینی را افزایش می‌دهند (Gintamo 2010). مناطق با تراکم بالای خطواره‌ها دارای قابلیت نفوذپذیری بالا و مکان‌هایی مناسب برای تجمع آب زیرزمینی هستند (Gupta and Srivastava 2010). خطواره‌ها نشانی از حرکت و ذخیره آب زیرزمینی بوده و بنابراین جهت شناسایی و اکتشاف آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارند. اخیراً در بسیاری از پروژه‌های شناسایی آب زیرزمینی در بسیاری از کشورها که جهت حفاری از نقشه خطواره‌ها کمک گرفته‌اند، موفقیت چشمگیری دیده شده است.

در تحقیق حاضر عامل ساختاری به صورت معیار تراکم خطواره مورد بررسی قرار می‌گیرد. تراکم بالای طول شکستگی‌ها در سازندهای سخت، می‌تواند معرف تکتونیزه‌شدگی بیشتر باشد، بنابراین مناطقی که در آن‌ها تراکم طول شکستگی‌ها بیشتر باشد از مطلوبیت بیشتری در هدف مورد نظر برخوردارند.

۲-۳-۳- عامل توپوگرافی

این عامل به صورت چهار نمایه شیب، جهت شیب، تراکم آبراهه و ارتفاع منطقه در نظر گرفته شده است. توپوگرافی یعنی پستی و بلندی‌های منطقه که می‌تواند جهت کلی جریان آب زیرزمینی را نشان دهد و بر روی تغذیه و تخلیه آب زیرزمینی تأثیر گذارد (Gintamo 2010). بنابراین داده توپوگرافی عنصر اساسی در تعیین ارتفاع سطح ایستایی آب زیرزمینی می‌باشد.

شیب: یکی از فاکتورهای مؤثر در نفوذ آب‌های سطحی در زمین می‌باشد. در شیب‌های ملایم، حرکت رواناب سطحی، به آرامی بوده و زمان بیشتری جهت نفوذ درون سازند وجود دارد. ولی شیب زیاد، سبب تسریع حرکت رواناب شده و زمان ماندگاری بر روی سطح زمین را کاهش می‌دهد، کاهش زمان باعث کاهش نفوذ و در نتیجه تغذیه کمتر رواناب در سازندها می‌شود (Prasad et al. 2008).

جهت شیب: جهت شیب در برخی فرایندهای هیدرولوژی، مانند ذوب برف، تنوع پوشش گیاهی، تبخیر و تعرق نقش اساسی ایفا می‌کند. مناطقی که بیشتر در معرض مستقیم نور خورشید قرار بگیرند، تبخیر در آن‌ها بیشتر و ذوب برف سریع‌تر اتفاق می‌افتد. جهت شیب همچنین از نظر قرار گرفتن در جهت توده‌های باران‌زا و دریافت بارش بیشتر در تشکیل منابع آب زیرزمینی نقش دارد. در اقلیم شمال غرب ایران، توده‌های هوایی که از سمت مدیترانه و از غرب وارد منطقه می‌شوند، باعث بارش‌های منطقه می‌شوند و همچنین توده‌هایی که از شمال و از سایر نقاط وارد می‌شوند نیز، عامل بارش هستند. بنابراین دامنه‌های غربی و شمالی به علت قرار گرفتن در جهت توده‌های باران‌زا بارش بیشتری را دریافت می‌کنند که از امتیاز بالاتری برخوردار هستند و طبقات جنوبی به دلیل بارش کمتر، امتیاز کمتری نسبت به طبقات شمالی و غربی به خود اختصاص می‌دهند (وفادار مبارکی ۱۳۹۴).

تراکم آبراهه‌ها: آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند. تراکم آبراهه‌ها^۱ در حوضه آبگیر عبارت است از نسبت طول کلیه آبراهه‌ها^۲ به مساحت کل حوضه^۳ که بر حسب

^۱ Drainage Density

^۲ Area

^۳ Length

(km^2/km) بیان می‌گردد. تراکم زهکشی نشان‌دهنده وضعیت فرسایش در بخش‌های مختلف منطقه است. به طور کلی در نواحی با مقاومت فرسایشی بالا، تراکم آبراهه‌ها پایین است یا به عبارتی نفوذ در این مناطق زیاد می‌باشد (وفادار مبارکی ۱۳۹۴).

ارتفاع: نقش مؤثر در میزان وقوع بارندگی، تبخیر، تعرق و دما دارد. ارتفاع با بارش رابطه مستقیم دارد، بدین صورت که با افزایش ارتفاع میزان بارش افزایش می‌یابد و در نتیجه تغذیه آب‌های زیرزمینی به میزان قابل توجهی افزایش پیدا می‌کند. همچنین بارش در ارتفاعات بیشتر به صورت برف بوده و میزان تبخیر و تعرق آن کمتر می‌باشد. ذوب تدریجی برف در فصل‌های گرم سال، موجب نفوذ بیشتر در سازندها و افزایش آب‌های زیرزمینی می‌گردد (چیت‌سازان و همکاران ۲۰۱۶).

در منطقه مورد مطالعه به منظور تعیین نوع بارش از پارامتر ارتفاع استفاده شده است. به این ترتیب که در مناطقی که ارتفاع آن‌ها بیشتر از ۲۰۰۰ متر است، بارش غالب به صورت برف و در سایر مناطق با ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر، به صورت باران در نظر گرفته شده است. از این رو در تحقیق حاضر برای در نظر گرفتن تأثیر ارتفاع در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی، از نمایه نوع بارش استفاده شده است.

۲-۳-۴- عامل اقلیم

قسمت اعظم آب موجود در زیرزمین بخشی از چرخه آب است. بنابراین آب باران و برف (به طور کلی آب‌های جوی) که عناصر تشکیل‌دهنده اصلی آب‌های زیرزمینی هستند، مورد بررسی قرار می‌گیرد (Agarwal and Garg 2015). این عامل به صورت مستقیم و غیر مستقیم پتانسیل آب‌های زیرزمینی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اقلیم به صورت مستقیم بر میزان و نوع بارش، که در ارتفاع هر ناحیه متغیر است، تأثیرگذار است. همچنین گاز کربنیک موجود در قطرات باران و یا آب موجود در خاک، باعث انحلال توده‌های آهکی و تغییر حجم فضای نگهدارنده آب از اثرات غیر مستقیم اقلیم می‌باشد (عبادیان ۱۳۸۱). با در نظر گرفتن سایر شرایط، اظهار داشت که هر چه مقدار و حجم بارش‌ها در ناحیه‌ای بیشتر باشد، مقدار آب نفوذی به درون سفره بیشتر می‌گردد که سبب افزایش دبی خروجی از سفره می‌شود. به علت

وسعت زیاد منطقه و تغییرات شدید ارتفاعی در بخش‌های مختلف منطقه، ضروری است تا عامل اقلیم به صورت بارندگی و نوع بارش در نظر گرفته شود.

۲-۴- کاربرد RS و GIS در پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی

استفاده از تکنیک سنجش از دور ماهواره‌ای در اکتشاف آب‌های زیرزمینی در دو دهه اخیر با لندست شروع شد. عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای چون حاوی اطلاعات بسیار مفیدی از پدیده‌های سطح زمین می‌باشد، می‌تواند به عنوان یک منبع اطلاعاتی مفید در هر پروژه تحقیقاتی و یا اجرایی مربوط به اکتشاف، بهره‌برداری و حفاظت منابع آب نقش اساسی داشته باشد. داده‌های (RS) در زمینه‌های مختلفی همچون در مناطق کشاورزی، منابع آبی، کاربری اراضی، پراکندگی شهری، زمین‌شناسی، محیط زیست، منابع دریایی، تغییرات برف و ... کاربرد دارند (Jasmin and Mallikarjuna 2011).

جاود و همکاران (Javed and Wani 2009) پتانسیل‌یابی آب زیرزمینی در حوضه آبرگیر کاکوند به وسعت ۲۹۵ کیلومترمربع در هندوستان را با توجه به ویژگی‌های هیدروژئومورفولوژی منطقه، خطواره، آبراهه، زمین‌شناسی و توپوگرافی مورد بررسی قرار دادند. ایشان با استفاده از ماهواره (IRS-LISS III) به کمک فناوری‌های (RS) و (GIS) واحدهای ژئومورفیک را شناسایی کردند. در نقشه نهایی، شش زون پتانسیل خیلی خوب تا خوب، خوب تا متوسط، متوسط تا ضعیف و ضعیف تا خیلی ضعیف برای آب زیرزمینی شناسایی شد.

گینتامو (Gintamo 2010) منابع آب زیرزمینی منطقه ریفتی شهر آدیس آبابا^۱ در کشور اتیوپی را با توجه به عوامل لیتولوژی، ژئومورفولوژی، تراکم آبراهه، بارش، تراکم خطواره، شیب، کاربری اراضی و خاک منطقه با کمک تلفیق فناوری‌های (RS)، (GIS) و (IDRISI) پتانسیل‌یابی کردند. جهت تهیه نقشه‌های معیار از تصویر ماهواره‌ای لندست ۷، نقشه توپوگرافی، زمین‌شناسی و داده‌های بارندگی و صحرایی منطقه

^۱ Addis Ababa

استفاده شده است. جهت تلفیق لایه‌ها، نقشه‌ها به روش تحلیل سلسله مراتبی ساعتی با استفاده از مقیاس ۱ تا ۹ وزندهی و جهت نرمال‌سازی، وزن‌ها در ۱۰۰ ضرب شدند. نقشه نهایی به صورت ۴ گروه پتانسیل بالا، متوسط، پایین و ضعیف شناسایی و پهنه‌بندی شده است. وزن‌های پتانسیل آب زیرزمینی مشخص شده با نقاط کنترل صحرائی مطابقت و صحت آن‌ها تأیید شد.

مشاعیل‌الصعود در سال (۲۰۱۰)، به کمک سنجش از دور و GIS به مطالعه بر روی آب‌های زیرزمینی منطقه پنینسولا^۱ عربی غربی پرداخت. وی با بهره از داده‌های ماهواره لندست ۷، ماهواره استر و (STRM^۲)، لایه‌های اطلاعاتی بارش، لیتولوژی، خطواره، شیب، زهکشی و پوشش گیاهی را تولید نموده و لایه‌ها را در محیط GIS تلفیق نمودند (Al Saud 2010).

گوپتا (۲۰۱۰) با استفاده تلفیقی از فناوری‌های (RS) و (GIS) و کارهای صحرائی، پتانسیل آب زیرزمینی در عوارض تپه ماهوری ناحیه پاواگار^۳ واقع در ایالت گوجارات غرب هند^۴ را ارزیابی کردند. در زیر این منطقه، سنگ‌های سخت قرار داشته و عمق آب زیرزمینی چندین متر می‌باشد. در این راستا نقشه‌های معیار تراکم خطواره، تراکم آبراهه، مدل رقومی ارتفاع، شیب و کاربری اراضی - پوشش اراضی تهیه شد. تکنیک ارزیابی چند معیاره جهت بررسی تعداد انتخاب‌های ممکن و ارزیابی وزندهی زوجی پارامترها به کار برده شد. نقشه نهایی به مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی در سه دسته خوب، متوسط و کم کلاس‌بندی شده است (Gupta and Srivastava 2010).

صابری و همکاران (۱۳۹۱) به پتانسیل‌یابی منابع آب‌های زیرزمینی در محدوده تاقدیس کمستان استان خوزستان، از لایه‌های مؤثر نظیر زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، شکستگی‌ها، خاک‌شناسی، پوشش زمین، شیب و بارش استفاده کردند. این لایه‌ها از تصاویر سنجنده (ETM)، نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و گزارش‌های هواشناسی مربوط به منطقه مورد مطالعه استخراج شدند. وزن هر لایه با استفاده از نظر کارشناس تعیین و سپس با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به هر لایه‌ای اعمال

^۱ Peninsula

^۳ Pavagarh

^۲ Shuttle Radar Topography Mission

^۴ Gujarat, India

شد و پتانسیل آب زیرزمینی نواحی مختلف تعیین گردید.

محمدنژاد و همکاران (۱۳۹۲) با تصاویر (SRTM)، (ETM) و نقشه زمین‌شناسی اقدام به تهیه نقشه مناطق مستعد آب‌های زیرزمینی در محدوده شهرستان ارومیه کردند. داوودآبادی و همکاران (۱۳۹۲) پارامترهای مؤثر نقشه پتانسیل مطلوب آب زیرزمینی محدوده مورد بررسی در غرب شاهرود را به کمک تصاویر ماهواره‌ای سنجنده (ETM) تهیه و در محیط نرم‌افزار (GIS) لایه‌های اطلاعاتی را به دو روش تلفیق مجموع وزنی و فازی تهیه کردند.

رحمتی و همکاران (۲۰۱۴) در کردستان ایران با تکنیک (AHP) و (GIS) و (RS) نقشه پتانسیل آب زیرزمینی را تهیه کردند. ایشان در محیط GIS نقشه‌های لیتولوژی، چگالی زهکش، چگالی خطواره، شیب و بارش را وزن‌دهی و تلفیق کردند. در آخر از منحنی (ROC^۱)، برای واسنجی نقشه استفاده کردند که منحنی با استفاده از داده‌های موجود از چاه‌های منطقه، ترسیم شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که بارش و شیب، بیشترین و کمترین وزن را در میان لایه‌های اطلاعاتی استخراج شده دارا می‌باشند (Rahmati et al. 2014).

اگروال (Agarwal 2015) با استفاده از داده‌های لندست ۷ و استر، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی و نقشه تغذیه آب زیرزمینی حوضه‌های لنی و مراهی^۲ در هند را تهیه کردند. با استفاده از روش (AHP) در محیط (GIS) نقشه‌های ژئومورفولوژی، ژئولوژی، تغییرات سطح آب (قبل و بعد از بارش)، بارش، چگالی زهکش، کاربری اراضی و شیب که به ترتیب بیشترین تا کمترین امتیاز را به خود اختصاص دادند، تهیه و تلفیق شدند. در آخر نقشه نهایی با ۴۰ چاه پمپاژ واسنجی شد که از دقت خوبی برخوردار بود.

وفادارمبارکی (۱۳۹۴) با داده‌ها مربوط به ایستگاه باران‌سنجی، لندست ۸ و نقشه (DEM)، به پهنه‌بندی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در منطقه کوه مورو با تحلیل عوامل مؤثر در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، در محیط (GIS) پرداخته است. با استفاده از (AHP) در نرم‌افزار (IDRISI) و همچنین روش‌های (SAW) و (F-AHP) برای لایه‌های اطلاعاتی وزن اختصاص داده و در محیط (GIS) لایه‌ها را با یکدیگر

^۱ Receive operating characteristic

^۲ Loni and Morahi

تلفیق کرد. فخیم و همکاران (۱۳۹۵) با پردازش تصاویر ماهواره‌ای (PAN IRS)، (ASTER) و مدل ارتفاعی رقومی ۳۰ متری، عکس‌های هوایی و نقشه‌های زمین‌شناسی در منطقه گوغر کرمان، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای شناسایی مناطق مستعد پتانسیل آب کارستی را استخراج و در محیط (GIS) با روش (AHP) تلفیق کردند.

کومار (Kumar et al. 2016) با استفاده از تکنیک‌های (RS) و (GIS)، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی کیلینوچی^۱ را در جنوب سریلانکا تهیه کردند. برای استخراج نقشه‌های ژئولوژی، ژئومورفولوژی، شیب، پوشش کاربری اراضی و نوع خاک از داده‌های (SRTM) و ماهواره (AVNIR) بهره گرفتند. در (GIS) نقشه‌ها را به ترتیب: ژئومورفولوژی، ژئولوژی، شیب، نوع خاک و پوشش کاربری اراضی از پنج تا یک وزن‌دهی و با یکدیگر تلفیق کردند. نقشه نهایی با ۳۱ چاه پیژومتری واسنجی و مورد ارزیابی قرار گرفت. ایشان با مشاهده نتایج حاصل شده اظهار داشتند که مناطق با شیب کمتر و پوشش جنگلی، مستعد وجود آب‌های زیرزمینی هستند.

محققان در عربستان سعودی با استفاده از داده‌های (ETM)، نقشه برداری منطقه، نقشه زمین‌شناسی، بارش، نوع خاک، پوشش زمین، شیب، سن‌شناسی، بارش، ژئولوژی (دوره‌های زمین‌شناسی)، ژئومورفولوژی، تراکم خطواره و تراکم زهکشی، نقشه پتانسیل آب زیرزمینی منطقه را با دو روش AHP و منطق فازی به دست آوردند. منطقه مورد مطالعه دارای بارش میانگین ۱۲۵ تا ۲۲۶ میلی‌متر در سال بوده و ساختار اصلی سن‌شناسی منطقه دارای رسوبات آبرفتی، مخلوط سن‌های کربناته و رسوبی بود. نتایج نشان داد که روش (AHP) با دقت و صحت بسیار بالاتری نسبت به روش منطق فازی نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی را به دست آورده است. همچنین لایه تراکم خطواره‌ها عامل موثری در حضور منابع آب زیرزمینی می‌باشد (Mahmoud and Alazba 2016).

قدرجانی و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی، (DEM) منطقه و روش آماری (AHP) در محیط (GIS) به پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی حوضه آبریز گاوخونی پرداختند. وی در

^۱ Killinochi

این مطالعه بیشترین وزن را به زمین‌شناسی و بعد به ترتیب هیدرولوژی، توپولوژی و اقلیم اختصاص داده و بعد از اوزان معیارها، وزن زیرمعیارها را مشخص و در محیط (GIS) با یکدیگر تلفیق کردند و در نهایت نقشه مطلوب پتانسیل آب زیرزمینی به دست آمد.

داشو (Dasho et al. 2017) با تصاویر ماهواره لندست ۷ و استر خطواره‌های منطقه اجیبو^۱ در جنوب غرب نیجریه را استخراج و لایه‌های چگالی خطواره (بیشترین امتیاز)، چگالی تقاطع خطواره‌ها، مقاومت آبخوان، ضخامت آبخوان و زمین‌شناسی منطقه (کمترین امتیاز) در محیط (GIS) با یکدیگر تلفیق و نقشه پتانسیل آب زیرزمینی تهیه گردید.

در دشت بجنورد بخاطر وجود تعدد زون‌های پتانسیل آب زیرزمینی از روش سنجش از دور، (GIS) و مدل احتمالی (probabilistic model) برای پتانسیل‌یابی دشت استفاده شد. با مدل احتمالی، که با داده‌های ۱۵۱ چشمه آموزش داده شده بود، فاکتورهای مؤثر در پتانسیل آب زیرزمینی وزن‌دهی و در GIS تلفیق شدند. بعد از تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی، حساسیت مدل، با حذف هر یک از عوامل تاثیرگذار امتحان شد که از بین عوامل، لایه توپوگرافی بیشترین سهم و لایه چگالی خطواره‌ها کمترین سهم را به خود اختصاص داد (AltafiDadgar et al. 2017).

پناهی و همکاران (Panahi et al. 2017) با استفاده از فناوری‌های (GIS) و داده‌های سنجش از دور، مکان‌های مناسب برای تغذیه مصنوعی آب زیرزمینی در دشت کرج را مورد بررسی قرار دادند. با استفاده از ماهواره لندست ۷ برای استخراج خطواره‌ها، لندست ۸ برای تهیه نقشه پوشش زمین و (SRTM) برای استخراج تراکم زهکش، ارتفاع و شیب منطقه تهیه گردید و در آخر لایه‌های اطلاعاتی را با روش ترکیب خطی وزندار در محیط (GIS) با یکدیگر تلفیق شدند. نتیجه تلفیق، نشان داد که ۱۰٪ دشت تهران کرج دارای پتانسیل خیلی زیاد برای ایجاد سایت‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی است.

سینگ (Singh et al. 2018) در تحقیقی به تخمین آب زیرزمینی کنل‌کمند^۲ در هند پرداختند. با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری (AHP) و (Catastrophe) در محیط (GIS) اقدام به تخصیص وزن به

^۱ Egibo

^۲ Canal Command

لایه‌های رواناب، چگالی زهکش، زمین‌شناسی، شیب و مجاورت با مرزهای آبی کردند. بعد از تلفیق لایه‌ها در محیط (GIS) نقشه نهایی به چهار دسته خیلی خوب، خوب، متوسط و ضعیف تقسیم‌بندی و با سطح دینامیکی ذخیره آب زیرزمینی^۱ که از ۱۲۳ حلقه چاه مشاهداتی به دست آمد، مقایسه گردید. نقشه حاصل از روش (AHP) با دقت ۸۲٪ نسبت به نقشه Catastrophe با دقت ۷۴٪ دقیق‌تر بود. مطالعات انجام شده اشاره به توانایی بالا، دسترسی آسان و هزینه پایین تکنیک‌های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان ابزارهایی توانمند جهت پیش‌بینی و مدل‌سازی پدیده‌ها در منطقه‌هایی با وسعت زیاد دارد. در مطالعه حاضر عوامل زمین‌شناسی (لیتولوژی منطقه)، خطواره‌ها، آبراهه‌ها، بارش و نوع بارش، شیب و جهت شیب جهت بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی سازندهای سخت منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۴-۱- استخراج خطواره‌ها با روش سنجش از دور

خطواره‌های^۲ هر منطقه منعکس کننده اثرهای گسل‌ها و شکستگی‌های زیر سطح زمین را نشان می‌دهند (Gupta and Srivastava 2010). این عوارض شامل خطالراس‌ها یا مرزهای نواحی مرتفع، خطوط زهکشی، خطوط ساحلی، خطوط مرزی سازندها یا خطوط رخنمون‌ها، خطوط واضح شکستگی‌ها یا زون‌های برشی گسل‌ها می‌باشند (Hobs 1904).

فضلیانی و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیقی به محاسبه فاکتور شکستگی منطقه کدکن و شامکان خراسان رضوی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره لندست ۷ پرداختند. ایشان در این مطالعه با اعمال فیلترهای بدون جهت و جهت‌دار در باند پانکروماتیک، تصاویر رنگی کاذب از خطواره‌های منطقه را ایجاد کردند. سادی و همکاران (Saadi et al. 2011) از ادغام داده‌های سطحی شامل لندست ۷ و مدول رقومی ارتفاعی استر و نقشه‌های زمین‌شناسی برای شناسایی خطواره‌های زمین‌شناسی در حوضه‌ای در شمال

^۱ Dynamic groundwater reserve

^۲ Lineaments

غرب لیبی استفاده کردند. از بین ترکیبات باندهای ۷۴۲، ۵۴۶ و ۷۴۸ ترکیبی باید انتخاب می‌شد که ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی را حفظ کند و واحدهای مختلف سنگ‌شناسی را در رنگ‌های مختلف نمایش دهد. این پژوهشگران روش (Hill Shading) را برای شبیه‌سازی سایه‌ای که توسط آزیموت و ارتفاع خورشید ایجاد می‌شود، مورد استفاده قرار دادند. برای کاهش اثرات زاویه، افزایش دید بصری و بهبود استخراج خطوط، نور ورودی به صورت عمود بر روند غالب خطوط‌های منطقه در نظر گرفته شد. برای تشخیص گسل‌ها در همه جهات و تفسیر بصری بهتر، زاویه ارتفاعی خورشید کمتر از ۲۰ درجه انتخاب شد. (Hill Shading DEM) تولیدی در زاویه ارتفاعی کمتر از ۲۰ درجه، برای شناسایی کوچکترین تاثیرات مورفولوژی بسیار مفید واقع شد. بعد از تفسیر بصری ویژگی‌های تصویر (تن و بافت) مرزهای سنگ‌شناسی (واحد سن) و ویژگی‌های ژئومورفولوژی (الگوهای زهکشی) همه خطوط‌ها در تصویر Hill Shading به صورت دستی استخراج شدند.

ابراهیم و همکاران در منطقه گادو^۱ سومالیا از باند ۷ ماهواره لندست ۸ برای استخراج خطوط‌های منطقه استفاده کردند، چرا که در محدوده ۲/۱۱ - ۲/۲۹ میکرومتر فعال بوده و به رطوبت و پوشش گیاهی حساس بوده و مناسب برای استخراج خطوط‌ها می‌باشد. در این روش از فیلتر Sobel در ۴ جهت اصلی استفاده شده است (Ibrahim and Mutua 2012).

در شمال شرق برزیل برای شناسایی خطوط‌ها، از داده‌های (ALOS PALSAR) و (SRTM DEM) استفاده شد. خطوط‌ها با دو روش بهبود (DEM) توسط (Hill shading) و با روش پردازش تصاویر به دست آمده از تبدیلات (HIS) و عملیات محاسباتی (HH+HV) برای ارائه ترکیبات RGB شناسایی شدند. نتایج نشان داد که داده‌های (SRTM DEM) در تشخیص خطوط‌های زمین‌شناسی نتیجه بهتری دارند. همچنین ویژگی‌های طبیعی باند (L) سنجنده (PALSAR) که شامل (Layover) و (Azimuth High-Look) است، در عرض‌های جغرافیایی استوایی، باعث کاهش قابل ملاحظه‌ای در ساختارهای خطی می‌شود، تشخیص خطوط‌های موازی با (Illumination Azimuth) دشوار است. به

^۱ Gadu

دلیل وجود این مشکلات در تصاویر (PALSAR)، ادغام آن با داده‌های (SRTM DEM) می‌تواند یک ابزار قوی برای شناسایی خطواره‌های زمین‌شناسی باشد (Oliveira and Fátima 2012). فاطمی و همکاران (۱۳۹۴) با اعمال فیلترهای جهتی^۱، همه جهتی^۲ و آشکارساز لبه^۳ روی تصویر مؤلفه اول اصلی (PC1)، خطواره‌های منطقه را استخراج کردند. ایشان اظهار می‌دارد که فیلتر جهتی با زاویه ۱۳۵ درجه بیشترین بارزسازی را دارد.

پناهی و همکاران (Panahi et al. 2017) با دو روش، خطواره‌های منطقه را استخراج کردند. در روش اول با استفاده از فیلترهای جهتی و آشکارساز لبه، تصویر را از نظر بصری تفسیر کردند و در روش دوم با مؤلفه اول آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PC1) در محیط (PCI Geomatica) با الگوریتم (Line)، خطواره‌ها را استخراج کردند. در آخر با مقایسه دو خروجی به دست آمده، خطواره‌های مصنوعی را حذف و با نقشه گسل‌های موجود در نقشه زمین‌شناسی ارزیابی کردند که از انطباق خوبی برخوردار بود. برای تفکیک زون‌های گسلی در آلمان به مقایسه تصاویر ماهواره استر با تفکیک مکانی ۳۰ متر و لیدار با تفکیک ۵ متر پرداخته شد. برای استخراج خطواره‌ها، از روش بصری و استفاده از نقشه‌های گرادیان شیب، جهت شیب و نقشه سایه روشن منطقه در نرم افزار (GIS) بهره گرفته شد. در این پژوهش مشاهده شد که با افزایش تفکیک مکانی استر به پنج متر، طول همه خطواره‌ها ۴۰٪ و طول متوسط ۶۰٪ کاهش پیدا می‌کند (Meixner et al. 2018).

استخراج خطواره‌ها در منطقه‌ای در جنوب یمن با استفاده از ماهواره استر در نرم افزار (GIS)، تصاویر سایه روشن (Hillshades) محدوده مطالعاتی ایجاد شد. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم اتوماتیک استخراج خطواره در نرم افزار (PCI Geomatica) و تصاویر سایه روشن، خطواره‌های منطقه استخراج و با بهره‌گیری از نقشه زمین‌شناسی منطقه، خطواره‌های منطقه را بر اساس طول خطواره‌ها به سه دسته خطواره‌های کوچک ۲ - ۱۰ کیلومتر، خطواره‌های متوسط ۱۰ - ۱۰۰ کیلومتر و خطواره‌های بزرگ با

^۱ Directional

^۲ Sobel

^۳ Laplacian

طول ۱۰۰ - ۵۰۰ کیلومتر تقسیم‌بندی کردند (Alshayef and Javed 2018).

۲-۴-۲- استخراج لیتولوژی با روش سنجش از دور

داده‌های ماهواره‌ای برای مطالعات اولیه با توجه به مزایایی چون سرعت عملیات، دقت قابل قبول و ارزانی مورد توجه قرار می‌گیرند. با پردازش و تفسیر داده‌های ماهواره‌ای می‌توان به مشخص نمودن واحدهای لیتولوژیکی و نیز زون‌های آلتره مختلف که در کانی‌سازی بسیاری از کانسارهای معدنی مؤثر می‌باشند، اقدام نمود (Sabin 1999).

عسگری و همکاران (۱۳۸۳) در پژوهشی اقدام به اکتشاف کانسارهای سرب و روی کربناته با استفاده از پردازش داده‌های رقومی کردند. ایشان در این تحقیق با استفاده از مناطقی دولومیتی، شبکه عصبی فازی را آموزش دادند و سپس از آن برای شناسایی مناطق دیگر استفاده کردند.

تنگستانی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از داده‌های مرئی-فروسرخ نزدیک و فروسرخ موج کوتاه سنجنده استر، اقدام به شناسایی توزیع مکانی کانی‌های رسی در معدن استقلال آباده کردند. ایشان با استفاده از روش الگوریتم طیفی مخروط (SMACC) و روش (LSU) تعداد ۸ عضو انتهایی را استخراج کردند. ایشان برای بررسی فراوانی کانی‌های رسی، تکنیک‌های (LSU) و (MTMF) را بر روی ۸ عضو انتهایی اعمال کردند. نتایج حاکی از آن است که روش (MTMF) روشی دقیق‌تر می‌باشد.

فاطمی و همکاران (۱۳۹۴) با پردازش تصاویر ماهواره (ETM)، با توجه به فرآیندهای زمین‌شناسی و تکتونیکی مرتبط با کانی‌سازی، مناطق مستعد کانی‌سازی مس و آهن را شناسایی کردند. ایشان در این پژوهش از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی (PCA)، روش کمترین مربعات رگرسیون شده (LS-FIT)، طبقه‌بندی نظارت شده به روش نقشه‌بردار زاویه طیفی (SAM) با کمک کلاس‌های آموزشی حاصل از تبدیل (MNF) و شاخص خلوص پیکسل بهره بردند. همچنین از نسبت باندی ۵/۷ و ۳/۱ برای شناسایی مناطق آلتراسیون آرژلیک و اکسید آهن، ترکیب رنگی کاذب ۴/۳ - ۵ - ۵/۷ برای جداسازی آهنک از آلتراسیون آرژلیک استفاده کردند.

بیرانوندپور برای بارزسازی لیتولوژی و شناسایی محدوده‌های آلتره شده منطقه از دو روش تحلیل مؤلفه مستقل^۱ و روش کمینه‌سازی انرژی مقید^۲ با تصاویر ماهواره استر و لندست ۸ در منطقه غیرقابل دسترس کوهستانی در شمال ویکتوریا استفاده کردند. در این پژوهش، عضوهای انتهایی از کتابخانه طیفی با استفاده از روش (CEM) استخراج شدند و همچنین متناسب با نمودار طیفی عضوها (میزان حداکثر حداقل بازتاب)، مولفه‌های مناسب مستقل انتخاب شدند. ایشان برای ارزیابی و واسنجی از (GPS) و (XRD) استفاده کردند. بیرانوندپور اظهار داشت که روش (ICA) توانایی بالا برای آشکارسازی طیف‌های مخلوط دارد (Pour et al. 2018).

اطلاعات سنگ‌شناسی که بر روی تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص است، شامل خاستگاه زمین‌شناسی عمومی، هوازنگی سطحی، سیستم آبراهه‌ای، اشکال ساختاری، خاک و پوشش گیاهی می‌باشند. خصوصیات طیفی می‌توانند در تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی خاص کمک کنند ولی به تنهایی در تشخیص تمام انواع واحدهای سنگ‌شناسی کافی نیستند. شناخت واحدهای سنگ‌شناسی مختلف در تصاویر سیاه و سفید، ترکیبات رنگی کاذب، عکس‌های رنگی مادون قرمز، روش نسبت‌گیری و تحلیل مؤلفه اصلی با انواع طبقه‌بندی تصویر تا حدودی امکان‌پذیر است.

۲-۵- جمع‌بندی

باتوجه به افت شدید سطح آب زیرزمینی در آبخوان‌های آبرفتی، نیازمند ارزیابی منابع جدید از جمله آبخوان‌های توسعه‌یافته بر روی سازندهای سخت می‌باشد. پتانسیل‌یابی منابع آب موجود در سازندهای سخت، انتخاب معیارها در هر منطقه، به اطلاعات موجود و دسترس بستگی دارد. مطالعات نشان می‌دهد که مهمترین پارامترهای ضروری برای ارزیابی منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت شامل خطواره، ژئومورفولوژی، تراکم، شیب و جهت شیب می‌باشد. علاوه بر این بعضی محققین معیارهایی از قبیل بارش،

^۱ ICA

^۲ CEM

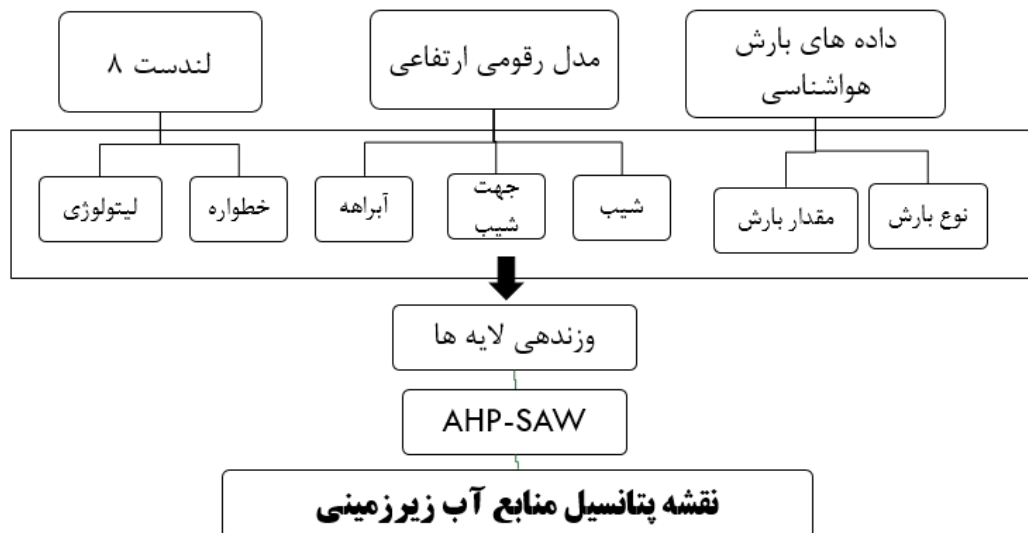
نفوذ خاک، ارتفاع توپوگرافی و لیتولوژی را نیز مؤثر می‌دانند که به طور قابل ملاحظه‌ای دقت تصمیم‌گیری را بالا می‌برند.

لیتولوژی منطقه نقش مهمی در تخلخل، توسعه کارست و نگه‌داری آب زیرزمینی داشته و برای استخراج آن می‌توان از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و تکنیک‌های پردازش تصویر و تفسیر بصری به نحوی که در مقالات مرور شد، بهره گرفت. خطواره‌های منطقه که از عوامل نفوذ آب در زیر سطح زمین می‌باشند، با الگوریتم‌های مختلف اتوماتیک، دستی و یا تلفیقی از این دو قابل استخراج می‌باشند که روش تلفیقی بخاطر وجود دید بصری کارشناس از دقت بالاتری برخوردار می‌باشد. بارش و نوع بارش از عوامل اقلیمی تاثیرگذار در تغذیه منابع آب زیرزمینی و منشأ اصلی ایجاد رواناب‌های سطحی هستند که با ارتفاع رابطه مستقیمی دارند. شیب از نظر تاثیرگذاری در سرعت رواناب‌های سطحی و میزان نفوذ، همچنین جهت شیب از نظر قرارگیری در معرض نور مستقیم خورشید و توده‌های باران‌زا بسیار با اهمیت هستند و تغییرات قابل توجهی را در میزان تغذیه منابع آب زیرزمینی ایجاد می‌کند. آبراهه‌های منطقه که با لیتولوژی، ساختارهای تکتونیکی و توپوگرافی منطقه در ارتباط هستند و وضعیت نفوذپذیری سازندها را در نقاط مختلف، مشخص می‌کنند که خود عامل مهمی برای احتمال حضور آب زیرزمینی می‌باشد. در این بخش با اعمال قضاوت کارشناسی، هفت عامل لیتولوژی، خطواره، شیب و جهت شیب، بارش و نوع بارش و زهکشی منطقه استخراج می‌گردد.

فصل سوم: پردازش تصویر و استخراج لایه های اطلاعاتی

۴-۱- مقدمه

با توجه به اینکه در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای و کار تفسیر و استخراج اطلاعات از این تصاویر بخش قابل توجهی را شامل می‌شود، لذا ابتدا مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده مختصراً بحث شده و سپس به روش‌های پردازش و استخراج داده‌های مورد نیاز از این تصاویر، پرداخته می‌شود. در این تحقیق از تصاویر سنجنده (OLI^۱) و (TIRS^۲) ماهواره لندست ۸ مربوط به اکتبر ۲۰۱۷ میلادی تهیه شده از سایت (<https://earthexplorer.usgs.gov>) به منظور استخراج شکستگی‌ها و نقشه واحدهای سنگی منطقه استفاده شد. همچنین، از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود که توسط سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه شده است، استفاده گردید. با مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری ماهواره استر، شیب، جهت شیب و تراکم آبراهه‌های منطقه استخراج گردید. جهت تهیه منحنی هیپسومتری و رابطه بارش و ارتفاع منطقه از داده‌های میانگین بارش ۱۰ سال اخیر ایستگاه‌های شاهرود مربوط به سازمان هواشناسی استفاده شد. در شکل ۳-۱ مراحل مختلف انجام تحقیق تشریح گردیده است.



شکل ۱-۰: مراحل اجرایی روش کار پتانسیل یابی آب‌های زیرزمینی

^۱ Operational Land Imager

^۲ Thermal InfraRed Sensor

۲-۴ - سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)

سیستم اطلاعات جغرافیایی یک بانک اطلاعاتی نوین است که وجه تمایز آن با یک بانک اطلاعاتی معمولی، فراگیر بودن و هوشمندی نسبی آن است. از جنبه فراگیر بودن، اطلاعات گرافیکی (مکانی) و غیرگرافیکی (توصیفی مقداری (مربوط به زمینه‌های گوناگون را یک جا جمع‌آوری، و از جنبه هوشمند بودن، قادر به انتخاب، تلفیق و تحلیل داده‌ها است. سیستم اطلاعات جغرافیایی شامل چهار رکن: اندازه‌گیری، نقشه‌کشی، پایش و مدل‌سازی می‌باشد (عظیمی‌حسینی و همکاران ۱۳۸۹).

تلاش‌های زیادی برای ارائه یک تعریف جامع از GIS انجام شده است. تعریفی که توسط چریسمن و همکاران (Chrisman et al. 1989) ارائه شده، چنین می‌باشد: مجموعه‌ای که شامل سخت‌افزار، نرم‌افزار، داده، کاربر، سازمان‌ها و سلسله مراتب برای جمع‌آوری، ذخیره، پردازش، تجزیه، تحلیل و انتشار اطلاعاتی درباره نواحی مختلف کره زمین می‌باشد.

۳-۴ - سنجش از دور (RS)

عظیمی سنجش از دور را علم، هنر و تکنولوژی کسب اطلاعات در خصوص پدیده‌های مختلف سطح زمین از طریق سنجنده‌هایی که هیچگونه ارتباط مستقیمی با خود پدیده ندارند، می‌داند (عظیمی‌حسینی و همکاران ۱۳۸۹).

استفاده از تکنیک سنجش از دور ماهواره‌ای در اکتشافات آب زیرزمینی در دو دهه اخیر با لندست (MSS^۱) شروع شد. عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای حاوی اطلاعات بسیار ارزنده‌ای از پدیده‌های سطح زمین می‌باشد، می‌تواند به عنوان یک منبع اطلاعاتی مفید در هر پروژه تحقیقاتی و یا اجرایی مربوط به اکتشاف، بهره‌برداری و حفاظت منابع آب نقش اساسی داشته باشد. داده‌های (RS) در زمینه‌های مختلفی همچون جنگلداری، منابع آبی، کاربری اراضی، پراکندگی شهری، زمین‌شناسی، محیط زیست، منابع

^۱ MultiSpectral Sensor

دریایی و ... کاربرد دارند (Jasmin and Mallikarjuna 2011).

۴-۴ - مشخصات ماهواره لندست ۸

ماهواره لندست یکی از ماهواره‌هایی است که جهت مطالعه منابع زمینی در چند سال اخیر بیش از سایر ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. لندست‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب در تاریخ‌های ۱۹۷۲، ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ به فضا پرتاب شدند. طراحی آنها به گونه‌ای بوده است که هر روز کره زمین را در یک مدار قطبی با ارتفاع حدود ۹۰۰ کیلومتر دور زده و در نتیجه قسمت اعظم کره زمین را با ۲۵۱ گردش ماهواره مورد تصویربرداری قرار دهند. با از کار افتادن لندست‌های ۱ و ۲ و ۳ لندست‌های ۴ و ۵ در تاریخ‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۳ 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. لندست ۶ در سال ۱۹۹۳ و لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شدند. لندست ۷ دارای جرم تقریبی ۲۲۰۰ کیلوگرم است و در مداری خورشید آهنگ با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر و زاویه میل ۹۸/۲ درجه به دور زمین می‌گردد. ماهواره لندست ۷، با دوره چرخش ۱۶ روزه (۲۳۳ مدار بر دور) در ۱۰ صبح از استوا می‌گذرد. لندست ۸ به نام مأموریت ادامه دهنده داده‌های لندست^۱ یا به طور مختصر (LDCM) معرفی شده است که در ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ به فضا پرتاب شد. ماهواره دارای دو سنسور است: یکی به نام مشاهده زمینی (OLI) و دیگری حرارتی (TIRS). این دو سنسور با هم ۱۱ باند را تشکیل می‌دهند که هفت باند از آنها با لندست ۷ اشتراک دارند. لندست ۸ دارای ۱۱ باند می‌باشد. باند قرمز (۴)، سبز (۳)، آبی (۲) که با ترکیب آنها تصویری با رنگ‌های طبیعی به دست می‌آید. جدول ۳-۱ لیست ۱۱ باند در آمده است:

^۱ Landsat data continuity mission

جدول ۳-۱: لیست باندهای لندست ۸

باند	طول موج (میکرون)	قدرت تفکیک زمینی (متر)
۱	۰/۴۳۳ - ۰/۴۵۳	۳۰
۲	۰/۴۵۰ - ۰/۵۱۵	۳۰
۳	۰/۵۲۵ - ۰/۶۰۰	۳۰
۴	۰/۶۳۰ - ۰/۶۸۰	۳۰
۵	۰/۸۴۵ - ۰/۸۸۵	۳۰
۶	۱/۵۶۰ - ۱/۶۶۰	۳۰
۷	۲/۱۰۰ - ۲/۳۰۰	۳۰
۸	۰/۵۰۰۰ - ۰/۶۸۰	۱۵
۹	۱/۳۶۰ - ۱/۳۹۰	۳۰
۱۰	۱۰/۶۰ - ۱۱/۲۰	۱۰۰
۱۱	۱۱/۵۰ - ۱۲/۵۰	۱۰۰

اکنون به معرفی هر باند به طور جداگانه پرداخته می‌شود (Barsi et al. 2014):

باند ۱: این باند در محدوده ماورای بنفش و آبی است. این باند می‌تواند اطلاعات مربوط به نور آبی را جمع‌آوری کرده و یکی از عواملی که این ماهواره را از بقیه متمایز می‌کند وجود همین باند است. دو تا از استفاده‌های مهم این باند شامل نشان دادن عمق آب و دنبال کردن ذرات ریزی مثل گرد و غبار و دود است. این باند تا حدودی شبیه باند ۲ است اما اگر این دو را مقایسه کرده و مناطقی که عمق بیشتری دارند را مشخص کرد، می‌توان تفاوت‌ها را مشاهده کرد.

باندهای ۲ و ۳ و ۴: جز باندهای مرئی‌اند که باند ۲ آبی، باند ۳ سبز و باند ۴ قرمز است.

باند ۵: باند مادون قرمز نزدیک است که NIR نامیده می‌شود. این طیف برای اکولوژی مهم است زیرا

سلامت گیاهان را نشان می‌دهد. آب موجود در برگ‌های گیاهان طول موج‌ها را به سمت آسمان پراکنده کرده و گیاهان در این باند بیشترین بازتاب را دارند.

باندهای ۶ و ۷: در محدوده مادون قرمز کوتاه قرار دارند و SWIR نامیده می‌شوند. این باندها برای تمایز و تشخیص زمین‌های مرطوب از خشک به کار می‌رود و در علوم زمین‌شناسی که صخره‌ها، سنگ‌ها و خاک‌ها خیلی شبیه به هم هستند، در این باندها به راحتی از هم تفکیک می‌شوند.

باند ۸: باند پانکروماتیک است که همان باند پن نام دارد که طول موج آن همه باندهای مرئی را دربرگرفته و به صورت سیاه و سفید است. این باند دارای رزولوشن ۱۵ متری می‌باشد.

باند ۹: این باند کمترین جزئیات را نشان می‌دهد. به دلیل جذب اتمسفر در محدوده ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۰ نانومتری کمتر ماهواره‌ای قادر به نشان دادن این طول موج است که باند ۹ لندست ۸ این کار را انجام می‌دهد. در این باند سطح زمین دیده نمی‌شود و چیزهایی که در بالای زمین یا بالای اتمسفر است نمایان می‌شود. همچنین این باند مخصوص نشان دادن ابرهای سیروسی است که گاهی به دلیل شفاف بودن، قابل مشاهده نبوده یا به سختی دیده می‌شوند.

باندهای ۱۰ و ۱۱: این باندها جز مادون قرمز حرارتی یا TIR هستند که گرمای سطح زمین و اشیای داخل آن را نشان می‌دهند.

۴-۵- پردازش تصاویر ماهواره‌ای

با توجه به این که تفسیر و استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای بخش قابل توجهی از این تحقیق را به خود اختصاص داده است، بنابراین، در ابتدا روند پردازش این تصاویر به صورت خلاصه بحث می‌شود. پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل تصحیح و تفسیر تصاویر رقومی به کمک رایانه است (فخیم ۱۳۹۵). در تصاویر ماهواره‌ای، هر پیکسل دارای یک مقدار عددی می‌باشد که نشان دهنده شدت انرژی

الکترومغناطیسی بوده که توسط سنجنده اندازه‌گیری شده و شماره رقومی^۱ نامیده می‌شود. پردازش رقومی تصویر، روش‌های ریاضی است که بر روی این اعداد رقومی، جهت تصحیح نمودن آن‌ها اعمال می‌شوند (فخیم ۱۳۹۵).

روش‌های متعددی برای پیش‌پردازش تصاویر، جهت استخراج اطلاعات وجود دارد که در زیر موارد استفاده شده در این تحقیق به تفکیک تشریح می‌گردد.

۴-۵-۱- پیش‌پردازش

شامل عملکردهایی است که معمولاً پیش از تحلیل داده‌های اصلی و استخراج اطلاعات مورد نیاز صورت می‌گیرد. وظیفه اصلی پیش‌پردازش، بهبود تصویر است که امکان انجام صحیح سایر پردازش‌ها را نیز افزایش می‌دهد. بهبود تصویر، به روش‌هایی که برای ارتقای تمایز، حذف نویز و جداسازی نواحی که نشان‌دهنده احتمال وجود اطلاعات حرفی و عددی است، می‌پردازد. پیش‌پردازش شامل تصحیحات هندسی و رادیومتریکی است.

۴-۵-۱-۱- تصحیحات رادیومتریکی

بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی پس از برخورد و عبور از جو زمین به سنجنده می‌رسند. با توجه 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 (Gupta 2017). هر عاملی که باعث ایجاد تفاوت در انرژی منتشر شده از سطح زمین با انرژی دریافت شده در سنجنده شود، یک خطای رادیومتریکی است که باید تصحیح گردد. مهم‌ترین مراجع ایجاد کننده خطای رادیومتریکی زمین و اتمسفر است. اتمسفر از طریق پخش و جذب الکترومغناطیسی و زمین از طریق توپوگرافی باعث ایجاد این خطا می‌شوند.

^۱ Digital Number

آب، رطوبت، کربن دی‌اکسید و ازن مهم‌ترین جذب‌کننده‌های امواج الکترومغناطیسی در اتمسفر هستند و آئروسول‌ها به عنوان مهم‌ترین عامل در ایجاد پخش امواج الکترومغناطیسی به شمار می‌روند.

۴-۵-۱-۲- مدل فلاش

برنامه فلاش^۱، اثرات جوی در طول موج‌های (SWIR) و (VNIR) را تصحیح می‌کند. برنامه فلاش دارای قابلیت‌های زیر می‌باشد که به طور مختصر توضیح داده می‌شوند (Envi User's Guide 2015).

- تصحیح اثر پیکسل مجاور (علاوه بر پیکسل مورد نظر ما پیکسل‌های مجاور به علت پراکندگی تابشی که از سطح منعکس شده، بر روی پیکسل هدف اثر می‌گذارند و باید تصحیح مربوط به این اثر اعمال شود).

- محاسبه قابلیت دید، مقدار هواویز و مه، استفاده از تکنیک پیشرفته برای رسیدن به شرایط جوی خاص

- پشتیبانی از داده‌های ابرطیفی و چند طیفی

- استخراج بخار آب و هواویزه‌ها

- توانایی تصحیح تصویر برداشت شده در حالت عمودی (نادیر) و با هندسه مایل

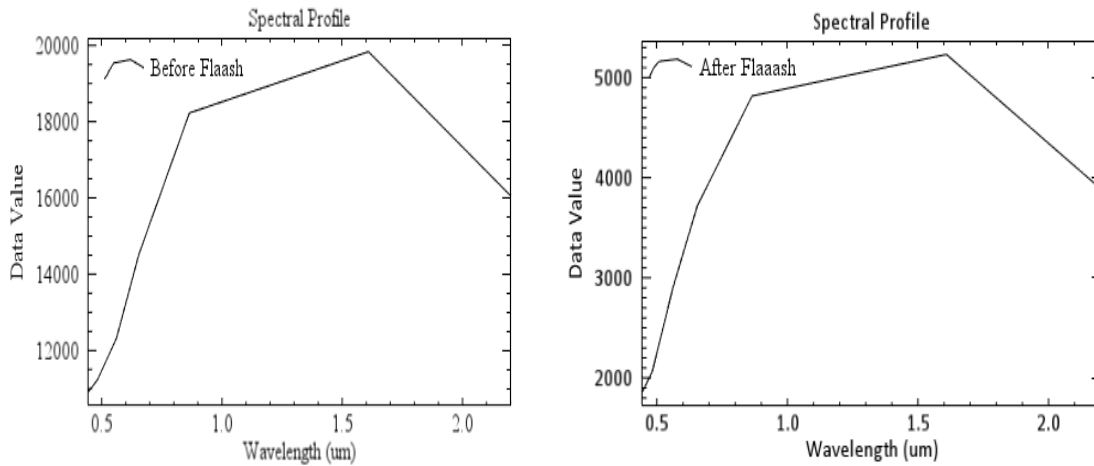
برنامه FLAASH از معادله ۱-۳ برای محاسبه تابش طیفی در سنجنده برای محدوده‌های طول موج خورشیدی (به غیر از محدوده حرارتی) استفاده می‌کند:

$$L = \left(\frac{A\rho}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad \text{معادله ۱-۳}$$

در این معادله L ، رادیانس طیفی در سنجنده بر حسب $\mu W / (sr \cdot nm \cdot cm^2)$ ، ρ بازتابندگی سطحی پیکسل، ρ_e انعکاس میانگین برای پیکسل و محدوده اطراف آن، S آلبدوی نیمکره‌ای اتمسفر، L_a تابش بازگشتی متفرق از جو می‌باشد. ضرایب A و B نیز ضرایب وابسته به شرایط هندسی و جوی هستند که ارتباطی با سطح ندارند (Envi User's Guide 2015). عبارت اول و دوم معادله شامل تابشی است که

^۱ Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hypercubes

از سطح منعکس شده و مستقیماً به سمت سنجنده رسیده است در حالی که L_a معرف تابشی از سطح است که توسط جو پراکنده شده و به سنجنده می‌رسد. تصویری که از فلاش به دست می‌آید (شکل ۳-۲) مطابق با بازتاب پدیده‌ها از سطح زمین می‌باشد.



شکل ۳-۲: مقایسه نمودار طیفی: سمت راست تصویر خام بدون تصحیح رادیومتریک، سمت چپ بعد از اعمال الگوریتم FLAASH

۴-۵-۱-۳- تصحیح هندسی

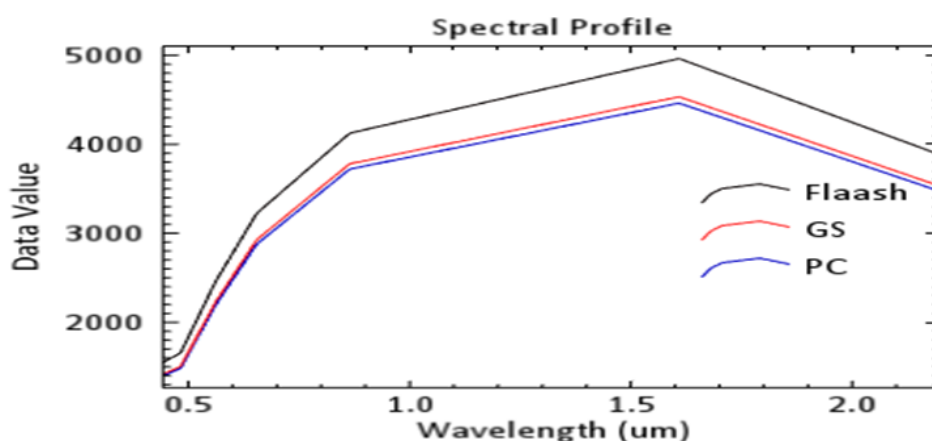
به تصحیح اعوجاج‌های هندسی ناشی از تغییرات هندسی زمین و سنجنده و تبدیل داده‌ها مطابق با مختصات جهان واقعی بر روی زمین اطلاق می‌شود (فخیم ۱۳۹۵). داده‌های ماهواره‌ای، به دلیل وجود انحنا و چرخش زمین، و نیز ناهمواری‌های سطح زمین، ارتفاع سنجنده، انحراف پانوراماتیک، عدم ثبات سکوها و خطای تجهیزات مربوطه دارای خطاهایی می‌باشند که در نتیجه آن عوارض زمینی دارای مختصات واقعی نیستند.

در تصویر ماهواره لندست ۸ مدل ۱، مقدار خطای هندسی $6/9$ متر است که از مقدار نصف ابعاد پیکسل‌ها (۱۵ متر) کمتر است و نیازی به تصحیح هندسی ندارد.

۴-۵-۲- ادغام تصاویر

یکی از تکنیک‌هایی که در پردازش تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده پژوهشگران قرار می‌گیرد تکنیک

ادغام تصاویر^۱ می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان تصاویر دارای قدرت تفکیک مکانی و طیفی مختلف را در هم ادغام کرد و تصویر جدیدی ایجاد نمود که هم‌زمان دارای خصوصیات هر دو تصویر می‌باشد، لذا تصویر جدید قابلیت‌های بیشتری نسبت به تصاویر اصلی خواهد داشت (Gupta 2017). آنچه در ادغام تصاویر اهمیت دارد در مرحله اول، پیش‌پردازش تصاویر (رادیومتریکی و هندسی) می‌باشد. از موارد دیگر یکسان بودن سیستم مختصات تصاویر می‌باشد. در این تحقیق بعد از انجام تمام روش‌های موجود در (Image Sharpening) و محاسبه (Compute Indices)، دو روش (Gram-Schmidt) و (PC) از سایر روش‌ها از ایندکس بالاتری برخوردار بود و در نتیجه دقیق‌تر بود. در ادامه برتری روش G.S که از تطابق طیفی بالاتری با نمودار طیفی مبنا نسبت به روش PC برخوردار است، در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۳: مقایسه نمودار طیفی روش‌های GramSchmidt و PC با نمودار طیفی مبنا

۴-۵-۳- کشش کنتراست

یکی از نقاط قوت پردازش تصویر رقومی این است که این فرصت را در اختیار کاربر قرار می‌دهد تا بتواند محدوده‌ای از منظره و بخشی از تصویر موجود را به وسیله تغییر ارزش‌های پیکسلی، افزایش کیفیت دهد. بنابراین با این روش تفسیر دیداری داده، آسان‌تر خواهد شد. کاربر می‌تواند با تغییر حدود بالایی

^۱ Image Fusion

و پایینی مقادیر و جابه‌جایی موقعیت میانگین، به طور غیرخودکار به انجام کشش کنتراست^۱ پردازد. اغلب سامانه‌های پردازش تصویر از انواع کشش‌های خودکار مبنی بر انواع توزیع‌های استاندارد نظیر توزیع‌های گوسی، همسان‌سازی و غیره بهره می‌گیرند (رنجبر ۱۳۹۲).

۴-۵-۴- فیلترگذاری

در واقع فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش‌های طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل همسایه‌اش تغییر می‌کند و تصویر جدیدی می‌سازد که تباین آن می‌تواند با تصویر اصلی متفاوت باشد (داوودزاده ۱۳۹۳). برای اعمال فیلتر بر روی تصویر، یک پنجره فیلتر در نظر گرفته می‌شود. برای تعیین درجه روشنایی جدید پیکسل‌ها، این پنجره فیلتر بر روی تمام تصویر حرکت می‌کند و تصویر جدید را به وجود می‌آورد.

فیلترهای مهم در سنجش از دور شامل فیلترهای پایین‌گذر، فیلترهای بالاگذر و فیلترهای باندگذر است. فیلتر پایین‌گذر یا فیلتر هموارکننده، دامنه طیفی شکل را کاهش می‌دهد و موجب حذف نویز در تصویر می‌شوند و شکلی با جزئیات تقریباً یکنواخت به وجود می‌آورد. فیلترهای بالاگذر برای حفظ جزئیات فرکانس بالای تصویر و یا واضح‌سازی لبه‌ها که بر اساس تفاوت پیکسل مرکزی و پیکسل‌های همسایه آن است، استفاده می‌شوند. در نتیجه اعمال این فیلتر، تصویر تیزتر، لبه عوارض واضح‌تر و نویز افزایش می‌یابد. یک نوع دیگر فیلتر، فیلتر باندگذر است. اجرای این فیلتر، سبب انتقال میزان بیشتری از درجه‌های روشنایی خاص می‌شود. البته تعیین محدوده درجه روشنایی بر اساس هدف تحقیق و نوع آن صورت می‌گیرد (Envi User's Guide 2015).

^۱ Contrast Stretching

۴-۵-۵- ایجاد تصاویر رنگی

ایجاد تصاویر رنگی مختلف، نمایش همزمان سه باند تصویری با به کارگیری فیلترهای قرمز، سبز و آبی، روشی برای پردازش تصویر و بارز کردن پدیده‌ها می‌باشد. این عملیات جهت بارز کردن پدیده‌ها بر اساس شناخت بازتاب طیفی آن‌ها در طول موج‌های گوناگون می‌باشد (جاهدی و فرخی ۱۳۷۵). با دانستن وضعیت بازتاب یک پدیده در محدوده طول موج‌های مختلف، می‌توان بازتاب طیفی پدیده مورد نظر را افزایش و به وضوح آن را مشاهده نمود (لرستانی و شهریار ۱۳۹۰).

۴-۵-۶- نسبت‌گیری طیفی

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 می‌آید. 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 می‌کند (علوی‌پناه ۱۳۸۵). مهم‌ترین مزیت کاربرد نسبت‌های باندی، تهیه تصویری است که کاملاً از شرایط روشنایی مستقل است (Gupta and Srivastava 2010). از این روش جهت به نقشه درآوردن گیاهان، رس‌ها و تشخیص زون‌های دگرسانی ناشی از دگرسانی هیدروترمال استفاده می‌شود. اساس روش نسبت‌گیری باندی، بر تقسیم باند انعکاسی بر باند جذبی استوار است. به این ترتیب که باند انعکاسی که کمترین مقدار بازتاب را دارد، در مخرج، و باند بازتاب با بیشترین مقدار، در صورت قرار می‌گیرد و باعث یک بزرگنمایی در خصوصیات طیفی کانی مورد هدف خواهد شد.

۴-۵-۷- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

اگر هر کدام از باندهای لندست ۸ به طور جداگانه بررسی شوند، ارتباط زیادی بین آن‌ها مشاهده می‌شود، به گونه‌ای 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 باعث به وجود آمدن یک سری اطلاعات اضافی و زائد می‌شود که اغلب تفسیر تصویر را با مشکل روبرو می‌سازد. تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ روشی برای کاهش دادن چنین اطلاعات زائدی است که با فشرده کردن مجموعه داده‌های چند طیفی در یک دستگاه مختصات جدید صورت می‌گیرد (بهرام‌بیگی و همکاران ۲۰۱۲).

برای داده‌های چند طیفی (مانند لندست ۸)، اولین مؤلفه اصلی (PC1) بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است یعنی تقریباً تمام اطلاعات طیفی و مکانی را دربر می‌گیرد. مابقی اطلاعات در مؤلفه‌های بعدی (PC2, PC3, ... PCn) که هر یک در برگیرنده درصد کمتری از واریانس تصویر می‌باشند، بارگذاری می‌شود که هر کدام از مؤلفه‌ها متناسب با هدف باید بررسی شوند (بهرام‌بیگی و همکاران ۲۰۱۲).

بیشترین واریانس باندهای طیفی در یک تصویر ترکیب‌رنگی مشاهده می‌شود. این واریانس بیشتر از واریانسی است که در ترکیب‌رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می‌شود و جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مانند واحدهای سنگی و دگرسانی را نمایش می‌دهد. بنابراین مرز بین مناطقی که در تصاویر ترکیب‌رنگی باندهای خام آشکار نیست (مانند خطواره‌ها و یا مناطق با پوشش گیاهی و یا کاربری اراضی متفاوت) را مشخص می‌کند (Vincent 1997).

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 هفت باند غیر گرمایی لندست ۸) 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. در سال ۱۹۸۹ کروسا و موره برای اولین بار روشی را که مؤلفه اصلی جهت یافته موضوعی^۲ نامیده می‌شود، پیشنهاد کردند که امروز به روش کروسا مشهور است (Crosta and Moore 1989) روش کروسا بر اساس انتخاب ۴ باند برای (PCA)، متناسب با خواص طیفی کانی‌ها و پوشش گیاهی،

^۱ Principal Component Analysis

Selection

^۲ Feature Oriented Principal Components

استوار است. از روش (PCA) و کروستا، به طور گسترده برای آشکارسازی دگرسانی‌ها در ایالت‌ها و کمربندهای فلرزایی استفاده شده است (Ashraf et al. 2013).

۴-۵-۸- تحلیل مولفه‌های مستقل

روش آنالیز مولفه‌های مستقل^۱ یک روش نسبتاً جدید و قدرتمند در آنالیز و پردازش تصاویر است. از این روش زمانی استفاده می‌شود که اطلاعاتی در مورد منبع و نحوه ترکیب و مخلوط شدن اطلاعات داخل تصاویر وجود ندارند. کاربردهای آنالیز مولفه‌های مستقل در سنجش از دور شامل کاهش بعد، استخراج ویژگی‌های تصاویر، تشخیص آنومالی، طبقه‌بندی و کاهش نویز است (Pour et al. 2018).

۴-۵-۹- تبدیل کمترین کسر نویز

در تصاویر چندطیفی و فراتطیفی به علت حجم وسیعی از اطلاعات، اغلب پیکسل‌های تصاویر با پس‌زمینه^۲ تصاویر مخلوط می‌شود و بنابراین تصاویر از وضوح کافی، برخوردار نمی‌باشند. این اختلاط محقق را در طبقه‌بندی تصاویر با مشکل مواجه می‌سازد، به نحوی که پیکسل‌های مخلوط را نمی‌تواند از پیکسل‌های خالص تشخیص دهد و اغلب، پیکسل‌های مخلوط در کلاس اشتباه قرار خواهند گرفت. یکی از روش‌های متداول برای رفع ابهام پیکسل‌های مخلوط و تعیین پیکسل‌های خالص، روش کمترین کسر نویز^۳ است که در این مطالعه استفاده شده است. این الگوریتم، یک تبدیل خطی است که برای مشخص کردن بُعد و حجم اصلی تصویر، جداکردن نویز از دیگر اطلاعات استفاده می‌شود و با استفاده از آن می‌توان به شناسایی پیکسل‌های خالص اقدام کرد (Vincheh and Arfania 2017).

اندیس خلوص پیکسل^۳ فرایندی است که خالصترین پیکسل را در تصویر تعیین می‌کند و باقی پیکسل‌ها از ترکیب خطی این پیکسل‌های خالص ایجاد می‌شوند. در این مطالعه ابتدا از (MNF) برای کاهش ابعاد

^۱ Independent Component Analysis

^۲ PPI

^۳ Minimum Noise Fraction

داده‌ها استفاده شد. سپس (PPI) از طریق تصویر بردارهای طیفی پیکسل‌ها بر روی بردار واحد تصادفی تعیین می‌شود. پیکسل‌هایی که تصویر آن‌ها بر روی بردارهای تصادفی واحد بزرگتر باشند، به عنوان پیکسل‌های انتهایی انتخاب و تعداد دفعاتی که هر پیکسل به عنوان پیکسل انتهایی انتخاب می‌گردد، ثبت می‌شوند. در نهایت تصویر خلوص پیکسلی که تعداد دفعات انتخاب پیکسل‌ها به عنوان پیکسل انتهایی انتخاب شدند، به دست می‌آید (Rudorff et al. 2006).

۴-۶- طبقه‌بندی تصاویر سنجش از دور

یکی از روش‌های رقومی پرکاربرد استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی تصاویر می‌باشد. طبقه‌بندی را می‌توان یک فرایند تصمیم‌گیری دانست که در آن داده‌های تصویری به فضای کلاس‌های مشخص انتقال می‌یابند. روش‌های طبقه‌بندی را می‌توان به طور مرسوم به دو دسته طبقه‌بندی نظارت شده^۱ و طبقه‌بندی نظارت نشده^۲ تقسیم کرد (رسولی ۱۳۸۷). در این تحقیق از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شده است. در این نوع طبقه‌بندی مشخصات طیفی کلاس‌های معلوم در تصویر مبنای طبقه‌بندی می‌باشد. المان‌های اصلی در این روش، نمونه‌های آموزشی^۳ هستند که هرکدام معرف یک کلاس می‌باشند. پس از مشخص شدن این نمونه‌ها، نرم افزار طبقه‌بندی تصویر را بر پایه مشخصات طیفی آن‌ها انجام می‌دهد. (رسولی ۱۳۸۷).

در زیر به توضیح روش‌های طبقه‌بندی انجام گرفته در این تحقیق پرداخته می‌شود:

حداکثر احتمال^۴: این روش یکی از کاراترین روش‌ها برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد (Gupta 2017). این روش بر اساس تئوری احتمالات طرح‌ریزی شده و برای کلاس‌های چند طیفی مناسب است.

^۱ Supervised Classifications

^۲ Unsupervised Classifications

^۳ Training Area

^۴ Maximum Likelihood

حداقل فاصله از میانگین^۱: این روش از نظر محاسباتی ساده‌تر از روش‌های دیگر طبقه‌بندی از قبیل حداکثر احتمال است اما دقت نتایج حاصل از آن با روش‌های طبقه‌بندی دیگر می‌تواند قابل مقایسه باشد. تعیین فاصله بین پیکسل‌های ناشناخته نسبت به میانگین کلاس‌ها، هسته اولیه این روش را تشکیل می‌دهد (Gupta 2017).

کلاس‌بندی درختی: روش درختی یک ساختار سلسله‌مراتبی است که از سطوح مختلف تشکیل شده است. در هر سطح داده مورد آنالیز قرار گرفته، تست شده و براساس نتیجه^۲ تست، یک تصمیم در مورد داده گرفته می‌شود که می‌تواند تصمیم قطعی برای داده باشد، در این صورت تصمیم را یک برگ می‌نامند، و یا می‌تواند داده را به یک سطح دیگر از درخت تصمیم‌گیری منتقل کند که منجر به تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای برای داده شود (در این صورت تصمیم را یک شاخه می‌نامند). مجموعه‌ای از سطوح، شاخه‌ها و برگ‌ها را در این روش یک درخت تصمیم‌گیری می‌نامند (مؤمنی ۱۳۸۹).

۴-۶-۱- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

برای ارزیابی نقشه نهایی به دست آمده از روش ماتریس ابهام^۲ استفاده شده است. ماتریس ابهام و یا ماتریس خطا، روشی برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی است. این ماتریس حاصل مقایسه^۳ پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (در واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی است. برچسب هر پیکسل معلوم با برچسب متناظر مقایسه شده و نتایج یکسان با یکدیگر جمع می‌شوند و تعداد برچسب‌هایی که با هم همخوانی ندارند نیز محاسبه می‌شود.

از مهمترین فاکتورهایی که در ماتریس خطا مورد توجه قرار می‌گیرد، فاکتور دقت کلی^۳ است. این فاکتور دقت را بر اساس تعداد پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، محاسبه می‌کند. به عبارت دیگر تعداد پیکسل‌هایی که برای هر یک از کلاس‌های مذکور به درستی طبقه‌بندی شده‌اند به تمامی

^۱ Minimum Distance

^۲ overall accuracy

^۳ ConfusionMatrix

تعداد پیکسل‌های بررسی شده تقسیم می‌شوند. با استفاده از این فاکتور می‌توان به دقت کلی نقشه تولید شده پی برد.

خطای افتادگی یک کلاس^۱ تعداد پیکسل‌های متعلق به یک کلاس است که طبقه‌بندی کننده، آن‌ها را در کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی می‌کند.

خطای افزونگی^۲ تعداد پیکسل‌هایی است که در یک کلاس طبقه‌بندی شده‌اند ولی در واقعیت به کلاس دیگر تعلق دارند.

دقت تولید کننده^۳ بیانگر دقت طبقه‌بندی پیکسل‌های مربوط به یک کلاس خاص در نقشه^۴ واقعیت زمینی است و معادل این احتمال است که طبقه‌بندی کننده، پیکسلی را به یک کلاس خاص نسبت داده باشد، در صورتی که کلاس واقعی آن کلاس باشد (مؤمنی ۱۳۸۹).

دقت کاربر^۴ بدان معنی است که چند درصد از پیکسل‌هایی که در خروجی طبقه‌بندی به یک کلاس خاص نسبت داده شده‌اند، واقعاً به آن کلاس متعلق می‌باشند (مؤمنی ۱۳۸۹).

بر اساس آنچه در بالا ذکر شد، می‌توان خطاهای افتادگی و افزونگی را طبق معادله ۲-۳ و معادله ۳-۳ محاسبه نمود:

معادله ۲-۳ خطای افتادگی - ۱ = دقت تولید کننده

معادله ۳-۳ خطای افزونگی - ۱ = دقت کاربر

مقدار کاپا یکی دیگر از عناصر آماری جهت ارزیابی طبقه‌بندی می‌باشد. مقدار کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. بدین معنا که دقت طبقه‌بندی نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی می‌شود به دست می‌آید و پس از حذف تأثیر شانسی در طبقه‌بندی مقدار تطابق با واقعیت زمینی محاسبه خواهد شد (مؤمنی ۱۳۸۹).

^۱ Omission

^۲ Comission

^۳ Producer Accuracy

^۴ User Accuracy

۴-۷- تهیه نقشه‌های اطلاعاتی

بعد از انجام پردازش‌های لازم، با استفاده از روش‌هایی که در بالا ذکر شده است، نقشه‌های اطلاعاتی مورد نیاز برای پتانسیل‌یابی منابع آب در محیط GIS و RS استخراج خواهد شد.

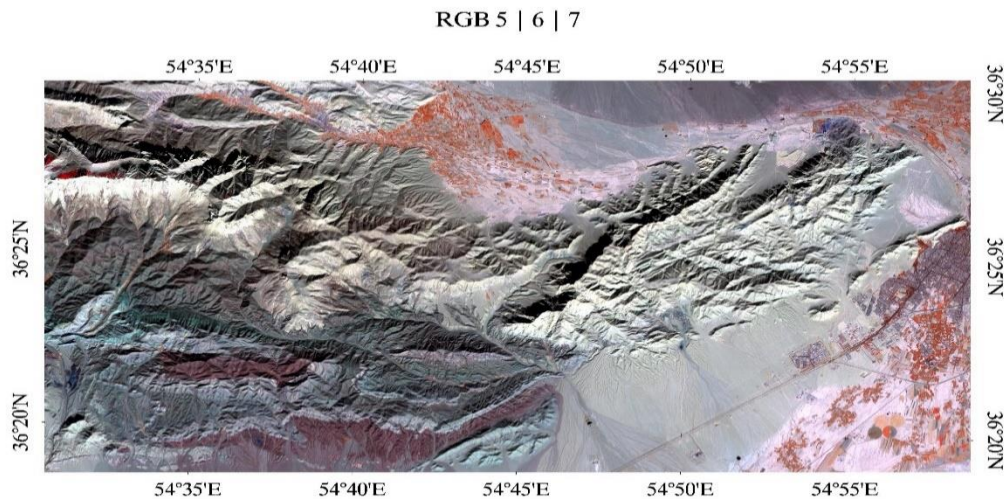
۴-۷-۱- تهیه نقشه لیتولوژی

برای تهیه نقشه لیتولوژی با تصاویر ماهواره لندست ۸، از تکنیک‌های پردازش تصویر که شامل ترکیب رنگی متناسب با محدوده طیفی منطقه، نسبت‌گیری متناسب با نوسانات طیفی کانی‌های عمده منطقه، تحلیل مؤلفه‌های اصلی کروستا، تحلیل مؤلفه‌های مستقل، روش کمترین نویز استفاده گردید. پس از تهیه نقشه‌های مختلف متناسب با روش‌های ذکر شده با استفاده از تعریف نمونه‌های آموزشی متناسب با هر نقشه، الگوریتم‌های طبقه‌بندی اعمال می‌گردد. بعد از طبقه‌بندی، نقشه نهایی با نقشه زمین‌شناسی منطقه که توسط سازمان زمین‌شناسی تهیه شده است، نقشه نهایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۴-۷-۱-۱- تصاویر رنگی

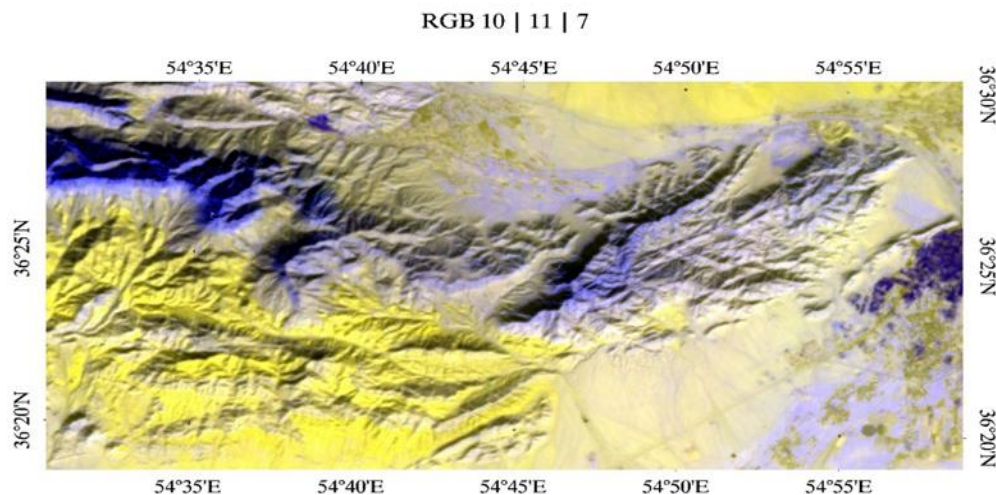
ترکیب رنگی باندهای ۵، ۶ و ۷ برای بارزسانی سنگ‌های آذرین، دگرگونی و گیاهان مناسب است. گیاهان محدوده جذبی ۰/۵۸ - ۰/۴۵ و بازتاب ۱/۲ - ۰/۷ میکرومتر دارند که باند ۵ برای شناسایی آنها مناسب می‌باشد. کانی‌های رس و کربنات در محدوده طیفی جذب ۲/۴ - ۲/۱ (باند ۷) و بازتاب ۱/۷۵ - ۱/۵۵ (باند ۶) می‌باشند. سیلیکات‌ها در باندهای حرارتی در محدوده ۹/۵ - ۸/۵ میکرومتر و ۱۱/۷ - ۱۰/۳ دارای انتشار می‌باشند که در محدوده (۱۱/۷) میکرومتر قابلیت انتشار بالاتری دارند. شکل ۳-۴ حاصل ترکیب باندهای ۵، ۶ و ۷ به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی پس از آشکارسازی است. شیل و آهک معمولاً دارای تن روشن می‌باشند و مناطق تیره محدوده رسی و ماسه‌سنگی را به خوبی به نمایش گذاشته‌اند. محدوده‌ای به رنگ جگری ترکیبی از باندهای ۵ و ۶ با محدوده طیفی ۰/۸ تا ۱/۴ میکرومتر بوده که شامل شیل و ماسه‌سنگ بوده و سازند CI را آشکار کرده و در واقعیت هم به

رنگ بنفش دیده می‌شود. شکل ۳-۵ حاصل ترکیب باندهای ۱۰، ۱۱ و ۷ می‌باشد. باند ۷ به نمایندگی از یون‌های انتقالی $Al-OH$, Fe , $Mg-OH$, $Si-O-H$, CO_3 که در این باند دارای جذب هستند، انتخاب شد. در این تصویر مناطق با انتشار متوسط، زرد رنگ (حاصل ترکیب رنگ قرمز باند ۱۰ و سبز باند ۱۱) حاوی مقادیر بیشتر سیلیکات به همراه کانی‌های دیگر هستند. همچنین مناطق آبی رنگ آهکی بوده و



شکل ۳-۴: ترکیب رنگی باندهای ۵، ۶ و ۷

به همین خاطر از انتشار پایینی برخوردار هستند و مقادیر کمی از سیلیکات‌ها در بر می‌گیرند. مناطقی که متمایل به سفید هستند ترکیبی از سه باند قرمز، سبز و آبی می‌باشد و به این معناست که مجموعه متنوعی از کانی‌ها را شامل می‌شوند.

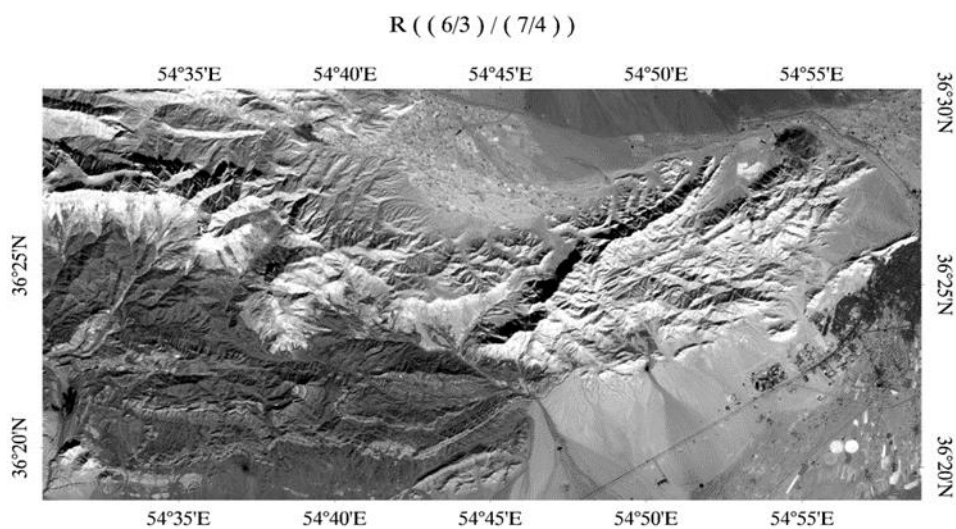


شکل ۳-۵: ترکیب رنگی باندهای ۱۰، ۱۱ و ۷

۴-۷-۱-۲- نسبت‌گیری طیفی

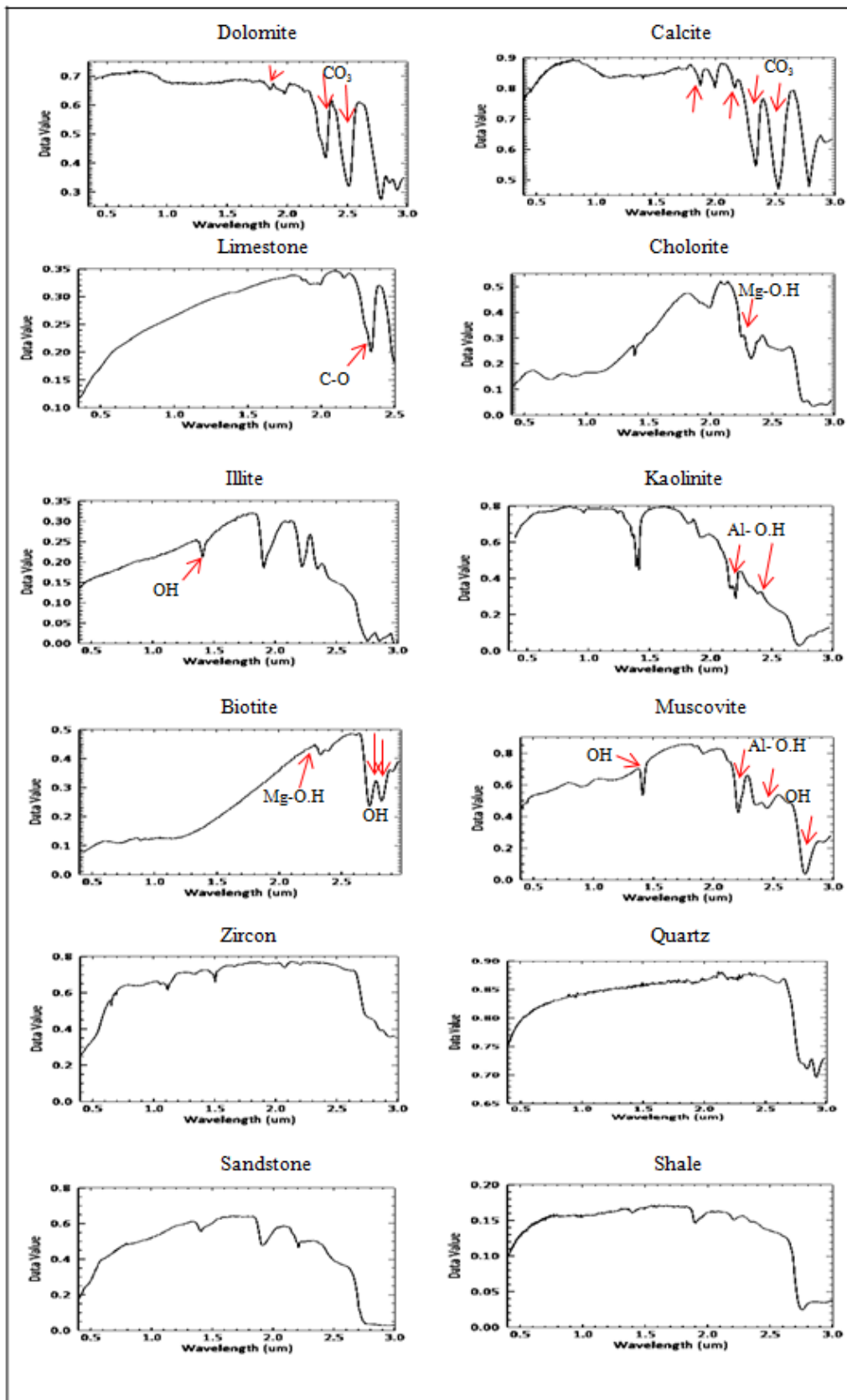
در شکل ۳-۷ نمودار طیفی غالب کانی‌های منطقه که از کتابخانه (USGS) استخراج شده است را مشاهده می‌کنید که مبنای کار نسبت‌های بانندی و روش‌های دیگر (PCA و ICA) می‌باشد. یون‌های انتقالی نظیر CO_3 ، C-O و... برگرفته از (Clark 1999) می‌باشند.

در شکل ۳-۸ نمودار طیفی کانی‌های منطقه که در سنجنده OLI بازنویسی شده‌اند را مشاهده می‌کنید. طبق توضیحات داده شده در قسمت پ ۱-۲ و نمودارهای طیفی شکل‌های پ ۱ تا پ ۶ بخش پیوست، از نسبت $R[R(B6/B3), R(B7/B4)]$ برای آشکارسازی مناطق دولومیتی که در شکل ۳-۶ قابل مشاهده است، استفاده شده است. لازم به ذکر است منظور از $R(B6/B3)$ یعنی نسبت باند ۶ به باند ۳ و $R[]$ یعنی نسبت دو تصویر به یکدیگر می‌باشد.

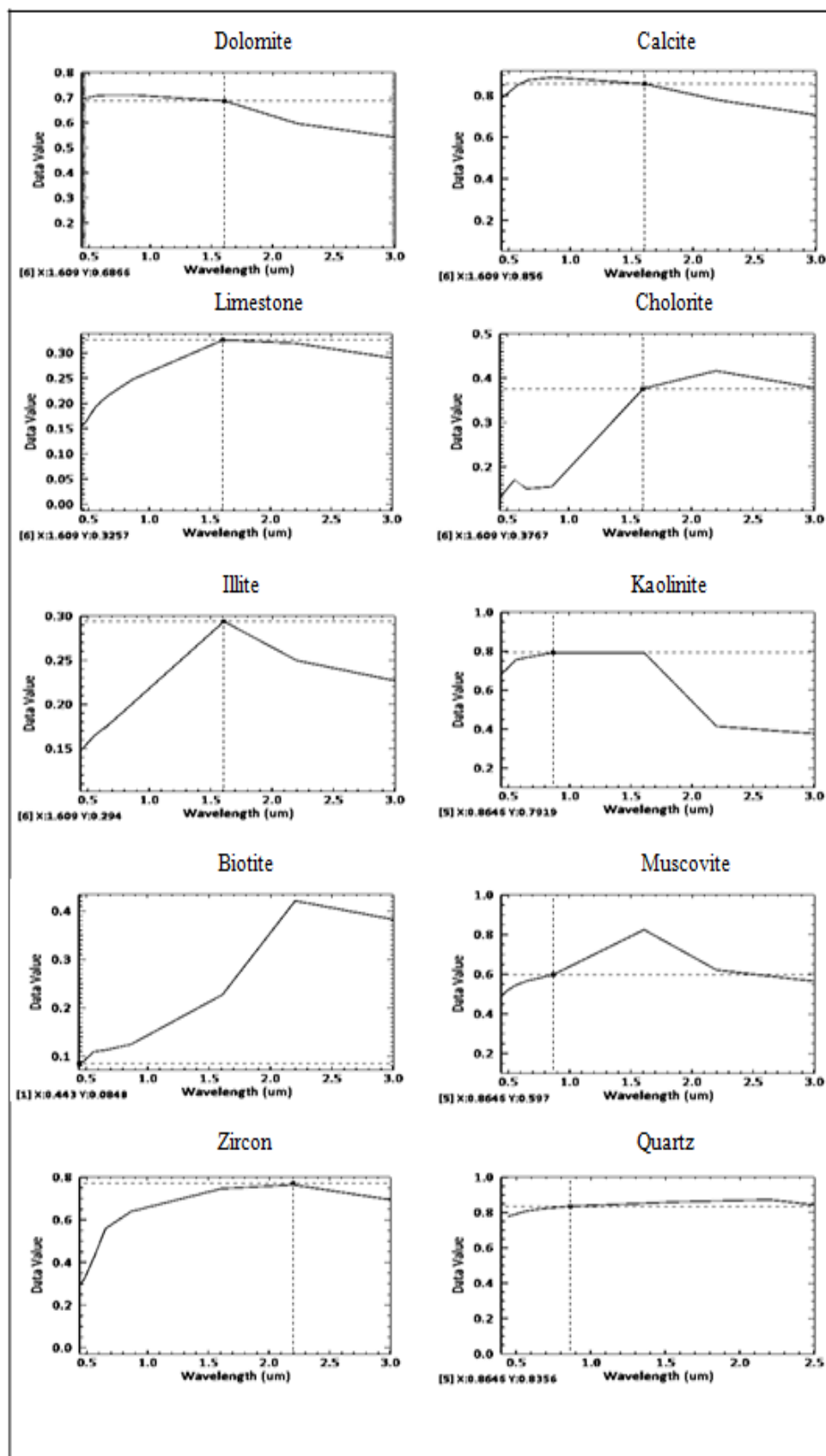


۲:

شکل ۳-۶: آشکارسازی دولومیت (مناطق سفید) با نسبت تصویر (۶/۳) به تصویر (۷/۴)



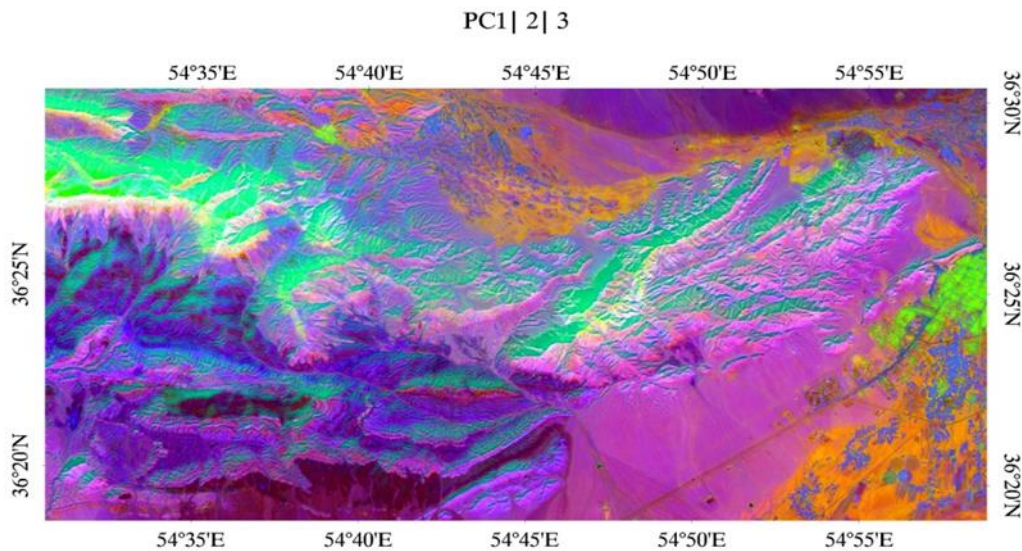
شکل ۳-۷: نمودار طیفی غالب کانی‌های منطقه



شکل ۳-۸: نمودار باز نویسی شده کانی ها با سنجنده OLI

۴-۷-۱-۳- تحلیل مؤلفه‌های اصلی

طبق آنچه در پیوست گفته شد، باندهای ۶ و ۷ برای شناسایی رس و کربنات مناسب است. و باند ۴ برای عامل یون هیدروکسل رس‌ها مناسب می‌باشد و براساس نمودارهای موجود (شکل ۶ پیوست)، ماسه‌سنگ در محدوده طیفی باندهای ۶ و ۷ دارای بازتاب خفیفی می‌باشد. براساس آنچه در بخش پیوست (پ ۱-۱-۲) گفته شد، رس‌ها در باند ۱۰ قابلیت بازتاب خوبی دارند. بر اساس نمودار جذب و بازتاب CO_3 ، SO_4 و H_2O و ... در (شکل پ ۶)، باندهای ۴، ۶، ۷ و ۱۰ انتخاب و الگوریتم PC روی آن‌ها اعمال شد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: ترکیب رنگی مؤلفه‌های اول، دوم و سوم

بعد از انجام تبدیل مؤلفه اصلی به روش کروستا روی باندهای انتخابی، برای انتخاب مؤلفه‌های اصلی، ابتدا یک مرجع برای مقایسه مؤلفه‌ها با باندهای اصلی از طریق LayerStacking ایجاد کرده و سپس شاخص‌های آماری (جدول ۳-۲) استخراج گردید.

جدول ۳-۲: شاخص همبستگی مؤلفه‌های اصلی

Correlation	PC 1	PC 2	PC 3	PC 4
Band 4	۰/۹۸۲	۰/۰۶۴	-۰/۱۷۳	-۰/۰۳۷
Band 6	۰/۹۹۲	۰/۰۶۷	۰/۰۹۱	-۰/۰۳۶
Band 7	۰/۹۹۶	۰/۰۱۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۸۵
Band 11	۰/۵۰۴	-۰/۸۶۳	۰/۰۰۱	۰/۰۱۴

برای انتخاب مولفه‌های اصلی، متناسب با بازتاب و جذب هدف مورد نظر، باند هدف انتخاب می‌گردد. در جدول ۲-۳ که از مقایسه باندهای اصلی با مولفه‌های اصلی به دست آمده است، اقدام به انتخاب مؤلفه اصلی می‌شود. به طور مثال در این جدول باند ۱۱ در PC2 بیشترین بارگذاری اطلاعات را با مقدار ۰/۸۶ داشته است.

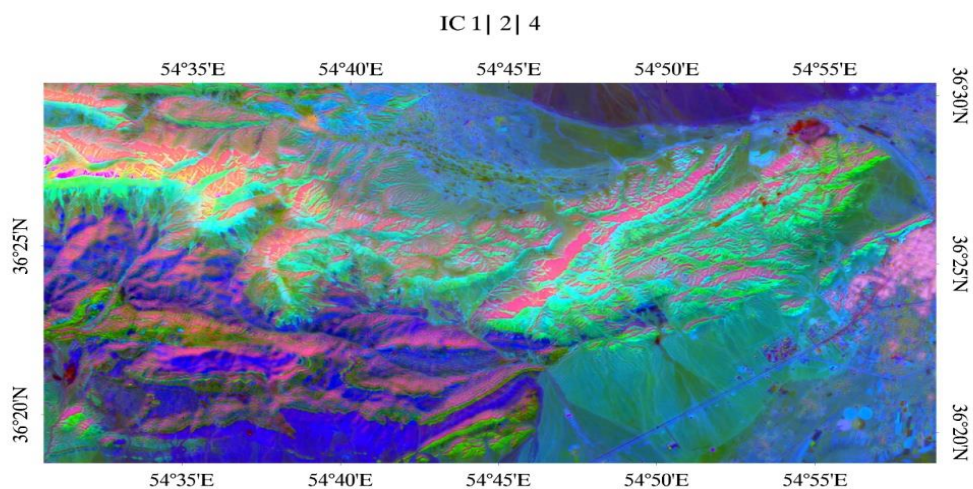
۴-۱-۷-۴- تحلیل مولفه‌های مستقل

در این مرحله باندهای ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۱ را فراخوانی و از طریق اعمال الگوریتم Forward ICA Rotation تنظیمات را در حالت Deafault پذیرفته، و بعد از تهیه تصویر نهایی همانند روش PC، اقدام به استخراج شاخص‌های آماری می‌گردد (جدول ۳-۳).

جدول ۳-۳: جدول شاخص همبستگی مولفه‌ها مستقل

Correlation	IC 1	IC 2	IC 3	IC 4	IC 5
Band 4	-۰/۶۹۶	۰/۵۰۶	۰/۱۳۴	۰/۴۷۳	۰/۱۳
Band 5	-۰/۶۸۹	۰/۵۷۷	-۰/۱۳۳	۰/۴۰۶	۰/۰۹۴
Band 6	-۰/۷۰۸	۰/۶۲۶	۰/۱۰۴	۰/۳۰۶	۰/۰۳۲
Band 7	-۰/۷۲۱	۰/۵۲۷	۰/۱۶۲	۰/۴۱۲	-۰/۰۷۴
Band 11	-۰/۹۲۸	-۰/۳۳۲	۰/۰۲۹	۰/۰۴۸	-۰/۱۵۵

مطابق جدول ۳-۳، برای آشکارسازی لیتولوژی منطقه، با مولفه‌های اول، دوم و چهارم، تصویر رنگی ایجاد شد (شکل ۳-۱۰).



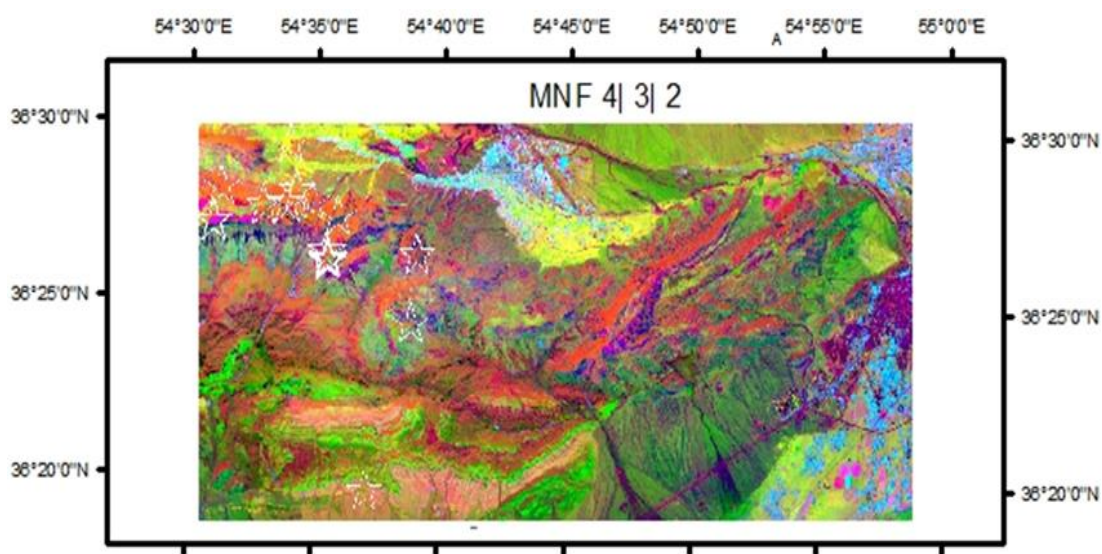
شکل ۳-۱۰: ترکیب رنگی مولفه‌های مستقل برای بارزسازی مناطق آهکی از شیلی و ماسه‌سنگی

متناسب با جدول ۳-۳، مقدار IC1 شامل بیشترین مقدار و IC5 کمترین مقدار را دربر می‌گیرد. برای انتخاب مؤلفه‌های اصلی، ابتدا مؤلفه اول که شامل مقادیر طیفی و مکانی می‌باشد، انتخاب می‌گردد؛ مؤلفه دوم به علت بازتاب بالا در باند ۴ برای آشکارسازی کربنات و بیشترین جذب در محدوده حرارتی (مقدار ۰/۳۳۱۹-) نیز انتخاب می‌گردد. بعد از IC1 و IC2، بیشترین مقدار بازتاب در IC4 و جذب کمتر در محدوده حرارتی (۰/۰۴۸۷-) در این مؤلفه قرار دارد.

۴-۷-۱-۵- روش کمترین کسر نویز

برای اطمینان از به کارگیری تمامی اطلاعات ارزشمند موجود، ۷ باند سنجنده OLI، را در تبدیل MNF شرکت داده و از خروجی MNF، تصویر PPI منطقه به دست آمد. تعداد دفعات تکرار و حد آستانه‌ای PPI نتایج آن را تحت تأثیر قرار می‌دهد. انتخاب حد آستانه‌ای بزرگ، باعث انتخاب پیکسل‌های بیشتر حتی غیرخالص به عنوان پیکسل انتهایی خواهد گردید. از طرفی انتخاب حد آستانه‌ای کوچک‌تر، گرچه پیکسل مخلوطی انتخاب نخواهد کرد اما قادر به تشخیص تمامی پیکسل‌های خالص نیز نخواهد بود. در این مطالعه با انتخاب حد آستانه ۲/۵ فرایند تعیین خالصترین پیکسل‌ها، برای صد هزار بار تکرار انجام شد که شکل ۳-۱۱ تصویر رنگی باندهای ۴، ۳، ۲ MNF به همراه پیکسل‌های خالص به دست آمده از تصویر PPI می‌باشد. پیکسل‌های خالص با ستاره سفید در شکل نشان داده شده و تعداد کم این پیکسل‌ها که در قسمتی از سازند لار و شمشک منطقه واقع شده است، بدان معنی است که اکثر سازندهای منطقه دارای پیکسل‌های مخلوط می‌باشد.

خالص‌ترین پیکسل‌های انتخاب شده توسط محیط مشاهده N بعدی (N-Dimensional Visualizer) در نرم‌افزار ENVI خوشه‌بندی شدند. این الگوریتم به همراه تبدیل MNF و نتایج PPI برای خوشه‌بندی پیکسل‌های خالص و بازتاب‌های طیفی انتهایی در مجموعه داده‌ها به کار می‌رود. برای تشخیص نوع کانی تشکیل‌دهنده پیکسل‌های خالص، باید پیکسل‌ها را از نظر طیفی با کانی‌های موجود در منطقه و خروجی‌های تهیه شده روش (N-Dimensional Visualizer) را مورد آنالیز و بررسی قرار داده که



شکل ۳-۱۱: تصویر رنگی باندهای ۲، ۳، ۴ و ۲ روش MNF به همراه پیکسل‌های خالص منطقه (ستاره سفید)

کانی‌های زیر به همراه احتمال تشخیص آن‌ها در جدول ۳-۴ با تکنیک Spectral Analyst شناسایی شده است.

جدول ۳-۴: کانی‌های تشخیص داده شده در محیط N بعدی

درصد تشخیص	اسم کانی
% ۸۶	Dolomite
% ۷۰	Calcite
% ۷۸	Zircon
% ۹۰	Illite
% ۹۳	Kaolinite
% ۹۳	Monmorillonite
% ۷۴	Biotite
% ۷۷	Muscovite
% ۷۶	Quartz

۴-۷-۱-۶- کلاس‌بندی نقشه‌ها

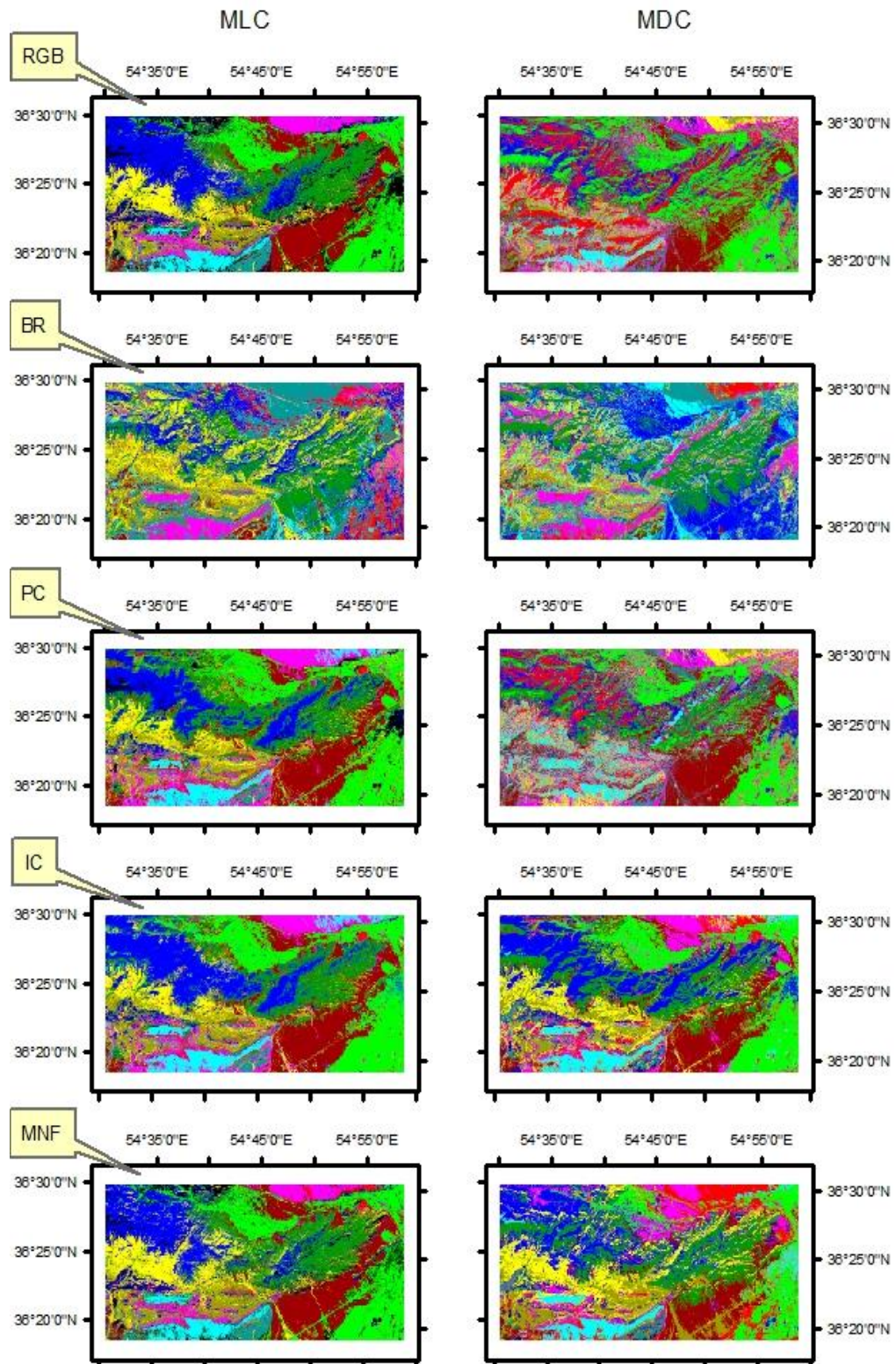
برای طبقه‌بندی نیاز به تعریف مناطق آموزشی برای الگوریتم‌های طبقه‌بندی می‌باشد. مناطق آموزشی با استفاده از ابزار (ROI) در بخش (Region Of Interest) تهیه گردید. برای هر یک از روش‌های پردازش تصویر که شامل ترکیب رنگی، نسبت بانندی، تحلیل مؤلفه اصلی، تحلیل مؤلفه مستقل و کمترین نوفه می‌باشند، (ROI) جدا تعریف می‌شود. برای تعریف بهتر مناطق آموزشی و آگاهی از پیکسل‌های مخلوط و خالص منطقه، ابتدا یک بار تمام روش‌های پردازش تصویر ذکر شده با روش‌های طبقه‌بندی نظارت نشده که شامل (IsoData) و (K-Means) هستند، انجام می‌شوند. سپس در تب (Classification). قسمت کلاس‌بندی نظارت شده (Supervised) با استفاده از الگوریتم‌های بیشترین شباهت و کمترین فاصله، طبقه‌بندی تصاویر انجام می‌شود. در روش حداکثر احتمال، حد آستانه‌های مختلف (Threshold) امتحان و بهترین مقادیر انتخاب شده است. در روش کمترین فاصله از تنظیمات عمومی نرم‌افزار استفاده شده است.

تصاویر رنگی در روش بیشترین شباهت با انتخاب حد آستانه $0/05$ و تعیین مناطق آموزشی، به جز باند ۸ (پانکروماتیک) و باند ۹ (ابره‌های سیروس) طبقه‌بندی شدند.

برای طبقه‌بندی نسبت بانندی از ۲ استفاده شد. حد آستانه برای طبقه‌بندی منطقه و داشتن تعداد کمتر پیکسل‌های دسته‌بندی نشده مقدار $0/25$ انتخاب شد.

در طبقه بندی مؤلفه‌های اصلی برای استفاده از اطلاعات اصلی منطقه از شکل ۳-۹ استفاده و حد آستانه مقدار $0/15$ انتخاب شد.

طبقه‌بندی مؤلفه مستقل با استفاده از باندهای شکل ۳-۱۰ با حد آستانه انتخابی $0/1$ انجام شد. برای طبقه‌بندی به روش کمترین فاصله، انتخاب پیکسل‌ها برای طبقه‌بندی، بدون انتخاب حد آستانه به عهده خود نرم افزار گذاشته شد. از تمام باندهای خروجی روش MNF استفاده و حد آستانه مقدار $0/13$ انتخاب شده است.



شکل ۳-۱۲: تصویر کلاسه‌بندی شده روش‌های مختلف از بالا به پایین به ترتیب: طبقه‌بندی تصاویر فیوژن شده بجز باند ۸ و ۹، طبقه‌بندی نسبت بانندی BR، طبقه‌بندی مؤلفه‌های اصلی PC، طبقه‌بندی مؤلفه مستقل IC، طبقه بندی کمترین نوفه MNF تصاویر سمت راست به روش کمترین فاصله و سمت چپ به روش بیشترین شباهت

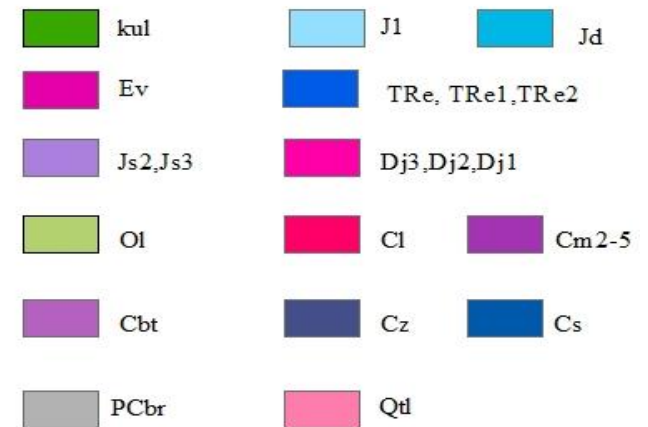
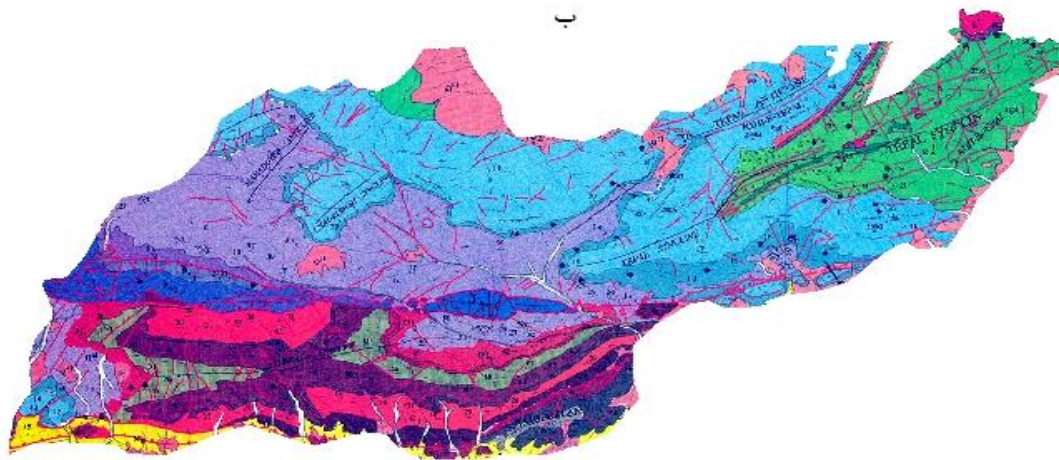
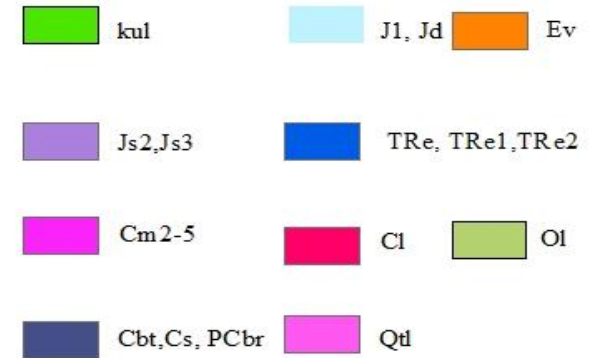
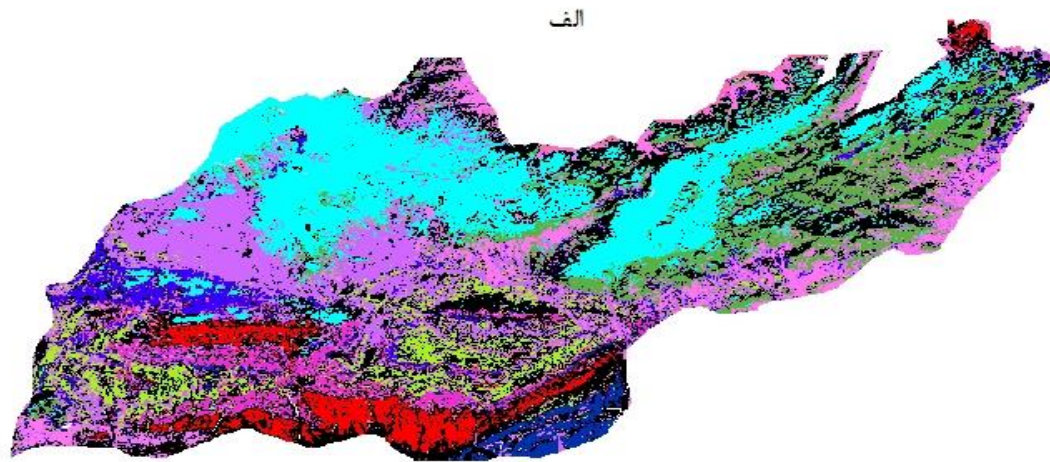
۴-۷-۱-۷- کلاس‌بندی به روش شاخه درختی

بعد از تهیه نقشه‌های کلاس‌بندی روش‌های مختلف با استفاده از امکانات طبقه‌بندی به روش درختی، بهترین کلاس‌های منطقه شکل ۳-۱۲ متناسب با جدول ۳-۵ که از نظر ارزیابی انطباق‌پذیری با نقشه زمین‌شناسی از درصد بالاتری برخوردار بودند، انتخاب شدند و نقشه نهایی لیتولوژی منطقه شکل ۳-۱۳ به دست آمد.

در طبقه‌بندی به دلیل نزدیکی عناصر تشکیل دهنده عضوهای هر سازند، فقط به آشکارسازی سازندهای منطقه پرداخته شد. به طور مثال عضوهای (J₁) و (J_d) سازند لار با اندیس (J)، عضوهای (J_{S1})، (J_{S2}) و (J_{S3}) سازند شمشک با اندیس (J_S)، عضوهای (T_{RE1}) و (T_{RE2}) سازند الیکا با اندیس (T_{RE})، عضوهای (C_{m1}) و (C_{m2-5}) سازند میلا با اندیس (C_{m2-5}) در نظر گرفته شده است

جدول ۳-۵: جدول ارزیابی تشخیص سازندهای منطقه در روش‌های مختلف طبقه‌بندی

G.T	MD RGB	ML RGB	MD BR	ML BR	MD PC	ML PC	MD IC	ML IC	MD MNF	ML MNF
Ku	۸/۲	۶۶/۳	۷۷/۶	۶۸/۱	۱۱/۷	۷۳/۵	۷۶/۰	۸۲/۷	۷۷/۷	۸۴/۷
J	۲۵/۲	۵۰/۶	۱۰/۰	۲۷/۹	۶/۱	۶۳/۹	۵۷/۹	۷۶/۱	۳۰/۲	۳۵/۸
J _s	۱۸/۳	۳۱/۱	۲۵/۵	۴۱/۷	۱۸/۱	۳۴/۴	۳۷/۷	۴۰/۸	۵۰/۷	۶۰/۸
Ez	۹/۰	۸۳/۰	۶۱/۲	۶۳/۹	۱۷/۳	۸۶/۲	۹۰/۳	۹۳/۴	۹۰/۵	۸۳/۰
Tre	۹/۸	۲۱/۶	۱۷/۵	۲۲/۷	۷/۴	۲۵/۳	۲۰/۸	۳۶/۶	۲۰/۶	۵۵/۴
Ol	۳۹/۸	۷۴/۹	۴۸/۷	۵۹/۷	۳۰/۴	۷۲/۱	۶۳/۰	۷۸/۷	۷۴/۳	۸۲/۰
Cm25	۱۷/۴	۴۵/۵	۲۲/۵	۶۸/۸	۱۵/۷	۵۰/۳	۴۱/۰	۵۰/۲	۵۱/۵	۶۳/۲
Cs	۵۰/۱	۵۸/۵	۸/۷	۱۶/۴	۲۵/۴	۵۸/۴	۵۵/۴	۶۶/۴	۶۰/۰	۸۴/۸
Cl	۸۶/۵	۹۲/۵	۸۷/۷	۹۲/۸	۷۱/۴	۹۲/۲	۹۳/۸	۹۵/۵	۹۴/۵	۹۳/۴
Q	۵۰/۱	۵۳/۲	۱۰/۴	۱۱/۳	۲۸/۴	۷۱/۹	۴۹/۵	۷۹/۵	۴۱/۰	۷۸/۳
CITY	۵۷/۶	۸۱/۲	۵۳/۴	۶۱/۸	۵۶/۸	۷۷/۰	۸۰/۵	۸۸/۱	۵۵/۷	۸۸/۹



شکل ۳-۱۳: شکل الف نقشه طبقه‌بندی شده منطقه در مقایسه با نقشه سازمان زمین‌شناسی از منطقه (شکل ب)

۴-۷-۱-۸- ارزیابی دقت طبقه‌بندی

بعد از تهیه نقشه لیتولوژی منطقه برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی از مناطق آموزشی که از نقشه ژئورفرنس شده سازمان زمین‌شناسی ایران تهیه شده است، استفاده گردید. در جدول ۳-۶ نتایج ماتریس ابهام استفاده شده برای واسنجی نقشه به دست آمده قابل مشاهده است.

همان‌طور که در شکل و جدول قابل مشاهده است، نقشه لیتولوژی بدست آمده با دقت کلی ۷۸/۶۹ و مقدار کاپا ۰/۷۱ از اعتبار بالایی در طبقه‌بندی برخوردار است.

اما نکته با اهمیت در تصویر طبقه‌بندی شده این است که تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های به کار برده شده، توانایی آشکارسازی بعضی از سازندها و به طور دقیق‌تر عضوهای هر سازند را ندارند. همان‌طور که در شکل ۳-۱۳ مشاهده می‌شود، نقشه طبقه‌بندی شده توانایی تشخیص سازندهای زاگون و سلطانیه را نداشته و این دو سازند را در کلاس سازند باروت طبقه‌بندی کرده است. همچنین سازند جیروود را به صورت پیکسل‌های پراکنده تشخیص داده بود که در طبقه‌بندی از اختصاص یک کلاس خاص به این سازند به دلیل پراکندگی بالا خودداری شد. در هر حال تهیه نقشه زمین‌شناسی فقط با انجام کارهای صحرائی متعدد توسط زمین‌شناسان با تجربه و همچنین مطالعات گسترده آزمایشگاهی امکان‌پذیر است.

جدول ۳-۶: مقادیر ماتریس ابهام

Class	Prod. Acc.	User. Acc.	Commission	Omission
Ez	۵۲/۳۸	۹۳/۲۵	۶/۷۵	۴۷/۶۲
Ku	۶۸/۴۹	۵۰/۶۱	۴۹/۳۹	۳۱/۵۱
Jl-D	۷۸/۸۳	۸۱/۸۷	۱۸/۱۳	۲۳/۱۷
Js ^r	۶۴/۱۳	۷۰/۷۸	۲۹/۱۳	۳۵/۸۷
Cl	۷۵/۵۷	۹۸/۸	۱/۲۰	۲۴/۴۳
Cm ₂₋₅	۵۸/۲۷	۸۲/۴۲	۱۷/۵۸	۴۱/۷۳
Dj	۴۷/۱۸	۶۷/۰۶	۳۲/۹۴	۵۲/۸۲
Cz	۶۴/۸۱	۹۳/۸۱	۶/۱۹	۳۵/۱۹
Qtl	۷۸/۷۵	۷۷/۱۳	۲۲/۸۴	۲۱/۲۵
City	۸۷/۶۴	۹۵/۶۹	۴/۳۱	۱۲/۳۶
TRe	۵۱/۹	۷۲/۰۱	۲۷/۹۹	۴۸/۱۰
Overall Accuracy = ۷۸/۶ %	Kappa Coefficient = ۰/۷۱			

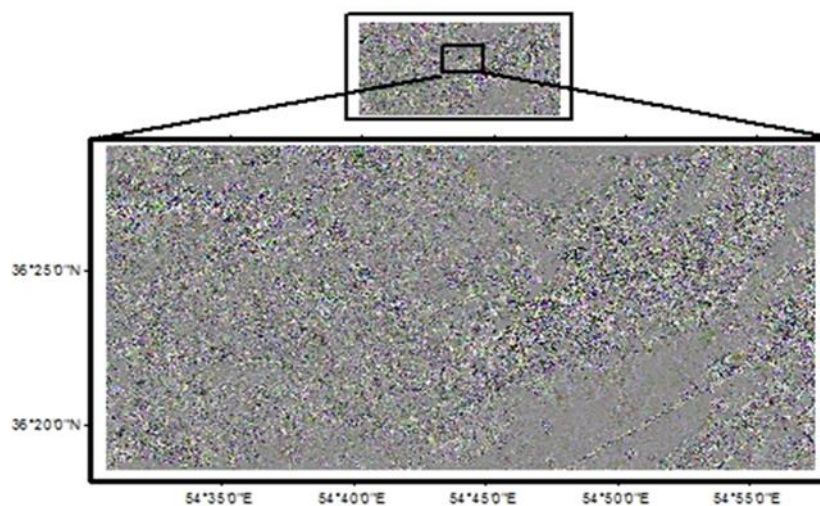
۴-۷-۲- تهیه نقشه خطواره

برای استخراج خطواره‌ها با نرم افزار از سه روش استفاده گردید: در روش اول ابتدا از باند ۸ تصویر لندست ۸ (باند پانکروماتیک) استفاده گردید. به این ترتیب که سه فیلتر جهت‌دار سابینز به کار گرفته شد. جدول ۳-۷ این فیلترها را نمایش می‌دهد.

جدول ۳-۷: فیلترهای جهت‌دار سابینز

کرنر غربی شرقی		کرنر شمال شرقی جنوب غربی		کرنر شمال غربی جنوب شرقی	
۰	-۲	۰	-۲	۰	۰
۰	۴	۰	۰	۴	۰
۰	-۲	۰	۰	۰	-۲

جدول ۳-۷ در ENVI پیاده‌سازی شد و از ترکیب RGB آن‌ها در محیط GIS اقدام به استخراج خطواره‌ها گردید. خطواره‌های حاصل از این روش در شکل ۳-۱۴ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که فیلترهای جهتی برای بارزسازی خطواره‌هایی که دارای روند خاصی هستند استفاده می‌شود و کاربرد آن‌ها بیشتر در بررسی خطواره‌های زمین‌شناسی است.



شکل ۳-۱۴: استخراج خطواره‌ها با فیلتر Sobins

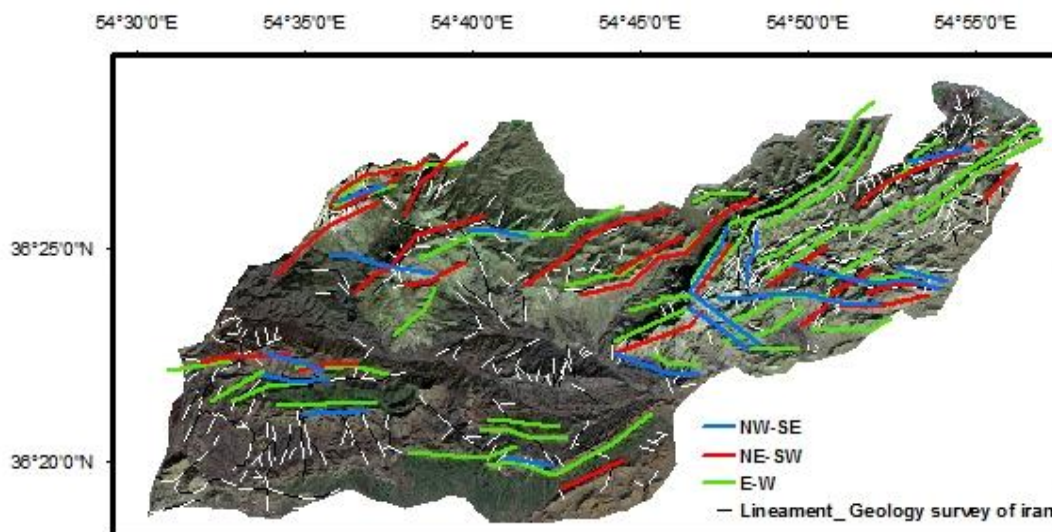
در روش دوم از باند ۷ ماهواره لندست ۸ استفاده گردید. در این روش از فیلتر Sobel در ۴ جهت اصلی

استفاده شد. جدول ۳-۸ فیلترهای جهتی Sobel را نمایش می‌دهد.

جدول ۳-۸: فیلترهای جهتی Sobel

N-S			N.E-S.W			E-W			N.W-S.E		
-۱	۰	۱	-۲	-۱	۰	-۱	-۲	-۱	۰	۱	۲
-۲	۰	۲	-۱	۰	۱	۰	۰	۰	-۱	۰	۱
-۱	۰	۱	۰	۱	۲	۱	۲	۱	-۲	-۱	۰

بعد از اعمال فیلتر روی باند ۷ با استفاده از الگوریتم Extract lineament در نرم‌افزار GEOMATICA خطواره‌ها در ۴ جهت استخراج و در محیط GIS با استفاده از نقشه زمین‌شناسی پایه منطقه مورد مطالعه و تصویر گوگل ارث، اصلاح گردید. شکل ۳-۱۵ نتایج این روش را نمایش می‌دهد.



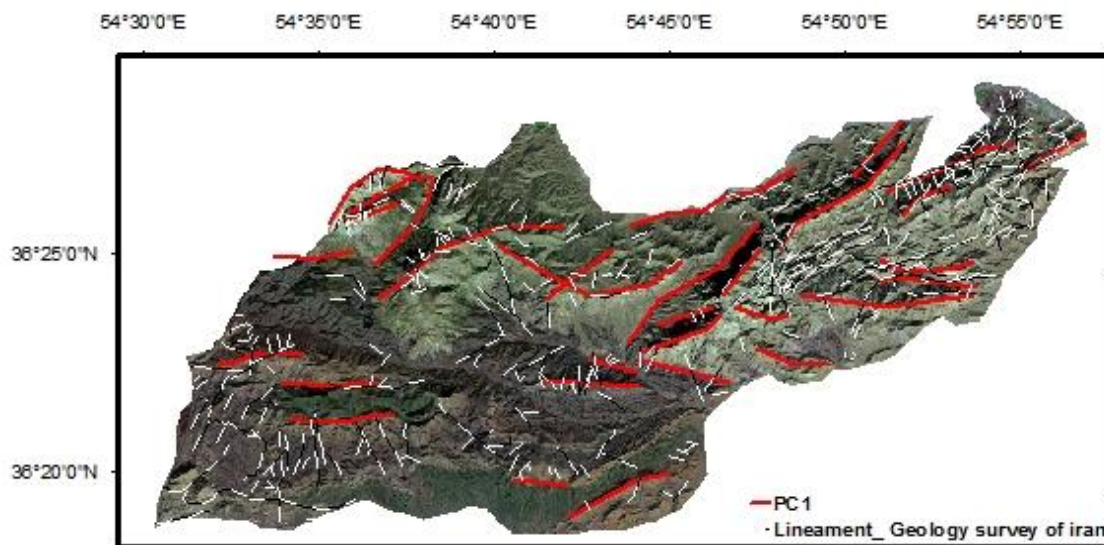
شکل ۳-۱۵: استخراج خطواره با فیلترهای Sobel و مقایسه با خطواره‌های نقشه زمین‌شناسی (خطوط سفید رنگ)

در روش سوم با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی PCA که روی ۷ باند اعمال شد و الگوریتم استخراج خطواره^۱ در نرم افزار جئوماتیکا^۲ که مخصوص استخراج خطواره‌ها می‌باشد، خطواره‌ها را برای PC1 که بیشترین همبستگی دارد از طریق الگوریتم ذکر شده استخراج کرده و در محیط GIS تصحیحات لازم (حذف خطواره‌های مشکوک مانند مسیر جاده‌ها و یا آبراهه‌ها) انجام شد. شکل ۳-۱۶ نتایج روش تحلیل

^۱ Extract Lineament

^۲ Geomatica

مولفه های اصلی را نمایش می دهد.



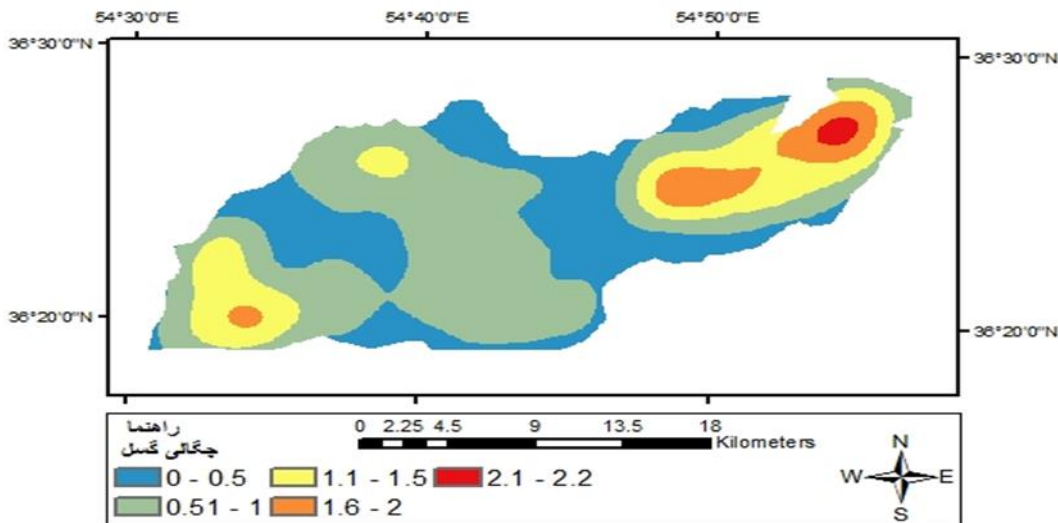
شکل ۳-۱۶: استخراج خطواره از مولفه اصلی اول و مقایسه با گسل زمین شناسی (خطوط سفید رنگ)

بعد از مقایسه خروجی روش های ذکر شده برای استخراج خطواره، خروجی روش دوم بیشترین انطباق را با خطواره های منطقه داشت. با استفاده از این خروجی و نقشه زمین شناسی ایران، نقشه چگالی گسل منطقه با استفاده از دستور Kernel Density استخراج (شکل ۳-۱۷) و دسته بندی شد و مطابق جدول

۳-۹ در پنج دسته تقسیم بندی گردید

جدول ۳-۹: وزن دهی لایه خطواره ها (Km/Km^2)

کلاس	وزن
۰-۰/۵	خیلی ضعیف
۰/۵۱-۱/۰	ضعیف
۱/۱-۱/۵	متوسط
۱/۶-۲	خوب
۲/۱-۲/۲	عالی



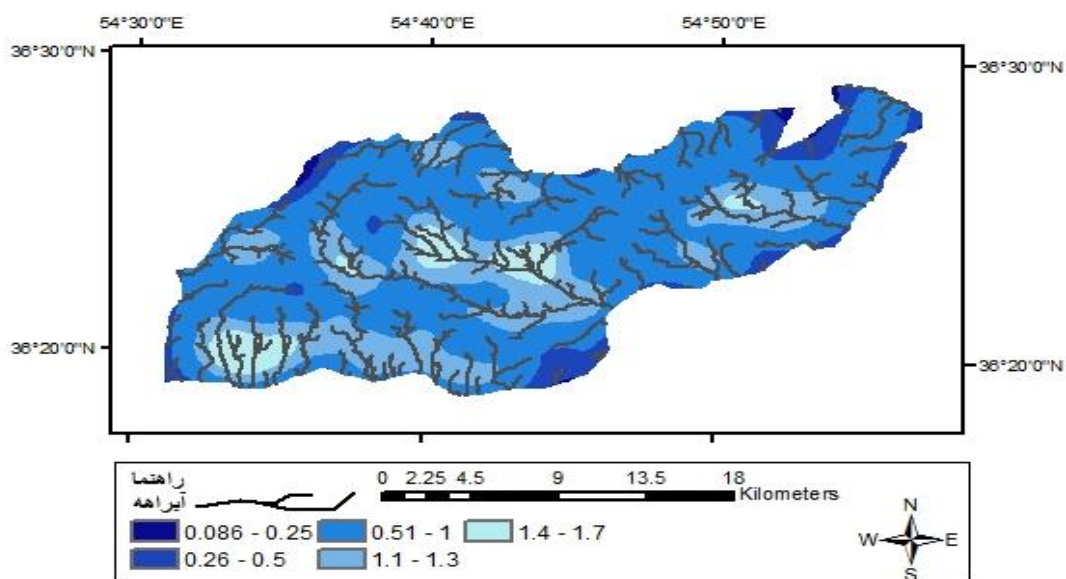
شکل ۳-۱۷: تراکم خطواره‌ها

۳-۷-۴- تهیه نقشه آبراهه

جهت تهیه لایه رستری چگالی آبراهه‌های حوضه، با معرفی مدل رقومی ارتفاعی منطقه مورد مطالعه به محیط نرم‌افزار ArcGIS، به ترتیب تابع جهت جریان، انباشتگی جریان و تعیین رده رودخانه اجرا گردید (شکل ۳-۱۸). سپس با استفاده از تابع Kernel Density در محیط ArcGIS لایه رستر چگالی آبراهه تهیه و در پنج دسته با دستور Reclassify تقسیم‌بندی گردید. نحوه امتیازدهی برای لایه تراکم آبراهه هم بدین صورت می‌باشد که طبقاتی که دارای تراکم بیشتری هستند، به خاطر نفوذ پایینی که دارند، کمترین امتیاز و به همین ترتیب به سمت تراکم کمتر، امتیاز بیشتری داده شده است جدول ۳-۱۰.

جدول ۳-۱۰: وزن‌دهی لایه آبراهه (Km/Km^2)

کلاس	وزن
۱/۴ - ۱/۷	خیلی ضعیف
۱/۱ - ۱/۳	ضعیف
۰/۵۱ - ۰/۱	متوسط
۰/۲۶ - ۰/۵	خوب
۰/۰۸۶ - ۰/۲۵	عالی



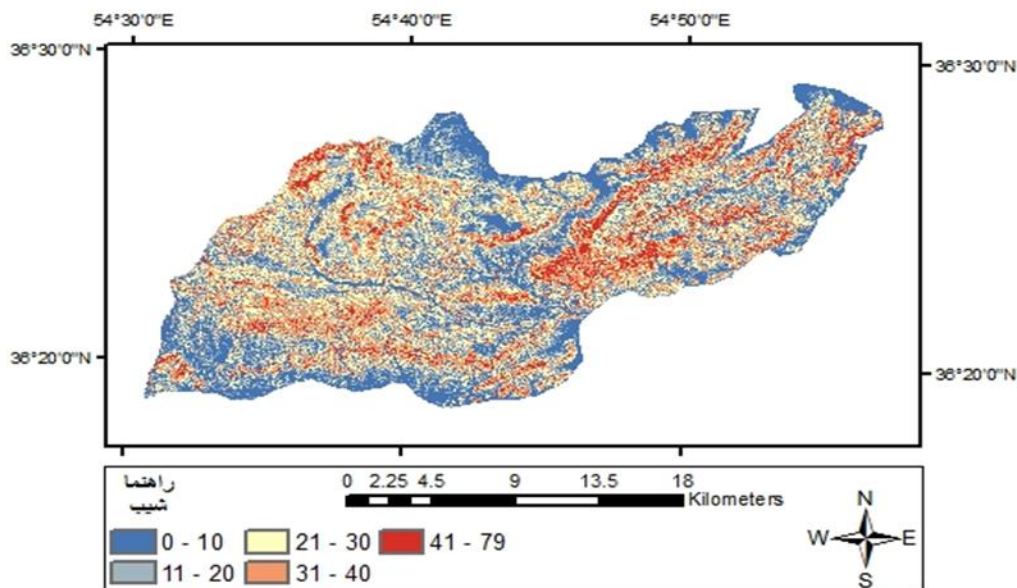
شکل ۳-۱۸: نقشه تراکم آبراهه‌ها

۴-۷-۴ - تهیه نقشه شیب

برای تهیه لایه شیب، با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه (DEM) و به کارگیری توابع با اعمال الگوریتم Slope این لایه بر حسب درجه تهیه شده است. با استفاده از دستور Reclassify در منوی Spatial Analyst Tools، نقشه شیب منطقه در ۵ دسته تقسیم‌بندی گردید شکل ۳-۱۹. در مناطق با شیب کمتر سرعت رواناب کمتر و نفوذ بیشتر، بیشترین امتیاز و برعکس امتیازدهی شد (جدول ۳-۱۱).

جدول ۳-۱۱: وزن‌دهی لایه شیب

وزن	کلاس (درجه)
خیلی ضعیف	۴۱-۷۹
ضعیف	۴۰-۳۱
متوسط	۲۱-۳۰
خوب	۱۱-۲۰
عالی	۰-۱۰



شکل ۳-۱۹: نقشه شیب منطقه

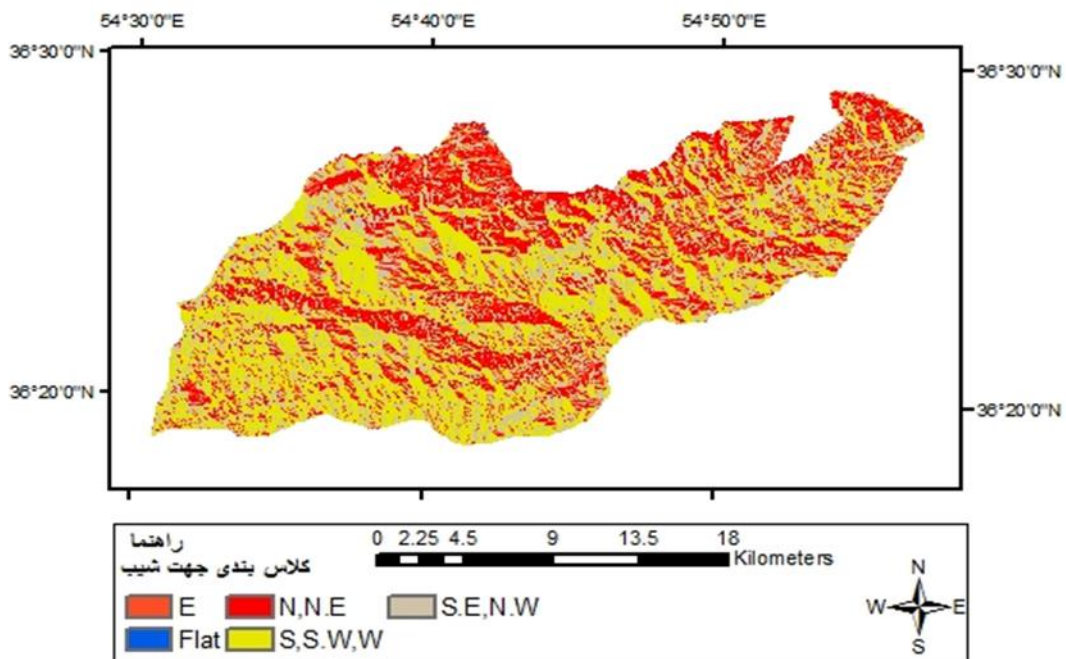
۴-۷-۵- تهیه نقشه جهت شیب

شکل ۳-۲۰ نقشه جهت شیب در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برای تهیه این نقشه از DEM منطقه در محیط نرم افزار Arc GIS در قسمت Surface Analysis از گزینه Aspect استفاده شود. در این نقشه دامنه‌های شمالی و شمال غربی به علت بارش بیشتر و تبخیر کمتر، بیشترین وزن و منطقه جنوب، جنوب شرق و شرق به خاطر تابش بیشتر، کمترین امتیاز را دریافت می‌کنند (جدول ۳-۱۲).

جدول ۳-۱۲: وزن‌دهی لایه جهت شیب

کلاس	وزن
جنوب، جنوب شرق و شرق	خیلی ضعیف
جنوب غرب و شمال شرق	ضعیف
سطح صاف	متوسط
غرب	خوب
شمال و شمال غرب	عالی

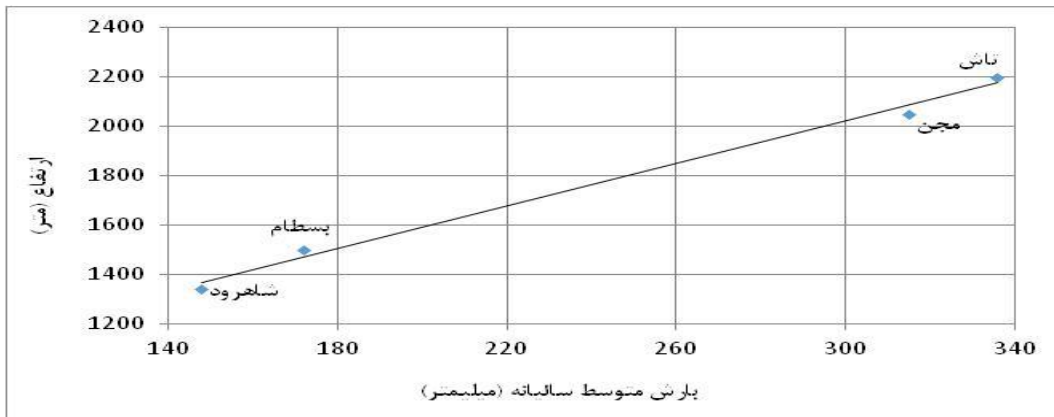
برای طبقه‌بندی نقشه جهت شیب از دستور Reclassify استفاده شده است.



شکل ۳-۲۰: نقشه طبقه‌بندی شده جهت شیب

۴-۷-۶- تهیه نقشه بارش

با توجه به این که حجم بارش در توسعه و پتانسیل آب‌های زیرزمینی اهمیت بسیاری دارد، اقدام به تهیه این لایه اطلاعاتی شد. با توجه به کوهستانی بودن منطقه و عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی، از داده‌های بارش متوسط ۱۰ سال اخیر ایستگاه‌های مجاور (تاش، مجن، بسطام و شاهرود) استفاده شده است که شکل ۳-۲۱ نمودار بارش- ارتفاع منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بعد از کسب معادله ۳-۴، منطقه مطالعاتی را به پنج زون برحسب ارتفاع تقسیم و مقدار بارش متوسط از معادله محاسبه می‌شود. بعد انجام محاسبات، DEM منطقه در محیط ArcGIS، برحسب زون‌های ارتفاعی و مقدار بارش متوسط طبقه‌بندی می‌شود شکل ۳-۲۲.



شکل ۳-۲۱: نمودار بارش ارتفاع متوسط منطقه

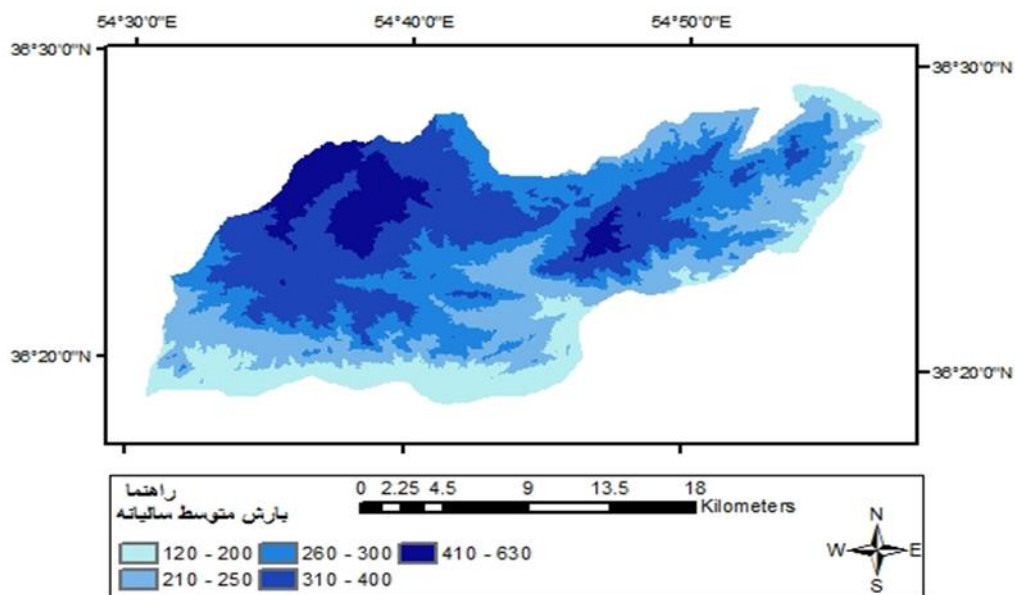
معادله ۳-۴ که از شکل ۳-۲۱ استخراج شده، ارتباط مستقیم بین بارش و ارتفاع را نشان می‌دهد:

$$\text{معادله ۳-۴} \quad \text{ارتفاع} = ۷۲۶/۶۷ + \text{بارش متوسط} \times ۴/۳۱۵$$

مطابق جدول ۳-۱۳ نقشه بارش به پنج دسته خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی طبقه‌بندی می‌شود.

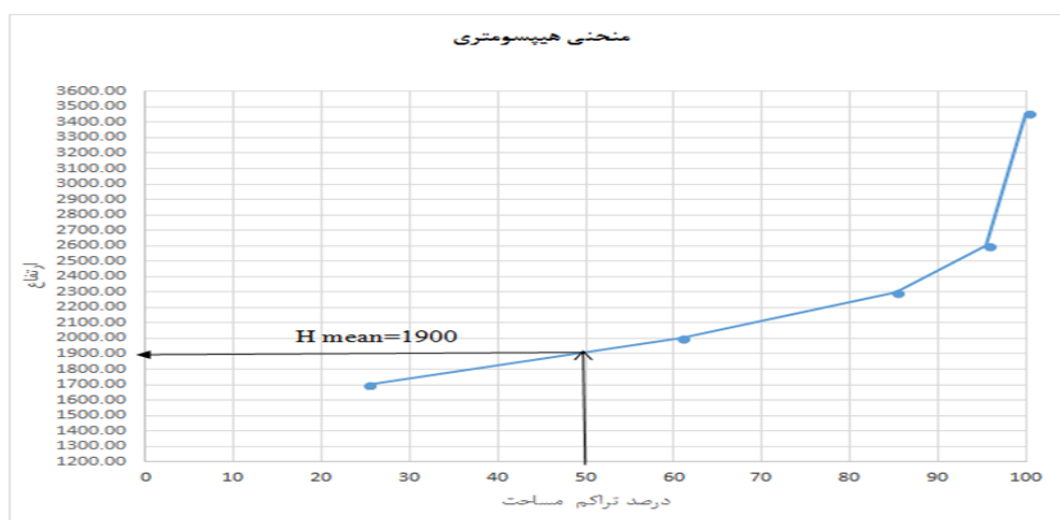
جدول ۳-۱۳: وزن دهی لایه بارش

کلاس (میلیمتر)	وزن
۱۲۰-۲۰۰	خیلی ضعیف
۲۱۰-۲۵۰	ضعیف
۲۶۰-۳۰۰	متوسط
۳۱۰-۴۰۰	خوب
۴۱۰-۶۳۰	عالی



شکل ۳-۲۲: لایه بارش منطقه

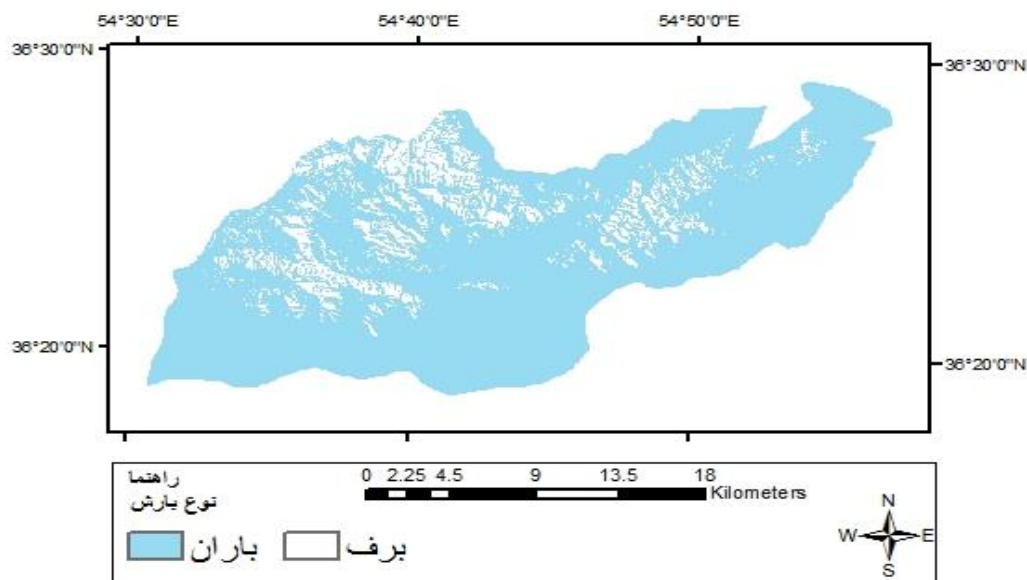
با استفاده از Zonal Statistics as Table که در منوی Zonal از جعبه ابزار Spatial Analyst Tools قرار دارد، اطلاعات آماری منطقه استخراج و با این اطلاعات منحنی هیپسومتری منطقه شکل ۳-۲۳ رسم می‌گردد. این نمودار بیانگر ارتفاع متوسط منطقه (۱۹۰۰ متر) بوده که طبق معادله ۳-۴، مقدار متوسط بارش تمام منطقه ۲۷۱/۸۶ میلیمتر می‌باشد. همچنین ارتفاع متوسط منطقه با استفاده از فرمول مقدار ۱۹۴۸/۵ متر به دست آمد که با عدد به دست آمده از منحنی مطابقت دارد.



شکل ۳-۲۳: منحنی هیپسومتری منطقه

۷-۷-۴- تهیه نقشه نوع بارش

با توجه به نظر کارشناس و داده‌های هواشناسی، مناطق شمال، شمال شرق و شرق با ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر برف و بقیه مناطق به عنوان باران در نظر گرفته شد. برای تهیه این نقشه، ابتدا نقشه جهت شیب به دو کلاس شمال، شمال شرق و شرق و مناطق دیگر در کلاس دوم طبقه بندی شد، سپس لایه ارتفاعی منطقه به دو کلاس با ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر و کمتر طبقه بندی گردید. سپس اشتراک هر دو نقشه کلاس بندی شده با دستور Raster Calculator در منوی Map Algebra محاسبه و نقشه نوع بارش شکل ۳-۲۴ تهیه شد و مطابق جدول ۳-۱۴ لایه برف و باران کلاس بندی شدند.



شکل ۳-۲۴: نقشه نوع بارندگی (برف یا باران) منطقه

جدول ۳-۱۴: وزن دهی لایه نوع بارش

کلاس	وزن
عالی	برف
متوسط	باران

فصل چهارم: تولید و تلفیق لایه های اطلاعاتی

۵-۱- مقدمه

جهت اعمال تحلیل‌های تصمیم‌گیری، باید ارزش‌های موجود در نقشه‌های معیار تغییر کنند و تبدیل به واحدهای قابل مقایسه شوند. یعنی برای تلفیق نقشه‌های معیار مختلف، بایستی مقیاس‌ها قابل مقایسه باشند. نقشه‌های معیار می‌توانند بر اساس نوع اطلاعات موجود جهت استخراج نقشه‌ها به صورت قطعی و روش سلسله‌مراتبی طبقه‌بندی شوند. روش خطی متداولترین روش تغییر مقیاس قطعی است که برای تغییر داده‌های ورودی به نقشه‌های معیار قابل مقایسه به کار می‌رود. علاوه بر آن از AHP نیز می‌توان برای تهیه و تولید نقشه‌های معیار قابل مقایسه استفاده کرد. در این بخش استانداردسازی نقشه‌های معیار به صورت AHP و روش‌های وزن‌دهی انجام شده است.

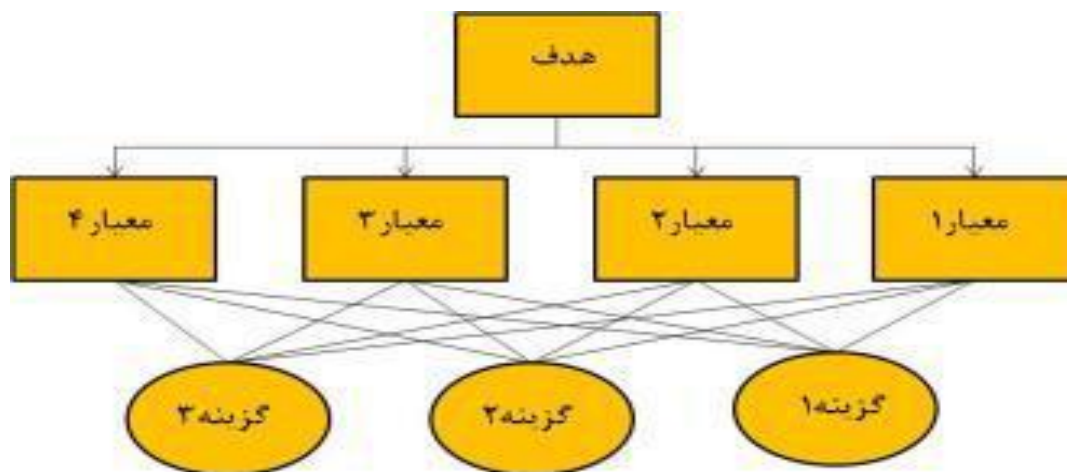
۵-۲- فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، مسائل مشکل و پیچیده را تجزیه و به شکلی ساده تبدیل کرده و به حل آن‌ها می‌پردازد. روش AHP، یکی از جامعترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه می‌باشد، زیرا این تکنیک امکان فرموله کردن مسأله را به صورت سلسله‌مراتبی فراهم می‌کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد، علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده، که قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌نماید و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد که از مزایای ممتاز این تکنیک در تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد (قدسی‌پور ۱۳۸۵). فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل ایجاد سلسله‌مراتب، مقایسه زوجی عناصر و محاسبه وزن و محاسبه نرخ ناسازگاری می‌باشد (عظیمی‌حسینی ۱۳۸۹) که در زیر به اختصار توضیح داده می‌شوند:

۵-۲-۱- ایجاد سلسله‌مراتب

سلسله‌مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسأله پیچیده واقعی می‌باشد که در رأس آن هدف کلی و در سطوح

بعدی معیارها و گزینه‌ها قرار دارند شکل ۵-۱ معیارهای موجود در هر سطح به ترتیب از سطوح پایین به بالا نسبت به کلیه عناصر مرتبط در سطوح بالاتر ارزیابی می‌شوند. بدین ترتیب گزینه‌های تصمیم بر اساس آخرین سطح خطی وزنی‌های تصمیم ارزیابی می‌شوند (قدسی پور ۱۳۸۵).



شکل ۵-۱: ساختار سلسله مراتب (قدسی پور، ۱۳۸۵)

۵-۲-۲- مقایسه زوجی و محاسبه وزن معیارها

در این مرحله جهت محاسبه وزن هر معیار، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی معیارها ایجاد شده و مقایسه دوتایی معیارها بر اساس قضاوت شفاهی تصمیم‌گیران انجام می‌شود. این قضاوت‌ها توسط ساعتی (Saaty 1990) به صورتی اعداد از ۱ تا ۹ مشخص گردیده است (جدول ۵-۱).

جدول ۵-۱: مبنای مقایسات زوجی پارامتر (Saaty 1990)

کاملاً مرجح	ترجیح خیلی قوی	ترجیح قوی	کمی مرجح	ترجیح یکسان	ترجیح بین فواصل
۹	۷	۵	۳	۱	۲، ۴، ۶ و ۸

۵-۲-۳- محاسبه نرخ ناسازگاری

پس از محاسبه وزن معیارها، بایستی نسبت به سازگاری مقایسات، اطمینان حاصل شود و نرخ سازگاری

(CR^۱) محاسبه گردد. در تحلیل خطی وزنی سازگاری، چنانچه این مقدار کمتر از ۰/۱ باشد، مقایسات از سازگاری قابل قبولی برخوردار بوده و محاسبات به درستی انجام شده است، در غیر این صورت باید در مقایسات تجدید نظر شود (عظیمی حسینی ۱۳۸۹).

۵-۳- وزن دهی نقشه‌های معیار

وزن هر معیار نشان دهنده میزان اهمیت و ارزش آن نسبت به معیارهای دیگر است. با توجه به اینکه میزان تأثیر هر پارامتر در هدف مورد نظر متفاوت می‌باشد، بنابراین، یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق نقشه‌های معیار تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترها و اختصاص وزن به هر کدام از آنها می‌باشد. غالباً وزن دهی بر پایه دانش کارشناسی و براساس نظر متخصصین با در نظر گرفتن فاکتورهای مختلف مانند محدوده مطالعاتی، پارامترهای مکان‌یابی و تأثیر هر یک از پارامترها صورت می‌گیرد. یکی از مزایای وزن دهی، سادگی و قابل اعتماد بودن و از معایب آن می‌توان به خطای کارشناسان در برآورد وزن خام پارامترها اشاره نمود (عظیمی حسینی ۱۳۸۹). برخی از روش‌های پرکاربرد وزن دهی که به طور کلی در تصمیم‌گیری چند معیاره و با استفاده از دانش کارشناسی صورت می‌گیرد، عبارتند از روش‌های نسبتی^۲، رتبه‌ای^۲ و مقایسه زوجی^۳. این روش‌ها در دقت، سهولت کاربرد، اصول تئوریک و قابل فهم بودن برای تصمیم‌گیران متفاوت‌اند که در ادامه توضیحی مختصر درباره آنها ارائه می‌شود

۵-۳-۱- مدل وزنی رتبه‌ای

ساده‌ترین روش اختصاص دادن وزن به معیارها، مرتب نمودن آنها به صورت رتبه‌ای بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده می‌باشد. دادن رتبه بر اساس نظر کارشناسی صورت می‌گیرد و رتبه‌بندی معیارها می‌تواند به صورت مستقیم (مهم‌ترین معیار = ۱، مهم‌ترین معیار بعدی = ۲ و ...) یا معکوس (معیار

^۱ Consistency Rate

^۲ Rating

^۳ Pair wise Comparison

بی‌اهمیت = ۱ و کم‌اهمیت بعدی = ۲ و ... انجام گیرد. پس از مرتب نمودن معیارها می‌توان اوزان نهایی معیارها با استفاده از روش جمع رتبه^۱ معادله ۱-۵ محاسبه نمود.

$$R_i = \frac{\sum_j w_j \times r_{ij}}{\sum_j w_j} \quad \text{معادله ۱-۵}$$

در معادله بالا R وزن کلاس مورد نظر، W_j مقدار وزن معیار ورودی و r_{ij} امتیاز ژامین کلاس از iامین نقشه معیار می‌باشد.

۵-۳-۲- مدل وزنی مقایسه زوجی

این روش وزن دهی، بخشی از روش AHP می‌باشد که در سال ۱۹۸۰ برای اولین بار توسط توماس ساعتی (Saaty 1990) طرح گردیده است. در روش وزن دهی مقایسه زوجی، معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه شده و بر حسب اهمیت پارامترها نسبت به یکدیگر از اعداد ۹ تا ۱ بر اساس جدول ۱-۵ تعیین می‌گردد. جهت این مقایسه ماتریس پارامتر تشکیل داده و وزن نسبی هر پارامتر به دست می‌آید. این ماتریس خاصیت سازگاری به عنوان خطی وزنی سازگاری (CR) شناخته می‌شود. ساعتی نشان داد که برای ماتریس با نرخ CR بیشتر از ۰/۱ باید ارزیابی‌ها دوباره انجام شود (Gintamo 2010).

۵-۴- تلفیق نقشه‌های معیار به روش همپوشانی خطی وزنی

جهت تعیین مکان‌هایی که بهترین اشتراک برای همه معیارها می‌باشد، از مدل‌های همپوشانی استفاده می‌شود. با توجه به معیارهای انتخاب شده و بررسی و ارزیابی همه جانبه مدل‌های دیگر روش همپوشانی وزنی^۲ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش معمولی در مدلسازی GIS تخمین مقادیر عددی برای هر ویژگی مکانی در یک عامل و کلاس‌بندی

^۱ Rank Sum

^۲ Weighted Index Overlay (WIO)

مقادیر عددی بر روی هر یک دسته بر اساس روش تحلیل خطی وزنی می‌باشد. این روش اهمیت نسبی پارامترها و کلاس‌های متعلق به هر پارامتر را بررسی می‌کند. هیچ مقیاس استاندارد برای هم‌پوشانی ساده وجود ندارد. برای این هدف، معیار برای تحلیل تعریف شده و برای هر پارامتر باید یک اهمیت اختصاص یابد (Murugesan et al. 2011).

$$S = \sum_{i=0}^n w_i \times x_i \quad \text{معادله ۲-۵}$$

در معادله ۲-۵، S میزان قابلیت، w_i وزن هر معیار، X_i ارزش استاندارد شده هر معیار می‌باشد.

۵-۵- استاندارد سازی و رتبه‌بندی نقشه‌های معیار

در این بخش برای استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی، به معیارها و گزینه‌ها متناسب با تجربه و تخصص فرد کارشناس مقادیری تعلق می‌گیرد. برای تخصیص وزن‌ها از دو روش رتبه‌بندی و تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد.

۵-۵-۱- روش رتبه‌بندی تجمعی ساده

در این روش به معیارها و گزینه‌ها بر اساس تجربیات فرد یا گروه امتیاز و ارزش تعلق می‌گیرد که ضرایب متغیر نامیده می‌شود و نقشه هر یک از معیارها بر اساس آن ارزش‌ها در GIS طبقه‌بندی می‌شوند. در روش SAW معیارهای ارزیابی باید از همدیگر مستقل باشند و هیچ همبستگی بین معیارها وجود نداشته باشد. در غیر این صورت ممکن است به نتایج اشتباه انجامد. اولین مرحله وزن‌دهی به روش SAW، تعریف وزن معیارها است که در جدول ۲-۴ وزن هر لایه تعیین شده است.

۵-۵-۲- استانداردهای روش AHP

جهت تهیه لایه‌های اطلاعاتی قابل مقایسه به روش AHP، ابتدا ماتریس مقایسه زوجی برای هر یک از معیارها در نرم افزار Expert Choice ایجاد می‌گردد. در یک ماتریس، مقایسه دو به دو که بیانگر اولویت نسبی فاکتورها است، بیان می‌شود. بنابراین بایستی مقادیر عددی مربوط به اولویت‌بندی و اهمیت نسبی یک فاکتور نسبت به دیگری، اختصاص داده شود. بدین جهت، کلاس‌های هر لایه به ترتیب کاهش اهمیت جهت سهولت مقایسه دوتایی مرتب می‌گردد. پس از مقایسه دو به دو کلاس‌های هر معیار، بر اساس اهمیت هر کلاس نسبت به یکدیگر اعدادی از ۱ تا ۹ بر اساس روش ساعتی اختصاص داده شد.

سپس با اجرای نرم‌افزار، وزن نهایی هر کلاس محاسبه می‌شود.

لازم به ذکر است که جمع وزن‌های کلاس‌های هر یک از معیارها برابر یک می‌باشد. همان‌طور که در جدول ۴-۵ مشاهده می‌شود، تمامی نقشه‌های معیار از محدوده ۰ تا ۱ تغییر می‌کند که نشان‌دهنده قابل مقایسه بودن این نقشه‌ها می‌باشد.

اهمیت فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی کنترل سازگاری سیستم است. اگر مقادیر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری ماتریس تصمیم‌گیری قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت خود تجدید نظر کند. CR از تقسیم شاخص سازگاری (CI)^۱ بر مقدار شاخص تصادفی (RI) به دست می‌آید. ساعتی برای کسب مقادیر شاخص‌های تصادفی (RI) جدول ۲-۵، ۱۰۰ ماتریس را با اعداد تصادفی تشکیل و مقادیر ناسازگاری و میانگین آن‌ها را محاسبه نمود.

جدول ۲-۵: مقادیر RI

n	۱	۰	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
RI	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

^۱ Consistency Index

همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ ناسازگاری برای تمامی لایه‌ها کمتر از ۰/۱ محاسبه شده است. برای اعمال وزن‌های به دست آمده از روش AHP به لایه‌ها، ابتدا یکبار لایه‌ها را از حالت رستر به وکتور از منوی Conversion tool، گزینه From Raster را انتخاب و تبدیل انجام می‌شود. سپس وزن‌های هر لایه را در جدول با استفاده از Open Attribute Table تعریف و مجدداً لایه وکتوری به رستر برای ادامه محاسبات تبدیل خواهد شد.

جدول ۳-۵: وزن کلاس معیارها به روش SAW

رتبه اولیه SAW	طبقات	معیار	رتبه اولیه SAW	طبقات	معیار				
۹	N, N.E	جهت شیب	۹	J_1, Ku^l	لیتولوژی				
۷	E		۷	$Tre, Tre_1, Tre_2, E_z, E_K, J_d, D J_3$					
۴	F					۶	ϵ_{bt}		
۳	S.E, N.W							۵	Ng^c, C_s, Pgf_1
۲	S, S.W, W								
۸	۱/۴ - ۱/۷	تراکم آبراهه	۴	$\epsilon_{m_{2-5}}$					
۷	۱/۱ - ۱/۳		۳	$\epsilon_1, Js_3, \epsilon_z$					
۵	۰/۵۱ - ۱/۰		۲	$\epsilon_{m_i}, PE_{br}, Ol$					
۳	۰/۲۶ - ۰/۵		۱	Q^{tl}, Q^{al}					
۱	۰/۰۸ - ۰/۲۵		۹	۲/۱ - ۲/۲					
۹	۴۱۰ - ۶۳۰	لایه بارش	۸	۱/۶ - ۲/۰	تراکم خطواره				
۸	۳۱۰ - ۴۰۰		۵	۱/۱ - ۱/۵					
۶	۲۶۰ - ۳۰۰		۳	۰/۵۱ - ۱/۰					
۴	۲۱۰ - ۲۵۰		۲	۰/۰ - ۰/۵					
۳	۱۲۰ - ۲۰۰		۹	۰ - ۱۰					
۹	برف	لایه نوع بارش	۸	۱۱ - ۲۰	شیب				
			۵	۲۱ - ۳۰					
۵	باران		۳	۳۱ - ۴۰					
		۱	۴۱ - ۷۹						

جدول ۴-۵: ماتریس مقایسه زوجی و رتبه‌بندی معیارها در مدل AHP جهت پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی

رتبه استاندارد شده (AHP)	ϵ_{m1} PC_{br} $O1$ Q^{al} Q^{tl}	ϵ_1 JS_3 ϵ_z	Ng^c ϵ_s Pgf1 $\epsilon_{m 2-5}$	Tre J _d Tre ₁ Tre ₂ E _K E _Z D j ₃ ϵ_{bt}	J1 kul	لیتولوژی
۰/۵۲۱	۹	۵	۳	۲	۱	J1 ,kul
۰/۲۴۳	۶	۴	۲	۱	۰/۵	Tre J _d Tre ₁ Tre ₂ E _K E _Z D j ₃ ϵ_{bt}
۰/۱۲۹	۴	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳	Ng^c ϵ_s Pgf1 $\epsilon_{m 2-5}$
۰/۰۶۹	۲	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲	ϵ_1, JS_3 ϵ_z
۰/۰۳۸	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۱۶	۰/۱۱	ϵ_{m1} PC_{br} $O1$ Q^{al} Q^t

CR = ۰/۰۵۷

رتبه استاندارد شده (AHP)	۰/۰ - ۰/۵	۰/۵۱ - ۱/۰	۱/۱ - ۱/۵	۱/۶ - ۲/۰	۲/۱ - ۲/۲	چگالی خطواره (KM/KM ²)
۰/۴۹	۵	۴	۳	۲	۱	۲/۱-۲/۲
۰/۲۴	۴	۳	۲	۱	۰/۵	۱/۶-۲/۰
۰,۱۳۸	۳	۲	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۱-۱/۵
۰/۰۸۲	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۵۱ - ۱/۰
۰/۰۵۰	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۰ - ۰/۵

CR = ۰,۰۰۶۴

رتبه استاندارد شده (AHP)	۴۱-۷۹	۳۱-۴۰	۲۱-۳۰	۱۱-۲۰	۰-۱۰	شیب (درجه)
۰/۵۱۳	۵	۴	۳	۲	۱	۰-۱۰
۰/۲۶۱	۵	۳	۲	۱	۰/۵	۱۱-۲۰
۰/۱۲۹	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳	۲۰-۳۰
۰/۰۶۳	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲۵	۳۱-۴۰
۰/۰۳۳	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲	۰/۲	۴۱-۷۹

CR = ۰/۰۵

جهت شیب	N_NE	E	F	S.E N.W	S S.W_ W	رتبه استاندارد شده (AHP)
N_N.E	۱	۲	۳	۴	۵	۰/۵۲۵
E	۰/۵	۱	۲	۳	۵	۰/۲۵۶
F	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۰/۱۲۶
S.E N.W	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۰/۰۶۰
S S.W_W	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۰۳۳

CR = ۰/۰۶۳

چگالی آبراهه (km/km ²)	۱/۴ - ۱/۷	۱/۱ - ۱/۳	۰/۵۱ - ۱/۰	۰/۲۶ - ۰/۵	۰/۰۸ - ۰/۲۵	رتبه استاندارد شده (AHP)
۱/۴ - ۱/۷	۱	۲	۳	۴	۵	۰/۵۱۰
۱/۱ - ۱/۳	۰/۵	۱	۲	۳	۵	۰/۲۷۰
۰/۵۱ - ۱/۰	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۳	۰/۱۲۶
۰/۲۶ - ۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳	۰/۵	۱	۲	۰/۰۶۲
۰/۰۸ - ۰/۲۵	۰/۲	۰/۲	۰/۳۳	۰/۵	۱	۰/۰۳۱

CR = ۰/۰۵۱

رتبه	استاندارد شده (AHP)	۱۲۰-۲۰۰	۲۱۰-۲۵۰	۲۶۰-۳۰۰	۳۱۰-۴۰۰	۴۱۰-۶۳۰	مقدار بارش (mm)
۰/۵۱۳	۷	۵	۳	۲	۱	۴۱۰-۶۳۰	
۰/۲۶۱	۵	۳	۲	۱	۰/۵	۳۱۰-۴۰۰	
۰/۱۲۹	۴	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳	۲۶۰-۳۰۰	
۰/۰۶۳	۳	۱	۰/۵	۰/۳۳	۰/۲	۲۱۰-۲۵۰	
۰/۰۳۳	۱	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۴	۱۲۰-۲۰۰	

CR = ۰/۰۵۵

رتبه	استاندارد شده (AHP)	باران	برف	نوع بارش
۰/۶۶۷	۲	۱	برف	برف
۰/۳۳۳	۱	۰/۵	باران	باران

CR = ۰,۰

۵-۶- وزن دهی به نقشه‌های معیار

نظر به اینکه میزان تأثیر هر یک از معیارها در امر پتانسیل یابی یکسان نبوده و اهمیت متفاوت دارند، لذا یکی از مراحل مهم پیش از تلفیق نقشه‌های معیار، تعیین اهمیت نسبی هر یک از پارامترها و اختصاص وزن به هر کدام از آنها می‌باشد. بدین منظور از روش وزن دهی بر اساس مقایسه زوجی معیارها در قالب

روش AHP و SAW استفاده شده است. جهت وزن دهی معیارها به روش AHP ابتدا ماتریس مقایسه زوجی در نرم افزار Expert Choice ایجاد گردید و همه معیارها براساس اهمیت مرتب شدند. سپس با اعمال قضاوت کارشناسی و تجزیه و تحلیل اطلاعات موجود، اعدادی بین ۹ تا ۱ اختصاص یافت و نهایتاً وزن لایه‌ها بر اساس روش AHP تعیین شد. بهترین گروه‌های وزنی اختصاص یافته به لایه‌های لیتولوژی و تراکم خطواره به صورت جدول ۵-۵ می‌باشد. لایه لیتولوژی با توجه به اهمیت زیاد آن در پتانسیل یابی، بیشترین وزن را به خود اختصاص می‌دهد. نرخ سازگاری ۰,۰۰۴ محاسبه شد که صحت مقایسه زوجی و تعیین وزن را تأیید می‌کند.

جدول ۵-۵: وزن دهی معیارها بر اساس روش AHP

وزن AHP	آبراهه	نوع بارش	جهت شیب	شیب	بارش	خطواره	لیتولوژی	معیارها
۰/۳۵۱	۷	۷	۷	۶	۴	۲	۱	لیتولوژی
۰/۱۷۱	۵	۵	۵	۳	۲	۱		خطواره
۰/۱۷۱	۳	۳	۳	۲	۱			بارش
۰/۰۷۲	۳	۳	۲	۱				شیب
۰/۰۷۸	۱	۱	۱					جهت شیب
۰/۰۷۸	۱	۱						نوع بارش
۰/۰۷۸	۱							آبراهه

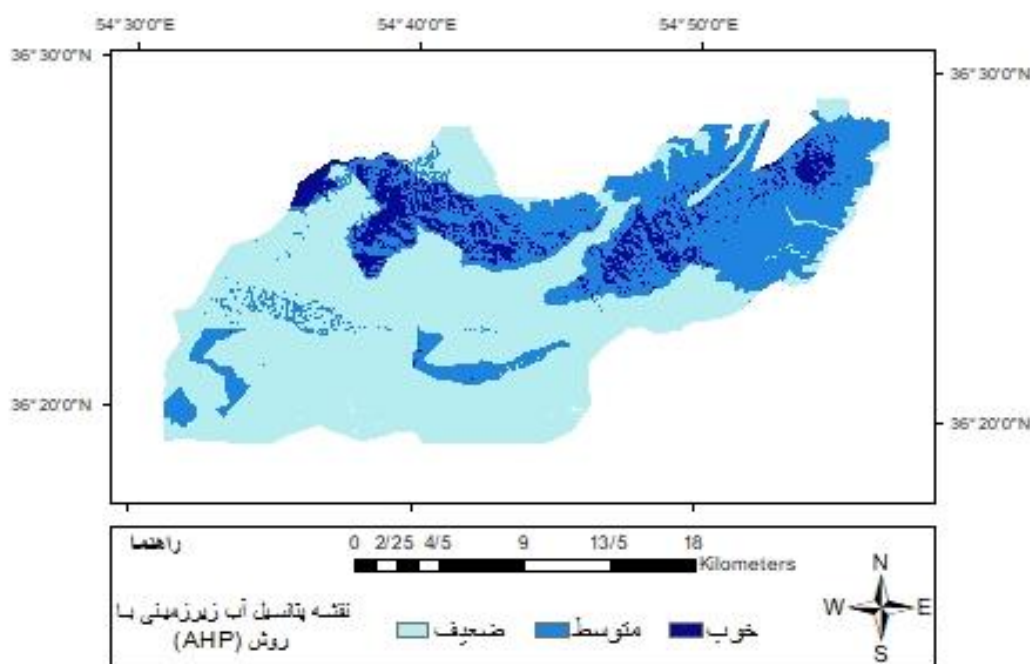
CR = ۰,۰۰۴۵

جدول ۶-۵: وزن دهی معیارها بر اساس روش SAW

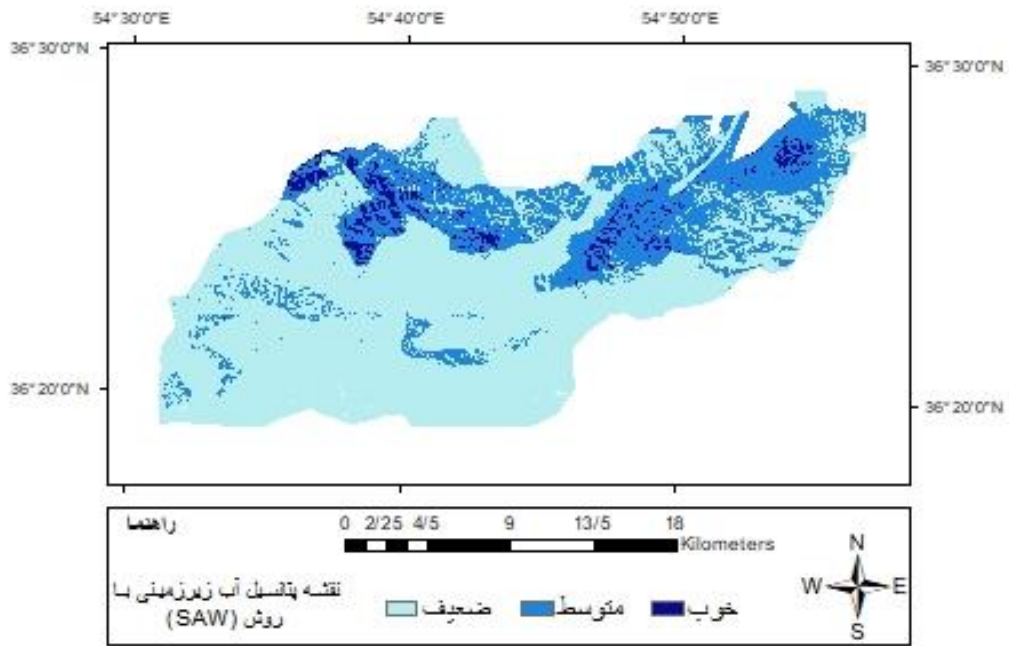
آبراهه	نوع بارش	جهت شیب	شیب	بارش	خطواره	لیتولوژی	وزن لایه‌ها
۵	۴	۳	۳	۶	۷	۹	SAW

۵-۷- تلفیق نقشه‌های معیار

در این تحقیق مدل هم‌پوشانی خطی وزنی با توجه به وزن معیارها و کلاس‌های مربوط به هر یک از آن‌ها استفاده شده و مسئله به صورت خطی حل می‌گردد. نقشه نهایی پتانسیل آب زیرزمینی یکبار با تلفیق نقشه‌های معیار تهیه شده به روش AHP شکل ۵-۲(الف) با توجه به وزن‌های محاسبه شده در جدول ۵-۵ و یک بار هم با تلفیق نقشه‌های معیار تهیه شده به روش SAW با در نظر گرفتن وزن‌ها در جدول ۵-۶ تهیه شده است (شکل ۵-۲(ب)).



(الف)



(ب)

شکل ۲-۵: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روش WLC (الف: روش AHP، ب: روش SAW)

فصل پنجم: اعتبار سنجی، نتایج و پیشنهادها

در این فصل نتیجه هر بخش در بین توضیحات به صورت خلاصه ارائه می‌گردد. هدف از این فصل بیان نتایج مطالعات انجام شده و همچنین پیشنهادهایی برای مطالعات بعدی ارائه می‌گردد.

۶-۱- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور بررسی پتانسیل منابع آب زیرزمینی در منطقه غرب و شمال غرب شاهرود از روش‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شده است. به این ترتیب لایه‌های اطلاعاتی لیتولوژی و خطواره با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر در نرم‌افزار (ENVI) به دست آمد و با نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از ارزیابی نشان داد که روش‌های موجود در سنجش از دور برای استخراج لایه‌های لیتولوژی و خطواره به تنهایی قابل قبول نبوده و برای داشتن نقشه‌ای دقیق نیازمند مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی متعدد توسط متخصصان با تجربه زمین‌شناسی می‌باشد. لایه‌های اطلاعاتی شیب و جهت شیب، تراکم آبراهه، بارش و نوع بارش در نرم‌افزار GIS استخراج و در نهایت لایه‌های اطلاعاتی با روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و رتبه‌بندی تجمعی تلفیق شدند و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی استخراج گردید.

۶-۱-۱- لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر منابع آب زیرزمینی

لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر پتانسیل منابع آب زیرزمینی متناسب با اقلیم منطقه و اطلاعات موجود، انتخاب و مورد بررسی قرار می‌گیرند. این عوامل شامل لیتولوژی خطواره‌ها، تراکم آبراهه‌ها، شیب، جهت شیب، بارش و نوع بارش می‌باشند.

با توجه به اهمیت بسیار بالای لیتولوژی در آبخوان‌های سازندی در مقایسه با سایر عوامل مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی بیشترین وزن به این پارامتر داده شد. سنگ‌های کربناته (به ویژه سنگ‌های آهکی) به علت انحلال‌پذیری بالا و پتانسیل تشکیل حفرات و مجاری انحلالی از اهمیت بالایی برخوردار

هستند. فضاهای انحلالی در سنگ‌های آهکی تنوع بسیار زیادی را شامل می‌شوند که ابعاد آن‌ها از خلل و فرج میکروسکوپی، غارها و کانال‌های بسیار بزرگ متغیر می‌باشند. ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها اشکال سیمانی شده ماسه‌ها و شن‌ها هستند و معمولاً دارای فضاهای خالی نسبتاً اندکی می‌باشند. مهم‌ترین فضاهایی که در این سنگ‌ها می‌تواند آب‌های زیرزمینی را در خود ذخیره نماید مربوط به شکستگی‌هایی است که در این سنگ‌ها به دلیل نیروهای تکتونیکی ایجاد شده است. شیل‌ها و مارن‌ها به دلیل این که بخش عمده آن‌ها از رس تشکیل شده است، تقریباً در تمام موارد از نفوذپذیری و ظرفیت ذخیره‌سازی بسیار پایینی برخوردار هستند. سنگ‌های آذرین و دگرگونی هم به ندرت به عنوان آبخوان‌های مناسبی عمل می‌کنند مگر این که توسط تکتونیک در آن‌ها درزه و شکستگی فراوانی ایجاد شده باشد.

طبق توضیحات گفته شده عامل مهم دیگر در پتانسیل آب زیرزمینی در سازندهای سخت، خطواره‌های منطقه می‌باشند که نقش مهمی در ایجاد خلل و فرج‌ها و نفوذپذیری سنگ‌ها دارند. بدین ترتیب که هرچه تراکم خطواره بیشتر می‌شود، پتانسیل آب زیرزمینی هم افزایش می‌یابد.

آبراهه‌ها (دره‌های زهکش) طبیعی هر منطقه بوده و غالباً نقاط ضعف و شکستگی‌های منطقه را نمایان می‌کنند. آبراهه‌ها معمولاً در محل عملکرد سطح اساس دارند و جهت جریان آب زیرزمینی به سمت این دره‌ها می‌باشد.

شیب توپوگرافی یک عامل مهم کنترل‌کننده میزان نفوذ آب به داخل زمین است. به این ترتیب که هر قدر شیب توپوگرافی بیشتر باشد، فرصت نفوذ کمتر و بالعکس هر قدر شیب توپوگرافی کمتر باشد مقدار نفوذ افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر این در سنگ‌های کربناته در مناطقی که شیب کمتر است، به علت فرصت نفوذ بیشتر فرآیند انحلال با شدت بیشتری عمل می‌کند. بنابراین توسعه‌یافتگی فضاهای انحلالی در این سنگ‌ها (به عبارت دیگر توسعه‌یافتگی کارست) بیشتر خواهد شد.

جهت شیب از نظر تأثیر آن در برخی فرایندهای هیدرولوژی، مانند ذوب برف‌ها، تبخیر و تعرق در تشکیل منابع آب زیرزمینی نقش دارند. مناطقی که بیشتر در معرض مستقیم نور خورشید قرار بگیرند، تبخیر

در آنها زیاد و ذوب برف‌ها سریع اتفاق خواهد افتاد.

نوع بارش و مقدار بارش نقش مهمی در مقدار نفوذ ایفا می‌کند. در مناطقی که بارش به شکل برف اتفاق می‌افتد، به دلیل ذوب تدریجی برف، مقدار نفوذ بیشتری را باعث می‌شود. علاوه بر این در مناطق کربناته در صورتی که بخش اعظم بارش به صورت برف باشد، نفوذپذیری بالاتر و همچنین انحلال بیشتر گاز کربنیک در آب‌های با دمای کمتر، باعث انحلال بیشتر سنگ‌های کربناته (به ویژه آهک) می‌شود.

۶-۱-۲- پردازش تصاویر و استخراج لایه‌های اطلاعاتی

در این تحقیق لایه اطلاعاتی لیتولوژی با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصویر که شامل ترکیب رنگی باندهای ۵، ۶ و ۷ برای آشکارسازی شیل، آهک و مناطق رسی و ترکیب ۱۰، ۱۱ و ۷ برای آشکارسازی سیلیکات و بخش‌های آهکی منطقه می‌باشند. طرح و بافت زهکشی همراه با tone عکس، پارامتر مهمی در تفسیر اشکال زمین‌شناسی می‌باشد. وجود تن تیره، طرح زهکشی شاخه درختی ریزبافت و مجاری با شیب ملایم روی عکس هوایی منطقه مورد مطالعه می‌تواند به این تفسیر منجر شود که سنگ مورد نظر شیل است. با استفاده از نسبت‌های باندی دو تصویر $R[R(B6/B3), R(B7/B4)]$ برای آشکارسازی مناطق دولومیتی به کار گرفته شد. تحلیل مولفه‌های اصلی به روش کروستا و انتخاب باندهای ۴، ۶، ۷ و ۱۱ برای واضح‌سازی مناطق آهکی از شیلی و ماسه‌سنگی استفاده شد. جهت ایجاد تمایز بین واحدهای آهکی از سازندهای دیگر منطقه، تحلیل مولفه‌های مستقل روی باندهای ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۱ اعمال شد. با استفاده از روش کمترین کسر نویز روی تمام باندهای سنجنده OLI، پیکسل‌های خالص منطقه استخراج شد. نمودار طیفی پیکسل‌های خالص با نمودارهای طیفی کانی‌های موجود در کتابخانه Envi مقایسه شد که در شناسایی کانی‌های غالب منطقه موفق عمل کرده و از انطباق خوبی برخوردار بود. در آخر تکنیک‌های مذکور با استفاده از الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده کلاس‌بندی شدند و جهت استخراج بهترین کلاس‌ها با بیشترین درصد انطباق با نقشه زمین‌شناسی از بین نقشه‌های طبقه‌بندی شده، از الگوریتم شاخه‌بندی درختی استفاده شد. دقت کلی نقشه نهایی ۷۸٪ به دست آمد.

لایه خطوط‌های منطقه با استفاده از سه روش به دست آمد. روش اول از فیلترهای جهتی Sobins روی باند ۸ استفاده گردید. در روش دوم فیلتر Sobel رو باند ۷ اعمال و خطوط‌ها با الگوریتم Lineament در نرم‌افزار Geomatica استخراج شد. روش آخر با تکنیک تحلیل مؤلفه اصلی روی باند ۷ خطوط‌ها بارز شده و با اعمال الگوریتم خطوط‌ها در نرم‌افزار Geomatica استخراج گردید. در بین روش‌های مذکور، الگوریتم Sobel از تطابق بهتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار بود.

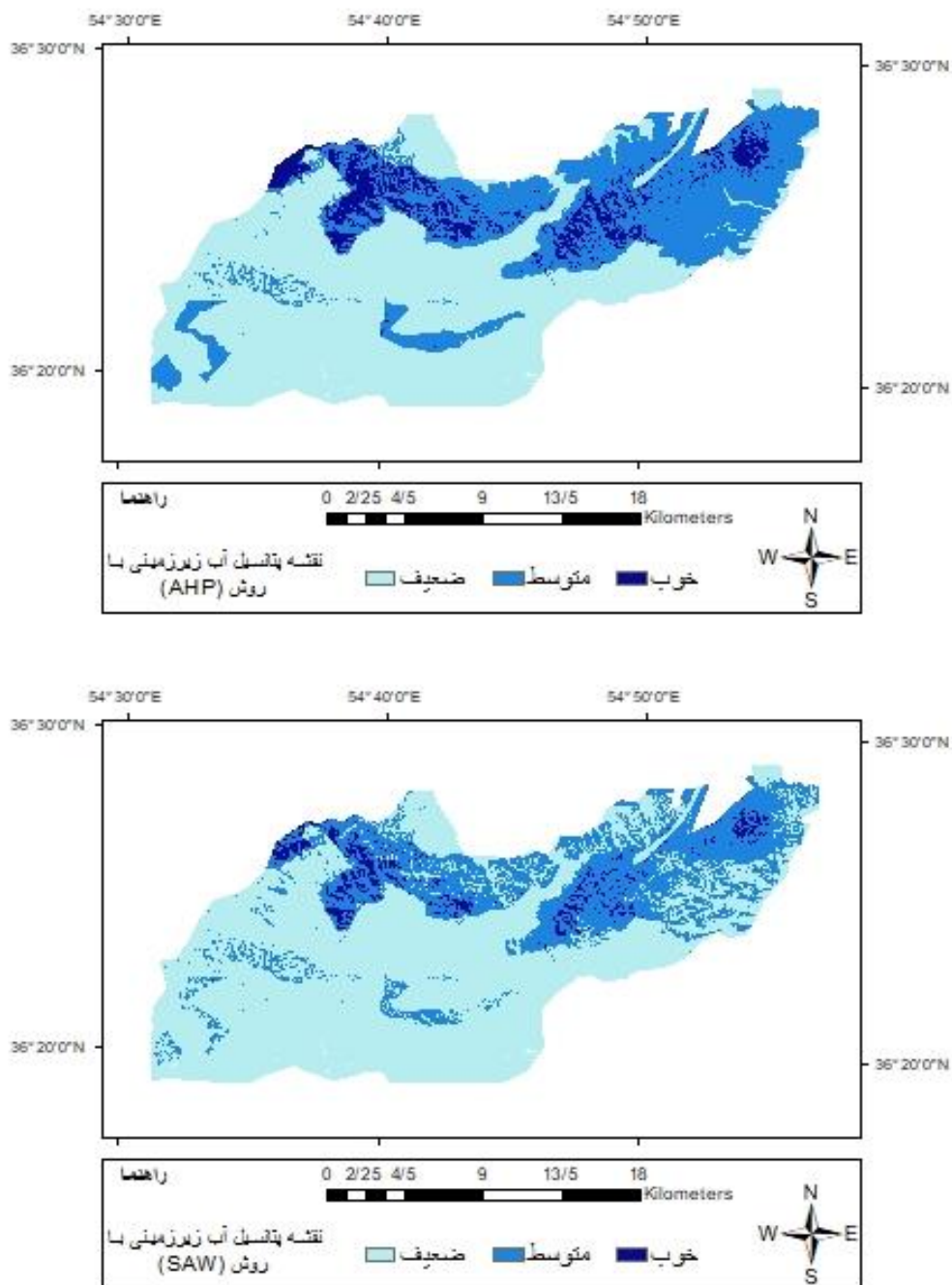
نقشه شیب، جهت شیب و تراکم آبراهه‌های منطقه با به کارگیری Dem منطقه در محیط ArcMap با استفاده از الگوریتم‌های موجود در این نرم‌افزار استخراج و کلاسه‌بندی شدند.

نقشه بارش با استفاده از اطلاعات ۱۰ ساله ایستگاه‌های هواشناسی تاش، مجن، بسطام و شاهرود استخراج و برای تمام منطقه درون‌یابی شد.

نقشه نوع بارش با استفاده از Dem منطقه و نظر کارشناس مبنی بر این که در ارتفاعات بیشتر از ۲۰۰۰ متر بارندگی به صورت برف و در ارتفاعات کمتر به صورت باران می‌باشد، در محیط ArcMap استخراج و با Reclassify کلاس‌بندی شد.

۳-۱-۶- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر پتانسیل آب زیرزمینی

جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی، ابتدا باید لایه‌های اطلاعاتی استاندارد و یک مقیاس شده تا بتوان آن‌ها را با یکدیگر تلفیق کرد. جهت استانداردسازی لایه‌ها از دو روش تحلیل سلسله‌مراتبی و روش رتبه‌بندی ساده استفاده گردید. در این مرحله با استفاده از نظر کارشناس برای تمامی کلاس‌های نقشه‌های معیار یک وزن تعلق گرفت. پس از اختصاص وزن برای کلاس‌های مختلف، نقشه‌های معیار هم نیز با استفاده از AHP و SAW یک وزن تخصیص داده شد و در محیط GIS با استفاده از روش همپوشانی خطی لایه‌ها با یکدیگر تلفیق شدند که شکل ۵-۱ حاصل از تلفیق لایه‌ها به روش AHP روش SAW می‌باشد.



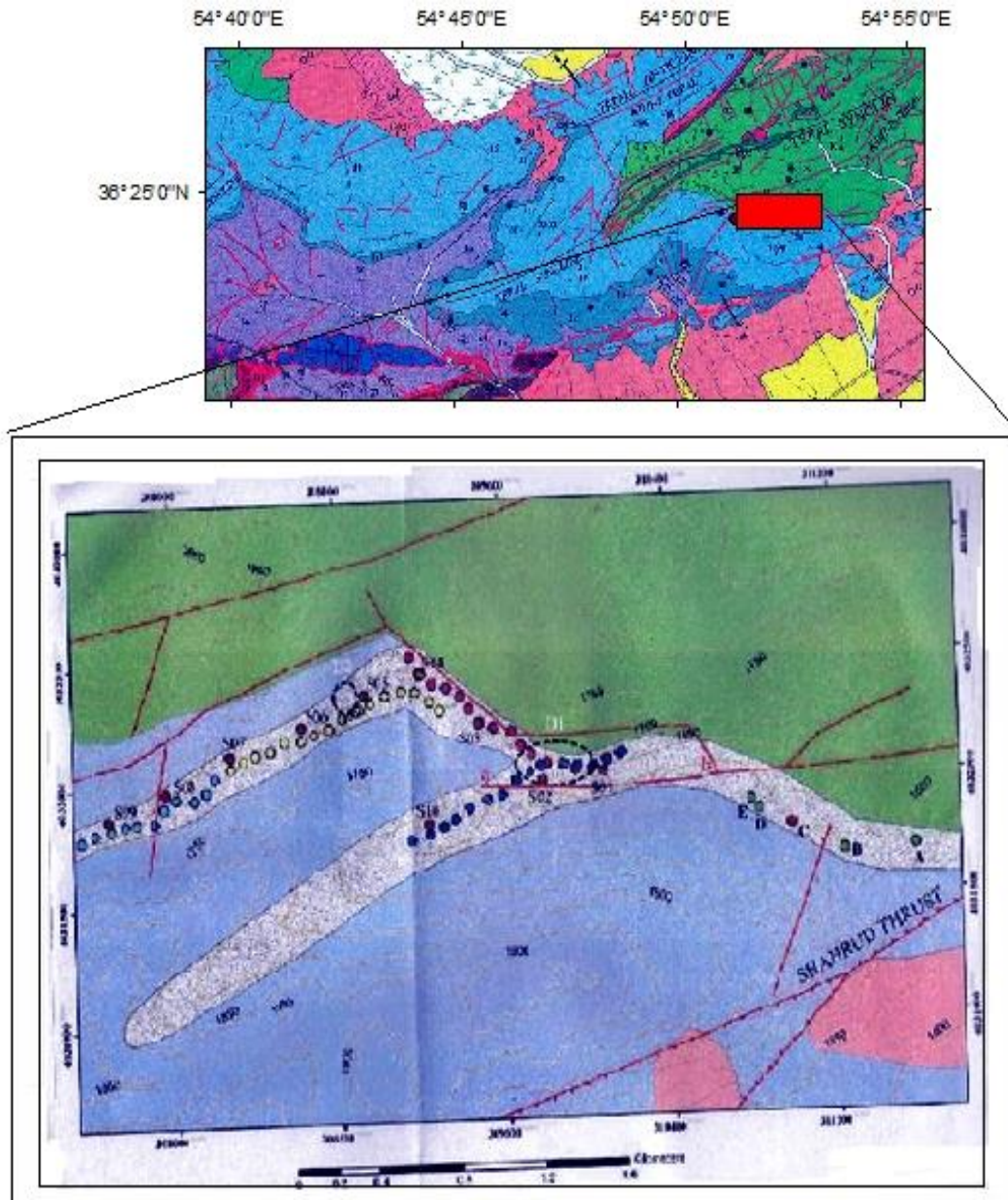
شکل ۶-۱: نقشه پتانسیل آب زیرزمینی با روش WLC (از بالا: روش AHP، پایین به روش SAW)

۶-۱-۴- ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی در منطقه مورد مطالعه

نقشه‌های نهایی حاصل از مدل‌های تلفیقی مختلف را می‌توان از لحاظ تفکیک‌پذیری ظاهری، انطباق با چاه‌های بهره‌برداری، موقعیت و دبی چشمه‌ها و یا با مطالعات ژئوالکتریک مقایسه نمود تا بتوان صحت مدل را مورد ارزیابی قرار داد.

الف) تطابق با مطالعات ژئوالکتریک

شکل ۶-۲ موقعیت سونداژهای ژئوالکتریک در منطقه را نشان می‌دهد. مطالعه ژئوالکتریک در منطقه، توسط شریفی در سال ۱۳۹۱ انجام گرفته است.



شکل ۶-۲: موقعیت سونداژهای الکتریکی در مطالعه ژئوالکتریک

جدول ۶-۱ خلاصه نتایج حاصل از بررسی‌های ژئوالکتریک را نشان می‌دهد. در این جدول، نقاط مناسب

آب زیرزمینی در پنج سونداژ معرفی شده است.

جدول ۱-۶: خلاصه نتایج تفسیر منحنی‌های سونداژزنی الکتریکی در منطقه تپال

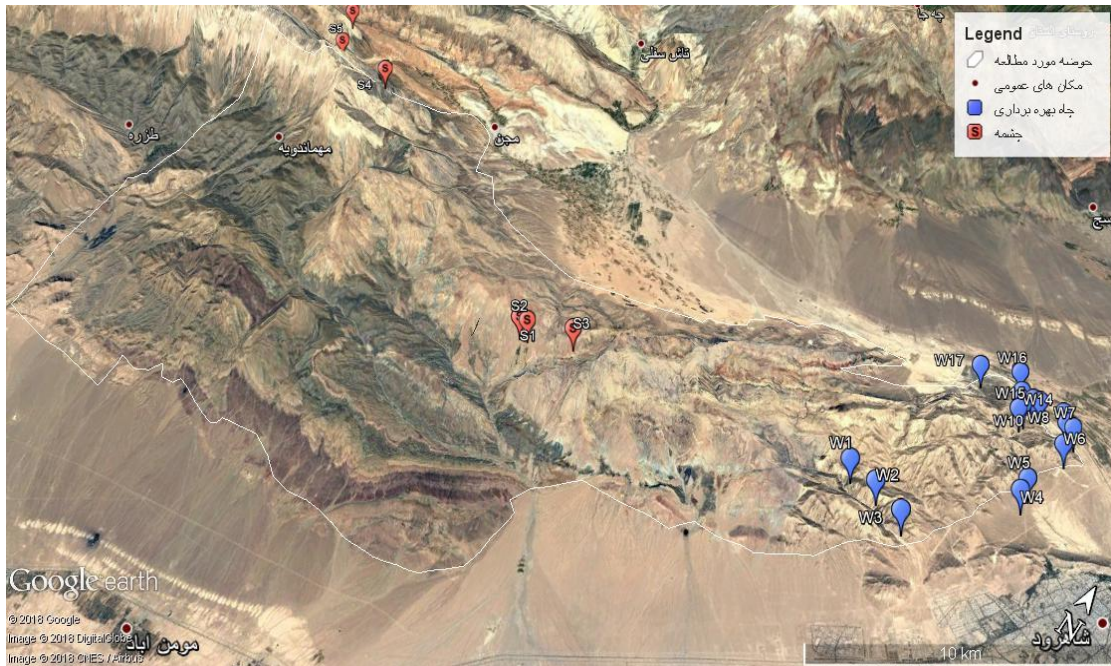
سونداژ	نتایج تفسیر
S1	عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S2	پتانسیل متوسط حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S3	پتانسیل خوب حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S4	پتانسیل متوسط تا ضعیف برای حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S5	پتانسیل متوسط حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S6	عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S7	عدم حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ
S8	پتانسیل متوسط حضور زون آبدار در محل برداشت این سونداژ

ب) تطابق مناطق با پتانسیل بالای آب زیرزمینی با چاه‌های آب شرب شهر شاهرود و چشمه‌ها

چشمه‌ها انعکاس‌دهنده مستقیم وضعیت آب زیرزمینی در آبخوان‌هایی هستند که توسط آن‌ها تغذیه می‌شوند. چشمه‌ها در مناطق کارستی معیار مناسبی برای تعیین درجه کارستی شدن هستند. کاهش تعداد چشمه‌ها در حواشی مناطق کارستی و تمرکز آن‌ها با افزایش آبدهی در یک ناحیه مشخص، نشان‌دهنده توسعه و گسترش فرآیندهای کارست در عمق لایه‌های آهکی می‌باشد.

چشمه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری اطراف کوه تپال و ناودیس چگل‌شاه وجود دارد که موقعیت مکانی آن‌ها در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. چاه‌های بهره‌برداری موجود در سازندهای آهکی کوه تپال حدود ۱۷ حلقه چاه می‌باشد که آب آشامیدنی شاهرود را تأمین می‌کند.

جدول ۲-۶ مساحت کلاس‌های مختلف نقشه‌های پتانسیل تهیه شده با استفاده از روش‌های مختلف تلفیق را بر حسب کیلومتر مربع نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶: موقعیت چشمه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری منطقه مورد مطالعه

همان‌گونه که در شکل ۳-۶ و در جدول ۲-۶ مشاهده می‌شود، بیشترین انطباق بین منابع قطعی آب زیرزمینی با نقشه‌های تولید شده، نقشه حاصل از روش AHP می‌باشد.

جدول ۲-۶: مساحت کلاس‌های مختلف نقشه‌های پتانسیل تهیه شده به روش‌های مختلف بر حسب کیلومتر مربع

درصد مساحت در روش‌های مختلف		پتانسیل آب زیرزمینی
SAW	AHP	
۷۸/۳	۵۹/۷	ضعیف
۱۴/۶	۳۲/۵	متوسط
۷	۷/۶	خوب

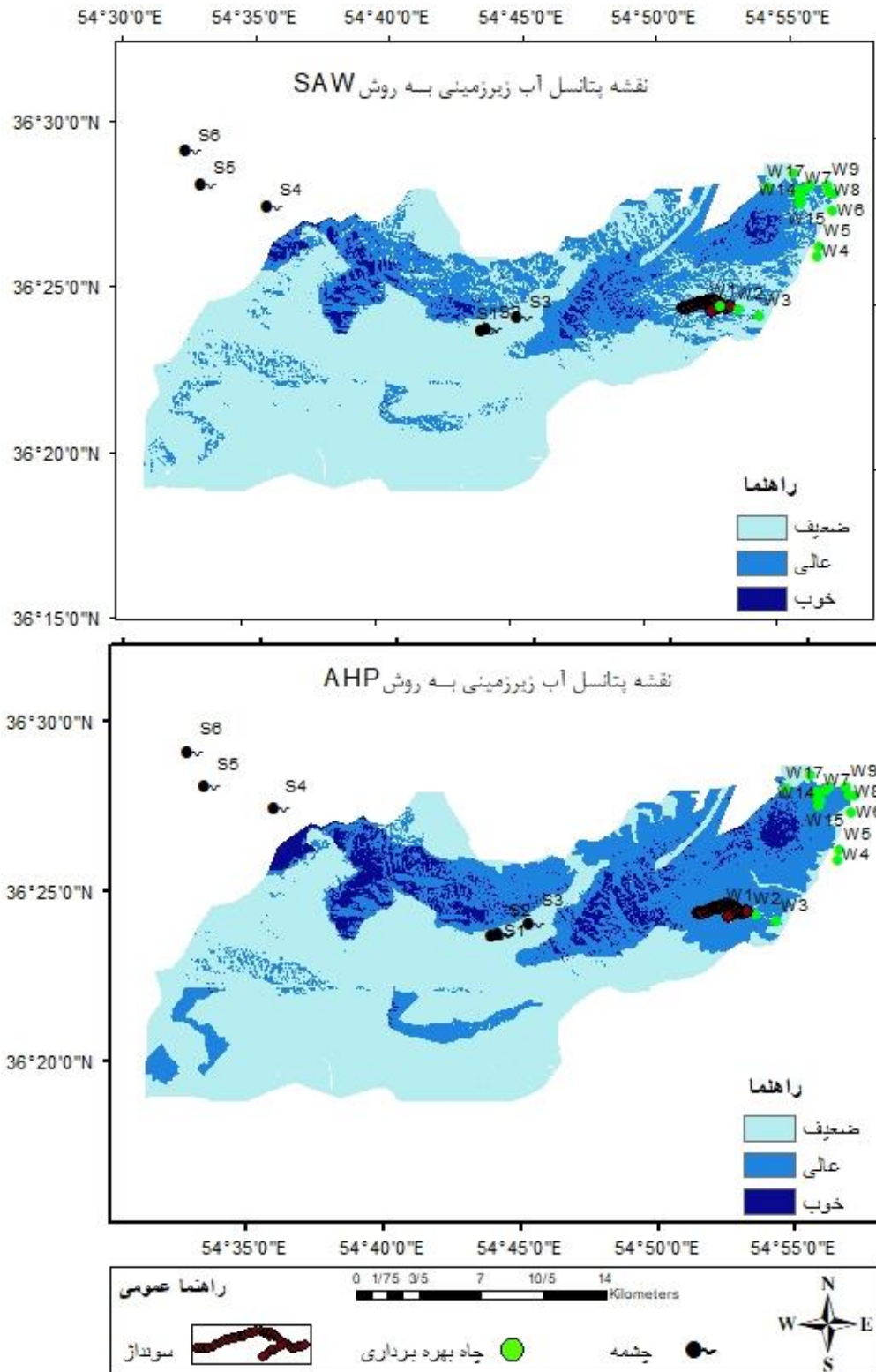
ج) ارزیابی تفکیک ظاهری نقشه‌ها

نتایج نشان‌دهنده این است که عوامل مهم منطقه که وزن بیشتری نسبت به سایر عوامل گرفتند، ارتباط مناسبی با مناطق دارای پتانسیل بالا دارند:

- نقاط دارای تراکم شکستگی زیاد از پتانسیل بالایی جهت پیدایش آب‌زیرزمینی برخوردار هستند.
 - واحدهای آهکی J_1 ، Ku و J_4 بیشترین پتانسیل آب‌زیرزمینی منطقه را دارند و مناطق رسوبی از پتانسیل ضعیفی برخوردار هستند.
- مناطقى که سهم بیشتری از بارش را به خود اختصاص داده‌اند به ویژه محدوده‌هایی که بارش برف داشتند، مناطق با پتانسیل بالا به‌شمار می‌روند.
- درصد مساحت هریک از گروه‌های پتانسیل در هر مدل در جدول ۶-۲ محاسبه شده نشان می‌دهد که مدل SAW محدودیت بیشتری را ایجاد کرده شکل ۶-۴ که مناطق بیشتری به عنوان مناطق با پتانسیل ضعیف در این مدل می‌باشند. روش AHP، روشی بسیار مفید برای مقابله با مشکلاتی که در تصمیم‌گیری وجود دارد، می‌باشد. در این تحقیق، توانمندی مدل AHP بر روش SAW را می‌توان از قابلیت‌های این مدل در وزن‌دهی به معیارها تفسیر کرد.

۶-۲- پیشنهادها

- با توجه به مطالعات و تحقیقاتی که در این پایان‌نامه بر روی شناسایی پتانسیل آب‌های زیرزمینی در منطقه صورت گرفت، به منظور بهبود نتایج حاصل در این زمینه، پیشنهادهای زیر را مطرح می‌گردد:
- نقشه نهایی پتانسیل آب‌زیرزمینی از طریق نقشه‌های معیار مختلف تهیه شده و منابع اطلاعاتی می‌توانند در طی زمان با اضافه کردن اطلاعات جدید به روز شوند. نقشه پتانسیل‌یابی آب‌زیرزمینی به علت هزینه کم و همچنین زمان بر نبودن، در هر منطقه قبل از انجام مطالعات ژئوفیزیک گسترده و حفاری توصیه می‌شود.
 - بهترین مناطق پتانسیل‌یابی مشترک در دو مدل پتانسیل‌یابی شده شامل مناطقی از شمال شاهرود (کوه تپال) و شمال غرب شاهرود (ناودیس چگلشاه)، به‌عنوان مناسب‌ترین محل جهت



شکل ۴-۶: تلفیق نقشه پتانسیل آب زیرزمینی به ترتیب از بالا به پایین) به روش SAW، روش AHP با لایه‌های اطلاعاتی منابع قطعی آب زیرزمینی

انجام مطالعات تکمیلی ژئوالکتریک و تعیین محل حفاری چاه‌های آهکی به سازمان‌های زیربط پیشنهاد داده می‌شود. حفر پیزومتر و بررسی ژئوفیزیکی صحرائی در آهک‌های منطقه از ضروریات می‌باشد که در صورت وجود می‌توان از اطلاعات آن‌ها جهت اعتباربخشی بیشتر، استفاده کرده و به تمام منطقه تعمیم داد.

برای مطالعات بعدی پیشنهاد می‌گردد از داده‌های سنجش از دوری با تفکیک طیفی بالاتر مانند Sentinel استفاده گردد. همچنین از روش‌های مختلف پردازش تصویر مانند Data Driven برای استخراج لیتولوژی منطقه به کار گرفته شود.

پیوست

پ ۱) کاربرد سنجش از دور در سنگ‌شناسی

از طریق روش‌های سنجش از دور می‌توان اطلاعاتی در مورد ترکیب سنگ‌ها و کانی‌هایی که روی سطح زمین هستند و به طور کامل توسط گیاهان پوشیده نشده‌اند به دست آورد. یکی از این روش‌ها شناخت باندهای جذب و به‌طور کلی طیف انواع سنگ‌ها و کانی‌ها است که توسط سنجنده‌های مختلف بدست می‌آید ((Clark 1999). اطلاعات سنگ‌شناسی که بر روی تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص است، مثل خاستگاه زمین‌شناسی عمومی، هوازدگی سطحی، سیستم آبراهه‌ای، اشکال ساختاری، خاک، پوشش گیاهی و خصوصیات طیفی می‌توانند در تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی خاص کمک کنند ولی به تنهایی در تشخیص تمام انواع واحدهای سنگ‌شناسی کافی نیستند. شناخت واحدهای سنگ‌شناسی مختلف در تصاویر سیاه و سفید، ترکیبات رنگی کاذب، عکس‌های رنگی مادون قرمز، روش نسبت‌گیری، تحلیل مؤلفه اصلی و انواع طبقه‌بندی تصویر تا حدودی امکان‌پذیر است.

پ ۱-۱ تشخیص انواع ترکیبات کانی‌ها و سنگ‌ها

هانت و همکارانش اطلاعات قابل ملاحظه‌ای در زمینه خواص طیفی ترکیبات کانی‌ها منتشر نموده‌اند که آن‌ها را می‌توان به‌طور خلاصه در مقالات (hunt 1977, 1979, 1980) و جستجو نمود. در ادامه ویژگی‌های طیفی ترکیبات کانی‌ها در سه بخش شامل نور مرئی و فروسرخ نزدیک (VNIR)، ناحیه فروسرخ کوتاه موج (SWIR) و ناحیه فروسرخ حرارتی (TIR) بررسی خواهند شد:

پ ۱-۱-۱ ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک ۰/۴ تا ۱/۰ میکرومتر:

ناحیه مرئی و فروسرخ نزدیک (VNIR) در محدوده طول موج‌های ۱/۰ - ۰/۴ طیف الکترومغناطیس قرار دارد. عناصری نظیر سیلیسیوم، آلومینیوم و گروه‌های متنوعی از آنیون‌ها نظیر سیلیکات‌ها، اکسیدها، کربنات‌ها، هیدروکسیدها و فسفات که عمده سنگ‌های سطح زمین را تشکیل می‌دهند دارای شاخص طیفی در این محدوده هستند (Gupta 2017).

پ ۱-۱-۲ ناحیه فروسرخ کوتاه موج ۱-۳ میکرومتر:

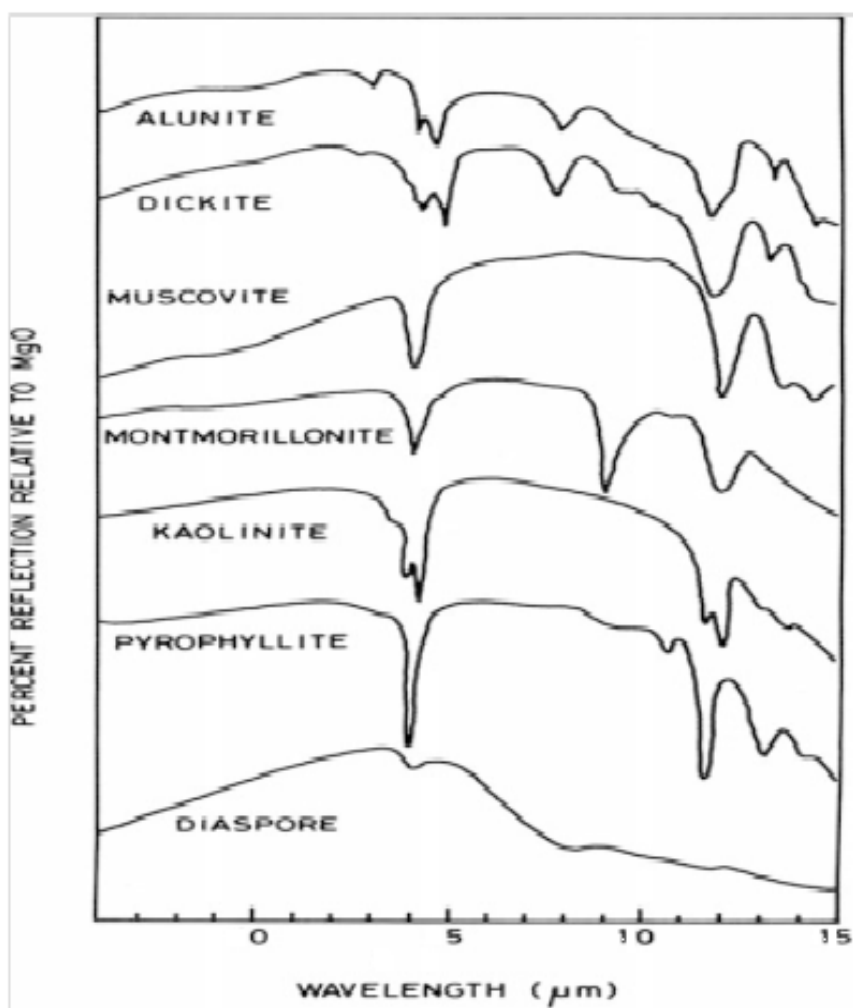
ناحیه فروسرخ کوتاه موج (SWIR) در محدوده طول موج‌های ۱-۳ میکرومتر واقع است. این ناحیه به واسطه تجلی خصوصیات طیفی هیدروکسیل‌ها و کربنات‌ها اهمیت بسیاری دارد که در ادامه توضیح داده خواهد شد (Gupta 2017).

یون هیدروکسل: یون هیدروکسل از شایعترین اجزا سازنده رس‌ها، میکاها، کلریت و غیره محسوب می‌شود. یون هیدروکسل در محدوده ۲/۷۷-۲/۷۴ دارای یک باند جذبی و یک بالاتن (OVERTONE) در ۱/۴۴ است. هر دو ویژگی یادشده درباره مولکول آب نیز صادق است اما زمانیکه یون هیدروکسل در ترکیب با آلومینیوم و منیزیم به صورت Al-OH و Mg-OH ظاهر می‌شوند چندین جذب ناگهانی در محدوده ۲/۴ - ۲/۱ نشان خواهد داد شکل (پ ۲). ترکیبات مورد نظر در رس‌ها و سیلیکات‌های هیدراته به وفور یافت می‌شود. رس‌ها در ۲,۴-۲,۱ پدیده جذب و در ۱,۷۵-۱,۵۵ (به‌طور خاص در ۱,۶) مشخص بازتاب رس می‌باشد. ظهور بازتاب و جذب مبنای روش نسبت‌های باندی می‌باشد (Gupta 2017).

کربنات‌ها: کربنات‌ها در پوسته زمین به شکل کلسیت (CaCO_3)، مگنیزیت (MgCO_3)، دولومیت ($(\text{Ca-Mg})\text{CO}_3$) و سیدریت (FeCO_3) یافت می‌شوند. مهم‌ترین باندهای جذب برای کربنات‌ها در ناحیه SWIR در طول موج‌های ۲/۳۵ - ۱/۹ و ۲/۵۵ (شکل پ ۲) یافت می‌شوند. قله موجود در ۱/۹ با رفتار طیفی مولکول آب و قله ۲/۳۵ با رس‌ها تشابه دارد؛ وجه تمایز کربنات‌ها قله ۲/۵ میکرومتر می‌باشد که از رس‌ها و آب متمایز می‌شود. علاوه بر این می‌توان از یک جذب در ۱/۱ به علت وجود سیدریت (آهن) برای تشخیص کربنات‌ها بهره برد (Gupta 2017).

پ ۱-۱-۳ ناحیه فروسرخ حرارتی ۲۵-۳ میکرومتر:

این بخش محل بروز شاخص‌های طیفی بسیاری از کانی‌های سازنده سنگ‌ها نظیر سیلیکات‌ها، کربنات‌ها، اکسیدها، فسفات‌ها، سولفات‌ها، نیترات‌ها، نیتريت‌ها و هیدروکسیدها است.



شکل (پ ۱): منحنی بازتاب طیف کانی‌های رس

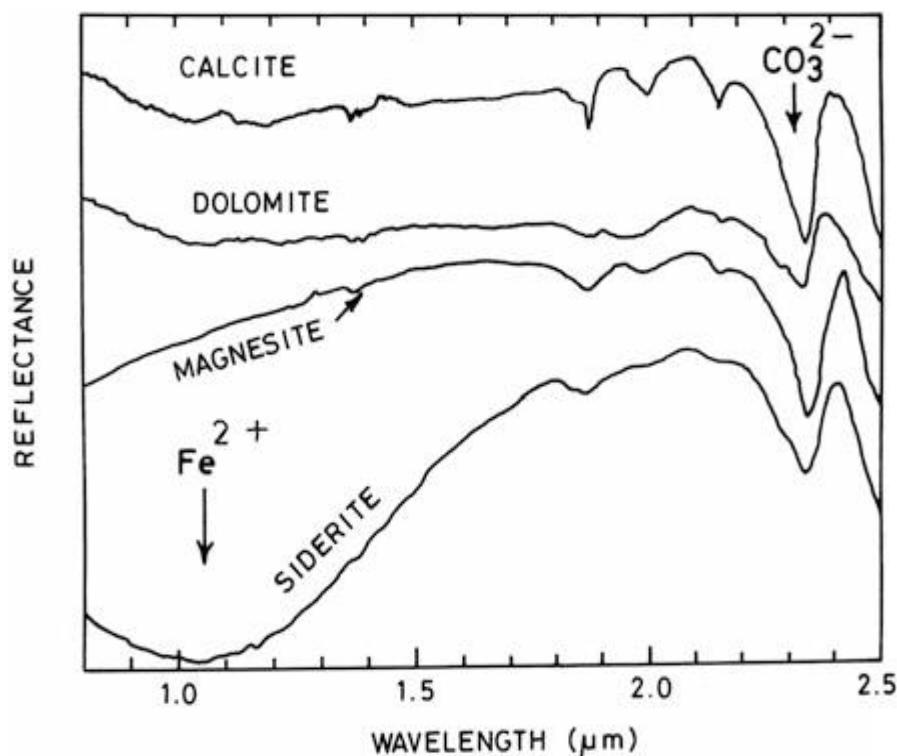
کربنات‌ها در طول موج ۷ میکرومتر جذب چشمگیری دارند که خارج از محدوده ۸-۱۴ است؛ بنابراین

از ویژگی فوق نمی‌توان در مطالعات بهره برد.

سولفات‌ها دارای شاخصی نزدیک به طول موج‌های ۹، ۹/۳۵، ۱۰/۳ و ۱۶ میکرومتر هستند.

اکسیدها معمولاً دارای باندهای شاخصی در محدوده مشترک با Si-O (۸-۱۲) هستند.

نیترات‌ها خواص طیفی خود را در طول موج ۷/۲ و نیتريت‌ها در ۸ و ۱۱/۸ میکرومتر بروز می‌دهند.

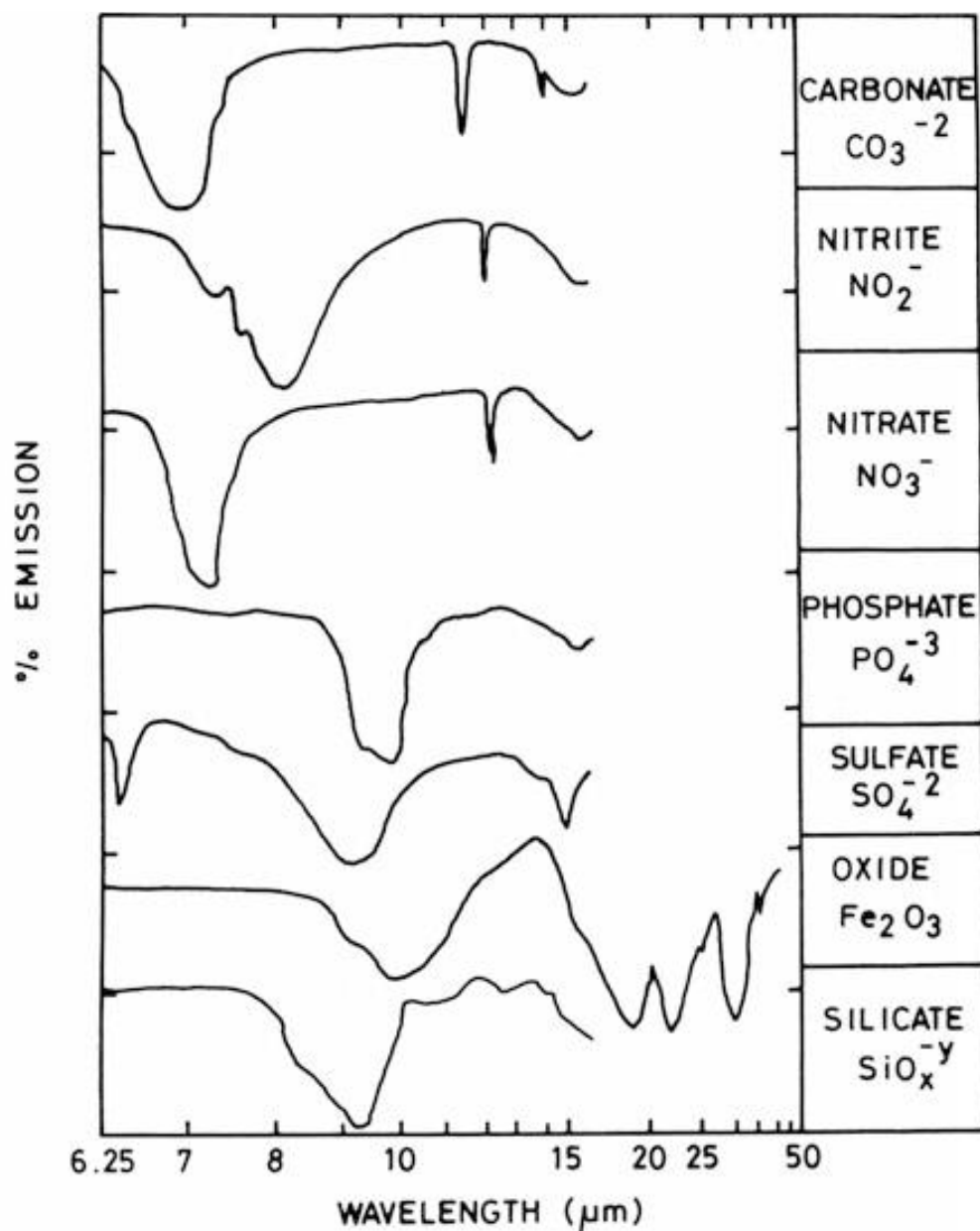


شکل (پ ۲): بازتاب طیفی کربنات‌ها که در ۲/۳۵ جذب دارند Whitney (et al. 1983)

شکل (پ ۳) طیف گروه‌های آنیونی شاخص را نمایش می‌دهد. قله‌های منفی (که معمولاً باندهای جذب نام دارند) شاخص جذب طیفی پایین یا به عبارت دیگر انعکاس طیفی بالا می‌باشند.

سیلیکات‌ها به عنوان فراوانترین گونه کانی‌های پوسته زمین، دارای ویژگی‌های طیفی منحصر به فردی در ناحیه TIR هستند. این ویژگی با وجود SiO_4 چهاروجهی در ارتباط است. در این بین، توجه به طیف سیلیکات‌های شایع نظیر کوارتز، فلدسپار، مسکویت، اوژیت، هورنبلند و الیون شکل پ ۴ به کرات مورد

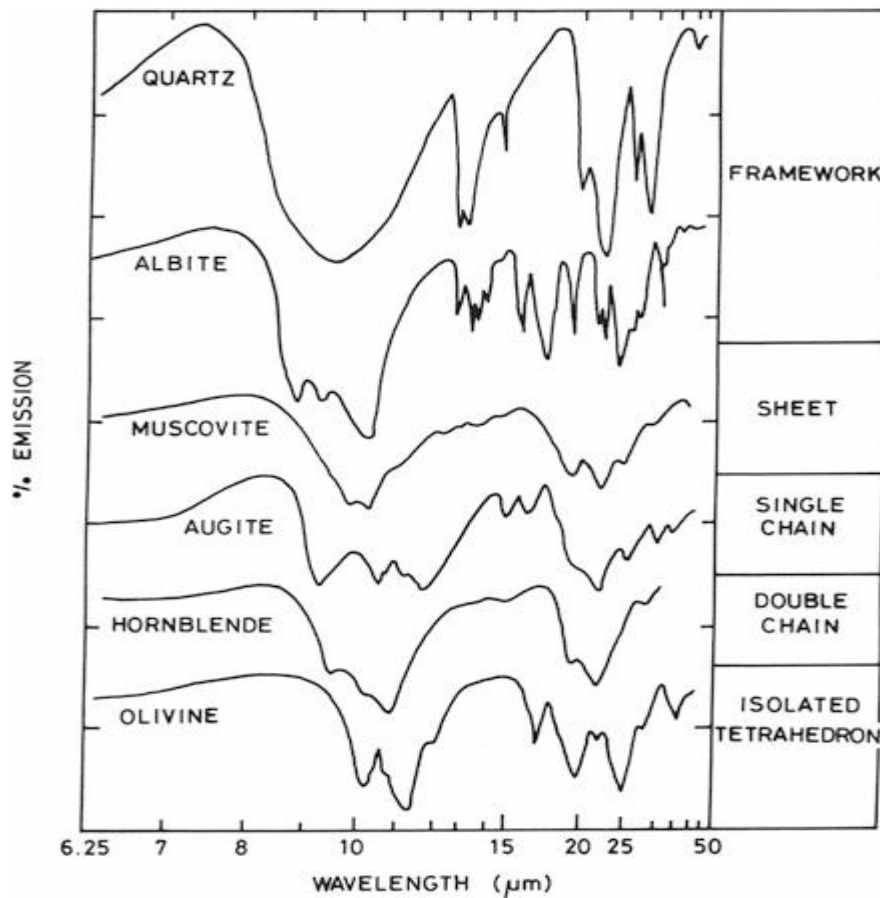
بحث قرار گرفته است (Gupta 2017)



شکل (پ ۳): طیف فروسرخ حرارتی گروه‌های اصلی کانی‌های آنیونی (Christensen et al. 1986)

پ ۱-۲ ویژگی طیفی سنگ‌ها

سنگ‌ها از اجتماع کانی‌ها به حساب می‌آیند؛ بنابراین از نظر ترکیب پیچدگی و تنوع بیشتری نسبت به کانی‌ها می‌باشند. تعریف منحنی طیفی شاخص سنگ‌ها کاری بسیار دشوار می‌باشد اگرچه به طور عام



شکل (پ ۵): سیلیکات‌ها به عنوان فراوانترین کانی‌های پوسته زمین (Christensen et al. 1986)

نمی‌توان بر اساس ویژگی کانی‌های سازنده سنگ، به تشریح خصوصیات طیفی سنگ‌ها پرداخت. بحث در این زمینه به دو قسمت که شامل ناحیه انعکاس خورشیدی (VNIR + SWIR) و ناحیه فروسرخ حرارتی (TIR) تقسیم می‌شود (Gupta 2017).

پ ۱-۲-۱ ناحیه انعکاس خورشیدی

طیف سنگ‌ها به طیف کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها و ویژگی‌های بافت سنگ نظیر اندازه دانه‌ها، الگوها و فرآیندهای تحلیل متعددی با هدف درک طیف ترکیبات مرکب از چند کانی آزموده شده است (Johnson et al. 1983; Clark and Roush 1984; Smith et al. 1985).

سنگ‌های آذرین: طیف آزمایشگاهی شاخص برای سنگ‌های آذرین بر روی شکل (پ ۶ a) نشان داده شده است. گرانیته‌ها در طول موج ۱/۴، ۱/۹ و ۲/۲ (بنا به باندهای جذب OH و H₂O) جذب نشان

می دهند. سنگ‌های بازیک حاوی آهن، پیروکسن، آمفیبول و مگنتیت به واسطه داشتن یون آهن فروس در طول موج ۰/۷ و ۱/۰ دارای جذب هستند.

سنگ‌های سوبی طیف آزمایشگاهی شاخص برای سنگ‌های رسوبی بر روی (شکل پ ۶_b) نشان داده شده است. اغلب سنگ‌های رسوبی به دلیل داشتن آب در طول موج‌های ۱/۴ و ۱/۹ جذب نشان می دهند. شاخص جذب شیل‌های رسی در محدوده ۲/۳ - ۲/۱ نیز قابل رؤیت است. شیل‌های کربناته در این زمینه شاخص‌های کمتری را به نمایش می گذارند و ماسه‌سنگ‌های خالص کمترین ویژگی طیفی را نشان می دهند. ماسه سنگ‌ها معمولاً به علت داشتن لکه‌های اکسید آهن، دارای پدیده‌های طیفی در ۰/۸۷ میکرومتر هستند. شناخت سنگ‌های آهکی و سنگ آهک بر اساس باندهای جذب کربنات‌ها (۱/۹ و ۲/۳۵ که مورد دوم شدت بیشتری دارد) میسر است. استفاده از جذب باندهای فروس در ۱/۰ برای تشخیص دولومیت‌ها مناسب خواهد بود (Gupta 2017).

سنگ‌های دگرگونی طیف آزمایشگاهی شاخص برای سنگ‌های دگرگونی بر روی شکل (پ ۶، c) نشان داده شده است. جذب وسیع به دلیل وجود یون فروس است که در سنگ‌های همانند شیست‌های ترمولیتی بوفور دیده می شود. باندهای جذبی آب و هیدروکسل (به ترتیب در ۱/۴ و ۱/۹ میکرومتر) در شیست‌ها، مرمرها و کوارتزیت‌ها یافت می شوند. باندهای کربناتی (۱/۹ و ۲/۳۵) شاخص مرمرها به شمار می رود.

زون‌های دگرسان شده این زون با وفور کانی‌هایی نظیر مونموریونیت، مسکویت، بیوتیت، کلریت، اپیدوت، کوارتز، آلبیت، گوتیت، هماتیت، کلسیت و سایر کربنات‌ها و شناخته می شود. قلمرو دگرسانی را می توان در پنج گروه سازماندهی کرد (Gupta 2017):

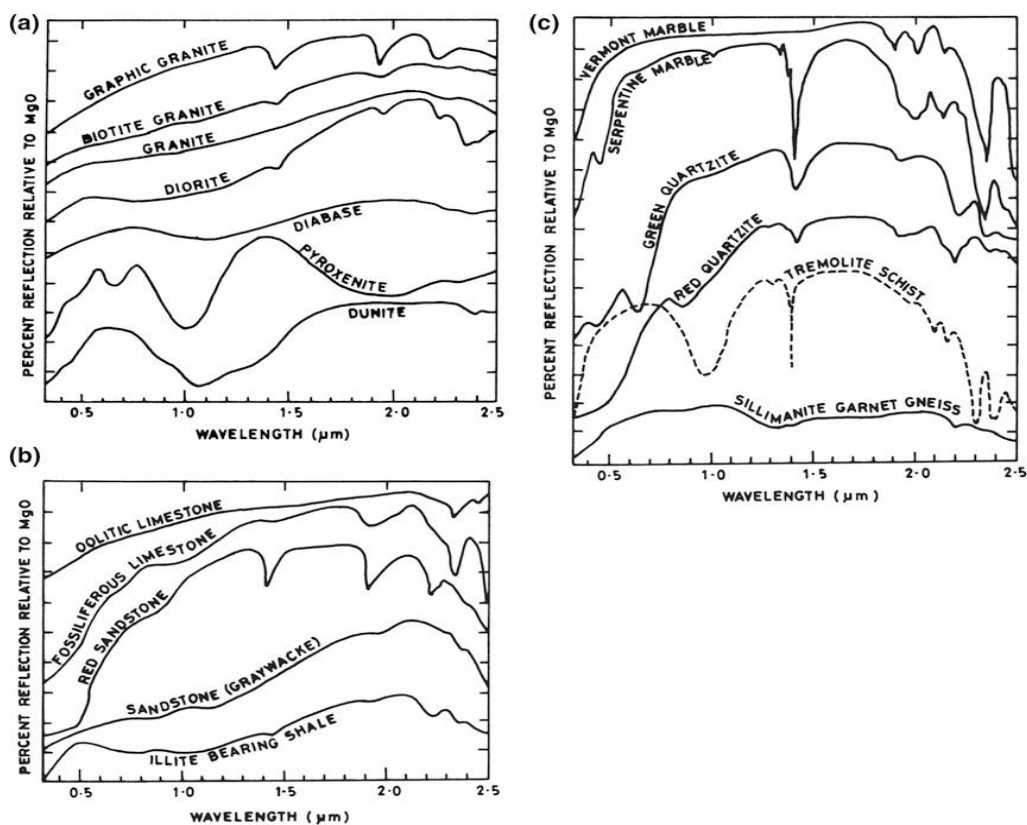
کوارتز + فلدسپار: عدم ویژگی طیفی در محدوده VNIR+SWIR

رس‌ها (سیلیکات‌های ورقه‌ای): تشخیص در باند جذبی ۲/۱-۲/۳ میکرومتر

کربنات: ویژگی طیفی در طول موج ۱/۹ و ۲/۳۵

هیدروکسل‌ها و آب: ویژگی جذبی در ۱/۴ و ۱/۹

اکسید آهن: تشخیص به وسیله ویژگی طیفی در ناحیه VNIR



شکل (پ ۶): طیف آزمایشگاهی بازتاب برخی سنگ‌ها: (a) سنگ‌های آذرین، (b) سنگ‌های رسوبی، (c) سنگ‌های دگرگونی

پ ۱-۲-۲ ناحیه فروسرخ حرارتی (TIR)

باندهای شاخص بیشتری در ناحیه TIR برای کربنات‌ها، فسفات‌ها، هیدروکسل‌ها، سولفات‌ها، نیتريت‌ها، نیترات‌ها و سولفیدها وجود دارد (Gupta 2017).

مراجع

- بهرام‌بیگی، ب.، رنجبر، ح. ا. و شهاب‌پور، ج. (۲۰۱۲)، "مقایسه روشهای داده پایه و طیف مبنا جهت نقشه برداری از مناطق دارای کائولینیت در آتشفشان مساحیم با استفاده از داده‌های هایپریون"، زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۴، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۱، پیاپی ۷.
- عسکری، م.، قاسمی، ع. س. و ناظم‌الرعایا، ب. (۱۳۸۳)، "کاربرد منطق فازی در اکتشاف کانسارهای سرب و روی کربناته با استفاده از پردازش داده‌های رقومی ماهواره‌ای در استان اصفهان"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس.
- نصیری، ع. (۱۳۷۶)، "ارزیابی چند الگوریتم طبقه بندی فضایی و طیفی در تهیه نقشه کاربری و پوشش زمینی از اطلاعات سنجنش از دور"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته سنجنش از دور، دانشگاه تربیت مدرس.
- وامقی، ا. (۱۳۸۴)، "کاربرد عکس‌های هوایی در زمین‌شناسی و تهیه نقشه"، انتشارات دانشگاه تهران.
- آقاناتی، س. ع. (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۸۵)، "زمین‌شناسی ایران چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسزم" (چاپ دوم)، انتشارات امیرکبیر.
- وزیری، س. (۱۳۸۰)، "گزارش زمین‌شناسی نقشه یکصد هزارم شاهرود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ایران.
- فریدانی، ف. خدانشناس، س. (۱۳۸۸)، "سیستم‌های باستانی تأمین آب در مناطق خشک و نیمه خشک"، هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، انجمن هیدرولیک ایران.
- رنگزن، ک. سرافراز، ع. (۱۳۹۰)، "بررسی عملکرد سیستم شکستگی سازند کنگلو مرای بختیاری بر آبخوان دشت پلی-میانرودان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و جی‌آی‌اس"، اهواز، سازمان آب و برق خوزستان.

صداقت، محمود. (۱۳۸۷)، "زمین و منابع آب"، انتشارات پیام نور، ۳۶۸ صفحه.

داوودآبادی فراهانی، م. (۱۳۹۲)، "تلفیق داده‌های زمین شناسی، سنجش از دور و ژئوفیزیک (گرانی‌سنجی و ژئوالکتریک) جهت تعیین مناطق امیدبخش آب‌زیرزمینی در جنوب غرب شاهرود"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود.

قبادی، م. ح. (۱۳۸۶)، "زمین شناسی مهندسی کارست"، انتشارات دانشگاه بوعلی سینا همدان.

عظیمی حسینی، م.، نظری‌فر، م. ه. و مؤمنی، ر. (۱۳۸۹)، "کاربرد GIS در مکانیابی"، (چاپ اول)، تهران، انتشارات مهرگان قلم.

علوی پناه، س. ک. (۱۳۸۲)، "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین علوم خاک"، انتشارات دانشگاه تهران.

فخیم، م. (۱۳۹۵)، "اکتشاف مناطق مستعد و دارای پتانسیل بالای آب کارستی با استفاده از سنجش از دور و GIS، منطقه گوغر بافت، استان کرمان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان.

وفادارمبارکی، م. (۱۳۹۴)، "هیدروژئولوژی و پتانسیل یابی منابع آب زیرزمینی موجود در واحدهای کارستی و سازند سخت کوه مورو- صوفیان، آذربایجان شرقی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز.

قدرجانی، ر.، حاجیان‌زیدی، م. و زاهدی‌یگانه، ا. (۱۳۹۶)، "تعیین میزان پتانسیل پهنه‌ای برای بهره برداری از آب‌های زیرزمینی به روش تحلیل سلسله AHP با استفاده از تکنیک GIS"، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و مدیریت بحران.

محمدزاده، م. (۱۳۹۳)، "تعیین مناطق دارای پتانسیل آب زیرزمینی به روش GIS (مطالعه مورد سازندهای سخت حوضه آبریز صائین)"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز.

صابری، ع.، رنگرن، ک.، مهجوری، ر. و کشاورزی، م. (۱۳۹۱)، "پتانسیل‌یابی منابع آب زیرزمینی با تلفیق سنجش از دور و GIS به روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) در تاق‌دیس کمستان استان

خوزستان"، زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته.

قدسی‌پور، ح. (۱۳۸۵)، "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)"، (چاپ پنجم). تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

خدروی، ا. (۱۳۹۰)، "تلفیق اطلاعات سنجش از دور و GIS برای پیشرفت توسعه کارست با تحلیل هیدروگراف چشمه‌ها در تاقدیس پیون"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران.

زبیری، م. مجد، ع. (۱۳۷۵)، "آشنایی با فن سنجش از دور و کاربرد در منابع طبیعی"، مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۲ ص.

Al Saud, M. (2010). "Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques." *Hydrogeology journal* 18(6): 1481-1495.

Alshayef, M. S. and A. Javed(2018). "Geomatica-Based Approach for Automatic Extraction of Lineaments from ASTER-GDEM Data, in Part of Al-Rawdah, Shabwah, Southeast Yemen, Singapore." Springer Singapore.

AltafiDadgar, M., P. Zeaieanfirouzabadi, M. Dashti and R. Porhemmat (2017). "Extracting of prospective groundwater potential zones using remote sensing data, GIS, and a probabilistic approach in Bojnourd basin, NE of Iran." *Arabian Journal of Geosciences* 10(5): 114.

Barsi, J. A., K. Lee, G. Kvaran, B. L. Markham and J. A. Pedelty (2014) "The spectral response of the Landsat-8 operational land imager." *Remote Sensing* 6(10): 10232-

Chrisman, N. R., D. J. Cowen, P. F. Fisher, M. F. Goodchild and D. M. Mark (1989).

Clark, R. N. (1999). "Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy." *Manual of remote sensing* 3(3-58): 2-2.

Crosta, A. P. and J. M. MOORE (1989). "Geological mapping using Landsat thematic

Dasho, O. A., E. A. Ariyibi, F. O. Akinluyi, M. O. Awoyemi and A. S. Adebayo (2017).

"Application of satellite remote sensing to groundwater potential modeling in Ejigbo area, Southwestern Nigeria." *Modeling Earth Systems and Environment* 3(2): 615-633.

De Oliveira, C. and D. De Fátima Rossetti (2012). "Effectiveness of SRTM and ALOS-

PALSAR data for identifying morphostructural lineaments in northeastern Brazil." *International journal of remote sensing* 33(4): 1058-1077.

ELMAGD, K. A., E. Ashraf and M. W. Ali-Bik (2013). "Chemostratigraphy, petrography and remote sensing characterization of the Middle Miocene-Holocene sediments of Ras Banas peninsula, Red Sea Coast, Egypt." *Carpathian Journal of Earth EARTH SCIENCES*, Addis Ababa University.

Gupta, M. and P. K. Srivastava (2010). "Integrating GIS and remote sensing for identification of groundwater potential zones in the hilly terrain of Pavagarh, Gujarat, India." *Water International* 35(2): 233-245.

Gupta, R. P. (2017). *Remote sensing geology*, Springer.

Ibrahim, U. and F. Mutua (2012). "Lineament extraction using landsat 8 (OLI) in Gedo, Somalia." *International Journal of Science and Research (IJSR)* 3: 291-296.

Jasmin, I. and P. Mallikarjuna (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): 729-740.

Javed, A. and M. H. Wani (2009). "Delineation of groundwater potential zones in Kakund watershed, Eastern Rajasthan, using remote sensing and GIS techniques." *Journal of the Geological Society of India* 73(2): 229-236.

Kumar, P., S. Herath, R. Avtar and K. Takeuchi (2016). "Mapping of groundwater potential zones in Killinochi area, Sri Lanka, using GIS and remote sensing techniques." *Sustainable Water Resources Management* 2(4): 419-430.

Mahmoud, S. H. and A. Alazba (2016). "Integrated remote sensing and GIS-based approach for deciphering groundwater potential zones in the central region of Saudi Arabia." *Environmental Earth Sciences* 75(4): 344.

Meixner, J., J. Grimmer, A. Becker, E. Schill and T. Kohl (2018). "Comparison of different digital elevation models and satellite imagery for lineament analysis: Implications for identification and spatial arrangement of fault zones in crystalline basement rocks of the southern Black Forest (Germany)." *Journal of Structural Geology* 108: 256-268.

Murugesan, V., S. Krishnaraj, V. Kannusamy, G. Selvaraj and S. Subramanya (2011). "Groundwater potential zoning in Thirumanimuttar sub-basin Tamilnadu, India—A GIS and remote sensing approach." *Geo-spatial Information Science* 14(1): 17-26.

Panahi, M. R., S. M. Mousavi and M. Rahimzadegan (2017). "Delineation of groundwater potential zones using remote sensing, GIS, and AHP technique in Tehran–Karaj plain, Iran." *Environmental Earth Sciences* 76(23): 792.

Pour, A. B. and A. Ali (2014). "Lithological mapping and hydrothermal alteration using Landsat 8 data: a case study in ariab mining district, red sea hills, Sudan." *Int. Journal of Basic and Applied Sciences* 3(3): 199-208.

Pour, A. B., Y. Park, T.-Y. S. Park, J. K. Hong, M. Hashim, J. Woo and I. Ayoobi (2018). "Evaluation of ICA and CEM algorithms with Landsat-8/ASTER data for geological mapping in inaccessible regions." *Geocarto International*: 1-32.

Prasad, R., N. Mondal, P. Banerjee, M. Nandakumar and V. Singh (2008). "Deciphering potential groundwater zone in hard rock through the application of GIS." *Environmental geology* 55(3): 467-475.

Rudorff, C., E. Novo and L. Galvão (2006). Spectral mixture analysis of inland tropical Amazon floodplain waters using EO-1 Hyperion. *Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2006. IGARSS 2006. IEEE International Conference on, IEEE*.

Saadi, N. M., M. A. Zaher, F. El-Baz and K. Watanabe (2011). "Integrated remote sensing data utilization for investigating structural and tectonic history of the Ghadames Basin, Libya." *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13(5): 778-791.

Saaty, T. L. (1990). "How to make a decision: The analytic hierarchy process."

Singh, L. K., M. K. Jha and V. Chowdary (2018). "Assessing the accuracy of GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis approaches for mapping groundwater potential." *Ecological Indicators* 91: 24-37.

Vincheh, Z. H. and R. Arfania (2017). "Lithological Mapping from OLI and ASTER Multispectral Data Using Matched Filtering and Spectral Analogue Techniques in the Pasab-e-Bala Area, Central Iran."

White, W. B. (1988). *Geomorphology and hydrology of karst terrains*, Oxford university press New York.

Whitney, G., M. Abrams and A. F. Goetz (1983). "Mineral discrimination using a portable ratio-determining radiometer." *Economic Geology* 78(4): 688-698.

Saha, A., A. Rana, S. Tomar, S. Tripathy and A. Singh (2017) *Groundwater Potential Zone Identification using Remote Sensing and GIS Techniques-A Case Study of Karwi Block Area, Uttar Pradesh, India*.

Rahmati, O., Nazari Samani, A., Mahdavi, M. et al. Arab J Geosci (2015) 8: 7059.

<https://doi.org/10.1007/s12517-014-1668-4>

Agarwal R, Garg PK. Remote sensing and GIS based groundwater potential & recharge zones mapping using multi-criteria decision making technique. Water resources management. 2016 Jan 1;30(1):243-60.

Al Saud, M. (2010). Mapping potential areas for groundwater storage in Wadi Aurnah Basin, western Arabian Peninsula, using remote sensing and geographic information system techniques, *Hydrogeology Journal*, vol 18, 1481-1495.

Abstract

In recent years, with the development of remote sensing technology and geographic information system and the application of this method in various sciences, groundwater is not isolated and in surface hydrophilic and subsurface water hydrology, in identifying areas with potential water resources Underground has been used extensively. The study area in the west and northwest of Shahrud covers an area of 480 km². In this region, due to carbonate rocks, as well as erosion and tectonic forces in parts of the region, formed relatively well aquifers. In this research, using remote sensing and GIS, the potential and evaluation of water resources in hard formations has been done. For this purpose, a digital elevation model was used to prepare the slope, direction of slope and drainage. The basic geological map of the region was prepared using a geological map with a scale of 1 to 100,000 Shahrud. Then, using Landsat 8 satellite imagery, the lineaments were extracted and mapped to geological map. The information layers including faults, lithology, slope, slope directions, drainage, rainfall and rainfall types were weighted by two methods: Hierarchical analysis (AHP) and simple cumulative ranking (SAW). In the information system environment Geographically overlaid and categorized into three weak, good and excellent categories. The final map was validated with wells in the area, springs and electric sounding in the region And the results showed that hierarchical analysis has a higher credibility. In a simple cumulative ranking method, there is a greater limitation for zoning, and only about 21% of the area with good potential capability is identified. While in the hierarchical approach, about 40% of the region has good potential for groundwater potential, and this method has less Limitations than simple cumulative ranking method. It was also observed that the groundwater potential map was mainly controlled by the factors of precipitation, lithology and density of the lineaments. Lar and Cretaceous formations in an area of approximately 180 km², which include 37% of the area, They have a high potential for underground water. These formations are characterized by calcite lithology and high solubility and include high potential for formation of karstic aquifers. Also, areas with high drainage density in the region have increased the penetration and porosity of the area and have created a suitable bed for feeding the hard formations of the region.

Keywords: Underground water potential, spatial information system, remote sensing, hierarchical analysis



Shahrood University of Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc Thesis in Water Resource Management

Mapping Groundwater Potential Area Using Remote Sensing and GIS

By Mohammadreza ranjbari

Supervisor:
Dr. Ramezan vagheei

January 2019