

تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی در سازندهای سخت با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، مطالعه موردی: کوهستان شمال غرب شاهرود

محمدرضا رنجبری^۱، رمضان واقعی^۲، بهناز بیگدلی^{۳*}

^۱ کارشناس ارشد مهندسی عمران، مدیریت منابع آب - دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شاهرود
mr.ranjbari@yahoo.com

^۲ استادیار دانشکده مهندسی عمران - دانشگاه صنعتی شاهرود
{bigdeli, rvagheei}@shahroodut.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۸، تاریخ تصویب خرداد ۱۳۹۹)

چکیده

سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در هیدرولوژی آب‌های سطحی و زیرسطحی و شناسایی مناطق دارای پتانسیل منابع آب زیرزمینی کاربرد فراوانی دارند. در کشورهای واقع در خاورمیانه با آب و هوای خشک و با وجود حجم گسترده از خشکسالی و تغییرات آب و هوایی، شناسایی و دنبال کردن تغییرات منابع آب زیرزمینی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این تحقیق با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پتانسیل‌یابی و ارزیابی منابع آب در سازندهای سخت غرب و شمال غرب شاهرود در وسعتی حدود ۴۸۰ کیلومترمربع را بررسی می‌کند. در این منطقه به دلیل وجود سنگ‌های کربناته و همچنین عملکرد فرسایش و نیروهای تکتونیکی در بخش‌هایی از منطقه، آبخوان‌های نسبتاً مناسبی شکل گرفته‌اند. برای این منظور لایه‌های اطلاعاتی گسل، لیتولوژی، شیب، جهت شیب، آبراهه‌ها، مقدار بارندگی و نوع بارش توسط روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) ارزیابی شدند. در این پژوهش تهیه لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از توانایی RS و GIS در سه مرحله اصلی صورت پذیرفت: استخراج نقشه زمین‌شناسی، استخراج خطواره‌های منطقه و استخراج سایر لایه‌های اطلاعاتی. در تهیه نقشه زمین‌شناسی با تاکید بر سازندهای آهکی از تکنیک‌های تحلیل مولفه مستقل، کمترین کسر نویز، ترکیب رنگی و نسبت باندی بر روی تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شد. با استفاده از اندیس خلوص پیکسل، Endmember های منطقه استخراج و با روش‌های ماشین بردار پشتیبان و بیشترین شباهت طبقه‌بندی صورت گرفت. نقشه لیتولوژی منطقه با دقت قابل قبول و ضریب کاپا ۰.۸۳ در مقایسه با نقشه زمین‌شناسی منطقه به دست آمد. در ادامه، خطواره‌های منطقه با استفاده از داده‌های لندست ۸ و داده راداری سنتینل ۱ با تلفیق روش اتوماتیک و دستی استخراج گردید و نتایج حاصل از این دو سنجنده با هم ادغام شد. بر اساس نتایج، جهت‌گیری خطواره‌های استخراج شده با جهت‌گیری گسل‌های نقشه زمین‌شناسی منطقه از انطباق خوبی برخوردار است. تعداد خطواره‌های استخراج شده در بازه‌های طولی مختلف نیز پیوستگی خوبی با تعداد گسل‌ها در بازه‌های طولی مختلف دارد. همچنین تراکم طول خطواره‌های استخراج شده در سازندهای مختلف در مقایسه با تراکم طول گسل‌ها در سازندها از تطابق عالی به میزان ۹۹ درصد برخوردار است. سایر لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از SRTM ۳۰ متری استخراج گردیدند. همچنین ملاحظه شد که نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی عمدتاً توسط عوامل بارش، سنگ‌شناسی و تراکم خطواره‌ها کنترل می‌شوند.

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

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد سریع جمعیت باعث افزایش سرانه مصرف آب در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و صنعت گردیده و شکاف فزاینده‌ای بین تقاضای آب و تامین آب پدیدار شده است. در این شرایط می‌توان با مدیریت مناسب منابع آب زیرزمینی، تقاضا و عرضه آب را کنترل کرد بدین گونه که از آب‌های مازاد در فصول پر بارش، برای تغذیه منابع آب زیرزمینی بهره گرفت و در شرایط بحران و کم آبی، با استخراج آب زیرزمینی برای تامین منابع بهره برد [۱، ۲].

ایران کشوری خشک و نیمه خشک است که دو سوم زمین آن به عنوان زمین بیابان طبقه‌بندی می‌شود و با بارش سالانه حدود ۲۵۰ میلیمتر در سال، یکی از کم آب-ترین کشورهای جهان محسوب می‌شود [۴].

با توجه به موقعیت خاص آب و هوایی ایران و کمبود بارش و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آن، منابع آب‌های زیرزمینی در ایران به عنوان منبع کلیدی، ۶۵٪ از نیازهای آبی کشور را تامین می‌کند [۳]. متأسفانه کمبود آب در بخش‌های زیادی از ایران رایج است که توسط فعالیت‌های انسانی و تغییرات آب و هوایی جهانی تشدید می‌شود. به نظر می‌رسد که چنین شرایطی در مناطق خشک و نیمه خشک جهان وجود دارد [۶، ۷].

در چنین شرایطی برداشت بی‌رویه از آبخوان‌های آبرفتی و افت شدید سطح آب‌های زیرزمینی، از بین ۶۰۹ دشت کشور، ۳۵۵ دشت از نظر حفاظتی جز دشت‌های ممنوعه اعلام شده است (سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، ۱۳۹۶). لذا جستجو برای کشف منابع جدید و قابل جایگزین بیشتر از قبل مهم شده است و پژوهش و تحقیق در خصوص منابع آب سازندهای سخت و به ویژه منابع آب کارستی به علت گسترش وسیع در کشور و منابع آب شیرین با کیفیت، از اهمیت بالایی برخوردار هستند. آب شرب حدود ۲۵٪ جمعیت جهان به آبخوان‌های کارستی وابسته است که حدود ۱۲٪ از سطح خشکی‌های جهان و ۱۱٪ خشکی‌های ایران را تشکیل داده‌اند [۴، ۵].

روش‌های مختلفی برای شناسایی منابع آب زیرزمینی وجود دارد. روش‌های سنتی اکتشاف آب‌های زیرزمینی با استفاده از روش‌های هیدروژئولوژیکی، زمین‌شناسی و ژئوفیزیک معمولاً زمان‌گیر و هزینه‌بر است. امروزه ادغام

سنجش از دور و تکنیک‌های GIS^۱ می‌تواند به کشف مناطق پتانسیل آب زیرزمینی و غلبه بر برخی از موانع ذکر شده کمک کند. تکنولوژی سیستم اطلاعات جغرافیایی در کمترین زمان ممکن و هزینه اندک، با دستکاری داده‌ها در مناطق بزرگ و غیر قابل دسترسی، به ابزاری بسیار مفید برای دسترسی، نظارت و حفظ منابع آب زیرزمینی تبدیل شده است [۱۳، ۱۵].

در ایران، محققین مختلف از جمله [۶، ۷] موفق به استفاده از تکنیک‌های RS^۲ و GIS برای ارزیابی پتانسیل آب زیرزمینی شده‌اند. لایه‌های موضوعی که برای تعیین مناطق پتانسیل‌دار آب زیرزمینی استفاده شده است، متناسب با موقعیت مورد مطالعه متغیر بوده است و اختصاص وزن به لایه‌های مختلف موضوعی و کلاس‌های آن‌ها صرفاً بر اساس تصمیمات کارشناسی بوده است. اخیراً در ایران [۸، ۹] با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک سنجش از دور، لایه‌های اطلاعاتی نظیر شیب و جهت شیب، بارش، شکستگی، زهکشی، لیتولوژی و کاربری اراضی تهیه شدند. برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی، لایه-های اطلاعاتی به روش‌های مختلف از جمله روش تصمیم-گیری چند معیاره (MCDM^۳) با استفاده از تکنیک تحلیلی سلسله مراتبی (AHP^۴) در محیط GIS تلفیق شدند.

Singh و همکاران در تحقیقی به تخمین آب زیرزمینی کتل‌کمند^۵ در هند پرداختند. با استفاده از دو روش تصمیم‌گیری (AHP) و (Catastrophe) لایه‌های رواناب، چگالی زهکش، زمین‌شناسی، شیب و مجاورت با مرزهای آبی را در محیط (GIS) وزن‌دهی و تلفیق کردند. نقشه نهایی حاصل از روش AHP با دقت ۸۲٪ نسبت به نقشه Catastrophe با دقت ۷۴٪ نتایج دقیق‌تری حاصل کرد [۲]. برای تهیه نقشه پتانسیل آب زیرزمینی کیلینوچی^۶ در جنوب سریلانکا، از لایه‌های اطلاعاتی ژئولوژی، ژئومورفولوژی، شیب، پوشش کاربری اراضی و نوع خاک استفاده شد. لایه-های اطلاعاتی از داده‌های SRTM^۷ و ماهواره AVNIR^۸ استخراج و در محیط GIS نقشه‌ها به ترتیب: ژئومورفولوژی، ژئولوژی، شیب، نوع خاک و پوشش کاربری اراضی از پنج تا یک وزن‌دهی و با یکدیگر تلفیق شدند [۱۰].

^۱ Geographic Information Systems

^۲ Remote Sensing

^۳ Multiple Criteria Decision Making

^۴ Analytical Hierarchy process

^۵ Canal Command

^۶ Killinochi

^۷ Shuttle Radar Topography Mission

^۸ Advanced Visible and Near Infrared Radiometer

به مدیران منابع آب کمک می‌کند تا به عنوان ابزار مفید و موثر برای مدیریت پایدار آب‌های زیرزمینی در مناطقی مانند دشت شاهرود که جز دشت‌های ممنوعه قرار گرفته و افت سطح آب‌های زیرزمینی در آن سالانه حدود ۷۰ سانتیمتر است، استفاده کنند.

تفاوت عمده این پژوهش با سایر مطالعات انجام شده در این زمینه، استخراج تمام لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از توانایی‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد تا بتوان دقت و کارایی سنجش از دور و تکنیک‌های پردازش تصویر را در این زمینه مورد ارزیابی قرار داد. 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. لازم به ذکر است که تاکنون نقشه پتانسیل آب‌های زیرزمینی در حوضه غرب و شمال غرب شاهرود انجام نشده است. خروجی این مقاله می‌تواند برای شرکت آب منطقه‌ای استان سمنان و دیگر شرکت‌ها برای اکتشاف و ارزیابی آب‌های زیرزمینی و مکان‌یابی محل مناسب حفر چاه در این منطقه پشتیبانی فنی داشته باشد.

۲- 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 مورد مطالعه، (شکل ۱-الف) حدود ۴۸۰ کیلومتر مربع می‌باشد. 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 هم باران که با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی موجود رسم شده است، بارش منطقه بین ۱۴۰ تا ۶۳۰ میلیمتر قرار می‌گیرد.

• ژئولوژی و هیدرولوژی منطقه

مطابق شکل ۱-الف 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

سیستم درز و شکستگی و همچنین گسل‌های موجود در منطقه، نقش مهمی در انحلال و جهت‌یافتگی سیستم غارها و حفره‌های انحلالی دارند [۱۱]. ساختارهای خطی شامل گسل‌ها و خطواره‌هایی هستند که نشانی از حرکت و ذخیره آب زیرزمینی بوده و جهت شناسایی و اکتشاف آب زیرزمینی اهمیت زیادی دارند [۱۲، ۱۳]. در این زمینه روش‌های اتوماتیک و نیمه اتوماتیک بسیاری توسعه داده شده که بیشتر بر اساس تکنیک‌های تشخیص لبه با استفاده از فیلترهای فضایی و مورفولوژیکی کار می‌کنند [۱۴].

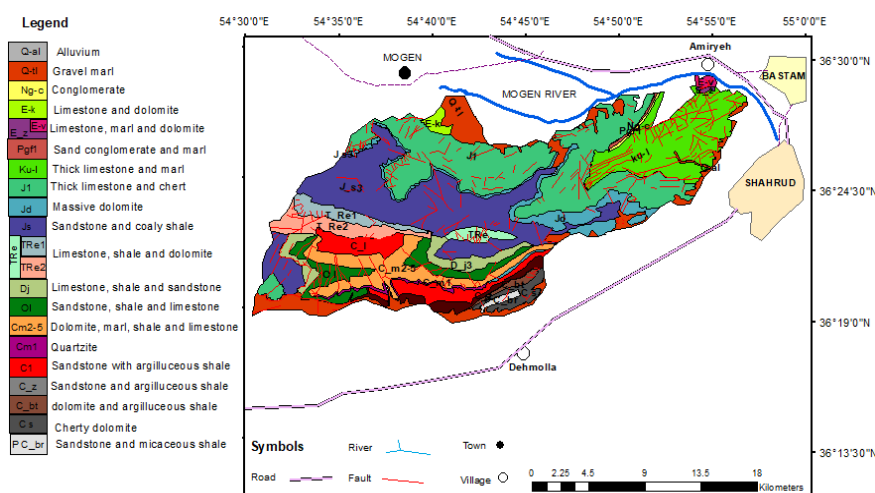
Aminov و همکاران در مطالعه خود برای استخراج خطواره‌ها به روش اتوماتیک از تصاویر ماهواره‌ای لندست و سنتینل استفاده کردند. آنها با ترکیب تکنیک‌های تشخیص لبه، الگوریتم پیوند خط و تعیین باند مناسب خطواره‌های جنوب شرقی پامیر واقع در منطقه آلیچار را استخراج کردند [۱۵]. همچنین خطواره‌های منطقه شمال غربی زاگرس ایران با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، با تکنیک‌های فیلترجهتی و ترکیب رنگی کاذب تصاویر ماهواره لندست ۷ برای کشف رسوبات سنگ معدن فلزی شناسایی شدند. از ادغام داده‌های لندست ۷ و مدل رقومی ارتفاعی استر و نقشه‌های زمین‌شناسی برای شناسایی خطواره‌های زمین‌شناسی در شمال غرب لیبی با استفاده از ترکیبات باندی مختلف و روش سایه روشن استفاده شد [۱۶].

هدف اصلی از این مطالعه مشخص نمودن مناطق دارای پتانسیل آب‌های زیرزمینی در سازندهای سخت شمال غرب و غرب شاهرود با استفاده از توانایی‌های علوم سنجش از دور GIS می‌باشد. این مقاله در پنج گام اصلی انجام می‌شود: در اولین مرحله لیتولوژی منطقه با تاکید بر شناسایی سازندهای آهکی منطقه با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ استخراج می‌گردد. در گام دوم، خطواره‌های منطقه با تلفیق روش دستی و اتوماتیک شناسایی و اعتبارسنجی می‌شود. برای استخراج خطواره‌ها تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و تصاویر راداری سنتینل ۱ استفاده گردید. در گام سوم سایر لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی ۳۰ متری SRTM در محیط GIS به دست می‌آیند. کلاسه‌بندی و وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده در گام چهارم در محیط GIS صورت می‌گیرد. برای تعیین وزن لایه‌های اطلاعاتی از تکنیک AHP و برای تلفیق لایه‌ها با یکدیگر از مدل وزنی خطی استفاده شد. در نهایت در گام پنجم لایه‌های اطلاعاتی با یکدیگر ترکیب و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی منطقه استخراج و با چاه‌ها و چشمه‌های موجود اعتبارسنجی گردید. تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی

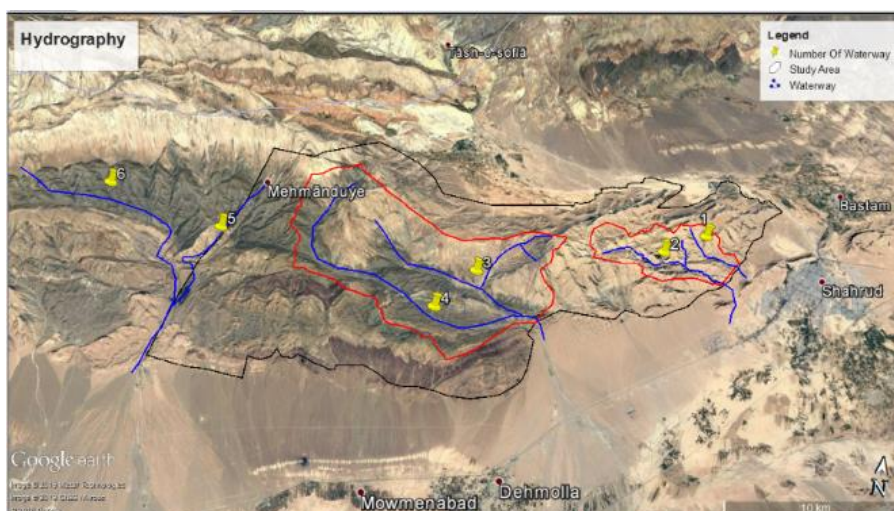
تشکیل آبخوان برخورداری هستند، آهک‌های مربوط به سازند لار و کرتاسه بالایی را شامل می‌شوند. این سازندها به دلیل انحلال‌پذیری بالایی که دارند، آبخوان‌های کارستی مناسبی را تشکیل داده‌اند. در سنگ‌های کارستی منطقه عوارضی از قبیل کارن‌ها (Karren)، دره‌های خشک (Dry Valleys)، سنگ‌های برهنه (Bare Rocks) و حفرات انحلالی کوچک و بزرگ مشاهده شده است.

چین‌خوردگی‌های منطقه مورد مطالعه را اساساً ساختمان‌های تاق‌دیسی و ناودیسی تشکیل می‌دهند. ساختمان‌های فوق عمده‌تاً دارای محوری در راستای شمال خاور - جنوب باختر و یا خاوری - باختری می‌باشد. تاق‌دیس تپال در توالی‌های ژوراسیک در جهت شمال خاور، تاق‌دیس مهماندویه، ناودیسی چگلشاه با محوری در راستای شمال خاوری - جنوب باختری است. ناودیس دهملا را بزرگترین ساختمان مذکور در منطقه می‌توان معرفی نمود.

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. از گسل‌های موجود در منطقه می‌توان گسل راندگی شاهرود، گسل راندگی طزره و گسل راندگی مجن را نام برد. پس از گسل‌های رانده، گسل‌های امتدادلغز و اساساً راست‌گرد بیشترین گسل‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. 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-ب ملاحظه می‌شود، مهم‌ترین این آبراهه‌ها، آبراهه دهملا (آبراهه ۴) می‌باشد. حوضه آبگیر دهملا عمده‌تاً از سازندهای شیلی و ماسه‌سنگی شمشک تشکیل شده است. دومین آبراهه مهم منطقه آبراهه شاهرود (آبراهه ۲) می‌باشد که حوضه آبگیر آن عمده‌تاً از سازندهای آهکی (سازند لار و کرتاسه) تشکیل شده است.



الف



ب

شکل ۱- الف) منطقه مورد مطالعه و ب) هیدروگراف منطقه

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- داده‌ها

تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تاریخ ۲۰۱۷/۱۰/۳۱ با مشخصات (path/raw = 162/35) و پوشش ابری ۱,۴۶ درصد، کیفیت عکس برداری ۱۶ بیتی و توان تفکیک مکانی ۱۵، ۳۰ و ۱۰۰ متر با سیستم مختصات UTM از سایت زمین شناسی آمریکا^۱ تهیه گردید.

مدل رقومی ارتفاعی منطقه SRTM 1Arc-Second با مشخصات (n36e0541arcv3) در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۰۰ با دقت مکانی ۳۰ متر از سایت زمین‌شناسی آمریکا نیز تهیه گردید.

تصویر راداری سنتینل ۱ (S1A) از رادار SAR^۲ با استفاده از حالت چرخش IW^۳ در جهت صعودی و قطبش دوگانه انتقال عمودی دریافت عمودی (VV) و انتقال عمودی دریافت افقی (VH) که شامل سه نوار عمودی IW1، IW2 و IW3 می‌باشد، در تاریخ ۲۰۱۹/۰۶/۰۹ از سایت <https://scihub.copernicus.eu/> تهیه شد.

برای اعتبارسنجی لایه‌های اطلاعاتی به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل دقیق‌تر منابع آب‌ریززمینی، از نقشه زمین‌شناسی منطقه شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ که توسط سازمان زمین‌شناسی و نقشه‌برداری ایران تهیه شده استفاده گردید.

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.

۳-۲- پیش پردازش

مرحله پیش پردازش در پردازش تصاویر دیجیتال گام مهمی است که برای کاهش اثرات اتمسفر موجود در تصاویر نوری از راه دور انجام می‌شود [۱۷]. گراف شکل ۲ مراحل پیش پردازش و پردازش را نمایش می‌دهد. برای داده راداری تصحیح توپوگرافی، تصحیح هندسی و فیلتر اسپیکل برای کاهش نویز اسپیکل موجود انجام می‌شود. برای داده-

های لندست ۸، تصحیح رادیومتریکی و اتمسفریکی با استفاده از مدل FLAASH برای باندهای SWIR و VNIR سنجنده OLI برای کاهش اثرات اتمسفری انجام شد. برنامه FLAASH از رابطه ۱ برای محاسبه تابش طیفی در سنجنده برای محدوده‌های طول موج خورشیدی (به غیر از محدوده حرارتی) استفاده می‌کند:

$$L = \left(\frac{Ap}{1 - \rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1 - \rho_e S} \right) + L_a \quad (1)$$

عبارت اول و دوم معادله شامل تابشی است که 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. در این معادله L ، رادیانس طیفی در سنجنده بر حسب $\mu W / (sr \cdot nm \cdot cm^2)$ ، ρ_e بازتابندگی سطحی پیکسل، ρ_e انعکاس میانگین برای پیکسل و محدوده اطراف آن، S آلبدوی نیمکره‌ای اتمسفر، ضرایب A و B نیز ضرایب وابسته به شرایط هندسی و جوی هستند که ارتباطی با سطح ندارند. برای باندهای حرارتی تصحیح رادیومتری و اتمسفری انجام شد. برای افزایش قدرت تفکیک مکانی، باندهای VNIR و SWIR با باند پانکروماتیک ادغام شدند.

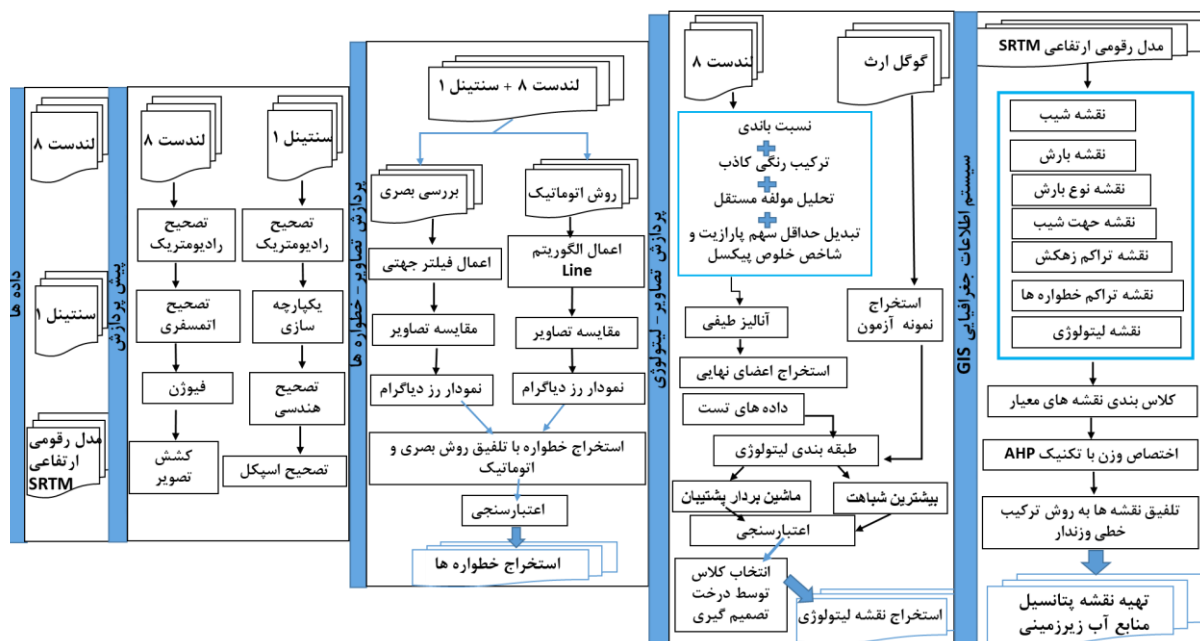
منطقه مطالعاتی در داده راداری در نوار IW2 قرار گرفته است که برای جداسازی نوار IW2 و سایر تصحیحات از نرم‌افزار SNAP^۴ استفاده شده است. پیش از تصحیح هندسی، تصحیح رادیومتریکی اعمال می‌گردد. برای کاهش و حذف اثر اسپیکل از فیلتر Lee که بر اساس فرض توزیع گوسی برای نویز در تصویر SAR تبعیت می‌کند، استفاده شد.

^۱ <https://earthexplorer.usgs.gov>

^۲ Sentinel-1A

^۳ Synthetic Aperture Radar

^۴ Interferometric Wide



شکل ۲- گراف مراحل انجام مطالعه

۳-۳- پردازش تصاویر

۳-۳-۱- الگوریتم ترسیم قطعات^۱

ماژول الگوریتم خط، تنها عوارض خطی بر روی تصاویر ماهواره‌ای را آشکارسازی نموده و با به کارگیری شش پارامتر شعاع فیلتر^۲، حد آستانه گرادیان^۳، حد آستانه طول^۴، حد آستانه خطای خط^۵، حد آستانه اختلاف زاویه‌ای^۶، حد آستانه فاصله متصل کردن^۷ در سه مرحله آشکارسازی لبه-ها^۸، آستانه گذاری^۹ و آشکارسازی منحنی^{۱۰} در محیط نرم-افزاری PCI GEOMATICA پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای اجرا و پیاده سازی می‌شود [۱۸].

در مرحله اول جهت آشکارسازی لبه از سه پارامتر اول استفاده می‌شود. سپس با استفاده از رابطه ۲، نرم^{۱۱} گرادیان برای هر بلوک محاسبه می‌شود.

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (2)$$

اندازه و مقدار G در رابطه (۲)، نشان‌دهنده قدرت لبه است. همچنین با استفاده از ماسک گرادیان در دو جهت x و y ، راستای لبه طبق رابطه (۳) مشخص می‌شود.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{G_x}{G_y} \quad (3)$$

در مرحله سوم که آشکار سازی لبه است، تمامی منحنی‌های مربوط به تصویر باینری در مرحله قبل با استفاده از حد آستانه‌های $LTHR$ ، $FTHR$ ، $ATHR$ و $DTHR$ آشکارسازی می‌شوند.

۳-۳-۲- فیلتر گذاری

در تصاویر ماهواره‌ای، خطواره‌های عمود بر راستای تابش خورشید، به طرز بهتری نمایان می‌شوند، بنابراین فیلترگذاری نقش مهمی در آشکارسازی لبه‌ها، تشخیص خطواره‌ها و تفسیر بصری عکس‌های هوایی، ماهواره‌ای و راداری دارد [۱۹].

۳-۳-۳- تبدیل حداقل سهم پارازیت^{۱۲} و PPI

داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی معمولاً شامل مقداری پارازیت هستند که منجر به کاهش دقت الگوریتم‌های متداول طبقه‌بندی می‌شوند. هدف اصلی در روش MNF

^۱ The LINE (Lineament Extraction) Module

^۲ RADI

^۳ GTHR

^۴ LTHR

^۵ FTHR

^۶ ATHR

^۷ DTHR

^۸ Edge Detection

^۹ Thresh holding

^{۱۰} Curve Detection

^{۱۱} Norm

^{۱۲} Minimum Noise Fraction Transform

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{(\sum_{i=1}^{nb} t_i^2)^{0.5} (\sum_{i=1}^{nb} r_i^2)^{0.5}} \right] \quad (10)$$

nb تعداد باندها، t و r بردار طیف نقاط آزمایشگاهی و هدف هستند.

۳-۳-۵- ترکیب رنگی کاذب^۴ و نسبت بانندی^۵

برای شناسایی انواع مختلف لیتولوژی از روابط متقابل بین طول موجهای مختلف جهت ایجاد تصاویر ترکیب رنگی کاذب استفاده می‌شود که در بارز کردن پدیده‌ها نقش موثری را ایفا می‌کند [۱۷]. همچنین نسبت بانندی یک روش ساده برای افزایش تفاوت‌های جزئی در بازتاب طیفی سنگ‌ها و خاک‌ها است که خصوصیات رنگی یا طیفی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منظره بر اثر تغییرات توپوگرافی، منتقل می‌کند. محققین از این روش جهت به نقشه درآوردن گیاهان، رس‌ها و تشخیص زون‌های دگرسانی ناشی از دگرسانی هیدروترمال استفاده کردند [۲۱].

۳-۳-۶- تحلیل مولفه‌های مستقل^۶

آنالیز مولفه‌های مستقل یک تکنیک آماری به منظور آشکارسازی ساختار پنهان داده‌ها است به نحوی که سیگنال‌های منبع مستقل را از طریق جستجوی یک تبدیل خطی استخراج کند و وابستگی آماری بین مولفه‌ها را به حداقل برساند. به علت تغییرات مختلف زمین‌شناسی مانند هوازدگی و خوردگی و جابجایی که سبب به وجود آمدن طیف متنوعی از لیتولوژی در یک پیکسل می‌شود، محیط مورد مطالعه در قالب پیکسل‌های مختلط ظاهر می‌شود. در مدل اختلاط طیفی، بازتابندگی پیکسل ρ_λ به صورت ترکیب خطی از بازتابندگی هر ماده درون پیکسل $\rho_{i\lambda}$ به همراه درصد حضور آن ماده f_i در پیکسل، طبق رابطه (۱۱) تعریف می‌گردد که در آن p تعداد کلاس‌ها و n نیز مقدار نویز است.

$$\rho_\lambda = \sum_{i=1}^p f_i \times \rho_{i\lambda} + n \quad (11)$$

$$X = A.S + N \quad (12)$$

شناسایی و جداسازی سهم پارازیت در بین تصاویر باندهای مختلف چندطیفی است. هر تصویر را می‌توان به صورت جمع سیگنال و نویز، رابطه (۴) نیز نوشت:

$$Z(x) = S(x) + N(x) \quad (4)$$

$$\begin{aligned} Cov\{Z(x)\} &= Cov(S_i) + Cov(N_i) \\ Cov\{Z(x)\} &= \Sigma = \Sigma_S + \Sigma_N \end{aligned} \quad (5)$$

بنابراین با فرض نا هم‌پیوسته بودن سیگنال و نویز، ماتریس کواریانس را طبق رابطه (۵) می‌توان نوشت. با استفاده از نسبت واریانس نویز، میزان کسر نویز^۱ از رابطه (۶) و نسبت سیگنال به نویز^۲ از رابطه (۷) به دست می‌آید. همچنین متناسب با رابطه (۶) تبدیل MNF خطی را می‌توان به صورت رابطه (۸) تعریف کرد.

$$NF = Var\{N_i(x)\} / Var\{Z_i(x)\} \quad (6)$$

$$SNR = Var\{S_i(x)\} / Var\{N_i(x)\} \quad (7)$$

$$Y_i(x) = A^T Z(x) \quad (8)$$

$$\Sigma^{-1} \Sigma_N = \Lambda A \quad (9)$$

A ماتریس بردار اصلی و ماتریس قطری Λ ماتریس مقادیر اصلی می‌باشد.

پس از کاهش بعد داده با روش MNF، الگوریتم PPI پیکسل‌های طیفی خالص را از نوارهای MNF جدا می‌کند. برای استخراج پیکسل‌های خالص یک حد آستانه در نظر گرفته می‌شود که مقدار این حد آستانه معمولاً دو یا سه برابر سطح نویز داده است. در تصاویر لندست، سطح نویز کمتر از یک DN می‌باشد، به همین خاطر حد آستانه ۲ یا ۳ مقدار مناسبی است [۲۰].

۳-۳-۴- نقشه بردار زاویه طیفی^۳

نقشه بردار زاویه طیفی یک روش طبقه‌بندی تصویر با محاسبه تشابه بین طیف تصویر و یک طیف مرجع (مانند کتابخانه‌های طیفی) است. الگوریتم SAM شباهت بین دو طیف را به وسیله زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می‌کند (رابطه (۱۰)) [۱۷، ۲۱].

^۴ False Color Composition

^۵ Band Ratio

^۶ Independent Component Analysis

^۱ Noise Fraction

^۲ Signal to Noise Ratio

^۳ Spectral Angle Mapper

هدف اصلی ICA پیدا کردن بهترین نمایش داده‌ها در یک تبدیل خطی و مطابق رابطه (۱۲) است. در رابطه (۱۲)، X مشاهدات خروجی سیستم، A ماتریس ترکیب، S منابع مستقل و N نویز می‌باشد. با به کارگیری ICA می‌توان نقشه‌ای از حضور و میزان سهم منابع را با دو فرض استقلال آماری و غیر گوسی بودن داده‌ها استخراج کرد [۱۷].

۳-۳-۷- الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال^۱

طبقه‌بندی کننده ML، کلاس هر نمونه را براساس میزان شباهت مدل آن نمونه به مدل واقعی داده‌های آن کلاس تعیین می‌کند. برای به دست آمدن ماکزیمم احتمال از رابطه (۱۳) استفاده می‌شود:

$$d \in w_i \text{ if } P(w_i|x) > P(w_j|x) \text{ for all } i \neq j \quad (13)$$

در رابطه ۱۳ (w_i) کلاس‌های طیفی تصویر، i تعداد کلاس‌های مورد نظر و $P(w_i|x)$ احتمال این که کلاس‌ها شامل پیکسل مورد نظر باشند، است. مقدار احتمال $P(w_i|x)$ نامشخص است، بنابراین با فرض تبعیت داده‌ها از توزیع نرمال چند متغیری گوسین برای مجموعه‌ای m عضوی با n بعد، از رابطه (۱۴) به عنوان تابع مرکزی استفاده می‌کنند. همچنین احتمال این که یک پیکسل به کدام کلاس تعلق دارد $P(x|w_i)$ ، از رابطه (۱۵) محاسبه می‌گردد. در رابطه ۱۵، $\sum_i$ میانگین وکتور و ماتریس کواریانس کلاس w هستند. $P_i(x)$ احتمال وجود x در کلاس i $P(w_i)$ احتمال اولیه کلاس i می‌باشد [۱۷].

$$g_{[m,c]} = \frac{1}{(\sqrt{2})^n \sqrt{\det(c)}} e^{\frac{-(x-m)^T C^{-1}(x-m)}{2}} \quad (14)$$

$$P_i(x) = \ln p(w_i) - \frac{1}{2} \ln |\sum_i| - \frac{1}{2} (x-m_i)^t \sum_i^{-1} (x-m_i) \quad (15)$$

۳-۳-۸- الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان^۲

SVM را می‌توان الگوریتمی دانست که طی آن دو کلاس به‌وسیله یک صفحه چندگانه جداکننده که روی داده‌های

آموزشی تعریف می‌شود، از هم جدا و مشخص می‌شوند (رابطه (۱۶)). هدف از SVM، پیدا کردن مرزهای تصمیم‌گیری میان کلاس‌ها بر اساس داده‌های آموزشی است.

$$y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 \quad (16)$$

رابطه ۱۶ معادله فراصفحه که w جهت فراصفحه و b پارامتر بایاس صفحه است را مشخص می‌کند. کرنل مورد استفاده در این تحقیق مطابق (رابطه ۱۷)، RBF می‌باشد.

$$K(x, \hat{x}) = \exp(\lambda \|x - \hat{x}\|^2) \quad (17)$$

روش مورد استفاده در این تحقیق روش ماشین بردار پشتیبان چندکلاسه یک در مقابل همه است که برای طبقه بندی داده‌های سنجش از دوری با بیش از دو کلاس مناسب می‌باشد [۱۷].

۳-۳-۹- طبقه‌بندی درختی^۳

روش درختی یک ساختار سلسله مراتبی است که از سطوح مختلف تشکیل شده است. در هر سطح داده مورد آنالیز قرار گرفته، تست شده و براساس نتیجه 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 [۱۷].

۳-۴-۲- استخراج نقشه‌ها با تکنیک سنجش از دور

۳-۴-۱- استخراج لیتولوژی

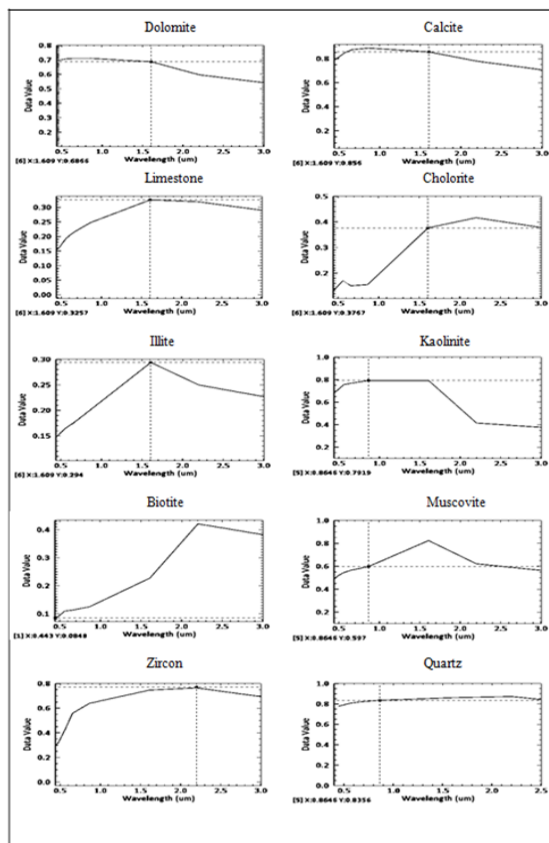
از طریق روش‌های سنجش از دور می‌توان اطلاعاتی در مورد ترکیب سنگ‌ها و شناخت باندهای جذب به دست آورد [۲۲، ۲۳]. در شکل ۳-الف نمودار طیفی غالب کانی‌های منطقه که از کتابخانه (USGS) استخراج شده است را مشاهده می‌کنید که مبنای کار تکنیک‌های

^۳ Decision Tree Classification (Dts)

^۱ Maximum Likelihood Classification

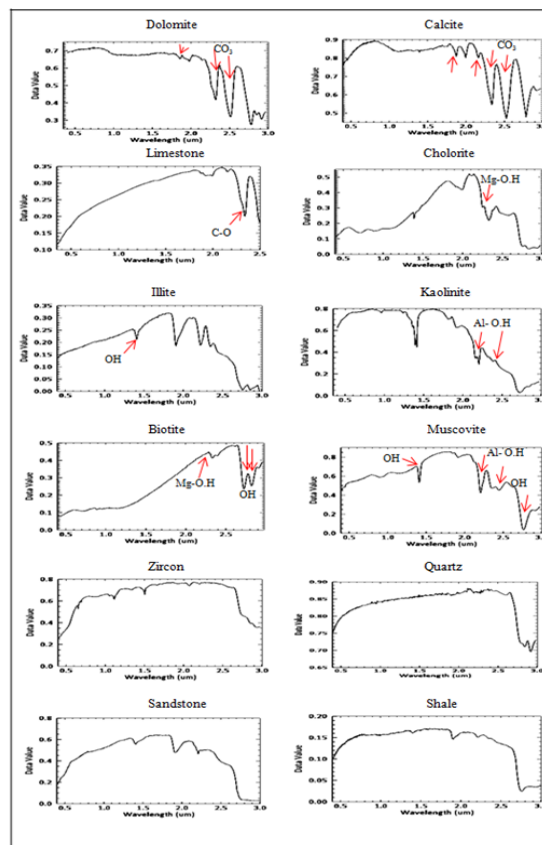
^۲ Support Vector Machine

از تهیه نقشه‌های مختلف متناسب با روش‌های ذکر شده با استفاده از تعریف نمونه‌های آموزشی، الگوریتم‌های طبقه‌بندی اعمال می‌گردد. بعد از طبقه‌بندی، نقشه نهایی با نقشه زمین‌شناسی منطقه که توسط سازمان زمین‌شناسی تهیه شده است، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.



ب

پردازش تصویر می‌باشد. یون‌های انتقالی نظیر C-O ، CO_3 و... برگرفته از [۲۴، ۲۵] می‌باشند. در شکل ۳-ب نمودارهای طیفی که در سنجنده OLI بازنویسی شده‌اند را مشاهده می‌کنید. برای تهیه نقشه لیتولوژی با تصاویر ماهواره لندست ۸، از تکنیک‌های پردازش تصویر که شامل ترکیب RGB، BR، IC و MNF است، استفاده گردید. پس



الف

شکل ۳- (الف) نمودار طیفی کانی‌های منطقه برگرفته از کتابخانه USGS، (ب) نمودار بازنویسی شده کانی‌های منطقه با سنجنده OLI در نرم افزار Envi

• ترکیب رنگی

را برای بارزسازی بهتر منطقه به نمایش گذاشته است. شکل ۴-ب حاصل ترکیب باندی ۱۱، ۱۰ 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 حاوی مقادیر بیشتر سیلیکات به همراه کانی‌های دیگر هستند. همچنین مناطق آبی رنگ آهکی بوده و به همین خاطر از انتشار پایینی برخوردار هستند و مقادیر کمی از سیلیکات‌ها را در بر می‌گیرند و شامل آهک می‌باشند. 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.

ترکیب رنگی باندهای ۶، ۵ و ۷ برای بارزسازی سنگ‌های آذرین، دگرگونی و گیاهان مناسب است. گیاهان محدوده جذبی $0.45 - 0.58$ و بازتاب $0.12 - 0.17$ میکرومتر دارند که باند ۵ برای شناسایی آن‌ها مناسب می‌باشد. کانی‌های رس و کربنات در محدوده طیفی جذب $0.24 - 0.27$ (باند ۷) و بازتاب $0.15 - 0.17$ (باند ۶) می‌باشند. سیلیکات‌ها در باندهای حرارتی در محدوده $0.9 - 1.0$ میکرومتر و $1.1 - 1.3$ دارای انتشار می‌باشند که در محدوده 1.1 میکرومتر قابلیت انتشار بالاتری دارند [۱۲]. بنابراین شکل ۴-الف ترکیب رنگی باندهای ۶، ۵ و ۷

• تبدیل حداقل سهم پارازیت

برای اطمینان از به کارگیری تمامی اطلاعات ارزشمند موجود، تبدیل MNF یکبار بر روی تمام باندهای سنجنده OLI و یکبار هم بر روی باندهای حرارتی اعمال شده است. اجزای MNF با مقادیر اصلی کمتر یا نزدیک به ۱ معمولاً از داده‌ها به عنوان نویز حذف می‌شوند تا نتایج پردازش طیفی را بهبود بخشند. بنابراین مولفه هفتم با مقدار (۱,۷۱) حذف گردید. برای پیدا کردن ترکیب رنگی مورد نظر مقدار بارگذاری باندها در مولفه‌های مختلف بررسی گردید. قسمت‌های آهکی منطقه به خوبی در مولفه دوم با بیشترین مقدار (۰,۶۸ و ۰,۷۶) در باند ۶ و باند ۷ بین سایر مولفه‌ها نمود دارد. مولفه پنجم با مقدار (۰,۱۹) در باند ۴ نیز توانایی خوبی در تفکیک سازند لالون دارد و در مولفه سوم تصویر مناطق شهری و روستایی به خوبی قابل نمایش است (شکل ۴-ج). بعد از اعمال MNF برای استخراج اعضای طیفی الگوریتم PPI با تکرار ۱۰۰۰ و حد آستانه ۲ اعمال گردید. برای تهیه طیف پیکسل‌های خالص از تمام سازندهای منطقه، ROI تهیه و با استفاده از محیط N بعدی و تکنیک Spectral Analyst به روش SAM با طیف کتابخانه‌های معدنی زمین شناسی ایالات متحده و دانشگاه جان هاپکینز مقایسه گردید که به شرح زیر است [۲۱].

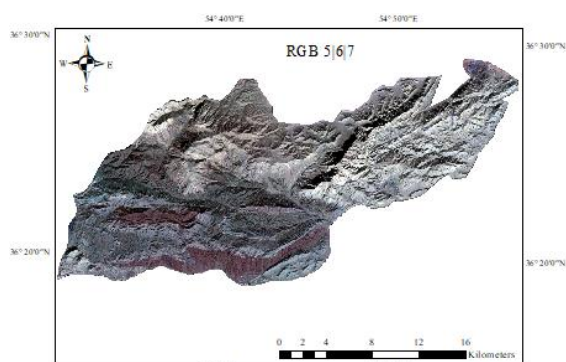
کلاس ۲ از منحنی‌های طیفی سازند آهکی Ku شکل (۵-الف) از تطابق بالایی با طیف دولومیت برخوردار است. همچنین رفتار طیفی کلاس ۵ شباهت بالایی با ترکیب طیفی دولومیت و آهک فسیل‌دار ($S_1 + S_2$)، دارد. منحنی طیفی کلاس ۵، ۴ و ۱ سازند J1 و Jd آهک-های سازند لار به ترتیب با رفتار طیفی دولومیت و کلسیت، آهک و چرت مشابه است که از اجزای اصلی سازند می‌باشند (شکل ۵-ب).

سازندهای شمشک متشکل از ماسه‌سنگ و شیل‌های خاکستری تا سیاه تیره می‌باشند که در آن معدن زغال-سنگ طزره نیز واقع است. به همین خاطر در شکل ۵-ج رفتار طیفی کلاس ۴ با شیل کربنات‌دار و رفتار کلاس ۲ و کلاس ۶ مشابه رفتار شیل و ماسه‌سنگ می‌باشد.

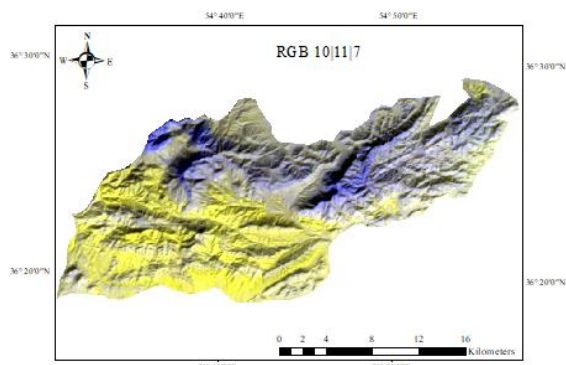
عضوهای سازند الیکا مربوط به تریاس زیرین متشکل از سنگ آهک و شیل در گروه Tre دسته‌بندی شدند و تطابق خوبی بین رفتار طیفی کلاس ۱ و ۳ با آهک و

ترکیب کائولینیت-اسمکتیت که در ساختار شیل وجود دارند، می‌باشد (شکل ۵-د).

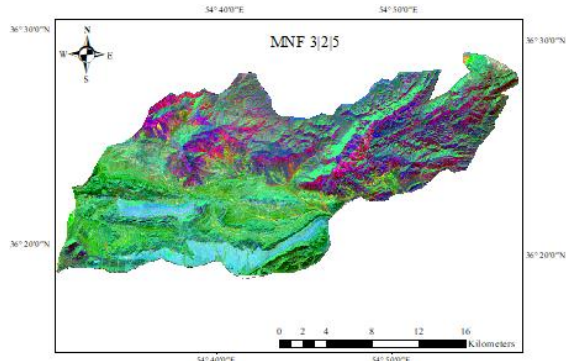
سازند Ek متشکل از آهک دولومیت دار تطابق بالایی با آهک دولومیتی دارد (شکل ۵-ر). همچنین آبرفت‌های منطقه در شکل ۵-ر شباهت خوبی با رفتار طیفی ایلیت و مونتموریلونیت که از خانواده رس‌ها می‌باشند، دارد. سازندهای قسمت جنوبی منطقه که عمدتاً از ماسه‌سنگ شیل‌های رسی تشکیل شده‌اند، از بازتاب پایینی برخوردارند که با رفتار طیفی میکا قهوه‌ای مایل به زرد و رس قهوه‌ای متمایل به قرمز تیره مشابه است که در تصاویر رنگی، قرمز تیره و $Cm2-5$ قهوه‌ای روشن دیده می‌شوند (شکل ۵-ه).



الف

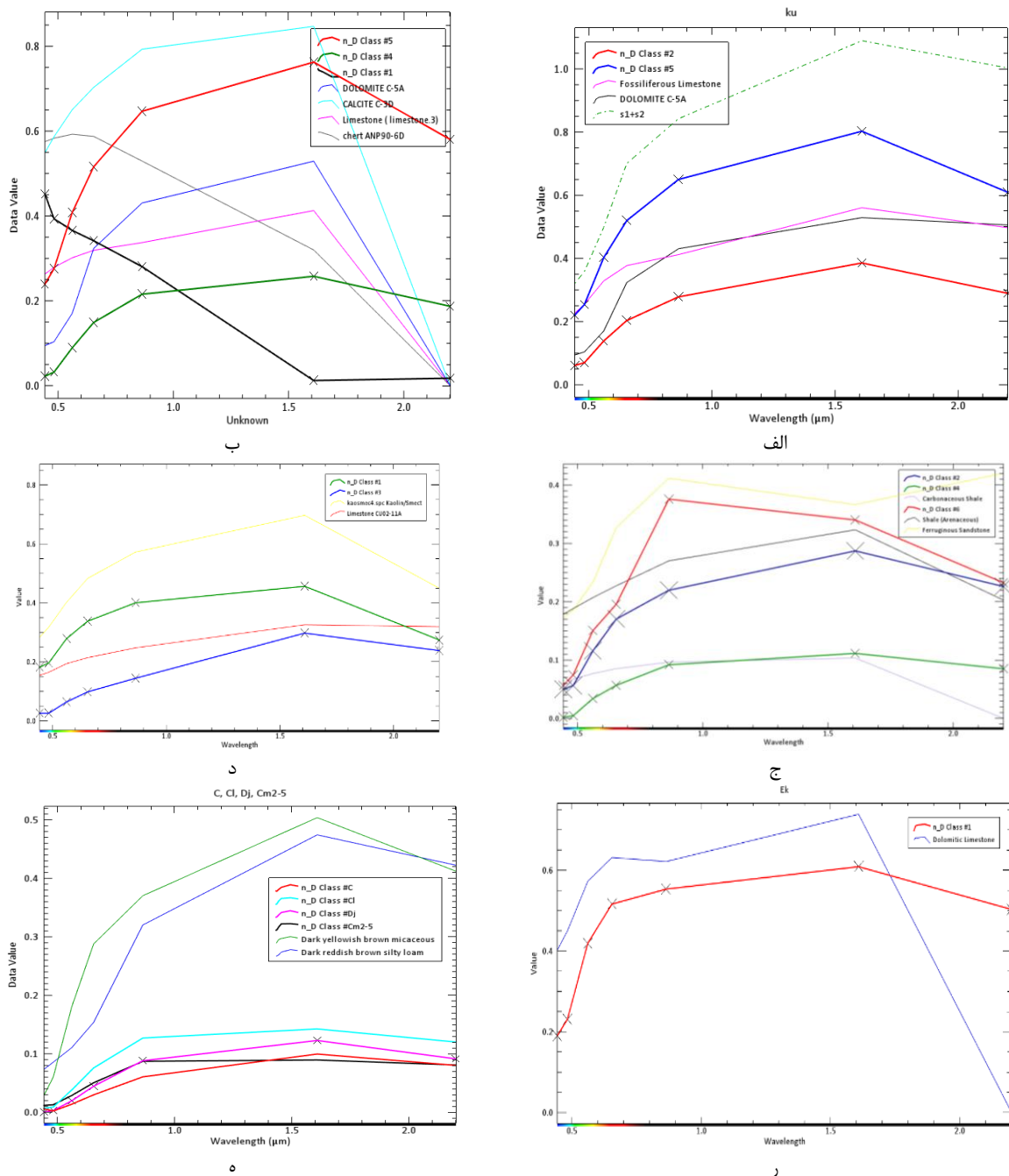


ب



ج

شکل ۴- ترکیب رنگی باندهای ۵:۶:۷ (ب)، ترکیب رنگی باندهای ۱۰:۱۱:۷ (ج) ترکیب رنگی مولفه‌های ۳:۲:۵



شکل ۵- منحنی طیفی استخراج شده از کتابخانه طیفی در نرم افزار Envi، (الف) سازند کرتاسه بالایی، (ب) سازند لار، (ج) سازند شمشک، (د) سازند الیکا، (ر) آهک سازند Ek، (ه) مجموعه سازندهای جنوب منطقه که عمدتاً شیلی و ماسه سنگی می باشند.

•نسبت باندی

برای آشکارسازی کربناتهای منطقه با توجه به منحنی طیفی شکل ۳ و ۵، رابطه (۱۸) بر روی باندهای ۴، ۶، ۷ و ۱۰ تصویر اعمال گردید.

$$\text{Carbonate Index} = \frac{B6 + B7}{B10 + B4} \quad (18)$$

مطابق شکل ۶-الف قسمت‌های آهکی منطقه روشن و جنوب منطقه شامل شیل، ماسه سنگ و سنگ‌های

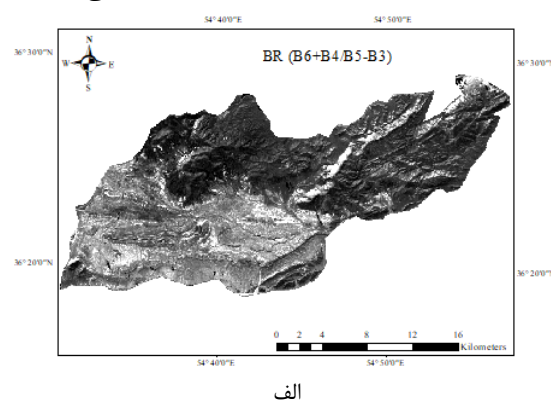
دگرگونی است، تیره دیده می شود. همچنین با استفاده از پدیده جذب رس‌ها در محدوده ۱،۵۵-۱،۷۵ (به طور خاص در ۱،۶)، می توان رس‌های منطقه را با نسبت باندی رابطه (۱۹) با استفاده از باندهای ۳، ۴، ۵ و ۶ تصویر مشخص نمود که در شکل ۶-ب مشاهده می شود.

$$\text{Clay Index} = \frac{B6 + B4}{B5 - B3} \quad (19)$$

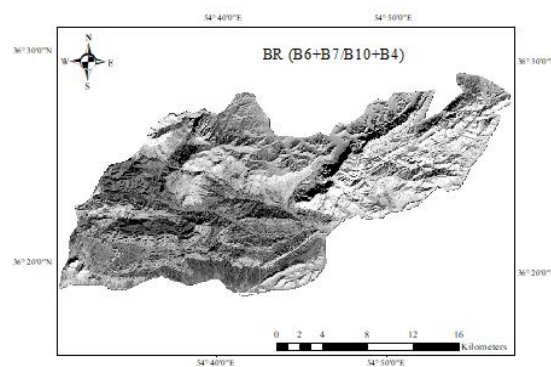
همچنین برای تشخیص سازند لالون و شمشک می توان از نسبت رابطه ۲۰ استفاده کرد.

$$Cl \text{ and } Js \text{ Index} = \frac{B6 + B7}{B4 - B3} \quad (20)$$

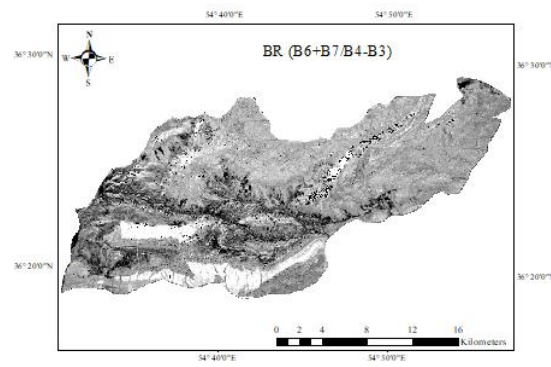
مطابق شکل ۶- ج سازند لالون به رنگ روشن و سازند شمشک به صورت رگه‌های سیاه و روشن دیده می‌شود.



الف



ب



ج

شکل ۶- تصاویر نسبت باندی الف) سازندهای آهکی به رنگ روشن، ب) سازندی شیلی و ماسه سنگی، ج) سازندهای شمشک و لالون

• تحلیل مولفه مستقل

در این تحقیق IC بر روی باندهای ۲، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۱۰ اجرا گردید. میزان بارگذاری باندها در مولفه‌ها به صورت آماری و نمایش دو بعدی آنالیز شد. متناسب با میزان بارگذاری باندها در مولفه‌های مختلف، بیشترین مقادیر بازتاب در مولفه‌های اول، دوم و چهارم قرار دارد. مؤلفه اول که شامل بیشترین مقادیر طیفی و مکانی می‌باشد،

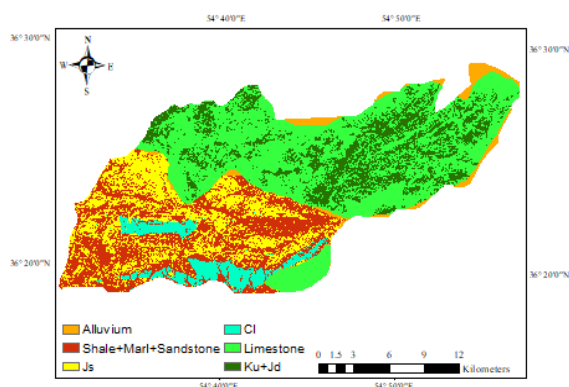
انتخاب می‌گردد؛ مؤلفه دوم به علت بازتاب بالا در باند ۶ و بیشترین جذب در محدوده حرارتی انتخاب می‌گردد. بعد از IC1 و IC2، بیشترین مقدار بازتاب در IC4 بیشترین بازتاب در بین سایر مولفه‌ها در محدوده حرارتی برای شناسایی رس‌ها را در بر می‌گیرد (شکل ۷-الف).

• طبقه‌بندی تصاویر

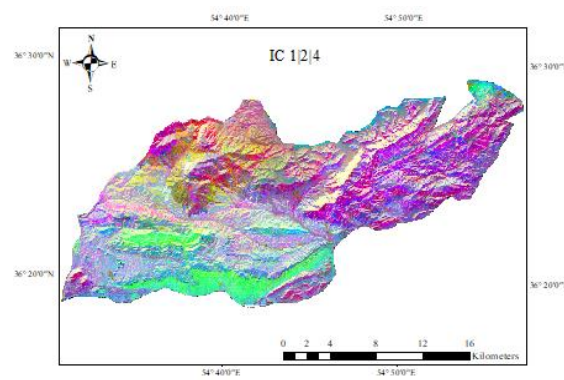
در این مطالعه از بین Endmemberهای استخراج شده، اعضایی که رفتار طیفی مشابه داشتند حذف و در نهایت از ۱۱ عضو برای طبقه‌بندی استفاده گردید (شکل ۷-ب). همچنین نمونه‌های آزمون طبقه‌بندی نیز با مشاهده بصری و استفاده از تصاویر گوگل ارث استخراج شد. با استفاده از روش SVM و ML بر روی ۷ باند پردازش شده سنجیده OLI به روش‌های مختلف با هدف استخراج مناطق آهکی طبقه‌بندی صورت گرفت. نتایج طبقه‌بندی با استفاده از ماتریس ابهام ارزیابی گردید (جدول ۱). همانطور که در جدول قابل مشاهده است، سازندها با درصد پایینی شناسایی شده‌اند که به دلیل شباهت طیفی Endmemberهای استخراج شده است. برای تهیه نقشه‌ای دقیق و استفاده از نقاط مثبت روش-های مختلف، بهترین کلاس‌های تشخیص داده شده با بیشترین انطباق در جدول ۱ با استفاده از روش کلاسه-بندی درختی استخراج گردید. با استفاده از تصاویر نسبت باندی، منطقه به دو قسمت آهکی (مرز سبز رنگ) و غیر آهکی (مرز قهوه‌ای) تفکیک شده است. سپس با استفاده از خروجی‌های مدل برای مقدارهای متفاوت، بهترین مقادیر برای الگوریتم (SVM_RGB، SVM_IC و SVM_IC) قسمت‌های آهکی به رنگ سبز در یک کلاس Ku_Jd با دقت ۹۹٫۲ درصد در مقایسه با نقشه زمین شناسی موجود در سازمان نقشه برداری طبقه‌بندی شدند. سازند شمشک با استفاده از کلاس‌های Tre، Js و Dj هر ۶ روش پیشنهادی با دقت ۸۰٫۳ درصد استخراج گردید. همچنین سازند لالون با استفاده از خروجی SVM_MNF با دقت ۸۱٫۲ درصد نیز استخراج گردید. کاپا نقشه به دست آمده ۰٫۸۳ می‌باشد (شکل ۸).

جدول ۱- ماتریس ابهام روش‌های طبقه بندی

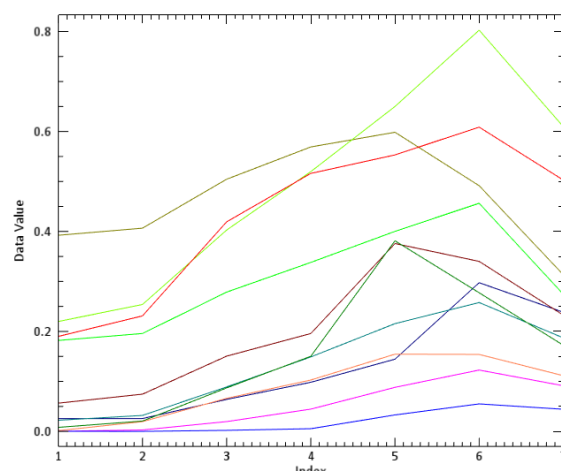
product accracy	ML_RGB	ML_IC	ML_MNF	SVM_RGB	SVM_MNF	SVM_IC
Ku	۰,۶	۱,۰	۲,۶	۳,۷	۱۵,۰	۶,۰
Jd	۰,۰۸	۱,۱	۳,۸	۶۰,۰	۴۲,۰	۵۴,۱
Ek	۱۱,۰	۳۰,۰	۲۶,۷	۰,۰	۲۲,۴	۱۵,۸
Js	۴,۰	۳,۲	۴,۷	۱۸,۶	۳۶,۳	۲۷,۱
Tre	۰,۳	۱,۰۹	۰,۸	۲۱,۲	۷,۴	۹,۷
Cl	۱,۵	۱,۷	۱,۸	۱۰,۰	۸۲,۹	۸
Cm2-5	۱,۰	۱,۰	۱,۰	۱۶,۳	۴,۳	۱۴,۵
Q	۲۲,۰	۲۲,۰	۱۷,۰	۵,۸	۱,۶	۰,۶
City	۸,۰	۳۰,۰	۲۹,۶	۹۳,۵	۱۸,۰	۲۲,۷



شکل ۸- نقشه لیتولوژی استخراج شده منطقه



الف



ب

شکل ۷- الف) ترکیب رنگی مولفه‌های مستقل و ب) مجموعه منحنی- های طیفی استخراج شده از کتابخانه طیفی بر اساس رفتار در ۷ باند سنجنده OLI

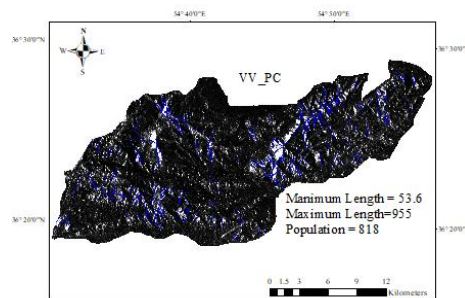
۳-۴-۲- استخراج خطواره

• استخراج اتوماتیک خطواره

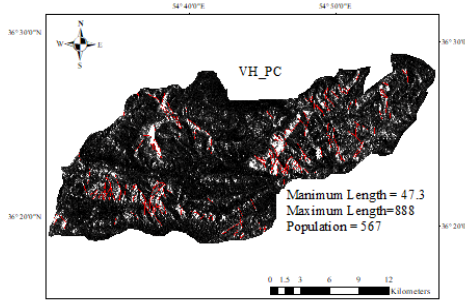
پیدا کردن مقدار مناسب برای هر پارامتر اولین و مهمترین قدم برای استخراج خطواره‌ها است که با اجرای آزمایشی Line در نرم افزار PCIGeomatica طبق جدول ۲ به دست آمد [۲۶]. سپس مدل برای تمامی باندهای لندست ۸ و سنتینل ۱ اجرا شد تا بهترین تصویر بر اساس توانایی در استخراج خطواره‌ها بدست آید. در این تحقیق بر اساس رز دیاگرام و شکل ۹-ج، باند ۶ با آشکارسازی ۵۴۰ خطواره در راستای شمال شرق- جنوب غرب، داده راداری ۷۷ با ۸۱۸ خطواره (شکل ۹-الف) و VH با ۵۶۷ خطواره در راستای شمال غرب جنوب شرق (شکل ۹-ب) در نظر گرفته شدند.

جدول ۲- مقادیر پارامترهای الگوریتم Line

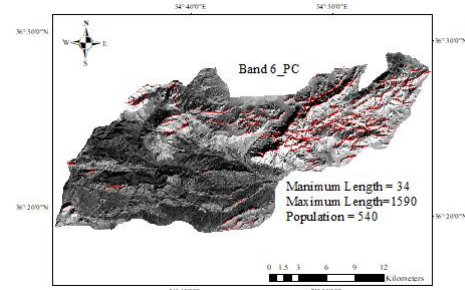
پارامتر:	RADI	GTHR	LTHR	FTHR	ATHR	DTHR
مقدار	۷	۱۶۰	۴۰	۳	۳۰	۷۰



الف



ب



ج

شکل ۹- الف و ب) خطواره‌های استخراج شده به روش اتوماتیک در قطبش VV و VH ماهواره سنتینل ۱ و ج) متعلق به باند ۶ لندست ۸

• بررسی بصری خطواره‌های استخراج شده

تکنیک فیلترهای جهتی روی ۸ باند لندست ۸ و تصاویر راداری در ۴ جهت اصلی (N-S، 0° ، NE-SW، 45° ، E-W، 90° و NW-SE، 135°) اجرا و با یکدیگر از نظر توانایی آشکارسازی ساختارهای زمین‌شناسی مقایسه شدند. در نهایت باند ۶ در محدوده طول موج ۱،۶۶-۱،۵۶ با اختلاف بالایی نسبت به سایر باندها در آشکارسازی خطواره‌های منطقه انتخاب گردید. همچنین این محدوده طول موج در مطالعات گذشته نیز کاربرد فراوانی داشته است [۱۹، ۲۷]. کرنل فیلتر با توجه به کرنل پیشنهادی در مقاله [۲۸] برای تقویت لبه‌ها 7×7 در نظر گرفته شد.

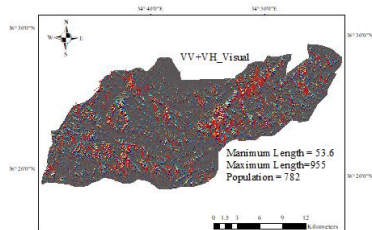
استخراج خطواره‌ها با تلفیق روش اتوماتیک و بصری با استفاده از روش Line، ترکیب رنگی فیلتر جهتی تصاویر باند ۶، VH و VV در سه جهت (0° ، 90° و 135°) انجام گردید

(شکل ۱۰ الف، ب، ج). برای تفسیر دقیق‌تر ساختارهای زمین‌شناسی به منظور آشکارسازی خطواره‌ها از نقشه‌های شیب و جهت شیب، لیتولوژی و نقشه سایه روشن منطقه استفاده شد. برای انتخاب آزمون مناسب برای نقشه سایه روشن، بعد از مقایسه زاویه‌های مختلف، آزمون ۰ و زاویه ارتفاعی خورشید ۴۵ درجه انتخاب گردید [۱۶].

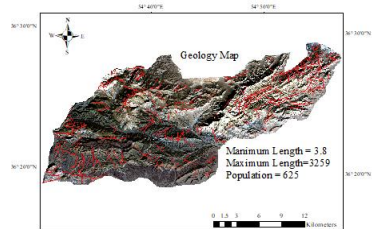
مطابق شکل ۱۰-الف تعداد ۵۴۲ خطواره از باند ۶ و ۷۸۲ خطواره از تصاویر VV و VH سنتینل ۱ استخراج شد (شکل ۱۰-ب). بر اساس رز دیاگرام‌های شکل ۱۱-الف و ۱۱-ب که بیانگر جهت و راستای خطواره‌های استخراج شده از باند ۶ و تصاویر راداری است، نتایج با هم متفاوت می‌باشد. به همین خاطر برای تهیه نقشه‌ای جامع، خطواره‌های استخراج شده از هر دو تصویر با یکدیگر تلفیق و خطواره‌های اضافه و مشکوک شناسایی و حذف شدند و در نهایت ۹۹۱ خطواره به طول ۸۱۷۶۰۱ متر استخراج شد (شکل ۱۰-ج).

۶۲۵ گسل به طول ۶۷۸۸۷۰ متر در نقشه زمین-شناسی منطقه شناسایی شده است (شکل ۱۰-د). مطابق رز دیاگرام شکل ۱۱-د راستا و جهت نقشه خطواره به دست آمده انطباق خوبی با نقشه گسل‌های استخراج شده منطقه دارد (شکل ۱۱-ج).

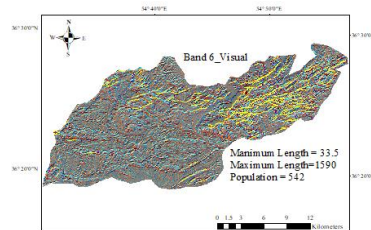
مطابق شکل ۱۱-ر، نمودار آبی بیانگر تعداد خطواره‌های استخراج شده در بازه‌های طولی مختلف می‌باشد که تعداد خطواره‌ها بین طول ۵۰۰-۹۰۰ متر از تطابق خوبی با نمودار قرمز که بیانگر تعداد گسل‌ها است، می‌باشد. با استفاده از نقشه‌های تراکم خطواره‌های استخراج شده و گسل‌های موجود در منطقه می‌توان ارتباط بین غلظت خطوط و توزیع گسل‌های موجود در سازندهای منطقه را بررسی نمود [۱۹، ۲۶]. برای این کار با استفاده از ArcGIS تراکم طول خطواره‌های استخراج شده و طول گسل‌های شناخته شده منطقه در سازندهای مختلف تهیه گردید (شکل ۱۱-ه و ۱۱-م). سپس نحوه توزیع تراکم طول خطواره‌ها و گسل‌ها در سازندهای مختلف با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه قرار گرفت. مطابق جدول ۳ ستون آخر که بیانگر درصد خطواره‌ها در سازندهای مختلف هستند، تراکم طول خطواره‌ها و گسل‌های شناخته شده منطقه از تطابق ۹۹٪ برخوردار است و عمده مناطق با تراکم بالا قسمت‌های زرد و قرمز در قسمت‌های آهکی سازند لار و کرتاسه و قسمت‌هایی از سازند شمشک قرار گرفته است.



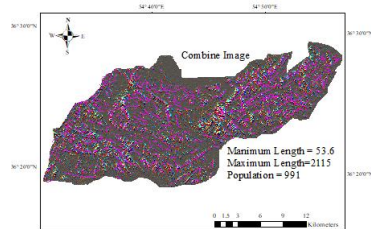
ب



د

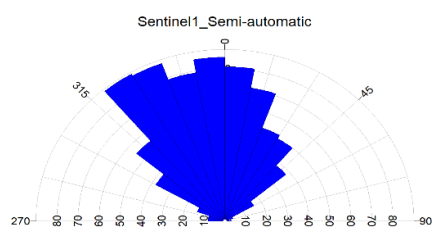


الف

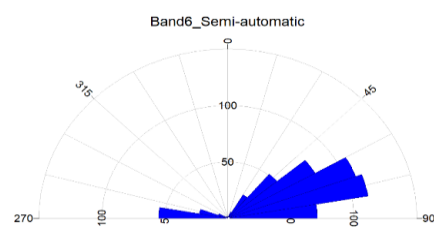


ج

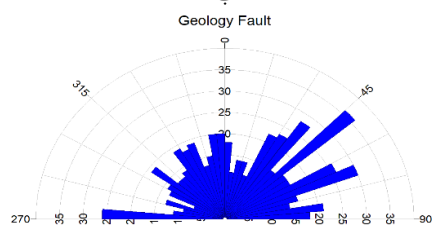
شکل ۱۰- الف) خطواره استخراج شده از باند ۶ به روش دستی، ب) ترکیب خطواره‌های استخراج شده از سنتینل ۱، ج) ترکیب خطواره‌های سنتینل ۱ و لندست، د) گسل‌های شناسایی شده در نقشه زمین شناسی منطقه



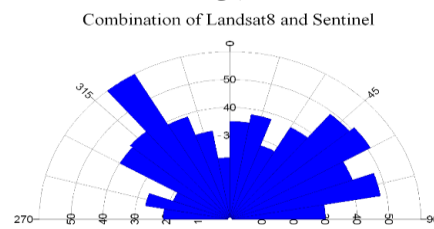
ب



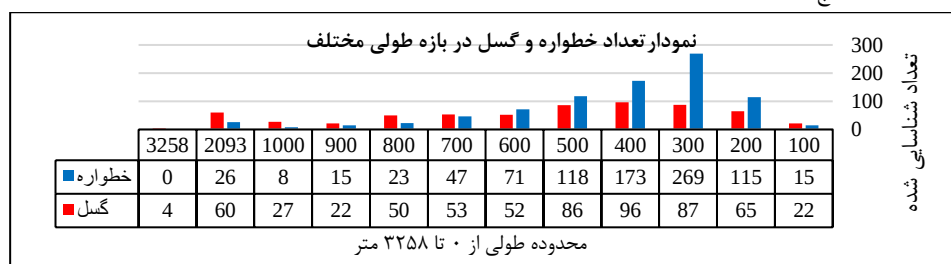
الف



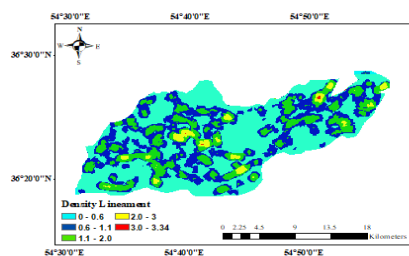
د



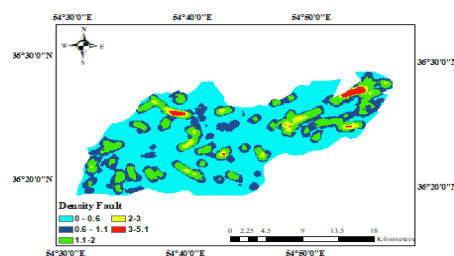
ج



ر



م



ه

شکل ۱۱- الف) رز دیاگرام باند ۶، ب) رز دیاگرام قطبش دو گانه سنتینل ۱، ج) رز دیاگرام ترکیب باند ۶ و سنتینل ۱، د) رز دیاگرام گسل‌های نقشه زمین شناسی. ر) نمودار قرمز تعداد گسل‌های منطقه در بازه‌های طولی مختلف است، نمودار آبی ترکیب خطواره‌های استخراج شده به هر دو روش دستی و اتوماتیک توسط لندست و سنتینل ۱ است، ه) تراکم گسل‌های نقشه زمین شناسی، م) تراکم خطواره‌های استخراج شده

جدول ۳- میزان تراکم طول (بر حسب متر) در سازندها مختلف موجود در نقشه زمین‌شناسی: جدول الف، تراکم طول خطواره‌ها، جدول ب) تراکم طول گسل‌ها

نام سازند	۰,۰ - ۰,۶	۰,۶ - ۱,۱	۱,۱ - ۲,۰	۲,۰ - ۳,۰	۳,۰ - ۳,۴	مجموع (درصد)
limestone	۱۳۱۲۱,۰	۱۰۲۸۴,۰	۵۹۴۲,۰	۶۹۴,۰	۳۶,۰	۴۳,۰
alluvium	۴۵۲۰,۰	۶۰۶,۰	۴۴۳,۰	۵۲,۰	۰,۰	۸,۰
shale+sandstone and marl	۷۵۳۹,۰	۵۸۳۵,۰	۳۰۴۵,۰	۲۱۳,۰	۰,۰	۲۴,۰
Cl	۱۴۶۹,۰	۷۳۱,۰	۸۸۴,۰	۲۲۴,۰	۰,۰	۵,۰
Js	۷۲۸۷,۰	۳۶۵۵,۰	۲۹۸۵,۰	۷۹۵,۰	۱۲,۰	۲۱,۰

جدول ب

نام سازند	۰,۰ - ۰,۶	۰,۶ - ۱,۱	۱,۱ - ۲,۰	۲,۰ - ۳,۰	۳,۰ - ۳,۴	مجموع (درصد)
limestone	۱۵۴۸,۰	۷۳۳۸,۰	۵۷۵۲,۰	۱۰۲۱,۰	۶۹۱,۰	۴۳,۰
alluvium	۴۳۴۳,۰	۸۲۲,۰	۹۶,۰	۲,۰	۰,۰	۷,۰
shale+sandstone and marl	۹۷۱۶,۰	۴۱۲۱,۰	۲۵۶۹,۰	۷۹۳,۰	۲۷,۰	۲۴,۰
Cl	۳۰۹۸,۰	۱۶۹,۰	۳۶,۰	۰,۰	۰,۰	۵,۰
Js	۹۵۵۹,۰	۲۶۱۶,۰	۲۱۲۷,۰	۳۹۵,۰	۴۳,۰	۲۱,۰

۳-۵- استخراج نقشه‌ها با تکنیک GIS

۳-۵-۱- شیب جهت شیب^۱

برای استخراج نقشه‌های شبکه زهکش، شیب و جهت شیب، در محیط GIS، به روش تحقیقات پیشین از مدل رقومی ارتفاعی ۳۰ متری SRTM استفاده گردید [۲، ۳، ۶، ۲۹، ۳۰].

۳-۵-۲- بارش و نوع بارش

نمودار بارش - ارتفاع منطقه با استفاده از داده‌های ۱۰ سال اخیر ایستگاه‌های مجاور (تاش، مجن، بسطام و شاهرود) منطقه تهیه شد. متناسب با نمودار، معادله بارش بر اساس ارتفاع، رابطه ۲۱ به دست آمد.

$$(21) \quad 726,67 + \text{بارش متوسط} * 4,315 = \text{ارتفاع}$$

با استفاده از رابطه ۲۱ منطقه مطالعاتی به پنج زون بر حسب ارتفاع تقسیم و مقدار بارش متوسط به دست آمد. برای تهیه نقشه نوع بارش (برف یا باران) با توجه به نظر کارشناس هواشناسی، ارتفاع و جهت جغرافیایی دو عامل تاثیر گذار هستند. بنابراین به دلیل نبود داده‌های دقیق هواشناسی، مناطق شمال، شمال شرق و شرق با ارتفاع بیشتر از ۲۰۰۰ متر که کمتر در معرض تابش نور خورشید

هستند، بارش به صورت برف و بقیه مناطق باران در نظر گرفته می‌شود.

۳-۶- آشکارسازی زون‌ها با پتانسیل منابع آب زیرزمینی به روش AHP^۲

در این مقاله هفت لایه لیتولوژی، تراکم خطواره، بارش و نوع بارش، تراکم شبکه زهکش، شیب و جهت شیب برای تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی استفاده شد. وزن لایه‌های موضوعی و کلاس‌های هر لایه با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی روش AHP تخصیص گردید. سپس وزن لایه‌ها و کلاس‌های هر لایه با استفاده از روش ترکیبی خطی وزن‌دار (WLC) ترکیب شد:

$$(22) \quad \text{GWPI} = \sum_{i=1}^7 W_i \times w_i$$

GWPI شاخص پتانسیل آب زیرزمینی، W_i وزن نرمال لایه‌ها موضوعی و w_i وزن نرمال کلاس‌های هر لایه می‌باشد.

۴- بحث و نتیجه گیری

۴-۱- لایه‌ها

۴-۱-۱- لیتولوژی

در بین لیتولوژی متنوع منطقه، سازند لار و سنگ‌های کرتاسه بالایی، از نظر ذخیره آب‌های زیرزمینی، جزء سازندهایی با آبدی بسیار خوب و با اهمیت به شمار

^۲ Delineation of groundwater potential zones using AHP

^۱ Slope and Aspect

۴-۱-۵- شیب

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. مطابق شکل ۱۲-ر، ۷۲٪ منطقه شیبی بین ۰ تا ۳۰ درجه دارند، ۲۰٪ منطقه بین ۳۰ تا ۴۰ درجه قرار دارند که عمدتاً (۵۰ درصد) در سازندهای لار و کرتاسه است. شیب ۸ درصد منطقه بین ۴۰ تا ۷۹ درجه است که در این بین ۶۶٪ سهم سازندهای لار و کرتاسه می‌باشد.

۴-۱-۶- جهت شیب

جهت شیب در تعیین میزان نور خورشید که سبب تبخیر تعرق است، موثر می‌باشد. 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، و همچنین توده‌های شمالی عامل بارش هستند. بنابراین دامنه‌های غربی و شمالی از امتیاز بالاتری برخوردار هستند و مناطق جنوبی بیشتر در معرض نور خورشید قرار می‌گیرند و امتیاز کمتری دارند. مطابق شکل ۱۲-ع جهت‌گیری ۷۰٪ منطقه بین جنوب غرب تا شمال و ۳۰٪ بین شمال تا غرب می‌باشند. ۳۶٪ سازندهای لار و کرتاسه و ۲۰ تا ۲۵٪ سازندهای دیگر منطقه بین شمال تا غرب قرار گرفته اند.

۴-۱-۷- تراکم آبراهه

آبراهه‌ها نقش انتقال رواناب را داشته و با نفوذپذیری زمین رابطه عکس دارند مطابق شکل ۱۲-ف تراکم آبراهه ۷۰٪ سازندهای آهکی منطقه بین ۲۰-۲ (متر/ متر مربع) می‌باشد. به طور کلی در نواحی با مقاومت فرسایشی بالا، تراکم آبراهه‌ها پایین است یا به عبارتی نفوذ در این مناطق زیاد می‌باشد.

۴-۲- تهیه نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی با

تکنیک AHP

وزن‌های تخصیص داده شده متناسب با نظر کارشناس تخصیص و نرمالیزه گردید. سپس مقدار ضریب (Consistency Ratio) برای تمام لایه‌ها بررسی شد تا از مقدار حد آستانه ۰،۱ کمتر باشد (جدول ۴). مطابق وزن‌های

می‌روند. از نظر فورد و ویلیامز [۳۱]، لیتولوژی و اشکال ساختاری بیشترین تأثیر را در تشکیل کارست دارند و وجود سازندهای انحلال‌پذیر از عوامل توسعه کارست می‌باشند. طبق نقشه شکل ۱۲-الف سازندهای آهکی ۵۷٪ منطقه را تشکیل داده‌اند. سازند شمشک ۱۶٪، سازند لالون ۵٪، ۲٪ آبرفت و ۲۰٪ منطقه را شیل و مارن و سنگ‌های دگرگون تشکیل داده‌اند.

۴-۱-۲- تراکم خطواره

مناطق با تراکم بالای خطواره‌ها دارای قابلیت نفوذپذیری بالا و مکان‌هایی مناسب برای تجمع آب زیرزمینی هستند. مطابق جدول ۳ و شکل ۱۲-ب تراکم طول خطواره‌های استخراج شده به روش سنجش از دور بین ۰ تا ۳،۳۴ متر/مترمربع است. ۴۳٪ خطواره‌ها در سازندهای آهک منطقه قرار گرفته‌اند که تراکم بالای طول شکستگی‌ها در سازندهای سخت، می‌تواند معرف تکتونیزه‌شدگی بیشتر باشد. سازندهای شیلی و ماسه‌سنگی و مارنی ۲۴٪ خطواره‌های منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین ۲۱٪ خطواره‌ها در سازند شمشک قرار گرفتند که سهم حایز اهمیتی می‌باشد.

۴-۱-۳- بارش

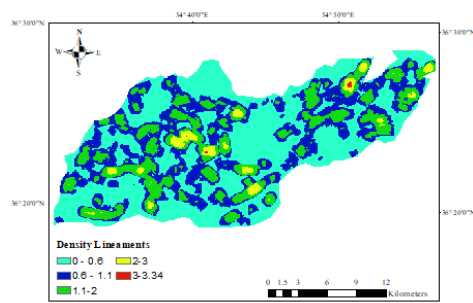
آب باران و برف عناصر تشکیل‌دهنده اصلی آب‌های زیرزمینی هستند [۳۲]. مطابق شکل ۱۲-ج میانگین بارش منطقه بین ۲۰ تا ۶۳۰ میلی‌لیتر در سال است که ۲۸٪ بارش‌های منطقه سنگین (قست‌های آب رنگ) می‌باشد و عمده آن در سازندهای آهکی و بخش‌هایی از سازند شمشک اتفاق افتاده است. همچنین ۸ درصد بارش‌ها بیشتر از ۴۰۰ میلی‌لیتر در سال است که در سازند لار رخ می‌دهد.

۴-۱-۴- نوع بارش

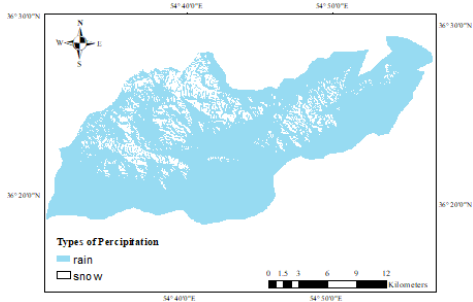
به علت وسعت زیاد منطقه و تغییرات شدید ارتفاعی در بخش‌های مختلف منطقه، ضروری است تا عامل نوع بارش (برف و باران) نیز در نظر گرفته شود. بارش در ارتفاعات بیشتر به صورت برف بوده و میزان تبخیر و تعرق آن کمتر می‌باشد. ذوب تدریجی برف در فصل‌های گرم سال، موجب نفوذ بیشتر در سازندها و افزایش آب‌های زیرزمینی می‌شود. مطابق شکل ۱۲-د بارش برف قسمت‌های سفید رنگ، ۱۲٪ بارش منطقه را شامل می‌شود که عمدتاً در سازند لار و قسمت‌های کوچکی از سازند شمشک اتفاق افتاده است و این موضوع بیانگر ارتفاع زیاد این سازندها (۲۰۰۰-۳۵۰۰ متر) می‌باشد.

به دست آمده از این جدول لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS با یکدیگر ترکیب و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی به دست آمد (شکل ۱۲-ک). نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی به ۴ کلاس ضعیف ($GWPI < 0.12$)، متوسط ($GWPI < 0.25$)، خوب ($0.25 < GWPI$) و عالی ($GWPI > 0.25$) تقسیم بندی شد. مطابق جدول ۵ ۳۴٪ منطقه با پتانسیل ضعیف، ۳۲٪ با پتانسیل متوسط، ۲۳٪ با پتانسیل خوب و ۱۱٪ منطقه با پتانسیل عالی منابع آب زیرزمینی شناسایی شد. مطابق جدول ۵، ۶۶٪ منطقه پتانسیل ضعیف و

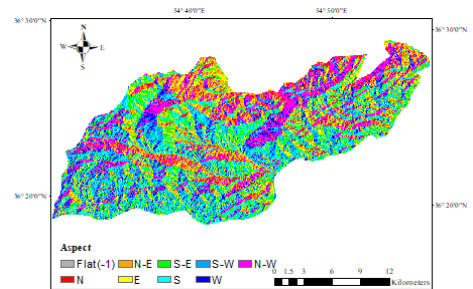
متوسط دارند که عمدتاً شامل سازندهای شمشک، لالون، شیلی و مارنی می‌شود. ۳۴٪ منطقه پتانسیل خوب و عالی دارند که در سازندهای آهکی منطقه واقع شده است و ۸۴٪ سازندهای لار و کرتاسه دارای پتانسیل خیلی خوب منابع آب زیرزمینی می‌باشند. بنابراین سازندهای آهکی منطقه منابع بسیار خوب آب زیرزمینی می‌باشند که می‌توانند در شرایط کم آبی و بحران جایگزین مناسب و مطمئنی برای تامین منابع آبی در آینده باشد.



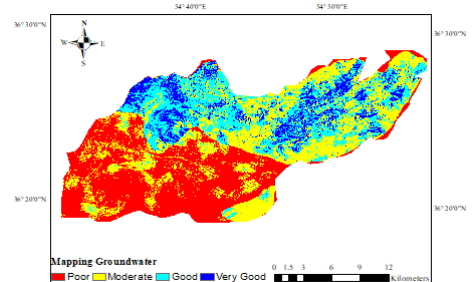
ب



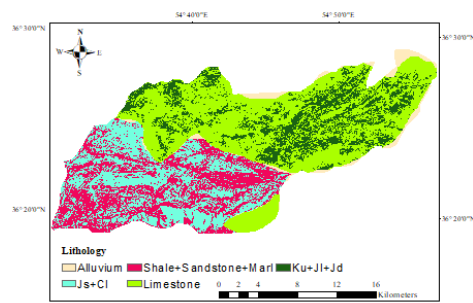
د



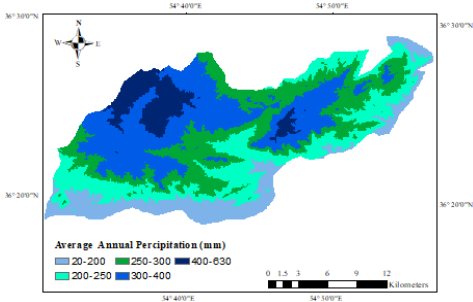
ع



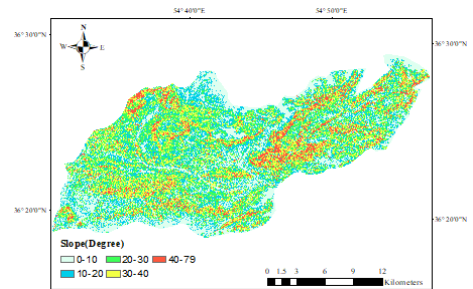
ک



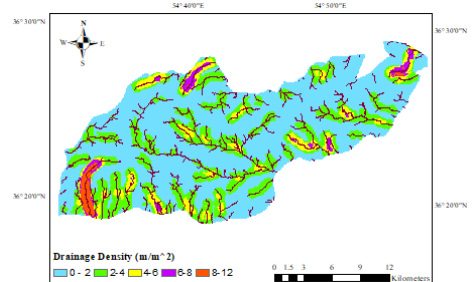
الف



ج



ر



ف

شکل ۱۲- الف) نقشه لیتولوژی معیار، ب) تراکم خطواره، ج) مقدار بارش، د) نوع بارش، ر) مقدار شیب، ع) جهت شیب، ف) تراکم خطواره، ک) نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی منطقه

جدول ۴- وزن لایه‌های معیار با تکنیک AHP				
وزن نرمال لایه معیار	وزن نرمالیزه	وزن هر کلاس	کلاس هر لایه	لایه‌ها
۰,۳۹۸	۰,۴۹۷	۹	Ku+Jd	لیتولوژی CR=0.09
	۰,۲۸۸	۷	Other Limestone	
	۰,۱۲۲	۵	Shale + Marl+ Sandstone	
	۰,۰۶۳	۳	Cl+Js	
	۰,۰۲۹	۱	Q	
۰,۲۹۶	۰,۰۲۸	۲	۰,۰-۰,۶	تراکم خطواره (m/m ²) CR=0.06
	۰,۰۷۲	۳	۰,۶-۱,۱	
	۰,۱۸۱	۵	۱,۱-۲,۰	
	۰,۲۸۱	۷	۲,۰-۳,۰	
	۰,۴۳۸	۹	۳,۰-۳,۳۴	
۰,۱۲۳	۰,۰۳۱	۲	۲۰-۲۰۰	مقدار بارش (mm) CR=0.1
	۰,۰۴۹	۳	۲۰۰-۲۵۰	
	۰,۱۰۶	۴	۲۵۰-۳۰۰	
	۰,۲۳۳	۵	۳۰۰-۴۰۰	
	۰,۵۸۱	۹	۴۰۰-۶۳۰	
۰,۰۸۶	۰,۵۴۱	۹	۰,۰-۱۰	شیب (درجه)
	۰,۲۴۱	۵	۱۰-۲۰	
	۰,۱۲۴	۳	۲۰-۳۰	
	۰,۰۶۱	۲	۳۰-۴۰	
	۰,۰۲۸	۱	۴۰-۷۹	
۰,۰۴۳	۰,۵۸۷	۹	۰,۰-۲,۰	تراکم زهکش (m/m ²) CR=0.09
	۰,۲۱۶	۵	۲,۰-۴,۰	
	۰,۱۱	۳	۴,۰-۶,۰	
	۰,۰۵۶	۲	۶,۰-۸,۰	
	۰,۰۳۱	۱	۸,۰-۱۲,۰	
۰,۰۲۵	۰,۴۶۸	۹	N, NE	جهت شیب CR=0.03
	۰,۳۵۴	۸	E	
	۰,۰۸۶	۵	Flat	
	۰,۰۵۶	۳	SE, NW	
	۰,۰۳۶	۱	S, SW, W	
۰,۰۲۹	۰,۸۷۵	۹	برف	نوع بارش CR=0
	۰,۱۲۵	۷	باران	

جدول ۵- مقادیر وزن‌های آب زیرزمینی در سازندهای مختلف شناسایی شده توسط RS

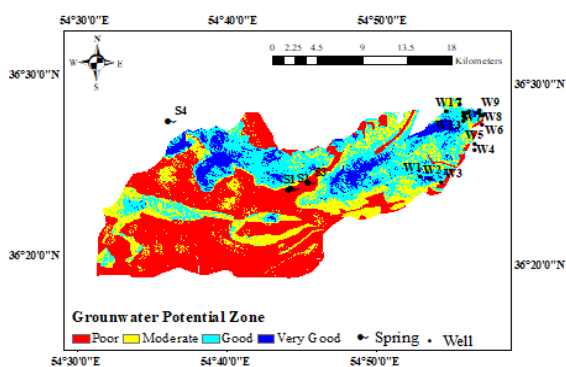
LABEL	ضعیف	متوسط	خوب	عالی
Alluvium	۵,۳	۰,۵	۰,۰	۰,۰
Js+Cl	۵۱,۹	۱۱,۴	۰,۸	۰,۰
Shale+Sandstone+Marl	۴۲,۸	۱۹,۲	۱,۰	۰,۰
Limestone	۰,۱	۶۷,۸	۶۸,۶	۱۵,۷
Ku+Jl+Jd	۰,۰	۱,۱	۲۹,۶	۸۴,۳
sum%	۳۴,۱	۳۱,۹	۲۳,۰	۱۱,۰

۳-۴- صحت سنجی نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی

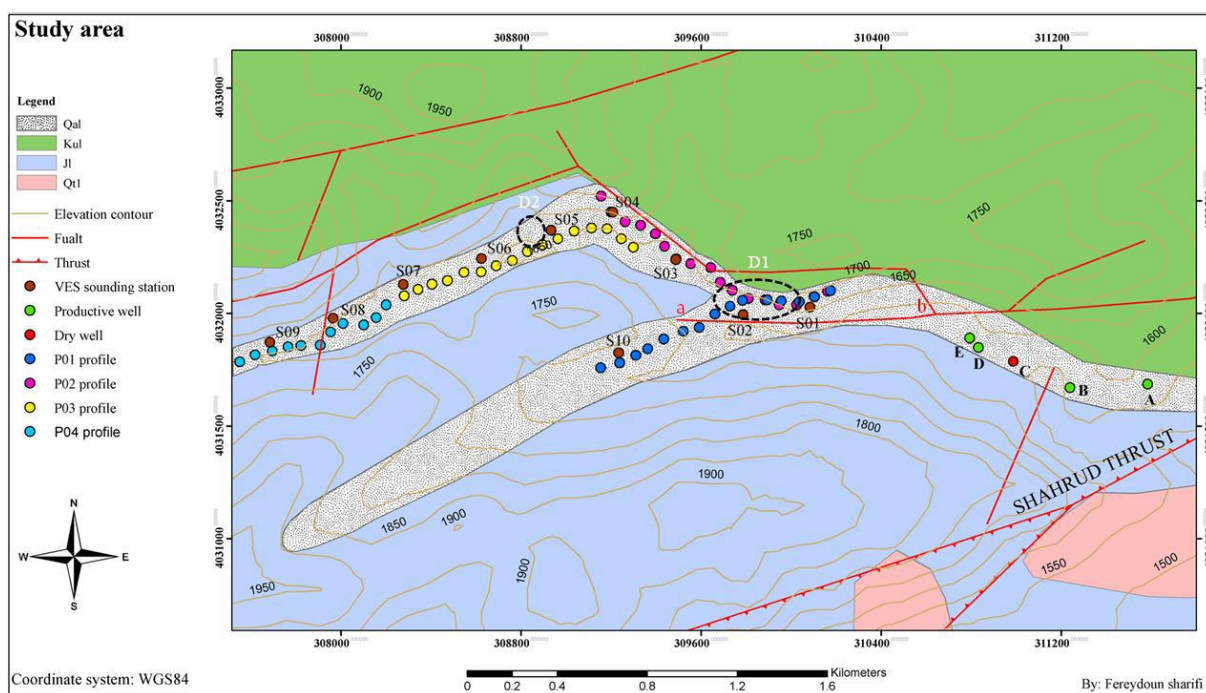
به منظور اعتبارسنجی نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی که با استفاده از تلفیق RS و GIS به دست آمد، داده‌های مربوط به چاه‌های بهره‌برداری چشمه‌های موجود و مطالعات ژئوالکتریکی در منطقه جمع‌آوری گردید.

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. چشمه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری، در اطراف کوه تپال و ناودیس چگل‌شاه وجود دارد که موقعیت مکانی آن‌ها در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

در مطالعات ژئوالکتریکی که توسط شریفی در سال ۱۳۹۱ در قسمتی از کوه‌های تپال انجام گرفت، در محل برداشت سونداژهای S02، S04، S05، S08 پتانسیل متوسط حضور آب زیرزمینی هستند (شکل ۱۴). همچنین محل برداشت سونداژ S08 دارای پتانسیل خوب آب زیرزمینی است [۳۴]. سونداژهای مذکور در لایه آهکی



شکل ۱۳- نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی به همراه چاه‌ها و چشمه‌های موجود



شکل ۱۴- موقعیت سونداژهای الکتریکی در مطالعه ژئوالکتریک توسط شریفی سال ۱۳۹۱

۴-۴- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

با درصد بالاتری شناسایی کرده است. در نهایت برای بهبود طبقه‌بندی تصاویر، از روش تصمیم‌گیری درختی استفاده شد.

در بین روش‌های کلاسه‌بندی، SVM نسبت به ML توانایی بالاتری در طبقه‌بندی دارد و سازندهای منطقه را

سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات مکانی استخراج شدند. در مرحله آخر لایه‌ها و کلاس‌ها بر اساس روش AHP وزن‌دهی و با مدل وزنی خطی با یکدیگر تلفیق و نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی تهیه گردید. همانطور که در نقشه نهایی قابل مشاهده است، تمام سازندهای آهکی منطقه پتانسیل خوب و عالی منابع آب زیرزمینی دارند. بیشترین تراکم خطواره و بیشترین بارش و عمده بارش برف در این سازندها اتفاق افتاده است که خود زمینه ساز کارستی شدن این مناطق می‌باشد. همچنین کاهش تعداد چشمه‌ها در ناودیس چگلشاه در حواشی سازند لار و تمرکز آن‌ها با افزایش آبدی در یک ناحیه مشخص (چشمه‌های S1، S2 و S2) نشان دهنده توسعه و گسترش فرآیند کارست در عمق لایه‌های آهکی می‌باشد. لایه‌های لیتولوژی، تراکم خطواره و بارش بیشترین وزن را در بین سایر لایه‌ها به خود اختصاص دادند و بیشترین تاثیر را در تشکیل سفره‌های آب زیرزمینی منطقه دارند. نقشه پتانسیل منابع آب زیرزمینی با تاکید بر سازندهای کارستی منطقه تطابق بالایی با چشمه‌ها و چاه‌های بهره‌برداری منطقه دارد. روش نشان داده شده در این مطالعه را می‌توان به راحتی در سایر مناطق که دسترسی به اطلاعات پایه مشکل می‌باشد، به کار برد. برای کارهای بعدی پیشنهاد می‌شود لایه‌های اطلاعاتی دیگر با استفاده از سنجندهای مختلف استخراج و با یکدیگر مقایسه گردند.

زمین شناسی منطقه با تمرکز بر استخراج سازندهای آهکی با دقت بالا با ضریب کاپا ۰.۸۳ در ۴ دسته استخراج گردید. سازند Ku و Jd با دقت ۹۹.۲٪، سازند شمشک با دقت ۸۰.۲٪، سازند لالون با دقت ۸۱.۲٪ و آبرفت با دقت ۷۸٪ شناسایی شد.

خطواره‌های منطقه به دو روش اتوماتیک و دستی با استفاده از باند ۶ لندست ۸ و سنتینل ۱ استخراج گردید. باند ۶ لندست ۸ به دلیل محدوده طول موجی، از توانایی بالاتری در آشکارسازی خطواره نسبت به سایر باندها برخوردار است. ماهواره سنتینل ۱ نیز توانایی بالاتری در آشکارسازی لایه‌ها نسبت به لندست ۸ دارد. در آخر، پس از مقایسه خطواره‌های استخراج شده از دو سنجنده لندست ۸ و سنتینل ۱، به دلیل جهت‌گیری و طول متفاوت، نتایج با یکدیگر ادغام و مجدد مورد بررسی بصری قرار گرفتند. در نهایت ۹۹۱ خطواره استخراج و با ۶۲۵ گسل‌های مستخرج از نقشه زمین‌شناسی مقایسه گردید. خطواره‌های حاصل از نظر جهت‌گیری و تعداد در بازه‌های طولی مختلف با گسل‌ها از انطباق خوبی برخوردار بودند. همچنین تراکم طول خطواره‌های استخراج شده در سازندهای مختلف با تراکم طول گسل‌های نقشه زمین‌شناسی از انطباق ۹۹٪ برخوردار بودند. بنابراین با ترکیب دو سنجنده لندست و سنتینل ۱ می‌توان خطواره‌های منطقه را با دقت بالایی در جهت‌های مختلف استخراج نمود. سایر لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از توانایی‌های

مراجع

- [1] P. Doell, H. Mueller Schmied, C. Schuh, F. T. Portmann, and A. Eicker, "Global-scale assessment of groundwater depletion and related groundwater abstractions: Combining hydrological modeling with information from well observations and GRACE satellites ", *Water Resources Research*, vol. 50, pp. 5698-5720, 2014.
- [2] L. K. Singh, M. K. Jha, and V. Chowdary, "Assessing the accuracy of GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis approaches for mapping groundwater potential," *Ecological Indicators*, vol. 91, pp. 24. 2018, 37-24.
- [3] O. Rahmati, H. R. Pourghasemi, and A. M. Melesse, "Application of GIS-based data driven random forest and maximum entropy models for groundwater potential mapping: a case study at Mehran Region, Iran," *Catena*, vol. 137, pp. 360-372, 2016.
- [4] S. Moradi, N. Kalantari, and A. Charchi, "Karstification Potential Mapping in Northeast of Khuzestan Province, Iran, using Fuzzy Logic and Analytical Hierarchy Process (AHP) techniques," *Geopersia*, vol. 6, pp. 265-282, 2016.
- [5] A. Afrasiabian, "The importance of protection and management of Karst water as drinking water resources in Iran," *Environmental geology*, vol. 52, pp. 673-677, 2007.
- [6] O. Rahmati, A. Haghizadeh, and S. Stefanidis, "Assessing the Accuracy of GIS-Based Analytical Hierarchy Process for Watershed Prioritization; Gorganrood River Basin, Iran," *Water Resources Management*, vol. 30, pp. 1131-1150, February 01 2016.

- [7] M. Zabihi, H. R. Pourghasemi, Z. S. Pourtaghi, and M. Behzadfar, "GIS-based multivariate adaptive regression spline and random forest models for groundwater potential mapping in Iran," *Environmental Earth Sciences*, vol. 75, p. 665, April 11 2016.
- [8] M. D. Kordestani, S. A. Naghibi, H. Hashemi, K. Ahmadi, B. Kalantar, and B. Pradhan, "Groundwater potential mapping using a novel data-mining ensemble model," *Hydrogeology Journal*, vol. 27, pp. 211-224, February 01 2019.
- [9] M. R. Panahi, S. M. Mousavi, and M. Rahimzadegan, "Delineation of groundwater potential zones using remote sensing, GIS, and AHP technique in Tehran-Karaj plain, Iran," *Environmental earth sciences*, vol. 76, p. 792, 2017.
- [10] P. Kumar, S. Herath, R. Avtar, and K. Takeuchi, "Mapping of groundwater potential zones in Killinochi area, Sri Lanka, using GIS and remote sensing techniques," *Sustainable Water Resources Management*, vol. 2, pp. 419-430, December 01 2016.
- [11] W. White, "Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains: Oxford Univ," Press, New York, NY, 1988.
- [12] R. P. Gupta, *Remote sensing geology*: Springer, 2017.
- [13] W. H. Hobbs, "Lineaments of the Atlantic border region," *Bulletin of the Geological Society of America*, vol. 15, pp. 483-506, 1904.
- [14] U. Mallast, R. Gloaguen, S. Geyer, T. Rödiger, and C. Siebert, "Semi-automatic extraction of lineaments from remote sensing data and the derivation of groundwater flow-paths," *Hydrology & Earth System Sciences Discussions*, vol. 8, 2011.
- [15] J. Aminov, X. Chen, J. Aminov, Y. Mamadjanov, J. Aminov, E. Duulatov, et al., *Evaluation of Remote Sensing Techniques for Lithological Mapping in the Southeastern Pamir using Landsat 8 OLI Data* vol. 14, 2018.
- [16] N. M. Saadi, M. A. Zaher, F. El-Baz, and K. Watanabe, "Integrated remote sensing data utilization for investigating structural and tectonic history of the Ghadames Basin, Libya," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 13, pp. 778-791, 2011/10/01/ 2011.
- [17] J. A. Richards and J. Richards, *Remote sensing digital image analysis* vol. 3: Springer, 1999
- [18] J. Canny, "A computational approach to edge detection ",in *Readings in computer vision*, ed: Elsevier, 1987, pp. 184-203.
- [19] A. Javhar, X. Chen, A. Bao, A. Jamshed, M. Yunus, A. Jovid, et al., "Comparison of Multi-Resolution Optical Landsat-8, Sentinel-2 and Radar Sentinel-1 Data for Automatic Lineament Extraction: A Case Study of Alichur Area, SE Pamir," *Remote Sensing*, vol. 11, p. 778, 2019..
- [20] C.-I. Chang and A. Plaza, "A fast iterative algorithm for implementation of pixel purity index," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, vol. 3, pp. 63-67, 2006..
- [21] R. Rajan Giriya and S. Mayappan, "Mapping of mineral resources and lithological units: a review of remote sensing techniques," *International Journal of Image and Data Fusion*, vol. 10, pp. 79-106, 2019.
- [22] G. R. Hunt, "Spectral signatures of particulate minerals in the visible and near infrared," *Geophysics*, vol. 42, pp. 501-513, 1977..
- [23] G. R. Hunt, "Near-infrared (1.3–2.4) μm spectra of alteration minerals—Potential for use in remote sensing," *Geophysics*, vol. 44, pp. 1974-1986, 1979..
- [24] R .N. Clark, "Spectroscopy of rocks and minerals, and principles of spectroscopy," *Manual of remote sensing*, vol. 3, pp. 2-2, 1999.
- [25] R. N. Clark, G. A. Swayze, T. V. King, A. J. Gallagher, and W. M. Calvin, "The US Geological Survey, digital spectral reflectance library: Version 1: 0.2 to 3.0 microns," 1993.
- [26] S. Corgne, R. Magagi, M. Yergeau, and D. Sylla, "An integrated approach to hydro-geological lineament mapping of a semi-arid region of West Africa using Radarsat-1 and GIS," *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, pp. 1863-1875, 2010.
- [27] Z. Adiri, A. El Harti, A. Jellouli, R. Lhissou, L. Maacha, M. Azmi, et al., *Comparison of Landsat-8, ASTER and Sentinel 1 satellite Remote Sensing data in Automatic Lineaments Extraction: a case study of Sidi Flah-Bouskour inlier, Moroccan Anti Atlas*, 2017.
- [28] P. Chavez Jr and B. Bauer, "An automatic optimum kernel-size selection technique for edge enhancement," *Remote Sensing of Environment*, vol. 12, pp. 23-38, 1982.

- [29] H. R. Pourghasemi and M. Beheshtirad, "Assessment of a data-driven evidential belief function model and GIS for groundwater potential mapping in the Koohrang Watershed, Iran," *Geocarto International*, vol. 30, pp. 662-685, 2015/07/03 2015.
- [30] V. Elumalai, K. Brindha, B. Sithole, and E .Lakshmanan, "Spatial interpolation methods and geostatistics for mapping groundwater contamination in a coastal area," *Environ Sci Pollut Res Int*, vol. 24, pp. 11601-11617, Apr 2017.
- [31] D. C. Ford and P. W. Williams, *Karst geomorphology and hydrology* vol. 601: Unwin Hyman London, 1989.
- [32] R. Agarwal and P. K. Garg, "Remote Sensing and GIS Based Groundwater Potential & Recharge Zones Mapping Using Multi-Criteria Decision Making Technique," *Water Resources Management*, vol. 30, pp. 243-260, January 01 2015.
- [33] F. Sharifi, "Karst groundwater exploration in the southwestern region of Tepal Shahroud using numerical finite element modeling and inversion of geoelectric data", Thesis in Shahrood University of Technology, 2012.