





دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین  
گروه پترولولژی و زمین شناسی اقتصادی

بررسی روش های کیفی و کمی سنجش از دور در شناسایی واحدهای

سنگی زمین شناختی در منطقه کوه زر جنوب دامغان

مهتاب یاراحمدی

اساتید راهنما:

پروفسور حبیب الله قاسمی

دکتر حمید آقاجانی

استاد مشاور

مهندس محمد رضایی

بهمن ۱۳۹۴

تقدیم به

ساحت مقدس **امام عصر** (عج)

ومقدسترین واژه ها در لغت نامه دلم

**پدرم**، مهربانی مشفق، بردبار و حامی

**مادرم** که زندگیم را مدیون مهر و عطوفت آن می دانم

**برادر و خواهرانم** همراهان همیشگی و پشتوانه‌های زندگیم

و

**اساتید بزرگوارم**

## تقدیر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده‌ی کوچکش را در دریای اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه‌ی اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند لذا اکنون که در سایه‌سار بنده نوازی‌هایش پایان‌نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم میدانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی به جا آورم تا اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان‌نامه به انجام نمی‌رسید.

ابتدا از اساتید گرانقدرم دکتر حبیب‌الله قاسمی و دکتر حمید آقاجانی بخاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان در طول مدت تحصیل و تحقیقات مرتبط با این پایان‌نامه سپاسگزار می‌نمایم. همچنین از استاد عالی‌قدرم مهندس محمد رضایی که در طول نگارش این مجموعه با راهنمایی‌های عالمانه و بجایشان، سکاندار شایسته‌ای در هدایت این پایان‌نامه بوده‌اند تشکر می‌نمایم. همچنین از زحمات بی‌دریغ و بی‌منت پدر و مادرم که همواره حامی و پشتیبانم بوده‌اند، نهایت سپاس را دارم. از زحمات آقای دکتر حسینی، مهندسین و مربیان دانشکده علوم خانم‌ها فارسی، سعیدی و آقایان میرباقری، شمسی، خانعلی‌زاده و محمدیان و دوستان خوبم خانم‌ها خانی، عابدینی، شهرستانی، علی-موسی، یاراحمدی، مهدوری، عالمی‌فر، کوهستانی و آقایان رهبر و پاشاپور که مرا صمیمانه یاری داده‌اند سپاسگزارم و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

مهتاب یاراحمدی

## تعهد نامه

اینجانب مهتاب یاراحمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته پترولولژی دانشکده علوم

زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه بررسی روش های کیفی و کمی سنجش از دور د

شناسایی واحدهای سنگی زمین شناختی در منطقه کوه زر جنوب دامغان تحت راهنمایی دکتر حبیب

الله قاسمی و دکتر حمید آقاجانی 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 افزار ها 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.

## مقالات مستخرج از این پایان نامه:

- استفاده از داده‌های ETM<sup>+</sup> در شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی و اندیس‌های -معدنی در منطقه تروود، هفتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران شهریور ۹۴
- تاثیر کانی‌شناسی بر بارزسازی مناطق دگرسانی با استفاده از داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> و ASTER در منطقه تروود، بیست و سومین همایش کانی‌شناسی و بلور شناسی ایران.

## چکیده

محدوده مورد بررسی، بخشی از ورقه‌های زمین‌شناسی یکصد هزارم معلمان، رزوه و خورس، واقع در جنوب تا جنوب غرب شهر شاهرود در استان سمنان است. براساس اطلاعات زمین‌شناسی موجود، در گستره ناحیه مورد مطالعه، سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی به همراه سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی و رسوبی متعلق به زمان‌های مختلف زمین‌شناسی دیده می‌شوند. این واحدهای سنگی به وسیله دو گسل اصلی امتداد لغز انجیلو در شمال و ترود در جنوب محصور شده‌اند. بخش عمده واحدهای آذرین این محدوده، سنگ‌های آتشفشانی بازالتی، آندزیتی تا داسیتی و آذرآواری‌های وابسته به سن ائوسن میانی- بالایی بوده که به وسیله توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق جوانتر (ائوسن بالایی) قطع شده‌اند. توده‌های نفوذی بیشتر به شکل استوک‌های کوچک و دایک دیده می‌شوند و از جنس گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت هستند. واحدهای رسوبی از نوع سنگ آهک، شیل و ماسه‌سنگ بوده و بیشتر به سن تریاس تا کرتاسه هستند.

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌های لندست و ترا (سنجنده‌های  $ETM^+$  و ASTER) به روش‌های کیفی و کمی سنجش از دور، جهت شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی منطقه استفاده شده است. در تفکیک واحد- های سنگی و پدیده‌های زمین‌شناسی (دگرسانی‌ها و خطواره‌ها)، به روش‌های کیفی، از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت‌گیری بانندی و تحلیل مولفه اصلی استاندارد و انتخابی استفاده گردید و نتایج قابل قبولی حاصل شد. در روش‌های کمی نیز با استفاده از روش حداقل سهم کمینه نوفه، از حجم داده‌های ماهواره‌ای کاسته شد و سپس به روش استخراج اعضای خالص با شاخص خلوص و نمایشگر  $n$  بعدی، اجزای تصویری (Pixels) خالص محاسبه گردید. در نهایت با استفاده از روش طبقه‌بندی نقشه‌بردار زاویه طیفی، واحدهای سنگی منطقه شناسایی و تفکیک شدند. از نتایج دو دسته روش‌های کیفی و کمی، نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. از مطالعات میدانی و بررسی‌های آزمایشگاهی نمونه‌های سنگی برای اعتبارسنجی نقشه رسم شده استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده صحیح از روش‌های سنجش از دور می‌تواند سبب کاهش هزینه‌های تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی به ویژه در مناطق صعب العبور شود.

کلمات کلیدی: ، سنجش از دور ،  $ETM^+$  ، ASTER ، کیفی، کمی، معلمان، رزوه.





## فهرست مطالب

۱	فصل اول کلیات
۲	۱-۱- مقدمه
۲	۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های ارتباطی
۳	۳-۱- ژئومورفولوژی منطقه
۴	۴-۱- آب و هوا و پوشش گیاهی
۵	۵-۱- سابقه مطالعات زمین‌شناسی منطقه
۷	۶-۱- سابقه مطالعاتی مرتبط با موضوع تحقیق
۹	۷-۱- ضرورت انجام تحقیق
۱۲	۸-۱- اهداف مطالعه
۱۲	۹-۱- روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات
۱۳	فصل دوم زمین‌شناسی و پتروگرافی منطقه
۱۴	۱-۲- مقدمه
۱۵	۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه
۱۸	۳-۲- چینه‌شناسی و پتروگرافی واحدهای سنگی منطقه
۱۹	۴-۲- واحدهای رسوبی پالئوزوئیک - مزوزوئیک
۲۲	۵-۲- مجموعه ماگمایی سنوزوئیک
۲۲	۶-۲- سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی - بالایی
۲۳	۱-۶-۲- داسیت‌ها و ریوداسیت‌ها
۲۵	۲-۶-۲- آندزیت‌ها
۲۸	۳-۶-۲- بازالت‌ها
۳۰	۷-۲- پتروگرافی سنگ‌های نفوذی
۳۱	۱-۷-۲- گرانیت‌ها
۳۳	۲-۷-۲- گرانودیوریت‌ها
۳۴	۳-۷-۲- دیوریت
۳۵	۸-۲- سنگ‌های آذرآواری ائوسن میانی - بالایی
۳۶	۱-۸-۲- توف
۳۸	۲-۸-۲- اگلوмера

۳۹	۹-۲ - واحدهای رسوبی الیگو - میوسن
۴۰	۱۰-۲ - دایک‌ها
۴۴	۱۱-۲ - رسوبات آبرفتی - آبراهه‌ای عهد حاضر
۴۴	۱۲-۲ - دگرسانی‌ها
۴۵	۱-۱۲-۲ - دگرسانی پروپلیتی
۴۵	۲-۱۲-۲ - دگرسانی سرسیتی (فیلیک)
۴۶	۳-۱۲-۲ - دگرسانی آرژیلیتی
۴۶	۱۳-۲ - زمین‌شناسی ساختمانی منطقه
۴۹	فصل سوم مبانی سنجش از دور و روش شناسی کار
۵۰	۱-۳ - مقدمه
۵۱	۲-۳ - تاریخچه و فرایند کار در سنجش از دور
۵۳	۳-۳ - فیزیک دورسنجی
۵۳	۱-۳-۳ - انرژی الکترومغناطیس
۵۴	۲-۳-۳ - طیف الکترومغناطیس
۵۶	۳-۳-۳ - مکانیسم برخورد انرژی الکترومغناطیس با پدیده‌های زمینی
۵۷	۱-۳-۳-۳ - پخش
۵۸	۲-۳-۳-۳ - جذب
۵۸	۴-۳ - سکوها یا پلت فرم
۵۹	۵-۳ - سنجنده
۵۹	۱-۵-۳ - سنجنده‌های عددی یا رقومی
۶۰	۶-۳ - ماهواره لندست، سنجنده $ETM^+$
۶۱	۷-۳ - ماهواره ترا، سنجنده استر (ASTER)
۶۳	۸-۳ - داده‌های رقومی تصاویر
۶۴	۸-۳ - ویژگی‌های مهم داده‌های تصاویر ماهواره‌ای
۶۵	۹-۳ - آماده سازی و پیش پردازش داده‌ها
۶۵	۱-۹-۳ - موزائیک کردن
۶۵	۲-۹-۳ - برش تصویر
۶۵	۳-۹-۳ - تصحیحات اتمسفری (رادپومتری)

۶۶	۱۰-۳- پردازش داده‌ها.....
۶۷	۱-۱۰-۳- ترکیب رنگی کاذب.....
۷۰	۲-۱۰-۳- نسبت‌گیری باندی.....
۷۳	۳-۱۰-۳- آنالیز مولفه اصلی.....
۷۳	۴-۱۰-۳- تحلیل مولفه اصلی استاندارد.....
۷۷	فصل چهارم استفاده از روش‌های کیفی در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور.....
۷۸	۴-۱- مقدمه.....
۷۹	۴-۲- روش پردازش ترکیب رنگی کاذب.....
۹۵	۴-۳- کاربرد روش نسبتی در محدوده مورد مطالعه.....
۱۰۲	۴-۴- روش تحلیل مولفه اصلی در محدوده مورد مطالعه.....
۱۰۹	۲-۴-۴- تحلیل مولفه اصل انتخابی (روش کروستا).....
۱۱۳	۵-۴- تفسیر داده‌ها و نتیجه‌گیری.....
۱۱۵	فصل پنجم استفاده از روش‌های کمی در تجزیه و تحلیل داده‌های سنجش از دور.....
۱۱۶	۱-۵- مقدمه.....
۱۱۷	۲-۵- روش حداقل سهم کمینه نوفه (MNF).....
۱۲۰	۳-۵- استخراج اعضای خالص با شاخص خلوص پیکسل (PPI).....
۱۲۲	۴-۵- به کارگیری نمایشگر $n$ بعدی.....
۱۲۵	۵-۵- طبقه‌بندی تصاویر.....
۱۲۶	۱-۵-۵- روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM).....
۱۳۰	۶-۵- نتیجه‌گیری.....
۱۳۳	فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....
۱۳۴	۱-۶- نتیجه‌گیری.....
۱۳۹	۲-۶- تهیه نقشه نهایی از واحدهای سنگی.....
۱۴۱	۳-۶- پیشنهادات.....

- جدول ۳-۱ خصوصیات باندهای سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره‌ی لندست هفت ..... ۶۱
- جدول ۳-۲ خصوصیات باندهای سنجنده‌ی استر ..... ۶۳
- جدول ۴-۱ مقادیر محاسبه شده برای شاخص OIF سنجنده ETM<sup>+</sup> ..... ۷۹
- جدول ۴-۲ مقادیر محاسبه شده برای فاکتور شاخص بهینه سنجنده ASTER ..... ۸۷
- جدول ۴-۳ تحلیل مولفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده ETM<sup>+</sup> محدوده مورد مطالعه ..... ۱۰۲
- جدول ۴-۴ تحلیل مولفه اصلی بر روی ۸ باند ASTER محدوده مورد مطالعه ..... ۱۰۶
- جدول ۴-۵ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی ETM<sup>+</sup> از منطقه‌ی مورد مطالعه ..... ۱۱۰
- جدول ۴-۶ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی ETM<sup>+</sup> در محدوده مورد مطالعه ..... ۱۱۰
- جدول ۴-۷ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی استر در منطقه‌ی ترود ..... ۱۱۲
- جدول ۴-۸ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری دگرسانی پروپلیتی بر روی چهار باند انتخابی استر در منطقه‌ی ترود ..... ۱۱۲
- جدول ۴-۹ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری دگرسانی فیلیتی بر روی چهار باند انتخابی استر در منطقه‌ی ترود ..... ۱۱۲
- جدول ۵-۱ امتیاز روش SAM در سنگ‌های آذرین محدوده مورد مطالعه ..... ۱۲۸
- جدول ۵-۲ امتیاز روش SAM در سنگ‌های رسوبی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۲۹

- شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه (تهیه شده از محیط Google Earth و GIS).....۴
- شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه ترود.....۵
- شکل ۱-۳- فرآیند اجرایی روش انجام کار با استفاده از لایه‌های دورسنجی و اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه.....۱۱
- شکل ۱-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه ترود، برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود و تصاویر ماهواره‌ای.....۱۷
- شکل ۲-۲- تصویری از سنگ‌های آهکی کرتاسه در منطقه کوه پینه.....۲۱
- شکل ۲-۳- سرباره مس و سنگ‌های آهکی کرتاسه در منطقه کوه پینه.....۲۱
- شکل ۲-۴- کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های کرتاسه منطقه کوه پینه.....۲۱
- شکل ۲-۵- آهک کریستالیزه شده در منطقه کوه پینه.....۲۱
- شکل ۲-۶- صدف‌های براکیپود در آهک‌های کرتاسه.....۲۱
- شکل ۲-۷- تبلور دوباره در سنگ‌های آهکی کرتاسه.....۲۱
- شکل ۲-۸- تصویری از یک نمونه دستی سنگ داسیتی و آنکلاو موجود در سنگ داسیت.....۲۴
- شکل ۲-۹- تصویر میکروسکوپی نشان‌دهنده بافت پورفیری داسیت‌ها در نور XPL.....۲۴
- شکل ۲-۱۰- نمایی از بافت گلومروپورفیری آمفیبول‌ها در داسیت‌ها در نور XPL.....۲۴
- شکل ۲-۱۱- تصویری از اکسی‌هورنبلندهای دگرسان شده در داسیت‌ها در نور XPL.....۲۴
- شکل ۲-۱۲- نمایی از پلاژیوکلازهای دگرسان شده در داسیت‌ها در نور XPL.....۲۴
- شکل ۲-۱۳- تصویری از بافت منطقه‌بندی پلاژیوکلازها در داسیت‌ها در نور XPL.....۲۴
- شکل ۲-۱۴- نمایی از سنگ‌های آندزیتی در معدن مس چاه موسی.....۲۷
- شکل ۲-۱۵- تصویری از یک نمونه سنگ آندزیتی همراه با آنکلاو موجود در آن در حوالی معدن مس چاه موسی.....۲۷
- شکل ۲-۱۶- تصویری از ماکل دوتایی پلاژیوکلازها و بافت پورفیری در آندزیت‌ها در نور XPL.....۲۷
- شکل ۲-۱۷- تصویری از کانی هورنبلند با حاشیه اپاسیتی در آندزیت‌ها در نور XPL.....۲۷
- شکل ۲-۱۸- پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی در یک نمونه آندزیتی در نور XPL.....۲۷
- شکل ۲-۱۹- پلاژیوکلاز تجزیه شده به کلسیت در سنگ آندزیت در نور XPL.....۲۷
- شکل ۲-۲۰- تصویری از نمونه دستی بازالت‌های منطقه گندی.....۲۹
- شکل ۲-۲۱- بافت تراکیتی پورفیری در سنگ‌های بازالت در نور XPL.....۲۹

- شکل ۲-۲۲- کانی‌های الیوین و پیروکسن و بافت تراکیتی در بازالت‌ها در نور XPL..... ۲۹
- شکل ۲-۲۳- تصویری از حضور پیروکسن در سنگ بازالت در نور XPL..... ۲۹
- شکل ۲-۲۴- تصویری از یک نمونه دستی الیوین ایدنگزیتی شده در حوالی معدن مس چاه موسی..... ۳۰
- شکل ۲-۲۵- تصویری از حضور پیروکسن در سنگ بازالت در نور XPL..... ۳۰
- شکل ۲-۲۶- نمایی از سنگ‌های نفوذی منطقه کوه‌زر..... ۳۱
- شکل ۲-۲۷- توده‌های نفوذی به همراه سنگ‌های آتشفشانی میزبان در منطقه چاه موسی..... ۳۱
- شکل ۲-۲۸- نمایی کلی از سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی منطقه کوه‌زر..... ۳۲
- شکل ۲-۲۹- تصویر میکروسکپی از بافت دانه‌ای (گرانولار) در سنگ‌های گرانیتی منطقه کوه-زر (نور XPL)..... ۳۲
- شکل ۲-۳۰- تورمالین با ساختار خورشیدی در گرانیت‌های کوه‌زر نور XPL..... ۳۲
- شکل ۲-۳۱- دگرسانی بیوتیت به کلریت در سنگ‌های XPL گرانیتی در نور..... ۳۲
- شکل ۲-۳۲- تصویری از سنگ‌های گرانودیوریتی در منطقه کوه‌زر..... ۳۳
- شکل ۲-۳۳- بافت پورفیروئیدی و بیوتیت‌های تجزیه‌شده به کلریت در سنگ گرانودیوریتی در نور XPL..... ۳۳
- شکل ۲-۳۴- درشت بلور پلاژیوکلاز در سنگ‌های گرانودیوریتی در نور XPL..... ۳۴
- شکل ۲-۳۵- ماکل دوتایی و دگرسانی پلاژیوکلازها در سنگ گرانودیوریتی در نور XPL..... ۳۴
- شکل ۲-۳۶- تصویری از پلاژیوکلازهای در حال تجزیه در دیوریت‌ها در نور XPL..... ۳۵
- شکل ۲-۳۷- نمایی از کانی هورنبلند و پلاژیوکلاز در دیوریت‌ها (نور XPL)..... ۳۵
- شکل ۲-۳۸- نمایی از بافت منطقه‌بندی در پلاژیوکلازها در سنگ‌های دیوریتی در نور XPL..... ۳۵
- شکل ۲-۳۹- تصویری از پلاژیوکلازها با ماکل دوتایی در دیوریت‌ها در نور XPL..... ۳۵
- شکل ۲-۴۰- نمایی از سنگ‌های پیروکلاستیک در منطقه گندی..... ۳۸
- شکل ۲-۴۱- تصویری از توف‌های آندزیتی منطقه گندی..... ۳۸
- شکل ۲-۴۲- تصویری از توف‌های آندزیتی در مقاطع میکروسکپی (نور XPL)..... ۳۸
- شکل ۲-۴۳- حضور پلاژیوکلازها به صورت میکروولیت و فنوکریست در توف‌های آندزیتی (نور XPL)..... ۳۸
- شکل ۲-۴۴- تصویری از توف‌های آگلومرایی در منطقه گندی (نور XPL)..... ۳۹
- شکل ۲-۴۵- بافت تراکیتی پلاژیوکلازها در سنگ‌های آذرآواری در منطقه گندی..... ۳۹

- شکل ۲-۴۶- نمایی از مارن‌های واحد الیگو میوسن در منطقه ترود..... ۳۹
- شکل ۲-۴۷- تصویری از دایک گابرو دیوریتی (معدن مس چاه موسی)..... ۴۲
- شکل ۲-۴۸- تصویری از دایک با فرسایش پوست پیازی در منطقه معدن مس چاه موسی..... ۴۲
- شکل ۲-۴۹- نمایی از دایک‌های دیابازی در منطقه گندی..... ۴۲
- شکل ۲-۵۰- حاشیه انجماد سریع در دایک‌ها در منطقه مورد مطالعه..... ۴۲
- شکل ۲-۵۱- نمایی از کانی هورنبلند در دایک‌های گابرو دیوریتی در منطقه چاه موسی (نور XPL)..... ۴۲
- شکل ۲-۵۲- کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در دایک‌های گابرو دیوریتی در منطقه چاه موسی (نور XPL)..... ۴۲
- شکل ۲-۵۳- بافت تراکیتی و کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در دایک‌های بازالتی در منطقه (نور XPL)..... ۴۳
- شکل ۲-۵۴- حضور کانی کلسیت و بافت تراکیتی در دایک‌های بازالتی در منطقه (نور XPL)..... ۴۳
- شکل ۲-۵۵- بافت پورفیری در سنگ‌های تراکی آندزیتی در نور XPL..... ۴۳
- شکل ۲-۵۶- تصویری از کانی آمفیبول در سنگ‌های تراکی آندزیتی در نور XPL..... ۴۳
- شکل ۲-۵۷- تصویری از کانی آمفیبول در سنگ‌های آندزیتی در نور XPL..... ۴۳
- شکل ۲-۵۸- تصویری از بلورهای پلاژیوکلاز تجزیه شده به کلسیت در سنگ‌های آندزیتی در نور XPL..... ۴۳
- شکل ۲-۵۹- تصویری از تراس‌های آبرفتی کواترن و مارن‌های الیگومیوسن در منطقه ترود..... ۴۴
- شکل ۲-۶۰- نمایی از آلتراسیون‌های رسی در حوالی معدن چاه موسی..... ۴۶
- شکل ۲-۶۱- تصویری از آلتراسیون‌های رسی نوار ماگمایی ترود- چاه شیرین..... ۴۶
- شکل ۲-۶۲- نمایی از گسل‌های منطقه ترود- معلمان..... ۴۸
- شکل ۳-۱- رابطه بین طول موج ، فرکانس و انرژی..... ۵۴
- شکل ۳-۲- محدوده طیف امواج الکترومغناطیس ..... ۵۶
- شکل ۳-۳- باندهای سنجنده ASTER و ETM<sup>+</sup>..... ۶۲
- شکل ۳-۴- ساختار تصاویر ماهواره‌ای و خصوصیات پیکسل‌ها..... ۶۵
- شکل ۳-۵- رنگ‌های افزایشی..... ۶۸

شکل ۳-۶- ترکیب رنگی کاذب ماهواره لندست سنجنده  $ETM^+$  در منطقه Enschede در کشور هلند و اطراف آن ترکیب رنگی کاذب مشاهده می‌شود: رنگ طبیعی (۳، ۲ و ۱)، شبه‌رنگ (۴، ۳ و ۲) و ترکیب رنگی کاذب (۵، ۳ و ۲) دیگر باندها امکان‌پذیر است..... ۶۹

شکل ۳-۷- نمودار بازتاب طیفی سنگ‌های آتشفشانی داسیت، آندزیت و بازالت..... ۷۱

شکل ۳-۸- نمودار بازتاب طیفی سنگ‌های درونی گرانیته، گرانودیوریت و دیوریت..... ۷۲

شکل ۳-۹- نمودار بازتاب طیفی سنگ‌های رسوبی. سنگ آهک، ماسه‌سنگ و شیل..... ۷۲

شکل ۳-۱۰- چگونگی بدست آوردن مولفه‌های اصلی از داده‌ها..... ۷۴

شکل ۴-۱- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۳ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۸۰

شکل ۴-۲- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۸۱

شکل ۴-۳- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی از محدوده مورد مطالعه..... ۸۲

شکل ۴-۴- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۴ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه..... ۸۳

شکل ۴-۵- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۲ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۸۴

شکل ۴-۶- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۷ و ۱ سنجنده  $ETM^+$  فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۸۵

شکل ۴-۷- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۷ و ۴ سنجنده  $ETM^+$  فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۸۶

شکل ۴-۸- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۱۲ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۸۸

شکل ۴-۹- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۱۲ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه..... ۸۹

شکل ۴-۱۰- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۱۲ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه..... ۹۰



شکل ۴-۱۱- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۵، ۱ و ۱۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۹۱

شکل ۴-۱۲- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۵، ۱ و ۱۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۹۲

شکل ۴-۱۳- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱۳، ۹ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۹۳

شکل ۴-۱۴- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱۳، ۹ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه..... ۹۴

شکل ۴-۱۵- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۵/۷، ۳/۱، ۵/۴ از سنجنده ETM<sup>+</sup> در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۹۶

شکل ۴-۱۶- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۱، ۳/۱، ۵/۷، ۵/۴ از سنجنده ETM<sup>+</sup> در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه..... ۹۷

شکل ۴-۱۷- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۸/۱۲، ۲/۱، ۱۳/۱۴ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۹۸

شکل ۴-۱۸- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۸/۱۲، ۲/۱، ۱۳/۱۴ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه..... ۹۹

شکل ۴-۱۹- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۱۳/۱۴، ۳/۴ و ۸/۱۲ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۱۰۰

شکل ۴-۲۰- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۱۳/۱۴، ۳/۴ و ۸/۱۲ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه..... ۱۰۱

شکل ۴-۲۱- تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجنده‌ی ETM<sup>+</sup> RGB: PC5, +PC3, -PC5+ PC3 در محدوده مورد مطالعه..... ۱۰۳

شکل ۴-۲۲- تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجنده ETM<sup>+</sup> RGB: PC5, +PC3, -PC5+PC3 در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه..... ۱۰۴

شکل ۴-۲۳- تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی سنجنده‌ی ETM<sup>+</sup>..... ۱۰۵

شکل ۴-۲۴- تصویر رنگی مجازی نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی (سنجنده ASTER)..... ۱۰۷

- شکل ۴-۲۵- تصویر رنگی مجازی نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی (سنجنده  $ETM^+$ ) ..... ۱۰۸
- شکل ۴-۲۶- تصویر رنگی مجازی روش کروستای سنجنده  $ETM^+$  ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۷- تصویر رنگی مجازی روش کروستای سنجنده ASTER ..... ۱۱۳
- شکل ۴-۲۸- تصویر رنگی کاذب برای نمایش خطواره‌های محدوده مورد مطالعه ..... ۱۱۴
- شکل ۵-۱- مقادیر ویژه محاسبه شده برای MNF تمامی باندها در سنجنده  $ETM^+$  ..... ۱۱۸
- شکل ۵-۲- نتایج حاصل از اعمال روش MNF با ترکیب رنگی (۳، ۲ و ۱) بر روی تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در بخش غربی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۱۹
- شکل ۵-۳- نتایج حاصل از اعمال روش MNF بر روی تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۲۰
- شکل ۵-۴- نمودار شاخص PPI ..... ۱۲۱
- شکل ۵-۵- طیف‌های استخراج شده از کتابخانه طیفی برای سنگ‌های آذرین ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۶- طیف استخراج شده از تصویر ناحیه مورد مطالعه برای سنگ‌های آذرین ..... ۱۲۳
- شکل ۵-۷- طیف‌های استخراج شده از کتابخانه طیفی برای سنگ‌های رسوبی ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۸- طیف استخراج شده از تصویر ناحیه مورد مطالعه برای سنگ‌های رسوبی ..... ۱۲۴
- شکل ۵-۹- زاویه بین بردارهای طیفی مورد آزمایش (t) و مرجع (r) و زاویه انعکاس طیفی بین آن‌ها ..... ۱۲۷
- شکل ۵-۱۰- تصویر حاصل از اعمال روش SAM محدوده مورد مطالعه در تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۱۱- تصویر حاصل از اعمال روش SAM بر روی تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۳۰
- شکل ۶-۱- تصویر حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، بازدید صحرایی و کارهای آزمایشگاهی در بخش غربی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۳۶
- شکل ۶-۲- تصویر حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، بازدید صحرایی و کارهای آزمایشگاهی در بخش میانی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۳۷
- شکل ۶-۳- تصویر حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، بازدید صحرایی و کارهای آزمایشگاهی در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۳۸

شکل ۶-۴- اعمال نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی محققان پیشین بر روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۹

شکل ۶-۵- تصویر نهایی از منطقه ترود و تفکیک واحدهای سنگی و مناطق دگرسانی..... ۱۴۰

## فهرست علائم اختصاری

ASTER: Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer

ENVI : Environment for Visualizing Images

ETM<sup>+</sup> : Enhanced Thematic Mapping

GIS : Geographic Information System

MNF: Minimum Noise Fraction

PCA : Principal Component Analysis

PPI:Pixel Purity Index

RGB : Red, Green, Blue

SAM: Spectral Angle Mapper

SWIR : Shortwave Length Infrared Radiation

TCC : True Color Composite

TIR : Thermal Infrared Radiation

VNIR : Visible and Near- Infrared Radiation



# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

به باور نوروژی (۱۹۷۲) پوسته ایران مجموعه‌ای از خرده قاره‌های به هم پیوسته است که سهم پوسته قاره‌ای آن بیشتر است. به عقیده بربریان و کینگ (۱۹۸۱) در زمان پرکامبرین نواحی البرز، ایران مرکزی، سنندج سیرجان و زاگرس در حاشیه شمالی قاره گندوانه قرار داشته‌اند و به وسیله اقیانوس تتیس از پهنه کپه داغ و به تبع آن از قاره اوراسیا جدا شده‌اند.

منطقه تروود در حاشیه شمالی کویر بزرگ یا کویر نمک واقع است و بخشی از استان سمنان را در بر می‌گیرد. ارتفاعات این منطقه به طور عمده از سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی متعدد و رخنمون‌هایی از سنگ‌های رسوبی با سن ائوسن تشکیل یافته، که با یک راستای شمال شرقی - جنوب غربی به موازات گسل بزرگ تروود قرار دارند. سنگ‌های آتشفشانی در این منطقه بیشتر ترکیب آندزیتی داشته که به صورت توالی از توفها و گدازه‌های سبز- خاکستری نمود دارند. این توالی‌ها توسط توده‌های کوچک دیوریتی و گرانودیوریتی و دایک‌های مربوطه قطع شده‌اند (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷).

رشته کوه تروود در واقع یک بالا آمدگی بوده که از شمال به گسل انجیلو و از جنوب به گسل تروود با روند شمال شرقی - جنوب غربی محدود می‌شود (مهری، ۱۳۷۷). در این تحقیق کوشش شده است که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با پوشش منطقه‌ای چند طیفی و چند زمانی وسیع، این توالی‌های سنگی مختلف همراه مناطق دگرسانی و معدنی و کنترل کننده‌های کانی‌زایی نظیر نوع سنگ، کنتاکت‌ها و ساختارهای خطی تفکیک شوند.

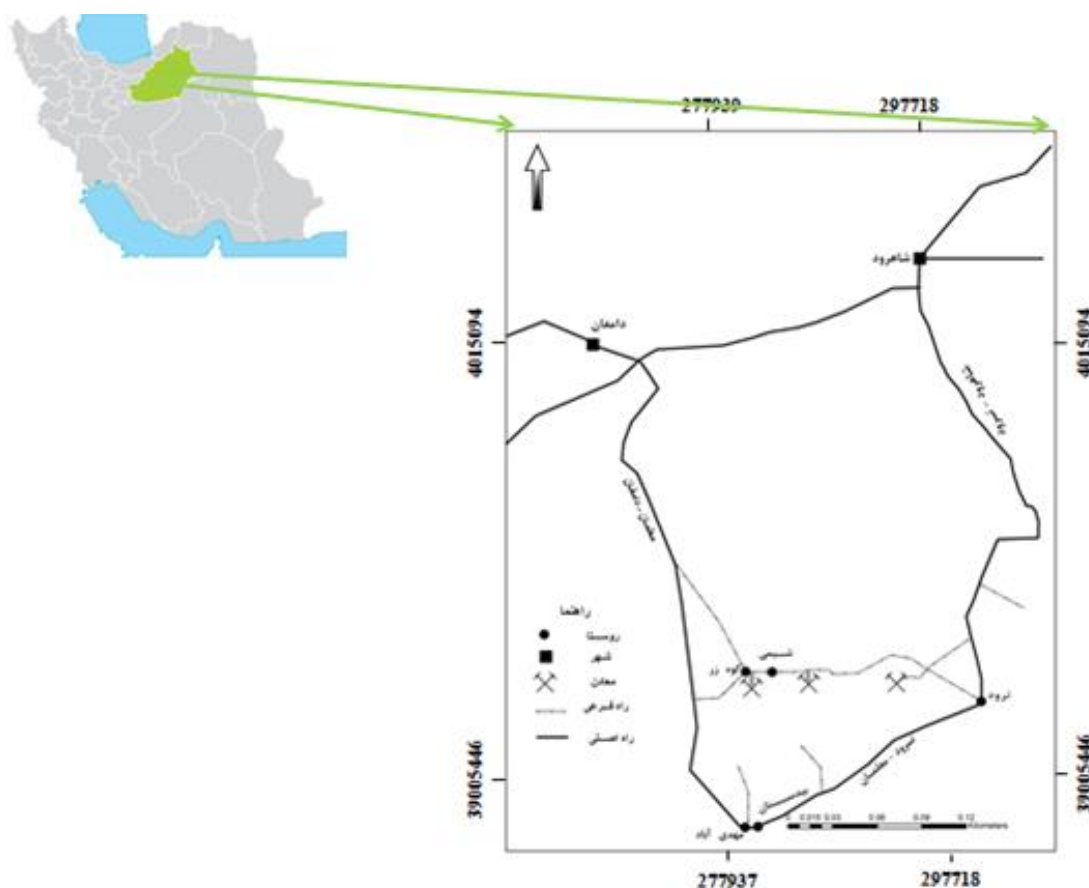
## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های ارتباطی

محدوده مورد بررسی، در حدود ۱۲۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان شاهرود واقع شده است. این منطقه، بخشی از برگه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ تروود است که در برگه‌های زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان، رزوه و خورس در استان سمنان در موقعیت جغرافیایی  $35^{\circ}15'$  تا  $35^{\circ}45'$  عرض شمالی  $54^{\circ}30'$  تا  $55^{\circ}15'$  طول شرقی واقع شده است. این منطقه از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری در زون

ایران مرکزی جای دارد و بخشی از کویر بزرگ ایران به شمار می آید. راه‌های اصلی دسترسی به منطقه، جاده‌های آسفالت‌دماغان - معلمان - ترود و شاهرود - ترود - معلمان می‌باشد. مسیر ترود - معلمان جاده‌ای فرعی از ترود به سمت معلمان است، که شرق منطقه را به غرب منطقه متصل می‌کند. در این مسیر فرعی معدن طلای کوه‌زر و روستاهای شیمی، باغو، نوا، کوه‌زر، توچای و کوه‌شای قرار دارند. برای دسترسی به توده‌های شمال معلمان از مسیرهای فرعی، که در مسیر جاده روستای مهدی‌آباد قرار گرفته است، استفاده می‌شود. مهم‌ترین مرکز جمعیتی منطقه روستای ترود می‌باشد. همچنین روستاهای رشم، معلمان و حسینیان از دیگر مراکز مهم جمعیتی است که در جنوب رشته‌کوه‌های ترود - چاه شیرین قرار گرفته‌اند (شکل ۱ - ۱).

### ۱-۳- ژئومورفولوژی منطقه

ارتفاع متوسط منطقه از سطح دریا در حدود ۱۵۰۰ متر است و بارزترین ویژگی مورفولوژی منطقه اختلاف ارتفاع یا ناهمواری آن می‌باشد، که به بیش از ۱۹۰۰ متر می‌رسد. مرتفع‌ترین نقاط، قله‌های دارستان و شیخ با بیش از ۲۰۰۰ متر ارتفاع هستند که در نیمه شمالی منطقه دیده می‌شوند. جنوب این ارتفاعات را مخروط افکنه‌هایی می‌پوشانند که ابتدا به نسبت پرشیب بوده و سپس با شیب ملایمی به دشت‌های جنوبی می‌پیوندند. البته رشته کوه‌های دیگری نظیر انجیلو و رضاآباد شوراب در منتهی-الیه شمال غربی این ناحیه، وجود دارند که دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی هستند و بیشتر از سنگ‌های آهکی تشکیل شده‌اند. تنوع ترکیب سنگ‌شناختی و رفتار متفاوت واحدهای سنگی نسبت به پدیده‌های فرسایشی و نیز بازتاب‌های گوناگون در برابر عوامل تکتونیکی باعث شده که شکل دره‌ها، شبکه آبراهه‌ها و بلندای واحدها، بسیار ناهمگن باشد و در نتیجه ساختار ریخت‌شناسی ناهمگنی در منطقه ایجاد شود.



شکل ۱-۱- راه‌های دسترسی به منطقه (تهیه شده براساس محیط Google Earth و GIS)

#### ۱-۴- آب و هوا و پوشش گیاهی

ناحیه مورد مطالعه، بخش وسیعی از استان سمنان را دربر گرفته و با داشتن تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌های سرد، از لحاظ دسته‌بندی اقلیمی، در گروه گرم و خشک بیابانی و نیمه بیابانی قرار می‌گیرد. اختلاف درجه حرارت سالیانه زیاد بوده و در روزهای گرم تابستان به بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در شب‌های سرد زمستان به زیر صفر می‌رسد. میانگین بیشترین دما در تابستان به ۴۰/۸ درجه و در زمستان به ۶ درجه زیر صفر می‌رسد. بیشینه بارندگی سالیانه در این منطقه معمولاً کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر است که میانگین سالیانه آن از ۱۴۰ میلی‌متر بیشتر نمی‌شود. این بارندگی‌ها، کوتاه مدت و اغلب به صورت رگبارهای تند و پراکنده هستند، به طوری که رودهای منطقه اغلب در برخی فصل‌ها سیلابی می‌شوند و کمتر مورد بهره‌برداری مردم منطقه قرار می‌گیرند (امام‌جمعه،



۱۳۸۵). عواملی مانند ارتفاعات، بلندی از سطح دریا و جهت وزش بادهای در آب و هوای منطقه موثر بوده و در مجموع این منطقه تحت تاثیر جریانهای گرم و خشک قرار دارد. به علت خشکی کویری حاکم بر منطقه، پوشش گیاهی بسیار کم است و منحصر به بوتههای مقاوم و کوتاه و پراکنده خار می- باشد. آب قابل شرب و کشاورزی اغلب روستاها از طریق قناتها و چشمهها تأمین می گردد که میزان آبدهی آنها بر حسب وضعیت نزولات جوی به شدت متغیر است (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه تروید

### ۱-۵- سابقه مطالعات زمین شناسی منطقه

به طور کلی کمر بند تروید، به دلیل حضور اندیسهای کانه زایی متعدد نظیر مس، طلا، آهن، فیروزه و تودههای نفودی عمیق و نیمه عمیق جایگزین شده در بین سنگهای آتشفشانی - رسوبی ائوسن، همچنین وجود گسلهای فعال، حتی با وجود آب و هوای گرم و خشک، توجه بسیاری از زمین شناسان را به خود جلب کرده است. از این رو مطالعات فراوانی در منطقه صورت گرفته است که برخی از آنها در ادامه شرح داده می شوند:

هوبر و اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوبر (۱۹۵۷) از شرکت ملی نفت ایران، نقشه زمین شناسی منطقه تروید - معلمان را تهیه کردند که توسط علوی در سال ۱۹۷۰ مورد تجدید نظر کلی قرار گرفت.

نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود توسط هوشمندزاده و همکاران (۱۳۷۵) تهیه و گزارش مکتوب آن توسط سازمان زمین‌شناسی کشور منتشر گردید. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان توسط اشراقی و همکاران (۲۰۰۶) تهیه و گزارش مکتوب آن به وسیله سازمان زمین‌شناسی کشور منتشر گردید. نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ رزوه توسط رحمتی ایلخچی (۲۰۰۶) تهیه و گزارش مکتوب آن توسط سازمان زمین‌شناسی کشور منتشر شد.

آقاجانی (۱۳۷۵) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به مطالعات اکتشافی محدوده طلای کوه‌زر دامغان پرداخته و ارتباط کانه‌زایی را با واحدهای سنگی و دگرسانی منطقه بررسی نموده است. ذوالفقاری (۱۳۷۷) به بررسی پترولوژیکی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در محدوده معلمان دامغان پرداخته است بر پایه تحقیقات ایشان، سنگ‌های آتشفشانی این منطقه از نوع آلکالن و کالکوالکالن بیشتر با گرایش پتاسیک است.

شمعانیان (۱۳۸۱) ضمن مطالعه ژنز کانسارهای طلای گندی و بوالحسنی (شمال معلمان) سنگ‌های نیمه‌عمیق را به کمان ماگمایی درون قاره‌ای نسبت داده و معتقد است که این کمان همزمان با فرورانش پوسته اقیانوسی تئیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی پدید آمده است. قربانی (۱۳۸۴) ماگماتیسم منطقه را در جنوب ترود، بازیک‌تر و در شمال آن، اسیدی‌تر می‌داند و در ضمن یک منشاء درون قاره‌ای برای آن قائل است. او معتقد است که ماهیت کالکوالکالن سنگ‌های شمال گسل ترود حاصل اختلاط ماگمای آلکالن مشتق شده از گوشته با ماگمای کالکوالکالن ناشی از ذوب سنگ‌های پوسته است. وی با توجه به ویژگی‌های ژئوشیمیایی، توده‌های گرانیتوئیدی منطقه را از نوع ، متآلومین تا پرآلومین دانسته و ولکانیسم و پلوتونیسم این منطقه را بر اساس یافته‌های ژئوشیمیایی و صحرایی بیشتر مرتبط با سیستم‌های کششی (pull - apart) منطبق می‌داند.

خواجehزاده (۱۳۸۸) پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال معلمان را مطالعه کرده و آن‌ها را در محدوده گرانیتهای کمان آتشفشانی (VAG) معرفی کرده است. تحول ماگمای تشکیل دهنده توده‌های گرانیتهویدی منطقه معلمان به تبلور بخشی و تفریق ماگمایی نسبت داده شده است. بحیرایی (۱۳۸۹) پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال تا شمال باختری ترود را مورد مطالعه قرار داده است و به بررسی توده‌های ساب‌ولکانیک منطقه ترود پرداخته است. طبق نظر نامبرده گدازه‌های آتشفشانی دارای ترکیب آندزیت بازالتی تا تراکی‌آندزیت بازالتی می‌باشند و توده‌های آذرین نیمه‌عمیق دارای ترکیب تراکی‌آندزیتی هستند.

باقرزاده (۱۳۹۲) کانه‌زایی منگنز - سلسیت برونومی در توالی آتشفشان - رسوبی ائوسن در منطقه ترود را مورد بررسی قرار داده‌اند. مجیدی (۱۳۹۲) به بررسی سازوکار جایگیری توده گرانیتهویدی چالو (جنوب شرق دامغان) با استفاده از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS) پرداخته است. جمالی (۱۳۹۳) به بررسی پترولوژی و ژئوشیمی گندهای ساب‌ولکانیک منطقه رزه پرداخته‌اند. طائفی (۱۳۹۳) ژنز کانه‌زایی مس و سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان - رسوبی ائوسن شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود را مورد مطالعه قرار داده است. صالحی نسب (۱۳۹۴) کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار مس بند قیچی در منطقه ترود را بررسی نموده‌اند. مصدق (۱۳۹۴) به مطالعه کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان منطقه معلمان پرداخته‌اند.

### ۱-۶ - سابقه مطالعاتی مرتبط با موضوع تحقیق

واندرمر (۱۹۵۵) با استفاده از سنجش از دور به شناسایی و تفکیک سنگ‌های کربناته پرداخته، وی توانست واحدهای سنگی کربناته را از سایر سنگ‌های رسوبی و دیگر سنگ‌ها تفکیک کند.

آقاجانی و همکاران (۱۳۷۵) با استفاده از فناوری سنجش از دور به مطالعه واحدهای سنگی، دگرسانی و خطواره پرداخته و توانسته مناطق امیدبخش معدنی را معرفی نماید. تنگستانی و مر

(۲۰۰۲) از داده‌های سنجنده ASTER برای تهیه نقشه‌های دگرسانی استفاده کردند. آن‌ها روش‌های مختلف مانند، نقشه‌بردار زاویه طیفی و تحلیل مولفه‌های اصلی را مورد مقایسه قرار داده‌اند.

نین میادا (۲۰۰۴) با استفاده از سنجنش از دور و با تفکیک باندهای مختلف در محدوده مرئی، طول موج کوتاه و مادون قرمز به شناسایی سنگ‌ها و تفکیک واحدهای سنگی پرداخته است. راجاندان و نصیر (۲۰۱۱) از سنجنش از دور در شناسایی سنگ‌های آذرین (اولترامافیک) در توده‌های افیولیتی اسمائیل در کوه‌های شمال عمان استفاده کرده‌اند. آن‌ها توانستند با استفاده از روش تحلیل مولفه‌های اصلی سنگ‌های اولترامافیک (دونیت و هارزبورژیت) را از سایر سنگ‌ها شناسایی کنند.

مارس (۲۰۱۱) از سنجنش از دور و داده‌های ماهواره‌ای ASTER برای بررسی و تفکیک سنگ‌های آذرین و نقشه‌برداری سنگ‌ها و مواد معدنی استفاده نموده است. عامر و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر سنجنده ASTER، منطقه‌ای در صحرای مرکزی مصر را مورد مطالعه قرار دادند و از روش‌های طبقه‌بندی پهنه‌بندی زاویه طیفی برای طبقه‌بندی زون‌های دگرسانی مرتبط با طلا استفاده کردند. نتایج مطالعات آن‌ها نشان داد، روش مذکور توانایی مناسبی برای طبقه‌بندی مناطق دگرسانی دارد.

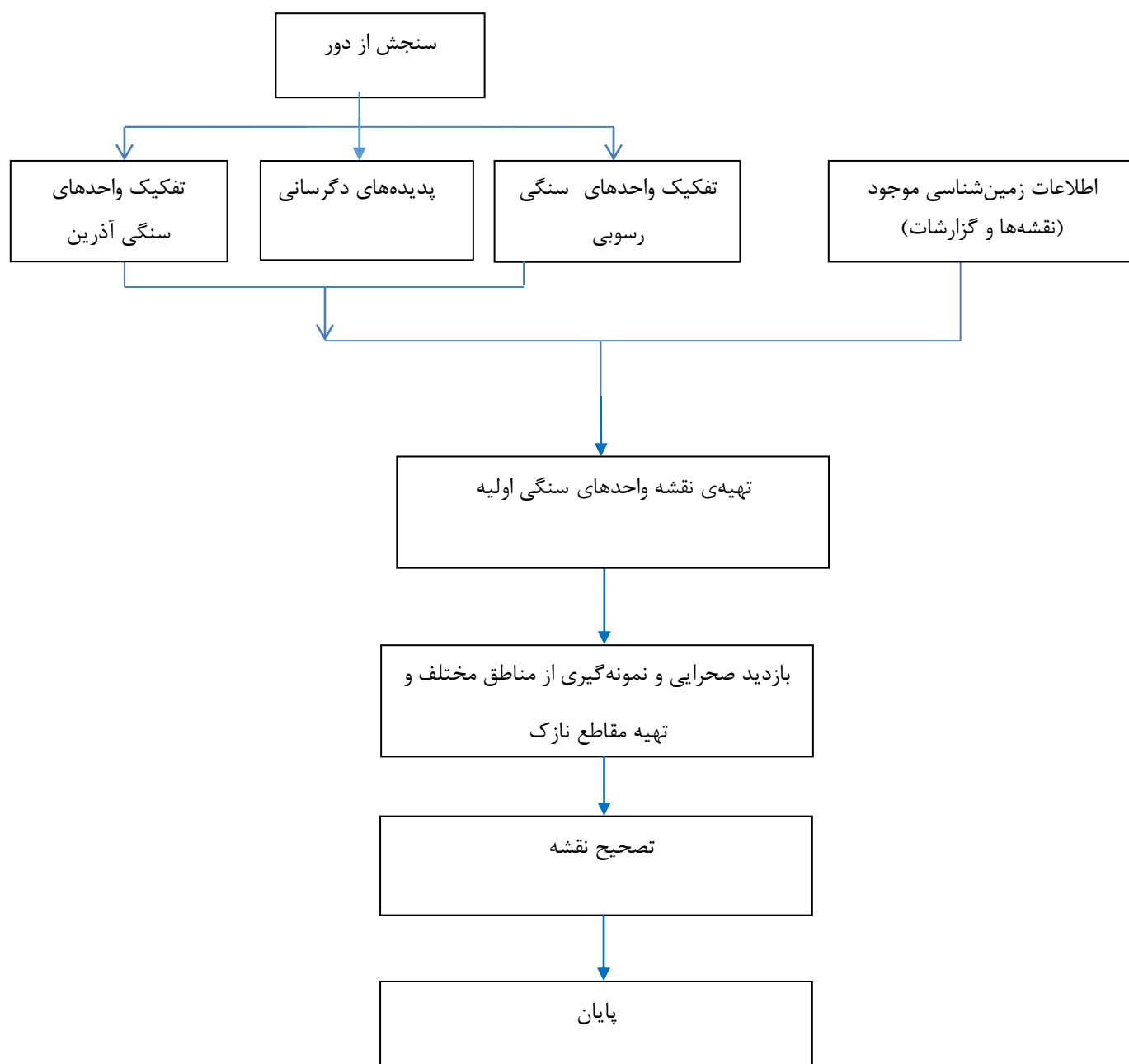
سان سون و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ترا (سنجنده ASTER) به بررسی و شناسایی منطقه اویوتولگوی مغولستان پرداخته و سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه را از سایر سنگ‌های منطقه تفکیک نموده و سپس به تهیه نقشه سنگ‌های آذرین اقدام نموده است. چائو دینگ (۲۰۱۴) شناسایی و تفکیک سنگ‌های مافیک، اولترامافیک، سنگ‌های غنی از کوارتز در منطقه چیناه در چین از داده‌های سنجنده ASTER استفاده شده است. علوی پناه (۱۳۹۲) در مقاله‌ای تحت عنوان تهیه نقشه واحدهای دگرسان به روش فیلتر سازگار یافته تنظیم اختلاط با استفاده از تصاویر ابر طیفی به تهیه نقشه‌های دگرسانی منطقه شهر بابک پرداخته است.

رضایی (۱۳۹۰) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به کاربرد فن‌آوری داده‌های ماهواره‌ای در اکتشاف انرژی زمین‌گرمایی در بخش مرکزی ایران (مجلات) پرداخته است. حمید (۱۳۹۴) با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزارم هشترو به تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس پرداخته است. وی در این پژوهش از روش‌های مختلف پردازش (ترکیب رنگی کاذب، نسبت‌های باندی و آنالیز مولفه‌های اصلی) برای اکتشاف مس پورفیری منطقه هشترو استفاده کرده است.

### ۱-۷- ضرورت انجام تحقیق

سنجش از دور دانشی است که با مطالعه و اندازه‌گیری یک شی یا پدیده زمینی از فاصله دور می‌تواند اطلاعات ارزنده‌ای را درباره آن ارائه دهند و در مرحله بعد، با تجزیه و تحلیل آن‌ها داده‌های مفیدی را استخراج کند. کاربرد وسیع سنجش از دور در شناسایی محدوده‌های مختلف به دلیل سرعت و دقت بالا و هزینه کم آن می‌باشد. این علم بر پایه‌ی پیشرفت‌های حاصل از فناوری‌های جدید و ماهواره‌ای استوار است. یکی از مهم‌ترین هدف‌های سنجش از دور در زمین‌شناسی، توسعه روش‌هایی برای نقشه‌برداری کانی‌ها و تشخیص انواع سنگ‌هاست (تنگستانی و مظهری، ۱۳۸۳). پژوهشگران زیادی از تکنیک‌های مختلف سنجش از دور برای شناسایی هدف مورد نظر استفاده کرده‌اند که از آن جمله (Crosta and More, 1989; Loughlin, 1991; Settel 2002; Cha wang, 2006) را می‌توان نام برد. امروزه از روش‌های متعددی برای این منظور استفاده می‌شود که می‌توان به روش‌های نسبت‌های باندی؛ روش ترکیب رنگی؛ تجزیه مولفه‌های اصلی و روش حداقل مربعات اشاره کرد؛ (آبرامز و همکاران، ۱۹۸۳؛ کافمن، ۱۹۸۳). در روش تجزیه مولفه‌های اصلی از نوع داده‌های ماهواره‌ای به دلیل قدرت تفکیک زمینی متفاوت و توان طیفی مناسب می‌توان بهره برد، که نقش بسزایی در تشخیص و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای دارد.

با توجه به توان طیفی و قدرت تفکیک بالا، تصاویر ثبت شده سنجنده  $ETM^+$  ماهواره لندست و سنجنده ASTER ماهواره ترا، در تشخیص عوارض مختلف مانند نوع سنگ، سطوح تماس واحدها، ساختارهای خطی و حلقوی، مناطق دگرسانی و اکتشاف ذخایر فلزی نظیر مس، آهن، طلا و غیره استفاده می‌شوند. از این داده‌ها برای شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی منطقه به روش کیفی و کمی استفاده شده است. سپس با مقایسه با نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه، بازدیدهای صحرایی، مطالعات پتروگرافی و آنالیز ژئوشیمیایی محققان قبلی منطقه صحت کار مورد بررسی قرار گرفته است (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳- فرآیند اجرایی روش انجام کار با استفاده از لایه‌های دورسنجی و اطلاعات نقشه‌های زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه.

## ۱-۸- اهداف مطالعه

با توجه به وجود توده‌های نفوذی و نیمه نفوذی در بین سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی ائوسن که یکی از ویژگی‌های منحصر به فرد نوار ماگمایی منطقه ترود است و با توجه به این‌که بیشتر مطالعات انجام شده به بررسی پترولوژی، ژئوشیمی و پتانسیل‌های اقتصادی منطقه پرداخته‌اند، و تاکنون مطالعات دورسنجی جهت بررسی و تفکیک کیفی و کمی سنگ‌های منطقه ترود صورت نگرفته لذا در این پژوهش اهداف ذیل دنبال می‌شود:

- بررسی واحدهای سنگی منطقه با استفاده از روش‌های کیفی و کمی سنجش از دور جهت شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه.
- تهیه نقشه واحدهای آذرین منطقه.

## ۱-۹- روش انجام تحقیق و گردآوری اطلاعات

- مطالعات کتابخانه‌ای، استفاده از بانک‌های اطلاعاتی به منظور آشنایی با مبحث سنجش از دور و روش‌های آن، مطالعه مقالات، مطالعات پیشین و مطالعه موارد مشابه در دیگر نقاط جهان .
- تهیه داده‌های ماهواره‌های لندست و ترا.
- اعمال برنامه بر روی داده‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای مورد نظر و پردازش آن‌ها.
- بازدید صحرایی براساس مطالعات سنجش از دور و برداشت نمونه‌های سنگی از برونزدهای مختلف در مناطق مورد مطالعه.
- مرحله آزمایشگاهی شامل تهیه ۵۰ مقطع میکروسکوپی سپس مطالعه پتروگرافی و مینرالوگرافی بر روی آن‌ها در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود.
- تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه براساس داده‌های ماهواره‌ای، مطالعات میکروسکوپی و کنترل-های صحرایی.



## فصل دوم

# زمین شناسی و پتروگرافی

## منطقه

## ۲-۱- مقدمه

نخستین بار اشتوکلین (۱۹۶۸) با توجه به پیچیدگی‌های ساختاری و شرایط متفاوت رسوبی، ایران را به چند حوضه رسوبی - ساختاری جداگانه تقسیم کرد. این تقسیم‌بندی بنیادی‌ترین تعبیر و تفسیر بوده و مبنایی برای پژوهشگران بعدی شد. در تقسیم بندی‌های جامع‌تر می‌توان به نبوی (۱۳۵۵)، افتخارنژاد (۱۳۵۹)، بربریان (۱۹۸۱)، علوی (۱۹۹۱)، آقاباتی (۱۳۷۹) اشاره کرد. از نگاه زمین-شناختی، مرز شمالی البرز محدود به زمین‌درز تتیس کهن است که از برخورد سنگ کره قاره‌ای البرز با سنگ کره توران، در تریاس پسین به وجود آمده است. ولی در بیشتر نقاط، محل زمین‌درز با ورق‌های رانده شده از شمال به جنوب پوشیده شده است. حد جنوبی البرز چندان روشن نیست. گسل تبریز (علوی، ۱۹۹۱)، گسل گرمسار (بربریان، ۱۳۷۵)، گسل سمنان (نبوی، ۱۳۵۶) و گسل عطاری (علوی نایینی، ۱۹۷۲)، مرز جنوبی البرز دانسته شده‌اند. ولی چنین به نظر می‌رسد که مرز شاخصی در مرز جنوبی البرز وجود نداشته باشد و گذر از پهنه ایران مرکزی به پهنه البرز تدریجی باشد. در گذشته خرده قاره ایران مرکزی را بخشی از توده میانی ایران مرکزی می‌دانستند، ولی به باور اشتوکلین (۱۹۶۸) پس از سخت‌شدگی پی‌سنگ پرکامبرین، بخش یاد شده در زمان پالئوزوئیک ویژگی‌های سکویی داشته و در زمان‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک به منطقه‌ای پرتحرک و پویا تبدیل شده است. با وجود این باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرده قاره از نوع بلوک‌های جدا شده با گسل‌های عمده است که هریک ویژگی‌های جداگانه دارند و پویایی خرده قاره در همه جا یکسان نیست.

استان سمنان در دامنه‌های جنوبی رشته کوه البرز در حاشیه شمالی کویر بزرگ واقع شده است و بخشی از زون ایران مرکزی می‌باشد. ارتفاع آن از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و به دشت کویر منتهی می‌شود. لذا از نگاه زمین‌شناسی به دو پهنه ساختاری البرز و ایران مرکزی تعلق دارد. این استان به دو بخش کوهستانی و دشت‌های پای‌کوهی تقسیم می‌شود. از دیگر مشخصات جغرافیایی این منطقه وجود شیب با جهت شمال به جنوب است که علت آن مجاورت با سلسه کوه‌های البرز در

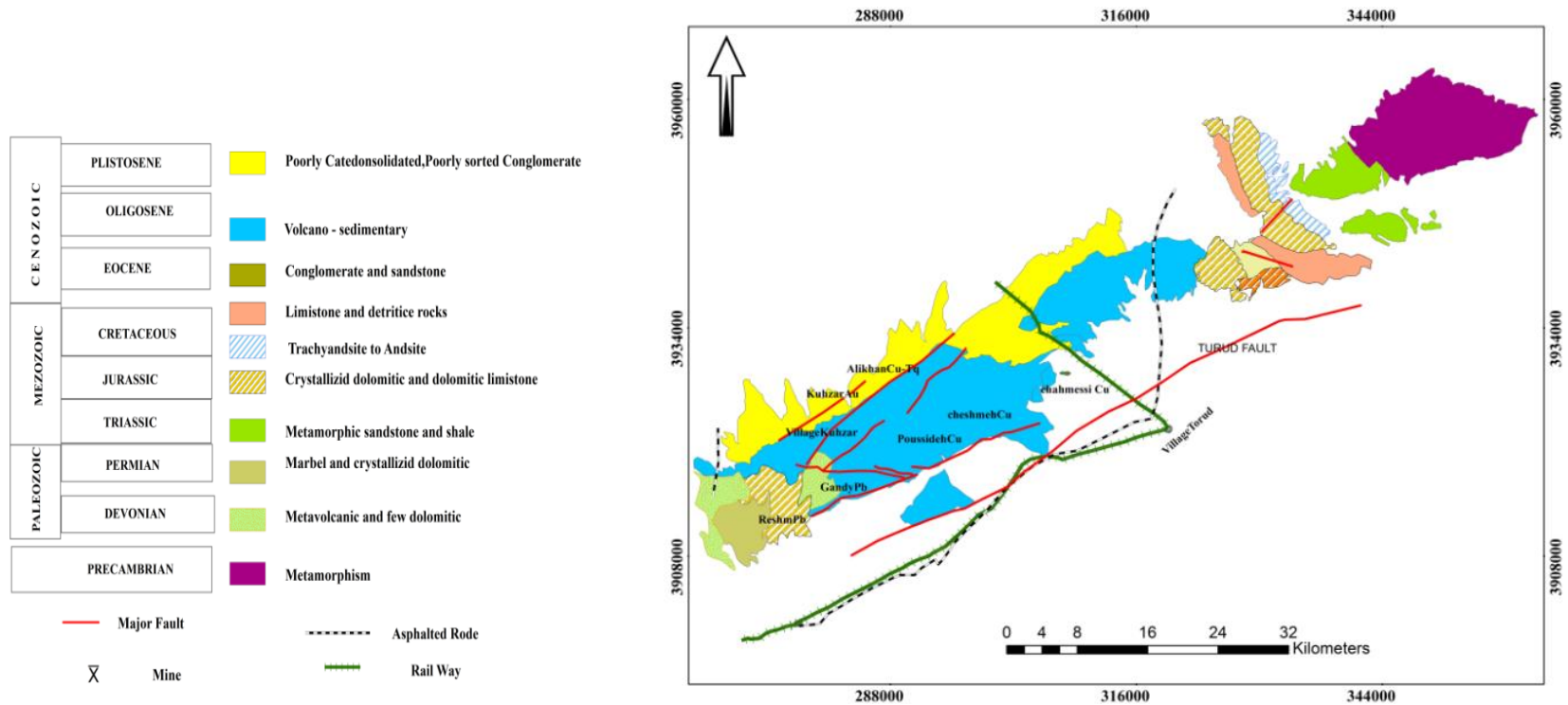
شمال و زمین‌های هموار و کویر در جنوب است. در شمال استان، گسل سمنان به عنوان حد جدا کننده البرز از ایران مرکزی دانسته شده است. در حالی که در ۳۰ کیلومتری شرق سمنان، گسل عطاری مرز دو پهنه ساختاری رسوبی ایران مرکزی معرفی شده است. با استناد به مطالعه‌های زمین‌شناسی، قدیمی‌ترین تشکیلات از کمر بند ترود که در بخش شرقی و جنوب شرق این استان واقع شده، پاره‌ای از خصوصیات ساختاری و چینه‌شناسی البرز و ایران مرکزی را شامل می‌شود. منطقه مورد مطالعه براساس تقسیم‌بندی اشتوکلین (۱۹۷۴)، علوی (۱۹۹۱) و آقانی (۱۳۸۳) در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است، و بخشی از کمان آتشفشانی-نفوذی دامنه شمالی کوه‌های ترود-چاه شیرین به سن ائوسن میانی تا میوپلیوسن است، که بین دو گسل انجیلو در شمال و ترود در جنوب محدود شده است.

## ۲-۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه

ناحیه مورد مطالعه از نگاه زمین‌شناسی ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی و در بخش شمالی آن قرار گرفته است. این ناحیه در واحد تکتو-رسوبی ایران مرکزی، در نیمه شمالی آن و در زیر پهنه بخش مرکزی ماگمایی جای دارد. هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) نیمه شمالی ورقه را به نام باریکه رشته‌ی ترود-چاه شیرین نامیده‌اند، که میان دو گسل اصلی ترود و انجیلو قرار گرفته است و درکناره شمالی فروافتادگی کویر بزرگ جای دارد (شکل ۲-۱). واحدهای سنگی پالئوزوئیک که کهن‌ترین نهشته‌های ورقه را ساخته‌اند، بیشتر با همبری تکتونیک و به صورت سفره‌های رورانده ظاهر شده‌اند. فعالیت‌های ماگمایی دوران پالئوزوئیک در زیر پهنه ترود-چاه شیرین با شدت بسیار کم‌تر از سنوزوئیک انجام گرفته است (اشراقی ۱۳۸۲).

ساختمان ناحیه از یک سری گسل‌ها و شکستگی‌ها با روند شمال شرقی - جنوب غربی تأثیر پذیرفته است. به منظور بررسی روندهای موجود در شکستگی‌های ناحیه، امتداد و شیب شکستگی‌ها و درزه‌ها در روی زمین توسط (آقاجانی، ۱۳۷۵) اندازه‌گیری شده است. عملکرد گسل‌ها، همراه با حضور

سیالات گرمابی به ایجاد مناطق دگرسانی آرژیلیتی، سیلیسی و به مقدار کمتر پروپیلیتی منجر شده است. دگرسانی‌های انجام شده با کانه‌زایی ترکیبات حاوی مس، سرب، روی، طلا، نقره و غیره همراه شده است. کانسارهای مس چاه موسی، مس قله سوخته، طلای کوه‌زر، سرب و روی چشمه حافظ، سرب و روی گندی، سرب سوسنوار و غیره نمونه‌های بارز کانه‌زایی صورت گرفته می‌باشند. سنگ‌های منطقه از نوع سنگ‌های رسوبی که در اواخر دونین تا کرتاسه مشاهده شده‌اند و سنگ‌های آتشفشانی، آتشفشانی - رسوبی و توده‌های نفوذی نیمه عمیق می‌باشد که به ائوسن میانی - بالایی تا الیگومیوسن رخنمون دارند.



شکل ۱-۲ - نقشه زمین‌شناسی منطقه تروود، برگرفته از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تروود و تصاویر ماهواره‌ای، تهیه شده در محیط GIS

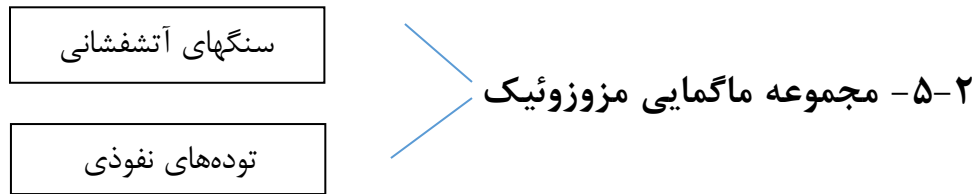
در این فصل به مطالعه چینه‌شناسی و خصوصیات ماکروسکوپی و میکروسکوپی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود. با استفاده از مطالعات میکروسکوپی سایر شواهد را که شامل شناسایی کانی‌ها، بافت، روابط بین کانی‌ها، فرآیندهای پترولوژیکی نظیر تبلور تفریقی، هضم، دگرسانی و غیره می‌باشد مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

### ۲-۳- چینه‌شناسی و پتروگرافی واحدهای سنگی منطقه

در منطقه مورد مطالعه، واحدهای سنگی و چینه‌شناختی، به ترتیب توالی‌های رسوبی مربوط به دونین تا تریاس، ژوراسیک و کرتاسه، مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن، توده‌های پس از ائوسن و واحدهای رسوبی کواترنری می‌باشند. توالی‌های رسوبی، بیشتر دارای ترکیب آهکی، شیلی و ماسه-سنگی بوده و بیشتر به سن اواخر پرمین تا کرتاسه هستند. سنگ‌های آذرین ائوسن طیف گوناگونی از سنگ‌های بیرونی و درونی و آذرآواری هستند. حجم اصلی آن‌ها را سنگ‌های آتشفشانی به سن ائوسن میانی - بالایی تشکیل می‌دهند، که توسط توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق بعد از ائوسن قطع شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی طیف وسیعی از بازالت‌ها، آندزیت‌ها، تا داسیت‌ها را به خود اختصاص می‌دهند، ولی حجم اصلی این واحدها را سنگ‌های آندزیتی تشکیل می‌دهند. توده‌های نفوذی بیشتر به شکل استوک‌های کوچک و دایک رخمون دارند و شامل گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت، تا گابرو هستند. واحدهای آتشفشان - رسوبی حجم وسیعی از توف، کریستال توف، لیتیک توف و توف-آگلومرایبی را به خود اختصاص می‌دهند.

تقسیم‌بندی واحدهای سنگی موجود در منطقه براساس سن زمین‌شناسی و پتروگرافی:

### ۲-۴- واحدهای رسوبی پالئوزوئیک - مزوزوئیک



۶-۲ - سنگ‌های آذرآواری ائوسن میانی - بالایی

۷-۲ - واحدهای رسوبی الیگومیوسن

۸-۲ - دایک‌ها

۹-۲ - رسوبات عهد حاضر

۴-۲ - واحدهای رسوبی پالئوزوئیک - مزوزوئیک

سنگ‌های آهکی، دولومیتی، ماسه‌سنگی، شیلی و آتشفشانی دگرگون شده و تبلور دوباره یافته به سن پالئوزوئیک - مزوزوئیک در منطقه مورد مطالعه رخنمون دارند، و روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند. به طور کلی وسعت و گسترش رسوبات پرمین در بخش وسیعی از ایران مرکزی نمایان است. برونزدهای نسبتاً گسترده سنگ‌های پرمین در نواحی متعددی از ایران مرکزی گویای پیشروی گسترده دریای پرمین در ایران مرکزی است که در همه جا به ردیف‌های رسوبی این دریای پیشرونده سازند جمال نام داده شده است. نهشته‌های تریاس بالای ایران مرکزی، ردیف‌های شیلی و ماسه‌سنگی زغال داری هستند که در اثر حرکت کوهزایی سیمیرین پیشین نهشته شده‌اند. تغییرات آن‌ها از سیمیرین پسین تا ژوراسیک میانی می‌باشد و شامل شیل و ماسه‌سنگ با لایه‌هایی از کنگلومرا، میکروکنگلومرا و سنگ آهک هستند که در شمال شرق منطقه رخنمون دارند، و هم‌ارز سازند سرخ شیل می‌باشند. مرز بین آشکوب‌های تیتونین (ژوراسیک بالایی) و بریازین (کرتاسه آغازی) در بسیاری از نقاط ایران و از نوع محیط‌های ژرف است، تدریجی بودن رسوب‌گذاری از ژوراسیک به کرتاسه در ناحیه کرمان (هوکریده و همکاران ۱۹۷۲) بافق و باختر طبس (بزرگ‌نیا، ۱۹۶۴)، ناحیه بیارجمند

(نبوی و پرتواذر، ۱۳۶۵)، ناحیه شاهرود (خان ناظر، ۱۳۷۳) گزارش شده است. در چند کیلومتری شمال روستای رزوه، سنگ‌های آهکی کرتاسه به ضخامت حدوداً ۴۰۰ متر رخنمون دارند که به رنگ خاکستری تا زرد نخودی متوسط لایه تا توده‌ای دیده می‌شوند و در شرق محدوده مورد مطالعه رخنمون دارند (شکل ۲-۲). از ویژگی‌های این سنگ آهک‌ها آثار کانه‌زایی مس می‌باشد (شکل ۲-۳). و سن آن‌ها کرتاسه (آپسین - آلبین) تخمین زده شده است. سنگ آهک‌های کرتاسه پایینی یکی از شاخص‌ترین واحدهای سنگی ایران مرکزی است، که اغلب با ردیف‌های آواری سرخ رنگ آغاز و به طور پیشرونده سنگ‌های قدیمی‌تر را می‌پوشاند. گستردگی زیاد این سنگ‌ها در نواحی گوناگون ایران مرکزی، گویای پیشروی گسترده دریا و پوشیده شدن بسیاری از پشته‌های قدیمی با دریای پیشرونده کرتاسه زیرین می‌باشد (آقاناتی، ۱۳۸۳). همچنین در کوه‌های کم‌انجیر، باباحمد و خانجار واقع در جنوب غرب منطقه نهشته‌های کرتاسه پسین رخنمون دارند و تناوبی از سنگ آهک، شیل، آهک مارنی همراه با میان لایه‌هایی از ماسه سنگ، آهک ماسه‌ای و عدسی‌هایی از ماسه سنگ - کنگلومرا و کنگلومرا دیده می‌شود. این سنگ‌ها نادگرگونه‌اند و در آن‌ها سنگواره‌های بزرگ از خانواده‌های آمونیت‌ها، مرجان‌ها، خارپوستان و جلبک‌ها پدید آمده است. مطالعه سنگ شناسی و فسیل شناسی بر روی این سنگ‌ها نشان داده است که در محیط دریائی آزاد و پر انرژی تشکیل شده‌اند و سن آن‌ها کرتاسه پسین (اشکوب‌های سنومانین تا کامپانین) تعیین شده است. واحد یاد شده در بسیاری از نقاط با همبری تکتونیکی دیده می‌شود و تکه‌های بزرگ آن به شکل بلوک‌های نابرجا در نهشته‌های گوناگون ائوسن - الیگوسن باقی مانده است. سنگ‌های آهکی این واحد در موارد زیادی با توده‌های نفوذی کم-ژرف به ویژه کوارتز دیوریت‌ها بریده شده‌اند و در همبری آن‌ها دگرگونی مجاورتی بسیار ضعیفی دیده می‌شود (اشراقی ۱۳۸۲). در مقاطع نازک تهیه شده از سنگ آهک‌های کرتاسه، قطعاتی از صدف‌های براکیپود در داخل سنگ وجود دارد که بیانگر سن این سنگ آهک‌ها می‌باشد (شکل ۲-۶). در آهک‌های اسپارایتی بلورها به طور بخشی رشد کرده و تبلور دوباه پیدا کرده‌اند و دارای کلسیت‌های درشت بلور هستند و شکستگی‌ها توسط سیلیس پر شده است (شکل‌های ۲-۵ و ۲-۷).





شکل ۲-۳ - سرباره مس و سنگ‌های آهکی کرتاسه در منطقه کوه پینه



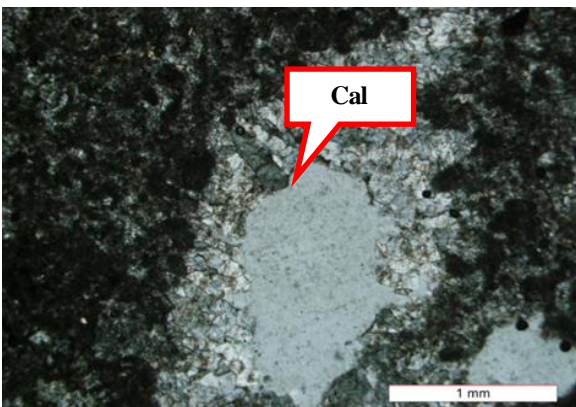
شکل ۲-۲ - تصویری از سنگ‌های آهکی کرتاسه در منطقه کوه پینه



شکل ۲-۵ - آهک کریستالیزه شده در منطقه کوه پینه



شکل ۲-۴ - کنگلومراها و ماسه‌سنگ‌های کرتاسه منطقه کوه پینه



شکل ۲-۷ - تبلور دوباره در سنگ‌های آهکی کرتاسه



شکل ۲-۶ - صدف‌های براکیپود در آهک‌های کرتاسه

## ۲-۵- مجموعه ماگمایی سنوزوئیک

بنابر گزارش شمعانیان (۱۳۸۱) در کوههای ترود - چاه شیرین، غالب سنگ‌های آذرین به سن پالئوژن هستند. بیشتر فعالیت‌های ماگمایی در دوره ائوسن میانی تا بالایی رخ داده است و به طور کلی فعالیت ماگمایی در منطقه ترود - چاه شیرین از قدیم به جدید شامل سه مرحله است:

مرحله اول: فعالیت‌های آتشفشانی شامل برونریزی‌های گدازه‌های ریوداسیتی، آندزیتی تا آندزی-بازالتی همراه با رسوب‌گذاری با مارن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های توفیتی.

مرحله دوم: خروج گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری که شامل توف، کریستال توف، توف برشی و اگلومرایی هستند و اغلب ترکیب آندزیتی، تراکی آندزیت تا بازالتی دارند.

مرحله سوم: تزریق توده‌های آذرین نیمه‌عمیق و کم عمق که البته گسترش چندانی ندارند و ترکیب آن‌ها از گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت تا گابرو تغییر می‌کند.

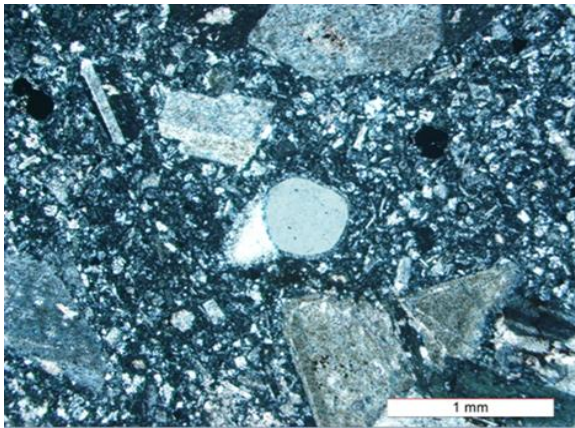
## ۲-۶- سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی - بالایی

هوبر و اشتوکلین (۱۹۵۹) شروع فعالیت آتشفشانی را به لوتسین نسبت می‌دهند. در ائوسن فعالیت‌های آتشفشانی وابسته به رخداد آلپ میانی بوده و نشانگر ناآرامی‌های زمین‌ساختی چیره بر حوضه‌های رسوبی ایران مرکزی است که از میان آن‌ها ناآرامی‌های ائوسن میانی از همه شاخص‌تر می‌باشد (آقنابتی، ۱۳۸۳). بخش عمده سنگ‌های منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی تشکیل داده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی متعلق به ائوسن میانی - بالایی هستند و به صورت هم‌شیب بر روی بخش قاعده-ای ائوسن یا به صورت دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار دارند. این واحدها بیشتر در بخش شمالی گسل ترود گسترش دارند و دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند. آن‌ها طیف وسیعی از داسیت‌ها، آندزیت‌ها و بازالت‌ها را به خود اختصاص می‌دهند. هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) ترکیب بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه ترود - چاه شیرین را آندزیتی و تراکی-

آندزیتی دانسته که به صورت توالی توفها و گدازه‌های سبز - خاکستری دیده می‌شوند و توسط توده‌های کوچک دیوریتی و گرانودیوریتی و دایک‌های مربوطه قطع شده‌اند.

### ۲-۶-۱- داسیت‌ها و ریوداسیت‌ها

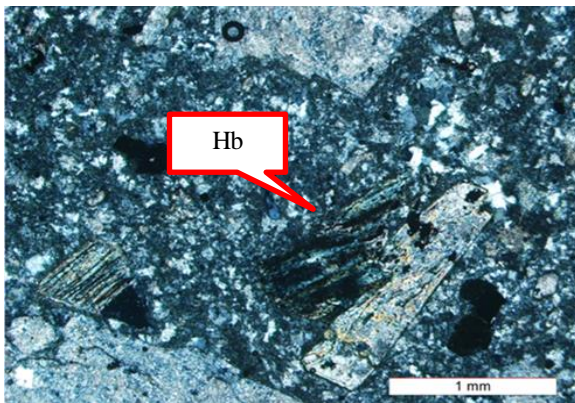
از طبقه‌بندی اشتراکایزن (۱۹۸۰) این‌طور استنباط شده که داسیت‌ها از نظر مودال مشابه گرانودیوریت‌ها و کوارتز-دیوریت‌ها هستند. اما از نظر محل تشکیل با آن‌ها تفاوت دارند. در نمونه دستی به رنگ سبز تا خاکستری دیده می‌شوند (شکل ۲-۸). دارای فنوکریست‌های کوارتز، الکالی‌فلدسپات‌ها و اکسی‌هورنبلند می‌باشند. بافت اغلب آن‌ها پورفیری و گلوومروپورفیری می‌باشد (شکل-های ۲-۹، ۲-۱۰ و ۲-۱۱). ریوداسیت‌ها نسبت به داسیت‌ها حاوی سیلیس بیشتری هستند. شایع‌ترین کانی‌گروه سیلیس در آن‌ها کوارتز است (۲-۱۲). کوارتزها به صورت خودشکل و بی‌پیرامیدال، خلیجی و هضم شده، میکروولیت و فنوکریست، دیده می‌شوند (قاسمی و همکاران ۱۳۸۹). بواسطه جلای شیشه‌ای، سطح شکست صدفی و شفاف و بی‌رنگ بودنشان از سایر کانی‌ها به آسانی تشخیص داده می‌شوند. پلاژیوکلازها به صورت خودشکل، فنوکریست با بافت منطقه‌بندی دیده می‌شوند (۲-۱۳). پیدایش منطقه‌بندی در کانی‌ها به علت برقرار نبودن تعادل کامل در خلال تبلور است. معمولاً بلورهای منطقه‌ای نشانگر آهسته‌تر بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت تبلور است (شلی، ۱۹۹۵). بلور پلاژیوکلاز به کلسیت تجزیه شده است (شکل ۲-۹). آمفیبول‌ها به صورت هورنبلند و اکسی‌هورنبلند، شکل‌دار و در مقاطع طولی کشیده و سوزنی می‌باشند. برخی هورنبلندها، اپاسیتی شده‌اند که علت آن وجود اکسیژن بیشتر از حد معمول در محیط در زمان فوران می‌باشند (شکل ۲-۱۱). برخی از داسیت‌ها دارای آنکلاوهایی از سنگ میزبان هستند.



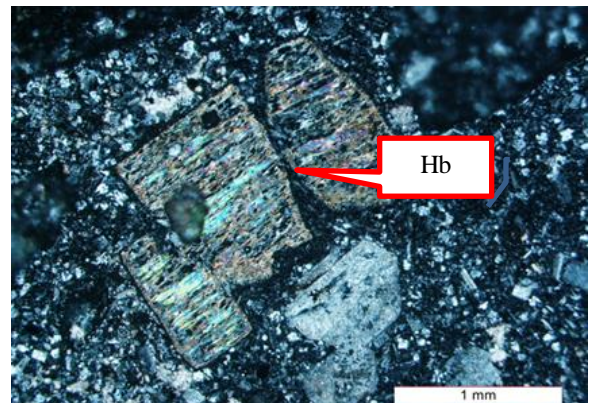
شکل ۲-۹- تصویر میکروسکوپی نشان‌دهنده بافت پورفیری داسیت‌ها در نور XPL



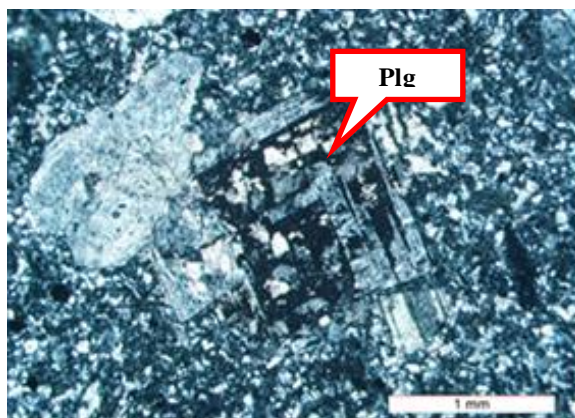
شکل ۲-۸- تصویری از یک نمونه دستی سنگ داسیتی و آنکلاو موجود در سنگ داسیت



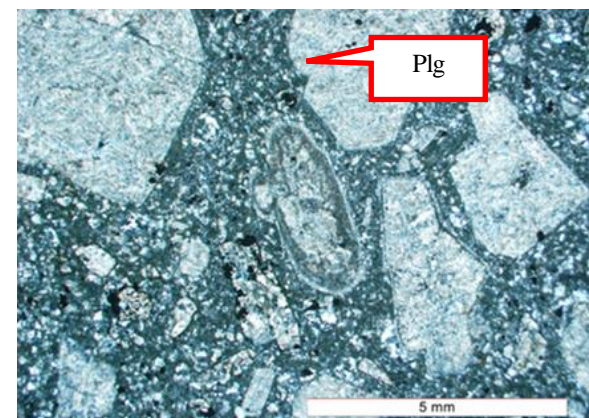
شکل ۲-۱۱- تصویری از اکسی‌هورنبلندهای دگرسان شده در داسیت‌ها در نور XPL



شکل ۲-۱۰- نمایی از بافت گلومروپورفیری آمفیبول‌ها در داسیت‌ها در نور XPL



شکل ۲-۱۳- تصویری از بافت منطقه‌بندی پلاژیوکلازها در داسیت‌ها در نور XPL



شکل ۲-۱۲- نمایی از پلاژیو کلازهای دگرسان شده در داسیت‌ها در نور XPL

## ۲-۶-۲- آندزیت‌ها

سنگ‌های آندزیتی در منطقه مورد مطالعه، در مشاهدات صحرایی دارای رنگ خاکستری روشن تا کمی تیره هستند (شکل‌های ۲-۱۴ و ۲-۱۵). به طور کلی بافت غالب آندزیت‌ها پورفیری و گلومروپورفیری می‌باشد (شکل ۲-۱۶). بافت پورفیری حاصل تجمع بلورهای درشت در یک خمیره دانه‌ریز در سنگ‌های ناهم‌بعد دانه است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). بافت گلومروپورفیری حاصل تجمع کانی‌های مشابه هم با اندازه‌های یکسان می‌باشد. بنا به اظهارات بست (۲۰۰۳) بافت گلومروپورفیری حاصل شکسته شدن بلورهای دیواره اتاق ماگمایی می‌باشد. محققین نشان دادند که اغلب اجتماعات فنوکریستی و گلومروپورفیری در سنگ‌های آتشفشان پورفیری، در مرحله تبلور زیرزمینی در اتاق ماگمایی و قبل از فوران ایجاد می‌شود (Samuel et al, 2007) در سطح فنوکریست-های آندزیت‌ها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول، پیروکسن و شاید بیوتیت، همراه با کانی‌های اپک (مگنتیت و آپاتیت) و کانی‌های حاصل از دگرسانی (کلسیت، کلریت، سرسیت) می‌باشند.

مهم‌ترین کانی‌های فرومنیزین در سنگ‌های آندزیتی، هورنبلند سبز و اکسی - هورنبلند هستند. در برخی مقاطع بلورهای هورنبلند دارای حاشیه سیاه‌رنگی در اطراف خود می‌باشند. این پدیده را معمولاً اوپاسیتی شدن می‌گویند (شکل ۲-۱۷). به علت آزاد شدن فشار در هنگام صعود مذاب، اکسی هورنبلند تشکیل شده در درون زمین، با ماگما در حالت تعادل قرار نمی‌گیرد. این امر باعث نوعی تخریب شبکه با تشکیل جدید یک آمیخته متراکم، بیشتر از مگنتیت، هماتیت، کلینوپیروکسن‌های حاوی آهن و سایر کانی‌های مشابه می‌گردد که آن را اوپاسیتیزه شدن می‌نامند که بیشتر از اطراف به پیش می‌رود (حاشیه تیره) و ممکن است تمام بلور را در برگیرد (مهرابی، ۱۳۷۴). هورنبلند معمولاً به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، در مقاطع طولی کشیده، سوزنی و میله‌ای شکل مشاهده می‌شوند. پلاژیوکلازها در تشکیل انواع سنگ‌ها شرکت دارند و نسبت به فلدسپات‌های پتاسیم توزیع گسترده‌تری دارند. خواص نوری پلاژیوکلازها به شدت به ترکیب شیمیایی، به درجه نظم  $Al/Si$  و بدین ترتیب

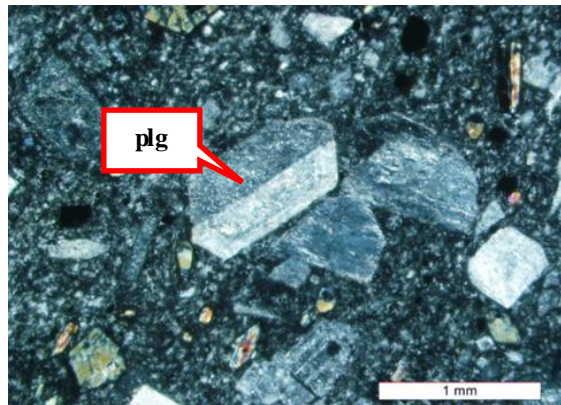
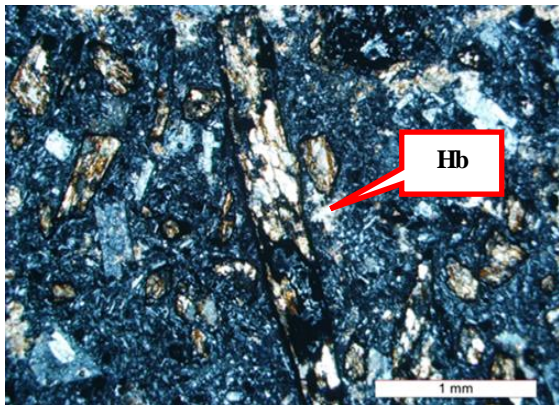
به شرایط تشکیل بستگی دارد (مهرابی، ۱۳۷۴). در نمونه‌های دستی، پلاژیوکلازها به شکل کانی‌های ریز سفیدرنگ در متن سنگ پراکنده‌اند و در مقاطع میکروسکوپی به دو شکل دانه درشت و میکروولیت در یک زمینه دانه ریز نمایان هستند. در برخی مقاطع تهیه شده پلاژیوکلازها جهت دار و کشیده و دگرسان شده می‌باشند.

از ماکل‌های مهم در پلاژیوکلازها می‌توان به ماکل کارلسباد و پلی‌سنتتیک اشاره کرد. یکی از مهم‌ترین و فراوانترین ماکل‌ها کارلسباد است که در مقاطع میکروسکوپی به صورت واضح و مشخص مشاهده می‌شود. دیگر ویژگی‌های پلاژیوکلازها در سنگ‌های آندزیتی، بافت منطقه‌ای (زونینگ) است (شکل ۲-۱۸). فنوکریست‌های پلاژیوکلازها شدیداً منطقه‌ای و معمولاً با منطقه‌بندی نوسانی از ویژگی‌های شاخص آندزیت‌ها هستند. تغییر در ترکیب شیمیایی درون هر بلور واحد، ناشی از تغییرات در ترکیب موادی است که در هنگام رشد بلور به سطوح بلوری آن اضافه می‌شود در بسیاری از کانی‌ها، بویژه پلاژیوکلازها منطقه‌بندی متحدالمرکز است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). در پلاژیوکلازها، فرایند سرسیتی شدن به طور گسترده و کربناتی شدن با شدت کم‌تر دیده می‌شود. بلور آمفیبول به اکسید آهن و کلریت تجزیه شده است. کلسیت کانی ثانویه‌ای است که بیشتر حفرات و شکستگی‌های موجود بین کانی‌های اصلی را پر می‌کند (شکل ۲-۱۹). این کانی از تجزیه کانی‌های کلسیم‌دار مانند پلاژیوکلاز تشکیل می‌شود. کلسیت به عنوان محصول دگرسانی به ویژه پلاژیوکلازهای غنی از آنورتیت در سنگ‌های آذرین وجود دارد. کلسیت به صورت بی‌شکل و رگه‌ای در سنگ‌های آندزیتی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



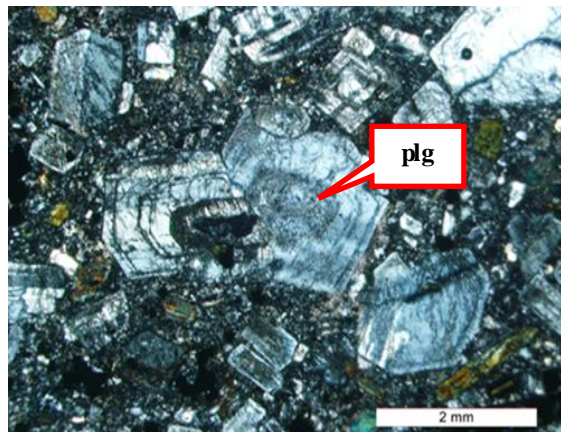
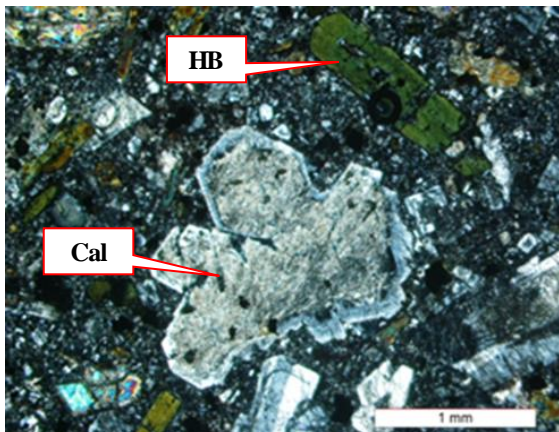
شکل ۲-۱۵- تصویری از یک نمونه سنگ آندزیتی همراه با انکلاو موجود در آن در حوالی معدن مس چاه موسی

شکل ۲-۱۴- نمایی از سنگهای آندزیتی در معدن مس چاه موسی



شکل ۲-۱۷- تصویری از کانی هورنبلند با حاشیه اپاسیتی در آندزیتها در نور XPL

شکل ۲-۱۶- تصویری از ماکل دوتایی پلاژیو کلازها و بافت پورفیری در آندزیتها در نور XPL



شکل ۲-۱۹- پلاژیوکلاز تجزیه شده به کلسیت در سنگ آندزیت در نور XPL

شکل ۲-۱۸- پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی در یک نمونه آندزیتی در نور XPL

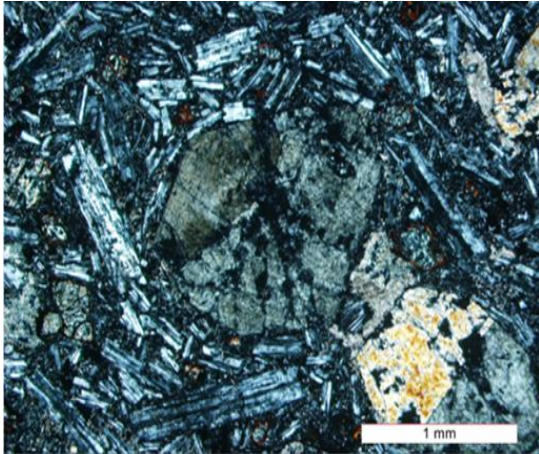
## ۲-۶-۳ - بازالت‌ها

بازالت‌ها در نمونه دستی به رنگ کاملاً تیره دیده می‌شوند (شکل ۲-۲۰). کانی‌های اصلی تشکیل‌دهنده بازالت‌ها، پیروکسن و پلاژیوکلاز کلسیک می‌باشند. دیگر کانی‌های مشاهده شده در بازالت‌ها شامل الیوین، کانی‌های اپک و کانی‌های ثانویه (کلسیت، سرسیت کلریت) هستند. بافت غالب بازالت‌ها پورفیری، هیالوپورفیری، تراکیتی و تراکیتی پورفیری است (شکل ۲-۲۱). محققین مختلف، حضور درشت بلورها در داخل یک زمینه دانه‌ریز و تشکیل بافت پورفیری به عنوان یک فرایند چندزادی تفسیر نموده‌اند. احتمالاً سازو کار اصلی ایجاد این بافت حداقل شامل سه مرحله اصلی، سرد شدن مذاب در اعماق زیاد (تشکیل درشت بلورها)، متوسط (تشکیل میکروولیت‌ها) و در سطح زمین (تشکیل شیشه) است. ابتدا، در آشیانه‌های ماگمایی موجود در اعماق زمین، تعداد کمی هسته در دمای زیر لیکیدیوس مذاب تشکیل می‌شود. سپس، رشد این هسته‌ها، فنوکریست‌های نسبتاً بزرگی را تولید می‌کند. صعود ماگما به داخل آشیانه‌های ماگمایی کم عمق و توقف کوتاه مدت مذاب به داخل این آشیانه‌ها باعث رشد لایه‌های جدید بر روی درشت بلورهای قبلی و بزرگ‌تر شدن آن‌ها و همچنین هسته‌بندی و رشد میکروولیت‌ها می‌گردد. در نهایت، خروج ماگما در سطح زمین و کاهش سریع دمای آن، منجر به انجماد گدازه و تشکیل زمینه‌ای شیشه‌ای یا بسیار دانه ریز در اطراف فنوکریست‌ها و میکروولیت‌ها و ایجاد بافت هیالو میکروولیتی پورفیری می‌شود (قاسمی و همکاران، ۱۳۹۲).

بافت تراکیتی نتیجه جهت یافتگی موازی بلورهای تخته‌ای پلاژیوکلاز است که منعکس کننده فشردگی یا جریان ماگما در خلال تبلور است (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). پلاژیوکلاز، فراوانترین کانی موجود در سنگ‌های بازالتی است. این کانی به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار، میکروولیت و فنوکریست دیده می‌شود. و غالباً منجر به ایجاد بافت تراکیتی شده است (شکل ۲-۲۲). به دلیل دگرسانی در بعضی از مقاطع، پلاژیوکلازها در حال تجزیه به سرسیت هستند و دارای ماکل کارلسباد و پلی سنتتیک می‌باشند. پیروکسن، مهم‌ترین کانی مافیک سنگ‌های بازالتی به شمار می‌رود. پیروکسن اصلی از نوع اوژیت یا اوژیت ساب‌کلسیک است که به صورت بلورهای شکل‌دار تا نیمه



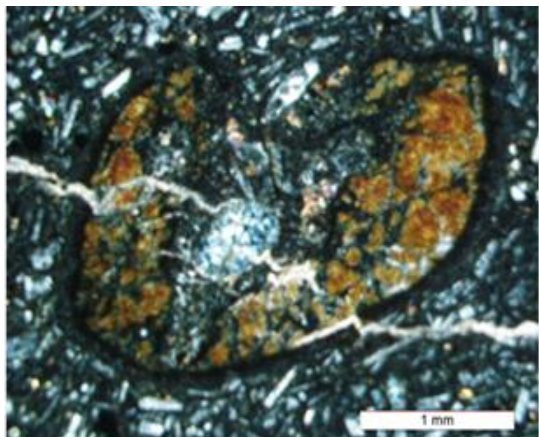
شکل‌دار در بین بلورهای پلازیوکلاز مشاهده می‌شود (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹) (شکل ۲-۲۳). در برخی از انواع بازالت‌ها، الیوین یک فاز مهم و اساسی بوده و به صورت الیوین‌های ایدنگزیتی شده در بازالت‌ها دیده می‌شود و بلورهای خود شکل تا غیر خود شکلی را می‌سازد (شکل‌های ۲-۲۴ و ۲-۲۵).



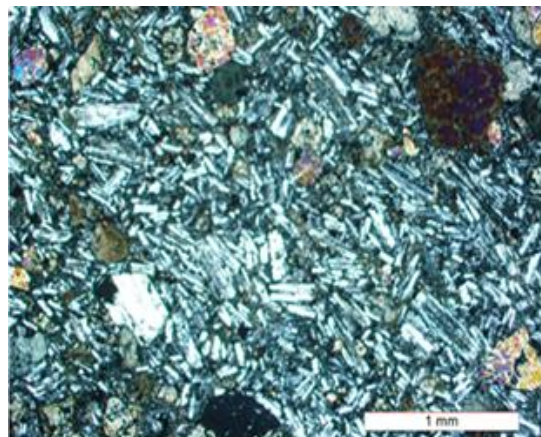
شکل ۲-۲۱- بافت تراکیتی پورفیری در بازالت در نور XPL



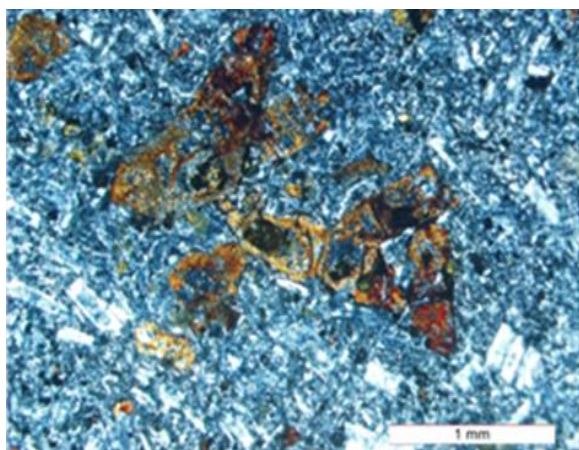
شکل ۲-۲۰- تصویری از نمونه دستی بازالت‌های منطقه گندی



شکل ۲-۲۳- تصویری از حضور پیروکسن در بازالت در نور XPL



شکل ۲-۲۲- کانی‌های الیوین و پیروکسن و بافت تراکیتی در بازالت‌ها در نور XPL



شکل ۲-۲۴- تصویری از یک سنگ بازالت و کانی الیوپین  
شکل ۲-۲۵- تصویری از حضور پیروکسن در بازالت در نور  
ایدنگزیتی شده در حوالی معدن مس چاه موسی  
XPL

## ۲-۷- پتروگرافی سنگ‌های نفوذی

توده‌های نفوذی متعددی در نوار ماگمایی ترود - چاه شیرین در جنوب دامغان قرار دارند. این نوار ماگمایی از رشته‌کوه‌های شمال ترود در شرق تا رشته‌کوه‌های چاه شیرین در غرب با روند شمال شرقی - جنوب غربی تشکیل شده است. این توده‌ها سنگ‌های کربناته کرتاسه و همچنین سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را قطع کرده‌اند (قربانی، ۱۳۸۴). این توده‌های نفوذی دارای ترکیب حدواسط تا اسیدی می‌باشند. آن‌ها بیشتر به شکل استوک‌های کوچک و دایک نمایان هستند. زمان تشکیل توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق را به ائوسن پایانی - الیگوسن نسبت داده‌اند و شامل گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت و گابرو می‌باشند. ویژگی‌های بافتی، کانی‌شناسی و شیمیایی این توده‌ها نشان می‌دهد که آن‌ها به صورت توده‌های نیمه‌عمیق جایگزین شده و سنگ‌های آتشفشانی رسوبی ائوسن و سنگ‌های قدیمی‌تر را قطع کرده‌اند و لذا سنی جوان‌تر از ائوسن دارند (قربانی، ۱۳۸۴). توده‌های نفوذی گستردگی بسیار کم‌تری نسبت به واحدهای آتشفشانی دارند. نفوذ این توده‌ها به درون سنگ‌های میزبان با دگرگونی مجاورتی و دگرسانی‌های گرمایی به ویژه از نوع آرژیلیتی همراه بوده است. همچنین وقایع مذکور به کانسارسازی گسترده عناصر سرب، روی، مس، طلا، نقره و غیره منجر شده است. از این موارد می‌توان به گرانیت کوه زر- باغو، گرانیت گندی، مونزونیت چالو اشاره کرد.



شکل ۲-۲۷- توده‌های نفوذی به همراه سنگ‌های آتشفشانی میزبان در منطقه چاه‌موسی

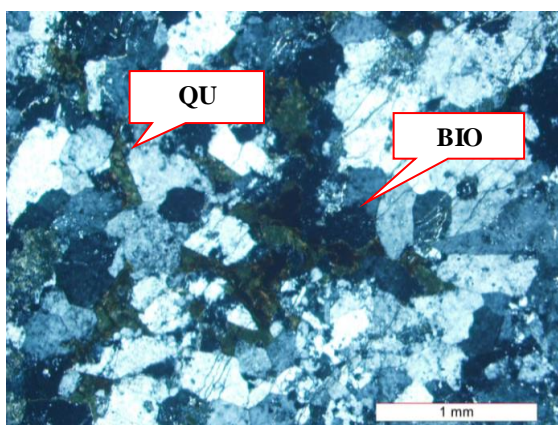


شکل ۲-۲۶- نمایی از سنگ‌های نفوذی منطقه کوه‌زر

### ۲-۷-۱- گرانیت‌ها

گرانیت‌ها ظاهری متغیر دارند. رنگ آن‌ها از روشن تا تیره و زمینه آن‌ها از دانه‌ریز تا دانه‌درشت تغییر می‌کند (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). در قسمت‌های مختلف محدوده مورد بررسی از جمله کوه‌زر، گندی و غیره رخنمون دارند (شکل ۲-۲۷). بافت غالب گرانیت‌ها، پورفیروئیدی است (شکل ۲-۲۸). به طور کلی گرانیت‌ها از فلدسپارهای آلکالن و تمرکز بالایی از کانی‌های مافیک، بخصوص بیوتیت تشکیل شده‌اند (Best, 2003). بیوتیت مهم‌ترین کانی مافیک سنگ گرانیت بوده و به صورت دانه درشت و خود شکل و گاه به علت رشد سریع دانه ریز و بی‌شکل در متن سنگ وجود دارد. غالباً به کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۲-۲۹). گاهی نیز اذخال‌هایی از مگنتیت و اپاتیت در بیوتیت‌ها مشاهده می‌شود. کوارتز به صورت غیر خود شکل و توده‌ای در میان دانه‌های مجاور قرار گرفته است. حضور کوارتزها و آلکالی فلدسپارهای گرد شده در سنگ‌های گرانیتی نشان‌دهنده تبلور اولیه این سنگ‌ها در مخازن ماگمایی عمیق است (Borming et al, 2001). ماگماهای گرانیتی در اعماق کم پوسته جایگزین می‌شوند خروج مواد فرار از ماگما به ویژه در افق‌های بالا از طریق شکستگی‌های حلقوی باعث بالا رفتن منحنی‌های لیکیدیوس و سالیدوس شده و در نتیجه عمل سرد شدن سریع‌تر انجام می‌گیرد. در چنین شرایطی بلورها به طور جداگانه گسترش نیافته و به طور همزمان هم‌رشدی کوارتز

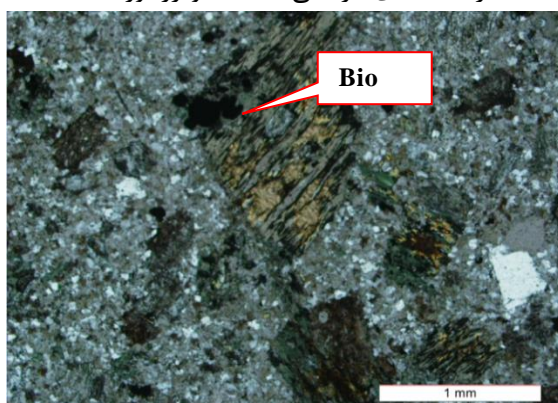
و آلکالی فلدسپار صورت می‌گیرد ( قربانی، ۱۳۸۴). ارتوکلاز به صورت بین دانه‌ای دیده می‌شود. کانی‌های فرعی شامل تورمالین ( با ساختار خورشیدی) و مگنتیت و آپاتیت می‌باشد (شکل ۲-۳۱). کلریت، کلسیت و سرسیت از جمله کانی‌های ثانویه موجود در گرانیت‌ها هستند. دگرسانی گرمایی در گرانیت‌ها معمول است و شامل دگرسانی بیوتیت به کلریت، فلدسپات پتاسیم به سرسیت و پلاژیوکلاز به اپیدوت و سرسیت می‌باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). کلریت از دگرسانی کانی‌های فرومنیزین مثل هورنبلند و بیوتیت به وجود آمده است، حضور کلریت نشانگر وجود فاز سیال در طی دگرسانی می‌باشد.



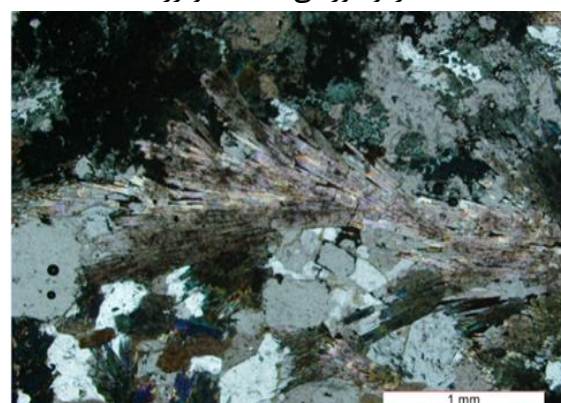
شکل ۲-۲۹- تصویر میکروسکوپی از بافت دانه‌ای (گرانولار) در سنگ‌های گرانیتی منطقه کوه‌زر (نور XPL)



شکل ۲-۲۸- نمایی کلی از سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی منطقه کوه‌زر



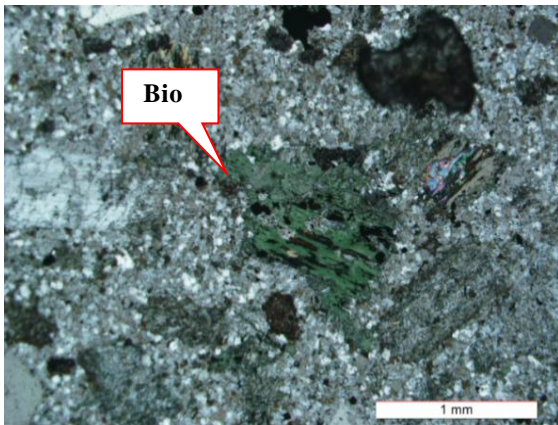
شکل ۲-۳۱- دگرسانی بیوتیت به کلریت در سنگ‌های گرانیتی در نور XPL



شکل ۲-۳۰- تورمالین با ساختار خورشیدی در گرانیت‌های کوه‌زر نور XPL

## ۲-۷-۲- گرانودیوریت‌ها

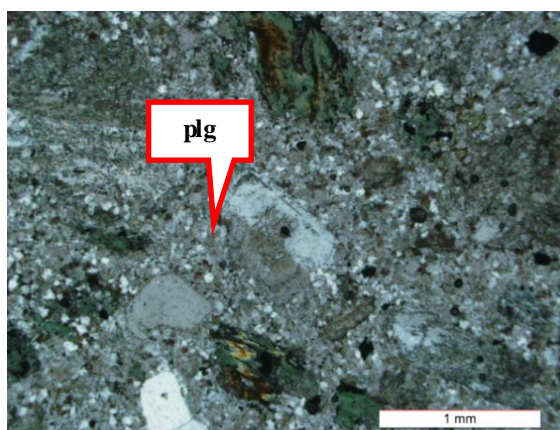
گرانودیوریت‌ها، دارای مقدار کم‌تری ارتوکلاز و مقدار بیشتری پلاژیوکلاز هستند. در مقاطع میکروسکوپی بافت غالب گرانودیوریت‌ها دانه‌ای و پورفیرئیدی است. بیوتیت اصلی‌ترین کانی مافیک سنگ‌های گرانودیوریتی است که خود شکل تا بی‌شکل می‌باشد. برخی بلورهای بیوتیت به کلریت تجزیه شده اند (شکل ۲-۳۳). فراوان‌ترین کانی روشن گرانودیوریت‌ها، پلاژیوکلاز می‌باشد که به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل و از اندازه‌های ریز تا درشت همراه با ماکل کارلسباد در سنگ یافت می‌شود و عمدتاً به سریسیت و کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۲-۳۴). سریسیت در اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و فلدسپات آلکالن ایجاد می‌شود. بلورهای ریز سریسیت عموماً در سطح پلاژیوکلاز دیده می‌شوند. فلدسپات پتاسیک (ارتوکلاز) شکل خاصی ندارد و در متن سنگ به صورت در برگیرنده سایر کانی‌ها یافت می‌شود. و در برخی دارای ادخال‌هایی از سریسیت و کلسیت می‌باشد. کوارتزها به صورت دانه-های ریز تا درشت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل در متن سنگ‌های گرانودیوریتی نمایان هستند. کانی‌های آپیک (مگنتیت) از جمله کانی‌های فرعی می‌باشند که در این سنگ وجود دارند. همچنین کانی‌های ثانویه حاصل از دگرسانی شامل کلریت، کلسیت و سریسیت هستند (شکل ۲-۳۵).



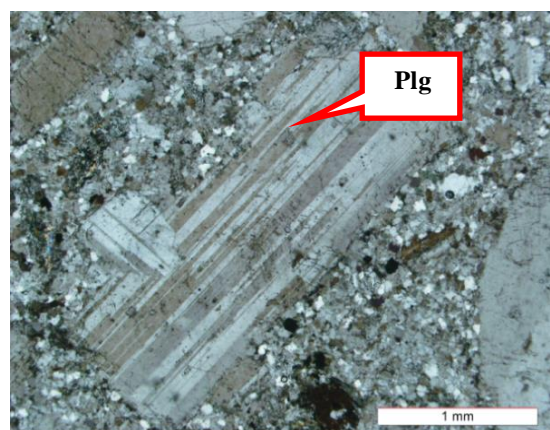
شکل ۲-۳۳- بافت پورفیرئیدی و بیوتیت‌های تجزیه‌شده به کلریت در سنگ گرانودیوریتی در نور XPL



شکل ۲-۳۲- تصویری از سنگ‌های گرانودیوریتی در منطقه کوه‌زر



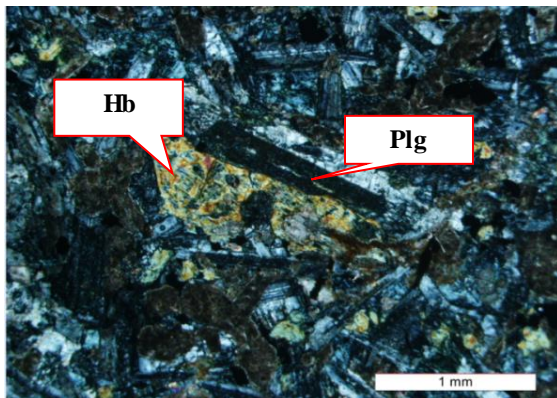
شکل ۲-۳۵- ماکل دوتایی و دگرسانی پلاژیوکلازها در سنگ گرانودیوریتی در نور XPL



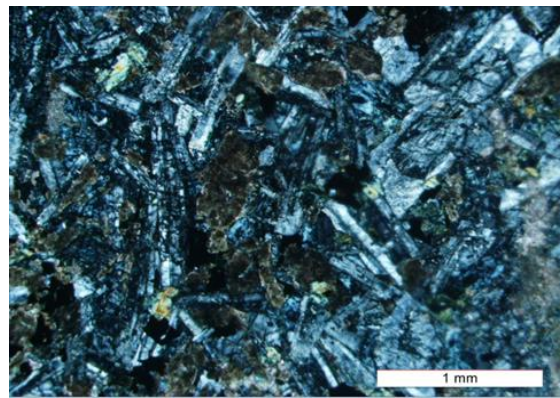
شکل ۲-۳۴- درشت بلور پلاژیوکلاز در سنگ‌های گرانودیوریتی در نور XPL

### ۲-۷-۳- دیوریت

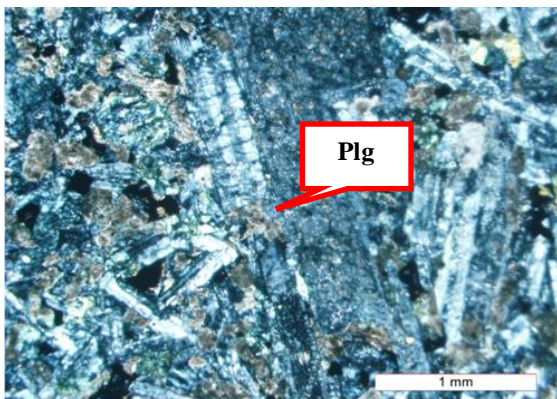
دیوریت‌ها هم ارزهای درونی آندزیت‌ها هستند سنگ‌های درونی حدواسط می‌باشند. (معین وزیری و همکاران، ۱۳۷۷). بافت پورفیری از معمول‌ترین بافت‌های مشاهده شده در این سنگ است. بافت پورفیری متشکل از بلورهای درشت و کشیده پلاژیوکلاز در زمینه دانه ریز پیروکسن است (شکل ۲-۳۶). هورنبلند و پیروکسن از کانی‌های مافیک مهم سازنده سنگ‌های دیوریتی می‌باشند (شکل ۲-۳۷). هورنبلندها به صورت هورنبلند سبز و اکسی‌هورنبلند با حاشیه‌های اپاسیتی شده حضور دارند و ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز، مگنتیت، آپاتیت را در برگرفته‌اند. هورنبلندهای سبز در اثر دگرسانی به کلریت، کلسیت، اپیدوت تبدیل شده‌اند. شرط اساسی حضور پیروکسن در سنگ‌های آذرین آن است که مقدار آب ماگما کم باشد (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست و یا بلورهای ریز در سنگ‌های دیوریتی یافت می‌شوند، و فراوان‌ترین کانی موجود در این نوع سنگ می‌باشند. پلاژیوکلاز به صورت خودشکل و با منطقه‌بندی شیمیایی در این سنگ حضور دارد (شکل ۲-۳۸). منطقه‌بندی مشاهده شده در پلاژیوکلازها معرف کند بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت رشد بلور است (shely, 1993). برخی از پلاژیوکلازها به کلسیت، کلریت، سریسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند و ماکل دوتایی از بارزترین ماکل‌های مشاهده شده در پلاژیوکلازها می‌باشد (شکل ۲-۳۹).



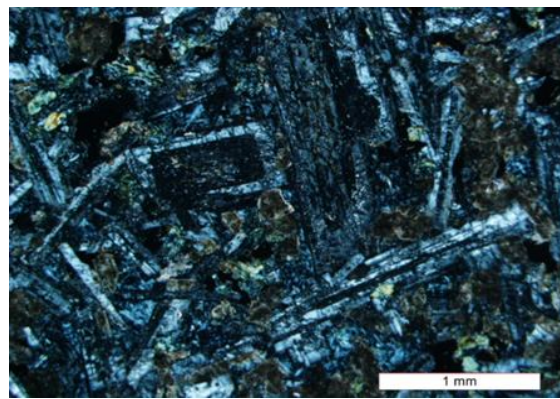
شکل ۲-۳۷- نمایی از کانی هورنبلند و پلاژیو کلاز در دیوریت‌ها (نور XPL)



شکل ۲-۳۶- تصویری از پلاژیوکلازهای در حال تجزیه در دیوریت‌ها در نور XPL



شکل ۲-۳۹- تصویری از پلاژیو کلازها با ماکل دوتایی در دیوریت‌ها در نور XPL



شکل ۲-۳۸- نمایی از بافت منطقه‌بندی در پلاژیوکلازها در سنگ‌های دیوریتی در نور XPL

## ۲-۸- سنگ‌های آذرآواری ائوسن میانی - بالایی

حوادث کوهزایی و چین‌خوردگی اواخر کرتاسه (لارامید)، موجب گردید که در بخش عمده‌ای از ایران مرکزی، رسوبات دوره ترشیاری به طور دگرشیب، رسوبات کرتاسه یا قدیمی‌تر را بپوشاند. نشست کف حوضه رسوبی و پیشروی دریا در پالئوسن با یک واحد کنگلومرایبی آغاز می‌شود این سنگ‌های آواری از قدیمی‌ترین برونزدهای ردیف‌های سنوزوئیک است و روی آن‌ها را رسوبات و دیگر سنگ‌های ائوسن می‌پوشاند. در واقع بیشتر سنگ‌های پالئوسن انباشته‌های کنگلومرایبی حاصل از چرخه‌های فرسایشی رخداد لارامید هستند. در این دوران حوضه رسوبی به طور مداوم دستخوش فعالیت‌های ماگمایی بوده است. از مجموعه پالئوسن - ائوسن در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی مختلفی دیده می‌شود که از آن جمله می‌توان به کنگلومرای چندزادی در اطراف روستای رزوه اشاره کرد که به

رنگ خاکستری، خاکستری متمایل به قرمز می‌باشد. کنگلومرای ائوسن سپس به یک مجموعه آتشفشانی - رسوبی تبدیل می‌گردد که تناوبی از گدازه‌های حدواسط تا بازیک است و شامل توف، شیل توفی، ماسه‌سنگ توفی، شیل و ماسه سنگ و بندرت کنگلومرا می‌باشد. این مجموعه آتشفشان - رسوبی شامل کلیه‌ی سنگ‌های آذرآواری می‌شود که طی فرایندهای مختلف در هر محل ممکن (خشکی و یا آب) رسوب کرده و به نسبت‌های متفاوت با مواد تخریبی دیگر مخلوط شده‌اند. یا به عنوان قطعاتی تولید شده در نتیجه یک فعالیت آتشفشانی تعریف می‌شوند. این قطعات ممکن است به صورت تک بلور، قطعاتی از سنگ و شیشه و کریستال باشند. شکل اولیه آن‌ها در طی حمل و نقل با نهشته‌های اولیه توسط فرایندهای رسوبی تغییر کرده است (Le Maitre, 2002). رخساره‌های رسوبی، شامل رخساره آتشفشان - رسوبی، تناوبی از توف، لیتیک توف، توف برشی، توف آگلومرایی با ترکیب آندزیتی و تراکی آندزیتی هستند. به عقیده هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) سنی در حدود ائوسن پسین - الیگوسن دارند. این واحدها در منطقه گسترش زیادی دارند و با ضخامت ۳۰۰۰ متر به صورت دگرشیب واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشانند. همانند سنگ‌های آتشفشانی، میزبان توده‌های نفوذی هستند (شکل ۲-۴۰). این سنگ‌ها به دلیل آلتره شدن زمینه آمفیبول و پلاژیوکلاز کاملاً مشخصی دارند، که با چشم غیر مسلح به خوبی دیده می‌شوند.

## ۲-۸-۱- توف

سنگ‌های آتشفشانی - تخریبی هستند که از خاکستر آتشفشانی تشکیل شده‌اند (Tuker, 2009) یا بنا به نظر لومتر (۲۰۰۲) سنگ‌های آذرآواری با بیش از ۷۵ درصد خاکستر را توف می‌گویند. توف‌ها براساس نسبت شیشه، بلورها و خرده سنگ به انواع شیشه‌ای، بلور و لیتیک تقسیم می‌شوند (Fisher, 1961). در مقاطع میکروسکپی واحدهای توف بلوری و توف خرده سنگی قابل مشاهده می‌باشد.



**الف - لیتیک توف:** توف‌ها با داشتن مقدار قابل ملاحظه‌ای از خرده‌ها و قطعات سنگ‌های آذرین مشخص می‌شوند. خمیره در لیتیک توف از بافت بسیار ریز دانه و خاکستر شیشه‌ای تشکیل شده است (سحابی، ۱۳۸۸). رنگ آن‌ها در نمونه دستی غالباً خاکستری متمایل به قهوه‌ای می‌باشد. عمدتاً دارای ترکیب آندزیتی و تراکی آندزیت هستند. (شکل ۲-۴۱). کانی‌های شاخص این سنگ‌ها اکسی هورنبلند و پلاژیوکلاز می‌باشند. پلاژیوکلازها به صورت میکرولیت و فنوکریست هستند و به کلسیت، سرسیت و مالاکیت تجزیه شده‌اند. سرسیتی شدن به مقدار فراوان بلورهای پلاژیوکلاز را تحت تاثیر قرار داده است که آثار آن به صورت لکه و دانه‌های ریز در سطح و حاشیه کانی قابل مشاهده می‌باشد (شکل‌های ۲-۴۲ و ۲-۴۳). اکسی هورنبلندها با حاشیه‌های اپاسیتی شده اکثراً به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند.

**ب - کریستال توف:** این دسته از توف‌ها از مقدار زیادی کانی‌های متبلور یا کریستالی تشکیل یافته‌اند. گاهی این کانی‌ها بیش از ۵۰ درصد سنگ را به خود اختصاص می‌دهند. کریستال‌ها یا به صورت کامل و یا خرده و قطعات شکسته شده در بین سنگ‌های مورد بحث پراکنده‌اند (سحابی، ۱۳۸۸). کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها شامل بلورهای شکسته شده پلاژیوکلاز، کوارتز و پیروکسن می‌باشند. و اغلب این کانی‌ها دستخوش دگرسانی شده‌اند. مهم‌ترین کانی‌های ثانویه کلسیت، کانی-های اپک و اکسید آهن هستند. کلسیت از تجزیه کانی‌های کلسیم دار مانند پلاژیوکلاز و کلینو-پیروکسن تشکیل می‌شود. کلسیت غالباً بی‌شکل است و به صورت پرکننده حفرات و شکستگی‌ها، و گاه به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای نیز در این سنگ‌ها یافت می‌شود.

## ۲-۸-۲- اگلومرا

آگلومراها، سنگ‌های پیروکلاستیکی هستند که دارای ذرات گردشده تا نیمه زاویه‌دار می‌باشند (شکل ۲-۴۴). میانگین اندازه ذرات پیروکلاست‌های آن از ۶۴ میلیمتر تجاوز می‌کند (Le Maitre, 2002).

(2002)

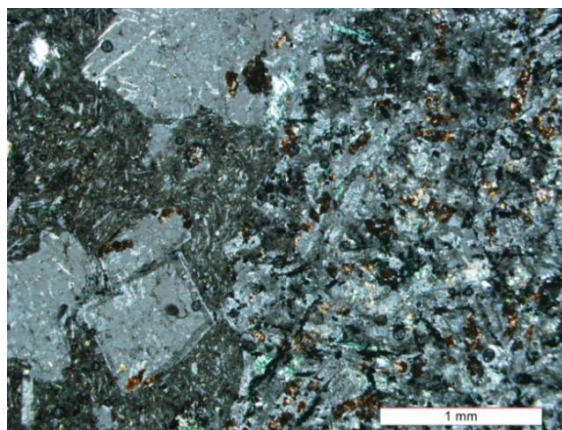
در مشاهدات صحرایی به رنگ قهوه‌ای تا قرمز نمایان هستند. این سنگ‌ها به شدت تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته‌اند و به کانی‌های کلسیت و سرسیت تجزیه شده‌اند.



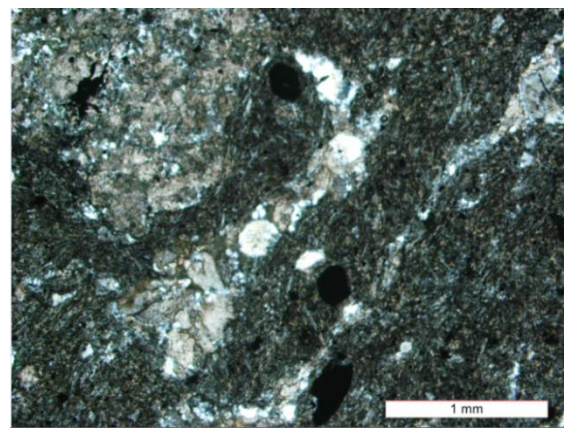
شکل ۲-۴۱- تصویری از توف‌های آندزیتی منطقه گندی



شکل ۲-۴۰- نمایی از سنگ‌های پیروکلاستیک در منطقه گندی



شکل ۲-۴۳- حضور پلاژیوکلازها به صورت میکروولیت و فنوکریست در توف‌های آندزیتی (نور XPL)



شکل ۲-۴۲- تصویری از توف‌های آندزیتی در مقاطع میکروسکوپی (نور XPL)



شکل ۲-۴۵- بافت تراکیتی پلاژیوکلازها در سنگ‌های  
آذرآواری در منطقه گندی



شکل ۲-۴۴- تصویری از توف‌های آگلومرایبی در منطقه  
گندی (نور XPL)

### ۹-۲- واحدهای رسوبی الیگو-میوسن

فاز کوهزایی ائوسن موجب تشکیل حوضه‌های رسوبی کم عمق قاره‌ای شده است به همین دلیل نهشته‌های الیگوسن ایران مرکزی، آواری‌های سرخ رنگ قاره‌ای هستند. این واحد در جنوب منطقه رخنمون دارد و بیشتر از نوع مارنی است (شکل ۲-۴۶). این سنگ‌ها غالباً از رسوبات مارنی، سیلتستونی، ماسه‌سنگی، میکروکنگلومرایبی، مارن‌های گچ‌دار، میان لایه‌های ژئپسی و نمک تشکیل شده‌اند. و به صورت هم‌شیب بر روی ائوسن قرار گرفته است، آن‌ها فاقد فسیل بوده یا فسیل شاخصی ندارند و هم‌ارز سازند قرمز زیرین و بالایی می‌باشند. در بعضی موارد در اثر چین خوردگی تاقدیس‌ها و ناودیس‌های بزرگی را به وجود آورده‌اند.



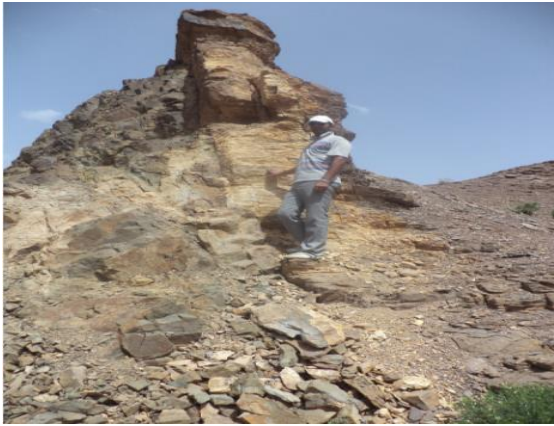
شکل ۲-۴۶- نمایی از مارن‌های واحد الیگو میوسن در منطقه ترود

## ۲-۱۰- دایک‌ها

دایک‌ها، توده‌های نفوذی ورقه‌ای نازک ناهمسان هستند که برگوارگی یا لایه‌بندی سنگ میزبان را قطع می‌کنند. ضخامت آن‌ها از کمتر از یک متر تا چند صد متر متغیر است. دایک‌ها معمولاً در مقابل فرسایش از سنگ دربرگیرنده مقاوم‌تر هستند. بنابراین ستیغ‌های برجای مانده‌ای را تشکیل می‌دهند (قاسمی و همکاران، ۱۳۸۹). دایک‌ها اغلب با روند شمال شرقی - جنوب غربی و شیب قائم در تمام منطقه بین توده‌های نفوذی، سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های رسوبی رخنمون دارند. دایک‌های منطقه به صورت یک مجموعه دایک موازی و در امتداد گسل‌های اصلی منطقه تشکیل شده‌اند. تعیین سن دقیقی بر روی این سنگ‌ها انجام نشده است ولی با توجه به تشابه وقایع زمین‌شناسی صورت گرفته در این محل و به دلیل نفوذ آن‌ها در سنگ‌های ائوسن میانی تا بالایی به نظر می‌رسد دایک‌ها دارای سن الیگومیوسن می‌باشند (خواجه‌زاده، ۱۳۸۸). ترکیب آن‌ها با ترکیب سنگ‌های آتشفشانی میزبان هم‌خوانی داشته و به عنوان دایک تغذیه کننده عمل کرده‌اند. دایک‌ها با ترکیب‌های گابرودیوریتی، بازالتی، آندزیت‌بازالتی و آندزیتی در منطقه گسترش دارند (شکل‌های ۲-۴۷، ۲-۴۸، ۲-۴۹ و ۲-۵۰). بافت و ترکیب آن‌ها نیز گسترده است. بافت آن‌ها از دانه درشت و دانه متوسط، در دایک‌های با ترکیب گابرودیوریتی و دانه ریز، در نوع بازالتی و آندزیتی متغیر است. دایک‌های گابرو-دیوریتی در معدن مس چاه موسی مشاهده می‌شوند. این دایک‌ها به رنگ سبز متمایل به خاکستری می‌باشند. متشکل از کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن از نوع اوژیت، آمفیبول، الیوین به مقدار کم، کانی‌های اپک (آپاتیت، زیرکن و مگنتیت) و کانی‌های ثانویه (سرسیت و کانی‌های رسی) هستند. پلاژیوکلازها فراوان‌ترین کانی روشن سازنده سنگ‌های گابرودیوریتی می‌باشند و به صورت فنوکریست و میکروولیت در این سنگ‌ها یافت می‌شوند (شکل ۲-۵۱). پیروکسن‌ها عموماً به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و فراوان‌ترین کانی مافیک موجود در سنگ‌های گابرودیوریتی می‌باشند (شکل ۲-۵۲). بنا بر باور خواجه‌زاده (۱۳۸۸) پیروکسن‌های موجود در گابرودیوریت‌ها از نوع کلینوپیروکسن و دارای ترکیب اوژیتی هستند. پیروکسن‌ها عموماً به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در سنگ حضور

دارند و در سنگ‌های گابرویی، فراوان‌ترین کانی مافیک می‌باشند. هورنبلند سبز عمدتاً شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار بوده و ادخال‌هایی از پلاژیوکلاز، مگنتیت، آپاتیت را در بردارد. بعضی از هورنبلندهای سبز به کلریت، کلسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند.

دایک‌های بازالتی بیشترین گسترش را در منطقه دارند رنگ این دایک‌ها سبز تیره و بافت آن‌ها پورفیری، تراکیتی‌پورفیری و گلومروپورفیری می‌باشد (شکل ۲-۵۳). تجمع بلورهایی از یک نوع و تجمع گلومرول، نتیجه نطفه‌بندی ناهمگن این بلورهاست (Kirkpatrick, 1977). دایک‌های بازالتی از بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن‌های شکل‌دار تا بی‌شکل، الیوین و کانی‌های اپک تشکیل شده‌اند. پلاژیوکلازها به صورت شکل‌دار تا بی‌شکل و از اندازه‌های ریز تا درشت همراه با ماکل کارلسباد و بافت منطقه‌بندی در سنگ یافت می‌شوند و عمدتاً به سرسیت و کلسیت دگرسان شده‌اند (شکل ۲-۵۴). پیروکسن‌ها به کلریت و اکسید آهن تجزیه شده‌اند. دایک‌های آندزیت بازالتی نیز دارای گسترش زیادی در منطقه می‌باشند رنگ آن‌ها در نمونه دستی سبز رنگ است و بافت آن‌ها پورفیری می‌باشد (شکل ۲-۵۵). از بلورهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و آمفیبول تشکیل شده‌اند. پلاژیوکلازها درشت بلور می‌باشند و غالباً دارای ساختمان منطقه‌ای هستند. آمفیبول‌ها بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار بوده و به اکسید آهن و کلریت اپاسیته شده‌اند (شکل ۲-۵۶). دایک‌های آندزیتی با رنگ خاکستری روشن در منطقه ترود مشاهده می‌شوند. متشکل از درشت بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و کانی‌های اپک می‌باشند و در خمیره، میکرولیتی از پلاژیوکلاز و کانی‌های مافیک قرار گرفته‌اند. بافت غالب آن‌ها پورفیریتی می‌باشد. هورنبلند معمولاً به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار مشاهده می‌شود. و به اکسید آهن و کلریت تجزیه شده‌اند (شکل ۲-۵۷). پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست و میکرولیت بوده و به بلور کلسیت تجزیه شده است (شکل ۲-۵۸). برخی دایک‌ها دارای حاشیه انجماد سریع هستند. فرسایش پوست پیازی در سطح برخی دایک‌ها دیده می‌شود.



شکل ۲-۴۸- تصویری از دایک با فرسایش پوست پیازی در منطقه معدن مس چاه موسی



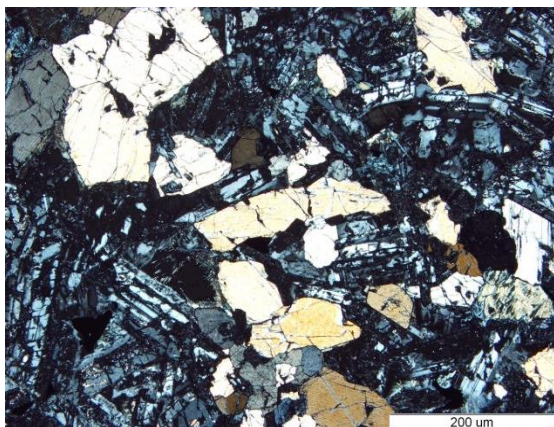
شکل ۲-۴۷- تصویری از دایک گابرودیوریتی (معدن مس چاه موسی)



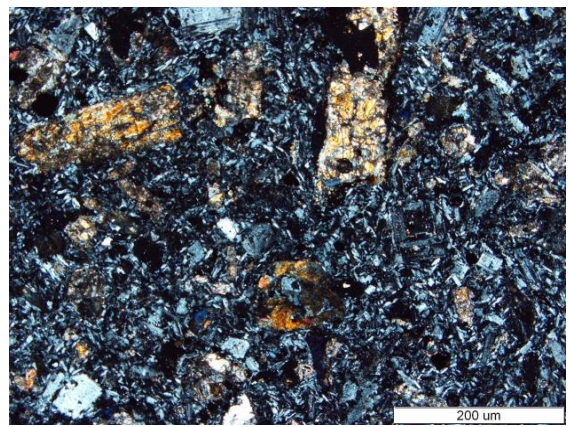
شکل ۲-۵۰- حاشیه انجماد سریع در دایک‌ها



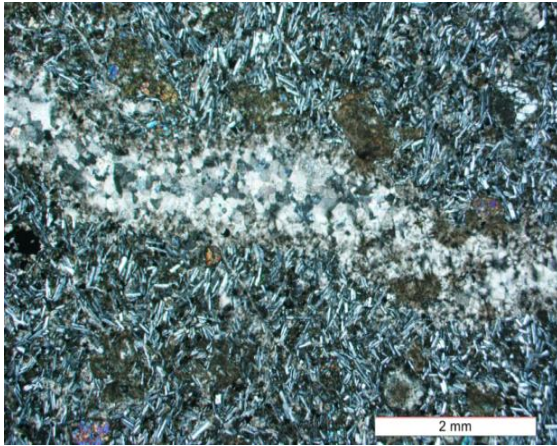
شکل ۲-۴۹- نمایی از دایک‌های دیابازی در منطقه گندی



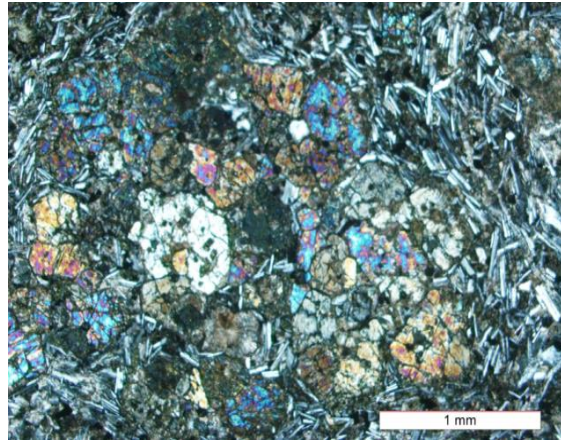
۲-۵۲- کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن در دایک‌های گابرودیوریتی در منطقه چاه موسی ( نور XPL )



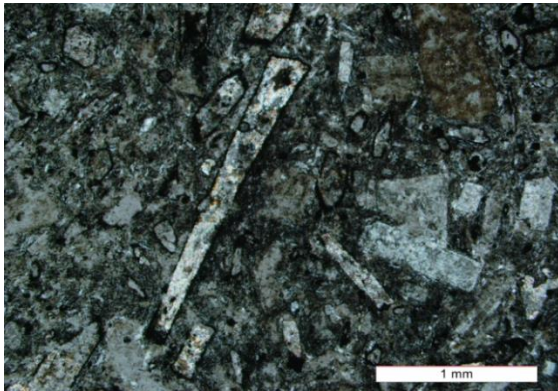
۲-۵۱- نمایی از کانی هورنبلند در دایک‌های گابرودیوریتی در منطقه چاه موسی ( نور XPL )



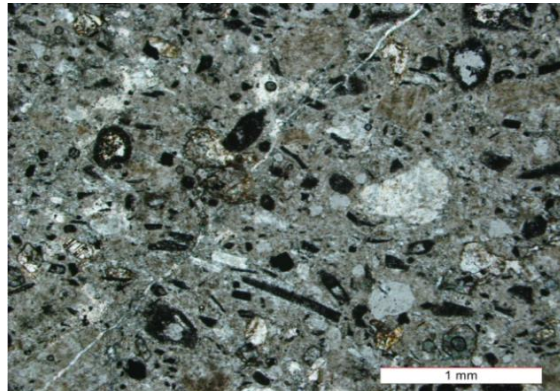
شکل ۲-۵۴- حضور رگه کلسیتی و بافت تراکیتی در دایک‌های بازالتی در منطقه (نور XPL)



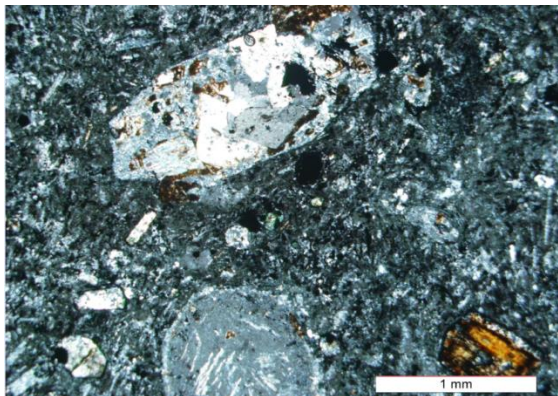
شکل ۲-۵۳- بافت تراکیتی و کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز در دایک‌های بازالتی در منطقه (نور XPL)



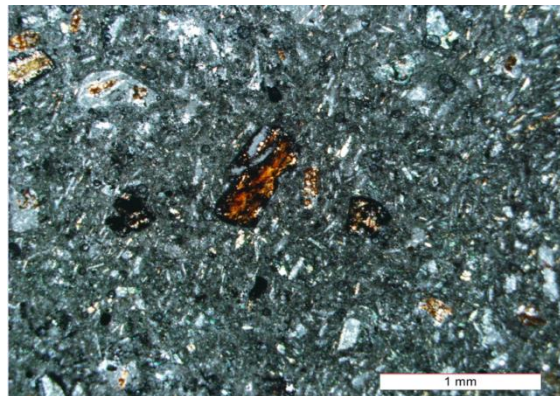
شکل ۲-۵۶- تصویری از OX-Hb در سنگ‌های تراکی آندزیتی در نور XPL



شکل ۲-۵۵- بافت پورفیری در سنگ‌های تراکی آندزیتی در نور XPL



شکل ۲-۵۸- تصویری از بلورهای پلاژیوکلاز تجزیه شده به کلسیت در سنگ‌های آندزیتی در نور XPL



شکل ۲-۵۷- تصویری از کانی OX-Hb در سنگ‌های آندزیتی در نور XPL

## ۱۱-۲- رسوبات آبرفتی - آبراهه‌ای عهدحاضر

در بین نهشته‌های کواترنری، نهشته‌های آبرفتی بیشترین سهم را دارند. این‌ها مواد فرسایشی هستند که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت‌ها گسترده شده‌اند و با دور شدن از ارتفاعات درشتی دانه‌ها کاهش می‌یابد. رسوبات کواترنری محدوده مورد بررسی عمدتاً به صورت رسوبات آبراهه‌ای، مخروط افکنه‌های جوان و یا دشت‌های پست و فرو افتاده رخنمون دارند (شکل ۲-۵۹).



شکل ۲-۵۹ - تصویری از تراس‌های آبرفتی کواترنر و مارن‌های الیگومیوسن در منطقه ترود

## ۱۲-۲- دگرسانی‌ها

از میان کانی‌های مختلف سنگ‌های آذرین، فلدسپارها، میکاها، آمفیبول‌ها و پیروکسن‌ها مقاومت کمتری در مقابل عوامل دگرسانی دارند. در منطقه ترود، توده‌های نفوذی نیمه عمیق با ترکیب اسیدی تا حدواسط به داخل توده‌های آتشفشانی آندزیتی نفوذ کرده و سبب بروز دگرسانی گرمایی همراه با کانه‌زایی نوع رگه‌ای در برخی از قسمت‌های این نوار ماگمایی شده است (مهرابی و قاسمی، ۱۳۸۹) (شکل ۲-۶۰). آثار دگرسانی در کمر بند ترود - چاه شیرین، بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری میزبان توده‌های نفوذی نیمه عمیق مشاهده می‌شود (شکل ۲-۶۱). دگرسانی‌ها شامل



سرسیتی، پروپلیتی، آرژیلیتی (کائولینیت، مونتموریونیت، کوارتز) و فیلیتی (کائولینیت، کوارتز، ایلیت) می‌باشند. این دگرسانی‌ها در نقاط مختلف محدوده مورد بررسی از جمله دارستان و باغو، کانسار مس چشمه حافظ، چاه موسی و برخی مناطق دیگر گسترش دارند.

## ۲-۱۲-۱- دگرسانی پروپلیتی

دگرسانی پروپلیتی به مجموعه‌ای از آلتراسیون‌های کلریتی، اپیدوتی، زوئیزیتی و آلبیتی اطلاق می‌شود. کانی‌های مهم این زون شامل کلریت، اپیدوت کلسیت، آلبیت، پیریت، زوئیزیت می‌باشند (کریم-پور، ۱۳۸۸). این نوع آلتراسیون ابتدا از کانی‌های فرو منیزیم دار نظیر پیروکسن‌ها، آمفیبول و بیوتیت شروع شده و سپس پلاژیوکلاز و به ندرت پتاسیم فلدسپار آتره می‌شوند. در واقع کانی‌های مافیک (بیوتیت و هورنبلند) به کلریت و اپیدوت تبدیل شده‌اند. زون پروپلیتی در بیشتر ذخایر ماگمایی و گرمابی یافت می‌شود. در منطقه ترود دگرسانی پروپلیتی گسترش ناحیه‌ای داشته و شامل مجموعه کانی‌های کلریت، کلسیت، اپیدوت و کوارتز است.

## ۲-۱۲-۲- دگرسانی سرسیتی (فیلیتی)

سنگ‌های آذرین به ویژه نوع غنی از آلومینیوم، در صورتی که تحت تاثیر محلول‌های اسیدی قرار گیرند. کاتیون‌های  $K^+$ ,  $Ca^+$ ,  $Na^+$ ,  $SiO^+$ ,  $Fe^+$ ,  $Mg^+$  آن‌ها توسط محلول حمل می‌گردد و کانی‌هایی مانند سرسیت، کوارتز، و پیریت از کانی‌های هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز حاصل می‌شوند (کریم‌پور، ۱۳۸۸). وجود k و آب عامل ایجاد سرسیتی شدن است که در آن K با سازنده آنورتیتی پلاژیوکلاز وارد واکنش می‌شود و کانی‌های سرسیتی به وجود می‌آیند. اگر فرایند دگرسانی گرمابی به اندازه کافی نفوذ کند سنگ می‌تواند به طور کامل به سرسیتیک تبدیل شود (Ossandon, 2001). دگرسانی فیلیتی در مقایسه با دگرسانی آرژیلیتی از گسترش بیشتری در منطقه برخوردار است. در بخش‌های مختلف به ویژه در مناطقی که کانه‌زایی فلزی رخ داده (معدن مس جاه موسی، چشمه حافظ) با وسعت متفاوت گسترش دارد.

## ۲-۱۲-۳- دگرسانی آرژیلیتی

در این نوع از دگرسانی فلدسپات‌ها عمدتاً به کانی‌های رسی آلتیره می‌شوند. دگرسانی آرژیلیتی با توسعه کانی‌های رسی بر اثر دگرسانی پلاژیوکلازها و فلدسپارهای پتاسیک همراه است. کانی‌های ایجاد شده در زون آرژیلیتی به شدت هیدرولیز، دمای محلول و ترکیب کانی‌شناسی سنگ اولیه بستگی دارد (کریم‌پور، ۱۳۸۱). بیوتیت به رنگ سبز تا قهوه‌ای یافت می‌شود. پتاسیم فلدسپات به طور کامل اما پلاژیوکلازها به مقدار جزئی دگرسان می‌شود. دگرسانی آرژیلیتی با آن که گسترش محدودی در منطقه دارد. اما در ارتباط با سیستم کانه‌زایی منطقه از اهمیت بالایی برخوردار است.



شکل ۲-۶۱- تصویری از آلتراسیون‌های رسی نوار ماگمایی ترود-چاه شیرین



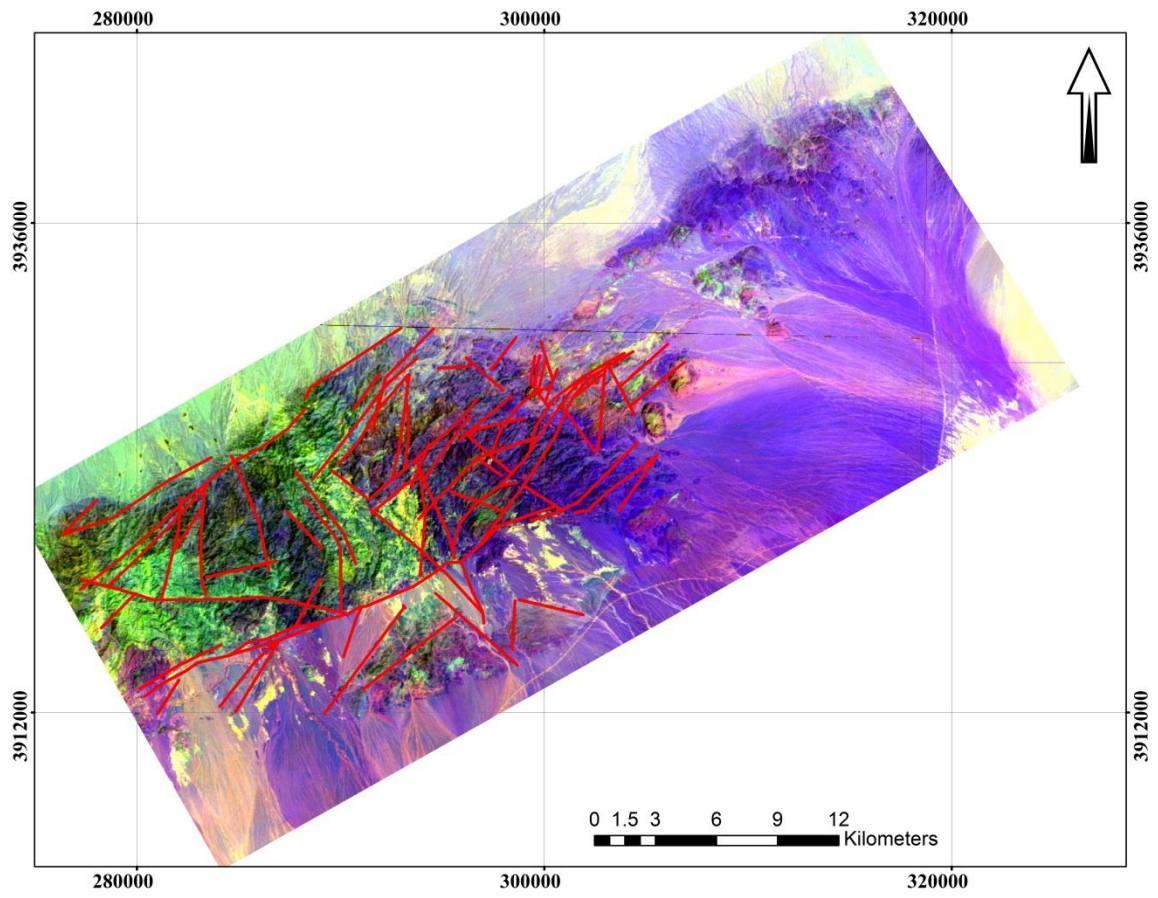
شکل ۲-۶۰- نمایی از آلتراسیون‌های رسی در حوالی معدن چاه موسی

## ۲-۱۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه

با توجه به اینکه چهار گوش ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود با پوششی کامل در قسمت مرکزی استان سمنان قرار می‌گیرد، بررسی‌های دقیق‌تر تکتونیک این چهار گوش می‌تواند در روند تکتونیکی منطقه موثر باشد. پس از استحکام حاصل از چین‌خوردگی پرکامبرین اولین حرکات در کامبرین ناحیه را از البرز جدا می‌کند و رسوباتی از کامبرین در منطقه برجای می‌گذارد در سیلورین و دونین پیشین حرکت ادامه می‌یابد و عمق کم می‌شود. در دونین میانی دوباره عمق زیاد می‌شود. در کربونیفر مجدداً زمین به طرف بالا حرکت می‌کند و در پرمین حرکت به سمت پایین است و تا تریاس ادامه می‌یابد. در اواخر تریاس ناحیه به نوارهایی تقسیم می‌شود که از نظر رسوب‌گذاری و انعکاسات تکتونیکی با هم اختلاف

دارند. تغییر شکلی که در اثر فازهای دینامیکی پس از تریاس میانی در میان ترادف‌های زمین‌شناسی ناحیه ایجاد می‌شود و در فاصله بین نوارهای محدود به گسله‌ها یکسان نیست. چین‌خوردگی‌ها معمولاً متحدالمرکز است. ولی در دوران‌های بعدی بر تمامی نمودهای زمین‌شناسی اثر می‌گذارد. گسل امتداد لغز تروود با روند شمال شرقی - جنوب غربی عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری منطقه تروود بوده است. نقش این گسل در همه سرگذشت ساختاری چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیر-مستقیم کاملاً بارز و مشهود است. ساختارهای فشارشی در منطقه دنباله غربی گسل تروود سبب پیدایش کوه‌های مرتفع رانده-چین خورده و دگرگون شده به صورت یک ساختار دگرگونی در غرب منطقه شده است همچنین گسل تروود در تعیین خطوط و حدود قلمرو مستقل ساختاری دیگر نیز بیشترین تأثیرات را داشته است. در قسمت بخش شدگی<sup>۱</sup> و اتنش فشارش لغزشی<sup>۲</sup> در امتداد آن و پیدایش گسل‌های معکوس موازی آن سبب راندگی به سمت جنوب شده است، و راندگی مرتفعی را به وجود آورده‌اند. در قسمت شمال این گسل، پیش از آنکه رژیم واتنشی فشارش لغزشی دچار بخش شدگی شده باشد و جبهه راندگی به وجود بیاید، در اواخر کرتاسه تا اواخر ائوسن یک رژیم واتنشی - کششی - لغزشی، سبب پیدایش ساختارهای دومینو شکل گسل‌های عادی و حوضه‌های پول آپارت<sup>۳</sup> شده است و با افزایش کشیدگی در پوسته و بالا رفتن گرادیان حرارتی، ماگماتیسم گسترده‌ای بخش بزرگی از منطقه را در برگرفته است و قلمرو ساختاری آذرین به وجود آمده است. نظیر این فعالیت ماگمایی جز این قلمرو، در هیچ نقطه دیگری از منطقه مطالعاتی به چشم نمی‌خورد. فعالیت‌های تکتونیکی کلی در منطقه به صورت گسل‌خوردگی و شکستگی می‌باشند. گسل‌ها و شکستگی‌ها مهمترین عامل ساختاری در زمین‌شناسی منطقه هستند. گسل مورد بحث در تعیین خطوط مستقل ساختاری دیگر نیز بیشترین تأثیرات را داشته است (خادمی، ۱۳۸۶).

1- partitioning  
2-transpression  
3- pull-apart



شکل ۲-۶۲- نمایی از خطواره‌های منطقه تروید- معلمان

## فصل سوم

مبانی سنجش از دور و روش

شناسی کار

## ۳-۱- مقدمه

سنجش از دور، دانشی است که با اندازه‌گیری امواج الکترومغناطیس حاصل از انعکاس نور خورشید از یک شیء و با مشاهده آن از فاصله دور و بدون تماس فیزیکی با آن می‌تواند اطلاعات ارزنده‌ای را ارائه نماید. با استفاده از این اطلاعات در مراحل بعدی و با تجزیه و تحلیل آن‌ها می‌توان نتایج مفیدی را از آن شیء استخراج کرد. به عبارتی دیگر سنجش از دور علم به دست آوردن اطلاعات، پردازش و تفسیر تصاویر و داده‌های مرتبط و ثبت تعامل بین ماده و انرژی الکترومغناطیس می‌باشد (Sabin, 1997). امروزه از تکنیک‌های سنجش از دور در جهان استفاده‌های زیادی می‌شود که یکی از کاربردهای مهم آن تفکیک واحدهای سنگی است (Legge, 1997).

بدون شک، یکی از مهم‌ترین ابزارها برای درک پدیده‌ها و شرایطشان در سطح زمین، به ویژه مناطق دور افتاده و صعب‌العبور که امکان دسترسی و راه ارتباطی بین آن‌ها و سایر مناطق وجود ندارد، تصاویر هوایی هستند، به همین دلیل طیف گسترده‌ای از سیستم‌های سنجش از راه دور هوایی و فضایی برای صنعت معدن (ثبت مواد معدنی) در دسترس و مفید می‌باشد (Wiley, 1999). سنجش از دور به شناسایی ویژگی‌های سطح زمین و ارزیابی خواص فیزیکی آن‌ها با استفاده از تابش الکترومغناطیس به عنوان یک محیط واسطه اشاره دارد (Navalgunad, 2007).

تصاویر ماهواره‌ای با پوشش منطقه‌ای چندطیفی و چندزمانی وسیع خود می‌توانند در نشان دادن ایالت‌ها، کمربندها، مناطق معدنی و کنترل‌کننده‌های کانی‌زایی مانند نوع سنگ، کنتاکت‌ها، ساختارهای خطی و دایره‌ای مورد استفاده قرار گیرند و همچنین در تهیه اطلاعات پایه‌ای زمین‌شناسی می‌تواند مفید باشد (Poormirzae et al, 2009).

یکی از مهم‌ترین هدف‌های سنجش از دور در زمین‌شناسی توسعه روش‌هایی برای نقشه‌برداری کانی‌ها و تشخیص انواع سنگ‌هاست. تصاویر ماهواره‌ای در شناسایی انواع سنگ‌ها برای کاربردهای زمین‌شناسی مفید می‌باشند (Rajandan et al 2011; Amer et al, 2011; Gabr et al, 2010; Mars and Rown, 2013; Rajandan and Nasir, 2013).

هدف عمده ما در این فصل آشنایی با اصول، مفاهیم اولیه سنجش از دور، سکوها و سنجنده‌ها، داده‌های ماهواره‌ای، تصحیحات و پردازش و بررسی فرایند طی شده در سنجش از دور و روش‌های مختلف پردازش می‌باشد. به همین منظور ابتدا به تعاریف اولیه و تاریخچه مختصری از سنجش از دور اشاره می‌شود و سپس به مطالعه روش انجام کار در تصحیحات و پردازش داده‌ها در سنجش از دور پرداخته می‌شود.

### ۳-۲- تاریخچه و فرایند کار در سنجش از دور

در چند دهه اخیر ظهور پدیده نو به نام سنجش از دور و در پی آن سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی در جهان تحول شگرفی در کسب و بهره‌برداری از اطلاعات مربوط به منابع زمینی مختلف و زیست محیطی ایجاد کرده است. بسیاری از متخصصان زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، جغرافیا و غیره، فن پردازش تفسیر عکس هوایی را از سال ۱۹۳۴ در آمریکا شروع کردند. پیشینه استفاده از سنجش از دور را می‌توان به اولین عکس‌برداری هوایی توسط گاسپار فلیکس در سال ۱۸۵۹ از یک بالون هوایی مربوط دانست. پیشرفت این فن‌آوری افزون بر روش‌های متعارف دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ میلادی، برای عکس‌برداری از سطح زمین، امکان تصویربرداری الکترومغناطیسی با استفاده از طیف الکترومغناطیس نامرئی بازتابی نور خورشید و نیز جذب آن برای هر پدیده، عارضه، جسم و به طور کلی ساختار و سازنده‌های سطح زمین با یکدیگر متفاوت است، تشخیص و تفکیک آن‌ها با استفاده از مطالعه و ثبت طیف نوری بازتابی از آن‌ها صورت گرفته است. در سال ۱۹۷۲ میلادی اولین ماهواره ارزیابی منابع زمینی به نام ERTSI به وسیله ناسا به فضا پرتاب شد که بعدها به لندست تغییر نام داده شد. سپس ماهواره‌های لندست بعدی به فضا پرتاب شدند، به طوری که تا کنون هشت ماهواره از این سری که آخرین آن لندست ۸ است به فضا پرتاب شده است. همچنین سنجنده آستر توسط ماهواره TERRA در سال ۱۹۹۸ توسط ناسا و با همکاری کشور ژاپن به فضا پرتاب شد. هم‌اکنون بسیاری از کشورها مانند ژاپن، هند، کانادا و چین ماهواره‌هایی پیشرفته را طراحی کرده و در مدار قرار داده‌اند. در ایران

فعالیت اصلی سنجش از دور از سال ۱۳۵۱ با راه‌اندازی اولین ایستگاه گیرنده زمینی در ماهدشت کرج شروع شد و اکنون با گذشت بیش از ۳۰ سال، شاهد پیشرفت‌هایی در زمینه کاربرد این فناوری هستیم. بدیهی است پیشرفت‌های فوق‌العاده و سریع فناوری سنجش از دور راه‌گشای صرفه‌جویی در وقت، کاهش هزینه و انجام مطالعات در مناطق مختلف، به ویژه مناطق صعب‌العبور را فراهم آورده است. تاکنون کاربردهای بسیار متعددی برای داده‌های سنجش از دور ارائه شده است (علوی-پناه، ۱۳۸۲).

به طور کلی فرآیند سنجش از دور از هفت مولفه تشکیل شده است (فاطمی و همکاران، ۱۳۹۱): منبع انرژی یا روشنایی: اولین لازمه سنجش از دور، یک منبع انرژی است که عمل روشن‌سازی یا تهیه انرژی الکترومغناطیس بر روی هدف مورد مطالعه را به عهده داشته باشد. تابش و اتمسفر: در هنگام سیر انرژی از منبع به هدف، انرژی با اتمسفر که از آن عبور می‌کند، تعامل دارد. این پدیده ممکن است دوباره هنگامی که انرژی از هدف به سنجنده سیر می‌کند، اتفاق بیافتد. تعامل با هدف: بعد از رسیدن انرژی به هدف، با توجه به خصوصیات انرژی و هدف، تعامل صورت می‌گیرد.

ثبت انرژی به وسیله حسگر: بعد از اینکه انرژی به وسیله هدف پراکنده یا از آن ساطع شد، سنجنده در فاصله دور تشعشع الکترومغناطیس حاوی اطلاعات سطح را جمع‌آوری و ضبط می‌کند. انتقال، دریافت و پردازش: انرژی ضبط‌شده به وسیله سنجنده به شکل الکترونیکی به یک ایستگاه دریافت و پردازش برای بارزسازی تصویر انتقال می‌یابد.

تفسیر و تجزیه و تحلیل: تصویر به صورت آنالوگ و یا رقمی تفسیر شده و اطلاعات لازم درباره هدف استخراج می‌شوند.

کاربرد: جزء پایانی فرآیند سنجش از دور عبارت است از استفاده از اطلاعات استخراج شده برای درک بهتر، کشف اطلاعات جدیدتر و یا کمک به حل یک مساله خاص.



### ۳-۳- فیزیک دورسنجی

پدیده‌ها و اشیای سطح زمین، بسیار متنوع و متغیر هستند. علاوه بر تنوع و تغییرات طبیعی، تاثیر بسیاری از پدیده‌های زمینی بر یکدیگر سبب تنوع بیشتر در ویژگی‌های آن‌ها می‌شود. این تفاوت‌ها می‌تواند بر میزان بازتاب‌های طیفی اثر گذاشته و دنیای بازتاب‌ها را بسیار پیچیده و متغیر سازد.

### ۳-۳-۱- انرژی الکترومغناطیس

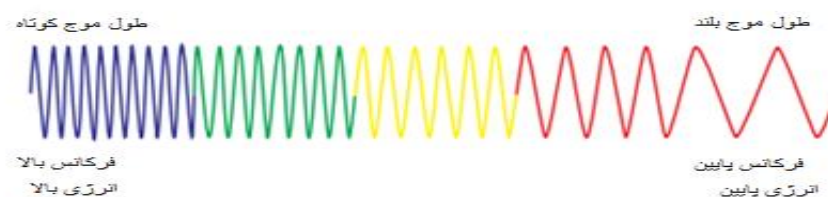
انرژی الکترومغناطیس انرژی است که با سرعت نور و به صورت امواج موزون حرکت می‌کند. منظور از امواج هماهنگ این است که هر یک از امواج تشکیل دهنده آن از نظر تکرار، فاصله زمانی برابر دارند. مفهوم موج در انرژی الکترومغناطیس، انتشار انرژی الکترومغناطیس را دربرمی‌گیرد. و این انرژی تنها هنگام برخورد با اجسام قابل شناسایی خواهد بود. انرژی الکترومغناطیس یکی از مهم‌ترین نیروهایی است که در سنجش از دور کاربرد اساسی دارد و سریع‌ترین وسیله ارتباطی میان اجسام دور و سنجنده است (Levin, 1999).

انرژی الکترومغناطیس از طرف اشیاء به سمت سنجنده سیر می‌کند و به وسیله سنجنده دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. شناخته‌شده‌ترین نوع انرژی الکترومغناطیس نور است. در واقع، انرژی الکترومغناطیسی با سرعت نور و در طول موج‌های مختلف در فضا حرکت می‌کند و به سطح زمین می‌رسد. این انرژی پس از برخورد به اجسام موجود به طرف سنجنده برگشت داده می‌شود و بعد از ثبت امواج انعکاسی به صورت رقومی، امکان ارزیابی و تشخیص الگوها و در نهایت شناخت پدیده‌های زمینی میسر می‌گردد. دو ویژگی تشعشع الکترومغناطیس، یعنی طول موج و فرکانس در سنجش از دور از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است، چرا که حاصل ضرب آن‌ها بیانگر سرعت انتقال انرژی است، که طول موج با حرف  $\lambda$  نشان داده می‌شود و توسط واحدهای سیستم متریک، از قبیل نانومتر، میکرومتر، سانتیمتر و یا متر اندازه‌گیری می‌شود. مؤلفه دیگر انرژی الکترومغناطیس، فرکانس است،

که بیانگر تعداد سیکل‌های امواجی است، که در یک مدت زمان معین از یک نقطه ثابتی می‌گذرد. فرکانس با واحد هرتز بیان می‌شود و با حرف  $\nu$  نمایش داده می‌شود و سرعت نور با حرف  $c$  نشان داده می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷).

$$c = \lambda\nu \quad (1-3)$$

رابطه (۱-۳) در سنجش از دور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا سنجش انرژی امواج بلند مانند ماکروویو بسیار مشکل‌تر از سنجش انرژی امواج کوتاه‌تر مانند انرژی مادون قرمز حرارتی است، مقدار انرژی کمتر در طول موج‌های بلندتر به این معناست که سنجنده در زمان معین باید به قسمت‌های بزرگی از زمین نظاره کند تا بتواند انرژی لازم برای علامت‌الکتریکی را جمع‌آوری کند.



شکل ۱-۳- رابطه بین طول موج، فرکانس و انرژی (Janssen, 2001)

قسمت‌هایی از طیف الکترومغناطیسی که در سنجش از دور به کار می‌روند شامل قسمت‌هایی از طیف مرئی، مادون قرمز انعکاسی و مادون قرمز حرارتی است. بیشتر سیستم‌های سنجنده قادرند یک یا چند قسمت طیف مرئی، مادون قرمز حرارتی و مادون قرمز انعکاسی کار سنجش را انجام دهند. انرژی هر کوانتوم (فوتون) از رابطه  $E=h\nu$  به دست می‌آید. که در آن  $E$  انرژی یک کوانتوم بر حسب ژول،  $h$  ضریب ثابت پلانک برابر با ۶۲۶۶ در ثانیه و  $\nu$  فرکانس کوانتوم است (هنرمند، ۱۳۸۲).

### ۳-۳-۲- طیف الکترومغناطیس

طیف انرژی الکترومغناطیس از نیروهای پی‌درپی تشکیل شده است که طول موج آن‌ها از اجزای نانومتر تا کیلومتر متغیر است (Levin, 1999). مهم‌ترین امواج شناخته شده در این محدوده به ترتیب افزایش طول موج عبارتند از: اشعه گاما، اشعه ایکس، اشعه ماوراءبنفش، امواج مرئی، امواج مادون قرمز، اشعه ماکروویو و امواج رادیویی می‌باشند. طول موج‌های کوچک‌تر از  $4/10$  میکرومتر به سه دسته عمده تقسیم می‌شوند که عبارتند از اشعه‌های گاما، اشعه‌های X و اشعه‌های فرابنفش. به علت تفرق و جذب اتمسفری در این بخش این طول موج‌ها در سنجش از دور فضایی استفاده نمی‌گردد. طیف مرئی<sup>۱</sup> آشناترین بخش طیف است که طول موج آن بین  $4/10$  میکرومتر تا  $7/10$  میکرومتر را پوشش می‌دهد. تنها این قسمت از طیف به صورت گسترده تابش الکترومغناطیسی است. اگرچه نور مرئی ناحیه کوچکی از طیف را در بر می‌گیرد، ولی در طبیعت بیش از ۵۰ درصد انرژی خورشیدی که به سطح می‌رسد، مربوط به همین امواج است. نور مرئی در اثر تجزیه به رنگ‌های قرمز، نارنجی، زرد، سبز، آبی، نیلی و بنفش تقسیم می‌شود. در دورسنجی برای ساده‌سازی، فقط سه رنگ اصلی آن یعنی آبی، سبز و قرمز مورد توجه است. طول موج‌های بین  $7/10$  میکرومتر تا  $3$  میکرومتر را مادون قرمز نزدیک<sup>۲</sup>، طول موج‌های بین  $3$  میکرومتر تا  $30$  میکرومتر را مادون قرمز میانی<sup>۳</sup> و دامنه  $30$  میکرومتر تا  $1$  میلیمتر را مادون قرمز دور<sup>۴</sup> می‌گویند. یکی از مهمترین بخش‌ها مادون قرمز، مادون قرمز حرارتی<sup>۵</sup> است و به آن دسته طول موج‌هایی اطلاق می‌شود که در اثر حرارت اجسام تولید شده و تابیده می‌شوند. این انرژی قابل رویت یا عکس‌برداری نیست ولی وسایلی مانند رادیومترها و نظاره-گرها می‌توانند آن را احساس و سپس پخش کنند. امواج ماکروویو بین امواج مادون قرمز و امواج رادیویی قرار دارند، و طول موج آن‌ها از  $1$  میلیمتر تا  $1$  متر است. این امواج در شرایط بد آب و هوا نیز

1-Visible

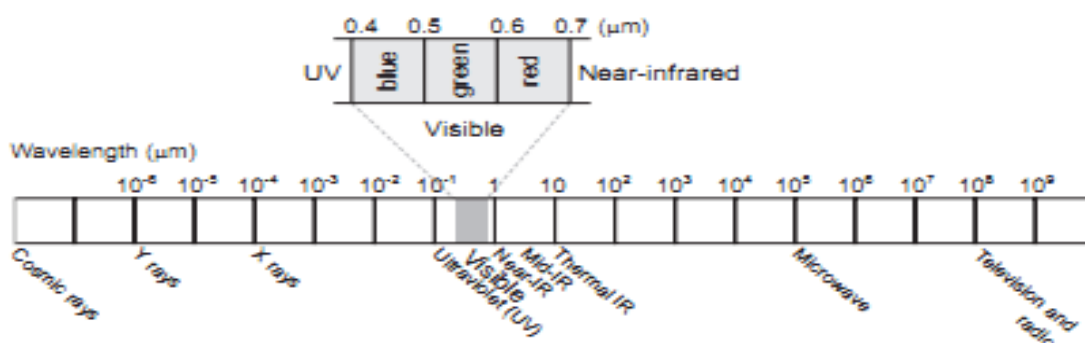
2-Near Infrared

3-Middle Infrared

4-Far Infrared

5-Thermal Infrared

قادر به عبور از جو هستند. میزان این امواج در طیف خورشیدی بسیار ناچیز است، ولی با توجه به اهمیت زیاد آن‌ها که از قابلیت عالی نفوذ چنین امواجی در ابرها و باران ناشی می‌شود، می‌توان به کمک مولدهایی در سکوها، این امواج را تولید کرد و به زمین فرستاد و بازتابش آن‌ها را ثبت کرد. طول موج‌های بلند ماکروویو و طول موج‌های کوتاه رادیویی را امواج رادیویی می‌نامند. این امواج غالباً به صورت مصنوعی تولید شده و در دورسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرند دارای طول موجی از ۱ تا ۳ سانتیمتر هستند. به وسیله یک فرستنده امواج قوی، در فواصل زمانی کوتاه، به صورت ضربانی در جهت معینی ارسال شده و سپس بازتاب آن‌ها جمع‌آوری می‌گردد. این امواج قدرت نفوذپذیری زیادی در ابر، باران و پوشش گیاهی دارند، حتی در زمین نیز قابلیت نفوذپذیری دارند به همین دلیل در زمین‌شناسی دارای کاربردهای فراوانی هستند (فاطمی، ۱۳۹۰).



شکل ۳-۲ - محدوده طیف امواج الکترومغناطیس (Thomas et al 1994)

### ۳-۳-۳ مکانیسم برخورد انرژی الکترومغناطیس با پدیده‌های زمینی

تشعشعات الکترومغناطیس قبل از ثبت و استفاده در سنجش از دور، مسافتی را درون اتمسفر طی می‌کنند و به سطح زمین می‌رسند. این محیط ناهمگن در یک مسیر نسبتاً طولانی بر روی انرژی الکترومغناطیس عبور کننده از خود تاثیر قابل ملاحظه‌ای می‌گذارد. این تاثیر معلول وجود عناصری مثل گرد و غبار، مولکول‌های آب، اکسید کربن و غیره است. که کم و بیش بطور مطلق در هوا وجود دارند و

باعث می‌شوند که بخشی از انرژی عبور کرده از جو، برابر پدیده‌هایی مانند جذب و یا پراکنش به سطح زمین نرسد (Levin, 1999).

### ۳-۳-۱- پخش

مکانیسم پخش موقعی رخ می‌دهد، که ذرات یا مولکول‌های موجود در اتمسفر موجب انحراف تشعشعات الکترومغناطیس از مسیر اصلی خود می‌شوند. پدیده پخش در سه حالت قابل بررسی می‌باشد:

**الف- پخش ریلی :** در این نوع پخش اندازه ذرات موجود در اتمسفر در مقایسه با طول موج تشعشعات خورشیدی بسیار کوچکتراند. این ذرات شامل گرد و غبار، مولکول‌های اکسیژن و نیتروژن است. پراکندگی ریلی سبب می‌شود که طول موج‌های کوتاه‌تر بسیار بیشتر از طول موج‌های بلندتر پراکنده شوند و این نوع پخش در قسمت بالایی اتمسفر غالب است. و به همین دلیل آسمان در طی روز جلوه‌ای آبی دارد و در غروب قرمز مایل به نارنجی به نظر می‌رسد (Levin, 1999).

**ب- پخش مای:** این نوع پراکندگی زمانی رخ می‌دهد که اندازه ذرات در اتمسفر تقریباً برابر با اندازه طول موج تشعشعات رسیده است. عامل عمده به وجود آورنده پدیده‌ی مای، بخار آب و ذرات گرد و غبار می‌باشد. پدیده‌ی مای نسبت به پدیده‌ی ریلی طول موج‌های بلندتر را تحت تاثیر قرار می‌دهد، و عمدتاً در بخش‌های پایین اتمسفر اتفاق می‌افتد، جایی که در آن ذرات بزرگ‌تر فراوان هستند (Levin, 1999).

**پ- پخش غیر انتخابی:** در نهایت پخش مهم دیگر پخش غیر انتخابی است علت نام این نوع پدیده آن است که تمام طول موج‌های آن به طور یکسان پراکنده‌اند، و زمانی رخ می‌دهد که قطر ذرات بسیار بزرگ‌تر از طول موج باشد. قطرات آب، ذرات گرد و غبار می‌تواند سبب این نوع پراکندگی باشد. این

نوع پخش موجب می‌شود تا مه و ابرها به رنگ سفید دیده شوند، زیرا نور آبی، سبز، قرمز، همگی، تقریباً به یک اندازه قابلیت پخش پیدا می‌کنند. (Levin, 1999).

### ۳-۳-۲- جذب

یکی دیگر از مکانیسم اصلی اتمسفر است که زمان برخورد تشعشعات الکترومغناطیس با اتمسفر، رخ می‌دهد. این پدیده، در مقابل پدیده پخش موجب جذب انرژی در طول موج‌های مختلف به وسیله مولکول‌های موجود در داخل اتمسفر می‌شود. سه گاز اصلی درون اتمسفر، یعنی ازن، دی اکسید کربن و بخار آب تشعشعات را جذب می‌کند. از این میان بخار آب توانایی جذب بیشتری نسبت به سایر گازها را دارد. محدوده‌هایی از طیف الکترومغناطیس که به میزان کمتر تحت تاثیر جو قرار می‌گیرند و میزان قابل ملاحظه‌ای طیف الکترومغناطیس از آن عبور کرده و به سطح زمین می‌رسد، روزه‌های جوی نام دارند که در محدوده بین ۱/۱ تا ۰/۴ میکرومتر در بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک، ۵ تا ۳/۵ میکرومتر در بخش مادون قرمز حرارتی، ۱۴ تا ۸ در بخش مادون قرمز قرار می‌گیرند (Levin, 1999).

### ۳-۴- سکوها یا پلت فرم

وسایل حاملی هستند که سنجنده‌ها بر آن نصب می‌شوند، و شامل سکوهای زمینی (سه پایه)، سکو-های هوایی (هواپیما) و سکوهای فضایی (ماهواره) می‌باشند. سکوهای فضایی معمولاً در ارتفاع ۲۰۰ کیلومتری زمین قرار گرفته و سنجنده‌های مختلف را برای جمع‌آوری اطلاعات منابع زمینی و هواشناسی در خود جای می‌دهند (فاطمی ۱۳۹۱).

پلت فرم‌ها دارای سه ویژگی متمایز هستند که عبارتند از:

- ❖ کیفیت تصویر و وضوح طیفی<sup>۱</sup>: وضوح طیفی و وضوح تابش به ترتیب به بخشی از اندازه‌گیری طیف الکترومغناطیس و تفاوت در انرژی مشاهده شده اشاره می‌کند.
- ❖ قدرت تفکیک فضایی<sup>۲</sup>: به کوچکترین واحد اندازه‌گیری مسافت اشاره می‌کند و اشیاء با حداقل اندازه مورد مشاهده را شناسایی می‌کند.
- ❖ زمان تکرار<sup>۳</sup>: یعنی زمانی که دو تصویر پی در پی در همان محل بر روی زمین ادغام شوند ( آقاجانی، ۱۳۹۰).

### ۳-۵- سنجنده<sup>۴</sup>

هر وسیله‌ای که اشعه الکترومغناطیس منعکس شده از پدیده‌های مختلف یا سایر انرژی‌های ساطع شده را جمع‌آوری نموده و به شکلی مناسب، برای کسب اطلاعات محیط اطراف ارائه دهد، سنجنده نامیده می‌شود. سنجنده‌ها در سنجش از دور وظیفه اخذ و ثبت داده‌ها را بر عهده دارند. به طور کلی سنجنده‌ها بر اساس منبع انرژی به دو نوع فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند، سنجنده‌های فعال خود دارای مولد انرژی الکترومغناطیسی هستند. این انرژی به طرف پدیده مورد نظر فرستاده می‌شود. اما سنجنده‌های غیرفعال انرژی منعکس شده از پدیده‌های مختلف زمین را که اشعه الکترومغناطیس خورشید به آن‌ها تابیده است را جمع‌آوری می‌کنند (Levin, 1999).

### ۳-۵-۱- سنجنده‌های عددی یا رقومی

بازده اطلاعاتی این نوع سنجنده‌ها عددی بوده و پس از طی مراحل خاصی می‌توانند به عکس تبدیل شوند، و مورد استفاده قرار گیرند و یا از طریق تبدیل به تصاویر، مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. در این سنجنده‌ها فیلم وجود ندارد، بلکه امواج بازتابیده از پدیده‌های گوناگون، به کمک سیستم موجود در سنجنده به امواج الکتریکی تبدیل می‌شوند، و پس از ضبط در فرصت مناسب به زمین مخابره می‌شوند.

1-Spectral resolution

2-Spatial resolution

3-Period

4- Sensors

شود، و گاهی هم این عمل مستقیماً صورت می‌گیرد مزیت این سنجنده‌ها نسبت به سنجنده‌های مصور این است که احتیاجی به بازگرداندن سکو به زمین نیست و اطلاعات به زمین مخابره می‌شوند. گاهی این عمل مستقیماً صورت می‌گیرد. سنجنده‌هایی مانند سنجنده MSS (اسکن کننده چند طیفی)، BRV (ویدیکن پرتو گردان)، سنجنده TM (نقشه بردار موضوعی) از این نوع سنجنده‌ها می‌باشند (فاطمی، ۱۳۹۱).

### ۳-۶- ماهواره لندست<sup>۱</sup>، سنجنده ETM<sup>+</sup>

ماهواره لندست از قدیمی‌ترین ماهواره‌های مشاهده شده در زمین است، که توسط سازمان ملی فضاوردی آمریکا<sup>۲</sup> (NASA) طراحی و در مدار زمین قرار گرفته است. استفاده جهانی اطلاعات سنجش از دور، توسط ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ آغاز شد. این تحقیقات که با استفاده از قسمت‌های مختلف طیف الکترومغناطیس صورت گرفته باعث افزایش کارایی زمین‌شناسان در زمینه پژوهش‌های معدنی گردیده است. شامل سه نسل است نسل اول لندست ۱، ۲ و ۳ هستند که در طی سال‌های ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۵ مورد استفاده قرار گرفتند. نسل دوم لندست ۴، ۵ و ۷ و نسل سوم آن لندست ۸ است. ماهواره‌های لندست شبیه پروانه‌اند، قطر آن‌ها حدوداً ۱/۵ متر و بلندی آن‌ها تقریباً ۳ متر است. هم‌اکنون تنها لندست ۷ و ۸ در حال استفاده هستند. لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ پرتاب شد و در مدار قرار گرفت. این ماهواره دارای سنجنده‌ی نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته<sup>۳</sup> (ETM<sup>+</sup>) می‌باشد که دارای ۸ باند بوده و مشخصات آن در جدول (۳-۱) ارائه شده است. این ماهواره، دارای قابلیت‌های ویژه‌ای می‌باشد.

- وجود باند پانکرماتیک

- بهبود قدرت تفکیک مکانی باند حرارتی از ۱۲۰ به ۶۰ متر

- وجود تنظیم کننده که تنظیم و تبدیل انرژی رادیومتری داده‌های سنجنده را بهبود می‌بخشد.

1- Enhanced Thematic Mapping

2-National Aeronautics and Space Administration

3- Enhanced Thematic Mapping



جدول ۳-۱ خصوصیات باندهای سنجنده ETM<sup>+</sup> ماهواره‌ی لندست هفت

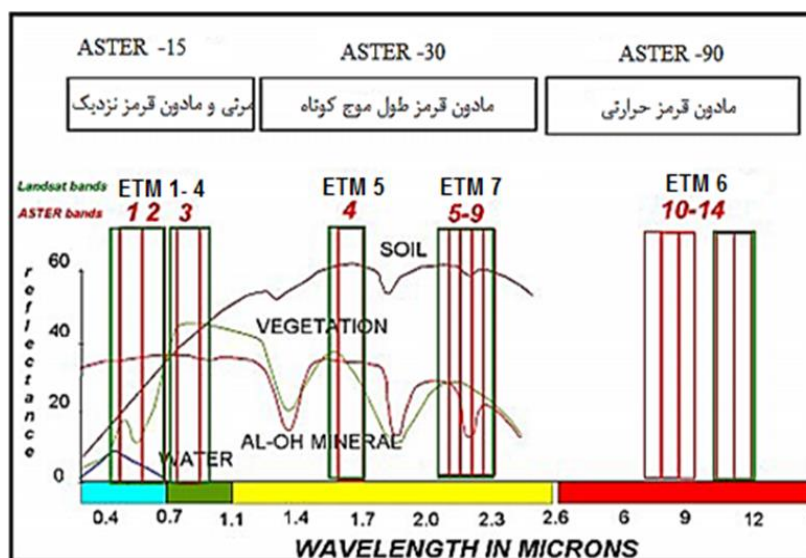
شماره باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی	زمان پوشش کامل زمین/ارتفاع مدار	ابعاد پوشش (کیلومتر)
۱	۰/۴۵ - ۰/۵۱	۳۰	۱۶ روز ۷۰۵ کیلومتر	۱۸۵*۱۸۵
۲	۰/۵۲ - ۰/۶۰	۳۰		
۳	۰/۶۳ - ۰/۶۹	۳۰		
۴	۰/۷۵ - ۰/۹۰	۳۰		
۵	۱/۵۵ - ۱/۷۵	۳۰		
۶	۱۰/۴ - ۱۲/۵	۶۰		
۷	۲/۰۹ - ۲/۳۵	۳۰		
پانکروماتیک	۰/۵۲ - ۰/۹	۱۵		

### ۳-۷- ماهواره ترا، سنجنده استر<sup>۱</sup> (ASTER)

ماهواره ترا حاصل پروژه مشترک کشورهای آمریکا، کانادا و ژاپن بوده که در سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد و دارای پنج سنجنده MODIS, MISR, ASTE TIR, ASTER VNIR, ASTER SWIR می‌باشد. ماهواره ترا، یک ماهواره خورشید آهنگ است، که به فاصله ۳۰ دقیقه پشت سر ماهواره Landsat 7 حرکت می‌کند و از خط استوا در ساعت ۱۰:۳۰ قبل از ظهر به وقت محلی، عبور می‌کند. ارتفاع مدار این ماهواره ۷۰۵ کیلومتر از سطح زمین است و هر ۱۶ روز یک بار مسیر خود را به طور کامل می‌پیماید. رادیومتر پیشرفته فضا برد تابش حرارتی و انعکاسی (ASTER) یک سنجنده تصویری چند طیفی پیشرفته است، یکی از سنجنده‌های ماهواره ترا است، که در دسامبر سال ۱۹۹۹ به فضا پرتاب شد و در مدار زمین قرار گرفت. تصاویر استر بر مبنای نیازهای زمین‌شناسی طراحی شده‌اند؛ بنابراین در این زمینه کارایی بالایی دارند. استر با داشتن ۱۴ باند طیفی مختلف به دانشمندان و محققان امکان بررسی پدیده‌های زمینی در طول موج‌هایی نظیر مادون قرمز نزدیک، کوتاه و حرارتی

1- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer-

که توسط چشم انسان قابل رویت نیست را می‌دهد. علاوه بر آن در یک باند نیز تصاویری با نگاه به عقب، به منظور تولید مدل رقومی ارتفاع (DEM)، در آن در نظر گرفته شده‌است. این سنجنده از قدرت تفکیک رادیومتریک بسیار خوب (۱۰ و ۱۲ بیت) برخوردار است، به طوری که تصاویری با کیفیت و نسبت سیگنال به نویز بالا را موجب شده‌است. سنجنده استر در بررسی و پایش پوشش ابر، یخچال‌ها، دمای زمین، کاربری اراضی، خاکشناسی، گیاه‌شناسی، زمین‌شناسی و... کاربرد دارد. در شکل (۳-۳) مشخصات باندهای سنجنده‌های ASTER<sup>+</sup> و ETM<sup>+</sup> و در جدول (۳-۲) خصوصیات باندهای سنجنده‌ی آستر مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۳ - باندهای سنجنده‌های ASTER<sup>+</sup> و ETM<sup>+</sup> (Yetkin, 2003)

در حالت کلی وضوح طیفی بالاتر و تعداد باند بیشتر امکان تفکیک تعداد سنگ‌ها و کانی‌های بیشتری را فراهم کرده و کاربر می‌تواند تمایز، شناسایی و حتی کمی‌سازی تغییرات در یک سنگ و کانی را به انجام برساند. محدودیت دسترسی به داده‌های فراطیفی از سویی، و دسترسی آسان و سریع در کنار پوشش وسیع موجب شده که در لیتولوژی و اکتشافات ناحیه‌ای و منطقه‌ای، سنجنده‌های ASTER و ETM<sup>+</sup> به طور معمول و متداول مورد استفاده قرار گیرند (Ninmia, 2002; Rawan et al, 2004).

جدول ۳-۲ خصوصیات باندهای سنجنده‌ی استر

تفکیک رادیومتریکی	تفکیک زمانی	تفکیک مکانی (متر)	بازه طیفی (UM)	شماره باند	زیر سیستم
۸ بایت	۴ الی ۱۶ روز و پهنای تصویر برداری ۱۸۰ کیلومتر	۱۵ متر	۰/۵۲ - ۰/۶۰	۱	VNIR
			۰/۶۳ - ۰/۶۹	۲	
			۰/۷۸ - ۰/۸۶	۳	
			۰/۷۸ - ۰/۸۶	۳	
۸ بایت		۳۰ متر	۱/۶۰ - ۱/۷۰	۴	SWIR
			۲/۱۴ - ۲/۱۸	۵	
			۲/۱۸ - ۲/۲۲	۶	
			۲/۲۳ - ۲/۲۸	۷	
			۲/۲۹ - ۲/۳۶	۸	
			۲/۳۶ - ۲/۴۳	۹	
۱۲ بایت		۹۰ متر	۸/۱۲ - ۸/۴۷	۱۰	TIR
			۸/۴۷ - ۸/۸۲	۱۱	
			۹/۹۲ - ۹/۲۷	۱۲	
			۱۰/۲۵ - ۱۰/۹۵	۱۳	
	۱۰/۹۵ - ۱۱/۶		۱۴		

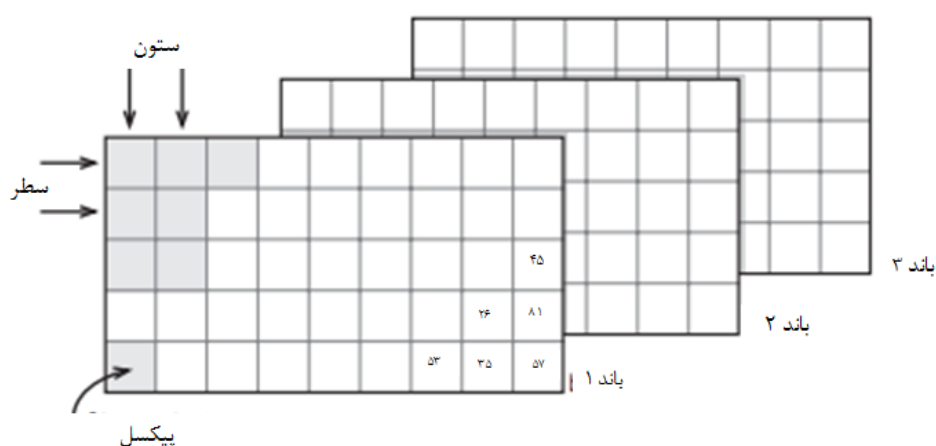
## ۳-۸- داده‌های رقومی تصاویر

تصویرهایی با رنگ خاکستری پیوسته، مانند یک عکس را تصاویر رقومی گویند. یک گروه از سلول‌های کوچک تقسیم شده با مقدارهای عددی صحیح از شدت میانگین را که نشان دهنده شدت مربوط به

مرکز سلول است، تصویر رقمی نامیده می‌شود. بنابراین تصاویر رقمی، تصاویر سنجش شده که از تعداد زیادی مربعات کوچک (پیکسل) تشکیل شده‌اند. هر پیکسل دارای یک شماره رقمی<sup>۱</sup> می‌باشد که بیانگر مقدار روشنایی آن پیکسل است هر واحد پیکسل سطحی است، که کوچک‌تر از آن، تفکیک ناشدنی است و دقت تصاویر ماهواره‌ای مختلف را نشان می‌دهد. به هر پیکسل یک رقم خاص نسبت داده می‌شود، که در واقع متوسط ارزش‌های انعکاس امواج از سطح مورد نظر در روی زمین است.

### ۳-۸-۱ - ویژگی‌های مهم داده‌های تصاویر ماهواره‌ای

- ۱- اندازه‌ی تصویر: یعنی تعداد سطر و ستون در یک صفحه
- ۲- تعداد باندها: تعداد طول موج‌های ذخیره شده در باند
- ۳- کوانتیزاسیون: فرمت داده‌ها برای اندازه‌گیری انرژی ذخیره شده استفاده می‌شود. به طور معمول برای هر اندازه‌گیری ۸ بیت استفاده شده است، که نشان‌دهنده مقدار ۰-۲۵۵ می‌باشد.
- ۴- اندازه پیکسل: اندازه پیکسل به داده‌های تصاویر مربوط می‌شود، اما لزوماً همان وضوح فضایی است (آقاجانی، ۱۳۹۰).



شکل ۳-۴ - ساختار تصاویر ماهواره‌ای و خصوصیات پیکسل‌ها

### ۳-۹- آماده سازی و پیش پردازش داده‌ها

#### ۳-۹-۱- موزائیک کردن

در مواقعی به علت اینکه تصاویر محدوده مورد مطالعه یا داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در چند صفحه داده‌ای قرار می‌گیرند، برای تهیه‌ی تصاویر در مقیاس کاری مورد نظر، لازم است که عمل موزائیک داده‌ها صورت گیرد. برای موزائیک داده‌ها دو صفحه کنار هم انتخاب شده و به منظور انطباق بهینه بین تصاویر چند نقطه مشترک در مناطق هم‌پوشانی دو تصویر انتخاب می‌شود. جهت به دست آوردن تصویری مناسب لازم است که خطی محدوده مرزی دو تصویر را محدود کند، که به خط موزائیک معروف است (آقاجانی، ۱۳۹۰)

#### ۳-۹-۲- برش تصویر

پس از موزائیک کردن تصاویر ماهواره‌ای، به منظور پردازش بهتر و دقیق‌تر و حذف محدوده‌های اضافی تصویر موزائیک شده با استفاده از نرم‌افزار<sup>۱</sup> (ENVI) به اندازه محدوده دلخواه برش داده می‌شود.

### ۳-۹-۳- تصحیحات اتمسفری (رادئومتری)

بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی پس از برخورد و عبور از جو زمین به سنجنده می‌رسند. نظر به این - که محدوده‌های مختلف، امواج الکترومغناطیس، رفتارهای گوناگونی در هنگام گذر از جو زمین دارند، بنابراین میزان بازتاب برگشتی پدیده‌ها در برخی از طول موج‌ها بیانگر بازتاب حقیقی آن‌ها نمی‌باشد (Sabin, 1999). در واقع ارزش عددی هر پیکسل در داده‌های ماهواره‌ای، میزان بازتابندگی واقعی آن پدیده در سطح زمین نبوده است. و از عواملی مانند جذب و پراکنش جوی، زاویه تابش خورشید،

1- Environment for Visualizing Images

حساسیت سنجنده و سایه و... تاثیر پذیرفته است. در محدوده طول موج مرئی، امواج الکترومغناطیس در هنگام عبور از جو به میزان بیشتر جذب و پراکنده می‌شوند، در حالی که در محدوده فرسرخ، امواج بدون پخش از جو زمین گذشته و برگشت داده می‌شود. بنابراین اطلاعاتی که در باندهای مختلف طیف مرئی و فرسرخ نزدیک دارند ثبت می‌گردند، بازتاب واقعی پدیده‌ها نبوده و باید تصحیح گردند. تصحیح رادیومتری با استفاده از رسم نمودارهای پراکنش یا تعیین میزان پراکنش درجات روشنایی باندهای ۱، ۲، ۳، ۴ نسبت به باند ۷ انجام گرفته و درجات روشنایی مربوط به پدیده‌های سطح زمین در محدوده باندهای طیف مرئی با کسر مقدار پراکنش تصحیح می‌شود (جاهدی، ۱۳۷۵).

### ۳-۱۰- پردازش داده‌ها

پردازش تصاویر، عبارت از بررسی، شناخت و ارزیابی پدیده‌های مختلف و استخراج اطلاعات لازم برای برنامه‌ریزی منابع زمینی یا مقاصد دیگر است. به عبارت دیگر بررسی و مطالعه داده‌های ماهواره‌ای به منظور شناسایی پدیده‌های مختلف سطح زمین که هر یک با رنگ خاصی بر روی این داده‌ها ظاهر می‌شود را پردازش تصویر می‌گویند (آقاجانی، ۱۳۹۰). به واقع پردازش تصاویر ماهواره‌ای، به منظور دستیابی به تصاویری با کیفیت بهتر و قابل درک‌تر، که با مجموعه‌ای از باندهای طیفی صورت می‌گیرد، به طوری که با توجه به شباهت‌های بافتی، طیفی و هندسی پس از طی این فرآیندها بتوان پدیده‌های مختلف را از هم تفکیک کرد. پردازش به دو صورت بصری و رقومی است. در پردازش بصری کاربر با توجه به ویژگی‌های تصویر عوارض مختلف را از تصویر استخراج می‌کند و در پردازش رقومی الگوی مورد نیاز به عنوان الگوی نمونه به نرم‌افزار داده می‌شود، و به طور اتوماتیک این الگو در تمام تصویر شناسایی می‌شود (Ranjbar, 2004).

در ادامه شرح مختصری از روش‌های پردازش رقومی رایج یعنی ترکیب رنگی کاذب، نسبت‌گیری باندی و آنالیز مولفه‌های اصلی (Ramandan et al, 2004).

۳-۱۰-۱- ترکیب رنگی<sup>۱</sup>

از آن جا که اغلب داده‌های ماهواره‌ای در فرمت‌های چندباندی هستند، بنابراین بررسی داده‌های یک باند در برهه‌ای از زمان حداکثر اطلاعات را به دست نمی‌دهد. آگاهی از روابط متقابل بین طول موج‌های مختلف بسیار مهم است و نمایش بیش از یک باند به طور همزمان بر روی سیستم پردازش تصویر و تهیه‌ی منحنی چاپی چندباندی سودمند و ثمر بخش خواهد بود. این کار اغلب از طریق به‌کارگیری تصاویر رنگی میسر است. ترکیب رنگ‌ها در واقع پایه و اساس روش‌های دیگر است، چون نتایج این روش‌ها را می‌توان با اختصاص دادن باندهای طیفی دلخواه به کانال‌های قرمز، سبز و آبی دلخواه و ایجاد ترکیب‌های رنگی تفسیر نمود.

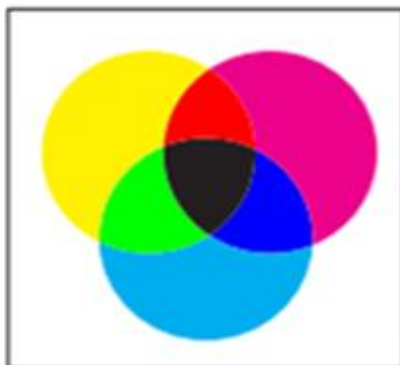
به ترکیب رنگ‌های قرمز، سبز، آبی (RGB) باند ۱، ۲، ۳، سنجنده ETM<sup>+</sup> که شبیه به نمایش تصویر چشم انسان است، ترکیب رنگ واقعی<sup>۲</sup> می‌گویند. سایر ترکیب‌های باندی که به صورت قرمز، سبز و آبی به نمایش در می‌آیند، ترکیب رنگی کاذب نامیده می‌شوند (Vincent, 1997). یک ترکیب رنگی از باندهای چند طیفی جداگانه اغلب اوقات با رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) نشان داده می‌شود. اگر چه این روش ممکن است ساده به نظر برسد، اما در انتخاب باندها و نمایش رنگ‌ها باید با دقت عمل کرد. رویدادها به درستی نشان داده شوند و رنگ‌ها برای کاربر قابل فهم باشند.

همان گونه که گفته شد ترکیب رنگ کاذب ترکیب سه باند مختلف است که به صورت رنگ‌های قرمز، سبز و آبی با هم ترکیب می‌شوند. اگر تصاویر رنگی کاذب به طور مناسب و صحیح تهیه شده و هیستوگرام باندهای استفاده شده تشابه ظاهری داشته باشند، تصویر حاصله با ترکیب بهینه و قابلیت تفسیر بالایی خواهد داشت (Gupta, 1991). ترکیب رنگی کاذب براساس کم‌ترین همبستگی بین باندها استوار است (Dianwei and Mohamed, 2001).

---

1 - Color Composite

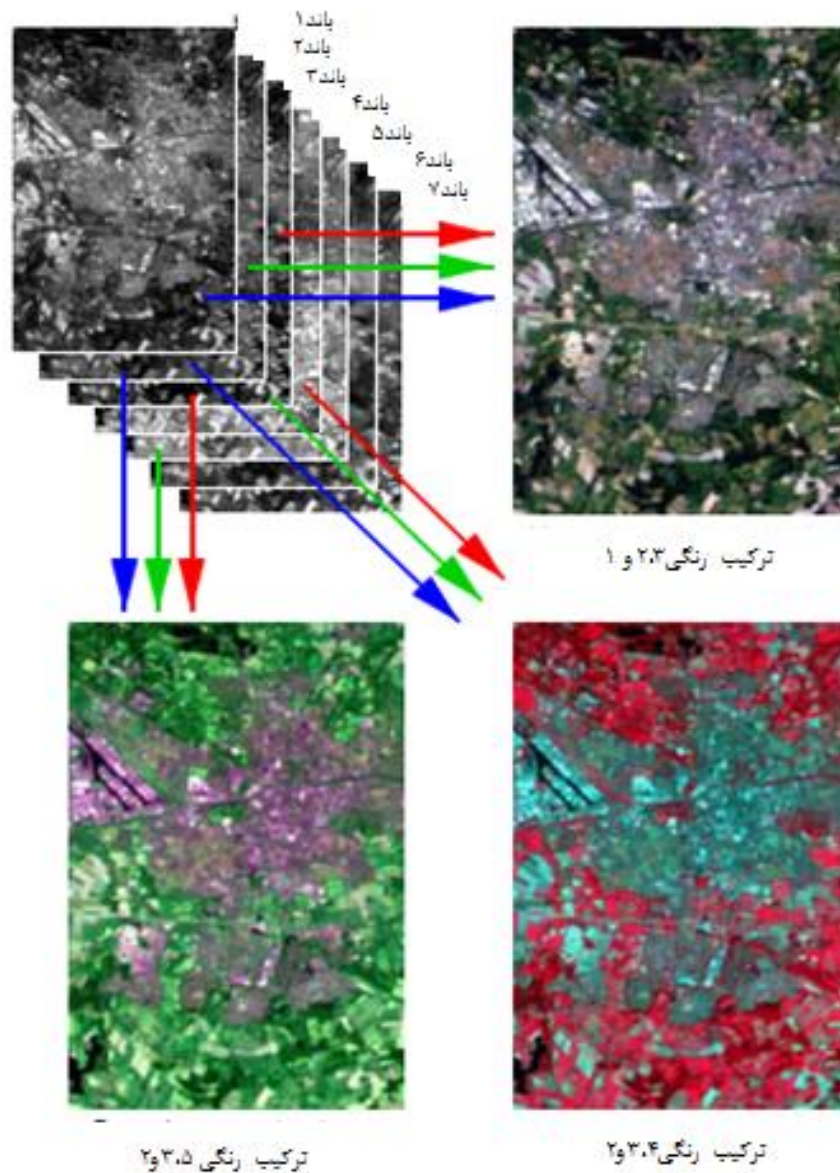
2 - True Color Composite



شکل ۳-۵- رنگ‌های افزایشی (Janssen,2001)

در حالت کلی وضوح طیفی بالاتر و تعداد باند بیشتر امکان تفکیک تعداد سنگ‌ها و کانی‌های بیشتری را فراهم کرده و کاربر می‌تواند تمایز، شناسایی و حتی کمی‌سازی تغییرات در یک سنگ و کانی را به انجام برساند.





شکل ۳-۶- ترکیب رنگی کاذب ماهواره لندست سنجنده  $ETM^+$  در منطقه Enschede در کشور هلند ترکیب رنگی کاذب مشاهده می‌شود: رنگ طبیعی (۱، ۲ و ۳)، شبه رنگ (۲، ۴، ۳) و ترکیب رنگی کاذب (۵، ۳ و ۲) دیگر باندها امکان پذیر است (Janssen, 2001).

هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رساندن داده‌های کم ارزش و استفاده حداکثر از اطلاعات مفید است. انتخاب ترکیب باندی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد. یک روش مقایسه چشمی تصاویر حاصل از ترکیب‌های مختلف است، که به طور معمول بسیار مشکل

و وقت‌گیر است. راه دیگر مبتنی بر معیارهای آماری تصویر مورد استفاده در ساخت تصاویر رنگی است. روش شاخص فاکتور بهینه<sup>۱</sup> از جمله این روش‌ها می‌باشد (Chavez, 1982).

(رابطه ۳-۲)

$$OIF = \sum_{K=1}^3 S_K / \sum_{J=1}^3 r_J$$

که در آن  $S_K$  انحراف معیار باند  $k$  و  $r_j$  ضریب همبستگی دو باند از ترکیب سه باند است. هر چه شاخص فاکتور بهینه بالاتر باشد باندهای سه‌گانه ترکیب رنگی کاذب برای تفکیک مناسب‌تر هستند. هر سه ترکیب باندی که دارای واریانس بالا و ضریب همبستگی کم بین باندها داشته باشد دارای مقدار (OIF) بیشتری خواهد بود در مجموع بزرگ‌ترین OIF دارای اطلاعات تصویری زیادی، با کم‌ترین میزان تکرار می‌باشد.

### ۳-۱۰-۲ - نسبت‌گیری باندی<sup>۲</sup>

نسبت‌گیری باندی، یک روش پردازش تصویر چند طیفی است که شامل تقسیم یک باند بر باند دیگر است. این عمل، صرف نظر از روشن‌سازی مناطق، باعث بهسازی تصاویر می‌شود. این روش، اثرات توپوگرافی و سایه‌ها را از بین برده، اختلاف بین درجات روشنایی را آشکارتر کرده و مرزها را مشخص‌تر می‌سازد. بنابراین، از این روش می‌توان برای جداکردن مرز واحدهای سنگی استفاده کرد. با شناخت خصوصیات انعکاس پدیده‌های مختلف و با استفاده از روش یادشده، می‌توان پدیده‌های مختلف را بارز ساخت (Abrams et al, 1983; Kaufman, 1988). در روش نسبت باندی باید بسته به منطقه و نوع کاربرد، باندهای مختلف را بر هم تقسیم کرد تا بهترین نتیجه حاصل شود. برتری

<sup>۱</sup> - Optimum Index Factor

<sup>۲</sup> - Band Ratio

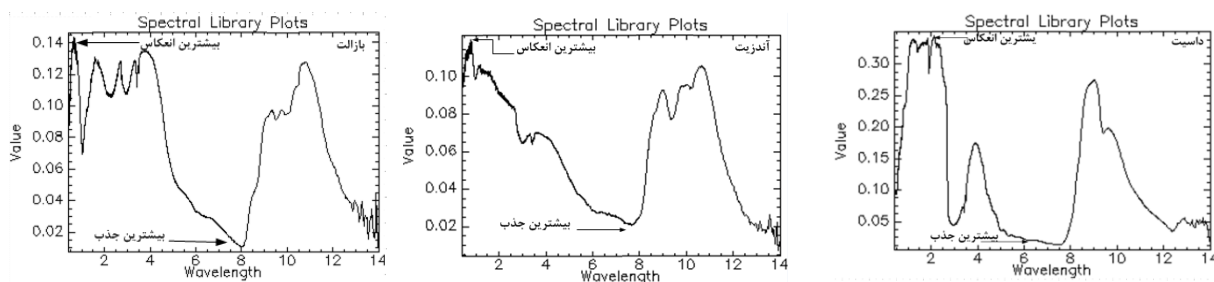
اصلی این روش آن است که ویژگی‌های رنگی یا طیفی پدیده‌های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی منطقه که بر اثر تغییرات توپوگرافی ایجاد می‌شود، منتقل و بر محتوای رنگ داده تاکید می‌کند (Sabin, 1999).

مفهوم کلی روش نسبت‌گیری بانندی به صورت زیر فرموله می‌شود (رابطه ۳-۳).

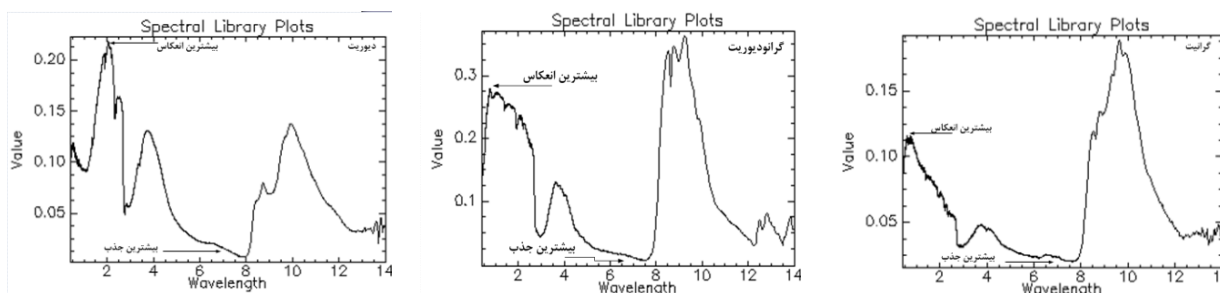
$$BV_{i,j,r} = BV_{i,j,k} / BV_{i,j,l}$$

که در آن  $BV_{i,j,z}$  حاصل این نسبت برای پیکسل موجود در ردیف  $i$ ام و ستون  $j$ ام است،  $BV_{i,j,k}$  مقدار درخشندگی باند  $K$  در همان مکان بوده  $BV_{i,j,l}$  میزان درخشندگی باند  $L$  است مقدار  $BV_{i,j,r}$  از نظر تئوری از صفر تا بی‌نهایت تغییر کند. اما در حقیقت از  $1/255$  تا  $255$  می‌باشد (Yetkin, 2003). در همه‌ی این موارد، برای هر سنگ مشخص، بیشترین میزان انعکاس در صورت کسر و بیشترین میزان جذب در مخرج قرار می‌گیرد. برای تشخیص نسبت‌های بانندی درست باید از نمودار بازتاب طیفی سنگ‌ها که برای هر سنگ مقداری منحصر به فرد است استفاده کرد. نمودار بازتاب طیفی برخی از سنگ‌ها مشاهده می‌شود.

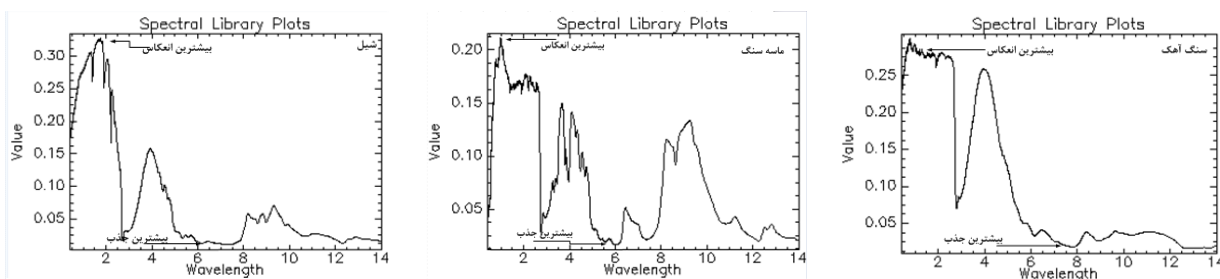
اساس روش نسبت‌گیری بانندی بر تقسیم باند انعکاسی بر باند جذبی استوار است. به دلیل قرار گرفتن مقدار کم‌تر در مخرج کسر، حاصل تقسیم بزرگ‌تر شده و شاهد یک بزرگ‌نمایی در خصوصیات طیفی کانی مورد هدف خواهد شد.



شکل ۳-۷- نمودار بازتاب طیفی سنگ‌های آتشفشانی. داسیت، آندزیت و بازالت



شکل ۳-۸- نمودار بازتاب طیفی سنگ‌های درونی. گرانیت، گرانودیوریت و دیوریت



شکل ۳-۹- نمودار بازتاب طیفی سنگ‌های رسوبی. سنگ آهک، ماسه‌سنگ و شیل. برگرفته از نرم‌افزار (ENVI5).

شکل (۳-۷) مناسب‌ترین نسبت‌ها برای سنگ‌های آتشفشانی نمایش داده شده است، بیشترین انعکاس در محدوده‌ی طول موج باند ۲ و بیشترین جذب نیز در محدوده‌ی طول موج باند ۷ سنجنده  $ETM^+$  است. در سنگ‌های دیوریتی بیش‌ترین و کم‌ترین انعکاس به ترتیب در محدوده‌ی طول موج باند ۳ و باند ۷ سنجنده  $ETM^+$  می‌باشد شکل (۳-۸). همچنین در سنگ‌های گرانیتی، گرانودیوریتی و بیش‌ترین انعکاس در محدوده‌ی طول موج باند ۱ و بیش‌ترین جذب نیز در محدوده‌ی طول موج باند ۷ می‌باشد. در مورد شکل (۳-۹) نیز که جهت آشکارسازی سنگ‌های رسوبی استفاده می‌شود برای ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌آهک‌ها بیش‌ترین انعکاس در محدوده باند ۲ و کم‌ترین انعکاس در محدوده باند ۵ می‌باشد، و برای سنگ‌های شیلی در باندهای ۴ و ۷ بیش‌ترین و کم‌ترین انعکاس وجود دارد.

۳-۱۰-۳- آنالیز مولفه اصلی<sup>۱</sup>

آنالیز مولفه اصلی ابتدا در سال ۱۹۰۱ توسط پیرسون معرفی شد و بعدها در سال ۱۹۳۳، هتلیگ روش‌های محاسباتی آن را پیشنهاد نمود. در این روش رابطه بین پاسخ‌های طیفی کانی‌های هدف و مقادیر عددی استخراج شده از ماتریس بردار ویژه برای محاسبه تصاویر مولفه اصلی (pc) به کار گرفته می‌شود (Azizi et al, 2007). از این طریق می‌توان اطمینان حاصل کرد که پدیده‌هایی نظیر پوشش گیاهی در به نقشه درآوردن کانی‌های هدف ظاهر نخواهد شد. و همچنین اطلاعات طیفی پدیده هدف را به کمک یک مولفه اصلی خاص به نمایش درآورد این روش امروزه به نام کروستا شهرت یافته است (Crosta, 2003). در واقع هدف از انجام این روش فشرده کردن مجموعه داده‌های چند طیفی در یک دستگاه مختصات جدید به منظور خارج کردن یا کاهش دادن اطلاعات زایدی است که در اثر تشابه و ارتباط بین باندها به وجود می‌آید. به طور کلی برای آنالیز مولفه اصلی دو روش تحلیل مولفه اصلی استاندارد و تحلیل مولفه اصلی به روش کروستا که در ادامه در مورد هر یک به اختصار توضیح داده می‌شود.

۳-۱۰-۴- تحلیل مولفه اصلی استاندارد<sup>۲</sup>

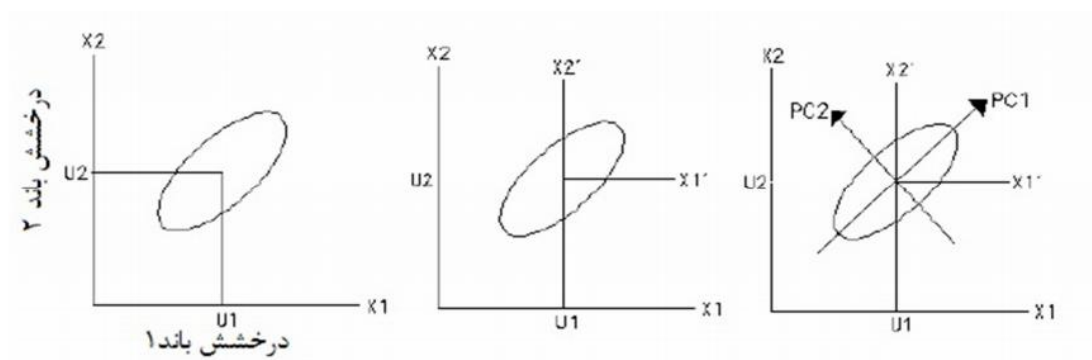
یکی از تکنیک‌های آماری که در گروه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود، تحلیل مولفه‌های اصلی است که با کاهش ابعاد متغیرها، نمایش و گروه‌بندی آن‌ها را آسان می‌کند. این روش، برای پیدا کردن ترکیبات خطی از متغیرهای اولیه همبسته که یک دستگاه محور مختصات جدید را تشکیل می‌دهد، استفاده می‌شود. اضافه کردن یک مولفه‌ی اصلی به مولفه اصلی انتخاب شده قبلی، باید بتواند به طور معنی داری پراش توجیه شده را افزایش دهد. معنی دار بودن این افزایش، بستگی به ماهیت موضوع مورد بررسی و قضاوت کارشناسی دارد. (yoyng et al, 2001; kouping and et al, 2001). در تحلیل استاندارد همه باندهای سنجنده  $ETM^+$  (۶ باند غیر گرمایی  $ETM^+$ ) و ۱۴ باند سنجنده ASTER به

1- principal component analysis-

2-Feature- Oriented Principal Components Selection

عنوان داده‌ی ورودی در محاسبه مولفه‌های اصلی به کار می‌روند. مولفه‌های اصلی محاسبه شده برای باندهای انتخابی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در جدول (۴-۲) و برای باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ سنجنده ASTER در جدول (۴-۳) آمده است.

اولین مولفه اصلی ( $PC1$ ) برداری در جهت بیشترین واریانس پیکسل‌ها در تصویر است و بیشترین تغییرپذیری را دارد و این تغییرپذیری ناشی از اختلاف درخشندگی پیکسل‌ها به دلیل توپوگرافی سطح زمین و موقعیت خورشید است. به کمک این مولفه می‌توان اطلاعات مهمی در مورد ساختارهای منطقه مورد بررسی به دست آورد. دومین مولفه اصلی نسبت به مولفه قبلی تغییرپذیری کمتری دارد و در یک فضای  $n$  بعدی جهتی عمود بر مولفه اصلی اول دارد. این مولفه اختلاف بین طیف نور مرئی و فروسرخ را بهتر نشان می‌دهد. به علاوه مولفه‌های بعدی به گونه‌ای قرار می‌گیرند که عمود بر محور قبلی باشند به همین دلیل داده‌هایی که آن‌ها را در بر می‌گیرند همبستگی ندارند به همین ترتیب برای مولفه‌های اصلی بعدی این روند ادامه دارد. آخرین مولفه اصلی ( $PCn$ ) حاوی تمام واریانس باقی مانده است. منحصر به فردترین پیکسل‌های موجود در تصویر را از سایر پیکسل‌ها جدا می‌کند. این مولفه واریانس کمی داشته و اغلب به شکل نوفه ظاهر می‌شود (Vincent, 1997; Sabin, 1997; Levin, 1999).



شکل ۳-۱۰ - چگونگی به دست آوردن مولفه‌های اصلی از داده‌ها

این روش برای نمایان ساختن حداکثر وضوح از میان باندهای طیفی مختلف با سه رنگ اولیه، یکی دیگر از روش‌های بهبود بخشی به تصاویر است (Kujjo, 2010). در این روش ابتدا باندها ادغام می‌شوند، سپس با انجام عملیات آماری، میانگین حسابی، میانه، انحراف معیار، مقادیر ویژه، بردارهای ویژه و کواربانس محاسبه می‌گردد و پس از آن آنالیز مولفه‌های اصلی انجام می‌گیرد.







## فصل چهارم

استفاده از روش‌های کیفی در

تجزیه و تحلیل داده‌های

سنجش از دور



## ۱-۴- مقدمه

در دورسنجی استفاده از رنگ‌ها اطلاعات بصری و مفهومی بیشتری از تصویر را در اختیار ما قرار می‌دهند (Patra, 2006). تجزیه و تحلیل تصاویر، روشی برای تبدیل یک تصویر به صورت دیجیتال و انجام برخی از عملیات بر روی آن، به منظور دریافت یک تصویر بهبود یافته و یا برای استخراج برخی از اطلاعات مفید از آن است. ارائه و نمایش شکل چندباندی به صورت رنگی بدین معنی است که سه شکل حاصل از سه باند، همزمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به این که می‌توان طیف وسیعی از داده‌های سنجش از دور تعریف کرد و نمایش داد، بنابراین رنگ‌های قابل رویت در تصاویر رنگی کاذب ممکن است هیچ رابطه‌ای با رنگ واقعی اشیای روی زمین نداشته باشند. تفکیک واحدهای سنگی به علت این که محل تمرکز عناصر در سنگ‌های مختلف، متفاوت می‌باشد، دارای اهمیت خاص است و بسته به این که به دنبال چه نوع ماده معدنی هستیم، واحد سنگی خاصی بعضاً می‌تواند تنها منشا تولید عنصر باشد (آقاجانی، ۱۳۹۰).

در محدوده مورد مطالعه برای داده‌های ماهواره لندست به دلیل برد بیشتر نیاز به موزائیک دو تصویر بوده است. اما برای داده‌های سنجنده استر چهار تصویر موزائیک شده است. هدف ما در این فصل استفاده از روش‌های مختلف کیفی برای شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی، کمربند آذرین منطقه معلمان - ترود می‌باشد. برای رسیدن به این نیل از داده‌های سنجنده  $ETM^+$  ماهواره لندست ۷ به شماره گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۵ و ۳۶ مربوط به سال ۲۰۰۰ و داده‌های سنجنده آستر (ASTER) ماهواره ترا (Terra) منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. به کمک نرم افزار (ENVI) ابتدا به آماده‌سازی و تصحیح داده‌ها و سپس به پردازش داده‌ها با استفاده از روش‌های مختلف کیفی پرداخته می‌شود. برای تفکیک کیفی واحدهای سنگی، از خصوصیات بارزسازی آن‌ها استفاده نموده و سپس با استفاده از خصوصیات طیفی و بازتابی هر سنگ مقدار آن شناسایی و تفکیک می‌شود.

## ۲-۴- روش پردازش ترکیب رنگی کاذب

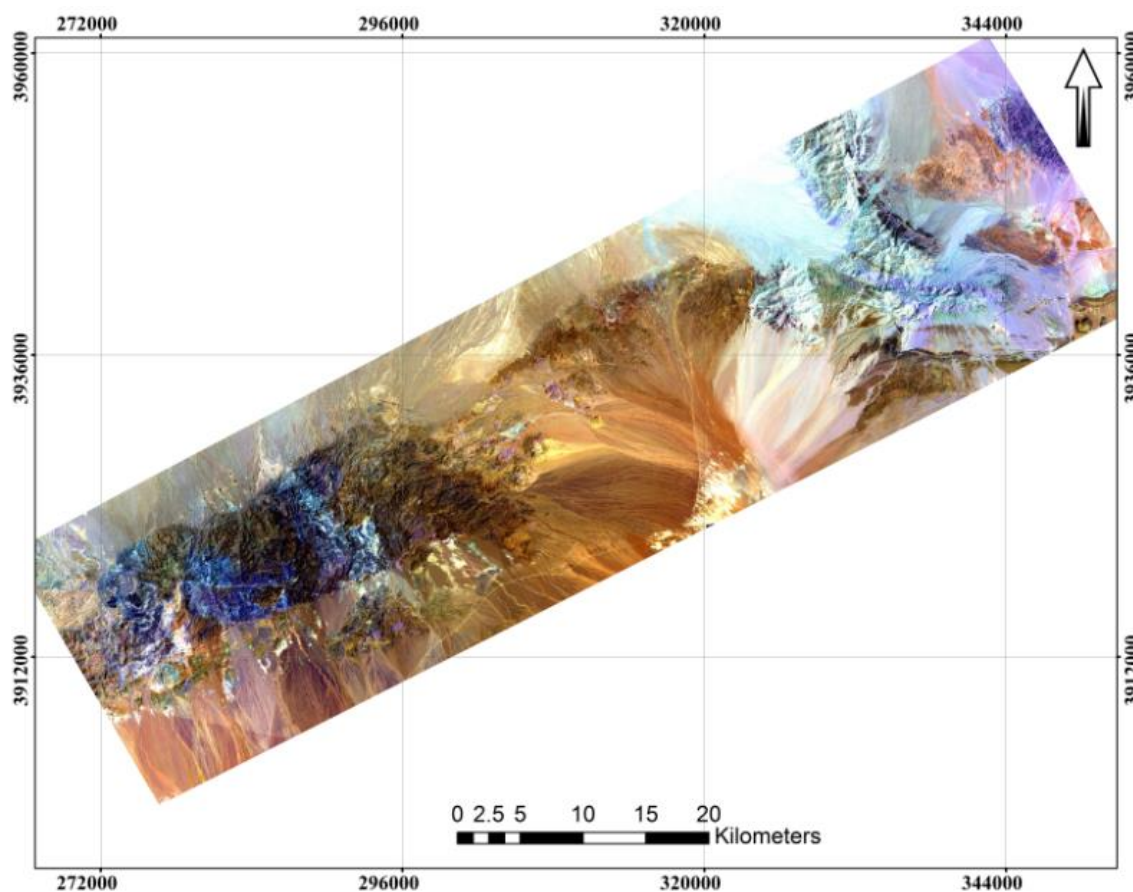
همان گونه که در فصل سوم اشاره شد به منظور تهیه‌ی تصاویر رنگی مختلف از فیلترهای سه گانه RGB استفاده می‌شود. در این روش برای به دست آوردن بهترین و مناسب‌ترین تصویر رنگی که بتواند بیشترین اطلاعات را در اختیار قرار دهد از فاکتور شاخص بهینه (OIF) استفاده شد. در جدول (۱-۴) مقدار شاخص بهترین ترکیب رنگی سنجنده  $ETM^+$  برای تفکیک واحدهای سنگی و تشخیص نوع لیتولوژی ارائه شده است.

جدول ۱-۴ - مقادیر محاسبه شده برای شاخص OIF سنجنده  $ETM^+$ 

شاخص OIF	ترکیب سه بانندی	ردیف	شاخص OIF	ترکیب سه بانندی	ردیف
۳/۴۲	۳-۴-۷	۱۰	۵/۱۵	۱-۲-۵	۱
۲/۷۸	۴-۵-۷	۱۱	۵/۳۳	۱-۴-۵	۲
۴/۱۷	۴-۳-۱	۱۲	۶/۱۷	۱-۲-۷	۳
۵/۴۷	۵-۳-۱	۱۳	۶/۸۵	۱-۳-۷	۴
۵/۴۱	۵-۷-۱	۱۴	۳/۸۸	۲-۳-۴	۵
۶/۸۰	۷-۴-۱	۱۵	۴/۵۰	۲-۳-۵	۶
۱/۵۰	۷-۴-۲	۱۶	۱/۶۱	۲-۴-۵	۷
۱/۶۲	۷-۳-۲	۱۷	۱/۴۰	۲-۵-۷	۸
۲/۴۵	۷-۳-۴	۱۸	۲/۵۶	۳-۵-۴	۹

براساس مقادیر محاسبه‌ای OIF (جدول ۱-۴)، ترکیب رنگی ۳،۱ و ۷ برای تفکیک واحدهای سنگی و تشخیص نوع لیتولوژی مناسب‌تر تشخیص داده شده است. بنابراین با استفاده از ترکیب این باندها به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی بیشترین تجزیه و تحلیل را از محیط خواهیم داشت. اگر باندها ۳،۱ و ۷ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی با هم ترکیب شوند تصویری با بیشترین اطلاعات مفید ایجاد می‌شود. در شکل (۱-۴) ترکیب بانندی ۱، ۳ و ۷ (باند یک در کانال قرمز، باند سه در کانال سبز و باند هفت در کانال آبی) می‌باشد. این ترکیب برای کاربردهای زمین‌شناسی و تفکیک واحدهای سنگی مورد استفاده قرار گرفت. واحدهای آذرین که حجم وسیعی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند به رنگ نارنجی نمایان هستند، سنگ‌های آتشفشانی روشن‌تر از توده‌های نفوذی دیده می‌شوند. دگرسانی‌های منطقه نیز با رنگ

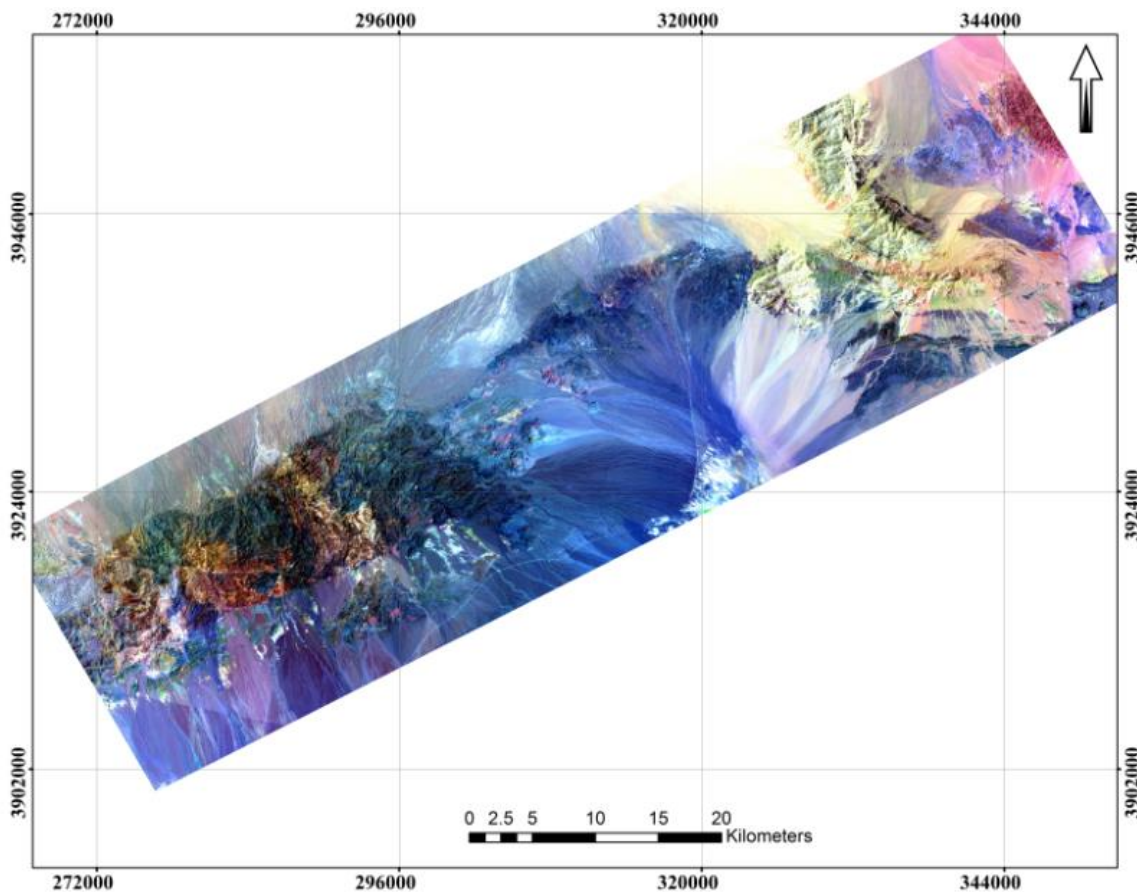
آبی در بین واحدهای آذرین دیده می‌شوند. سنگ‌های رسوبی سفید رنگ هستند. آهک‌ها روشن‌تر از سایر سنگ‌های رسوبی می‌باشند، کنگلومرای پلی‌ژنتیک تیره‌تر و تناوب سنگ آهک و کنگلومرا به رنگ زرد لیمویی تا کرمی مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۱- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۳، ۱ و ۷ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

با استفاده از ترکیب رنگی باندهای سنجنده  $ETM^+$  نمی‌توان کانی‌های تشکیل دهنده سنگ‌ها را شناسایی کرد زیرا پهنه وسیعی در طیف الکترومغناطیس دارند. اما گروه کانی‌ها که شاخص در زون‌های دگرسانی هستند و خصوصیات طیفی‌شان در محدوده فرورسرخ نزدیک و میانی است قابل شناسایی هستند. بنابراین می‌توان مناطق دگرسانی را با ثبت کردن کانی‌های شاخص در تکنیک ترکیب رنگی

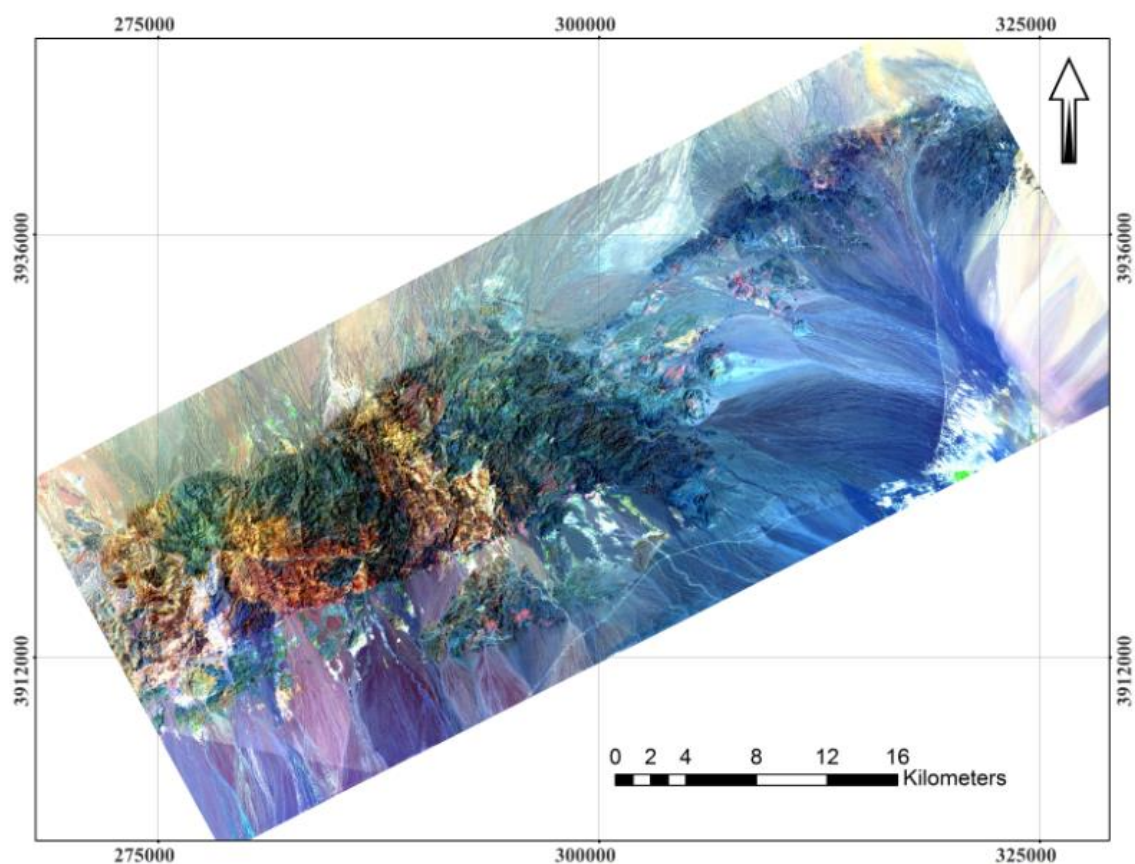
کاذب شناسایی نمود. ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی از باندهای (۷،۴،۱)، (۷،۲،۱) و (۵،۳،۱) براساس معیار شاخص بهینه انتخاب شده‌اند. همان‌طور که در شکل (۳-۴) دیده می‌شود، در ترکیب (۷،۴) و (۱) سنگ‌های آذرین با رنگ آبی، رنگ سفید نمایشگر واحدهای رسوبی و مناطق دگرسانی با رنگ نارنجی متمایل به قرمز، متمایز شده‌اند.



شکل ۴-۲- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۴، ۷ و ۱۰ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

به دلیل وضوح بهتر جزئیات تصاویر، اقدام به برش زدن تصاویر محدوده مورد مطالعه نموده و نوار ماگمایی و واحدهای رسوبی به صورت جداگانه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. تصاویر حاصله با جزئیات بیشتر در شکل‌های (۳-۴) و (۴-۴) مشاهده می‌شوند.

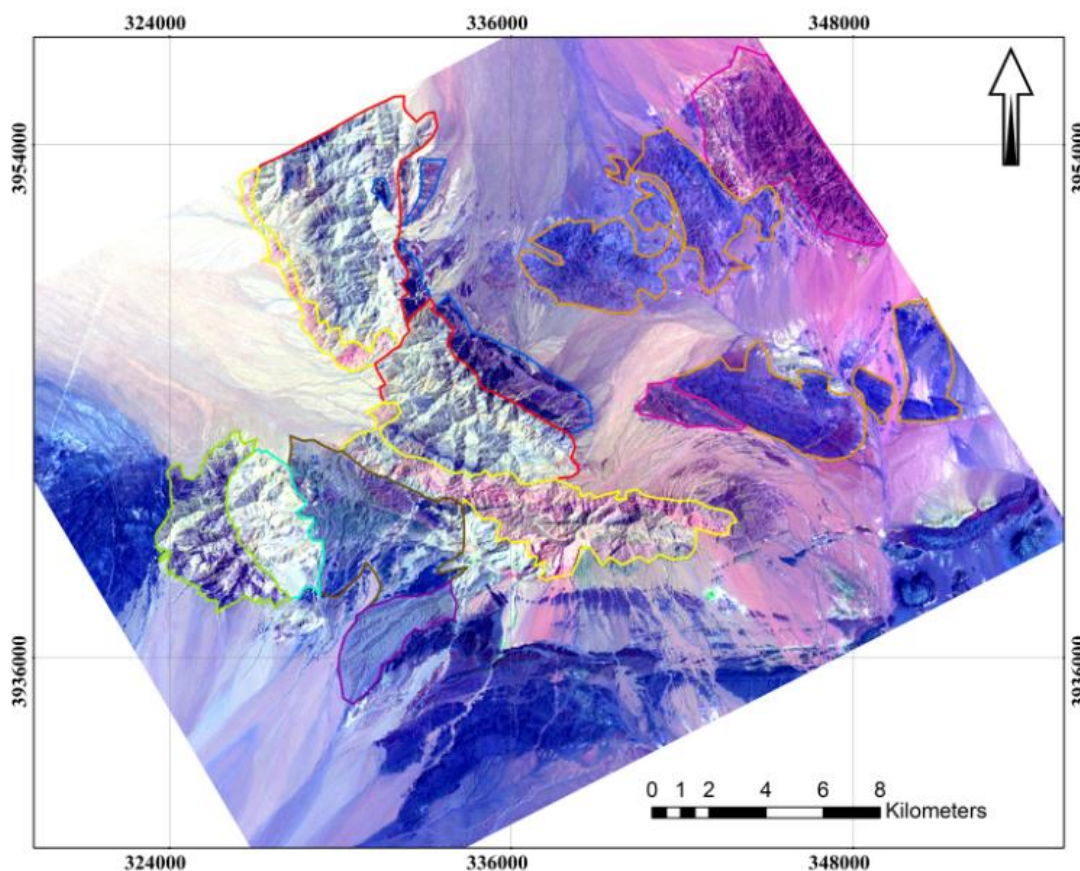
تصویر ترکیبی رنگ کاذب که از باندهای ۷ (قرمز)، ۴ (سبز) و ۱ (رنگ آبی) تولید شده است، طیف گسترده‌ای از رنگ‌ها را برای سنگ‌ها و واحدهای زمین‌شناسی منطقه فراهم می‌کند و برای بدست آوردن اطلاعات پایه‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک خیلی مؤثر است. تجربه‌ی محققان در مناطق مختلف ثابت کرده است که این ترکیب رنگی بسیار ایده‌آل است، که دارای فاکتور شاخص بهینه است. دگرسانی رسی با رنگ سفید، و توده‌های نفوذی با رنگ سرخابی در بین نوار ماگمایی مشاهده می‌شوند. همچنین دگرسانی پروپلیتی با رنگ نارنجی از بین سایر واحدهای سنگی مشخص است (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۴ و ۱ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی از محدوده مورد مطالعه

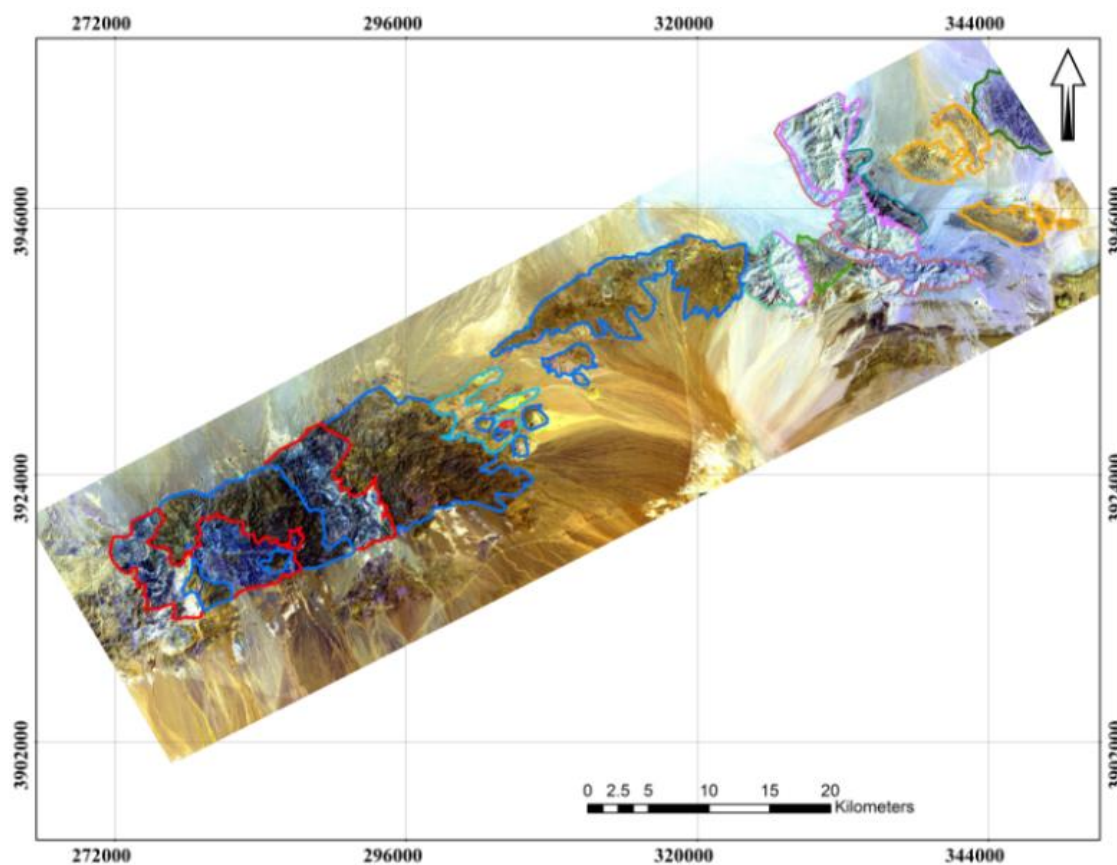


واحدهای رسوبی منطقه ترود پس از برش خوردن تصویر اصلی با جزئیات بیشتری مشاهده می‌شوند رنگ سنگ- آهک‌ها روشن‌تر از سایر واحدها بوده، تناوب سنگ آهک و کنگلومرا به رنگ سفید متمایل به آبی روشن و خطوط قهوه‌ای رنگ، تناوب شیل و کنگلومرا با رنگ آبی، سنگ آهک دولومیتی با رنگ سفید مایل به صورتی، و واحدهای آتشفشانی (اسیدی تا حدواسط) به رنگ قهوه‌ای و با خطوط آبی از یک‌دیگر متمایز شده‌اند شکل (۴-۴).



شکل ۴-۴- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۴ و ۱ سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه

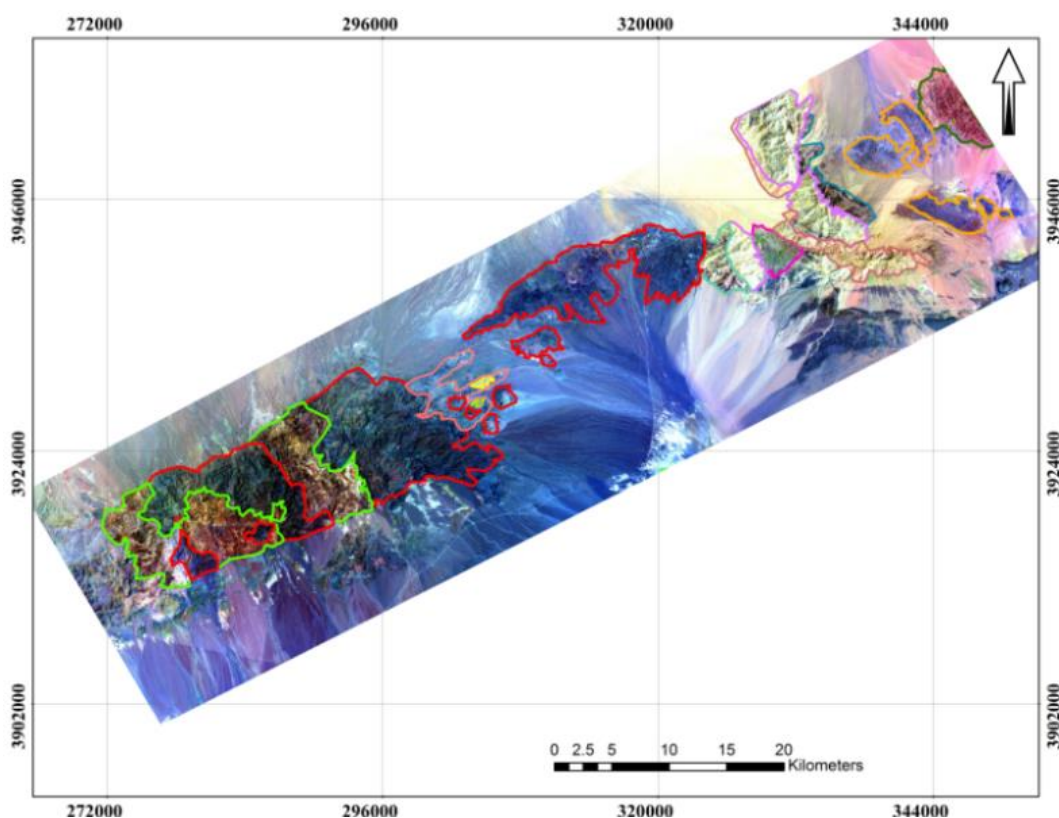
برای نشان دادن بهتر واحدهای سنگی منطقه، واحدهای مختلف توسط خطوطی از یک‌دیگر جدا شده‌اند. در تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۱، ۲ و ۷ در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، سنگ‌های آتشفشانی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه با خط‌های به رنگ آبی و توده‌های نفوذی با رنگ آبی روشن مشخص شده‌اند. همچنین مناطق دگرسانی با رنگ قرمز و واحدهای رسوبی در بخش شرقی منطقه بسته به تیره و روشن تر بودنشان با رنگ صورتی تیره و روشن مشاهده می‌شوند. واحدهای دگرگونی منطقه با رنگ سبز و شیل‌های دگرگون شده با خطوط نارنجی متمایز شده‌اند ( شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۲ و ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup> در فیلترهای قرمز، سبز و آبی

در محدوده مورد مطالعه

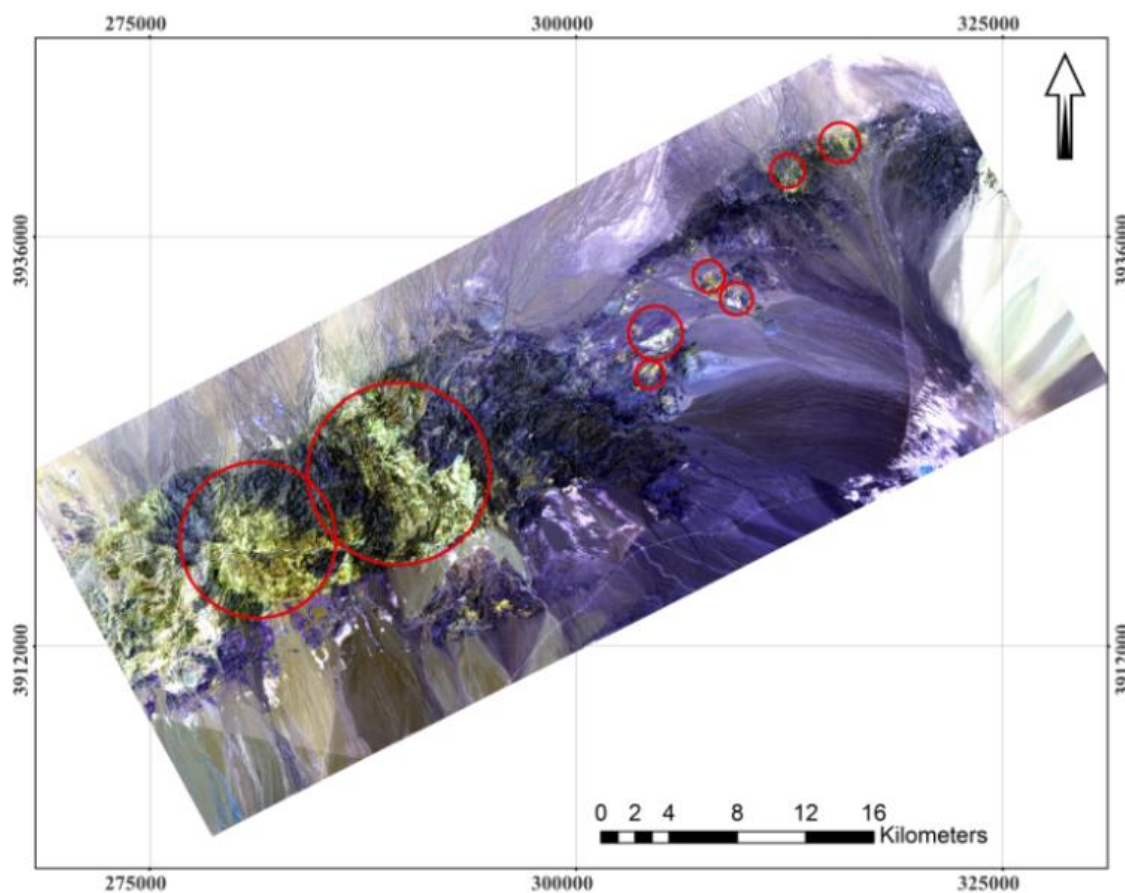
تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب باندهای ۵، ۷ و ۱ در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، واحدهای سنگی منطقه ترود را آشکار کرده است. سنگ‌های آتشفشانی با نوار قرمز رنگ و مناطق دگرسانی با خطوط سبز رنگ مشاهده می‌شود. همچنین سنگ‌های آهکی با خطوط صورتی تیره و روشن مشخص شده است. سنگ‌های دگرگونی با رنگ سبز لجنی در شرق منطقه دیده می‌شوند. واحدهای شیلی نیز با نوار نارنجی متمایز شده‌اند (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۶- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۵ و ۱ سنجنده  $ETM^+$  فیلترهای قرمز، سبز و آبی

درمحدوده مورد مطالعه

به منظور به دست آوردن تفکیکی مناسب از نواحی دارای کانی‌های رسی در ارتباط با دگرسانی از ترکیب باندهای ۷، ۵ و ۴ در محیط RGB استفاده می‌شود. در این ترکیب رنگی، رنگ سفید نمایش‌دهنده دگرسانی رسی و دگرسانی پروپلیتیک به رنگ زرد متمایل به سبز و نوار ماگمایی با رنگ آبی تیره مشاهده می‌شوند. دگرسانی‌ها در دایره‌های قرمز رنگ مشخص شده‌اند (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷- تصویر رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۷، ۵ و ۴ سنجنده  $ETM^+$  فیلترهای قرمز، سبز و آبی

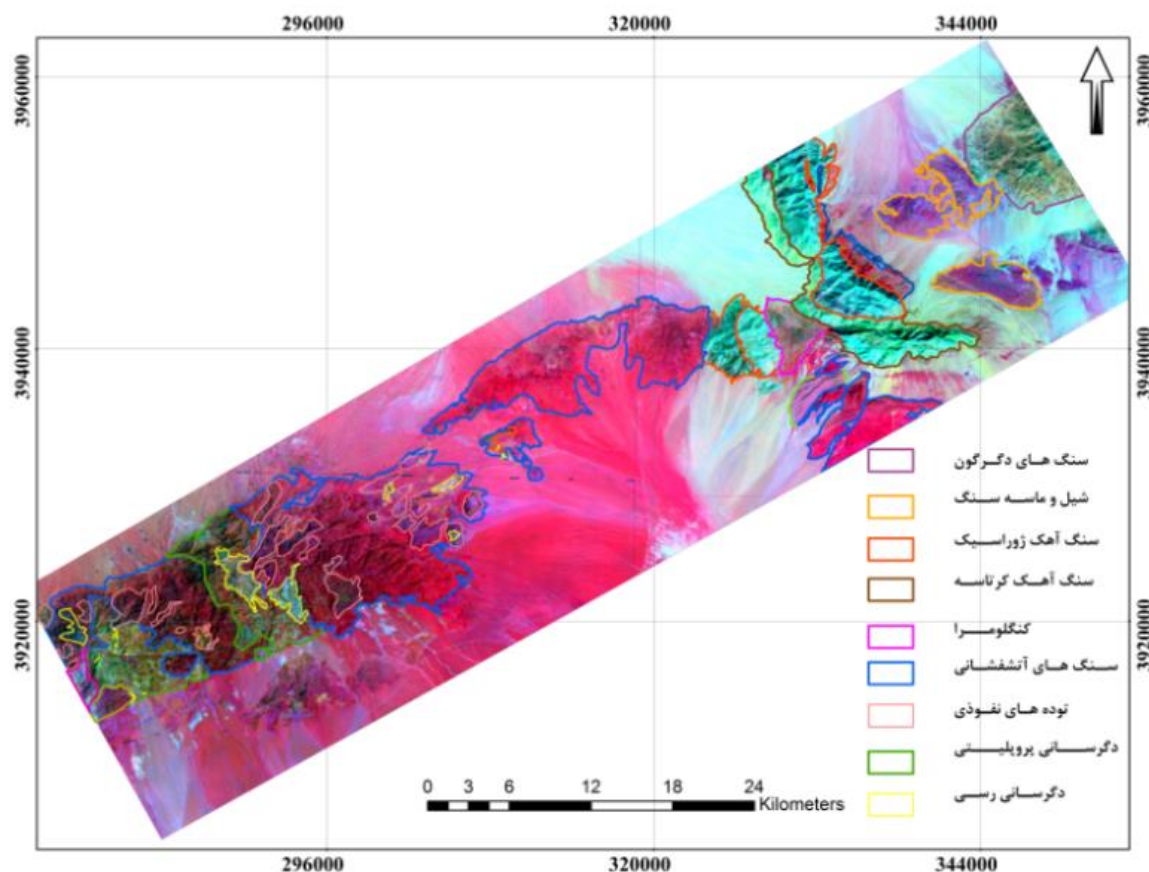
در محدوده مورد مطالعه

برای داده‌های سنجنده استراژ مجموع ۱۸ ترکیب رنگی از ۱۴ باند به دست آمده است، بهترین ترکیب سه باند براساس رتبه‌بندی OIF برای تفکیک لیتولوژی توسط پردازشی شبیه به داده‌های سنجنده ETM<sup>+</sup> در بالا انتخاب شد.

جدول ۴-۲ - مقادیر محاسبه شده برای فاکتور شاخص بهینه سنجنده ASTER

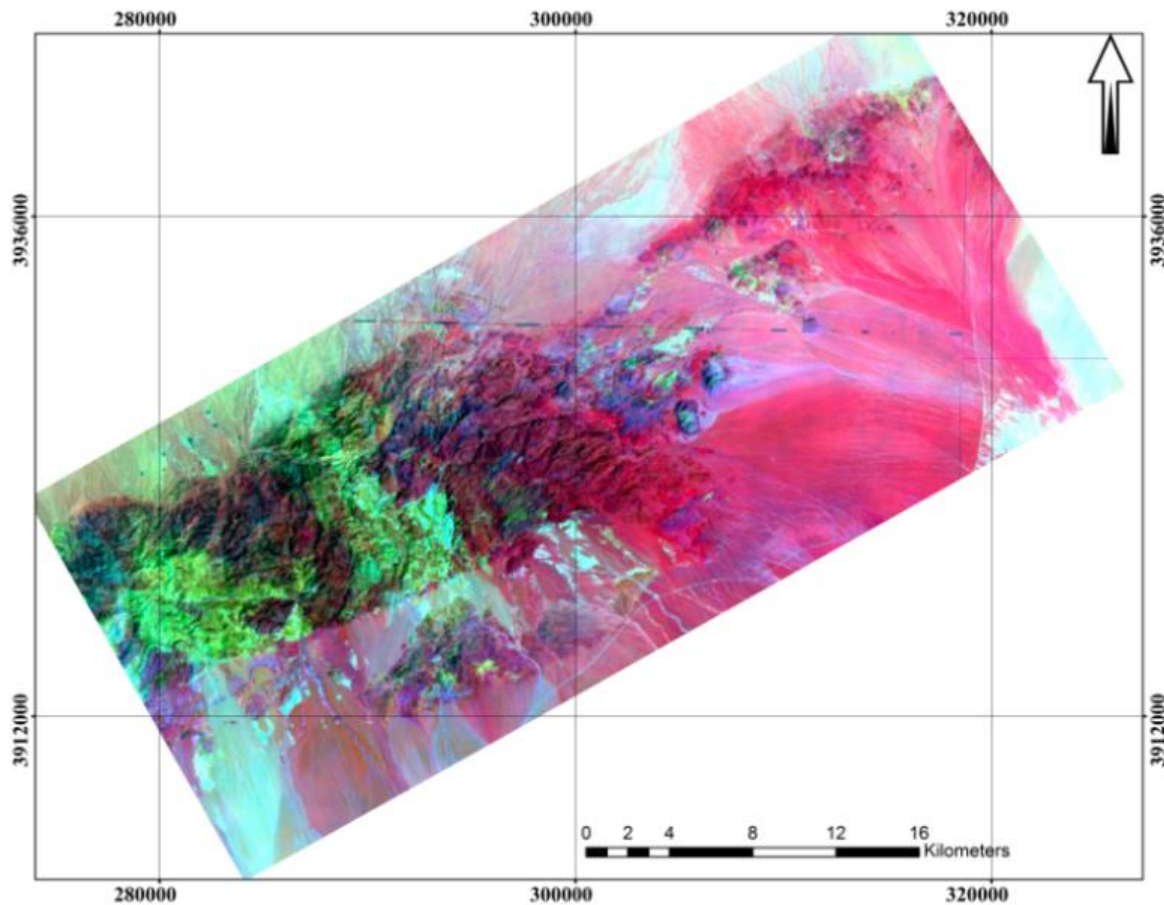
ردیف	ترکیب سه باندی	OIF شاخص	ردیف	ترکیب سه باندی	OIF شاخص
۱	۱-۲-۳	۱/۹۶	۱۰	۲-۸-۱۴	۲۱۳/۳
۲	۱-۲-۷	۹۷/۷	۱۱	۳-۴-۵	۱۵/۹
۳	۱-۳-۵	۱۵/۹	۱۲	۳-۶-۸	۱۳/۵۱
۴	۱-۳-۷	۹۰/۹	۱۳	۳-۵-۱۴	۱۹/۰۷
۵	۱-۳-۹	۹۲/۲۴	۱۴	۵-۱-۱۱	۲۳۱/۳
۶	۲-۴-۸	۲۱/۶	۱۵	۱۲-۵-۱	۲۴۱/۵
۷	۲-۶-۸	۱۹/۷	۱۶	۱۲-۷-۴	۱۹/۲
۸	۲-۷-۸	۱۹/۱	۱۷	۱۳-۲-۵	۵۵/۶
۹	۲-۶-۱۲	۲۰/۶۱	۱۸	۱۳-۹-۱	۲۱۵/۹

پس از سال ۲۰۰۰ داده‌های سنجنده ASTER در سطح وسیعی و با موفقیت در نقشه برداری واحدهای سنگی و اکتشاف کانی‌ها استفاده شد. بهترین ترکیب باندی، بیشترین رتبه را در بین تمام باندهای ممکن دارد، براساس معیار شاخص بهینه بهترین ترکیب از اختصاص باندهای ۱۲، ۵ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی به دست آمد. که در آن سنگ‌های آتشفشانی با رنگ صورتی مشخص شده‌اند و توده‌های نفوذی در بین سنگ‌های آتشفشانی با رنگ آبی رخنمون دارند. مناطق دگرسانی با رنگ نارنجی و وسنگ‌های آهکی با رنگ سبز و شیل و ماسه‌سنگ‌های با رنگ بنفش نمایش داده شده‌اند. این ترکیب رنگی به خوبی توانسته توده‌های نفوذی را از سنگ‌های آتشفشانی تفکیک کند (شکل ۴-۸).



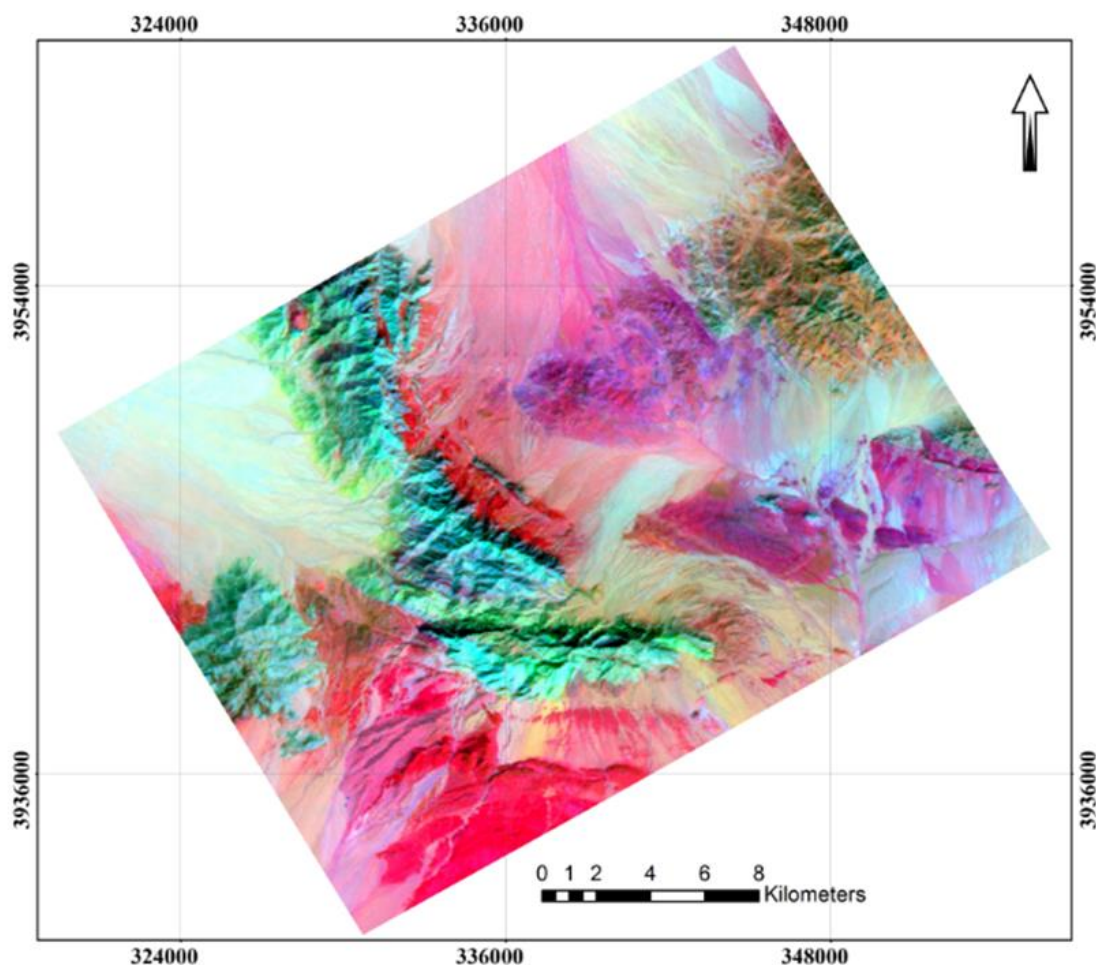
شکل ۴-۸- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۱۲ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

برای شناسایی و وضوح بهتر نوار ماگمایی و واحدهای رسوبی در سنجنده ASTER با استفاده از نرم‌افزار ENVI تصویر اصلی منطقه را به صورت دو بخش تقسیم شده است. تبدیل تصویر به دو بخش کوچک‌تر سبب شده است که جزئیات بیشتری از منطقه مشاهده شود، توده‌های نفوذی منطقه در بین سنگ‌های آتشفشانی میزبان نمایان‌تر شده و با وضوح بیشتری قابل مشاهده هستند. در شکل توده‌های نفوذی با فلش‌های نارنجی مشخص شده‌اند و منطقه دگرسانی رسی با رنگ سفید از دگرسانی پروپلیتی با رنگ سبز تشخیص داده می‌شود (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۱۲، سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه

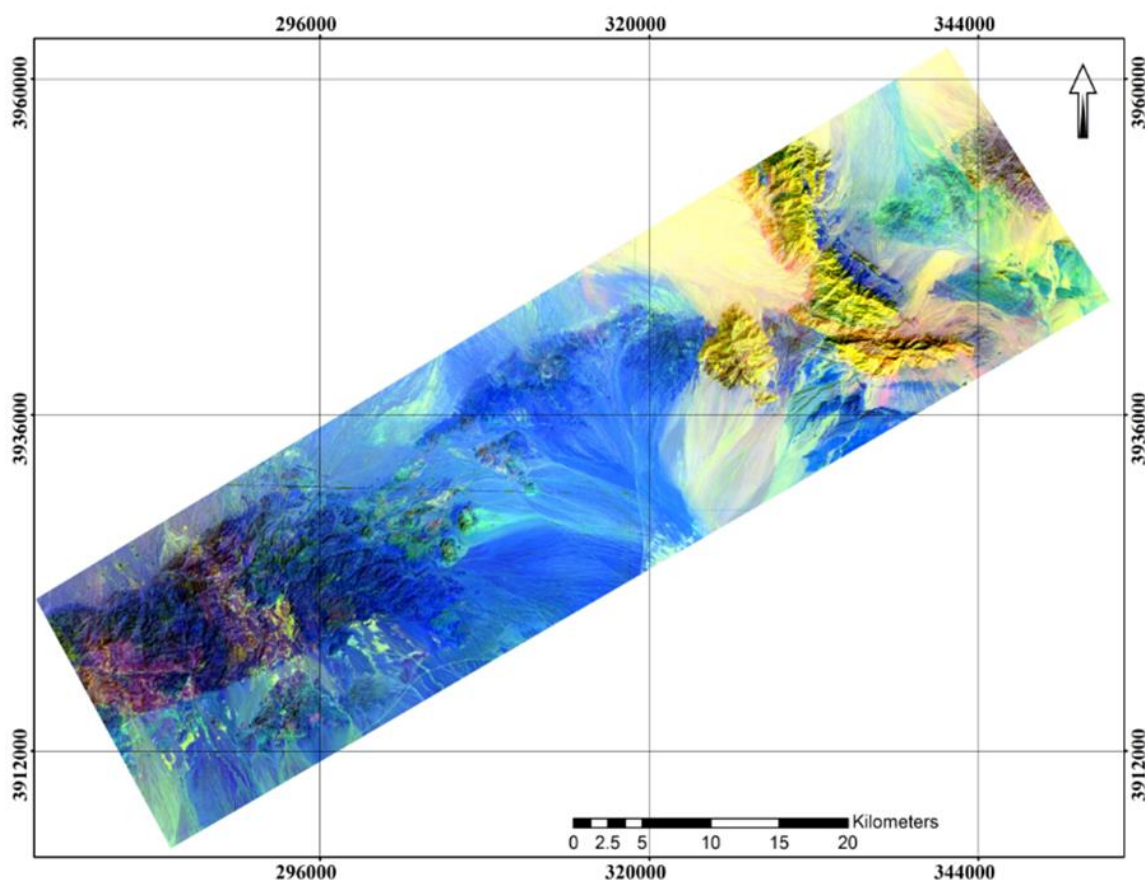
شکل (۴-۱۰) تصویر حاصل از برش واحدهای رسوبی از دیگر واحدهای سنگی منطقه ترود می‌باشد. در ترکیب رنگی ۱۲، ۵ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی رنگ سبز نمایشگر سنگ‌های رسوبی می‌باشد. به دلیل برش دادن منطقه تفاوت در رنگ‌های تیره و روشن در واحدهای آهکی آشکارتر شده است آهک-های ژوراسیک با رنگ سبز تیره و تناوب آهک و کنگلومرای کرتاسه با رنگ سبز روشن تر و شیل و ماسه سنگ‌ها با رنگ بنفش مشخص شده‌اند. همچنین سنگ‌های دگرگونی با رنگ قهوه‌ای و واحدهای آتشفشانی با رنگ قرمز شناسایی شده است.



شکل ۴-۱۰ - ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱، ۵، ۱۲، ۱۳، ۹، ۱ در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه

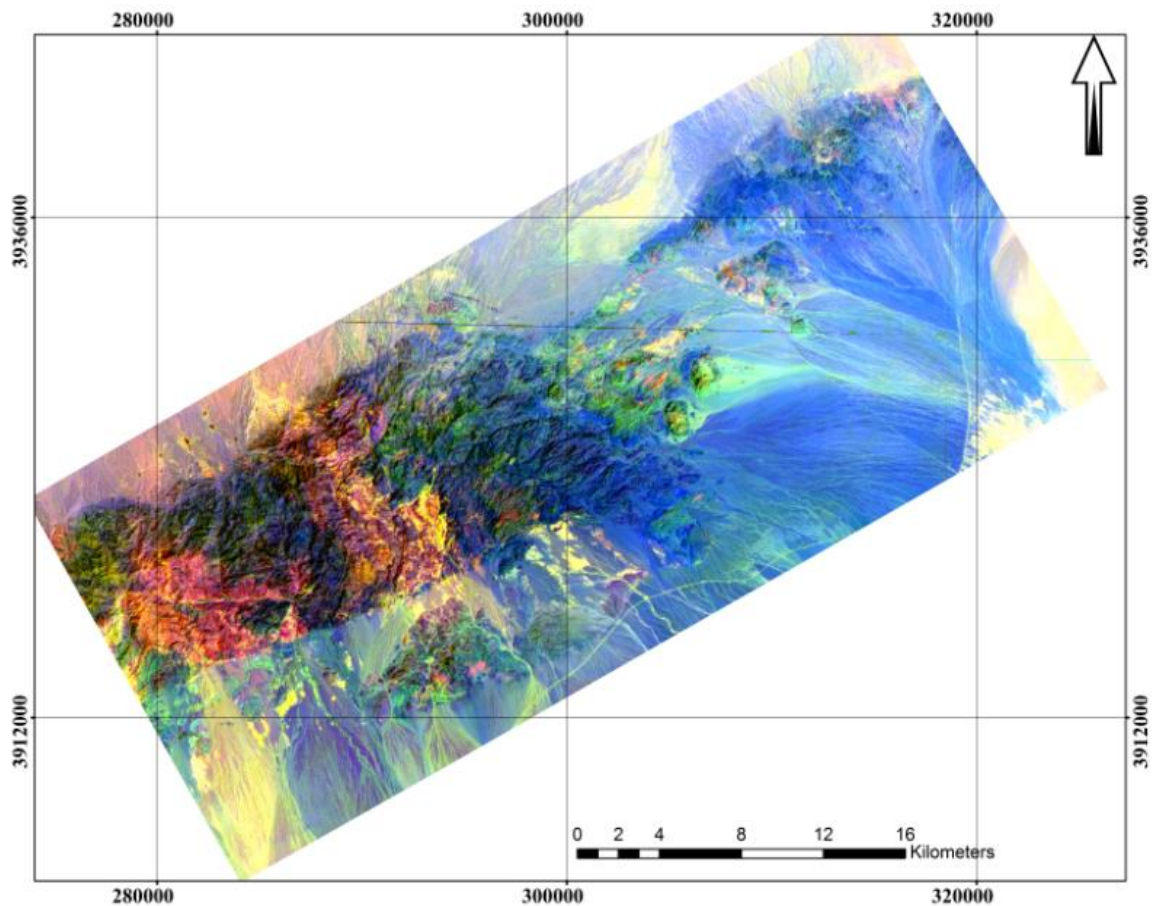
براساس جدول (۲-۴) ترکیب‌های رنگی کاذب در باندهای (۱، ۵، ۱۱)، (۱، ۹، ۱۳)، (۱) در تصاویر ASTER دارای کم‌ترین هم‌بستگی و بیشترین مقدار شاخص بهینه از بین دیگر ترکیب‌های رنگی می‌باشند. و ترکیب رنگی مناسب برای نمایش لیتولوژی منطقه ایجاد می‌کنند. با استفاده از ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی از باندهای ۵، ۱ و ۱۱ واحدهای سنگی منطقه به خوبی از هم قابل تفکیک است. در این ترکیب رنگی رسوبات آهکی با رنگ زرد، شیل‌های با رنگ سبز - آبی مشاهده می‌شوند. سنگ‌های بیرونی و درونی به ترتیب با رنگ آبی و سبز و رنگ بنفش نمایشگر مناطق دگرسانی می‌باشد (شکل ۴-۱۱).





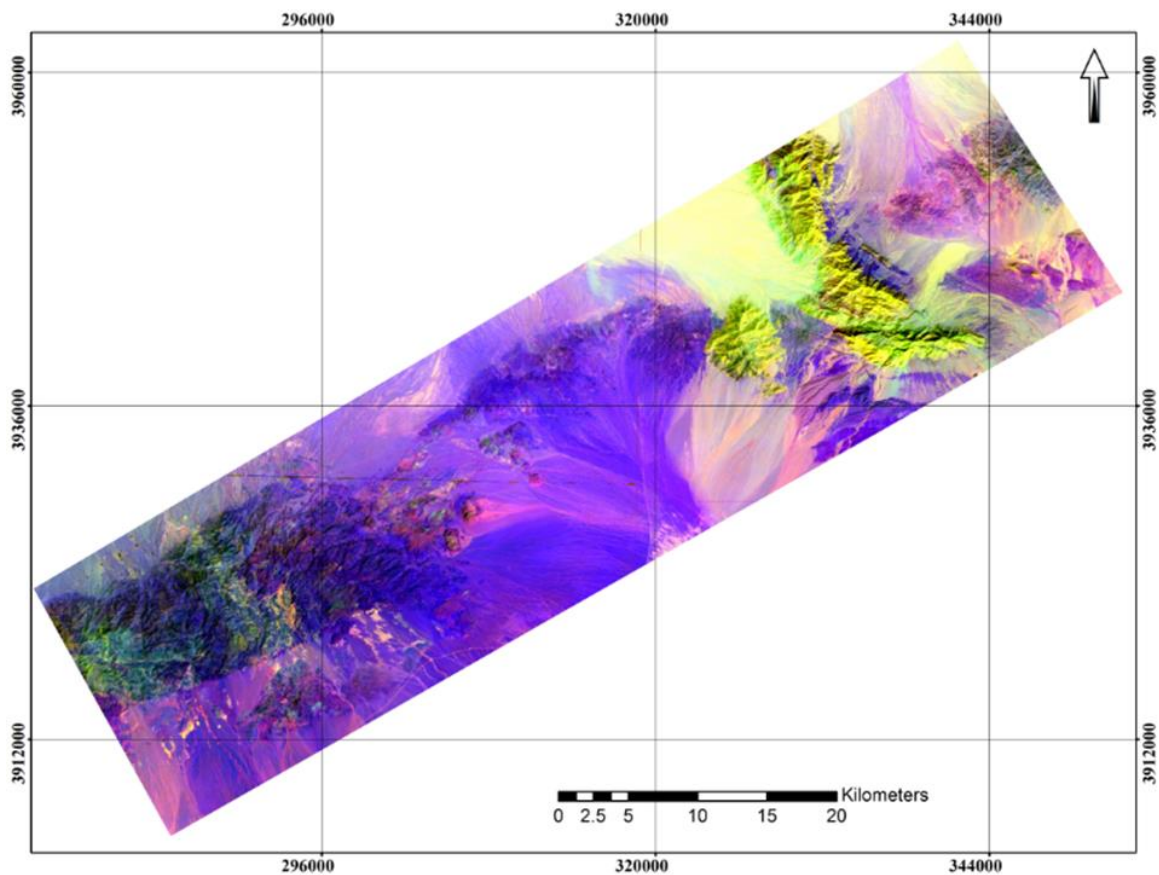
شکل ۴-۱۱- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۵، ۱۱ و ۱۲ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

با توجه به بازتاب امواج الکترومغناطیس و رنگ‌های تولید شده، سنگ‌هایی با ترکیب ماگمایی (آذرین درونی و بیرونی) می‌باشند که در ناحیه مرکزی و غربی محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شوند. شکل (۴-۱۲) رنگی کاذب با ۵، ۱۱ و ۱۲ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی، نوار ماگمایی منطقه ترود را نشان می‌دهد. در این تصویر توده‌های نفوذی سبز رنگ در میان سنگ‌های آتشفشانی میزبان با رنگ آبی به صورت گویا و واضح مشخص شده‌اند همچنین مناطق دگرسانی رسی و پروپلیتی از هم تفکیک شده است، دگرسانی رسی با رنگ زرد و دگرسانی پروپلیتی با رنگ صورتی شناسایی شده‌اند.



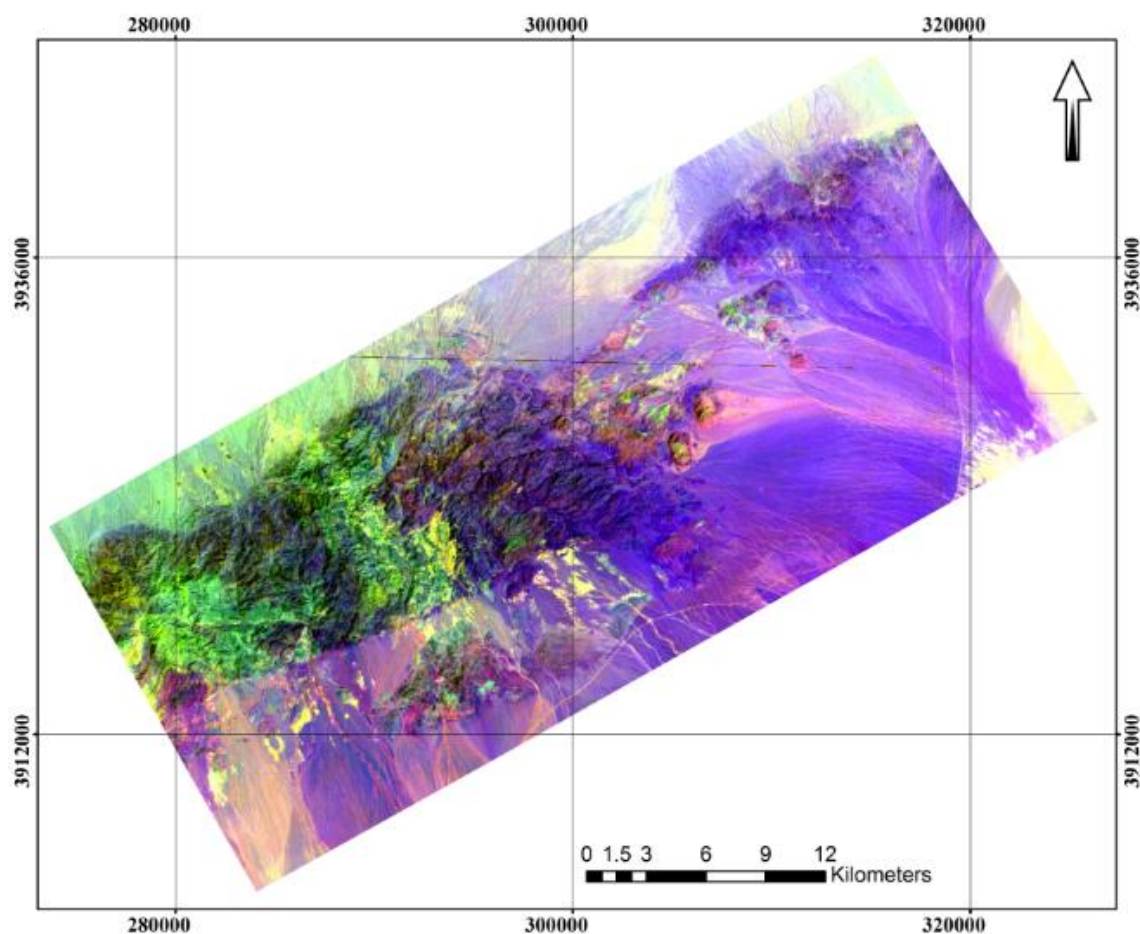
شکل ۴-۱۲- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۵، ۱۱ و ۱۳ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

نتایج حاصل از به‌کارگیری ترکیب رنگی کاذب ۱۳، ۹ و ۱ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی در شکل (۴-۱۳) ارائه شده است. در این تصویر واحدهای سنگی رسوبی، نوارماگمایی شامل توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی و مناطق دگرسانی منطقه ترود به خوبی از هم تفکیک شده‌اند و در تصویر برش داده شده حاصل از ترکیب باندهای ۱۳، ۹، ۱ RGB: شکل ۴-۱۳ توضیحات بیشتری داده شده است.



شکل ۴-۱۳- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱۳، ۹ و ۱ اسنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز آبی در محدوده مورد مطالعه

در تصویر ترکیب رنگی کاذب ۱۳، ۹ و ۱ RGB: که از باند ۱۳ (قرمز) باند ۹ (سبز) و باند یک (آبی) تهیه شده است مناطق دگرسانی رسی و پروپلیتی به ترتیب با رنگ زرد و سبز مشاهده می‌شود. رنگ قرمز اختصاص به توده‌های نفوذی دارد و رنگ آبی نمایانگر سنگ‌های آتشفشانی است. به دلیل این- که هیچ مرز واضح و مشخصی بین واحدهای ولکانیکی میزبان با توده‌های نفوذی نیمه عمیق وجود ندارد، در برخی مناطق در تصویر حاصله به دلیل وجود سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی در فاصله کم از هم، رنگ آبی و قرمز با هم تداخل پیدا کرده‌اند (شکل ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۴- ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای ۱۳، ۹ و ۱ سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه

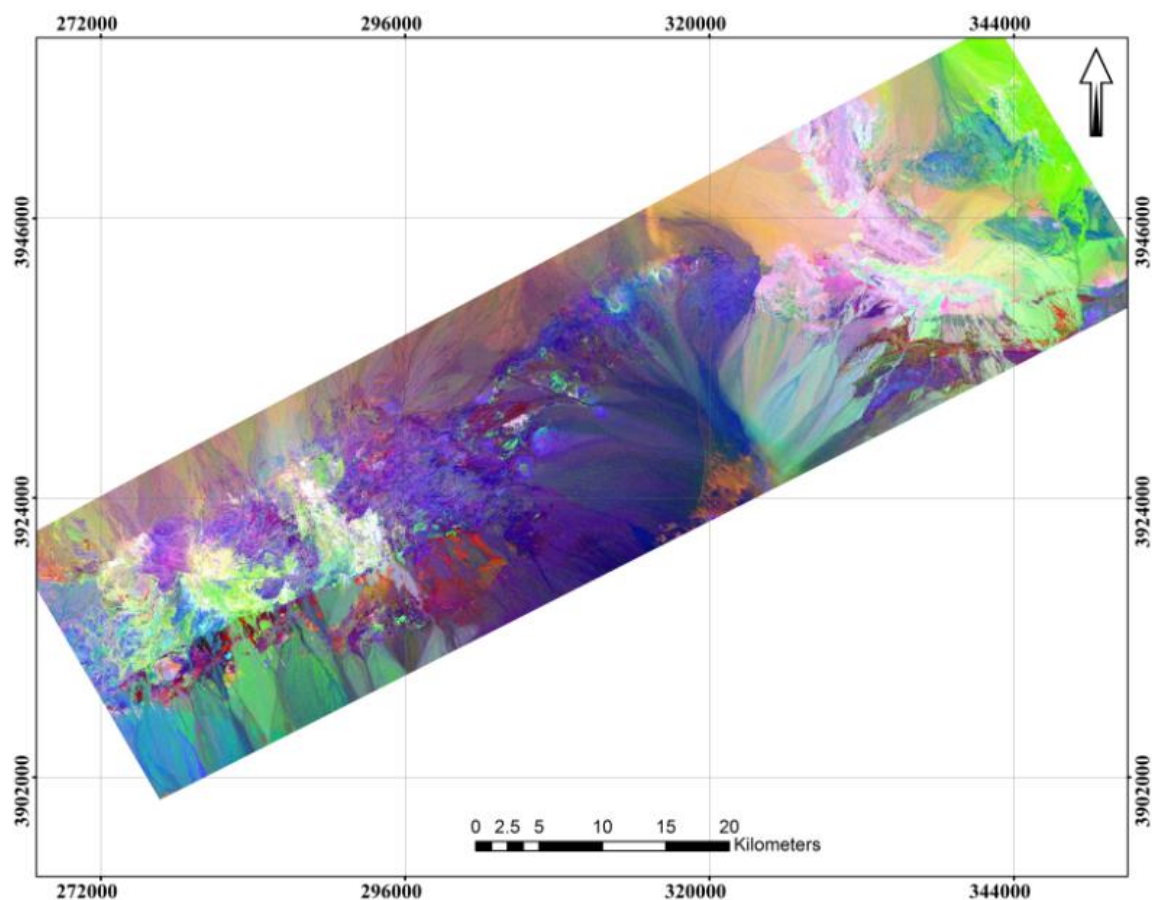
اعمال روش ترکیب رنگی کاذب در سنجنده  $ETM^+$ ، مجموعه ماگمایی، واحدهای رسوبی مختلف و مناطق دگرسانی (رسی و پروپلیتی) را تفکیک نموده است. براساس مقادیر شاخص بهینه در جدول (۴-۱) ترکیب رنگی ۳، ۱ و ۷ بهترین ترکیب رنگی شناخته شد. اما ترکیب رنگی ۵، ۳ و ۱ و ۴، ۷ و ۴ نیز دارای کم‌ترین مقدار همبستگی و مقادیر بالای شاخص OIF هستند ولی به دلیل این‌که هیچ مرز واضح و مشخصی بین واحدهای آتشفشانی میزبان با توده‌های نفوذی نیمه عمیق وجود ندارد، به خوبی نتوانسته‌اند این واحدها را از هم تفکیک نماید. ترکیب‌های رنگی استفاده شده در سنجنده

ASTER سبب بارزساری تمام واحدهای سنگی منطقه شده است. و توده‌های نفوذی را از سنگ‌های آتشفشانی میزبان متمایز کرده است همچنین مناطق دگرسانی رسی و پروپلیتی مشخص شده است.

### ۳-۴- کاربرد روش نسبتی در محدوده مورد مطالعه

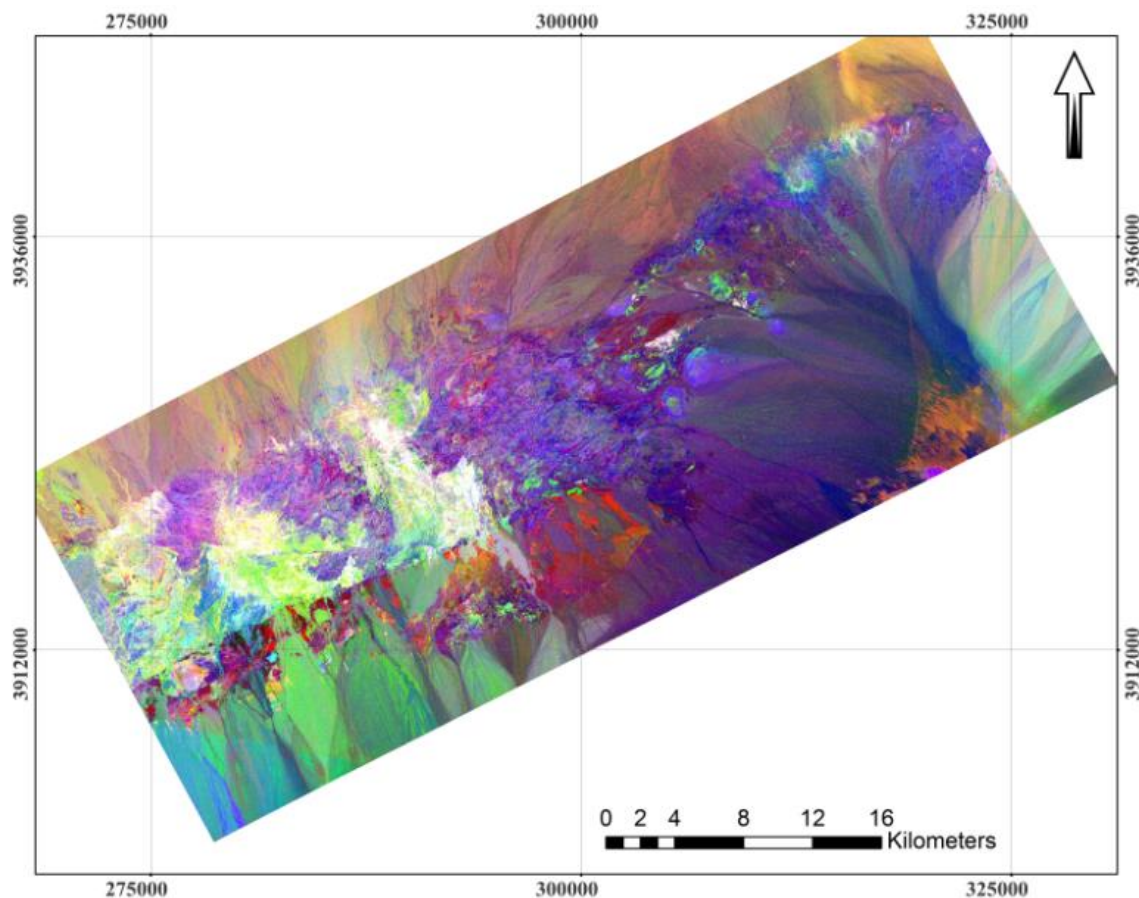
به منظور تفکیک واحدهای سنگی از نسبت‌های بانندی متفاوتی در منطقه مورد نظر استفاده شد. انتخاب باندهای مناسب در نسبت‌گیری باندها به انعکاس طیفی و باندهای جذبی سنگ‌های مورد مطالعه بستگی دارد. از نسبت‌های بانندی مختلف جهت تفکیک سنگ‌های مختلف استفاده شده که از میان آن‌ها، نسبت‌های بانندی  $3/1$ ،  $5/7$  و  $5/4$  در سنجنده لندست ۷، و نسبت‌های بانندی  $8/12$ ،  $2/1$  و  $13/14$  در سنجنده استر بهترین ترکیب رنگی را ایجاد کرده است.

نسبت باند ۵ به ۷ در مشخص کردن واحدهای رسوبی به کار می‌رود و نسبت باند ۳ به ۱ در آشکارسازی اکسید آهن منطقه مفید می‌باشد. در شکل (۴-۱۴) سنگ‌های رسوبی، مجموعه ماگمایی و دگرسانی‌ها به خوبی از یکدیگر متمایز شده‌اند. باندهای  $3/1$ ،  $5/4$  و  $5/7$  به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی ویژگی‌های زمین‌شناسی منطقه را آشکار می‌کند. در این ترکیب رنگی نسبت باند ۳ به باند ۱ برای اکسیدهای آهن بالاست، نسبت باند ۵ به باند ۷ برای کانی‌های رسی زیاد بوده و نسبت باند ۵ به باند ۴ برای اکسیدهای آهن و کانی‌های رسی به مقدار یکسانی است. اگر این نسبت‌ها را به ترتیب در باندهای قرمز، سبز و آبی قرار داده شوند در تصویر حاصله دگرسانی‌های رسی و پروپلیتی را به ترتیب با رنگ سفید و سبز، نوار ماگمایی به رنگ آبی و واحدهای رسوبی یاسی رنگ مشاهده می‌شوند. در تصاویر  $ETM^+$  با توجه به میزان انعکاس و جذب کانی‌ها در طول موج‌های مختلف از نسبت‌ها بانندی متفاوتی استفاده شده است. در شکل‌های زیر چند نمونه از آن‌ها مشاهده می‌شود.



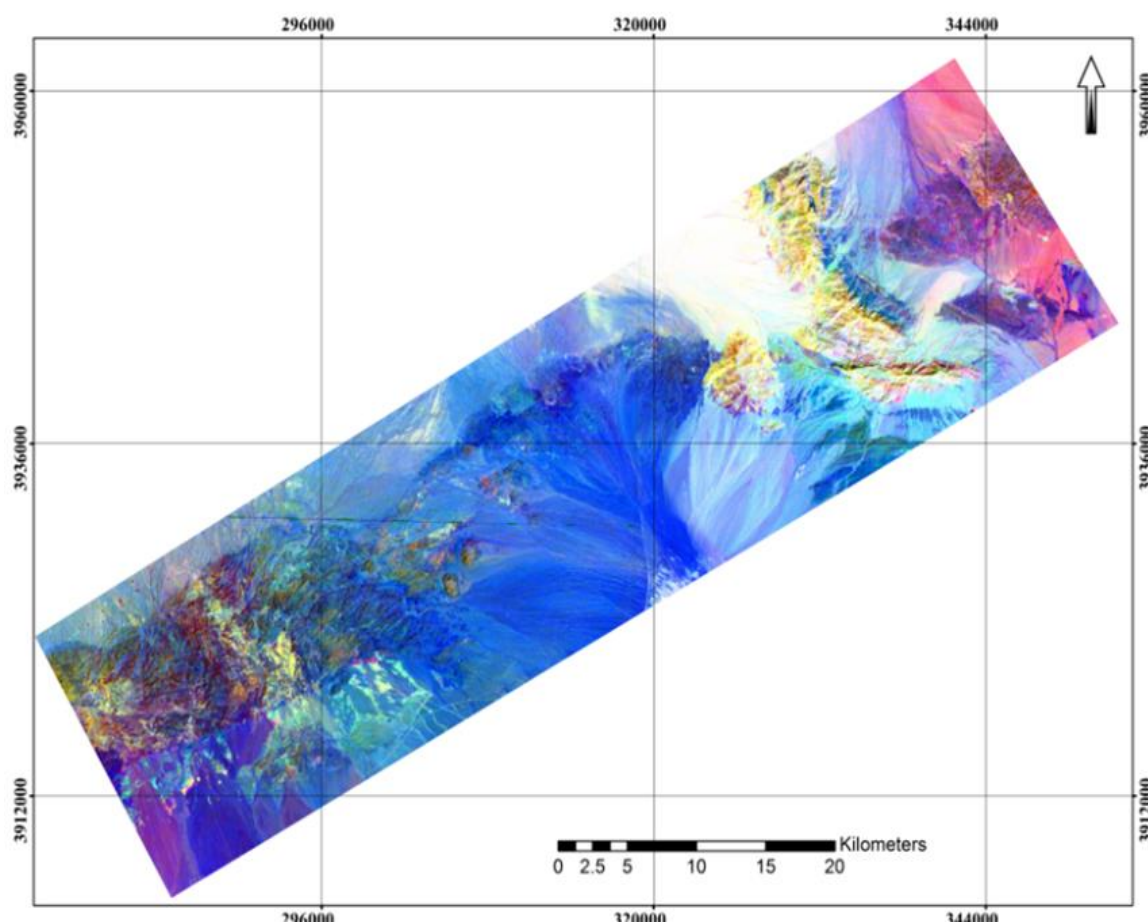
شکل ۴-۱۵- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت بانندی ۳/۱، ۵/۴، ۵/۷ از سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

جهت تفکیک بهتر مناطق دگرسانی از نسبت بانندی ۳/۱، ۵/۴ و ۵/۷، تصویر اصلی منطقه را برش داده و نوار ماگمایی منطقه از واحدهای رسوبی جدا شده است. در تصویر برش داده شده نوار ماگمایی منطقه ترود، حاصل از نسبت بانندی ۳/۱، ۵/۴ و ۵/۷ در سنجنده  $ETM^+$  مناطق دگرسانی رسی و پروپلیتی را به ترتیب با رنگ سبز و سفید در بین نوار ماگمایی مشخص شده‌اند. این نسبت بانندی در میان دیگر نسبت‌های بانندی در نشان دادن واحدهای دگرسانی عملکرد بهتری داشته است (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت باندهای ۳/۱، ۵/۷، ۵/۴ از سنجنده  $ETM^+$  در فیلترهای، قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه

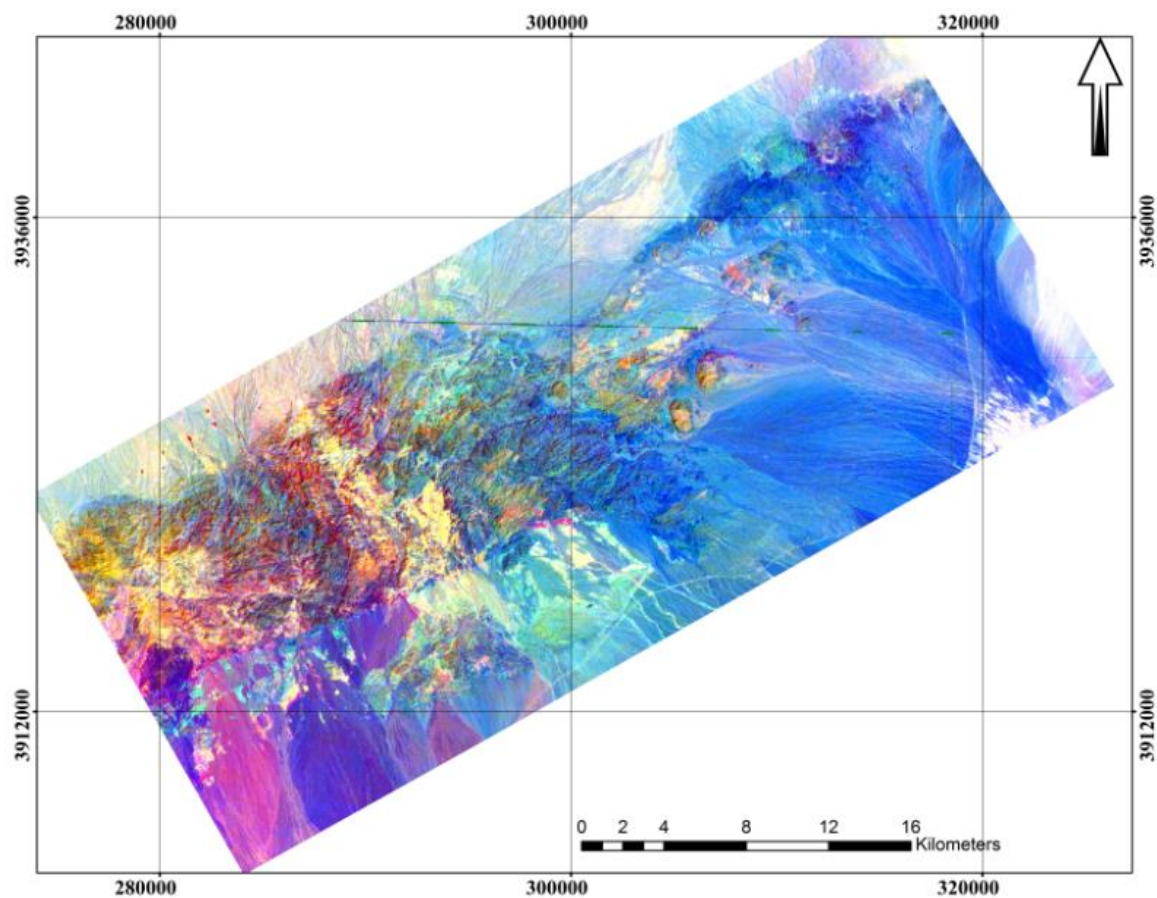
اگر نسبت‌های باندهای ۸/۱۲، ۲/۱ و ۱۳/۱۴ به ترتیب به کانال‌های قرمز، سبز و آبی اختصاص داده شوند، رنگ آبی نمایشگر سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد، توده‌های نفوذی در بین واحدهای آتشفشانی با رنگ نارنجی متمایز می‌شوند، دگرسانی‌ها به رنگ سفید و واحدهای رسوبی با رنگ کرم تا زرد، بسته به سن و جنس‌شان متفاوت هستند، به طوری که سنگ‌های آهکی زرد رنگ، کنگلومرای مربوطه با رنگ آبی روشن، شیل‌ها به رنگ یاسی، تناوب سنگ آهک و کنگلومرا به رنگ کرم متمایل به زرد مشخص شده است (شکل ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۷- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت باندهای ۸/۱۲، ۲/۱ و ۱۳/۱۴ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

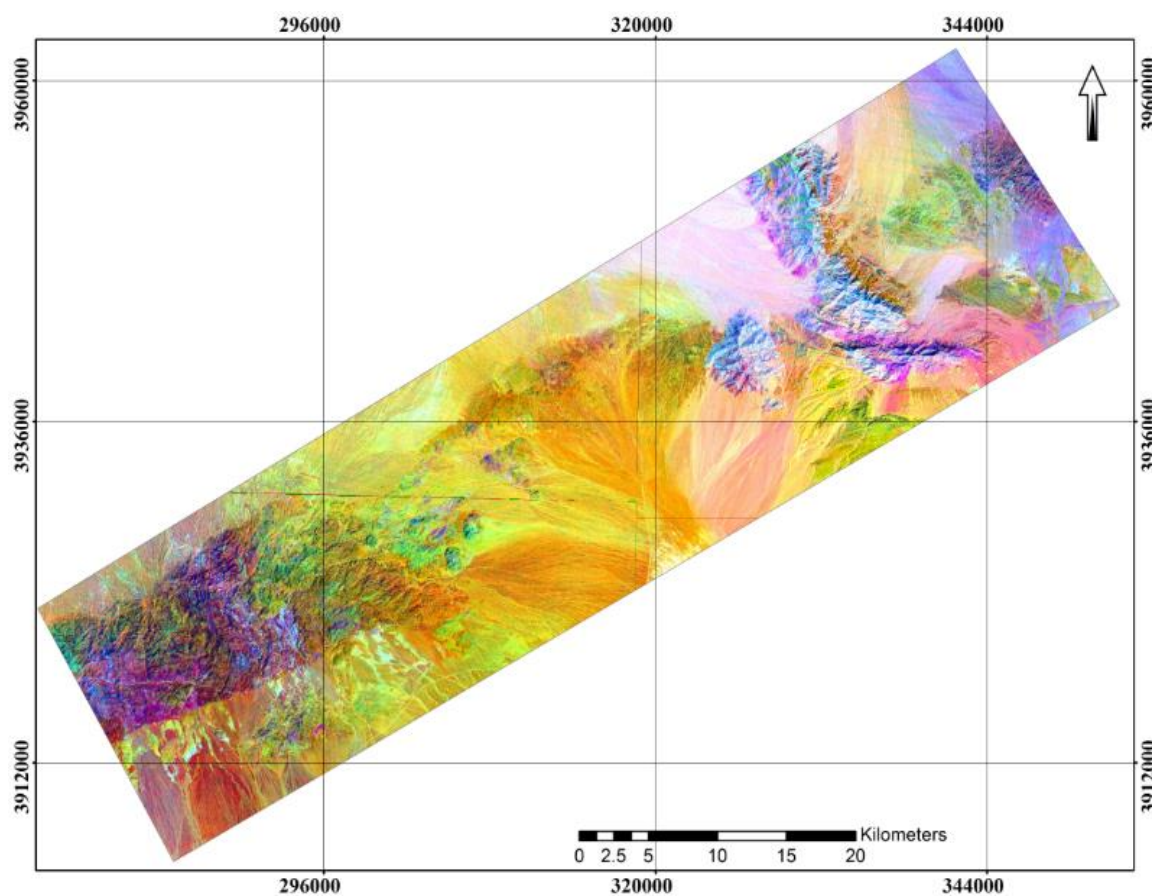
با توجه به مطالعات صحرایی منطقه ترود، نوار ماگمایی پهنه وسیعی از منطقه را احاطه می‌کند و در بین این پهنه مناطق دگرسانی گرمایی، که مناطق امیدبخش برای اکتشاف مواد معدنی می‌باشد مشاهده می‌شود. در شکل (۴-۱۸) تصویر رنگی مجازی حاصل از نسبت‌های باندهای ۸/۱۲، ۲/۱ و ۱۳/۱۴ سنجنده ASTER در باندهای قرمز، سبز و آبی بر روی نوار ماگمایی مشاهده می‌شود. در این ترکیب رنگی سنگ‌های آذرین درونی با رنگ نارنجی واحدهای آتشفشانی میزبان به رنگ آبی را قطع کرده‌اند. دگرسانی رسی با رنگ سفید از دگرسانی پروپلیتی با رنگ جگری متمایز شده است.





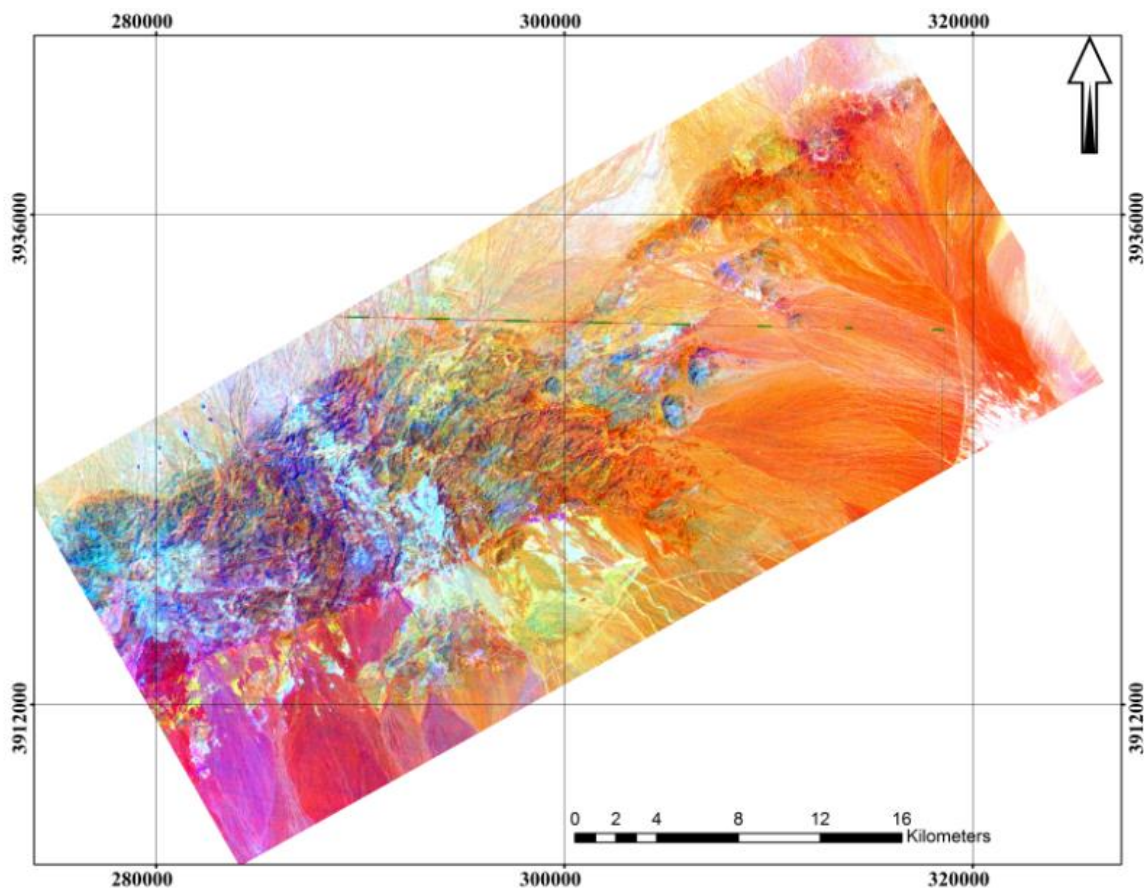
شکل ۴-۱۸- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت باندهای ۱۲/۸، ۲/۱، و ۱۳/۱۴ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه

تصویر ایجاد شده از نسبت باندهای ۱۳/۱۴، ۳/۴، ۸/۱۲ از سنجنده آستر به ترتیب از راست به چپ به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی، در (شکل ۴-۱۹) نمایش داده شده است در این تصویر سنگ آهک و کنگلومرای با هاله‌ای از رنگ صورتی در بین واحدهای آهکی - دولومیتی در شرق محدوده، با رنگ آبی تمایز پیدا کرده‌اند. به طور کلی تفکیک رسوبات آهکی با سن‌های متفاوت از یکدیگر به دلیل شباهت زیاد آن‌ها از نظر جنس‌شان تنها با روشن‌تر یا تیره‌تر شدن رنگ واحدهای رسوبی مشخص می‌شود. مناطق دگرسانی به رنگ قرمز، واحدهای آتشفشانی به رنگ نارنجی و توده‌های نفوذی به رنگ سبز آشکار شده است.



شکل ۴-۱۹- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت باندهای ۱۳/۱۴، ۳/۴ و ۸/۱۲ از سنجنده ASTER در فیلترهای قرمز، سبز و آبی در محدوده مورد مطالعه

مهم‌ترین کانی‌هایی که در دگرسانی‌های سطحی مرتبط با کانه‌زایی قابلیت بارزشدگی به وسیله تصاویر پردازش شده را دارند کانی‌های رسی و اکسید آهن هستند که وجود هر دوی این‌ها با هم مد نظر قرار داده می‌شود. استفاده از نسبت‌های باندهای بارزکننده دگرسانی‌ها از جمله روش‌های متداول در پردازش تصاویر ماهواره‌ای است، که بر پایه‌ی طیف بازتابش حداکثر و حداقل کانی‌ها بنا شده است. با توجه به بازتاب امواج الکترومغناطیس و رنگ‌های تولید شده در تصویر حاصل از نسبت باندهای ۱۳/۱۴، ۳/۴ و ۹/۱۱ در باندهای قرمز، سبز و آبی، مجموعه ماگمایی در این ناحیه، سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی می‌باشند که به ترتیب با رنگ‌های نارنجی و آبی مشاهده می‌شوند و نواحی دگرسانی رسی و پروپلیتی با رنگ‌های سفید و بنفش متمایز شده‌اند. (شکل ۴-۲۰)



شکل ۴-۲۰- تصویر رنگی مجازی حاصل از قرار دادن نسبت باندهی ۱۳/۱۴، ۳/۴ و ۸/۱۲ از سنجنده ASTER در فیلترها قرمز، سبز و آبی در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه

به طور کلی پردازش تصاویر سنجنده  $ETM^+$  با استفاده از روش نسبت‌های باندهی منجر به بارزسازی کانی‌های شاخص دگرسانی رسی و پروپلیتی، واحدهای رسوبی مختلف و مجموعه ماگمایی شده است. اما به دلیل عدم وجود مرز واضح و شاخص بین واحدهای آتشفشانی میزبان با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق در تصاویر سنجنده  $ETM^+$  این واحدها به خوبی از یکدیگر تفکیک نشده‌اند و در برخی از تصاویر پردازش شده تنها با روشن‌تر شدن رنگ سنگ‌های آتشفشانی مشاهده می‌شوند. اعمال روش نسبت‌های باندهی سنجنده ASTER تفکیک بهتری از واحدهای لیتولوژی داشته است و توده‌های نفوذی را در میان واحدهای آتشفشانی بارز ساخته است به طوری که توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با رنگ کاملاً مجزا از واحدهای آتشفشانی مشخص شده است.

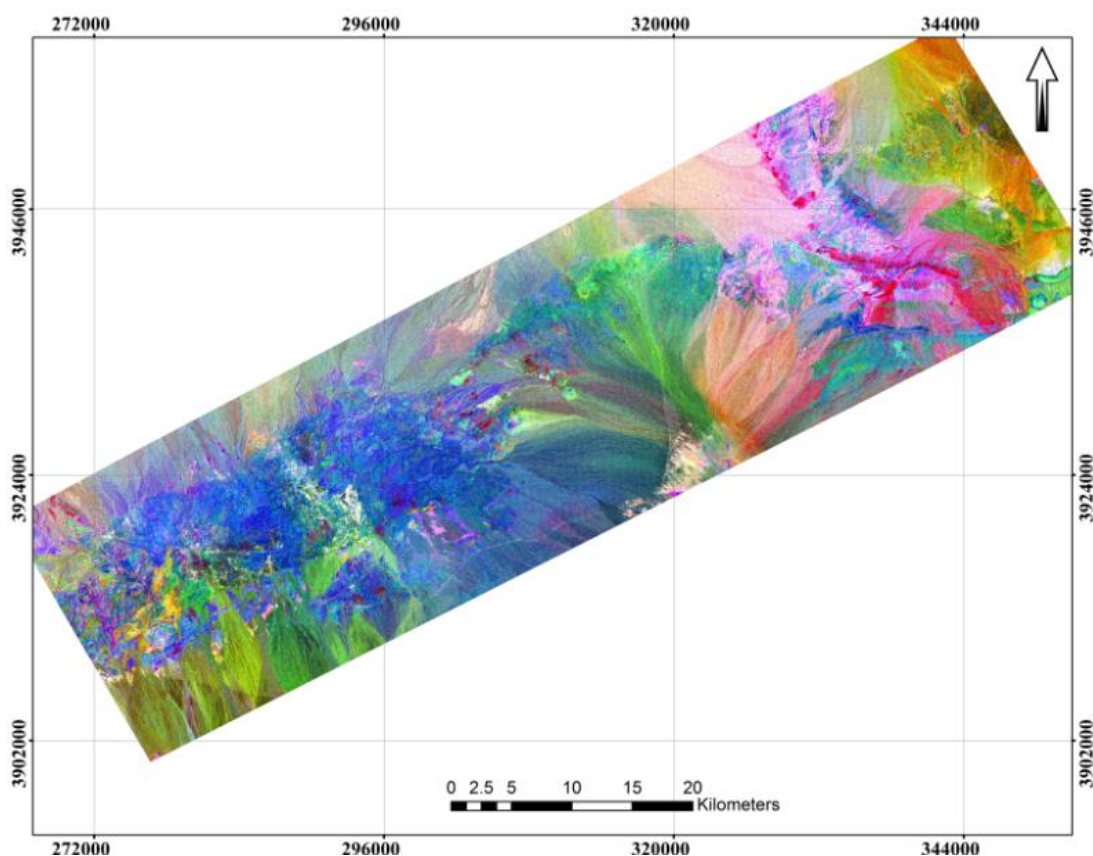
## ۴-۴- روش تحلیل مولفه اصلی در محدوده مورد مطالعه

روش تحلیل مولفه اصلی برای حذف اطلاعات زائد در داده‌های ماهواره‌ای کاربرد فراوانی دارد. PCA می‌تواند برای متراکم کردن اطلاعات موجود در تعدادی از باندها به دو یا سه باند تبدیل شده به کار رود. این توانایی کاهش ابعاد، یعنی کم کردن داده‌ها و باندهایی که برای تولید نتایج قابل استفاده تجزیه می‌شوند از نظر وقت و صرف هزینه حائز اهمیت است به ویژه اگر قابلیت استخراج اطلاعات از مولفه‌های جدید بالاتر از قابلیت استخراج اطلاعات از داده‌های اولیه و خام باشد (علوی پناه، ۱۳۸۷). مولفه‌های اصلی محاسبه شده برای باندهای انتخابی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ سنجنده ETM<sup>+</sup> در جدول (۳-۴) ارائه شده است. با توجه به این جدول بیشترین اختلاف به منظور نمایش مناطق دگرسانی و شناسایی بهتر واحدهای سنگی از تصویر با ترکیب رنگی PCA از PC3,+PC5- و جمع حاصل از PC3+ و PC5- استفاده می‌شود.

جدول ۳-۴- تحلیل مولفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده ETM<sup>+</sup> محدوده مورد مطالعه

Eigenvector	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band7
PC1	۰/۲۵۶	۰/۳۱۴	-۰/۳۹۱	۰/۴۹۲	۰/۵۰۷	۰/۴۲۱
PC2	۰/۴۷۸	۰/۳۲۶	-۰/۳۱۶	۰/۲۳۵	-۰/۵۷۴	-۰/۴۲۲
PC3	-۰/۵۲۹	-۰/۲۸۹	۰/۱۰۰	۰/۶۹۹	۰/۰۶۹	-۰/۳۶۸
PC4	-۰/۲۱۴	-۰/۱۲۹	۰/۱۳۷	۰/۱۴۱	۰/۶۳۵	۰/۷۰۳
PC5	۰/۵۵۹	-۰/۴۴۱	-۰/۵۸۰	۰/۳۷۹	۰/۰۲۵	۰/۱۰۲
PC6	-۰/۲۴۶	-۰/۷۰۶	۰/۶۱۶	۰/۲۲۱	-۰/۰۸۹	۰/۵۰۳

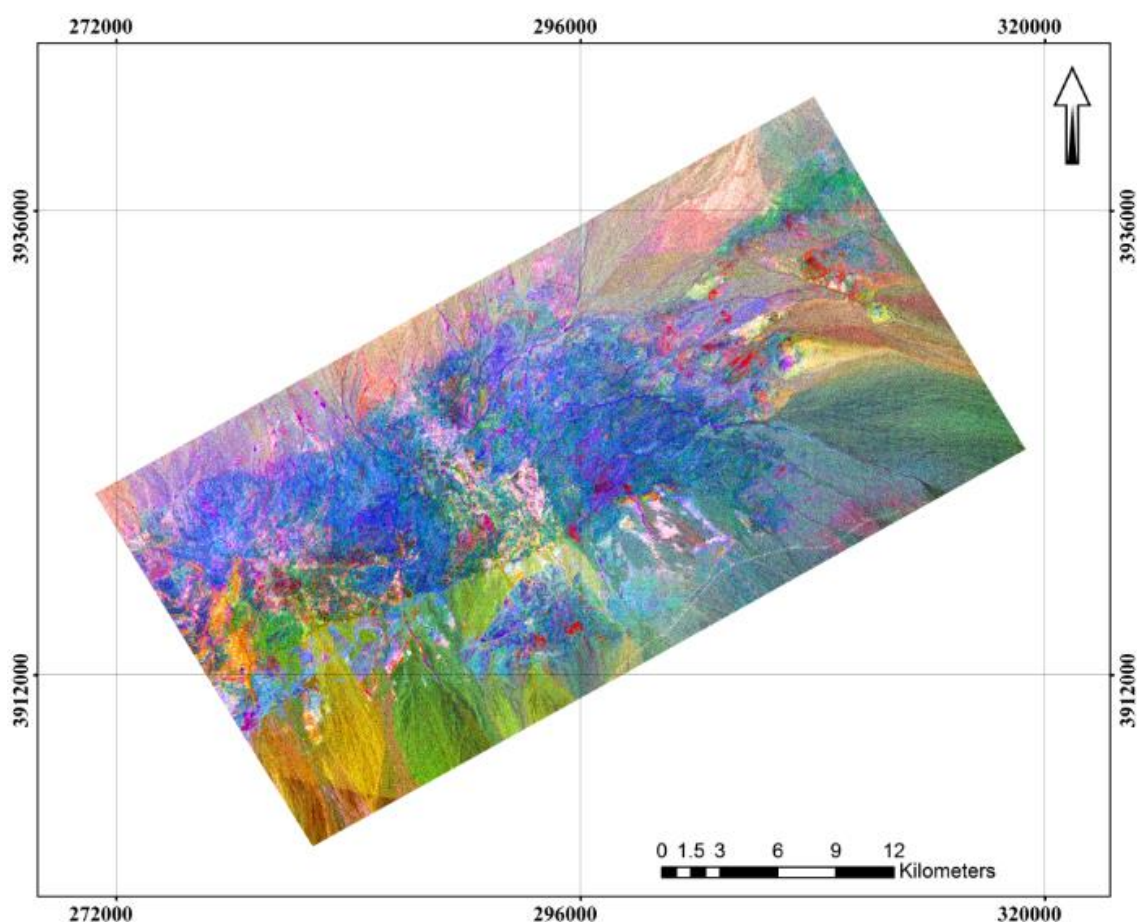
همانطور که در جدول (۳-۴) مشاهده می‌شود بیشترین اختلاف بین دو باند ۳ و ۱ برای نمایش کانی-های اکسید آهن در PC5 وجود دارد. در تصویر حاصل از PC5 باند ۳ مقداری منفی بوده و مقدار باند مثبت ۱ می‌باشد و تصویر حاصل از نسبت باند ۳ به باند ۱ با رنگ تیره مشخص می‌شود. برای روشن نمایش دادن این تصویر باید آن را در عدد منفی یک ضرب شود. همچنین اطلاعات طیفی کانی‌های هیدروکسیل در تصویر سنجنده‌ی ETM<sup>+</sup> به طور عمده در باندهای ۵ و ۷ متمرکز است. و همانطور که در جدول (۳-۴) مشاهده می‌شود بیشترین اختلاف میان باند پنج و باند هفت در PC5 مشاهده می‌شود. با اختصاص دادن PC حاصل از جمع دو PC3+ و PC5- به رنگ قرمز، PC3+ به رنگ سبز و PC5- به رنگ آبی تصویری حاصل می‌شود که در آن مناطق دگرسانی به رنگ سفید، سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی به ترتیب به رنگ آبی و قرمز و واحدهای رسوبی به رنگ آبی روشن و صورتی مشخص شده‌اند (شکل ۴-۲۱).



شکل ۴-۲۱ تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجنده‌ی ETM<sup>+</sup>

PC3+ , -PC5+ , PC3- , -PC5 در محدوده مورد مطالعه

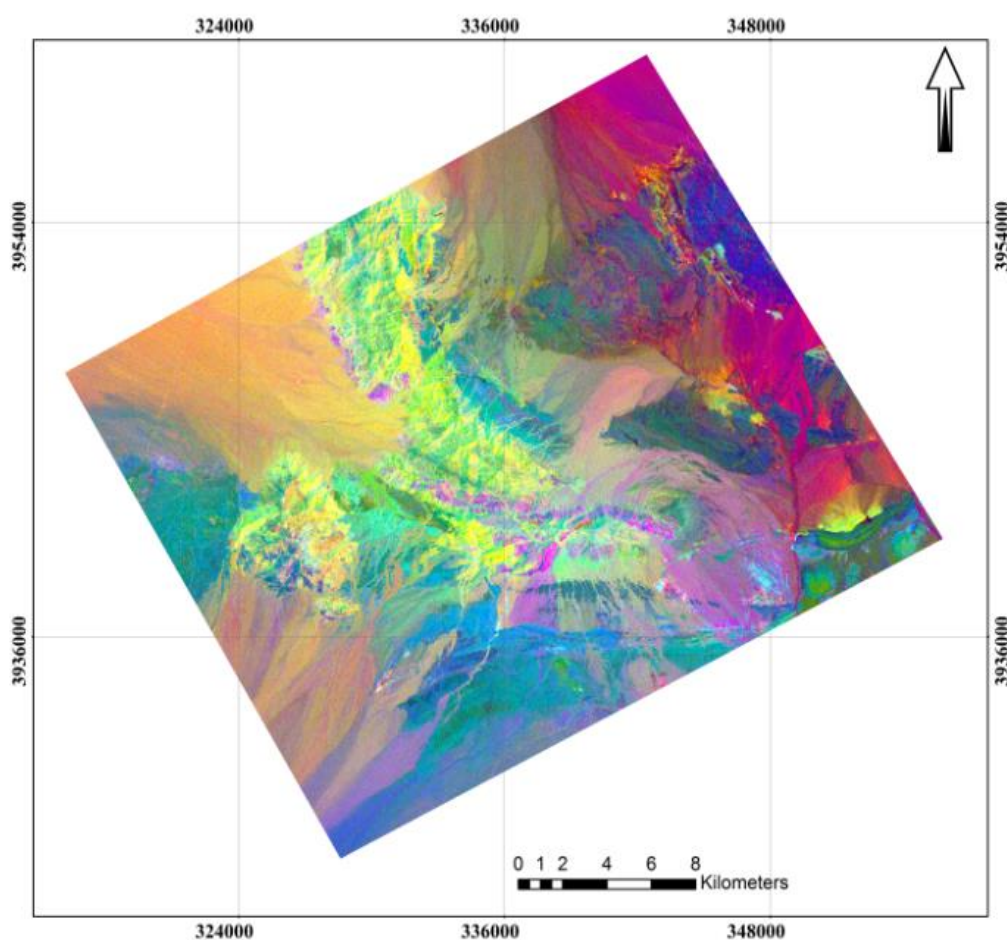
به منظور بدست آوردن تفکیکی مناسب از نواحی دارای کانی‌های رسی در ارتباط با دگرسانی، تصویر رنگی حاصل از آنالیز مولفه اصلی، PC حاصل از جمع دو PC3 و PC5، PC3 و PC5 - در رنگ - های قرمز، سبز و آبی بر روی سنجنده ETM<sup>+</sup> اعمال شد. در تصویر بدست آمده رنگ قرمز به توده‌های نفوذی منطقه اختصاص یافت و رنگ آبی نمایش دهنده سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد. واحدهای دگرسانی با رنگ سفید از نوار ماگمایی تمایز پیدا کرده‌اند شکل (۴-۲۲).



شکل ۴-۲۲- تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجنده‌ی ETM<sup>+</sup> در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه RGB: -PC5, +PC3, -PC5+PC3

علامت‌های مثبت یا منفی مقدار ضریب دهی بردار ویژه در فرایند نسبت‌گیری استفاده می‌شوند، چون آن‌ها مشخص می‌کنند که مولفه مورد نظر با پیکسل‌های روشن نمایان می‌شوند یا تاریک. در انتخاب بهترین مولفه اصلی، دو ضریب دهی باید علامت مخالف داشته باشند. در نتیجه، زمانی که صورت کسر

مثبت باشد پیکسل‌های روشن و زمانی که منفی باشد پیکسل‌های تیره، نشان‌دهنده منطقه مورد نظر خواهد بود (Kujjo, 2010). برای آشکارسازی دقیق تر واحدهای رسوبی با استفاده از روش آنالیز مولفه اصلی در ترکیب رنگی مولفه اصلی استاندارد، به صورت  $-PC5 + PC3$ ،  $PC5 + PC3$  - تهیه شده در این تصویر که فقط بر روی واحدهای رسوبی شرق منطقه اعمال شد از هم تفکیک شده‌اند (شکل ۴-۲۳). مطابق این شکل سنگ‌آهک‌ها با رنگ‌های صورتی و زرد مایل به سبز از یکدیگر تفکیک شده‌اند. علت متفاوت بودن رنگ سنگ‌آهک‌ها بیانگر متفاوت بودن سن و جنس آن‌ها می‌باشد. شیل‌ها با رنگ آبی تیره، سنگ‌های آتشفشانی با رنگ آبی روشن مشخص شده‌اند.



شکل ۴-۲۳ - تصویر رنگی مجازی حاصل از تحلیل مولفه‌ی اصلی روی ۶ باند سنجنده‌ی  $ETM^+$   $-PC5 + PC3$ ،  $PC5 + PC3$ ،  $RGB$ : در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه

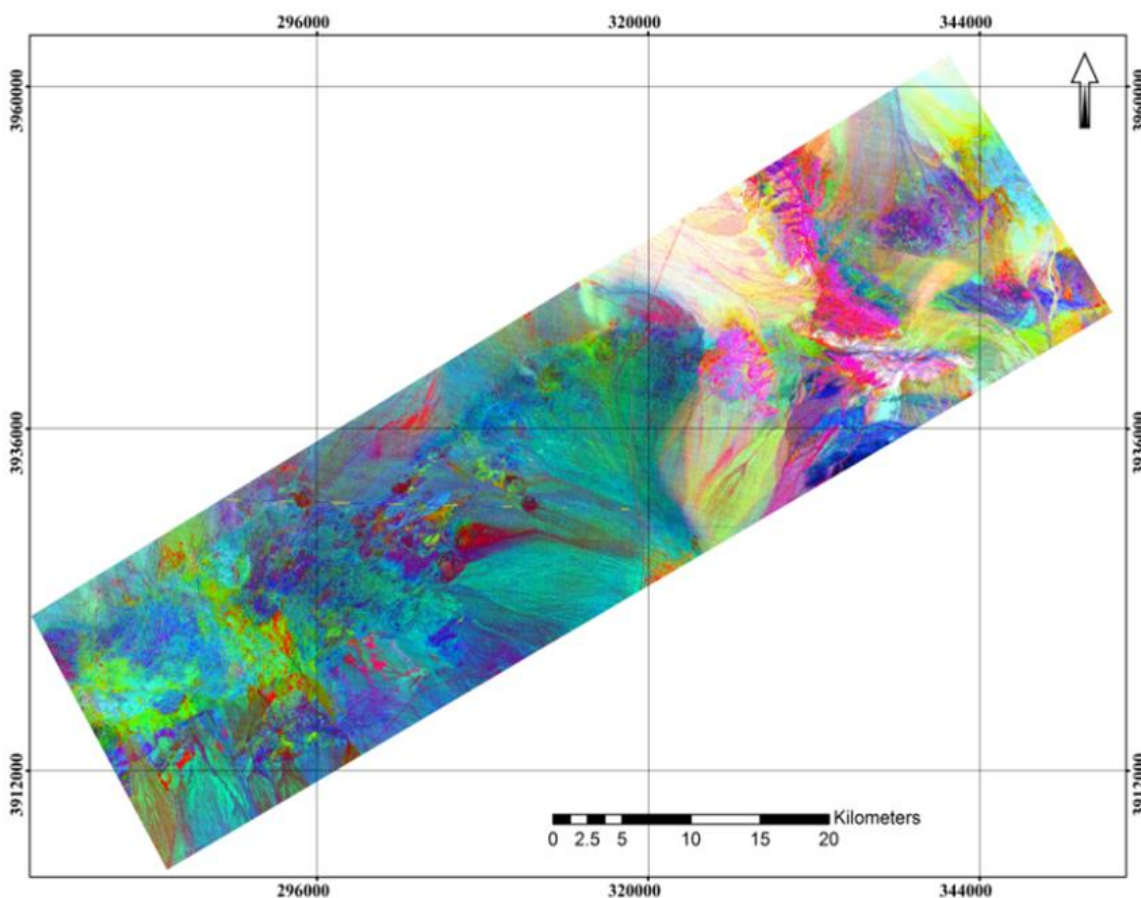
در تصاویر استر برای بارزسازی کانی‌های رسی از نسبت پنج به شش استفاده شد. بیشترین اختلاف بین دو باند پنج و شش در PC5 مشاهده شد. در واقع، بیشترین اختلاف میان باند پنج و باند شش در PC5 مشاهده می‌شود، اما از آنجایی که باند پنج که دارای بازتاب بالایی برای کانی‌های رسی است، عددی منفی است (۰.۹۹-). در تصویر حاصل از PC5 پیکسل‌های تیره نمایان‌گر کانی‌های رسی هستند، بنابراین، به منظور نمایش کانی‌های رسی به صورت پیکسل‌های روشن، PC5- یا PC5 معکوس ساخته شد. همچنین از نسبت پنج به هشت برای نمایش دگرسانی پروپلیتی استفاده شد. بیشترین میزان اختلاف بین دو باند پنج و هشت را نمایش می‌دهد. سپس از این PCها یک تصویر با ترکیب رنگی (PC5+PC11, PC5-PC11) در محیط RGB ساخته شد. مولفه‌های اصلی انتخاب شده برای تصاویر استر در جدول (۴-۴) آمده است.

جدول ۴-۴ تحلیل مولفه اصلی بر روی ۸ باند سنجنده ASTER محدوده مورد مطالعه

Eigenvector	Band1	Band2	Band3	Band4	Band5	Band6	Band7	Band8
PC1	۰/۰۰۱۶	-۰/۱۳۵	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	...	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
PC2	-۰/۴۹۸	۰/۵۵۲	۰/۳۷۴	-۰/۲۰۹	۰/۲۲۳	۰/۰۲۳۴	۰/۲۱۶	۰/۲۱۸
PC3	-۰/۰۴۰	۰/۰۷۰	۰/۰۶۵	-۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵	۰/۰۴۸
PC4	-۰/۴۵۶	-۰/۲۳۷	-۰/۰۴۵	۰/۲۹۷	۰/۳۴۷	۱/۳۵۶۰	۰/۳۰۲	۰/۲۶۵
PC5	-۰/۱۴۲	۰/۱۸۱	۰/۱۲۵	۰/۰۵۹	-۰/۰۹۹	۰/۰۹۷	۰/۰۹۴	۰/۰۶۸
PC6	-۰/۰۵۵	-۰/۰۷۷	-۰/۰۲۴	۰/۰۷۹	۰/۰۷۸	۰/۰۸۱	۰/۰۶۶	۰/۰۶۷
PC7	-۰/۰۶۲	-۰/۰۱۹	-۰/۰۴۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۹	۰/۰۲۱	۰/۰۷۴	۰/۱۲۲
PC8	-۰/۶۷۸	۰/۳۹۹	۰/۵۵۱	-۰/۰۱۲	-۰/۰۱۴	۱/۱۳۱۰	-۰/۰۶۲	۰/۱۲۱
PC9	-۰/۹۱۹	۰/۰۹۵	۰/۲۴۲	-۰/۴۸۸	-۰/۰۲۲	۰/۲۳۵	۰/۲۱۶	۰/۶۹۸
PC10	-۰/۲۳۷	۰/۴۶۸	۰/۶۷۴	۰/۰۸۳	-۰/۱۲۲	۰/۱۱۰	-۰/۰۱۸	۰/۱۳۷
PC11	۰/۰۲۹۶	۰/۰۵۶	۰/۰۸۶	-۱/۲۱۰	۰/۰۹	۰/۰۳۰	-۰/۲۱۹	-۰/۳۶۲



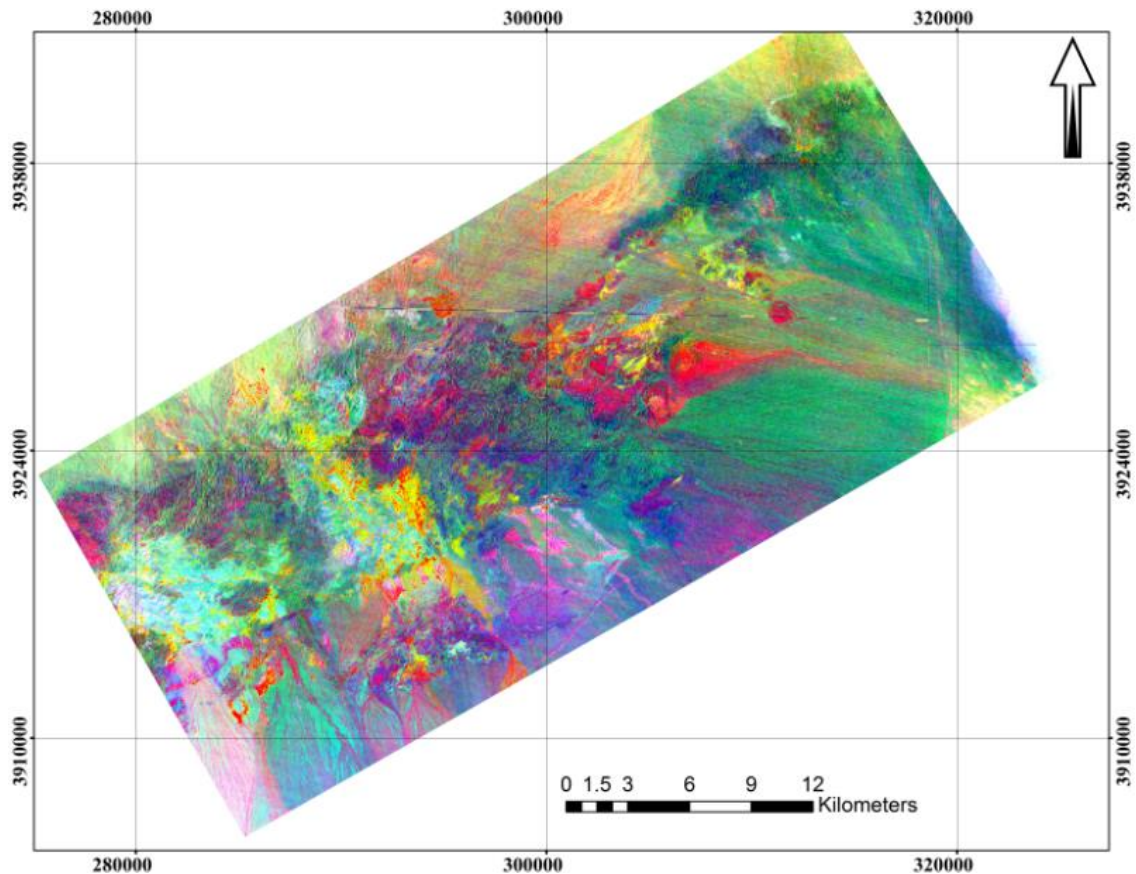
ترکیب رنگی حاصل از اعمال روش تحلیل مولفه‌های اصلی (PC11+, -PC5, PC11, - PC5) در محیط RGB دگرسانی رسی به رنگ زرد و رنگ آبی نمایشگر دگرسانی پروپلیتیک می‌باشد. واحد-های رسوبی با صورتی روشن و تیره و رنگ سبز و قرمز اختصاص به سنگ‌های آتشفشانی و توده‌های نفوذی دارد. در واقع ترکیب رنگی حاصل از (PC11+, -PC5, PC11, - PC5) در نمایش تمام واحد-های سنگی منطقه موفق عمل کرده و توانسته تمامی واحدهای سنگی را از هم تفکیک کند.



شکل ۴-۲۴- تصویر رنگی مجازی نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی روی باندهای سنجنده ASTER  
RGB: PC11+, -PC5, PC11, - PC5 محدوده مورد مطالعه

مناطق دگرسانی رسی و پروپلیتی در تصویر حاصل از تحلیل مولفه‌های اصلی (PC11+, -PC5, PC11, - PC5) به رنگ‌های قرمز، سبز و آبی در شکل (۴-۲۵) با جزئیات بیشتری نمایش داده شده‌است. در این تصویر زون‌های دگرسانی رسی (آرژیلیتی و فیلیتی) نیز از هم متمایز شده‌اند. دگرسانی آرژیلیک با رنگ صورتی در میان دگرسانی فیلیک با رنگ زرد کاملاً تمایز پیدا کرده‌اند.

همچنین دگرسانی پروپلیتی در تصویر رنگی مجازی نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی روی باندهای سنجنده ASTER با رنگ آبی مشخص شده است.



شکل ۴-۲۵ - تصویر رنگی مجازی نهایی حاصل از تحلیل مولفه اصلی روی باندهای سنجنده ASTER  
 RGB: PC11, - PC5, -PC 11+(-PC5) در بخش غربی محدوده مورد مطالعه

هر تصویر مولفه اصلی، دارای اطلاعاتی از همه باندهای طیفی است و مانند تصاویر نسبی، به عنوان تصویر جداگانه سیاه و سفید می‌توانند تحلیل شوند، یا هر سه تصویر مولفه اصلی برای تشکیل یک ترکیب رنگی با یک‌دیگر ترکیب شوند. در این حالت، بیشترین واریانس  $n$  باند طیفی در یک تصویر ترکیب رنگی مشاهده می‌شود. این واریانس بیشتر از واریانس است که در ترکیب رنگی باندهای طیفی معمولی ایجاد می‌شود و جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های مختلف زمین‌شناسی مانند واحدهای سنگی و دگرسانی نمایش می‌دهد. بنابراین به زمین‌شناسان کمک می‌کند تا مرز بین

مناطقى که در تصاویر ترکیب رنگی حاصل از باندهای خام قابل تشخیص نیست را مشخص می‌کنند همچنین کاربر می‌تواند مناطق کوچکی را که از نظر طیفی کاملاً متفاوت از کل صحنه هستند (مانند مناطق دگرسان‌شده) مشخص می‌کند (Vincent, 1997). نتایجی که از روش PCA به دست آمد در بارزسازی واحدهای سنگی منطقه عملکرد بهتری نسبت به روش‌های قبلی داشته است اعمال این روش در تصاویر سنجنده  $ETM^+$  توانسته توده‌های نفوذی منطقه را از واحدهای آتشفشانی میزبان تفکیک نماید و واحدهای رسوبی مختلف را شناسایی کرده است و در تصاویر سنجنده ASTER مناطق دگرسانی فیلیک و آرژیلیک آشکار کرده است.

#### ۴-۲- تحلیل مولفه اصلی انتخابی (روش کروستا)

روش تحلیل مولفه‌های انتخابی یک تکنیک آماری چند متغیره است که ترکیبات خطی ناهمبسته (بار بردار ویژه) از متغیرهاست، در چنین راهی است که متناوباً ترکیب خطی استخراج یا جزء اصلی (PC) یک واریانس کوچک‌تر دارد. هدف اصلی از آنالیز PC از بین بردن داده‌های زائد از داده‌های چند طیفی است آنالیز مولفه اصلی در نقشه‌برداری دگرسانی ایالت‌های متالورژیک زیاد استفاده می‌شود. اغلب اوقات PCA با کاهش ابعادی اطلاعات پردازش شده در یک الگوریتم هدف مشخص یا برای کاهش نویز تصاویر فراطیفی استفاده می‌شود.

تحلیل مولفه اصلی انتخابی بر حسب نوع هدف، تعداد مشخصی از باندها انتخاب می‌شوند. در این روش آنالیز مولفه اصلی معمولاً بر روی چهار باند اعمال می‌شود بررسی بردارهای ویژه به دست آمده از تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی که اطلاعات آن مستقیماً مرتبط با علائم طیفی تئوری هدف مورد نظر است. در این روش برای شناسایی کانی‌های رسی در سنجنده  $ETM^+$ ، به دلیل این‌که کانی‌های رسی در باند یک و پنج دارای بیشترین انعکاس و در باندهای چهار و هفت دارای بیشترین جذب هستند باید مولفه‌ای را انتخاب کرد که دارای بارگذاری مناسب در این محدوده باشد.

در جدول (۴-۵) مقادیر ویژه آنالیز مولفه‌های اصلی بر روی باندهای ۱، ۴، ۵، ۷ برای شناسایی مناطق دارای کانی‌های رسی نشان داده شده است. با توجه به این جدول بیشترین اختلاف بین مقادیر باند ۵ و ۷ در PC4 می‌باشد.

جدول ۴-۵- تحلیل مولفه‌ی اصلی برای نقشه‌برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی  $ETM^+$  از منطقه‌ی مورد مطالعه

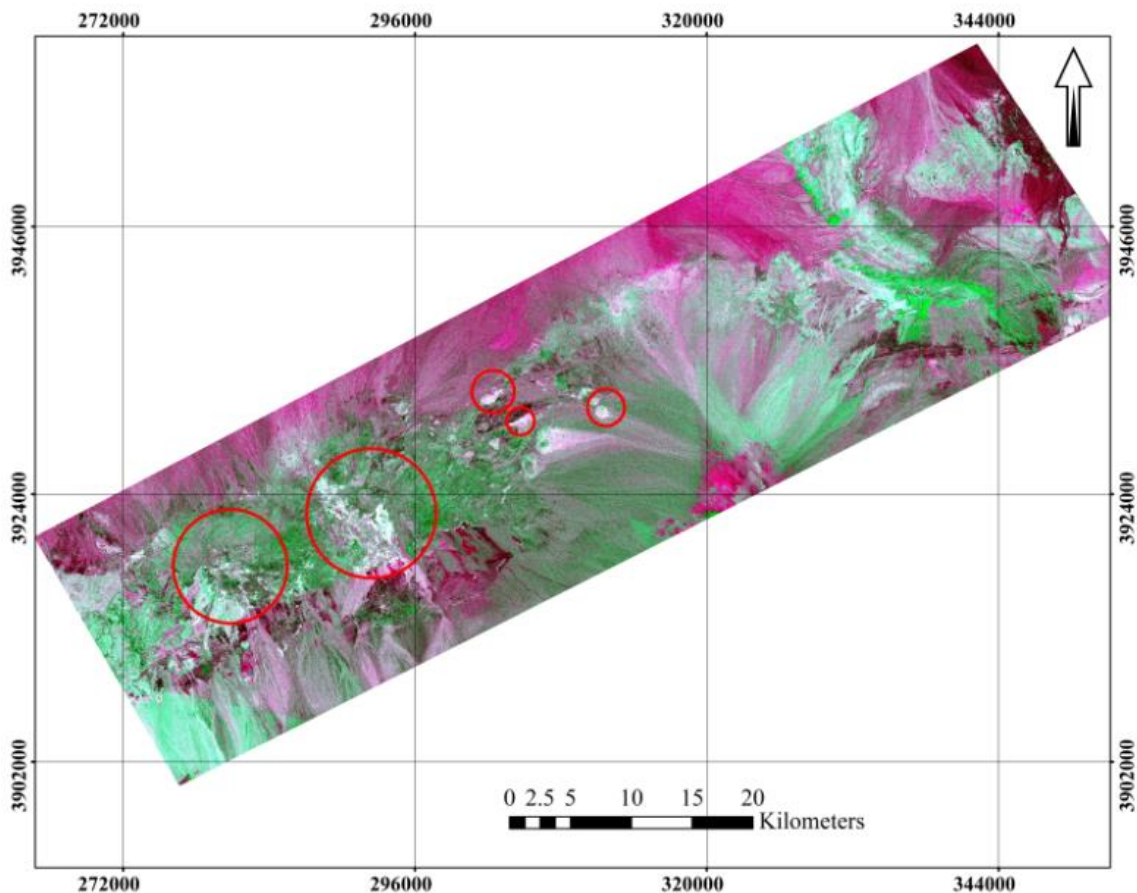
Eigenvector	Band1	Band4	Band5	Band7
PC1	۰/۲۶۵	۰/۴۲۹	۰/۵۰۷	۰/۴۲۱
PC2	۰/۸۴۷	۰/۲۳۵	۰/۵۷۴	۰/۰۴۲
PC3	-۰/۵۲۹	۰/۶۹۹	۰/۰۰۶	۰/۰۳۶
PC4	۰/۲۱۴	۰/۳۷۹	=۰/۶۳۵	۰/۷۰۳

همچنین در روش کروستا برای نمایش اکسید آهن در سنجنده  $ETM^+$  از باندهای ۱، ۳، ۴، ۵ استفاده شد. با توجه به این که نسبت باند ۳ به باند ۱ برای آشکار سازی اکسید آهن به کار می‌رود، بیشترین اختلاف بین باند ۳ و ۱ در PC5 مشاهده شد (جدول ۴-۶).

جدول ۴-۶- تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی  $ETM^+$  منطقه‌ی مورد مطالعه

Eigenvector	Band1	Band3	Band 4	Band5
PC1	۰/۲۶۵	۰/۳۱۹	۰/۴۹۲	۰/۵۰۷
PC3	۰/۴۷۸	۰/۳۱۶	۰/۲۳۵	۰/۵۷۴
PC4	۰/۵۲۹	۰/۱۰۰	۰/۶۹۹	۰/۰۰۶
PC5	-۰/۲۱۴	۰/۱۳۷	۰/۱۴۱	۰/۶۳۵

برای شناسایی زون‌های دگرسانی به روش کروستا، از یک ترکیب رنگی مناسب در محیط RGB، یعنی PC5 به رنگ قرمز، PC4 به رنگ آبی و میانگین دو تصویر قبل به رنگ سبز استفاده شد. در این ترکیب رنگی مناطق دگرسانی به رنگ سفید و با دایره‌های قرمز نمایش داده شده‌اند (شکل ۴-۲۶).



شکل ۴-۲۶- تصویر رنگی مجازی روش کروس‌تای چهار باندهای  $ETM^+$  حاصل از ترکیب  $PC4+PC5$  و  $PC5$ ،  $PC4$  و  $RGB:PC4$  محدوده مورد مطالعه

از روش کروس‌تای برای بارزسازی مناطق دگرسانی، بر روی داده‌های سنجنده *ASTER* نیز استفاده شد. برای متمایز شدن کانی‌های رسی باندهای ۱، ۴، ۶، ۷ به دلیل بیشترین و کم‌ترین انعکاس انتخاب شدند و نسبت باندهای ۴ به ۶ در  $PC4$  دارای بیشترین مقدار اختلاف می‌باشد (جدول ۴-۸). همچنین برای نقشه‌برداری دگرسانی پروپلیتیک از چهار باند ۱، ۴، ۵، ۸ و برای دگرسانی فیلیک از چهار باند ۴، ۵، ۶، ۹ استفاده شد و بیشترین اختلاف برای دگرسانی پروپلیتیک و فیلیک به ترتیب در باندهای  $PC8$  و  $PC9$  می‌باشد. چون در هر دو باند دگرسانی‌ها به رنگ تیره نمایان می‌شوند باندها را در عدد منفی یک ضرب شده است.

جدول ۴-۷ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی استر در منطقه‌ی تروود

Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 6	Band 7
PC1	۰/۰۳۴	۰/۲۰۹	۰/۰۱۷	۰/۰۱۴
PC2	۰/۰۳۰	۰/۱۵۹	۰/۰۰۵	۰/۰۱۲
PC3	-۰/۰۱۹	۰/۰۲۷	۰/۲۰	۰/۰۳۴
PC4	۰/۰۱۶	۰/۱۳۰	۰/۰۱۹	۰/۰۲۱

جدول ۴-۸ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری دگرسانی پروپلیتیک بر روی چهار باند انتخابی استر در منطقه‌ی تروود

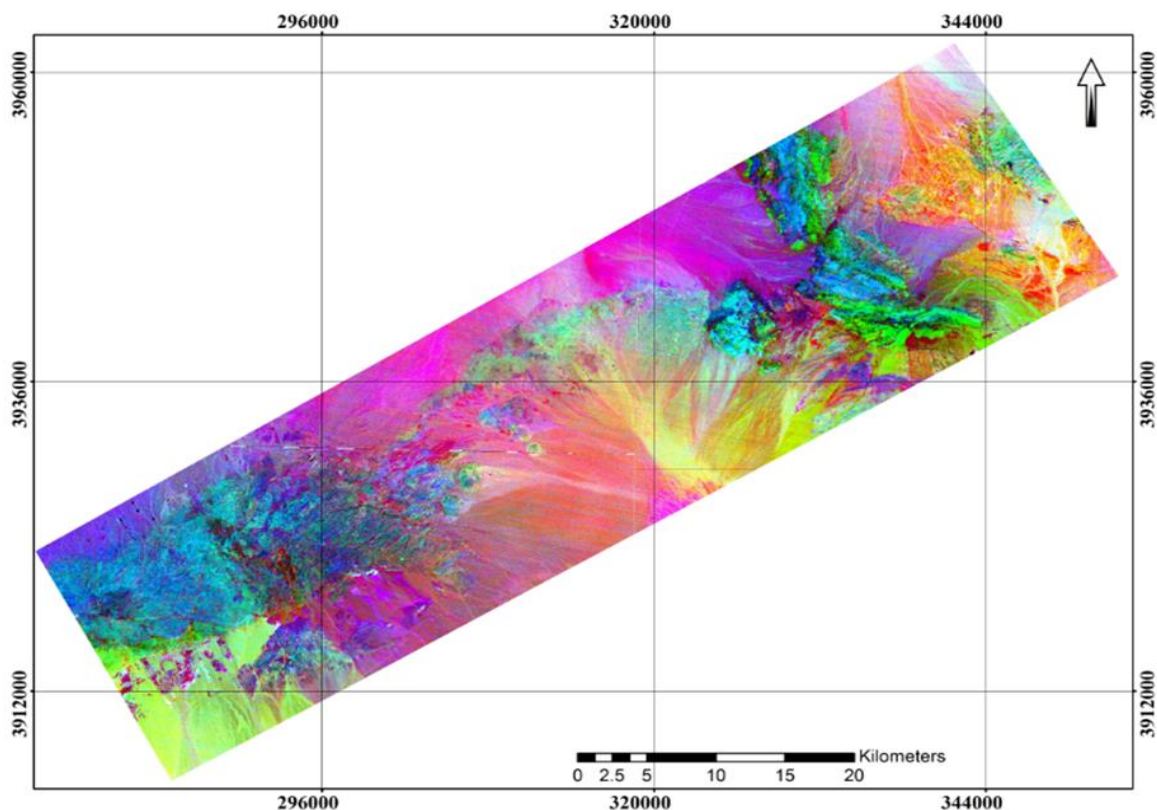
Eigenvector	Band 1	Band 4	Band 5	Band 8
PC1	۰/۰۳۴	۰/۲۰۹	-۰/۳۸۵	۰/۶۸۴
PC4	۰/۰۳۰	۰/۱۵۹	-۰/۳۱۴	۰/۳۳۰
PC5	۰/۰۱۹	۰/۰۲۷	-۱/۱۵۶۰	۰/۵۸۹
PC8	۰/۰۱۶	-۰/۰۱۳	۰/۲۸۷	-۰/۱۰۵

جدول ۴-۹ تحلیل مولفه اصلی برای نقشه برداری دگرسانی فیلیک بر روی چهار باند انتخابی استر در منطقه‌ی تروود

Eigenvector	Band 4	Band 5	Band 6	Band 9
PC4	۰/۲۰۹	۰/۳۸۵	۰/۰۱۷	۰/۱۰۵
PC5	۰/۱۵۹	-۰/۳۱۴	۰/۰۰۵	۰/۰۳۸
PC6	۰/۲۷۰	-۰/۱۵۶	۰/۰۲۰	۰/۲۲۹
PC9	۰/۱۳۰	۰/۲۸۷	۰/۰۱۹	۰/۵۱۳

برای آشکارسازی دقیق‌تر دگرسانی گرمابی در تصاویر سنجنده ASTER با استفاده از تصاویر نسبت، و با توجه به این‌که این نوع دگرسانی‌ها در این تصاویر براساس کانی‌های آهن و هیدروکسیل مشخص می‌شود ترکیب سه تصویر نسبتی در رنگ‌های RGB که منجر به ترکیب رنگی نسبت می‌شود باعث ادغام مناطق حاوی اکسید آهن و هیدروکسیل شده و این مناطق را بهتر بارزسازی می‌کند.

در ترکیب رنگی حاصل از PC4, PC8, PC9- در محیط RGB یک تصویر مناسب برای تفکیک مناطق دگرسانی ایجاد می‌شود. که در این تصویر دگرسانی فیلیک با رنگ قرمز و دگرسانی آرژیلیک با رنگ سبز در دایره قرمز رنگ نمایان است.

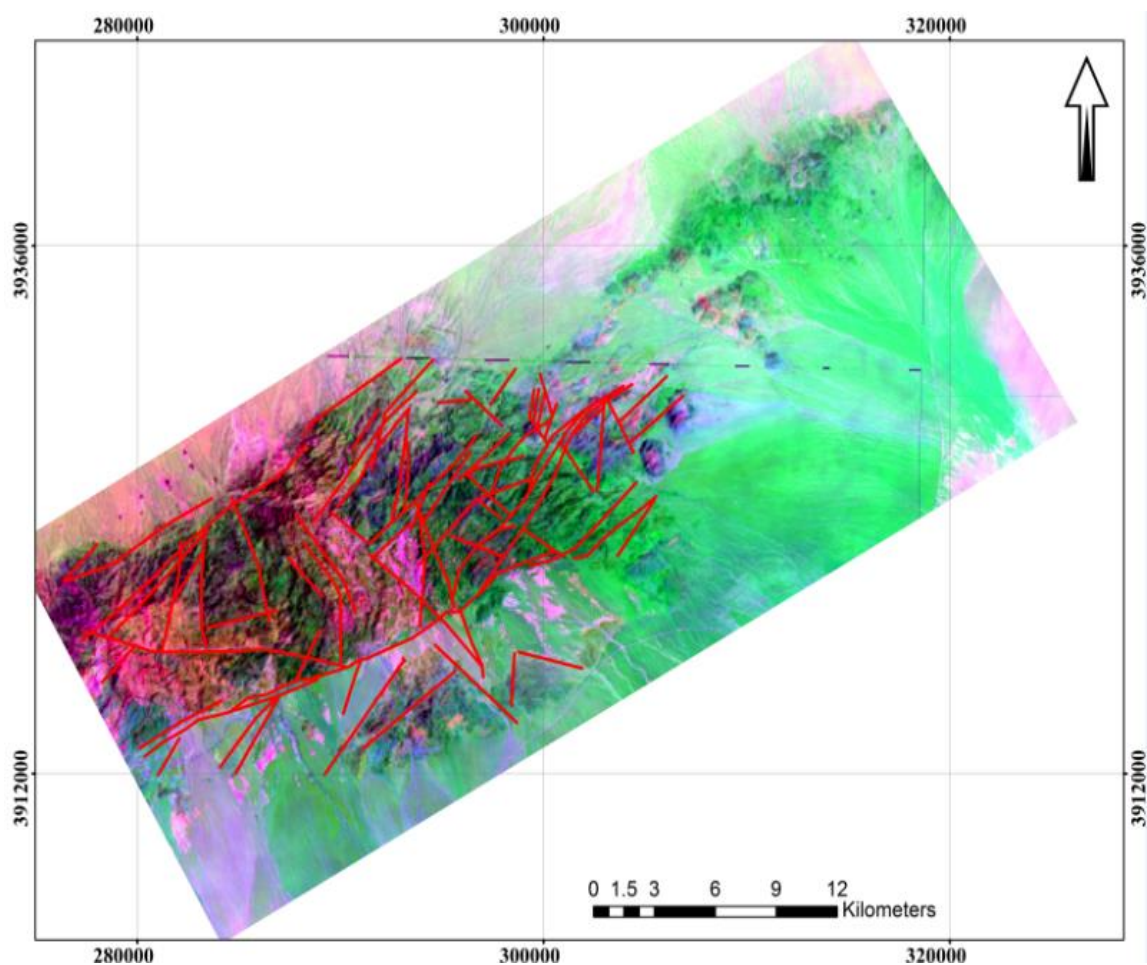


شکل ۴-۲۷ تصویر رنگی مجازی روش کروسستای چهار باندهی سنجنده ASTER حاصل از ترکیب RGB: -PC9،  
PC8,+PC4 محدوده مورد مطالعه

#### ۴-۵- تفسیر داده‌ها و نتیجه‌گیری

در این فصل با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای دو سنجنده  $ETM^+$  و ASTER و پردازش آن‌ها در نرم افزار ENVI به مطالعه و شناسایی واحدهای سنگی منطقه تروند پرداخته شد. به این منظور از روش‌های ترکیب رنگی کاذب، نسبت گیری باندهی و تحلیل مولفه‌های اصلی استاندارد و انتخابی استفاده شد. در هریک از روش‌های نامبرده تصاویری حاصل شد که اطلاعاتی از واحدهای سنگی، مناطق دگرسانی و خطواره‌های موجود در منطقه ارائه می‌دهد. به طور کلی در نتایج حاصل از تصاویر ASTER اطلاعات جامع‌تر و کامل‌تری نسبت به تصاویر  $ETM^+$  به دست آمد. پردازش تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در تمایز نوار ماگمایی، واحدهای رسوبی، مناطق دگرسانی و گسل‌های منطقه به خوبی عمل کرده‌اند. اما به دلیل این‌که هیچ مرز واضح و مشخصی بین واحدهای ولکانیکی میزبان با توده‌های

نفوذی نیمه عمیق وجود ندارد به خوبی نتوانسته‌اند این واحدها را از هم تفکیک کنند. تصاویر ASTER در تمایز توده‌های نفوذی بعد از ائوسن در میان واحدهای آتشفشانی، همچنین در تفکیک زون‌های دگرسانی منطقه از دیگر واحدهای سنگی و زون‌های دگرسانی رسی و پروپلیتی را از یکدیگر، به طور چشم‌گیری موفق بوده است.



شکل ۴-۲۸ تصویر رنگی کاذب برای نمایش خطواره‌های محدوده مورد مطالعه



## فصل پنجم

استفاده از روش‌های کمی در

تجزیه و تحلیل داده‌های

سنجش از دور

## ۵-۱- مقدمه

امروزه برای تهیه‌ی نقشه‌های کاربری زمین، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های کمی در علم سنجش از دور بسیار معمول است و محققان و دانشمندان این علم در دهه گذشته به صورت گسترده آن را به کار برده‌اند. روش‌های کمی در سنجش از دور کاربردهای وسیع و همه‌جانبه‌ای در زمینه‌های مختلف مانند زمین‌شناسی، هواشناسی و بسیاری از علوم دیگر را در برمی‌گیرد (علیزاده ربیعی، ۱۳۷۲). تفسیر کمی براساس ارزش‌های طیفی پیکسل‌ها، روابط پدیده‌های زمین و باندهای طیفی مورد استفاده در سنجش از دور و استفاده از روابط ریاضی و آماری انجام می‌شود. روش‌های تجزیه و تحلیل طیفی یکی از پیشرفته‌ترین تکنیک‌های سنجش از دور است به عنوان یک وسیله ممکن برای تشخیص ویژگی‌های کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی استفاده شده است. طیف سنجی توسط تصویرهای ماهواره‌ای کاربردهای جدید و بسیار جالبی دارد علمی نظیر زمین‌شناسی، کشاورزی، جنگلداری پتانسیل زیادی برای تحقیقات پیشرفته جدید با استفاده از این تکنولوژی دارد. در این فصل طیف‌های حاصل از واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه با استفاده از آنالیزهای طیفی تصاویر استخراج می‌شوند سپس طیف‌های به دست آمده از تصاویر با طیف‌های کتابخانه‌ای (USGS) مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در نهایت جنس و گستره واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه تعیین می‌شود.

ابتدا برای بدست آوردن تصویری با وضوح طیفی و کیفیت بالا و از بین بردن برخی از خطاهای سیستماتیک به پیش‌پردازش داده‌ها پرداخته می‌شود تا تصویری با کیفیت بالا برای اهداف آنالیز به دست آید و سپس عدد رقومی (DN) پیکسل‌های تشکیل دهنده تصویر به میزان بازتابش تبدیل می‌شوند سرانجام پردازش به روش‌های مختلف بر روی داده‌ها اعمال می‌شود. برای رسیدن به این هدف با استفاده از نرم افزار ENVI, 5 از روش حداقل سهم کمینه نوفه<sup>۱</sup> حجم داده‌ها را کاهش داده تا نویز و

<sup>۱</sup> -Minimum Noise Fraction

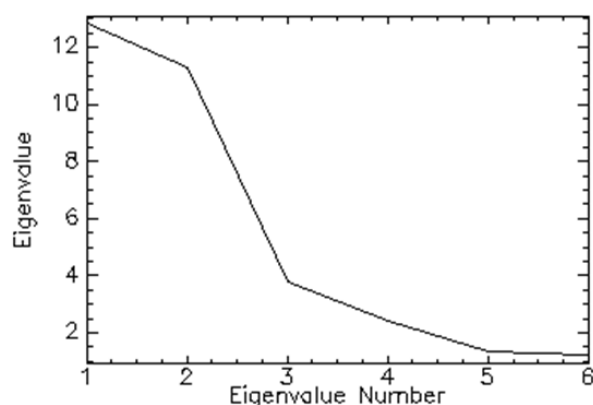
سیگنال در داده‌ها از هم جدا شوند و سپس با استفاده از روش شاخص خلوص پیکسل<sup>۱</sup>، پیکسل‌های خالص، مشخص و طیف‌های متفاوت موجود در تصویر توسط نمایشگرهای n بعدی تشخیص داده می‌شوند. و در نهایت طیف‌های به دست آمده با طیف‌های کتابخانه‌ای (USGS) در نرم افزار (ENVI5) مورد مقایسه قرار می‌گیرد. تا جنس و گستره واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه مشخص شود.

## ۶-۲- روش حداقل سهم کمینه نوفه (MNF)

اصولاً داده‌های ماهواره‌ای چند طیفی حاوی درصد نوفه‌ای ناشی از جذب و پراکنش جوّی و همچنین تغییرات در بازتاب از پوشش‌های سطحی ناشی از زبری سطح و سایر عوامل توپوگرافی و بافت زمین هستند. این عوامل در عمل باعث کاهش دقت الگوریتم‌های متداول طبقه‌بندی می‌شوند. برای این که بتوانیم طبقه‌های طیفی را به طور بهتری از داده‌های چند بعدی دورسنجی استخراج کنیم و به صورت مؤثرتری پردازش تصاویر را انجام دهیم، لازم است در ابتدا ابعاد داده‌ها را کاهش داده و نیز نوفه موجود در داده‌ها جدا شوند. با این کار پیچیدگی‌های پردازش و استفاده از الگوریتم‌ها را کاهش خواهیم داد این کار را می‌توان با استفاده از روش تبدیل MNF بر روی داده‌های چند بعدی انجام داد و ابعاد اصلی داده‌ها را تعیین کرد. الگوریتم حداقل سهم کمینه نوفه در حقیقت یک روش اصلاح شده آنالیز مولفه اصلی است که در دو مرحله متوالی انجام می‌پذیرد. در مرحله اول به روش آنالیز مولفه اصلی پیشرو، و با تمرکز بر نوفه سفید سهم تغییرپذیری‌های نوفه سفید، با استفاده از مقادیر ویژه ماتریس کواریانس باندهای اولیه تعیین می‌شود. در این مرحله داده‌های تبدیل یافته‌ای که دارای سهم واریانس نوفه‌ای واحد و غیر هم‌بسته بین مولفه‌ای هستند، حاصل می‌شود سپس در مرحله دوم یک آنالیز مولفه اصلی استاندارد بر روی داده‌های تبدیل یافته که از نظر نوفه دارای سهم واریانس واحد هستند صورت می‌گیرد که به دلیل سهم یکسان و کوچک نوفه‌های غیر هم‌بسته در داده‌های تبدیل یافته مرحله اول، این تغییرپذیری‌های ناشی از نوفه در مولفه‌های انتهایی MNF قرار می‌گیرند. بدین

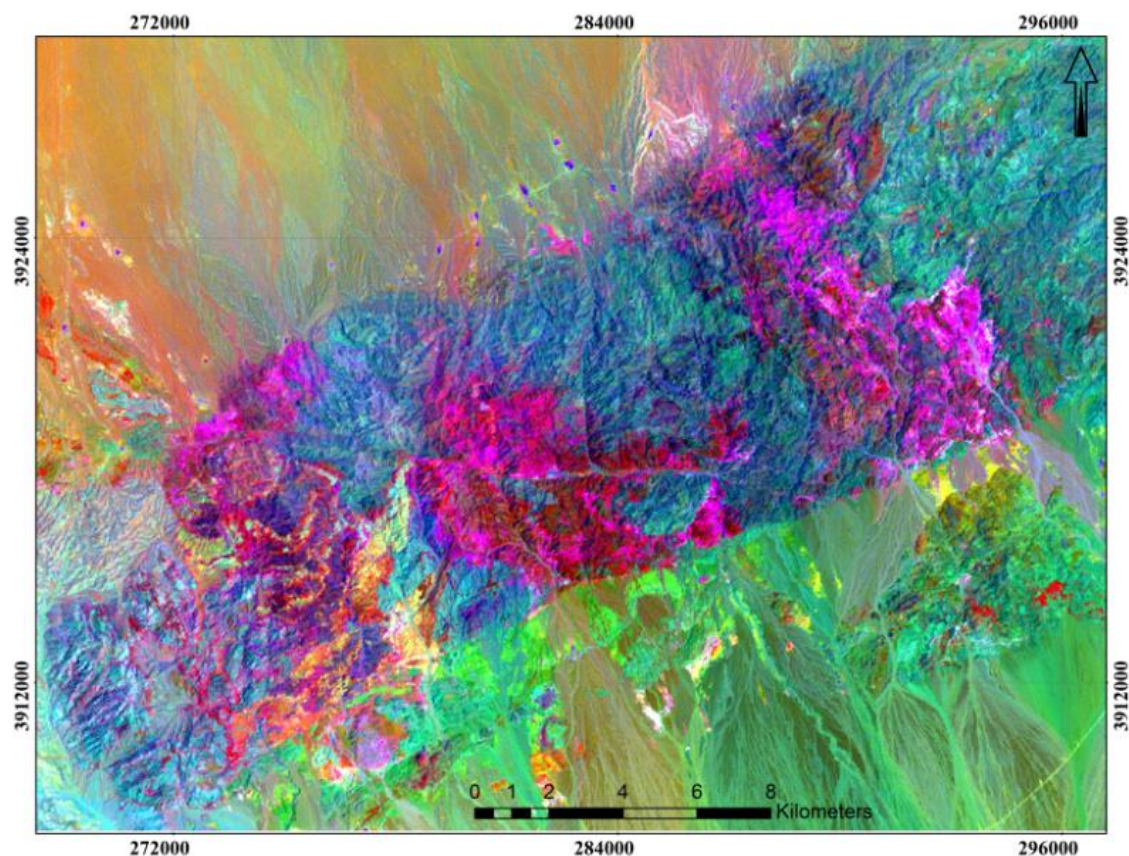
<sup>1</sup> - Pixel Purity Index

ترتیب می‌توان آن‌ها را به سادگی حذف کرد و از طریق تبدیل مولفه‌های اصلی معکوس به داده‌هایی با حداقل سهم نوفه دست یافت. به عنوان یک قاعده کلی اندازه مقادیر ویژه کوچک‌تر از واحد نشان-دهنده باقی‌مانده سهم نوفه در مولفه مربوطه خواهند بود. بنابراین می‌توان از طریق تبدیل MNF به ابعاد طیفی واقعی تصاویر چند طیفی پی برد و با حذف اطلاعات تکراری و به کارگیری تعداد کم‌تری مولفه نه تنها از حجم محاسبات کاست بلکه با دقت افزون‌تری از نظر طبقه‌بندی به پدیده‌های طیفی دست یافت (Boardman, 1995; Green et al. 1988). در شکل (۵-۱) مقادیر ویژه از شش باند خروجی MNF برای محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود. اگرچه همه مقادیر ویژه داده‌های سنجنده‌های ETM<sup>+</sup> بزرگ‌تر از یک هستند و همه باندها برای پردازش داده‌های بعدی حفظ شده‌اند. با این حال ارزش واقعی داده‌ها با افزایش شماره مولفه‌ها کاهش می‌یابد.



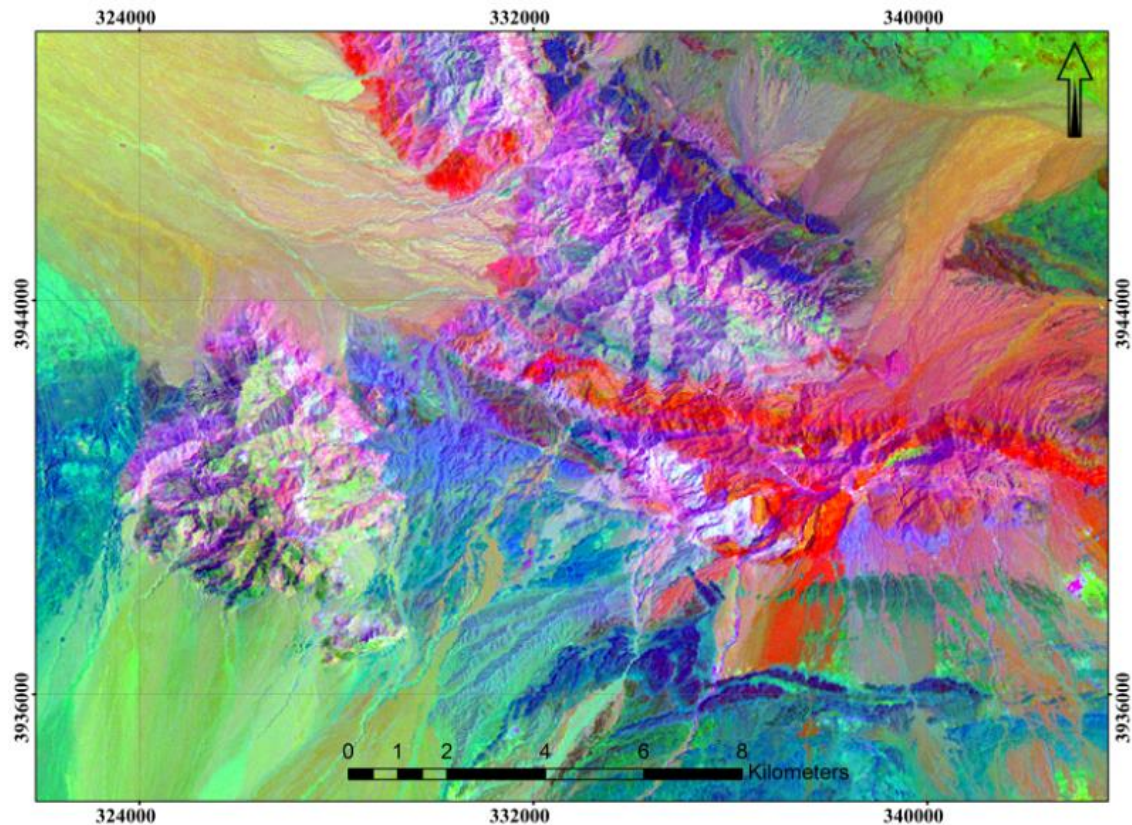
شکل ۵-۱- مقادیر ویژه محاسبه شده برای MNF تمامی باندها در سنجنده ETM<sup>+</sup>

روش حداقل سهم کمینه نوفه برای تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> مورد استفاده قرار گرفته است. با استفاده از این روش علاوه بر کاهش ابعاد داده‌ها و حذف نوفه با استفاده از اعمال روش کیفی و ایجاد ترکیب رنگی کاذب (۳، ۲ و ۱) واحدهای سنگی منطقه را می‌توان تفکیک نمود. نتایج حاصل از روش MNF در شکل (۵-۳) به خوبی قادر به تشخیص و شناسایی واحدهای سنگی و به ویژه مناطق دگرسانی منطقه تروود- معلمان بوده است. سنگ‌های آتشفشانی به رنگ آبی روشن، مناطق دگرسانی رسی با رنگ صورتی تیره و روشن مشخص شده است.



شکل ۵-۲- نتایج حاصل از اعمال روش MNF با ترکیب رنگی (۳، ۲ و ۱) بر روی تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> در بخش غربی محدوده مورد مطالعه

روش حداقل سهم کمینه نوفه برای قسمت شرقی منطقه نیز مورد استفاده قرار گرفته است و با اعمال ترکیب رنگی کاذب (۳، ۲ و ۱) در محیط RGB واحدهای رسوبی منطقه از هم تفکیک شده است در این تصویر سنگ‌آهک‌ها با رنگ‌های آبی روشن و آبی تیره و شیل‌ها با رنگ صورتی از هم متمایز شده‌اند و رنگ سفید به سنگ‌های دگرگونی منطقه اختصاص داده شده است.

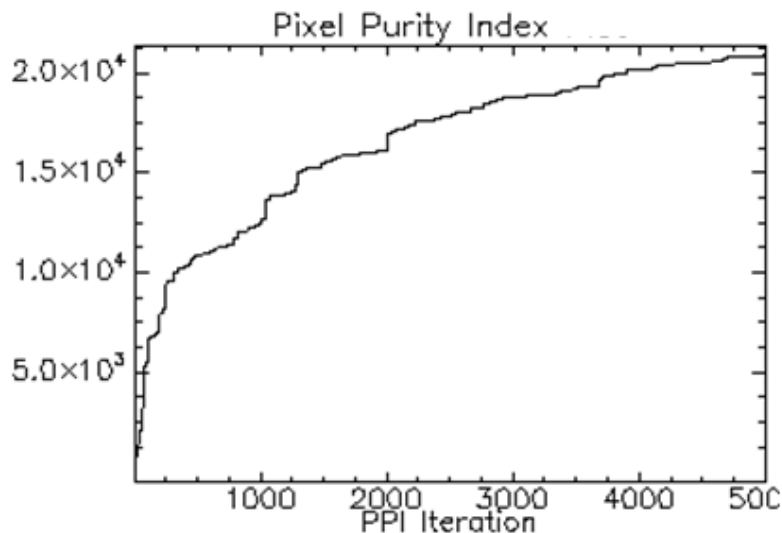


شکل ۵-۳- نتایج حاصل از اعمال روش MNF بر روی تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه

### ۵-۳- استخراج اعضای خالص با شاخص خلوص پیکسل (PPI)

با توجه به قدرت تفکیک مکانی برای تصاویر سنجنده‌های چند طیفی و ابر طیفی در ثبت اطلاعات طیفی، که در یک صحنه طیف‌های مواد متنوع را به عنوان یک پیکسل تصویری اندازه‌گیری می‌کنند، مسئله جداسازی پیکسل مختلط مطرح است. البته ممکن است این پیکسل به دلیل ترکیب همگن مواد مختلف در صحنه تصویر برداری نیز به وجود آمده باشد. آنالیز طیف‌های مخلوط مکانیسم موثری برای تفسیر و طبقه‌بندی تصاویر چند طیفی سنجش از دور را فراهم می‌کنند. هدف از این آنالیزها مشخص کردن مجموعه‌ای از طیف‌های مرجع "اجزای خالص است"، که بتواند طیف بازتابی در تصویر اولیه را مدل‌سازی کند. روش شاخص خلوص پیکسل برای یافتن پیکسل‌هایی که از نظر طیفی خالص هستند، در تصاویر چند طیفی به کار می‌رود تعیین پیکسل‌هایی که طیف‌های خالصی دارند، و کلاس‌های طیفی را مشخص می‌کنند در داده‌های چند طیفی کار ساده‌ای نیست، به این دلیل که

بیشتر پیکسل‌ها شامل نسبت‌های متفاوتی از مواد مختلف هستند. شاخص خلوص پیکسل ابزاری برای تعیین خودکار خلوص پیکسل‌ها است و در آن از تصاویر ویژه رتبه بالای MNF استفاده می‌شود و توسط طرح‌ریزی مکرر از نمودارهای پراکندگی  $n$  بعدی از تصاویر MNF بر روی یک بردار با واحد تصادفی اعمال می‌شود. تعداد کل دفعاتی که هر پیکسل به عنوان پیکسل انتهایی ظاهر می‌شود محاسبه می‌شود. در نهایت یک تصویر خلوص پیکسلی ظاهر می‌شود. به طور معمول پیکسل‌های روشن‌تر در تصاویر PPI خلوص نسبی بالاتری دارند، زیرا در بیشتر موارد به عنوان خلوص پیکسل-های طیفی فوق‌العاده ثبت می‌شوند. برای بارسازی اجزای خالص، روش PPI در نرم‌افزار 5 ENVI مورد استفاده قرار گرفت. و بدین ترتیب بعد از انجام تصحیحات لازم بر روی باندها، MNF برای همه باندها محاسبه شده و سپس پیکسل‌های خالص با PPI به دست آورده شد. پس از اعمال PPI حجم داده‌های آنالیز شده به طور موثر کاهش می‌یابد. در واقع در الگوریتم PPI پیکسل‌های منطقه مورد مطالعه فقط از لحاظ خلوص طیفی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند نه نوع طیف یعنی ممکن است در تصویر PPI بعضی پیکسل‌ها که متعلق به طبقه‌های متفاوت باشند در یک طبقه قرار گیرند (شکل ۵-۴).

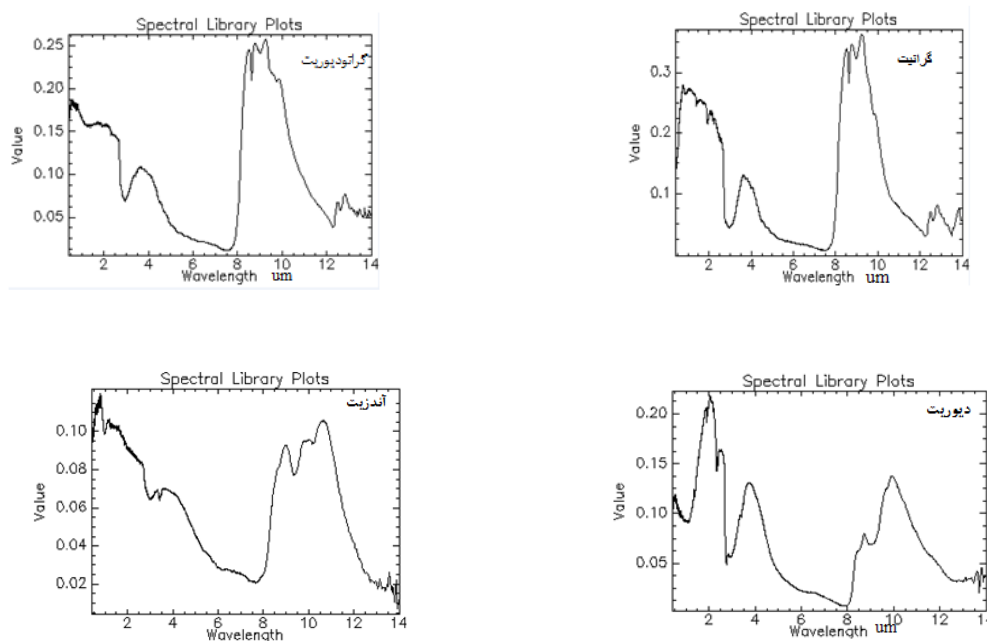


شکل ۵-۴- نمودار شاخص PPI

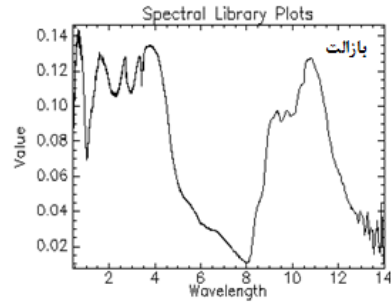
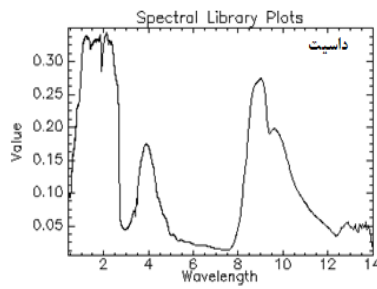
## ۵-۴- به کارگیری نمایشگر n بعدی

نمایشگر n بعدی در ادامه روش‌های MNF و PPI به کار برده می‌شود تا خالص‌ترین پیکسل‌ها را در یک مجموعه از داده‌های طیفی مشخص و جمع‌آوری کند اگر علامت‌های طیفی به شکل منحنی دقیق باشد آن‌ها را می‌توان برای داده‌های سنجش از دور استفاده کرد مختصات نقاط در فضای n بعدی شامل n مقدار است که به طور ساده تابش طیفی یا مقادیر بازتابی در هر نوار برای هر پیکسل داده شده است و سپس شش علامت طیفی خالص به دست آمده و در یک تصویرساز n بعدی رسم شده است.

آنالیزهای طیفی و شناسایی سنگ‌ها و کانی‌ها می‌تواند توسط انطباق طیف‌های ناشناخته با طیف‌های از قبل تعریف شده کتابخانه طیفی (USGS) به دست آید و از روش‌های طبقه‌بندی نقشه بردار زاویه طیفی و به عنوان روش‌های انطباق دهنده در این مقایسه استفاده شده است تصاویر حاصله از طیف‌های کتابخانه‌ای برای سنگ‌های آذرین در شکل (۵-۵) مشاهده می‌شود.



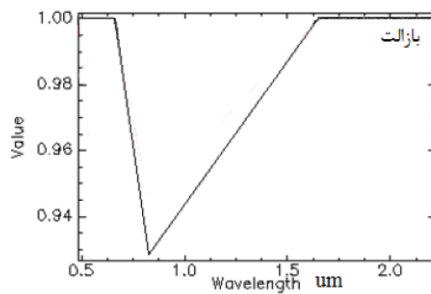
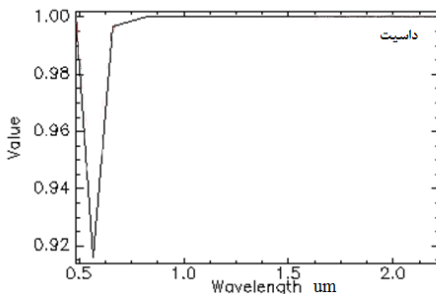
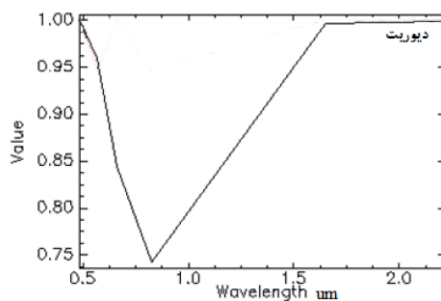
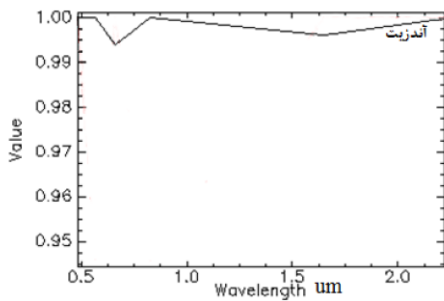
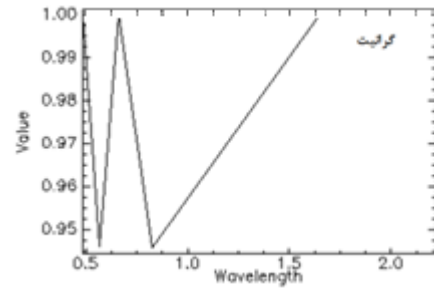
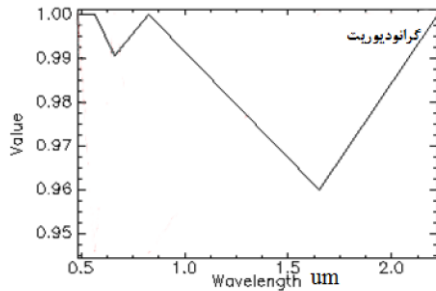




شکل ۵-۵- طیف‌های استخراج شده از کتابخانه طیفی نرم افزار (ENVI) برای سنگ‌های آذرین

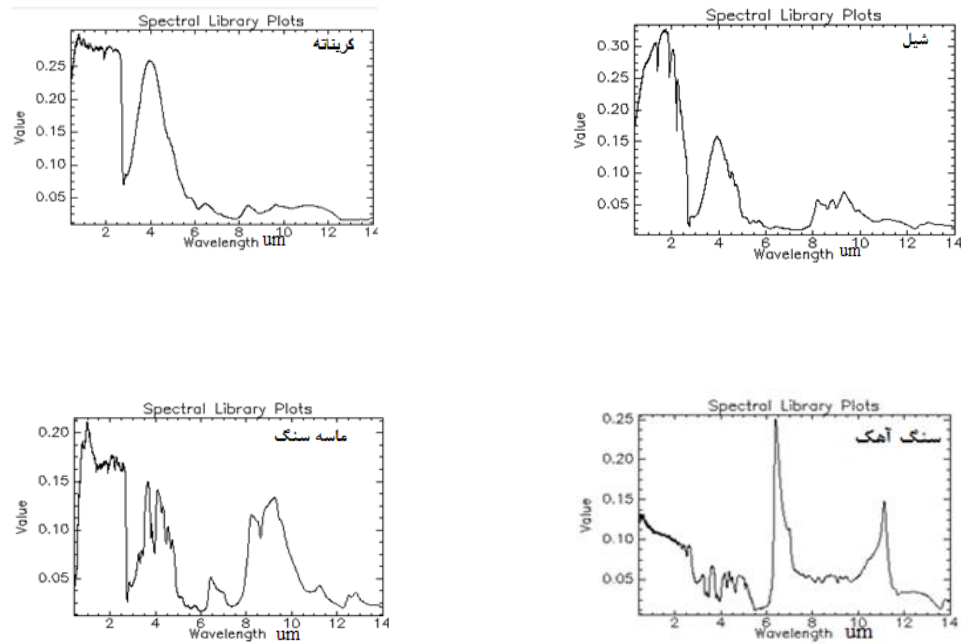
تصاویر به دست آمده از طیف‌های ناشناخته برای سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه در شکل

( ۵-۶ ) مشاهده می‌شود.

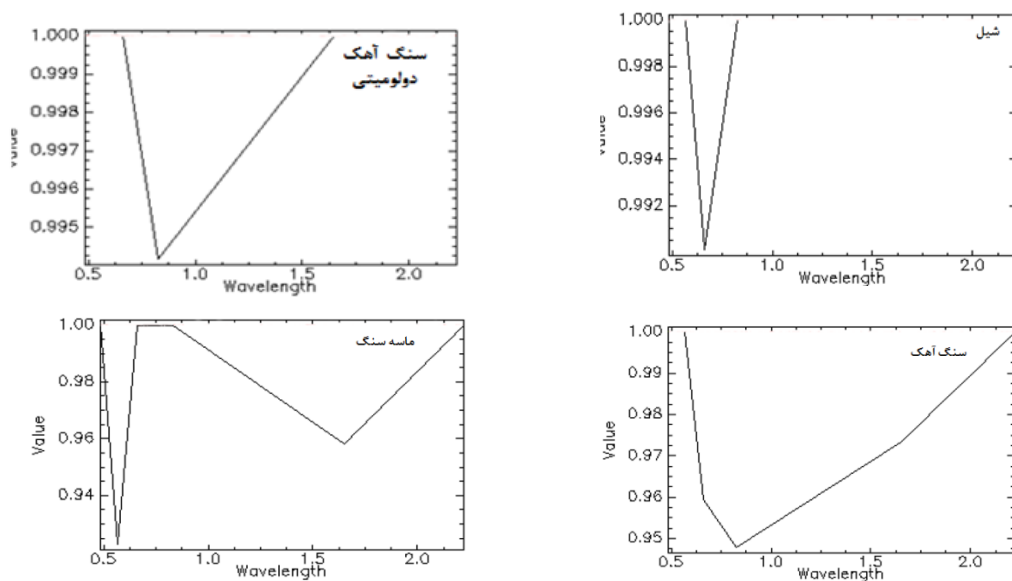


شکل ۵-۶- طیف استخراج شده از تصویر ناحیه مورد مطالعه برای سنگ‌های آذرین

در شکل (۵-۷) نیز طیف‌های کتابخانه‌ای مربوط به سنگ‌های رسوبی مشاهده می‌شود و در شکل (۵-۸) تصاویر به دست آمده از طیف‌های ناشناخته برای سنگ‌های رسوبی منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



شکل ۵-۷- طیف‌های استخراج شده از کتابخانه طیفی برای سنگ‌های رسوبی



شکل ۵-۸- طیف استخراج شده از تصویر ناحیه مورد مطالعه برای سنگ‌های رسوبی (طول موجها بر حسب میکرومتر می‌باشد)

## ۵-۵ - طبقه‌بندی<sup>۱</sup> تصاویر

طبقه بندی را می‌توان یک فرآیند تصمیم‌گیری دانست که در آن داده‌های تصویری به فضای کلاس‌های مشخص انتقال می‌یابند (Fatemi, 2001). به طور کلی منظور از طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره‌ای به روش تفسیر رقومی، تفکیک مجموعه‌های طیفی مشابه و تقسیم‌بندی تصاویر به گروه‌هایی است که در هر طبقه طیف‌ها با ارزش یکسان قرار می‌گیرند. اساس کار طبقه‌بندی اطلاعات، بر مقایسه ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر با نمونه‌هایی است که مفسر آن‌ها را معرفی کرده و یا با دسته‌های اولیه است که به طور خودکار هنگام تفسیر رقومی تشکیل می‌شوند.

روش‌های طبقه‌بندی از پرکاربردترین روش‌های استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. تنوعی که در روش‌های طبقه‌بندی وجود دارد، به کاربران امکان تولید اطلاعات گوناگون (نظیر تولید نقشه‌های پوششی و کاربری، محاسبه حجم تراکم پوشش‌های گیاهی و تفکیک واحدهای لیتولوژی) را می‌دهد. روش‌های طبقه بندی به دو دسته طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده تقسیم می‌شوند. اساس کار این دو نوع طبقه‌بندی شبیه یکدیگر است، ولی از نظر نوع اجرا با یکدیگر متفاوت می‌باشند. روش‌های با نظارت به اطلاعات اولیه‌ای نظیر تعداد دسته‌ها، ویژگی‌های آن‌ها و همچنین مقداری از نمونه‌های معلوم از هر طبقه نیاز دارد. در مقابل روش‌های بدون نظارت بیشتر روش‌های خودکاری هستند که به نمونه‌های معلومی نیاز ندارند و براساس مقادیر معلوم خود پیکسل‌ها در مورد طبقه‌بندی آن‌ها تصمیم‌گیری می‌کنند. در این تحقیق تنها از روش‌های طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شده است. لذا به طور مختصر در این زمینه توضیح داده می‌شود.

<sup>1</sup> -Classification

۵-۵-۱- روش نقشه‌برداری زاویه طیفی<sup>۱</sup> (SAM)

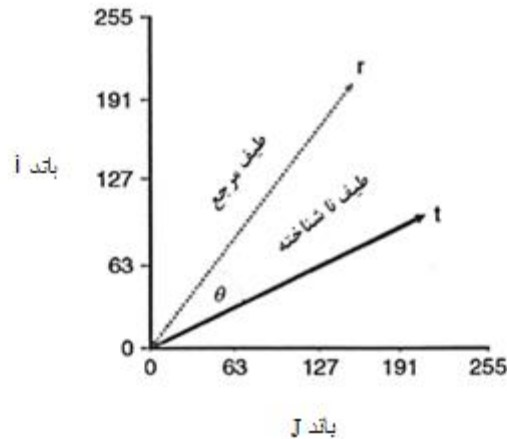
روش نقشه‌برداری زاویه طیفی اولین بار توسط کروس و همکارانش (۱۹۹۳) استفاده شد. این روش براساس شباهت بین طیف کانی‌های مرجع کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و دگرسانی موجود در منطقه انجام شد. روش نقشه‌برداری زاویه طیفی، روشی کارا برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیفی مشخص یا طیفی استاندارد است. یک تصویر چند طیفی، مجموعه‌ای از تصاویر بانندی است که هر پیکسل تصویر در بردارنده طیفی از مقادیر بازتاب برای تمام طول موج‌های تصویر است. به طوری که اگر یک ماده (مانند سنگ) تمام پیکسل را اشغال کند، طیف آن پیکسل به عنوان طیف عضو انتهایی (مثلا کانی مرجع) از آن ماده در نظر گرفته شده و این مقدار زاویه در نقشه زاویه طیفی به عنوان نماینده آن پیکسل به شمار می‌آید (Yang et al, 2008). در این روش با تبدیل طیف‌ها به بردار فضایی به ابعاد تعداد باندها زاویه طیفی میان دو بردار محاسبه می‌شود (Mather, 1999).

روش پهنه‌بندی زاویه طیفی یک طبقه‌بندی طیفی بر مبنای فیزیکی است که یک زاویه  $n$  بعدی را برای منطبق کردن پیکسل‌ها با طیف مرجع به کار می‌برد. الگوریتم تشابه طیفی بین دو طیف را به وسیله محاسبه زاویه بین طیفی محاسبه می‌کند که به آن‌ها به عنوان بردار در یک فضای هم بعد با تعداد باندها رفتار می‌شود. خروجی‌های این الگوریتم طبقه‌بندی تصویری می‌باشند که بهترین تطابق زاویه طیفی و تصویر RULE برای هر طیف معرفی شده را نمایش می‌دهد که نشان‌دهنده زوایای طیفی به رادیان بین هر طیف در تصویر و طیف مرجع می‌باشد. پیکسل‌هایی با زاویه طیفی کوچک‌تر در تصاویر RULE تیره‌تر هستند و معکوس آن‌ها بخش روشن‌تر می‌باشد (Crosta, 2003).

---

1- Spectral Angle Mapper

مقادیر زاویه کم‌تر نشان‌دهنده تشابه بیشتر میان پیکسل و عضو انتهایی به کار گرفته شده در تهیه نقشه است (Yang et al, 2008).



شکل ۵-۹- زاویه بین بردارهای طیفی مورد آزمایش (t) و مرجع (r) و زاویه انعکاس طیفی بین آن‌ها

الگوریتم SAM با استفاده از معادله ذیل شباهت بین طیف ناشناخته t و طیف مرجع r را محاسبه می‌کند، که در آن n تعداد باندها،  $\theta$  زاویه بین دو بردار می‌باشد.

$$\cos(\theta) = \frac{\sum_{i=1}^n r_i t_i}{\left(\sum_{i=1}^n r_i^2\right)\left(\sum_{i=1}^n t_i^2\right)}$$

که در آن، و  $r_i$  به ترتیب مقادیر بازتابندگی، در 1- امین باند پیکسل و ماده در فضای ویژگی بوده و  $\theta$  زاویه طیفی بین آن‌هاست. زاویه  $\theta$  برای هر زوج پیکسل ماده محاسبه گردیده و نهایتاً ماده متناظر با کوچک‌ترین زاویه به عنوان شبیه‌ترین ماده به کلاس (طبقه آن پیکسل) انتخاب می‌گردد.

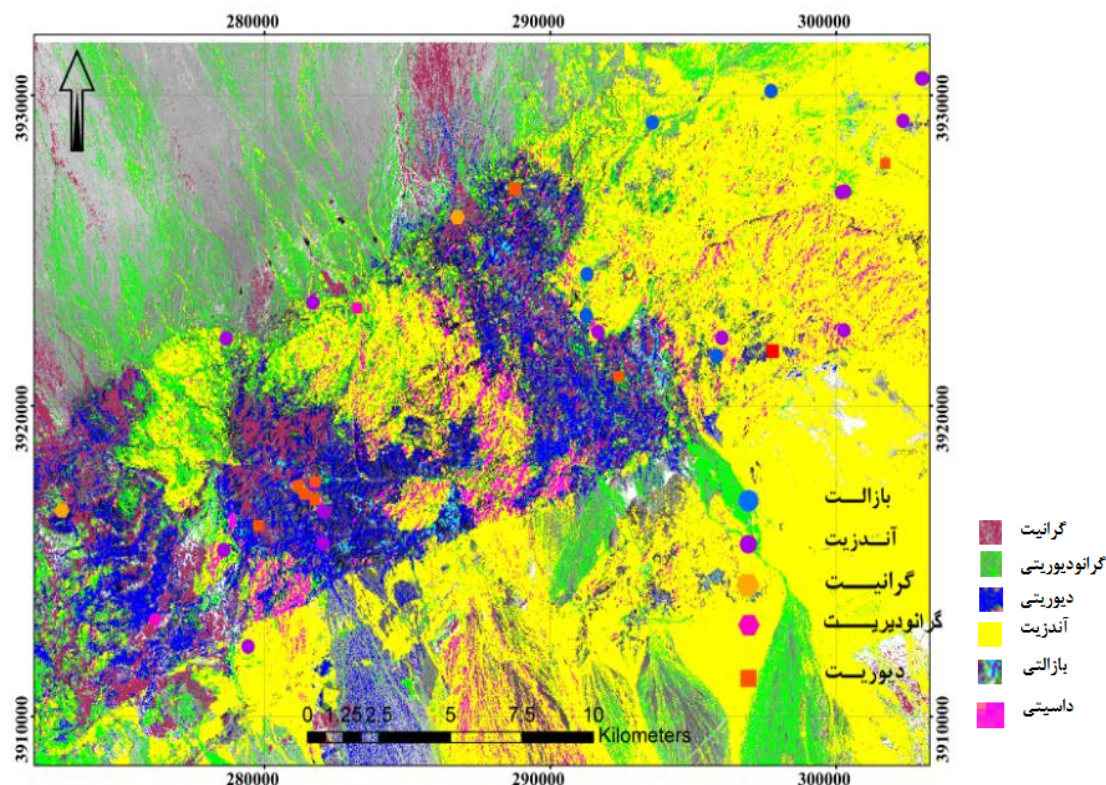
روش SAM در واقع میزان شباهت طیف هر پیکسل را بدون تجزیه به طیف عضوهای شناسایی شده می‌سنجد و خروجی آن تصویری چند لایه‌ای است که RULE نامیده می‌شود این تصاویر بهترین هماهنگی SAM بین طیف ناشناخته و طیف مرجع را برای هر پیکسل بیان می‌کنند. پیکسل‌های

تیره در تصاویر RULE، زاویه کوچک‌تر را نشان می‌دهند، یا در واقع طیف آن پیکسل‌ها شباهت بیشتری به عضوهای طیفی دارد بنابراین در روش مورد بحث، طبقه‌بندی پیکسل‌های کاملاً تیره نشان‌دهنده عضوهای تصویر هستند.

جدول ۵-۱ امتیاز روش SAM در سنگ‌های آذرین

شماره نمونه	نام سنگ	SAM
۱	گرانیت	۰/۶۴۲
۲	گرانودیوریت	۰/۳۸۵
۳	دیوریت	۰/۵۱۰
۴	آندزیت	۰/۷۷۴
۵	بازالت	۰/۶۶۶
۶	داسیت	۰/۵۶۶

در تصاویر حاصل از روش طبقه‌بندی SAM در تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup> در قسمت غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه طیف یک مربوط به سنگ‌های گرانیتی با رنگ قرمز، طیف دوم سنگ‌های گرانودیوریتی با رنگ سبز، طیف سوم سنگ‌های دیوریتی با رنگ آبی، طیف چهارم سنگ‌های آندزیتی با رنگ زرد، طیف پنجم سنگ‌های بازالتی با رنگ آبی روشن و طیف ششم سنگ‌های داسیتی با رنگ صورتی طبقه‌بندی شده‌اند. و سپس نتایج حاصله از آنالیز ژئوشیمیایی محققان پیشین بر روی منطقه مورد مطالعه جهت اعتبار سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. همان طور که مشاهده می‌شود آنالیز-های ژئوشیمیایی مربوط به سنگ‌های مختلف تا اندازه‌ای در مناطقی واقع شده‌اند که طیف‌های مربوط قرار گرفته‌اند اما در برخی نقاط نیز آنالیزهای ژئوشیمیایی با طیف‌های حاصله متفاوت است. به طوری که برای سنگ‌های گرانیتی ۵۰ درصد، سنگ‌های گرانودیوریتی ۹۰ درصد، سنگ‌های آندزیتی ۹۲، سنگ‌های دیوریتی ۱۰۰ درصد انطباق مشاهده می‌شود و برای سنگ‌های بازالتی انطباقی مشاهده نمی‌شود (شکل ۵-۱۰).



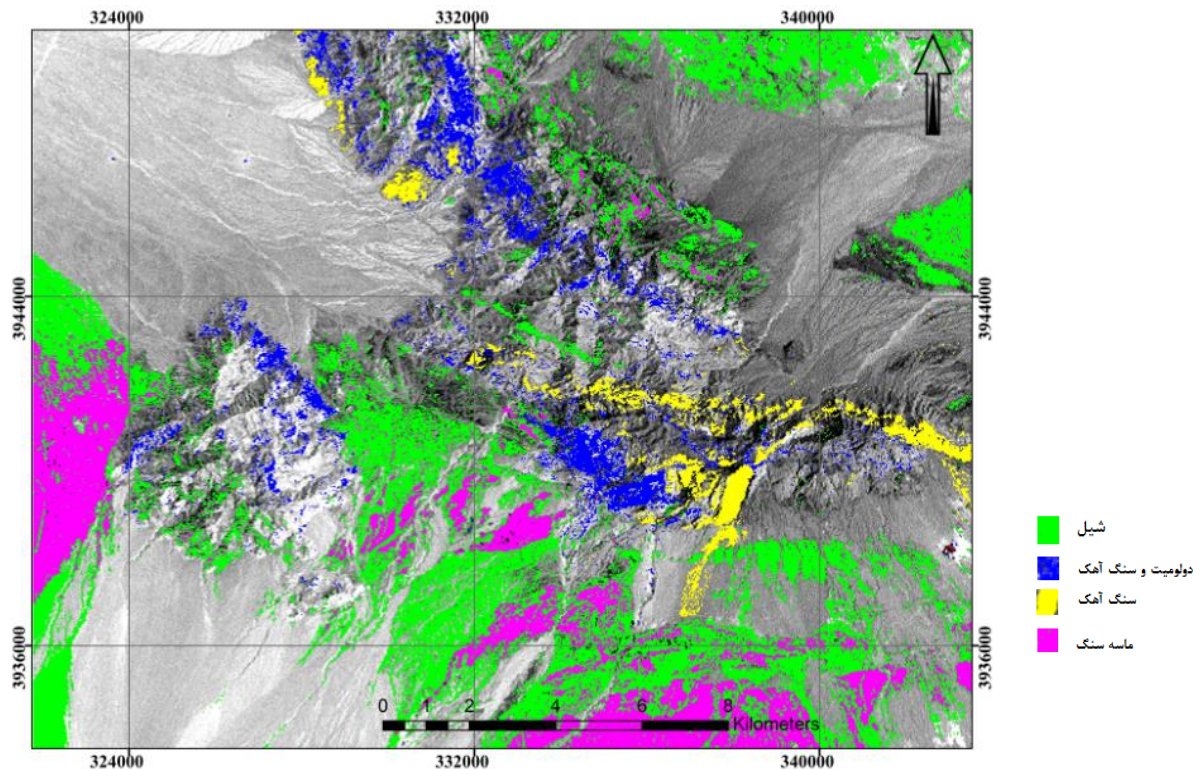
شکل ۵-۱۰- تصویر حاصل از اعمال روش SAM در تصاویر سنجنده  $ETM^+$  در بخش غربی و مرکزی محدوده مورد مطالعه

جدول ۵-۲- امتیاز روش SAM در سنگ‌های رسوبی

شماره نمونه	نام سنگ	SAM
۱	شیل	۰/۶۶۵
۲	دولومیت و سنگ آهک	۰/۶۳۱
۳	سنگ آهک	۰/۷۷۴
۴	ماسه سنگ	۰/۶۷۰

نتایج حاصل از اعمال روش طبقه‌بندی SAM در محدوده شرق ناحیه مطالعاتی طیف یک سنگ‌های شیلی با رنگ سبز، طیف دوم سنگ‌های دولومیتی و سنگ آهک با رنگ آبی، طیف سوم سنگ‌های آهکی با رنگ زرد و طیف چهارم ماسه‌سنگ‌ها با رنگ صورتی طبقه‌بندی شده است. انطباق نتایج حاصل از طبقه‌بندی با مطالعات صحرائی نشان می‌دهد که در طبقه‌بندی، سنگ‌های آذرین با طیف

شیل‌ها در یک رده دسته‌بندی شده است و طیف سنگ‌های دولومیتی-آهکی و سنگ‌های آهکی با نقشه زمین‌شناسی منطبق بوده است (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱- تصویر حاصل از اعمال روش SAM بر روی تصویر سنجنده ETM<sup>+</sup> در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه

### ۵-۶- نتیجه‌گیری

در این فصل از روش‌های مختلف کمی برای شناسایی واحدهای سنگی در سنجنده ETM<sup>+</sup> استفاده شد. ابتدا اعداد رقومی تصویر به مقدار بازتابش تبدیل شد سپس برای به دست آوردن تصویری با وضوح طیفی و کیفیت بالا با استفاده از روش MNF میزان حجم داده‌ها را کاهش داد تا نوفه و سیگنال در داده‌ها از هم جدا شوند و در مرحله بعد با استفاده از روش شاخص خلوص پیکسل، پیکسل‌های خالص مشخص و طبقه‌های طیفی متفاوت توسط نمایشگرهای n بعدی تشخیص داده شد. و با مقایسه طیف‌های بدست آمده با طیف‌های موجود در کتابخانه طیفی (USGS) جنس واحد-های سنگی و محدوده گسترش آن‌ها در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که اعمال روش‌های کمی، بر روی تصاویر سنجنده ETM<sup>+</sup>، واحدهای سنگی منطقه را از



یکدیگر تفکیک نموده و در میان این روش‌ها، روش طبقه‌بندی SAM واحدهای سنگی منطقه را به کلاس‌های متفاوت دسته‌بندی کرده است که توجه به نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی محققان قبلی در منطقه مورد مطالعه نتایج خوبی حاصل شده است.

به دلیل این که تصاویر استر از سازمان زمین‌شناسی تهیه شده است هر کدام از این تصاویر مجموعه‌ای از چند تصویربرداری در زمان‌های مختلف می‌باشند و با توجه به این نکته تفکیک اعداد رقومی در این تصاویر به مقدار بازتابش در این تصاویر ممکن نیست در نتیجه نمی‌توان منحنی‌های امضای طیفی را برای هر پیکسل از این تصاویر استخراج نمود بنابراین امکان انجام مطالعات کمی با این داده‌های استر وجود ندارد.



## فصل ششم

# نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۶-۱- نتیجه‌گیری

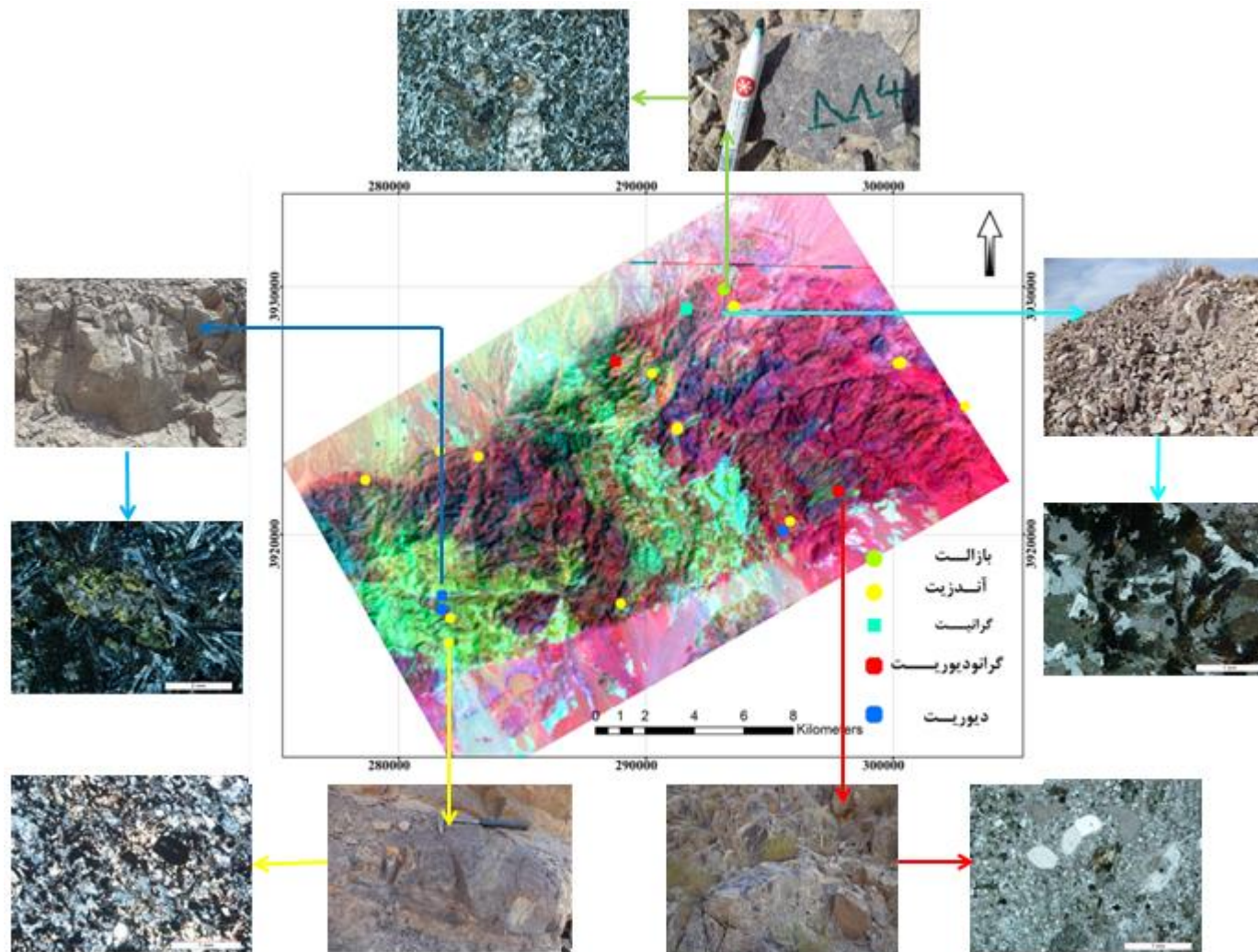
هدف اصلی این تحقیق، استفاده از سنجش از دور در شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی منطقه ترود- معلمان بوده است. برای رسیدن به این هدف، به منظور اعتبارسنجی نتایج از داده‌های زمین-شناسی و ژئوشیمیایی نیز استفاده شده است. به طور کلی با توجه به هزینه‌های نسبتاً پایین و پوشش وسیع داده‌های سنجش از دور، از این روش می‌توان برای شناسایی واحدهای سنگی مختلف و اصلاح نقشه زمین‌شناسی استفاده کرد. در این تحقیق با استفاده از اعمال روش‌های مختلف کیفی ( ترکیب رنگی کاذب، نسبت‌های بانندی و آنالیز مولفه‌های اصلی) و روش‌های کمی (حداقل سهم پارازیت، پهنه-بندی زاویه طیفی) واحدهای سنگی منطقه ترود - معلمان را از هم تفکیک گردید و سپس براساس نتایج حاصل نقشه اولیه زمین‌شناسی در محدوده تهیه گردید.

نتایج حاصل از روش‌های کیفی بر روی تصویر سنجنده  $ETM^+$ ، نوار ماگمایی، واحدهای رسوبی و مناطق دگرسانی به خوبی از هم تفکیک شده‌اند و همچنین واحدهای رسوبی با توجه به سن و جنس-شان از یکدیگر متمایز شده‌اند. اما به دلیل عدم وجود مرز واضح و گستره کم این پدیده بین واحدهای آتشفشانی میزبان با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق، به طور کاملاً واضح از هم تفکیک نشده‌اند. نتایج حاصل از اعمال روی تصاویر حاصله از سنجنده ASTER، نتایج جامع‌تر و کامل‌تری نسبت به تصاویر  $ETM^+$  حاصل شد و تمام واحدهای سنگی منطقه از جمله واحدهای آتشفشانی، توده‌های نفوذی، مناطق مختلف دگرسانی، واحدهای رسوبی از یکدیگر تفکیک شده‌اند.

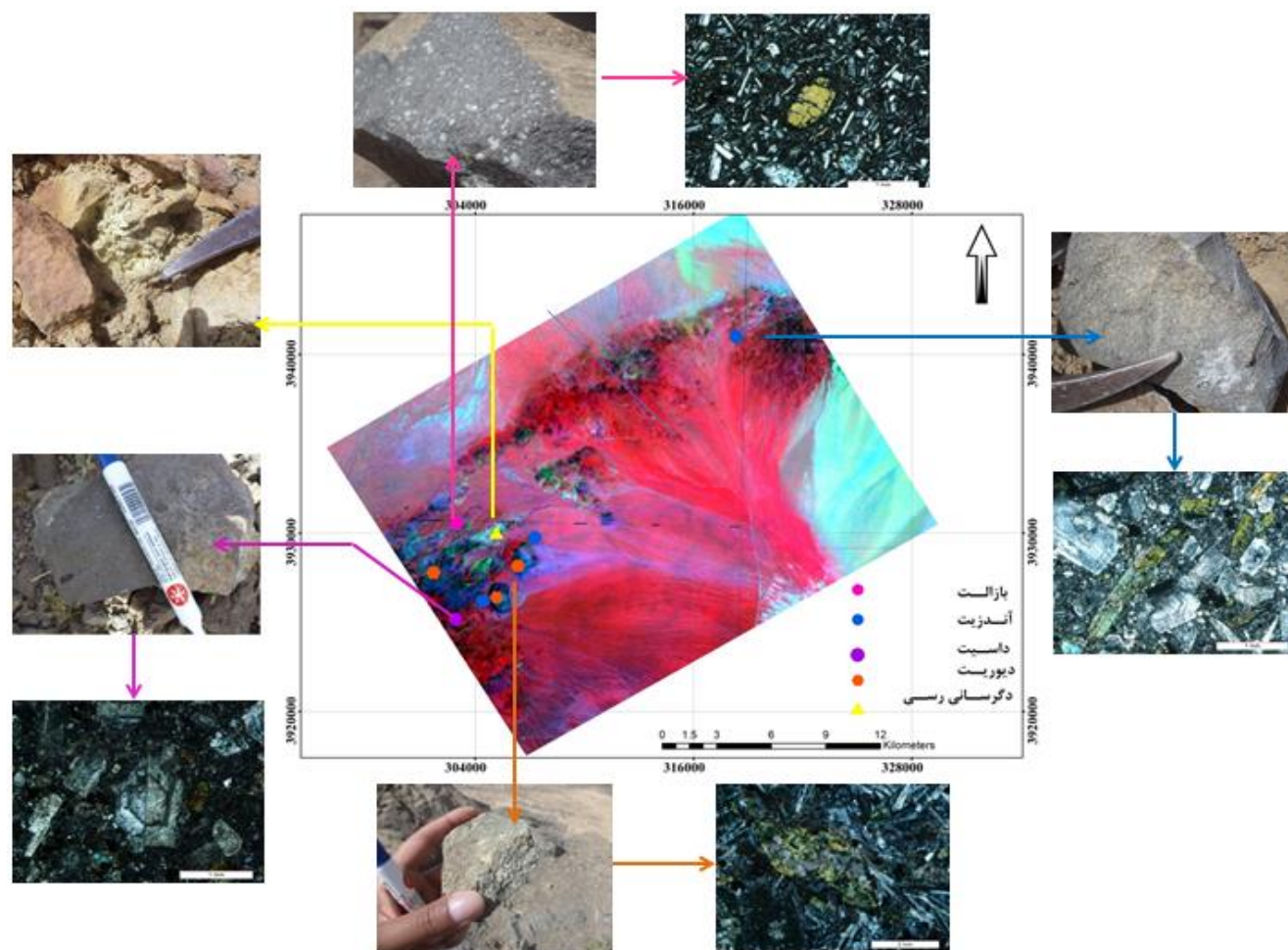
به طور کلی تصاویر سنجنده ASTER در تفکیک توده‌های نفوذی بعد از ائوسن در میان واحدهای آتشفشانی، در تفکیک مناطق دگرسانی منطقه از دیگر واحدهای سنگی و همچنین تفکیک مناطق دگرسانی از یکدیگر، به طور چشمگیری موفق بوده‌اند. نتایج حاصل از اعمال روش‌های مختلف کمی بر روی تصاویر سنجنده‌های  $ETM^+$  واحدهای سنگی منطقه با کلاس‌های متفاوت از هم تفکیک شده است. و با توجه به نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی انجام گرفته توسط محققان (قربانی و

همکاران، ۱۳۸۴ خواجه زاده و همکاران، ۱۳۸۹) منطقه نتایج قابل قبولی حاصل گردید. اما به دلایلی که در فصل پنجم ذکر شد امکان انجام مطالعات کمی با داده‌های آستر وجود ندارد.

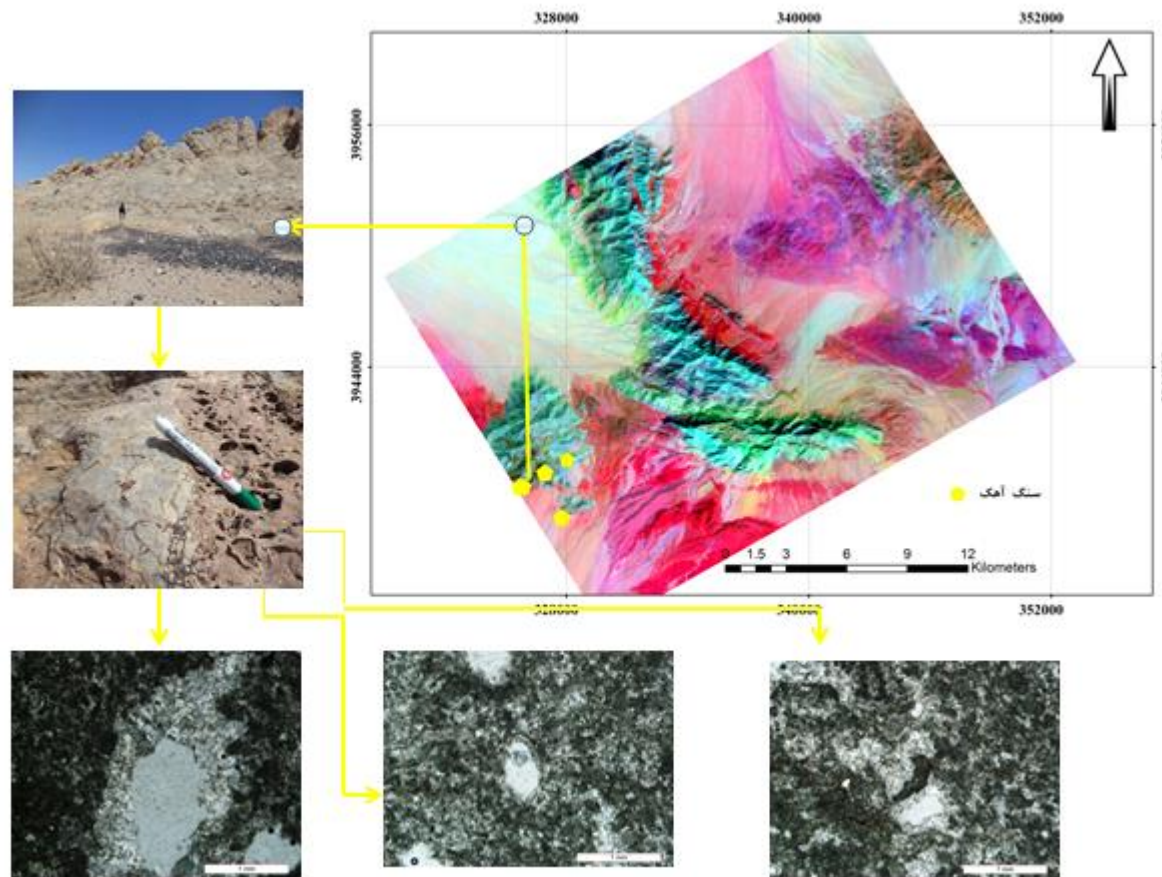
نتایج حاصل از اعمال روش‌های مختلف کمی بر روی تصاویر سنجنده‌های  $ETM^+$  واحدهای سنگی منطقه را با استفاده از طیف‌های حاصله از تصویر و طیف‌های موجود در کتابخانه طیفی تشخیص داده و گستره آن‌ها را بر تصاویر تعمیم می‌دهد که اعمال این روش توانسته است واحدهای سنگی را از یکدیگر که بیشتر نمونه‌های برداشت شده با نتایج سنجش از دور هم‌خوانی دارد و علت عدم هم‌خوانی برخی نمونه‌ها رزولیشن تفکیک‌پذیری طیفی پایین داده‌های  $ETM^+$  می‌باشد. برای سنگ‌های آتشفشانی ۹۵ درصد برای سنگ‌های رسوبی تقریباً ۱۰۰ درصد و برای سنگ‌های نفوذی ۵۵ درصد نتایج حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای با نمونه‌های به دست آمده از بازدید صحرایی نتایج یکسانی داشته است.



شکل ۶-۱ تصویر حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، بازدید صحرایی و کارهای آزمایشگاهی در بخش غربی محدوده مورد مطالعه



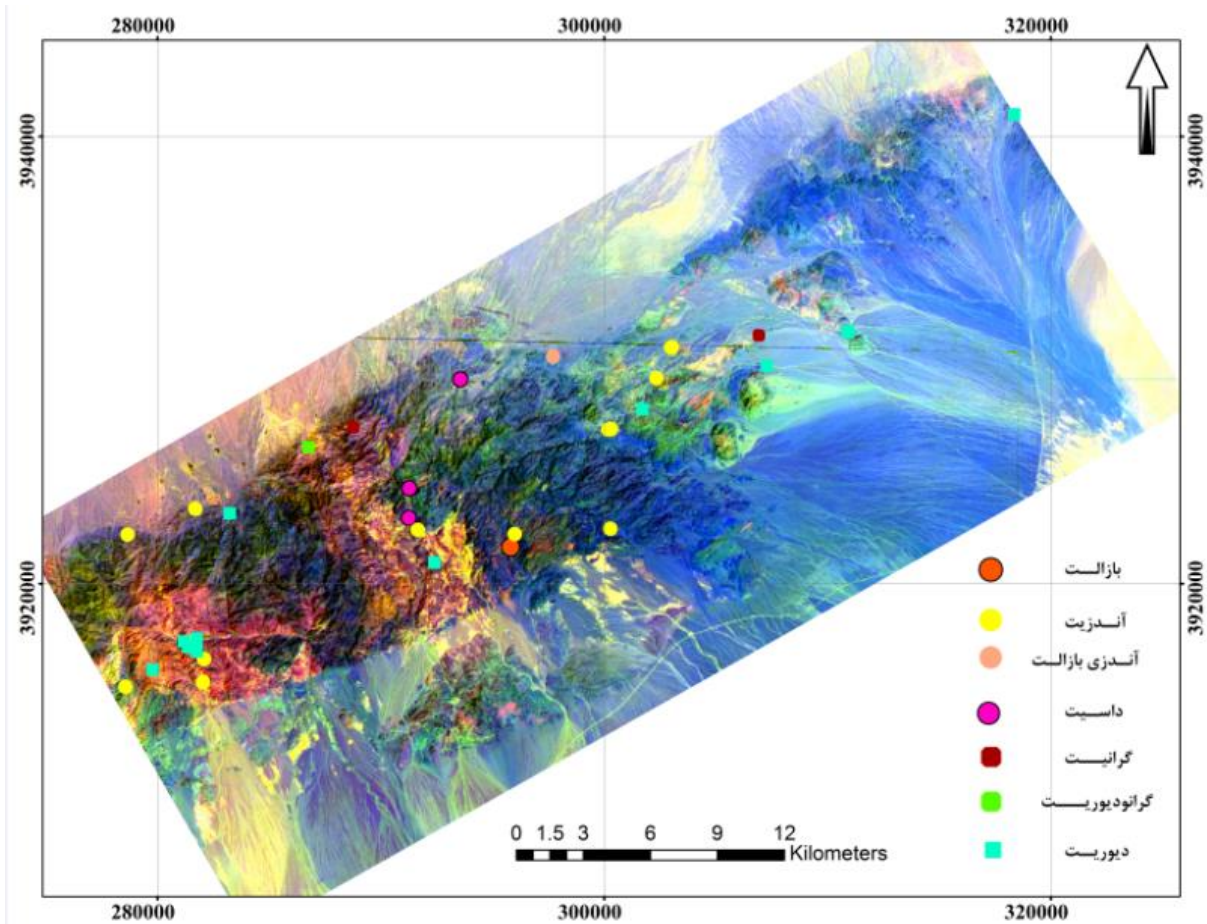
شکل ۶-۲ تصویر حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، بازدید صحرایی و کارهای آزمایشگاهی در بخش میانی محدوده مورد مطالعه



شکل ۶-۳- تصویر حاصل از تلفیق تصاویر ماهواره‌ای، بازدید صحرایی و کارهای آزمایشگاهی در بخش شرقی محدوده مورد مطالعه



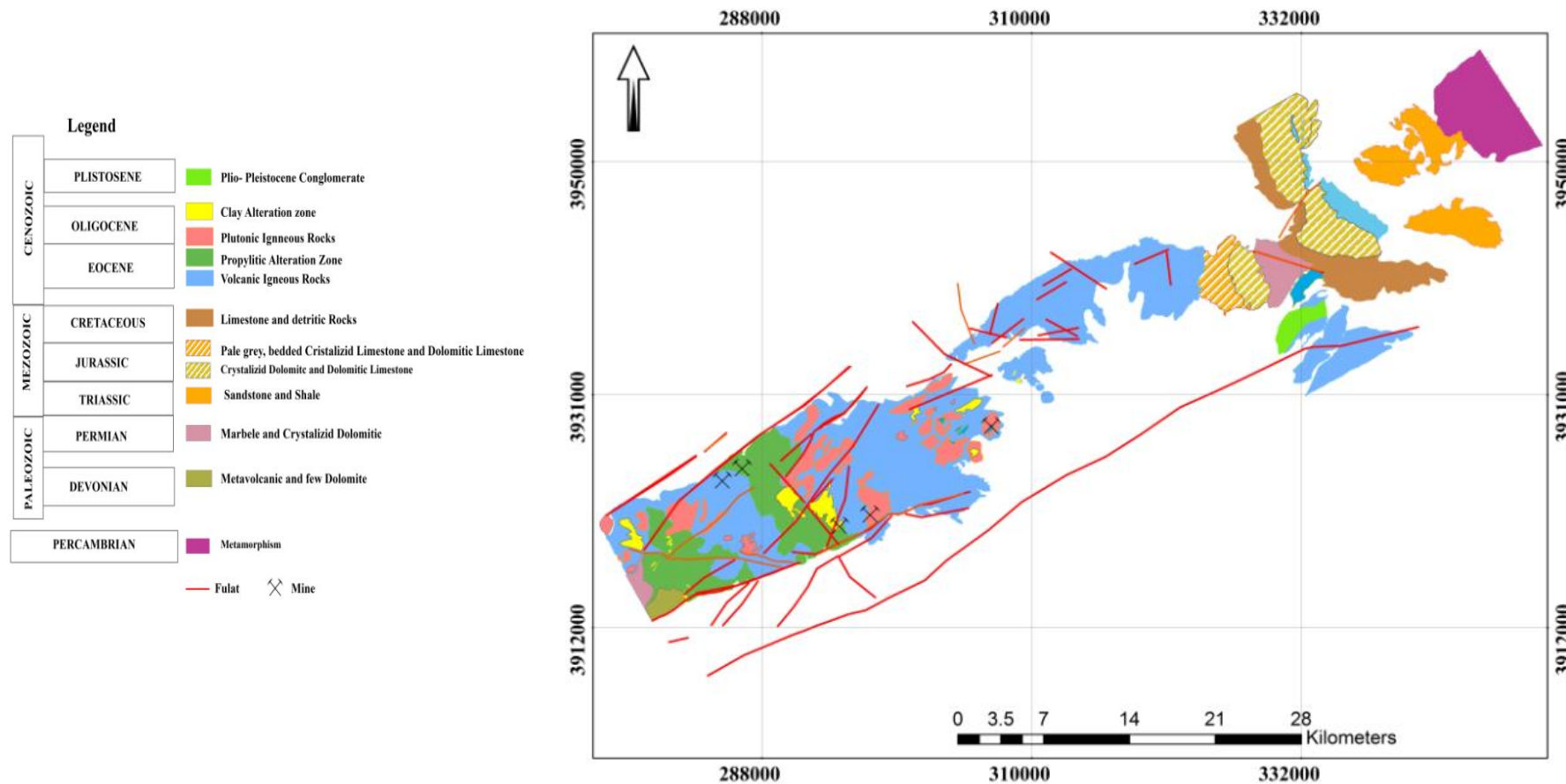
آنالیزهای ژئوشیمیایی حاصل کار محققان پیشین (دکتر قربانی ۱۳۸۴ و مهندس خواجه‌زاده ۱۳۸۹) منطقه تروود - معلمان می‌باشد که جهت اعتبار سنجی نتایج حاصله در روش کار مورد استفاده قرار گرفت. تلفیق نتایج حاصله از آنالیزهای ژئوشیمیایی و تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی ۷۴ درصد و توده‌های نفوذی ۵۰ درصد نتایج یکسانی داشته است. (شکل ۶-۱).



شکل ۶-۴- اعمال نتایج حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی محققان پیشین بر روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

## ۶-۲- تهیه نقشه نهایی از واحدهای سنگی

بر اساس تصاویر رنگی مختلف، سعی در بارز نمودن واحدهای سنگی و مناطق دگرسانی منطقه مورد مطالعه نموده‌ایم که نتیجه‌ی آن در شکل (۶-۵) ارائه شده است. در این راستا در شکل مذکور، محل، نوع و موقعیت سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی و سنگ‌های رسوبی براساس نوع سنگ، سن و جنس سنگ از یکدیگر تفکیک شده‌اند.



شکل ۵-۶ تصویر نهایی از منطقه ترود و تفکیک واحدهای سنگی و مناطق دگرسانی

## ۶-۳- پیشنهادات

- ۱- به منظور شناسایی بهتر واحدهای سنگی کوچک از تصاویر ماهواره‌ای با توان تفکیک مکانی بالاتر مانند داده‌های هایپریون و اسپات و ... استفاده شود.
- ۲- برای تشخیص بهتر سنگ‌ها و استفاده از روش‌های کمی از داده‌هایی با توان تفکیک کیفی بهتر مانند داده‌های استر و هایپریون و یا تصاویر ابر طیفی استفاده شود.
- ۳- به منظور مطالعه کمی با استفاده از داده‌های استر از داده‌های اصلی استفاده شود زیرا داده‌های تهیه شده از سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کاربردی در مطالعه کمی ندارند.
- ۴- با استفاده از طیف‌نگارها نمودار امضای طیفی سنگ‌های منطقه تهیه شود و برای مطالعه کمی از این نمودارها به جای نمودارهای کتابخانه‌ی طیفی (USGS) استفاده شود.
- ۵- تصاویر استر تصحیح شده و روش‌های طیفی روی این تصاویر اعمال شود.
- ۶- ترکیب چند تصویر ماهواره‌ای مثلاً Spot و ETM<sup>+</sup> هم انجام شود.

- افتخارنژاد، ج.، (۱۳۵۹)، " تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط باحوضه‌های رسوبی، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، صفحه ۲۸-۱۹
- آسیابانها، ع.، (۱۳۷۴)، "بررسی میکروسکوپی سنگهای آذرین و دگرگونی"، مترجم، چاپ اول، انتشارات دانشگاه بین المللی امام خمینی، ص ۶۳۰.
- اشراقی، ص. ع.، (۱۳۸۲). گزارش زمین شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ معلمان. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اشتوکلین و همکاران (۱۳۵۲)، "بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- آقاجانی، ح.، (۱۳۷۵)، "مطالعات اکتشافات ژئوشیمیایی کانسار طلای کوه زر دامغان" رساله کارشناسی ارشد، ۲۱۱ص.
- آقاجانی، ح.، (۱۳۹۰) " اصول سنجش از دور" جزوه درسی دانشکده معدن- نفت - ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- آقاجانی، ح.، محمدی ح.، بابایی ب.، (۱۳۹۱)، " شناسایی پتانسیل‌های معدنی منطقه رزوه شاهرود با استفاده از داده‌های سنجش از دور". مجله زمین‌شناسی کاربردی، شماره ۳، دوره ۲، ص ۷۲-۷۹.
- آقانباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، چاپ اول، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۶۰۶.
- امام جمعه، ا.، (۱۳۸۵). "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی، شمال غرب تروود، استان سمنان، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی دانشگاه تربیت مدرس.
- بحیرایی ز، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه ارشد: "پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی شمال تا شمال باختری تروود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- باقرزاده، ز. (۱۳۹۲). "کانه‌زایی منگنز - سلسیت برون‌دومی در توالی آتشفشان - رسوبی ائوسن در منطقه ترود"، رساله کارشناسی ارشد، صفحه
- بربریان، م.، (۱۳۷۵)، "پژوهش و بررسی نوار زمین‌ساخت، لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه - گسلش در گستره سمنان" سازمان زمین‌شناسی کشور گزارش شماره ۶۳.
- جاهدی، ف.، فرخی، ش.، (۱۳۷۵)، " مبانی سنجش از دور" مرکز سنجش از دور ایران، ۲۳۸ص
- جمالی، ز. (۱۳۹۳). " بررسی پترولوژی و ژئوشیمی گندهای ساب ولکانیک منطقه رزه. " رساله کارشناسی ارشد، ۱۴۹ص.
- حمید، ز.، (۱۳۹۴). " تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه‌ی زمین‌شناسی یکصد هزارم هشت‌رود. " رساله کارشناسی ارشد، ۱۶۰ص.
- خادمی، م.، (۱۳۸۶)، " ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۰ صفحه.
- خان ناظر، ح.، (۱۳۷۳). " نقشه زمین‌شناسی چهار گوش جاجرم " مقیاس ۱/ ۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور.
- خواجه‌زاده م. ح.، (۱۳۸۸)، " پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین عمیق و نیمه عمیق شمال معلمان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۴۶ص.
- درویش‌زاده ع.، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیر کبیر، ص ۹۰۱.
- ذوالفقاری، ص (۱۳۷۷) بررسی پترولوژی سنگهای آتشفشانی ائوسن در محدوده معلمان دامغان. رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی تهران.
- رسولی، ع. الف (۱۳۸۷)، " مبانی سنجش از دور کاربردی. " انتشارات دانشگاه تبریز. ۷۰۳ص.
- رضایی، م.، (۱۳۹۰)، "کاربرد فن‌آوری داده‌های ماهواره‌ای در اکتشاف مناطق انرژی زمین‌گرمایی در بخش مرکزی ایران ( محلات) و اعتبارسنجی نتایج با استفاده از داده‌های مغناطیسی هوایی و ژئوشیمیایی. " رساله کارشناسی ارشد، ۱۰۲ص.
- رحمتی ایلخچی م.، (۱۳۸۱)، "گزارش زمین‌شناسی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰: رزوه"، ۲۹صفحه.

- رحمتی ایلخچی م.، ندیم ح.، سهندی م.ر.، بهره‌مند م.، (۱۳۸۲)، "شرح نقشه زمین‌شناسی یک صد هزار رزوه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور".
- سپاهی، ع.ا (۱۳۸۱). "پتروگرافی و پترولوژی سنگ‌شناسی آذرین (مبانی پترولوژی تجربی) انتشارات نور علم، همدان، ۳۰۸ص
- سحابی ف.، (۱۳۸۸). "سنگ‌شناسی رسوبی" چاپ ششم، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۰ص.
- شمعیان اصفهانی، غ (۱۳۸۱)، مطالعه دگرسانی گرمایی فلزات پایه و گرانها در منطقه معلمان دامغان، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
- صالحی نسب، س. (۱۳۹۴). "کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسار مس بند قیچی منطقه تروود". رساله کارشناسی ارشد،
- طائفی، ن. (۱۳۹۳). "ژنز کانه‌زایی مس و سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان - رسوبی ائوسن شمال ایران مرکزی، شرق و جنوب شرق شاهرود" رساله کارشناسی ارشد،
- علوی پناه، ک (۱۳۸۲). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۸ص.
- علوی نائینی، م.، (۱۳۵۱). "بررسی زمین‌شناسی ناحیه جم. سازمان زمین‌شناسی گزارش شماره ۲۳.
- علیزاده ربیعی، ح.، (۱۳۷۴). "سنجش از دور (اصوال و کاربرد)" سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی چاپ دوم ۲۸۷ص.
- قاسمی ح.، الهیاری س.، طاهری ع.، صادقیان م.، (۱۳۹۲)، "موقعیت چینه‌شناختی و تحلیل بافتی سنگ‌های آتشفشانی نوار آتشفشانی - رسوبی عباس‌آباد، شمال شرق شاهرود". پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال بیست و نهم، شماره اول، ۲۵-۴۴ص.
- قاسمی ح.، لنکرانی م.، همام م.، (۱۳۸۹)، "پترولوژی سنگ‌های آذرین"، مترجم، چاپ اول، مشهد، ۵۵۶ص.
- قربانی، ق.، (۱۳۸۴). "پترولوژی سنگهای ماگمایی جنوب دامغان"، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی، ۳۵۰ص.
- قربانی، ق.، وثوقی عابدینی، م؛ قاسمی، ح؛ پور معافی، م (۱۳۸۴)، دما- فشار سنجی توده‌های گرانیتوئیدی منطقه تروود- چاه شیرین (جنوب دامغان)، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- فاطمی، ب.، رضایی، ی.، (۱۳۹۱) "مبانی سنجش از دور" چاپ سوم انتشارات آزاده ۲۸۸ص.

- کهنسال، ر.، (۱۳۷۷)، بررسی توده‌های نفوذی نیمه ژرف در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان دامغان. رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.
- مجیدی، پ.، (۱۳۹۲)، " بررسی سازوکار جایگیری توده گرانیتوئیدی چالو (جنوب شرق دامغان) با استفاده از روش ناهمسانگردی پذیرفتاری مغناطیسی (AMS)،" رساله کارشناسی ارشد، ص.
- مر، ف.، هاشمی تنگستانی، م (مترجم) (۱۳۸۲). سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. انتشارات مرکز نشر دانشگاهی، ۲۲۰ ص.
- مصدق، م. (۱۳۹۴)، "مطالعه کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان منطقه معلمان." رساله کارشناسی ارشد،
- معین وزیری ح.، احمدی ع.، (۱۳۸۰)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگهای آذرین"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تربیت معلم، ۵۴۴ ص.
- مهرابی، ف.، (۱۳۷۴)، "کانی‌های سنگ ساز در مقطع نازک"، انتشارات دانشگاه شیراز، جلد ۴۶۳، ۱ ص.
- مهری، ب (۱۳۷۷). زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار سرب و نقره خانجار (جنوب غرب دامغان). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه ترود، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رزوه، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نبوی، م.، (۱۳۵۵)، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.
- نبوی، م.، پرتوآذر، ح.، (۱۳۵۶). "کشف سری کرتاسه زیرین (نیوکومین در ناحیه بیارجمند (بیار)."
- هلمهاکر (۱۸۹۸) و هنمک (۱۸۹۹)، پی جویی طلا در زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، در قربانی، ق (۱۳۸۴). پترولوژی سنگهای ماگمایی جنوب دامغان، رساله دکترا، دانشگاه شهید بهشتی.
- هوشمندزاده، ع، علوی، م، حقی پور، ع (۱۳۵۷). تحول پدیده های زمین شناسی ترود. سازمان زمین شناسی کشور، گزارش شماره H5.

## Reference

- Abrams, M.J., Brown, D., Lepley, L., Sadowski, R., 1983- Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona, *Economic Geology*, v. 78, p.591-604.
- Abrams, M.J., Hook, S. (2001). ASTER User's guide. Part 1 General (ver. 2.0). Earth Remote Sensing Data Analysis Center, Jet Propulsion Laboratory, 80 P.
- Alavi-Naini, M., 1972, Etude geologique de la region de Djam . Geological Survey of Iran, . p. ۲۸۸, ۲۳n.
- Alavi. M. (1991)" Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran" *Geological Society of America Bulletin* 13, pp ۹۹۲ - ۹۸۳.
- Amer, R., Kusky, T., El Mezayen, A., 2012. Remote sensing detection of gold related alteration zones in Um Rus area. Central Eastern Desert of Egypt. *Adv. Space Res.* 49,121-134.
- Azizi, H., Rsaouli, A. A., Babaei, K., (2007) Using SWIR bands from Aster for discrimination of hydrothermal altered minerals in the northwest of Iran (SE-Sanandaj -key for exploration of copper and gold mineralization, *Research Journal of Applied Sciences* 6: 763-768
- Barbey, P., D., Ayalew and G., Yirgu, 2005 Insight into the origin of gabbro-dioritic, cumulophyric aggregates from silicic ignimbrites: Sr and Ba zoning profiles of plagioclase phenocrysts from Oligocene Ethiopian Plateau rhyolites: *Contribution to Mineralogy and Petrology*, v. 149, p ۲۴۵ - ۲۳۳.
- Berberian M., King G.C.P., (1981) "Toward the paleogeography and tectonic evolution of Iran Report". 52: 626pp.
- Best G. 2003. "**Igneous and metamorphic petrology**". 729pp.
- Bozorgnia, F., Banfti, S., (1964) "Microfacies and Micro organisms of paleozoic Through tertiary sediments of some parts of Iran 22p.
- Chavez, P C., Bauer, B., 1982, Automatic optimum of Environment, Vol 12, 22-38
- Clark, C., and Cañas, A. (1995). Spectral identification by artificial neural network and genetic algorithm. *International Journal of Remote Sensing*, 16, pp.2255-2275.



- Clark, R. N., Swayze, G. A., Livo, K. E., Kokaly, R. F., King, T. V. V., Dalton Vance, Reflectance, J. S., Rockwell, B. W., Hoefen, T., and McDougal, R. R., "Surface Calibration Using AVIRIS" in Proceedings of Using AVIRIS" in Proceedings of Terrestrial Imaging Spectroscopy Data: a Tutorial 10th Airborne Earth Science Workshop, JPL Publication 02-1, 2002
- Crosta A, Moore JM, Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State, Brazil a prospecting case history in Greenstone belt terrain. Proceedings of the Seventh ERIM Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, 1989, pp. 1173–118.
- Crosta, A.P., Souza Filho, C.R., Azevedo, F. And Brodie, C., (2003). Targeting key imagery and principal component analysis, International Journal of Remote sensing, 24, PP. 4233
- Ding, C., Li, X., Liu, X., Zhao, L., (2014). "Quartzose–mafic spectral feature space model: A methodology for extracting felsic rocks with ASTER thermal infrared radiance data." School of Information Engineering, China University of Geosciences, 29 Xueyuan Road, Beijing 100083, China.
- Di Tommaso, I.M., Rubinstein, N., 2006, Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, Journal of Ore Geology Reviews, volume in the Infiernillo porphyry deposit, Argentina, Journal of Ore Geology Reviews, volume 29, pp. 1-16.
- Di Tommaso, L. and Rubinstein, N., "Hydrothermal alteration mapping using ASTER data in the Infiernillo porphyry deposit journal of ore geology, Argentina", vol. 32, p.p. 275 – 290
- Stocklin, J., (1968) Structural history and tectonics of Iran. A review. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 52, 1229-1285
- Fisher, R.V., 1961, Proposed classification of Volcaniclastic sediment and rocks: Bull. Geol. Soc. Amer., V.27, p.1409-1414
- Gabr, S., Ghulam, A., Kusky, T. (2010). "Detecting areas of high-potential gold mineralization using ASTER data. Ore Geol." No 38, pp. 59-67.
- Green, A., M. Berman, P. Switzer, and M.D. Craig, A Transformation for ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 26, no.1(1988) 65-74.

- Gupta, R. P. (1991), "Remote Sensing Geology", Springer, Berlin, PP.370.
- Green, A., M. Berman, P. Switzer, and M.D. Craig, A Transformation for -ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 26, no.1(1988) 65-74.
- Hant, G .R., Salisbury, J W., 1971, Visible and near-Infra-red spectra of minerals and -Rocks: Carbonates, Modern Geology, 2, 23-3
- Huber,H., (1957), Geology of the east Semnan Area . N.A.O.C. Geology report. unpublished , 40p.
- Huber,H., Stocklin,j., (1956), Geological Report of the Torud – Moalleman Area .N.I.O.C. unpublished report
- Janssen, L., Huurneman, G., (2001) ' Principles of Remote Sensing 'TTC Educational Text Book Series.
- JinYong,lee and jenog Yong, cheon;; Kang Kun, Lee; Geochemical Parameter Distribution in a Ground Water System Contaminated with Petroleum Hydrocarbons
- Kaufmann, H.J., 1988- Mineral exploration along the Aqaba-Levant structure by use of TM-data-concepts processing and results, International Journal of Remote Sensing, v. 9, N. 10-11, p. 1639-1658.
- Kruse1, F. A., "Comparison between AVIRIS and Hyperion for Hyperspectral Mineral Mapping.
- Legge, C.A. (1997). Remote sensing and Geographic Information System, Published in Association with PRAXIS PUBLISHING.
- Le Maiter, R.W.,19 "Igneous Rocks A Classification and Glossary of Terms" Levin.,N,(1999),Fundamentals of Remote Sensing 223pp
- .alteration mapping, Journal Photogrammetric -Loughlin WP, Principal component analysis for Engineering and Remote Sensing 57,1991, 1163-1169
- Mather, P. M., 1999- Computer Processing of Remotely-Sensed Images, An Introduction, Second edition, Wiley, Chichester, 292 P .

-Meer, F.D. (2000). Imaging spectrometry for geological applications, in Encyclopedia of Analytical Chemistry (ed. R.A. Meyers), JohnWiley & Sons, Ltd, Chichester., pp.8601–8638. of alkali basalts of Zlot, Timok Magmatic -Milovanović, S., Banješević, M., 2005, PetroloComplex (Eastern Serbia): Tectonophysics v.410,p.501-509 .

-Navalgund, R. R. and Kasturirangan, K., The remote sensing satel lite – A programme overview. Proc. Indian Acad. Sci. Engg. Sci Remote Sensing – III, 1983, 6, 313–33.

- Ninomiya, Y., 2004- Lithologic mapping with multispectral ASTER TIR and SWIR . Proceedings of SPIE, TheInternational Society for Optical Engineering 5234:180-1.

-Nowroozi, A. A. 1972. Focal mechanism of earthquakes in Persia, Turkey, West Pakistan, and Afghanistan And plate tectonic of the Middle east. Bull.Seismol. Soc.

-Osandon G., Freraut R., Guastafson L.B., Lindsay D.D., Zentilli M.,"Geology of Chuquicamata mine: a Progress report" Economic Geology 96: (2001) 249-270

-Patra, S. K., Shekher, M., Solanki, S. S., Ramachandran, R., & Krishnsn, R. (2006) A technique for generating natural colour images from false colour composite images international journal of remote sensing, 27: 2977-2989

-Patricia, S., Crosta. A. and De Souza. C.A., (2003) Remote sensing sinature of the Morro Do -Ouro gold deposit, MINAS GERAIS, BRAZIL, using reflectance spectrometry: Application to mineral exploration using space borne multispectral sensors, Revista Brasileira deGeociencias, 33 221-227

-Pitia Kujjo.C (2010). Application of Remote Sensing For Gold Exploration in the Nub Mountains, Sudan; Graduate College of Bowling Green.

-Poormirzaee R. Mohamadzade M.J. Naseri A. Zekri H., "Interpretation and Processing of ETM<sup>+</sup> Data for Altration Mapping, A Case Study: Behabad. Iran", Department of Mining Enginnering University of Technology Sahand city, Tabriz, Iran, Water and Geoscience, pp.190-195.

-Ranjbar.H, Honarmand.M, Moezifar.Z (2004). Application of the Crosta Technique for Porphyry Copper Alteration Mapping, Using ETM Data in the Southern Part of the IranianVolcanic Sedimentary Belt; Journal of Asian Earth Sciences 24

- Raup,B.,Kaab,A.,Kargel,J.,Bishop,M.,Hamilton,G.,Lee,E.,Paul,F.,Rau,FSoltesz,D.,  
Khalsa, S., 2007. Remote sensing and GIS technology in the Global Land Ice  
Measurements from Space (GLIMS) Project. *Comput. Geosci.* 33 (1),104-125
- Ramadan, T. M. and Kontny, A., 2004 "Mineralogical and structural characterization  
of alteration zones detected by orbital remote sensing at Shalatein District, SE Desert ,  
Egypt", *Journal of African Earth Sciences*, 40, 89–99.
- Rajendran, S., Nasir, S., Kusky, T.M., Ghulam, A., Gabr, S., El-Ghali, M.A.K., 2013.  
Detectionof hydrothermal mineralized zones associated with listwaenites in Central  
Omanusing ASTER data. *Ore Geol. Rev.* 53, 470–488
- Reda. A., Kusky.T., Gulam. A., 2010," Litological mapping in the central Eastern  
Desert of Egypt using ASTER data"Department of Earth and Atmospheric Sciences and  
Center for Environmental Sciences, Saint Louis University, St. Louis, MO 63103, USA
- Rowan, L.C. & Mars, J.C., 2003- lithologic mapping in the Mountain Pass California  
area using Advanced SpaceborneThermal Emissivity and Reflection Radiometer  
ASTER data. *Remote Sensing of Environment* 84:350-366 .
- Rowan, L. C., Mars, J. C., Simpson, C. J., 2005- Litholoic Mapping of the Mordor  
,Nt,Australia ultramafic complex by using the Advanced Spaceborne Thermal Emission  
and Reflection.Radiometer (aster),*Remote Sensing of Environment Aster Data  
processing wizard*, 2002- Ermapper 6.3 Release Notes:PP.57-70.
- Rourad,G., Bannari, A., Harti, E., Desrochers, A., 2004-Validated Spectral Angle  
Mapper Algorithm for Geological Mapping: Comparative study between quick bird and  
Landsat –TM
- Sabins, F. F., 1992 "Remote sensing for mineral exploration", *Ore Geology Reviews*  
. ۱۸۳–۱۵۷ ,۲۴
- Sabins, F.F. (1997). *Remote Sensing Principles and Interpretation*, 3rd edn., W.H.  
Freeman, New York, 494 P.
- Sabins, F.F. (1999). Remote sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*,  
14, pp.157-183.
- Stocklin, J. (1968 ). *Structural History and tectonics of Iran. A revies*. Reprinted from  
the American Association of petroleum Geologists. *Bull.* Vol. 32. NO

- Thomas M. Lillesand and Ralph W. Kiefer. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons, New York, NY, third edition, 1994. 30, 58, ١٧٠, ١١٩
- Van der Meer, F.D. (2000). Imaging spectrometry for geological applications, in Encyclopedia of Analytical Chemistry (ed. R.A. Meyers), JohnWiley & Sons, Ltd, Chichester., pp.8601–8638.
- Vincent, R.K., 1997- Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing, Prentice Hall, 370 pp
- Wang, F., 1990. Fuzzy supervised classification of remote sensing images, IEEE Transactions on Geosience and Remote Sensing, v. 28, p. 194-201 .
- Weng, Qihao 2007 Remote Sensing of Impervious Surfaces Edition illustrated Publisher CRC Press ISBN 9781420043747 - 488 Pages
- Yang, C., Everitt, J. H. & Bradford, J. M., 2008-Yield estimation from hyperspectral imagery using spectral angle mapper (SAM). American Society of Agricultural and Biological Engineers, V. 51(2), 729-737.
- Yetkine, E.,(2003).MSC thesis, "Alteration Mapping By Remote Sensing: Application To Hasandag – Melendiz volcanic Complex", The Department Of Geological Engineering, The Middle East technical University, Turkey.

## Abstract

The study area, as a part of 1/100000 geological sheets of Moaleman, Rezveh and khors, is located in south to SW of Shahrood city in Semnan province. Based on the available Geological information, in the study area, Intrusive and extrusive igneous rocks are observed with the volcano-sedimentary and sedimentary rocks belonging to different geological times. These rock units are enclosed by two main strike-slip faults including Enjilo in north and Torud in south. The main part of the igneous units of this area, are basaltic volcanic rocks, andesite to dacite and Pyroclastic rocks associated with middle-upper Eocene which has been cut by younger subvolcanic intrusions (Upper Eocene). The intrusives are more seen in the form of small stocks and dike and are made of granite, granodiorite and diorite. The sedimentary units are made of limestone, shale and Sandstone and mainly belongs to Triassic to Cretaceous in age.

In this research, Landsat and Terra satellite images (ETM and<sup>+</sup>ASTER sensors) have been used in qualitative and quantitative methods of remote sensing to identify and separate the rock units of the area. In separation of rock units and geological phenomena (Alteration and lineations) in qualitative methods, false color composition methods, the band ratio and the optional and standard principal component analysis have been used and acceptable results were obtained. In quantitative methods as well as using at least a minimum contribution of noise, the volume was reduced from satellite data. then by using the extraction method of net users with a purity index and n-dimensional display, the pure picture elements (pixels) were calculated. Finally, by using the classification method of spectral angle mapping, rock units are identified and separated. By using the results of both qualitative and quantitative methods, geological map was prepared. Field studies and laboratory studies of rock samples were used to validate mapped. The results of the study area indicate that the proper use of remote sensing methods can reduce the costs of geological mapping, especially in impassable areas.

Key words: Remote sensing, ETM<sup>+</sup>, ASTER, quantity, quality, Moaleman, Rezveh.



**Shahrood University of Technology**  
**Faculty of Earth Sciencens**

**Review of quantitative and qualite methods of Remote sensing in identification  
unites rock Geological in the kuh Zar Damghan area.**

**Mahtab Yarahmadi**

**Spervisor:**

**Dr. H. Ghasemi**

**Dr. H. Aghajani**

**Advisor:**

**MSc. M. Rezaei**

**Feb:**

**2016**