

## کاربرد داده های سنجنده ی استر در شناسایی دگرسانی ها

سوران قادری<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد، مهندسی اکتشاف معدن

نام نویسنده مسئول:

سوران قادری

### چکیده

کاربرد سنجنش از دور در سالهای اخیر، در اکتشاف ذخایر معدنی گسترش یافته است. مهمترین قابلیت ماهواره ها در اکتشافات معدنی، شناسایی مناطق دگرسانی است و با توجه به اینکه دگرسانی ها با کانی زایی و در نهایت ذخایر معدنی در ارتباط هستند، شناسایی آن ها با استفاده از تکنیک های پیشرفته ی تفسیر تصاویر ماهواره ای از اهمیت بالایی برخوردار است. در این مطالعه با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده ی استر که قدرت جدایش طیفی بالاتری نسبت به داده های ماهواره ای TM دارد و دسترسی به اطلاعات طیف الکترومغناطیس به نحو چشم گیری در آن افزایش یافته، استفاده شده است. بعد از پیش پردازش داده ها در محیط نرم افزار انوی، با استفاده از روش های فیلترینگ مانند Direction و همچنین روش Laplacian، خطواره های موجود در منطقه بارز شدند که بیشتر آنها جهت یابی شمال شرقی - جنوب غربی را به خوبی نشان می دهند. پردازش داده های ماهواره ای سنجنده ی ASTER با استفاده از روشهای ترکیب باندی، نسبت باندی و آنالیز طیفی به روش SAM و آنالیز مولفه های اصلی و کروستا حاکی از آن است که منطقه مورد مطالعه دارای دگرسانی های بارز آرزلیک، فیلیک و پروپیلیتیک در بخش های مختلف محدوده است. ابتدا ترکیب رنگی کاذب RGB=468 برای شناسایی دگرسانی ها استفاده شد که در این ترکیب زون های آلتراسیون آرزلیک و فیلیک به رنگ قرمز تا صورتی و آلتراسیون پروپیلیتی به رنگ سبز نمایان می شود. در روش نسبت باندی، نسبت ۶/۸ برای شناسایی کانی های شاخص آلتراسیون پروپیلیتیک، نسبت ۵/۶ برای تشخیص کانی های کاتولینیت و مونتوریلونیت (شاخص زون دگرسانی آرزلیک) و نسبت ۷/۶ نیز برای مشخص شدن زون دگرسانی فیلیک و برای تشخیص اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت) با توجه به اینکه بازتاب آن ها در باند ۲ و جذب آن ها در باند ۱ در محدوده ی VNIR از سنجنده ی استر اتفاق می افتد، نسبت باندی ۲/۱ نیز به کار برده شد. همچنین ترکیب نسبتهای باندی RGB=(4/6,6/8,2/1)، نیز برای بررسی دقیق تر دگرسانی ها صورت گرفت که در تصویر حاصل از آن دگرسانی های آرزلیک و فیلیک به رنگ قرمز، دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز و اکسیدهای آهن به رنگ آبی مشخص شد. بررسی ها نشان می دهد که دگرسانی های موجود، ارتباط مستقیمی با خطواره های موجود در منطقه دارند و پیش بینی می شود که گسل ها نقش کنترل کننده ای در ورود محلول های آبدار، ماگمایی و عناصر به واحدهای سنگی مجاور داشته اند و کانه زایی در این منطقه صورت گرفته است. این پژوهش، نواحی با بیشترین احتمال حضور مواد معدنی و کانی سازی را مشخص نموده است؛ به طوریکه نواحی مشخص شده با دارا بودن دگرسانی های اپیدوت-کلریتی و آرزلیکی بارز، تطابق کاملی با کانی سازی های مس و آهن در بخش های مختلف محدوده مطالعاتی نشان می دهند. در نهایت تشخیص کانی زایی مس پورفیری در بخش های مختلف از جمله در جنوب منطقه، کانی زایی طلای آبی ترمال در بخش های شرقی، شمال شرقی و جنوب غربی منطقه و کانی زایی وسیع آهن در بخش های شرقی و جنوب غربی حاصل شد. بنابراین بررسی ها و نتایج حاصل از آن ها، انجام مراحل بعدی اکتشافات توجیه اقتصادی دارد. و قسمت های شرقی، شمال شرقی و جنوب غربی منطقه به عنوان مناطق امید بخش برای مراحل بعدی اکتشاف معرفی می گردد.

کلمات کلیدی: آلتراسیون، کانی زایی، RGB، آرزلیک.

## مقدمه

امروزه بررسی های دورسنجی به دلیل داشتن داده هایی با دید وسیع و یکپارچه و محدوده طول موجی مختلف، از بهترین روش ها در پی جویی کانسارها شناخته می شود. یکی از کاربردهای علم سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای استخراج اطلاعات مورد نیاز برای بررسی کانی زایی بر روی زمین است. به گونه ای که می توان با استفاده از تصاویر سنجنده های مختلف و به کارگیری الگوریتم های خاص و پردازش تصاویر، اطلاعات مورد نیاز را برای شناسایی زون های دگرسانی بدست آورد. استفاده ی بهینه از داده های ماهواره ای در اکتشاف مواد معدنی، بخصوص در اکتشاف کانسار ها، شناخت و نقشه برداری محدوده های دگرسانی مرتبط کمک شایانی به تعیین مناطق امید بخش جهت مراحل بعدی اکتشاف می نماید.

منطقه ی مورد مطالعه در استان کردستان و در مختصات ۴۶ درجه تا ۴۶ درجه و ۴۵ دقیقه ی طول شرقی و ۳۶ درجه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه ی عرض شمالی قرار دارد.

## روش تحقیق

در این پژوهش از داده های ماهواره ای سنجنده ی Aster، که قدرت جدایش طیفی بالاتری نسبت به داده های ماهواره ای TM دارد و دسترسی به اطلاعات طیف الکترومغناطیس به نحو چشمگیری در آن افزایش یافته، استفاده شده است. سنجنده ی استر، تصویر بردار چند طیفی ۱۴ بانده ای است که بر ماهواره TERRA سوار بوده و اطلاعات منابع زمینی را در سه محدوده طیفی مرئی-فروسرخ نزدیک (VNIR)، فروسرخ موج کوتاه (SWIR) و فرو سرخ گرمایی (TIR) اخذ می کند. قدرت تفکیک بهتر و تنوع باندهای سنجنده ی Aster، امکان بررسی دقیق تر رفتار طیفی کانی های شاخص زون های دگرسان شده را میسر ساخته است.

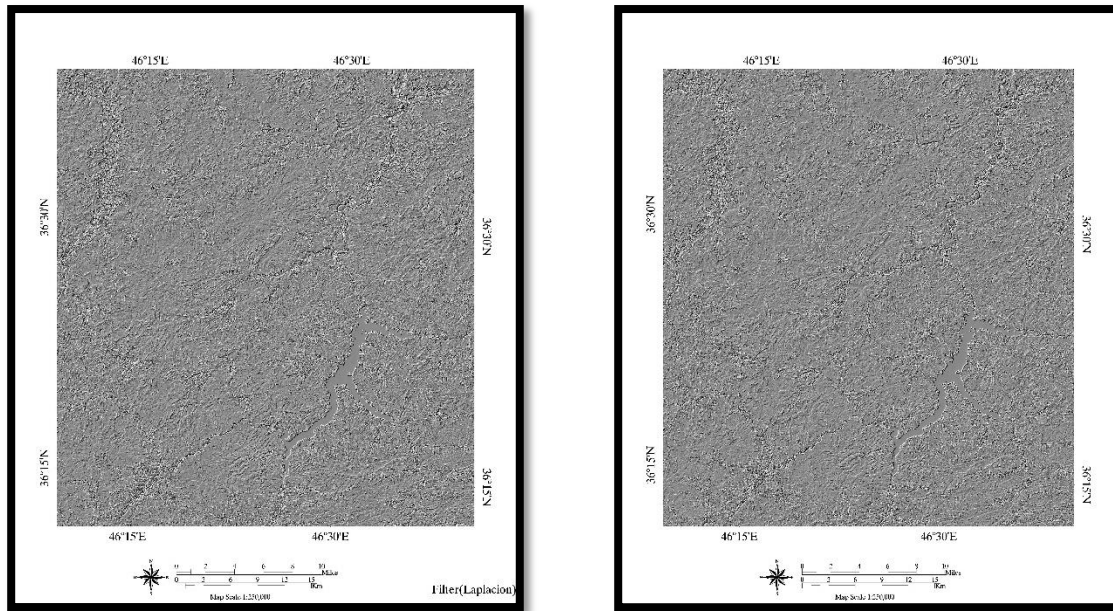
جدول ۱- مشخصات باندهای سنجنده ی استر

دستگاه	شماره باندها	قدرت تفکیک طیفی	قدرت تفکیک زمینی	قدرت تفکیک راداری	
VNIR	۱	۰/۵۲-۰/۶	۱۵	-	
	۲	۰/۶۳-۰/۶۹			
	۳	۰/۷۸-۰/۸۶			
	۴	۰/۷۸-۰/۸۶			
SWIR	۵	۱/۶-۱/۷	۳۰	-	
	۶	۲/۱۴۵-۲/۱۸۵			
	۷	۲/۱۸۵-۲/۲۲۵			
	۸	۲/۲۳۵-۲/۲۸۵			
	۹	۲/۲۹۵-۲/۳۶۵			
TIR	۱۰	۸/۱۲۵-۸/۴۷۵	۹۰	-	
	۱۱	۸/۴۷۵-۸/۸۲۵			
	۱۲	۸/۹۲۵-۹/۲۷۵			
	۱۳	۱۰/۲۵-۱۰/۹۵			
				۱۴	۱۰/۹۵-۱۱/۶۵

با در نظر گرفتن ویژگیهای طیفی هر یک از کانیهای دگرسانی در محدوده ی باندهای SWIR سنجنده استر این مطالعه هدف اصلی خود را بر بارزسازی کانیهای کائولینیت و مونتوریلونیت (زون دگرسانی آرژیلیک)، مسکوویت (زون دگرسانی فیلیک) و اپیدوت، کلریت و کلسیت (زون دگرسانی پروپلیتیک) با استفاده از روشهای پیشرفته نقشه برداری طیفی قرار داده است. در واقع در این پژوهش بعد از انجام پیش پردازش های لازم، ابتدا نقشه ی خطواره های منطقه تهیه شد و سپس با استفاده از روش های ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندهای، آنالیز مولفه های اصلی و کروستا و نقشه بردار زاویه طیفی برای شناسایی لیتولوژی و تفکیک مناطق دگرسانی مرتبط با کانی زایی مس، آهن و طلا استفاده شده است.

### تهیه نقشه ی خطواره ها

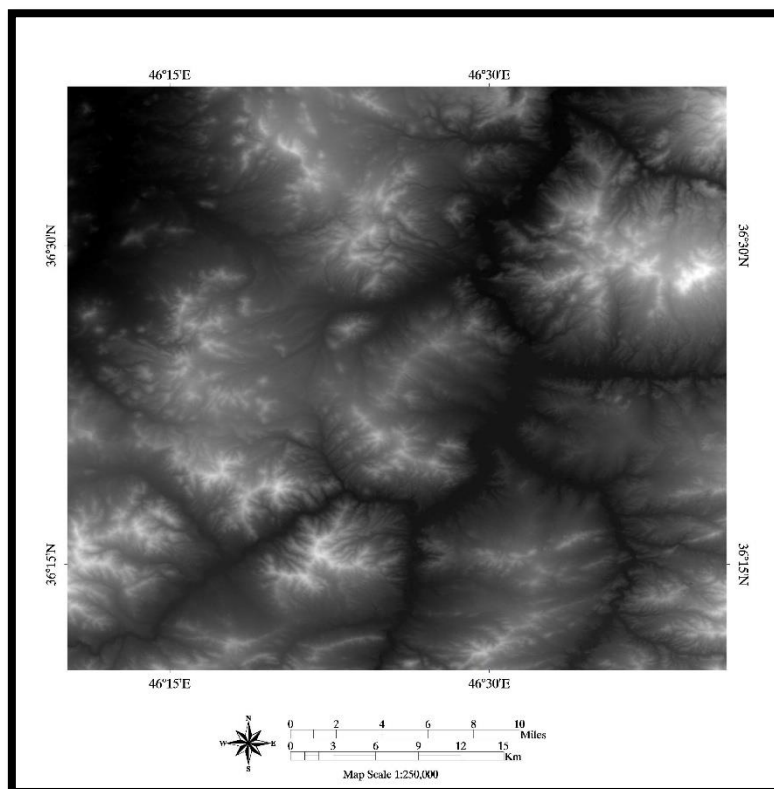
در این بررسی ابتدا نقشه ی خطواره های منطقه با روش های مختلف تهیه شد. از جمله با روش های فیلترینگ در نرم افزار انوی که نتیجه ی انجام آن ها در شکل ۱ آمده است. در این پردازش هم از روش فیلترینگ Direction و هم روش Laplacion استفاده شد و همچنین مدل DEM منطقه ی مورد مطالعه نیز استخراج شد (شکل ۱ الف، ب و شکل ۲).



ب

الف

شکل (۱) نقشه ی خطواره های منطقه ی مورد مطالعه ( الف- با روش Direction. ب- با روش Laplacion)

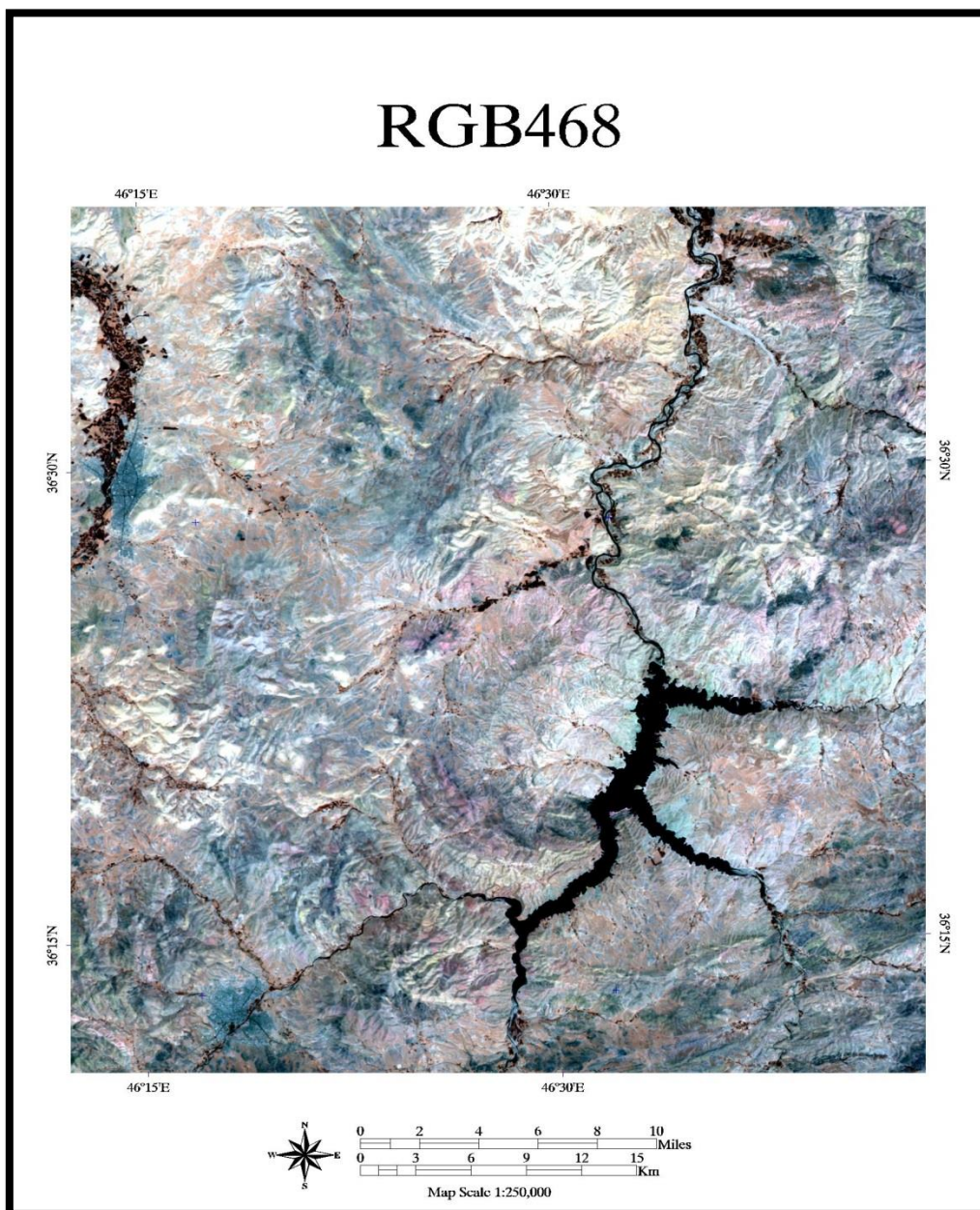


شکل (۲) نقشه ی DEM منطقه

### ترکیب رنگی کاذب (FCC)

استفاده از رنگ ها، اطلاعات بصری و مفهومی بیشتری از تصویر را در اختیار ما قرار می دهد. برای تفسیر بصری زون های آلتراسیون با استفاده از داده های ماهواره ای ASTER از ترکیب های رنگی کاذب (RGB) استفاده می شود. در این مطالعه از تصویری با ترکیب  $RGB=468$  از داده های ماهواره ای ASTER برای شناسایی مناطق دگرسانی استفاده شده است.

منحنی های استاندارد USGS نشان می دهد که کانی های مونت مورینیت، کائولینیت، موسکویت و ایلیت (شاخص زونهای آلتراسیون فیلیک و آرژیلیک) در باند ۴ قلمرو SWIR دارای حداکثر انعکاس و در باند ۶ به دلیل وجود پیوند  $Al-OH$  دارای جذب بالا هستند و کانی های کلریت و اپیدوت (شاخص زون پروپیلیتیک) در باندهای ۵ و ۶ انعکاس بالا و در باند ۸ به دلیل پیوند  $Mg-OH$  جذب بالا نشان می دهند. بنابراین در ترکیب رنگی ۴۶۸ قلمرو SWIR زون های آلتراسیون آرژیلیک و فیلیک به رنگ قرمز تا صورتی و آلتراسیون پروپیلیتی به رنگ سبز نمایان می شود. نتیجه ی حاصل از این پردازش در شکل (۳) آمده است. در این شکل در تصویر حاصل از ترکیب باندهای ۴، ۶، ۸، نواحی با دگرسانی پروپیلیتیک به رنگ سبز و نواحی با دگرسانی رسی (آرژیلیک و فیلیک) به رنگ سفید تا صورتی دیده می شوند. این مسئله به علت بازتابندگی بالای کانیهای آلونیت، کائولینیت و مسکوویت در باند ۴ نسبت به باندهای ۶ و ۸ است (عباس زاده و هزارخانی، ۱۳۸۹). در این شکل در برخی از مناطق پیکسل هایی با رنگ صورتی پر رنگ مشاهده می شوند که مربوط به مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک پیشرفته (آلونیت) هستند.

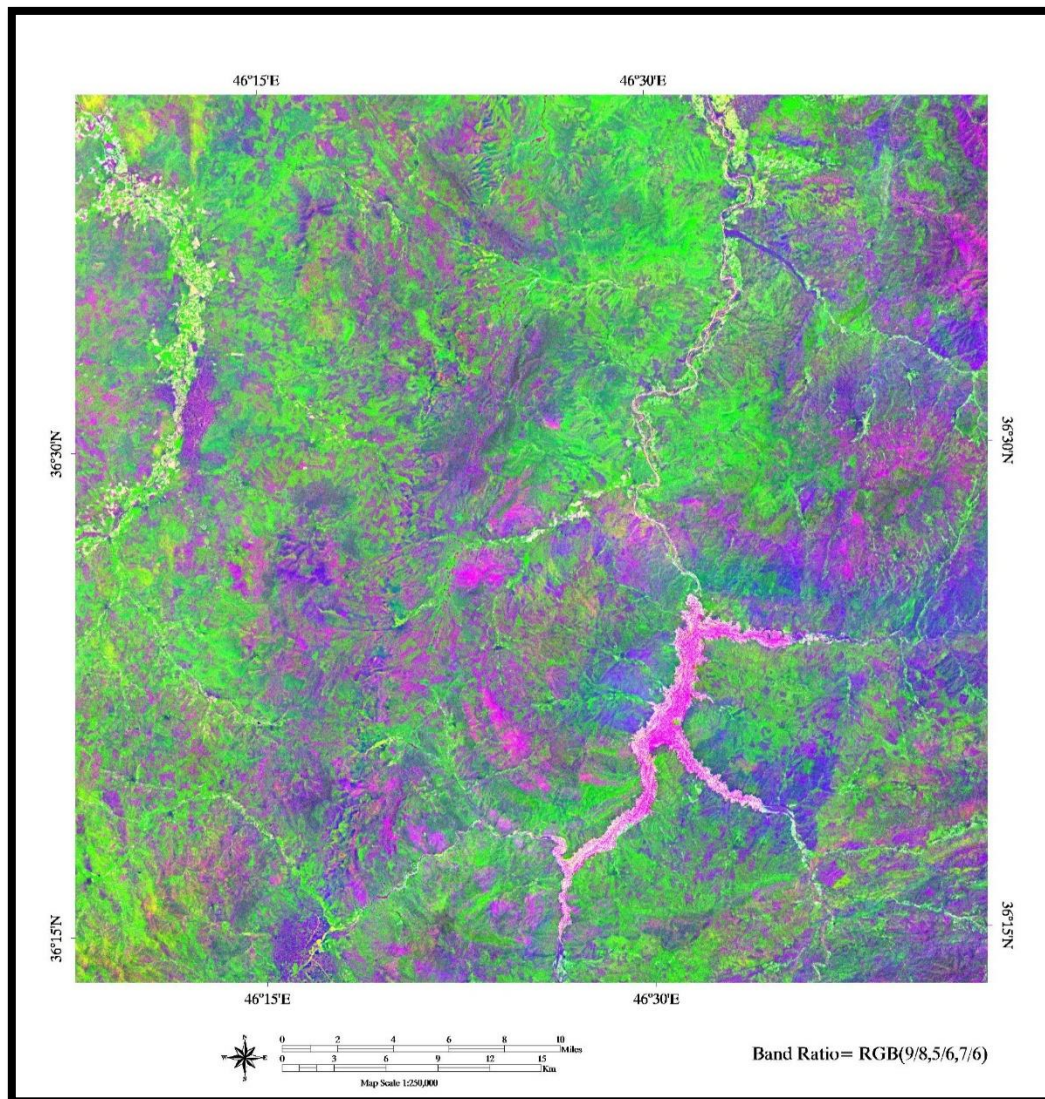


شکل (۳) ترکیب کاذب رنگی ۴۶۸ سنجنده ی استر (دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی و دگرسانی پروپلیتیک به رنگ سبز نمایان است).

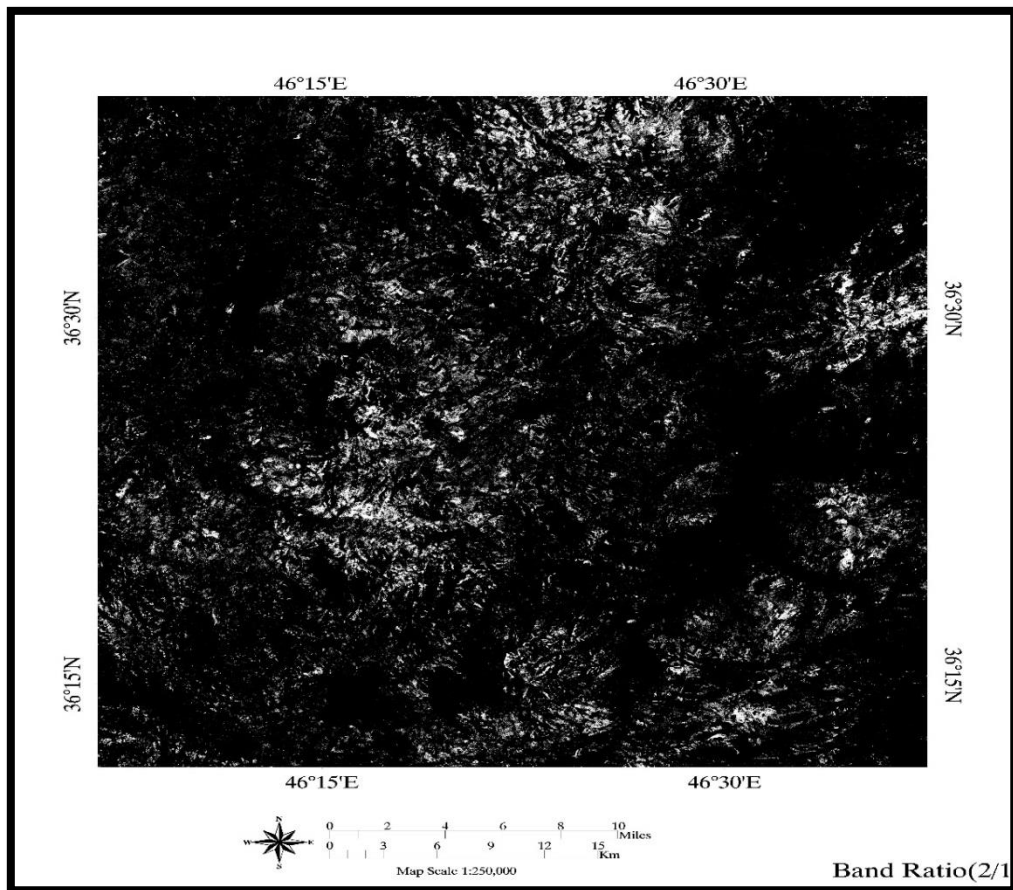
### استفاده از نسبت باندی در بارزسازی دگرسانی منطقه

یکی از روش های رایج در پردازش تصاویر ماهواره ای که کاربرد وسیعی در بررسی دگرسانی ها دارد روش نسبت های باندی است (Rowan et al., ۱۹۷۷). این روش شامل تقسیم کردن دو باند بر همدیگر است. باندی که میزان بازتابش از هدف مورد نظر در آن بیشتر باشد در صورت کسر و باندی که میزان جذب برای همان هدف در آن بالاتر باشد در مخرج کسر قرار می گیرد. با به کارگیری این روش میتوان اثر توپوگرافی و سایه ها در تصویر را به حداقل رساند و اختلاف بین درجات روشنایی تصویر را بارزسازی نمود (Rouskov et al., 2005).

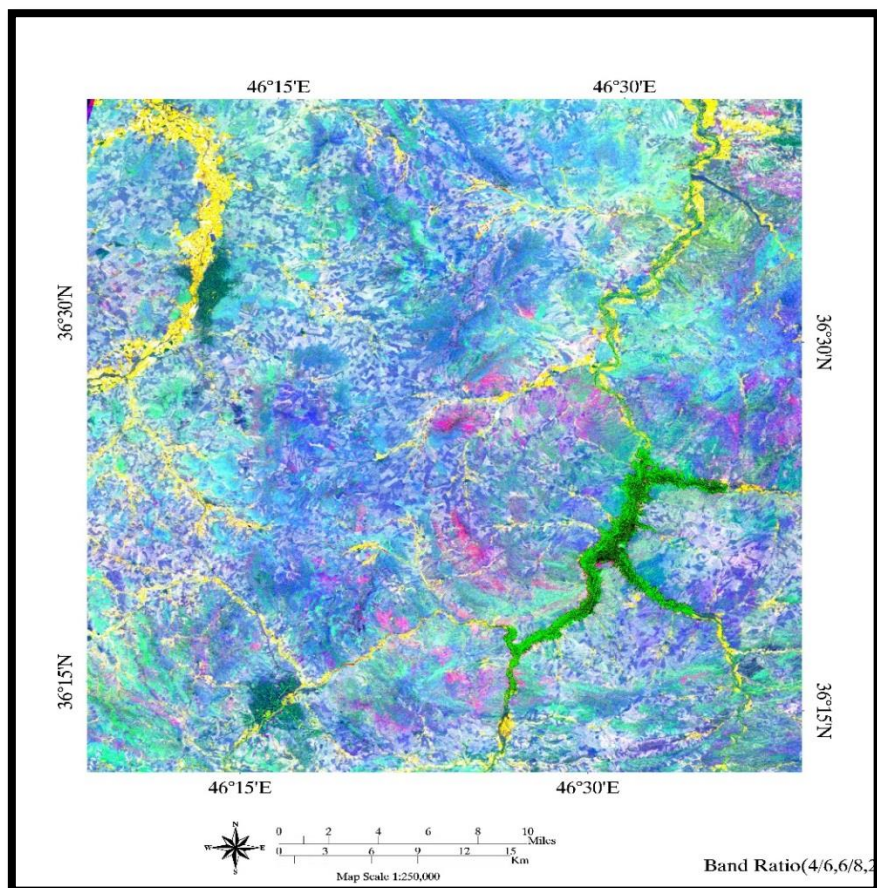
در این بررسی برای مشخص کردن کانی های اپیدوت و کلریت (که نمایانگر مناطق حاوی آلتراسیون پروپیلیتیک هستند) نسبت ۶/۸، برای بارزسازی کانی های کائولینیت و مونتموریلونیت (به عنوان زون دگرسانی آرژلیک) نسبت ۵/۶ و برای بارزسازی کانی مسکویت (به عنوان شاخص زون دگرسانی فیلیک) نسبت ۷/۶ به کار گرفته شد. ترکیب رنگی حاصل از این سه نسبت در شکل (۴) آمده است. در این تصویر پیکسل های سبز رنگ آلتراسیون پروپیلیتیک، بخش های صورتی تا قرمز، آلتراسیون آرژلیک و مناطق آبی نمایانگر آلتراسیون فیلیک هستند. همچنین در این پژوهش برای تشخیص اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت، لیمونیت) با توجه به اینکه بازتاب آن ها در باند ۲ و جذب آن ها در باند ۱ در محدوده ی VNIR از سنجنده ی استر اتفاق می افتد، از نسبت باندی ۲/۱، برای مشخص کردن کانی زایی آهن در منطقه ی مورد مطالعه استفاده شد که نتیجه ی انجام این پردازش در شکل (۵) آمده است. همچنین برای بررسی دقیق تر و استفاده هر چه بیشتر از رفتار طیفی کانی ها، نسبت باندی دیگری به صورت  $RGB=4/6,6/8,2/1$  نیز استفاده شد که نتیجه ی انجام آن در شکل (۶) آمده است. در این تصویر دگرسانی های فیلیک و آرژلیک به رنگ قرمز و دگرسانی پروپیلیتیک به سبز و اکسیدهای آهن به رنگ آبی نمایان است.



شکل (۴) نقشه ی حاصل از انجام نسبت باندی بر روی داده های سنجنده ی استر (RGB= 9/8, 5/6, 7/6)



شکل (۵) نسبت بانندی ۲/۱ (قسمت های روشن اکسیدهای آهن را نشان می دهند)

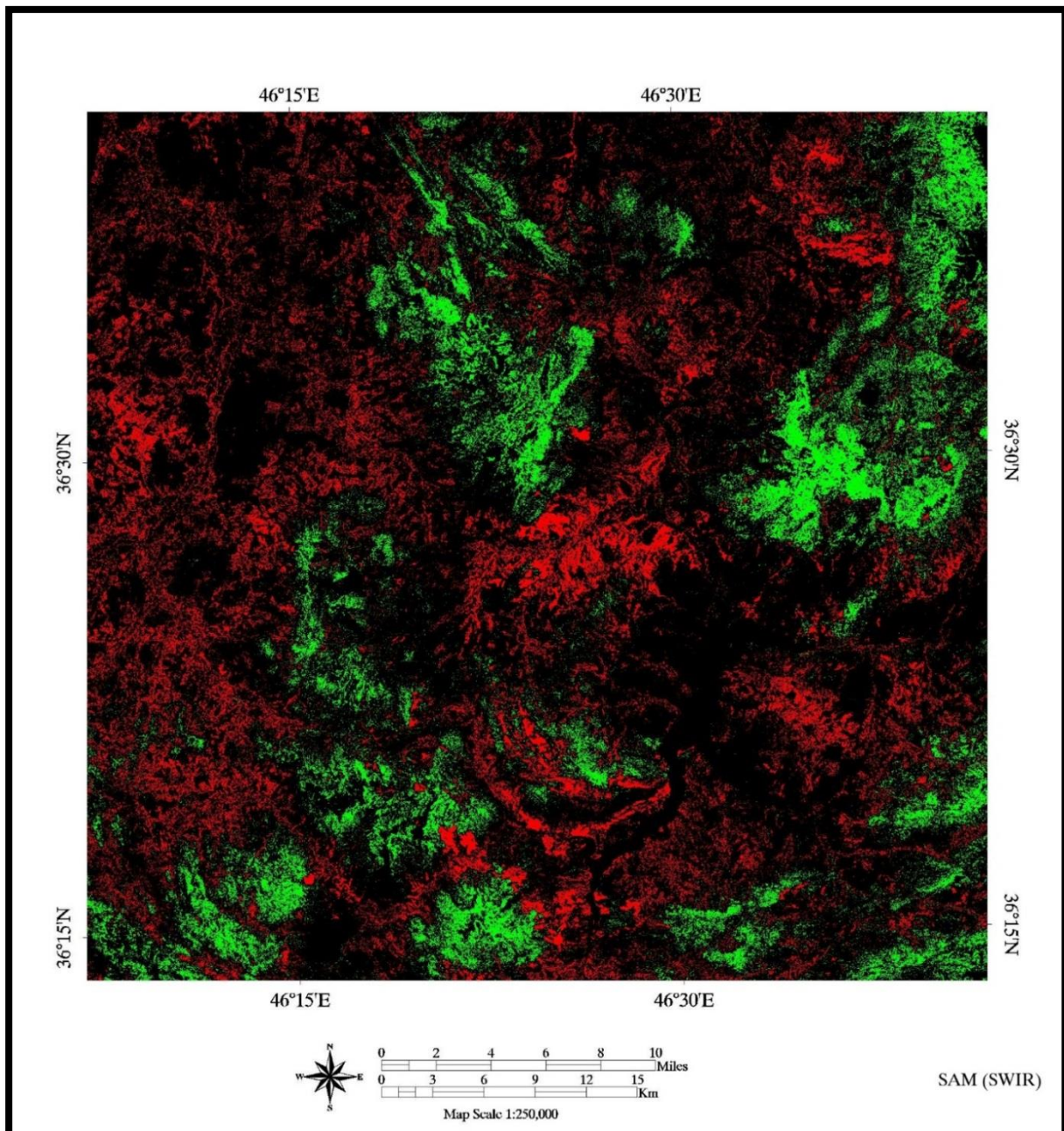


شکل (۶) تصویر حاصل از انجام نسبت بانندی  $RGB=(4/6,6/8,2/1)$ ، قسمت های آبی کانی سازی آهن را نشان می دهند.

### شناسایی دگرسانی منطقه با استفاده از روش (SAM Mapper Angle Spectral)

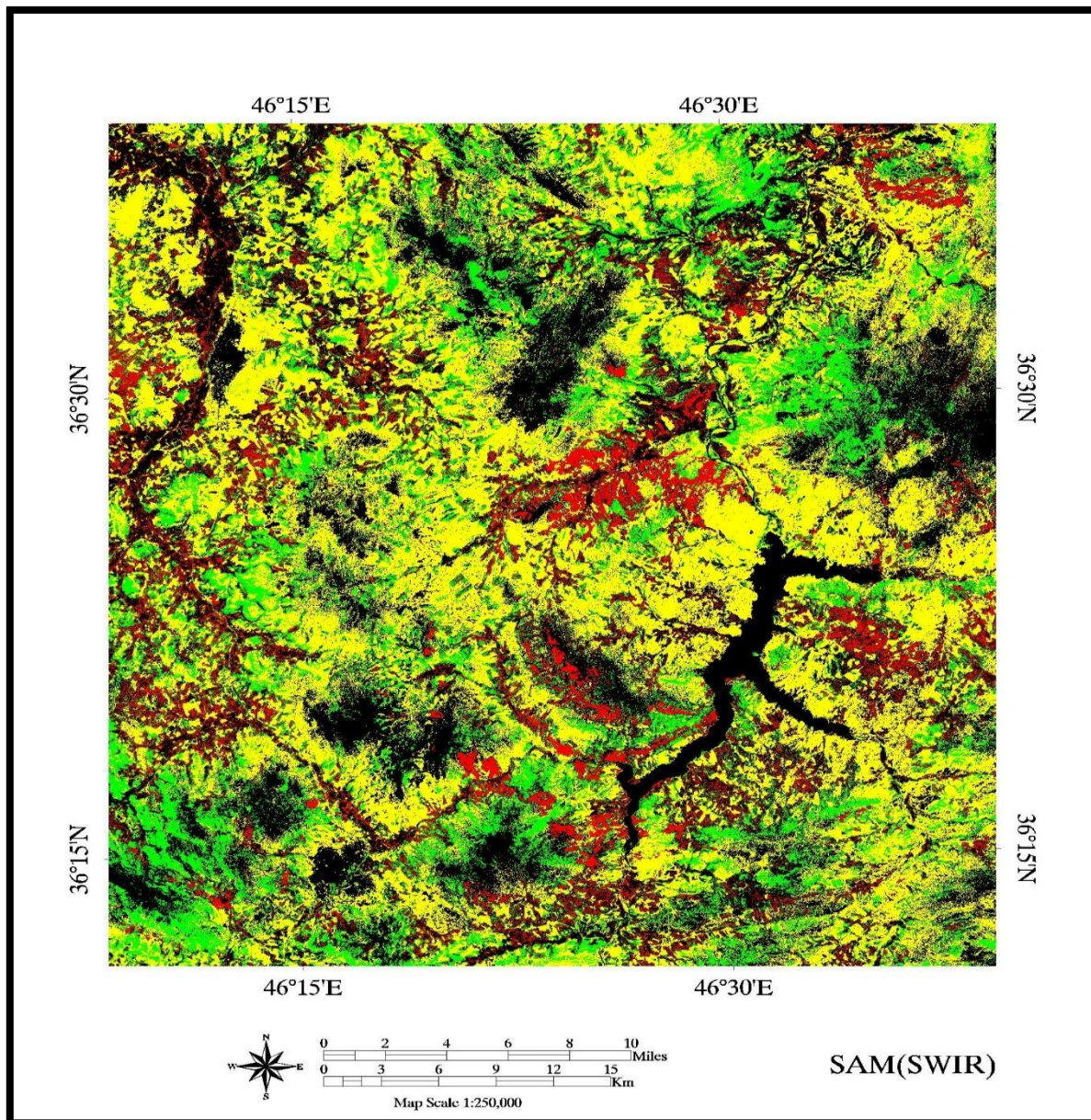
نقشه برداری زاویه ی طیفی به عنوان یک روش طبقه بندی هدایت شده، شیوه ای کارآمد برای مقایسه طیف تصاویر نسبت به طیف استاندارد یا طیف مرجع است. الگوریتم این روش، مشابهت بین دو طیف را به وسیله ی زاویه طیفی بین آن دو محاسبه می کند. در این روش زاویه بین دو بردار مستقل از طول آنهاست، در نتیجه این تکنیک تحت تأثیر عوامل روشنایی خورشید نیست. زاویه دو بردار بین ۰ و ۱ تغییر می کند که حد پایین گویای شباهت بالا و زاویه بزرگ گویای شباهت کم می باشد. خروجی روش نقشه بردار زاویه طیفی تخمینی کیفی از مشابهت طیف مورد نظر با هر طیف مرجع ارائه می دهد. در خروجی حاصل از روش نقشه بردار زاویه طیفی، پیکسل روشن تر معادل زاویه بزرگتر و نشان دهنده اختلاف بیشتر طیف مورد مطالعه با طیف مرجع و پیکسل تاریک تر معادل زاویه کوچک تر و نماد مشابهت بیشتر طیف ها می باشد. دقت این روش به حدی است که می تواند کانی هایی را که در مقاطع میکروسکوپی از یکدیگر قابل تشخیص نیستند و تنها با دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) قابل شناسایی هستند (مانند کانیهای رسی) تفکیک کند.

در این پژوهش از طبقه بندی نظارت شده نیز جهت بررسی کانی زایی منطقه استفاده شده است. در نتیجه ی انجام روش نقشه برداری زاویه طیفی، مشخص شد که بیشترین گسترش دگرسانی منطقه از نوع فلیک و آرژیلیک است که با رنگ قرمز در شکل (۷) مشخص شده است و دگرسانی پروپلیتیک (اپیدوت، کلریت و کلسیت) در نقشه ی حاصل از انجام روش SAM با رنگ سبز نمایان است (شکل ۷). در شکل (۸) نیز نتیجه ی انجام پردازش طبقه بندی نظارت شده بر روی داده های استر در جهت تفکیک زون های دگرسانی آرژیلیک، فلیک و پروپلیتیک (دگرسانیهای عمده موجود در کانسارهای مس پرفیری) نشان داده شده است که در آن پیکسل های زرد رنگ نمایانگر آلتراسیون فلیک، پیکسل های قرمز مشخص کننده ی آلتراسیون آرژیلیک و بخش های سبز رنگ نیز دگرسانی پروپلیتیک را نشان می دهند.



شکل (۷) نقشه‌ی حاصل از انجام روش SAM بر روی داده‌های ASTER (بخش‌های قرمز آلتراسیون آرژبلیک و فیلیک و قسمت‌های سبز آلتراسیون پروپلتیک هستند).

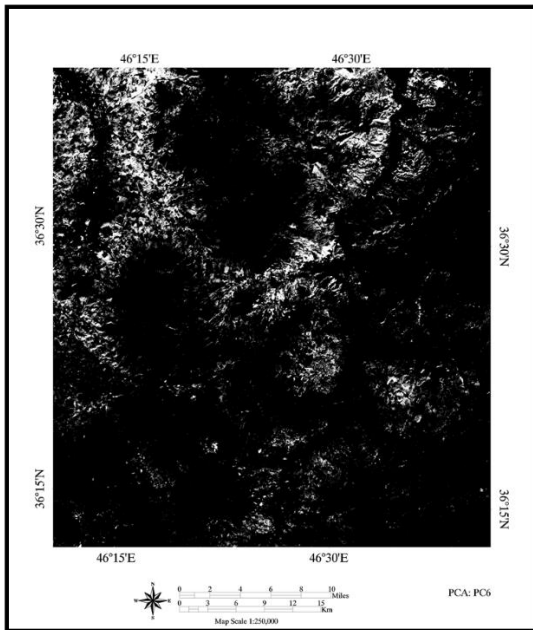




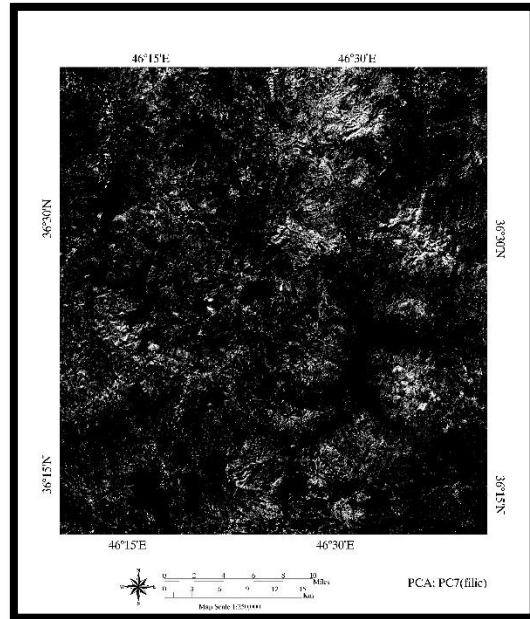
شکل (۸) نقشه‌ی حاصل از انجام روش SAM بر روی داده‌های استر: آلتراسیون فیلیک، آرژیلیک و پروپلنیک به ترتیب با رنگ‌های زرد، قرمز و سبز نمایان است.

### استفاده از روش آنالیز مولفه‌های اصلی در بارزسازی دگرسانی‌های منطقه

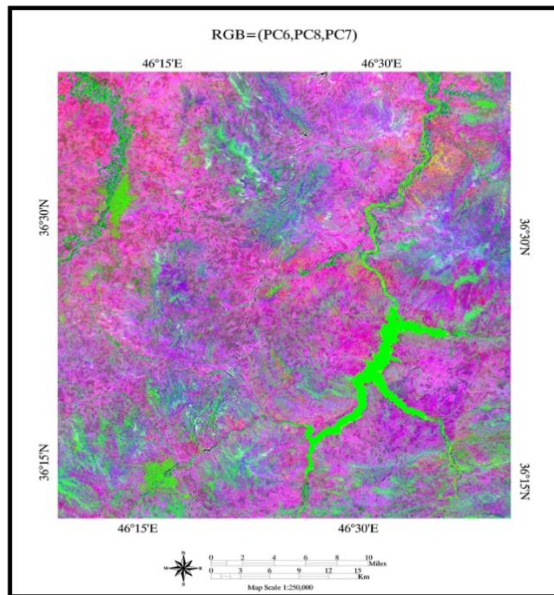
آنالیز مولفه‌های اصلی روشی مفید و کارآمد در نقشه برداری دگرسانی هاست و مبتنی بر توانایی تبدیل مؤلفه اصلی در نقشه برداری جزئیات واریانس داده‌ها در مؤلفه‌های متوالی است. روش به کار رفته در این پردازش برپایه بررسی Eigenvector loadings مؤلفه‌های اصلی تصمیم می‌گیرد که کدام یک از تصویرهای مؤلفه اصلی اطلاعات مربوط به نشانه‌های طیفی هدف‌های خاصی را به طور مستقیم متمرکز می‌کند. در این مطالعه در جهت انجام آنالیز مولفه‌های اصلی ابتدا این آنالیز بر روی ۹ باند ۱ تا ۹ از سنجنده‌ی استر انجام گرفت. با توجه به انعکاس کانی‌های شاخص آلتراسیون فیلیک در باند ۷ و جذب آن‌ها در باند ۶، pc7 در نتیجه‌ی انجام آنالیز PCA، بیشترین اختلاف در مقدار Eigenvector این دو باند را نشان می‌دهد و pc مناسب برای تشخیص دگرسانی فیلیک و کانی‌سازی طلای اپی ترمال تشخیص داده شد. تصویر حاصل از انجام این پردازش در شکل (۹الف) آمده است. با توجه به انعکاس کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک (کانولینیت) در باند ۵ و جذب آن‌ها در باند ۶، در انجام PCA، pc6 برای نمایش این دگرسانی، مناسب‌ترین pc تشخیص داده شد. تصویر حاصل از انجام این آنالیز در شکل (۹ب) آمده است. با توجه به انعکاس کانی‌های شاخص دگرسانی پروپیلنیک (کلریت، اپیدوت) در باند ۹ و جذب آن‌ها در باند ۸، pc8، برای تشخیص این دگرسانی‌ها مناسب تشخیص داده شد و تصویر حاصل از انجام آن در شکل (۹پ) آمده است. در این تصویر پیکسل‌های سفید دگرسانی پروپیلنیک را نشان می‌دهند. در شکل (۹ت) تصویر رنگی از pc‌های بدست آمده برای دگرسانی‌های مختلف نشان داده شده است.



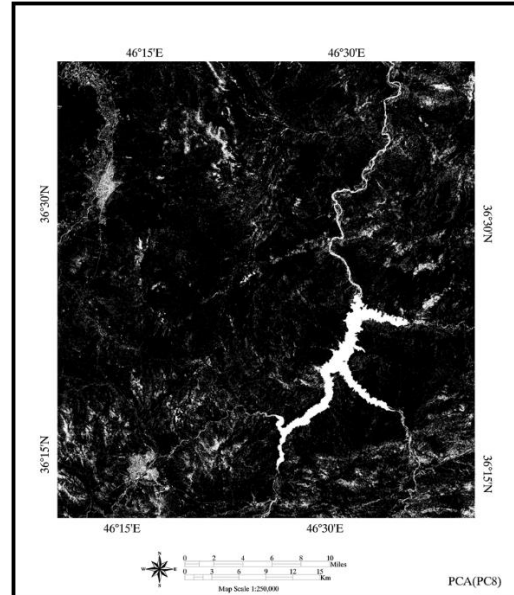
ب



الف



ت



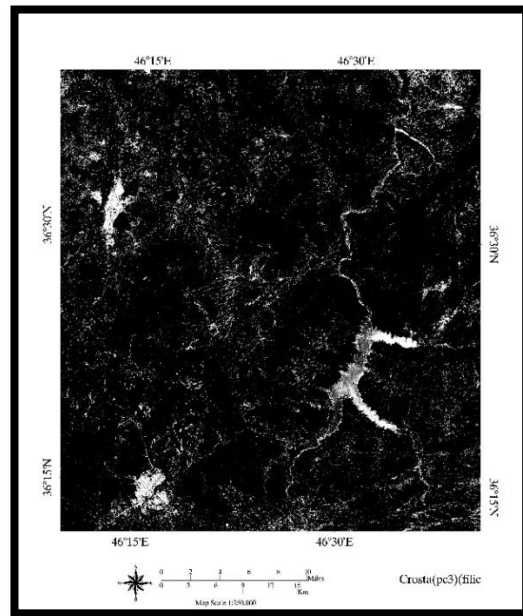
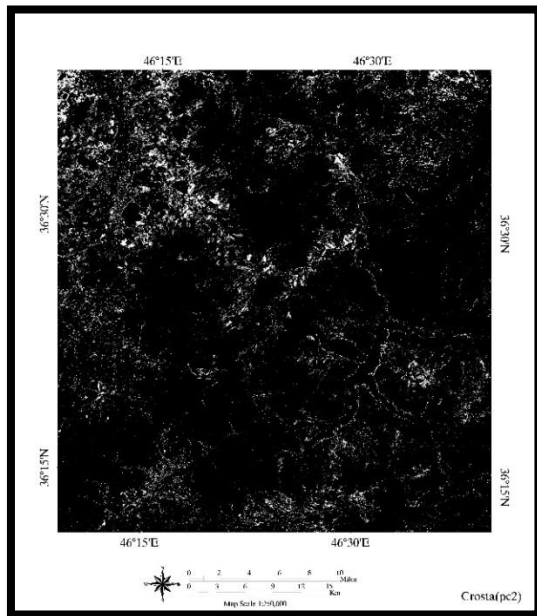
پ

شکل (۹) الف. تصویر pc7 حاصل از انجام آنالیز مولفه های اصلی (پیکسل های روشن کانی سازی طلا را نشان می دهند). ب. تصویر pc6 از انجام PCA. پیکسل های روشن آلتراسیون آلرژیک را نشان می دهند. پ. PC8 حاصل از انجام PCA. پیکسل های روشن دگرسانی پروپیلیتیک را نشان می دهند. ت. تصویر RGB(PC6,PC8,PC7): بخش های قرمز و صورتی آلتراسیون آرژیلیک، قسمت های سبز دگرسانی پروپیلیتیک و بخش های آبی دگرسانی فلیک را نشان می دهند.

### انجام روش کروستا (آنالیز مولفه های اصلی انتخابی)

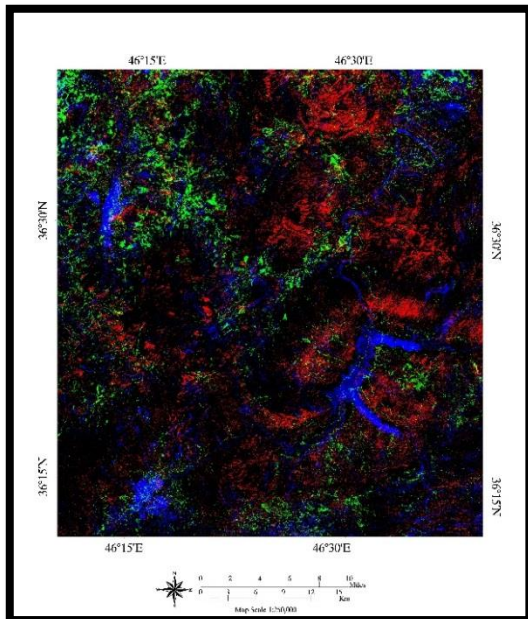
کاهش تعداد باندها در آنالیز مولفه های اصلی انتخابی، باعث تمرکز بیشتر پردازش ها بر روی پدیده های معین می شود. در این صورت شناخت دقیق تر پدیده های مورد بررسی میسر می شود. در این پردازش از سه دسته از باندهای سنجنده ی استر به صورت جداگانه برای بررسی دگرسانی ها استفاده شد. ابتدا باندهای ۱۴۶۷ برای بررسی و شناسایی دگرسانی های فلیک مورد بررسی قرار گرفتند و با توجه به انعکاس کانی های شاخص آلتراسیون فلیک (موسکوویت) در باند ۴ و جذب آن ها در باند ۶، pc3 مناسب ترین pc در تشخیص این دگرسانی ها معرفی می شود. شکل (۱۰الف) نقشه ی دگرسانی فلیک حاصل از انجام روش کروستا را نشان می دهد. همچنین برای تشخیص دگرسانی پروپیلیتیک از مجموعه باندهای (۷و۸و۹) استفاده شد و روش کروستا بر روی این باندها انجام گرفت. با توجه به انعکاس کانی های شاخص دگرسانی پروپیلیتیک در باند ۷ و جذب آن ها در باند ۱، pc2 با توجه به اینکه بیشترین اختلاف در مقدار Eigenvector بین باندهای ۷و۱ را نشان می داد مناسب برای تشخیص این دگرسانی معرفی می شود. (شکل ۱۰ب).

برای انجام روش کروستا به منظور بازسازی دگرسانی های آرژیلیک، از مجموعه باندهای ۷ و ۶ استفاده شد. با توجه به انعکاس کانی های شاخص دگرسانی آرژیلیک در باند ۷ و جذب آن ها در باند ۶، pc مناسب است که بیشترین اختلاف بین این دو باند را در مقدار Eigenvector داشته باشد که در این بررسی pc3 این ویژگی را نشان داده و به عنوان pc مناسب برای تشخیص این دگرسانی ها تشخیص داده شد. (شکل ۱۰ پ). در شکل (۱۰ ا) تصویر رنگی حاصل از انجام روش کروستا بر روی داده های سنجنده ی استر نمایش داده شده است. در این تصویر رنگ قرمز نمایانگر کانی های شاخص دگرسانی آرژیلیک (کانولینیت)، رنگ سبز نشان دهنده ی کانی های کلریت و اپیدت (شاخص دگرسانی های پروپیلیتیک) و بخش های آبی نمایانگر کانی های موسکوویت (شاخص زون فیلیک) است.

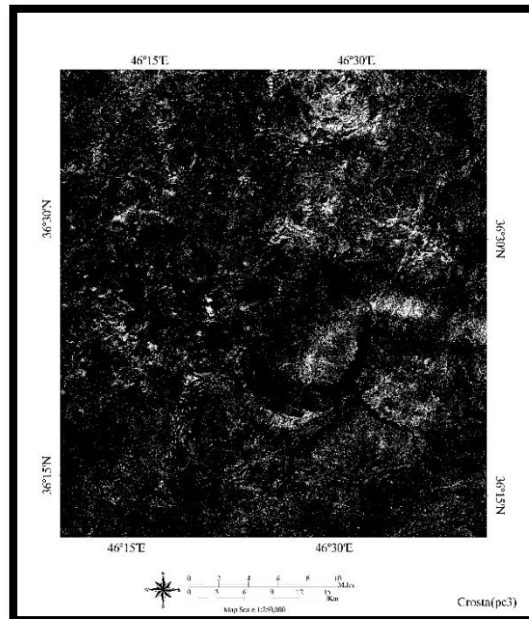


ب

الف



ت



پ

شکل (۱۰) الف تصویر pc3 از انجام روش کروستا. پیکسل های روشن دگرسانی فیلیک را نشان میدهد. ب- تصویر pc2 از انجام روش کروستا: پیکسل های روشن دگرسانی های پروپیلیتیک را نشان میدهد. پ- تصویر pc3 از انجام روش کروستا. پیکسل های روشن دگرسانی آرژیلیک را نشان می دهند. ت- تصویر رنگی از pc های بدست آمده از روش کروستا: رنگ قرمز دگرسانی آرژیلیک، رنگ سبز دگرسانی پروپیلیتیک و رنگ آبی دگرسانی فیلیک را نشان می دهد.

## تحلیل یافته های پژوهش

پردازش داده های ماهواره ی ASTER تکنیکی توانمند در پی جویی های اکتشافات مقدماتی محسوب می شود. تکنیک دورسنجی و انجام آنالیزهای مختلف بر روی داده های ماهواره ای با توجه به وسعت هاله های آلتراسیون در منطقه نتایج مطلوبی به دست داده است. این پژوهش، نقشه برداری زون های دگرسانی را به وسیله ی اجرای روش های پیشرفته ی پردازش تصاویر ماهواره ای مورد بررسی قرار داده است. در این راستا مناطق مستعد با استفاده از داده های ماهواره ای استر مشخص شدند.

با توجه به قابلیت داده های استر و اجرای روش های پیشرفته، سه زون دگرسانی آرژیلیک، پروپیلیتیک و فیلیک در منطقه قابل شناسایی است. تهیه تصویر رنگی از باندهای محدوده ی SWIR سنجنده ی استر قادر به بازسازی کانیهای کلریت و اپیدوت به عنوان زون دگرسانی پروپیلیتیک، کانیهای کائولینیت و مونتموریلونیت به عنوان زون دگرسانی آرژیلیک و کانی مسکویت به عنوان زون دگرسانی فیلیک می باشد. با تهیه تصویر ترکیب رنگی کاذب، انجام نسبت باندی و پردازش به روش طبقه بندی نظارت شده، بر روی داده های سنجنده ی استر، نقشه برداری پهنه های دگرسانی در منطقه مورد مطالعه و امکان جداسازی زون های دگرسانی آرژیلیک، پروپیلیتیک و فیلیک فراهم شد. نتایج بدست آمده نشان می دهند که در مواردی زون های مذکور تداخل نشان می دهند. در این بررسی تصویر حاصل از انجام ترکیب رنگی کاذب بهترین نتیجه را برای نمایش لیتولوژی در منطقه به دست می دهد. در تصویر حاصل از ترکیب رنگی کاذب (۴۶۸):

کانی های شاخص دگرسانی فیلیک: به وسیله ظاهر سفید و براقی که کوارتز، سرسیت و پیریت به سنگ می دهد آشکار است. این دگرسانی در منطقه وسعت چشم گیری دارد به خصوص در قسمت های مرکزی و در اطراف زون آرژیلیک به وضوح قابل مشاهده است. زون آرژیلیک: به رنگ سفید تا کرم شامل ترکیبی از کانی های رسی است که مهمترین آن کائولینیت است. زون آرژیلیک پیشرفته (دگرسانی اسید - سولفات) به رنگ صورتی تا قرمز از مهمترین بخشهای دگرسانی منطقه است. بطور کلی محلولهای ماگمایی و گرمایی غنی از سولفات در شرایط اکسیدان و در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتیگراد، موجب هیدرولیز سنگهای غنی از Al و K شده و در نتیجه آلونیت تشکیل میگردد. آلونیت با فرمول کلی  $AB_3(SO_4)(OH)_6$ ، شرایط بسیار اسیدی و اکتیویته بالای سولفات را نشان میدهد. این دگرسانی به صورت پراکنده در بخش های غربی و مرکز منطقه ی مورد مطالعه مشاهده می شود. دگرسانی پروپیلیتیک در بخش جنوبی دگرسانی آرژیلیک بیشتر توسعه یافته است. این زون بصورت پراکنده شامل مجموعه کانی های کلریت، اپیدوت، پلاژیوکلاز و کلسیت می باشد. بیشترین گسترش این زون در بخش جنوبی منطقه دیده میشود. مرز این زون دگرسانی در بعضی قسمت ها تدریجی و نامشخص است.

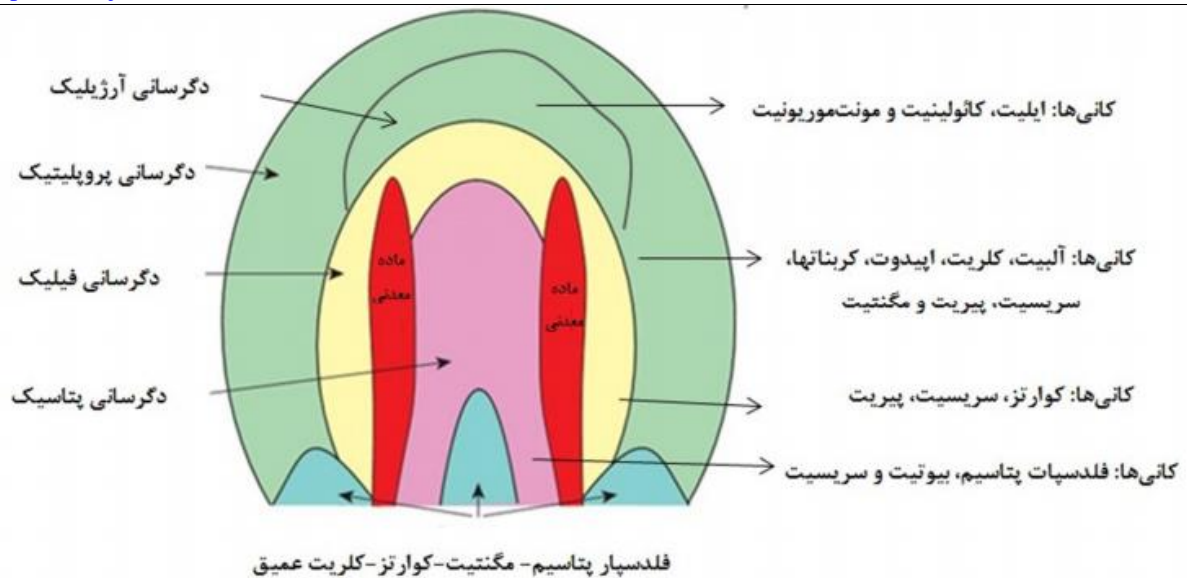
براساس تصویر حاصل از انجام نسبت باندی  $RGB=(4/6,6/8,2/1)$ ، به وضوح کانی زایی اکسیدهای آهن (به رنگ آبی)، و دگرسانی وسیع فیلیک، آرژیلیک (به رنگ قرمز) و پروپیلیتیک (به رنگ سبز) که راهنمای بسیار مناسبی برای پی بردن به کانی زایی مس پورفیری و طلای اپی ترمال هستند، قابل مشاهده است. بررسی های حاصل از انجام روش طبقه بندی نظارت شده (SAM) نیز وسعت دگرسانی ها در بخش های مختلف منطقه مورد مطالعه را تایید می کند. در این بررسی نتایج حاصل از انجام روش کروسا (آنالیز مولفه های اصلی انتخابی) بهترین نتیجه را برای تشخیص آلتراسیون ها به دست داده است.

براساس این بررسی ها دگرسانی فیلیک و پروپیلیتیک در منطقه وسعت بیشتری دارد که آلتراسیون فیلیک در بخش های شمالی، شمال غربی و در مرکز منطقه به وضوح قابل مشاهده است. در بخش های جنوبی و شمال شرقی منطقه آلتراسیون پروپیلیتیک با وضوح بیشتری مشاهده می شود.

در انجام فیلتراسیون برای تشخیص خطواره ها، روش دایرکشن روش مناسب برای این منظور شناخته شد که در آن خطواره ها با دقت بیشتری نشان داده شده اند.

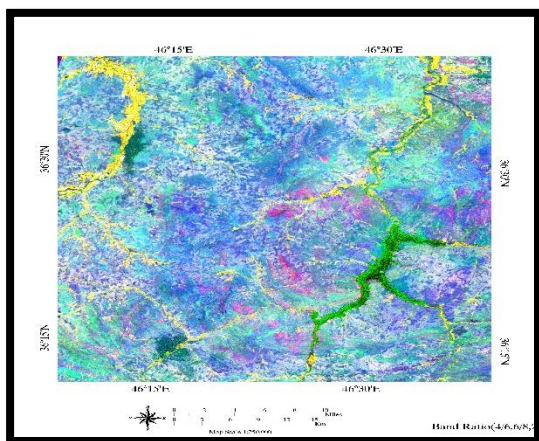
با توجه به مقایسه تمام تصاویر و واقعیات موجود وجود کانی های آهن دار در منطقه نتیجه بخش بوده است و با توجه به قرارگیری کانی های آهن دار در مجاورت غسل پیش بینی می شود که گسلها نقش کنترل کننده ای در ورود محلول های آبدار، ماگمایی و عناصر به واحدهای سنگی مجاور درگیر یا زمینی داشته اند و کانه زایی در این منطقه صورت گرفته است که در نتیجه مطالعات صحرایی در چندین نقطه، تأیید کننده این مطلب است.

دگرسانیهای اصلی در منطقه شامل آرژیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک در پیرامون رگه هاست. ذخایر مس پورفیری شامل حجم زیادی از سنگ هایی هستند که در اثر محلول هیدروترمال تحت دگرسانی قرار گرفته اند؛ محققین زیادی تلاش کردند که خواص آنها را با استفاده از کانی هایی که در هر دگرسانی وجود دارد و کشف رابطه بین آنها شناسایی کنند. معمول ترین دگرسانیها در کانسارهای مس پورفیری عبارتند از: پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپیلیتیک که نحوه قرار گرفتن آن ها نسبت به یکدیگر و کانیهای موجود در هر زون دگرسانی به طور خلاصه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در شکل ۱۲ تعدادی از نقشه های مهم بدست آمده از بررسی های مختلف انجام گرفته در منطقه ی مورد بررسی آورده شده اند که تطبیق آن ها با هم به وضوح دگرسانی ها و کانی زایی های منطقه را تایید می کند.

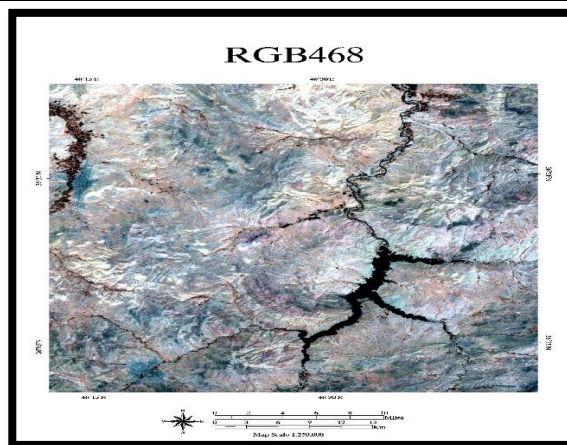


شکل (۱۱) نحوه قرار گرفتن انواع دگرسانیها در کانسارهای مس پرفیری

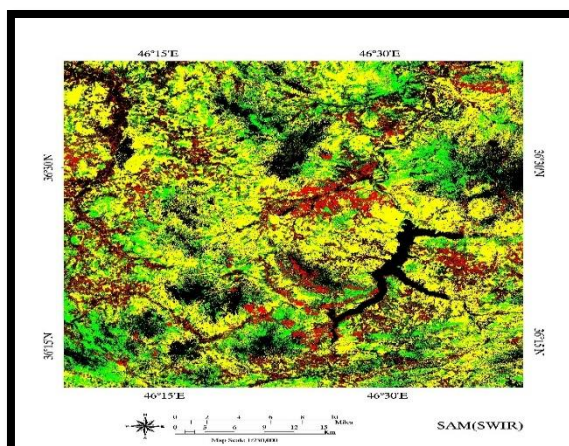
تعریف زون های آلتراسیون هیدروترمال یکی از کلیدهای اصلی برای شناخت کانی سازی احتمالی در تصاویر دیجیتالی است. آلتراسیون هیدروترمال اغلب به صورت محصولات واکنشی پایدار که در ارتباط با همدیگر در یک سنگ تولید می شوند، در نظر گرفته می شود. کانی شناسی و پراکندگی آلتراسیون های موجود در توده های ماگمایی متوسط تا سیلیسی بیشتر در ارتباط با تغییرات شیمیایی در سیستم های هیدروترمال (اغلب فعالیت یون های  $K, H$ ) بوده و عامل تغییرات درجه حرارت در درجه دوم اهمیت قرار می گیرد. با مطالعات انجام گرفته توسط محققین، امروزه تیپ های آلتراسیون کانسارهای مشهور (از جمله کانسارهای مس پورفیری و طلای اپی ترمال) در سیستمهای ماگماتیکی فعال به طور نسبی شناخته شده اند. پنج مورد اصلی (به ترتیب کاهش درجه دگرسانی) شامل پتاسیک، فیلیک، آرژیلیک پیشرفته، آرژیلیک و پروپلیتی می باشند. مجموعه پتاسیک و فیلیک عموماً در نزدیکترین قسمت به مرکز کانسار واقعند، در حالی که مجموعه پروپلیتی و آرژیلیکی در قسمت های انتهایی (نزدیک به حاشیه) دیده می شوند. این مجموعه ها در اثر تغییرات شرایط فیزیکی و شیمیایی با گذشت زمان (به صورت فضایی) با یکدیگر همپوشانی پیدا می کنند. اغلب کانی های رسی، میکاها و کانی های حاوی هیدروکسیل مانند پیروفیلیت و آلونیت که معمولاً در آلتراسیون های فیلیک، آرژیلیک و آرژیلیک پیشرفته دیده می شوند، همراه با الگوهای جذبی  $OH-AL$  هستند که  $OH$  نزدیک به  $2200$  نانومتر یک مد آشکار را نشان می دهد. کربنات ها و کانی های حاوی  $Mg-OH$  و  $Fe-OH$  مانند اپیدوت، کلریت، بیوتیت و فلوگوپیت الگوی جذبی نزدیک  $2300$  نانومتر دارند.



ب



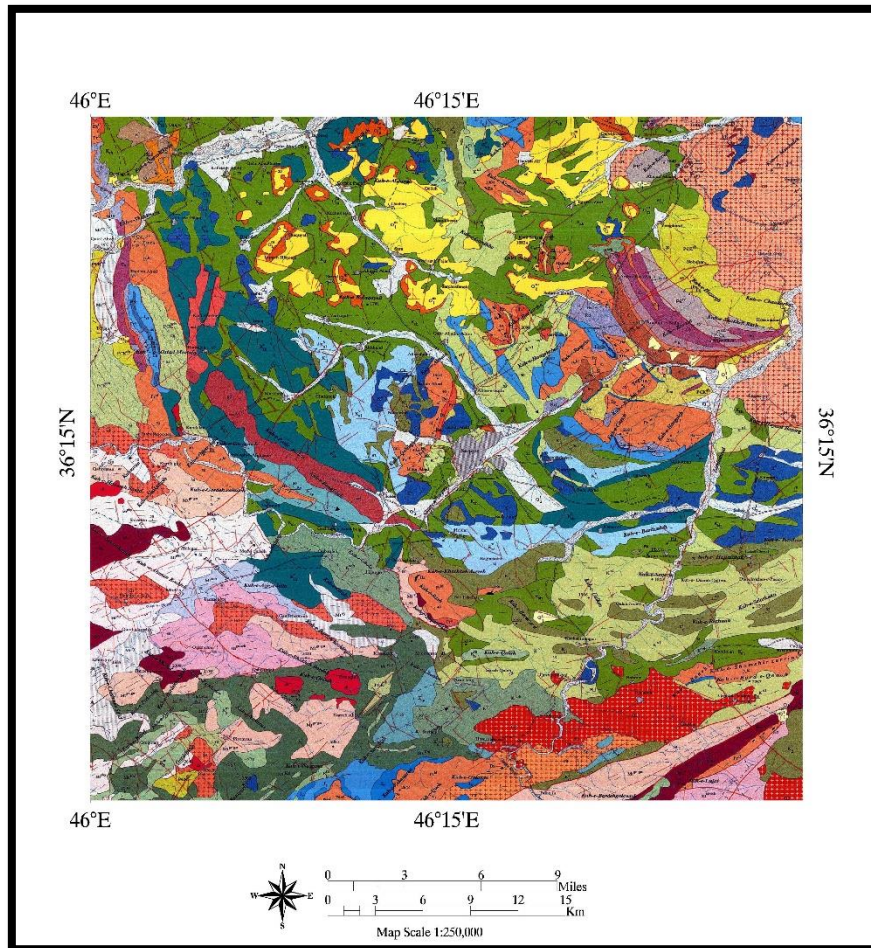
الف



پ

شکل (۱۲) الف. ب و پ: نقشه‌ی دگرسانی‌های منطقه‌ی مورد مطالعه (به ترتیب: ترکیب رنگی کاذب از داده‌های محدوده‌ی SWIR سنجنده‌ی استر، تصویر نسبت باندهای 4/6,6/8,2/1 و نتیجه‌ی انجام روش SAM بر روی داده‌های استر).

در شکل (۱۳) نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود. با توجه به نقشه‌ی زمین‌شناسی، نهشته‌های کربناته الیگو-میوسن حضور چشمگیری در منطقه دارند و بیشتر ویژگی‌های زون البرز-آذربایجان را نشان می‌دهند. با تطبیق نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با نتایج بدست آمده از بررسی‌های دورسنجی مشخص می‌شود که بیشتر بخش‌هایی که در آن دگرسانی فیلیک و آرژیلیک مشاهده می‌شود بر واحدهای سنگی ولکانیکی و لایمستون‌های آلتره منطبق است. و زون دگرسانی پروپیلیتیک تشخیص داده شده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، با واحدهای زمین‌شناسی کوارتزیت، فیلیت، اپیدت و کلریت منطبق هستند.



شکل (۱۳) نقشه ی زمین شناسی منطقه

### نتیجه گیری و پیشنهادات

کانیهای هیدروکسیل دار به دلیل اینکه در زون های آلتره فراوان هستند دارای اهمیت می باشند. شناخت زون بندی دگرسانی در کنسارهای مختلف، می تواند در ارزیابی استعداد اقتصادی یک ناحیه معدنی مهم باشد. شواهد دورسنجی وجود دگرسانی های آرژلیک و پروپیلیتیک را تایید میکند که می تواند برای پی جویی کنسارهای نوع مس- طلا مفید باشد. کائولینیت و پیروفیلیت به این دلیل که در شناسایی زون های دگرسانی آرژلیک نقش دارند و کانی های موسکویت، کلریت و اپیدت در شناسایی زون فلیک و پروپیلیتیک و در نتیجه در بحث اکتشاف مواد معدنی اهمیت فراوان دارند. گسترش قابل توجه آلتراسیون فلیک و پروپیلیتیک از اختصاصات منطقه ی مورد مطالعه است.

در نهایت براساس پردازش های دورسنجی، با توجه به تشخیص دگرسانی های مختلف (فلیک، آرژلیک و پروپیلیتیک) و وسیع در این ناحیه، تشخیص کانی زایی مس پورفیری در بخش های مختلف از جمله در جنوب منطقه، کانی زایی طلا ی ایپی ترمال در بخش های شرقی، شمال شرقی و جنوب غربی منطقه ی مورد مطالعه و کانی زایی وسیع آهن در بخش های شرقی و جنوب غربی حاصل شد. بنابراین بررسی ها و نتایج حاصل از آن ها، انجام مراحل بعدی اکتشاف در منطقه ی مورد بررسی توجیه اقتصادی دارد. و قسمت های شرقی، شمال شرقی و جنوب غربی منطقه به عنوان مناطق امید بخش برای مراحل بعدی اکتشاف معرفی می گردد. در پایان انجام مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی جهت بررسی های بیشتر پیشنهاد می شود.

### منابع و مراجع

- ۱- جمالی، ح، ۱۳۷۷، بررسی زمین شناسی، ژئوشیمی و تعیین ژنز احتمالی اندیس معدنی میوه رود، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران. ۱۲۰ص.
- ۲- قادری، س، ۱۳۹۴، بررسی دورسنجی و اکتشاف ژئوشیمیایی ناحیه ای در برکه ی ۱/۱۰۰۰۰۰ کرمانشاه، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه ۲۰۱ص.

- ۳- نجفیان طاهر، رنجبرحجت اهلل، فتحیان پور نادر، بهبود تفکیک دگرسانی مرتبط با کانسارهای مس پروفیری با استفاده از داده های سنجنده ابر طیفی هایپریون، مجموع مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشافات منابع زیر زمینی، دانشگاه شاهرود، پاییز ۱۳۹۲.
- ۴- یوسفی شورش، نوروزی غالمرضا، شیوا محمد، شناسایی زون های دگرسانی با استفاده داده های ASTER در منطقه قاین، شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه شیراز، ۱۳۷۴.
- ۵- دادفر ثریا، آلیانی فرهاد، احمدی امید، معانی جو محمد، بارزسازی مناطق دگرسانی کانسارهای آهن به کمک پردازش داده های ماهواره ای ASTER در محدوده باباعلی همدان.
- ۶- هنرمند، مهدی، رنجبر، حجت الله. ۱۳۸۲. کاربرد روشهای مختلف پردازش تصویر روی داده های ETM+ به منظور اکتشاف کانسارهای مس نوع پرفیری و رگه ای در منطقه کوه ممزار-کوه پنج در استان کرمان، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین.
- ۷- هاشمی تنگستانی، مجید و مظهری، نازی، ۱۳۸۳، بارزسازی و تفکیک زونهای دگرسانی مس پرفیری با استفاده از باندهای فرسرخ موج کوتاه سنجنده آستر، مجموعه مقالات هشتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، جلد اول، ۱۹۵-۱۸۶.
- ۸- کریمپور، م. ح.، ملکزاده شفارودی، آ.، مظاهری، ا. و حیدریان شهری، م. ر.، ۱۳۸۶. ماگماتیزم و انواع کانیسازی مس، طال، قلع و تنگستن در بلوک لوت، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- 9- Abrams, M. J., Brown, L., Lepley, R., Sadowski, P., 1983- Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona. *Economic Geology*, 78: 591-604.
- 10- Abrams, M., 2002- ASTER user handbook. Jet Propulsion Lab.
- 11- Crippen, R. E., Blom, R. G. and Heyada, J. R., 1988- Directed band ratioing for the retention of perceptually-independent topographic expression in chromaticity-enhanced imagery, *International Journal of Remote Sensing*, 9: 749-765.
- 12- Crosta, A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo, F. and Brodie, C., 2003- Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis, *International Journal of Remote Sensing*, 24: 4233-4240.
- 13- Khakzad, A. Jafari, H. R. (2003). Mineralogy, paragenesis and economic geology of copper deposits in the Hararan area, Kerman province. Proc. 10th Symposium of Crystallography and Mineralogy of Iran. (In Persian).
- 14- Alirezaei, S., Ebrahimi, S. & Pan, Y., 2008- Fluid Inclusion Characteristics of Epithermal Precious Metal Deposits in the Arasbaran Metallogenic Zone, Northwestern Iran [extended abs.], ACROFI-II, India, 1-4.
- 15- Reis, A. P., Sousa, A. J. & Cardoso Fonseca, E., 2003- Application of geostatistical methods in gold geochemical anomalies identification (Montemor-O-Novo, Portugal). *Journal of Geochemical Exploration* 77, 45-63.
- 16- Beane, R. E. Bodnar, R. J. (1995). Hydrothermal fluids and alteration in porphyry copper deposits. *Arizona Geological Society Digest*, 2083-93.
- 17- Volesky, C. J., Stern, J. R. and Abdelsalam, G. M., 2002, Mineral exploration using ASTER and Landsat ETM+ data.
- 18- Amraie, Azita (1991). Hydrothermal alteration at meiduk porphyry copper deposit. M.sc-Shiraz University.
- 19- Crosta, A. P. & Moore, J. M., 1989- 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 Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology*, Calgary, Alberta, Canada, 2- 6 October, 1173-1187.
- 20- Gibson, P. J. & Power, C. H., 2000- *Introductory remote sensing: Digital image processing and application*. Routledge, New York. 249pp.
- 21- Jensen, J. R., 1996- *Introductory Digital Image Processing: A remote sensing perspective*, 2nd Edition. NJ: Prentice-Hall, pp. 60-61.