علـوم محیـطی سال نهم، شماره چهارم، تابستان ۱۳۹۱
ENVIRONMENTAL SCIENCES Vol.9, No.4, Summer 2012

۱۳۲-۱۲۱

# کاربرد سنجش از دور در شناسایی گسل‌ها، دگرسانی‌ها و کشف رابطه میان لیتولوژی و پوشش گیاهی در منطقه سیاه‌بیشه (مازندران)

**علی اکبر متکان[۱]، محمد یزدی[۲]، داود عاشورلو[۳]، سیده نرگس ساداتی[۴*]**

۱- *دانشیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی*

۲- *دانشیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی*

۳- *مربی گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی*

٤- *دانشجوی دکتری رشته زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی*

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/٤/۱۳

## چکیده

منطقه سیاه‌بیشه با وسعتی در حدود ۹۰ کیلومتر مربع، در۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان آمل قراردارد و بر اساس تقسیم‌بندی زون‌های ساختاری زمین‌شناسی در زون البرز مرکزی واقع شده است. باوجودی‌که قسمت اعظم منطقه مورد مطالعه را سنگ‌های آندزیتی یا بازالتی، دیاباز و آذرآواری‌های کرتاسه فوقانی تشکیل می‌دهد ولی به‌دلیل ساختارهای تکتونیکی، فرسایش و در نتیجه تشکیل پوشش گیاهی شناسایی آن‌ها دشوار است؛ علیرغم این پوشش گیاهی به دلیل تبعیت از تخلخل و قابلیت نفوذپذیری سنگ‌ها شاخص مناسبی برای شناسایی واحدهای لیتولوژیکی است. در تحقیق حاضر روش‌های مختلف پردازش تصویر نظیر ترکیب رنگی کاذب، تصاویر نسبتی، آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی (تکنیک کروستا) و فیلترهای آشکارساز لبه بر روی باندهای ۱ تا ۵ و باند ۷ تصاویر $ETM^{+}$ با قدرت تفکیک ۳۰ متر به‌کار گرفته شد. در این میان تکنیک کروستا جهت تعیین زون‌های آلتراسیون و فیلترهای آشکارساز لبه برای استخراج روند خطواره‌ها از موفق‌ترین فنون پردازش تصویر تشخیص داده شد. نتایج این تحقیق نشان دادند که روش‌های مختلف پردازش داده‌های ماهواره‌ای لندست ETM به همراه مطالعات صحرایی روش بسیار موفقی برای شناسایی پوشش گیاهی، سنگ‌ها، دگرسانی‌ها وگسل‌هاست.

**واژه‌های کلیدی:** سنجش از دور، ETM، سیاه بیشه، البرز مرکزی.

## Application of Remote Sensing in Monitoring Faults and Alterations and Identifying the Relationship Between Lithology and Vegetation Cover in Siyah Bishe (Mazandaran)

**Ali Akbar Matkan,[1] Mohammad Yazdi,[2] Davood Ashoorloo[3] and Narges Sadati[4*]**

1- *Associate Professor, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University.*

2- *Associate Professor Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University*

3- *Instructor of the Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University.*

4- *PhD Student of the Department of Geology, Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University.*

**Abstract**

The Siyah Bisheh area is located in the central part of Alborz zone, 40 km to the south of Amol. Rock units exposed in the area consist of sedimentary (carbonates, sandstone, siltstone), volcano-sedimentary (andesite to andesitic tuff, tuff), ignimbrite and basalt. Once erosion and tectonism have rendered volcanic structures undetectable, remote sensing provides an invaluable tool for their identification and identifying the relationship between lithology and vegetation has shown that the integrated use of remote sensing techniques and field studies can be a powerful tool for distinguishing and mapping the relationships between rock units, structures and alteration zones associated with mineral deposits along the Seyih Bishe area. The main image analysis techniques involved in this study were principal component analysis (PCA) and false color composite (FCC).

**Keywords:** Remote Sensing, ETM, Siyah Bishe, Central Alborz.

* Corresponding author. *E-mail Address*: Sadati_sn@yahoo.com

## مقدمه

پردازش داده‌های ماهواره‌ای لندست ابزاری نیرومند جهت شناسائی منابع معدنی محسوب می‌شود. در مطالعه اخیر عموما از تکنیک‌هایی نظیر ترکیب رنگی کاذب، آنالیز مولفه اصلی انتخابی، فیلترهای آشکارساز لبه و نسبت‌گیری باندی به منظور پردازش داده‌های ماهواره ای ETM ناحیه سیاه‌بیشه البرز مرکزی استفاده شده است. اهداف مهم در این مقاله به شرح زیر خلاصه می‌گردد:

- تعیین ساختارهای عمده منطقه و ارتباط آن با دگرسانی
- تعیین زون‌های دگرسانی و کشف رابطه آن با کانی‌سازی
- کشف رابطه پوشش گیاهی با لیتولوژی

## مواد و روش‌ها

داده‌هایی که جهت این تحقیق به‌کار گرفته شده‌اند عبارتند از:

- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ آمل.
- نقشه توپوگرافی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰با نام شاه‌زید به شماره 6462- II سری K753 .
- تصویر ETM با گذر ۱۶۴ و ردیف ۳۵ که در تاریخ ۱۹ آگوست ۲۰۰۲ اخذ گردیده و با فرمت GEOTIF ذخیره شده است.

پس از جمع‌آوری و مطالعه کلیه مدارک و سوابق موجود در ارتباط با منطقه مورد مطالعه، پردازش تصاویر و استخراج اطلاعات با استفاده از روش‌های شاخص پوشش گیاهی(NDVI) ، آنالیز مولفه‌های اصلی(PC)، ترکیب‌های رنگی کاذب (FCC) همراه با به‌کار بردن فیلترهای آشکارساز لبه انجام گرفت. سپس بازدید مقدماتی از منطقه به منظور آشنایی کلی با زمین‌شناسی عمومی منطقه انجام شد و بعد از نمونه‌برداری از مناطق دگرسانی وآماده‌سازی و تجزیه آن‌ها با روش XRD و مشخص شدن مناطق دگرسانی، پردازش مجدد و تحلیل داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای انجام گردید و در نهایت از تلفیق کلیه داده‌ها جهت اکتشاف و مکان‌یابی مس و پاراژنز همراه استفاده شد.

## نتایج

در این پژوهش به وسیله پردازش تصاویر لندست ETM تصاویر مختلفی را برای شناسایی و نقشه‌برداری انواع سنگ‌ها، ساختمان‌ها و زون‌های دگرسانی تولید کردیم، تطابق بسیار خوب پوشش گیاهی با لیتولوژی به عنوان شاخصی برای شناسایی جنس واحدهای زیرین مورد استفاده قرار گرفت. به دلیل اثر طیفی پوشش گیاهی که شباهت قابل ملاحظه‌ای با بعضی از کانی‌های دگرسانی دارد و غنی بودن پوشش گیاهی منطقه از روش ترکیب باندی و نسبت‌گیری باندی نتایج رضایت‌بخشی حاصل نشد، اما با توجه به اینکه روش تحلیل مولفه‌های اصلی شیوه‌ای برای کمینه کردن اثر پوشش گیاهی و تکیه بر باندهای طیفی خاص برای بارزسازی کانی‌های مناطق دگرسانی است این روش برای جداسازی مناطق دگرسانی بهترین نتیجه را داشته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از اعمال روش‌های مختلف پردازش تصویر و دقت‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر به‌دست‌آمده، روش کروستا بهترین روش برای شناسایی نواحی دگرسان

تشخیص داده شد. به منظور شناسایی ساختمان‌های اصلی منطقه به کمک فیلترهای آشکارساز لبه و ترکیب دو مولفه اصلی تصویر و باند ETM ۷ ، دو دسته گسل اصلی در واحدهای سنگی منطقه شناسایی شده است. دسته اول گسل‌هایی با روند شمال غربی - جنوب شرقی و دسته دوم گسل‌ها دارای روند عمومی شمال شرقی - جنوب غربی می باشند. هر چند در منطقه سیستم‌های گسله متعددی وجود دارد ولی با این‌وجود شرایط مناسب جهت دگرسانی و احتمالاً کانی‌سازی در معدودی از گسل ها و آن هم در بخش‌های کوچکی از محدوده برونزد و شعاع تاثیر آن‌ها بوقوع پیوسته است. بنابراین با وجودی‌که آنالیز خطواره‌ها ابزاری قدرتمند برای انتخاب نواحی هدف اولیه است اما مطالعات قبلی شامل اطلاعات زمین‌شناسی و متالوژنی نیز جهت کشف ارتباط میان ساختارهای زمین‌شناسی و اکتشافات ژئوشیمیایی مفید است. برای تفسیر بهتر خطواره‌ها آن‌ها را با نقشه‌های زمین شناسی و توپوگرافی مقایسه کرده‌ایم و مشخص شد که جهت خطواره‌ها در اغلب موارد با الگوی زهکشی و گاهی اوقات با گسل‌ها مرتبطند. سنگ‌های ولکانیکی (به ویژه آندزیت‌ها) به دلیل داشتن گسل‌های فراوان و سنگ‌هایی با نفوذپذیری بالا شرایطی مطلوب برای چرخه گرمابی و بنابراین کانی‌سازی فراهم می‌کند بنابراین بهترین نتیجه اکتشافی به وسیله ترکیب نقشه زمین‌شناسی و شکستگی همراه با سنگ‌هایی که به طریق هیدروترمال دگرسان شده‌اند به دست می‌آید. البته باید بدانیم که سنجش از دور جای مطالعات صحرایی را نمی‌گیرد؛ تحقیقات بیشتری برای شناسایی نهشته‌ها در نواحی با پوشش گیاهی لازم است بدین منظور سنجش از دور باید با مطالعات صحرایی، پتروگرافی و ژئوشیمیایی دقیق‌تری همراه باشد که به سنگ‌ها و ساخت‌های همراه آن‌ها اعتبار بیشتری بخشیده و به شناسایی آن‌ها کمک کند.

## بحث

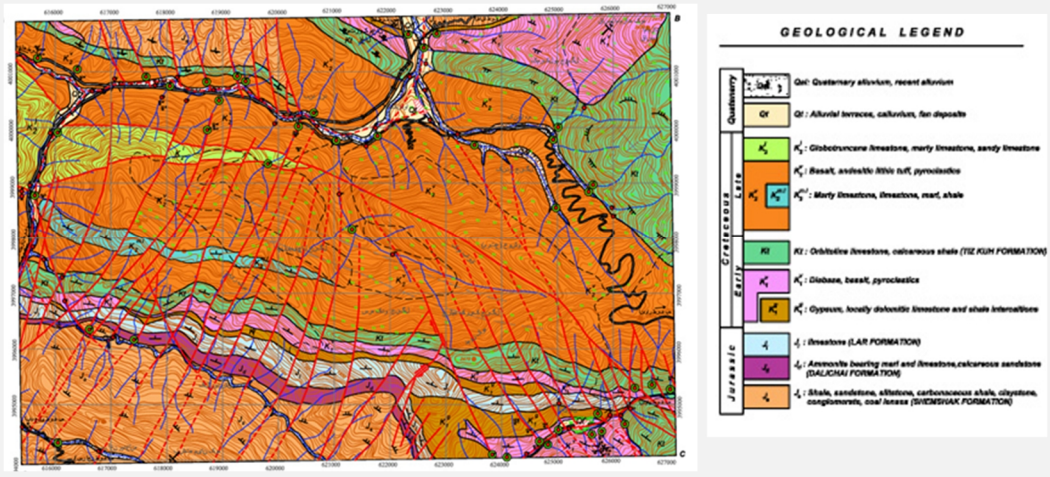
در چند دهه اخیر فن‌آوری سنجش از دور و GIS به همراه کارهای صحرایی، آزمایشگاهی و زمین‌شناسی کمک شایانی به شناسایی کنترل کننده‌های اصلی کانی سازی فلزات و آنومالی آن و معرفی محدوده‌های امید بخش در سرتاسر جهان کرده است. سابینز از تصاویر لندست رادار برای تهیه نقشه الگویی شکستگی‌ها استفاده کرد و نشان داد که سنگ‌های دگرسان شده همراه بسیاری از نهشته‌های کانی‌سازی شده ویژگی‌های طیفی مشخصی دارند که بوسیله پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای قابل تشخیص هستند(Sabinse, 1999). کولی و همکاران با استفاده از نسبت گیری باندی انواع دگرسانی‌های موجود در سنگ‌های اولترامافیک را در شرق بیابان مصر در نواحی شالتین شناسایی کرده و با استفاده از روش ترکیب رنگی کاذب نقشه تکتونیکی منطقه را تهیه کردند(Kouli *et al.*, 2005). رنجبر و همکاران با انجام مطالعاتی نشان دادند که روش سنجش از دور به همراه مطالعات صحرایی روش بسیار موفقیت‌آمیزی برای شناسایی سنگ‌ها، دگرسانی‌ها، گسل‌ها، پوشش گیاهی و در نتیجه اکتشافات ژئوشیمیایی است. همچنین ایشان دریافتند که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در طول مراحل اولیه اکتشاف کانی و شناسایی دگرسانی بسیار مفید است. آن‌ها از

تکنیک کروستا با به کارگیری ۴ باند برای شناسایی دگرسانی گرمابی و اکتشاف کانی‌سازی مس پورفیری در کمربند ولکانیکی ایران مرکزی استفاده کردند (Ranjbar *et al.*, 2004).

به‌طورخلاصه با استفاده از پیشینه تحقیق می‌توان گفت که پس از تلفیق نتایج بدست آمده از بررسی‌های دورسنجی محدوده مورد مطالعه (نوع واحدهای سنگی، ساختار تکتونیکی، ساختمان‌های ماگمایی و دگرسانی‌ها)، مناطقی به عنوان نواحی امیدبخش معرفی می‌شوند که نسبت به سایر مناطق دارای احتمال بیشتری برای کانی‌زایی هستند.

ویژگی زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه

ناحیه سیاه بیشه با وسعتی در حدود ۹۰ کیلومتر مربع ، در۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان آمل قراردارد و از نقطه نظر تقسیمات زمین‌شناسی در بخش مرکزی رشته کوه‌های البرز و در ناحیه ای با پوشش انبوه جنگلی و شرایط مرتفع اقلیمی واقع شده است. این منطقه در طول جغرافیایی ″ ۵۴ ′۱۶ °۵۲ تا ″ ۴۳ ′۲۴ °۵۲ و عرض جغرافیایی ″ ۵۹ ′۴ °۳۶ تا ″ ۱۸ ′۹ °۳۶ قرار دارد. بر اساس نقشه یک صدهزارم زمین‌شناسی آمل در محدوده اکتشافی موردنظر سنگ‌های رخنمون‌یافته منحصر به انوع رسوبی وآتشفشانی هستند، این واحدهای سنگی شامل ردیف‌های چینه‌شناسی از ژوراسیک تا کواترنری می‌باشد که از قدیم به جدید عبارتند از: ۱- سازند شمشک ۲- سازند دلیچای ۳- سازند لار ۴- واحد گچی ۵- ولکانیک‌های کرتاسه زیرین (نئوکومین ) ۶- سازند تیزکوه ۷- ولکانیک‌های کرتاسه بالایی (Allenbach, 1963). سنگ‌های ولکانیکی شامل آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی بازالت، آگلومرا، توف، جریان گدازه است و کانی‌های دگرسانی شامل کلریت، سریسیت، اپیدوت، کربنات، سیلیس و کانی‌های رسی می‌باشد، بنابراین آلتراسیون‌های متداول در این ناحیه آلتراسیون فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک می‌باشد.




**شکل ۱-** نقشه لیتولوژی منطقه سیاه بیشه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰

## پیش‌پردازش تصویر

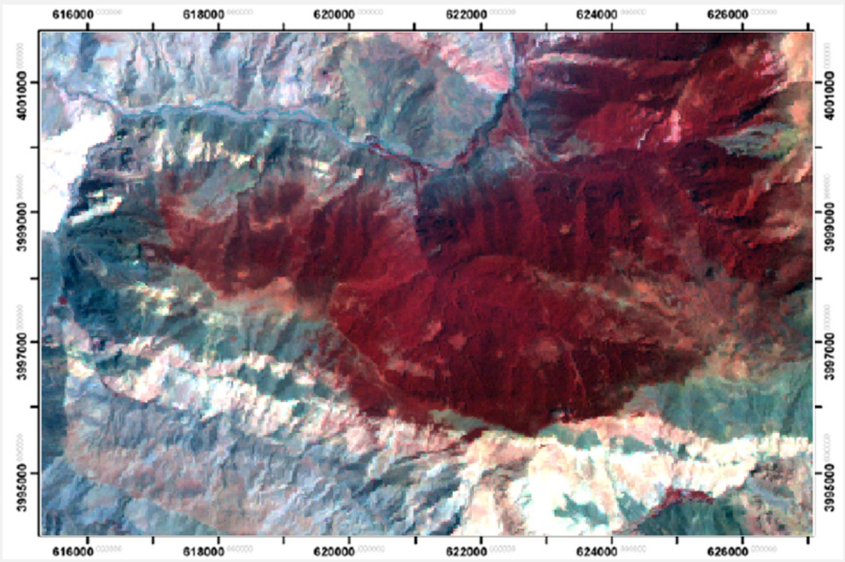
با وجود زمین‌مرجع بودن تصاویر ETM جهت تطابق دقیق آن‌ها با نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، تصحیح مجدد هندسی با استفاده از روش چندجمله ای درجه دوم انجام گرفت. با توجه به آسمان صاف و زمان تصویربرداری که در اواسط تابستان و بدون پوشش ابر بوده در ناحیه مورد مطالعه نیازی به انجام تصحیحات اتمسفری نبوده است.

## ترکیب رنگی

با توجه به مقایسه بصری تصاویر، ترکیب رنگی متعدد و همچنین مطالعه تحقیقات پیشین به این نتیجه رسیدیم که ترکیب رنگی ۵۳۱ برای جداسازی لیتولوژی در منطقه مورد مطالعه بهترین ترکیب است (شکل ۲) که در آن پوشش گیاهی به رنگ قرمز، واحدهای کربناته به رنگ گل بهی تا صورتی، واحد ژیپس به رنگ آبی روشن، واحد ولکانیکی K2V آبی تیره مایل به سبز و واحد ولکانیکیK1V سبز لجنی دیده می‌شوند، بعضی واحدها به دلیل وجود آلتراسیون روشن تر به نظر می رسند.

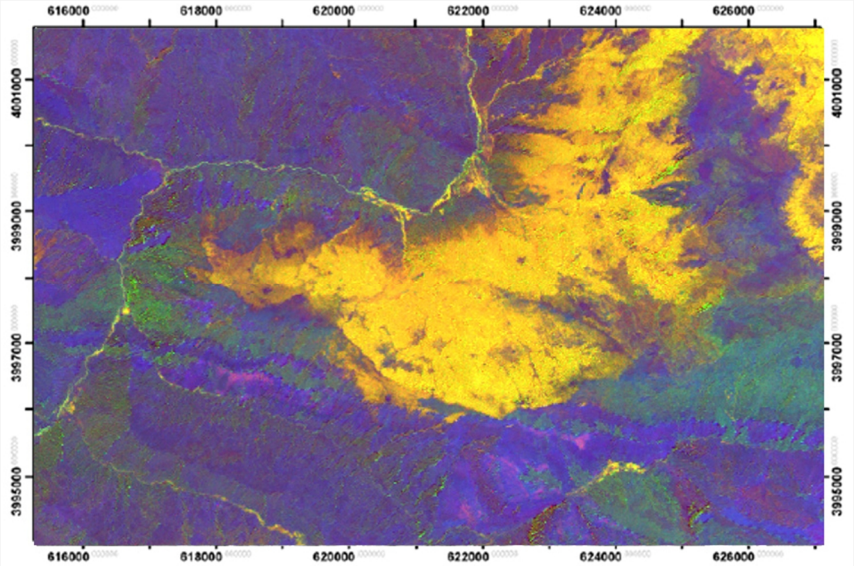
## ترکیب‌های نسبتی

در این پژوهش ما از ترکیب نسبت‌های باندی تصاویر متفاوتی ایجاد کردیم، استفاده از باندهای ۳/۱و۴/۵و۵/۷ به ترتیب در RGB برای شناسایی دگرسانی مفید است که در آن زون‌های دگرسانی آرژیلیکی به رنگ صورتی، سنگ‌های ولکانیکی به رنگ سبز و اکسیدهای آهن به رنگ آبی نشان داده می‌شوند (شکل ۳). باندهای ۳/۵و۳/۱و۵/۷ به ترتیب در RGB ترکیبی از الگوی پراکندگی هر دو نوع دگرسانی یعنی کانی‌های رسی و اکسید آهن را نشان می‌دهد، بدین ترتیب یک میانگین از تصاویر اکسیدآهن و هیدروکسیدها به دست آمده که در آن تصویر هیدروکسیدها نارنجی مایل به قرمز،

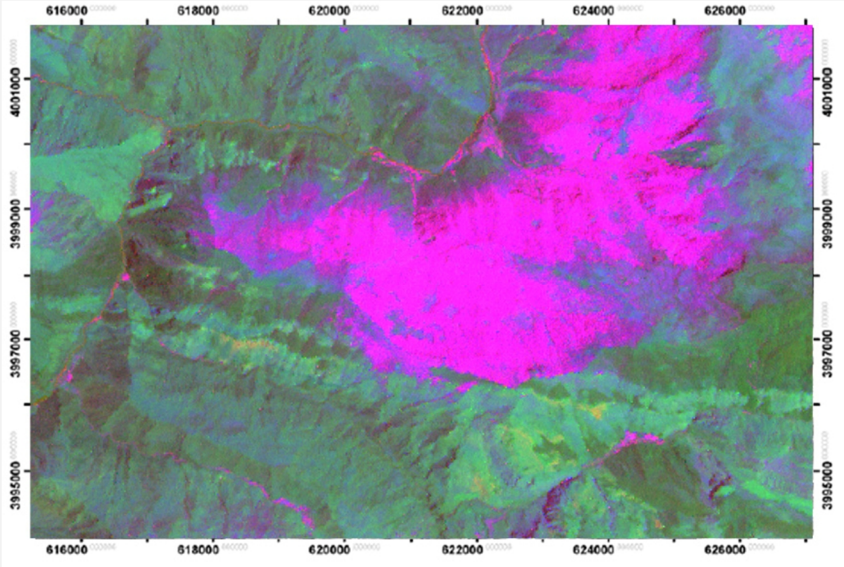



**شکل ۲**- بهترین ترکیب باندی RGB ۵،۳،۱ ETM

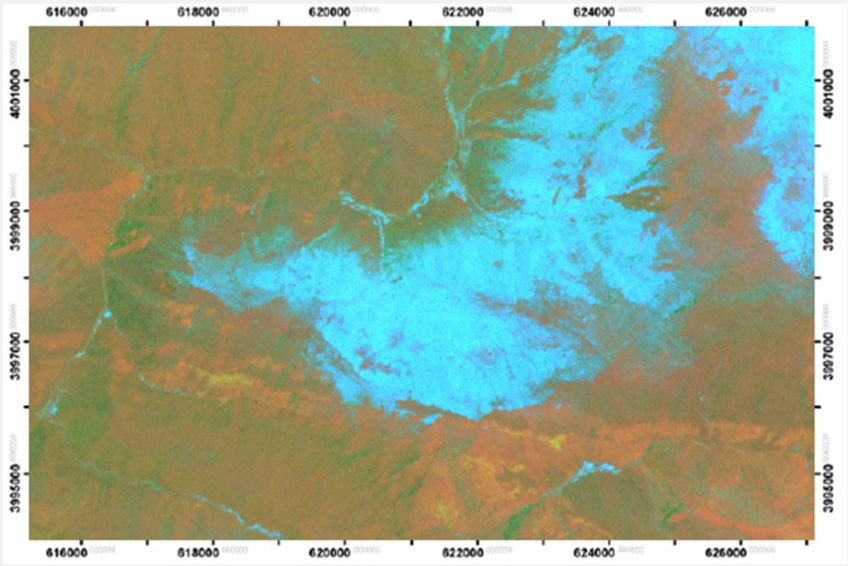
اکسیدآهن سبز و میانگین این دو آبی دیده می‌شود (شکل ۴). در نهایت امر، برای مشخص کردن دگرسانی گرمابی (زون های اکسید آهن‌دار + هیدروکسیل‌دار) به عنوان یک اندیس مهم در زمینه اکتشافات، از ترکیب نسبت‌های باندی ۴/۳ و ۵/۷ و ۳/۱ به ترتیب در RGB استفاده شده است. در شکل ۵ رنگ قرمز نشان دهنده اکسید آهن, سبز کانی‌های هیدروکسید دار و آبی بیانگر مجموعه پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه است.




**شکل ۳**– نسبت باندی ۳/۱و۴/۵و۵/۷ به ترتیب در RGB , مناطق دگرسانی آرژیلیک به رنگ صورتی دیده می شود.




**شکل ٤**– نسبت باندی ۳/۵و۳/۱و۵/۷ به ترتیب در RGB، مناطق دگرسانی آرژیلیک به رنگ نارنجی مایل به قرمز دیده می‌شود.



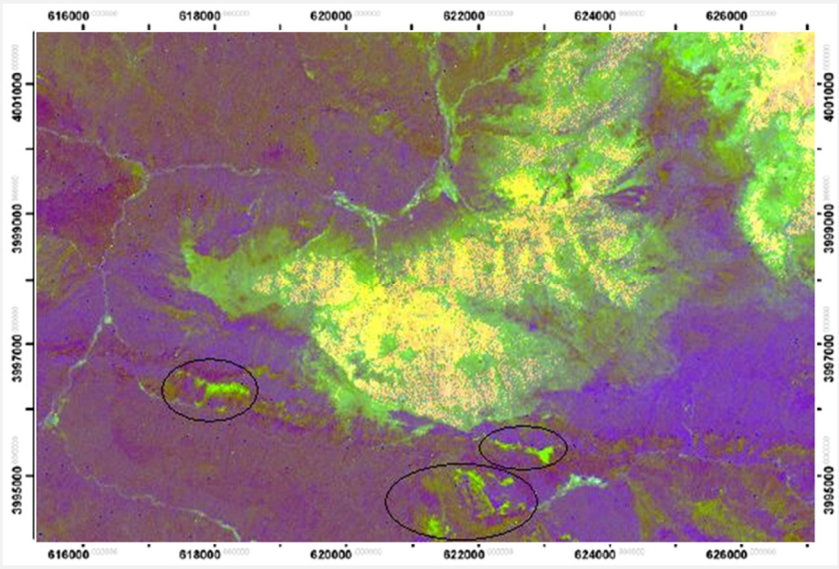

**شکل ۵**– نسبت باندی ۴/۳و۵/۷و۳/۱ به ترتیب در RGB مناطق دگرسانی آرژیلیک به رنگ سبز دیده می‌شود

## آنالیز مولفه‌های اصلی انتخابی (تکنیک کروستا)

به علت اثر طیفی پوشش گیاهی که شباهت قابل ملاحظه‌ای با بعضی از کانی‌های دگرسانی دارد و غنی بودن پوشش گیاهی منطقه از روش ترکیب باندی و نسبت‌گیری باندی نتایج رضایت‌بخشی حاصل نشد. اما با توجه به اینکه روش تحلیل مولفه‌های اصلی شیوه‌ای برای کمینه کردن اثر پوشش گیاهی و تکیه بر باندهای طیفی خاص برای بارزسازی کانی‌های مناطق دگرسانی است این روش برای جداسازی مناطق دگرسانی بهترین نتیجه را داشته است. در یک تصویر واضح تمامی نواحی دگرسانی گرمابی با پیکسل‌های روشن و نواحی دگرسانی متوسط به رنگ زرد تا قهوه‌ای دیده می‌شوند. این تکنیک از باندهای ۱ و۳ و۴ و۵ برای شناسایی اکسید آهن و ۱ و۴ و ۵ و۷ برای شناسایی هیدروکسیدها استفاده کرده است (Ranjbar *et al.*, 2004)؛ عیب این روش این است که سنگ‌های رسوبی و نواحی با دگرسانی کم در برآیند تصویر شدت می‌یابند. در ناحیه مورد مطالعه ترکیب باندی [PC2(5,7),PC4(1,4,5,7), 5/7] RGBجهت تشخیص دگرسانی‌های رسی بهترین نتیجه را داده است (شکل ۶).

## آشکارسازی خطواره‌ها

تصاویر ETM برای شناسایی و تحلیل ساختارهای ولکانیکی در این منطقه به‌کار گرفته شد و متعاقب آن تحقیقات ناحیه‌ای و محلی به منظور مطابقت آن با ساختارهای زمین شناسی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت که هدف از این مطالعات کشف ارتباط آن‌ها با کانی‌سازی می‌باشد.

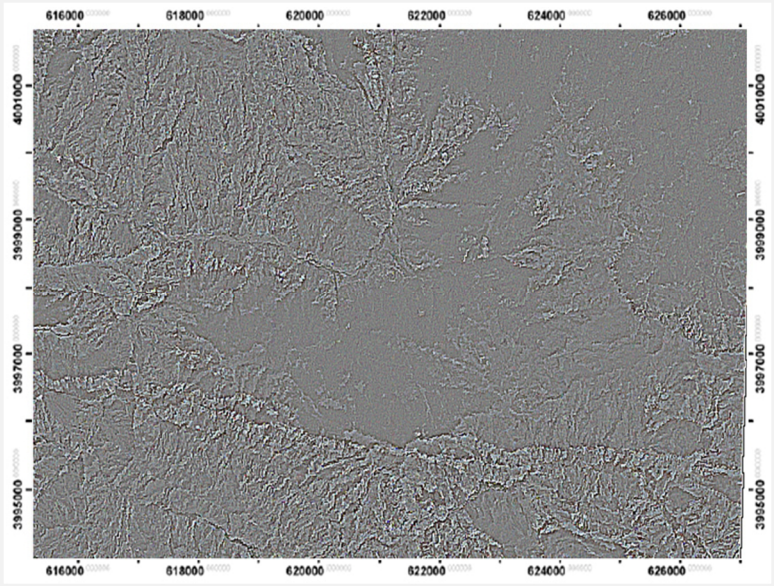



**شکل ٦**- ترکیب باندی RGB[ 5/7 ,PC2(5,7),PC4(1,4,5,7)]

برای تهیه نقشه خطواره‌ها از فیلترهای آشکار ساز لبه، ترکیب‌های رنگی، آنالیز مولفه‌های اصلی استفاده کردیم که در زیر شرح مختصری از آن‌ها آورده شده است:

## فیلترهای آشکارساز لبه

این تکنیک‌ها در حال حاضر معمول‌ترین روش بکار رفته برای استخراج خطواره‌ها به‌شمار می‌آید. با استفاده از این روش دو دسته گسل اصلی در واحدهای سنگی منطقه شناسایی شد، دسته اول گسل‌هایی با روند شمال غربی - جنوب شرقی و دسته دوم گسل‌ها دارای روند عمومی شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشد (شکل ۷).




**شکل ۷**- استخراج گسل توسط فیلتر آشکارساز لبه

## ترکیب رنگی کاذب

خطواره‌ها از طریق ایجاد تصویر رنگی کاذب از تصاویر لندست و تفسیر آن‌ها استخراج می‌شوند. از مقایسه باندهای ETM مشخص شده است که باند ۴ و ۵ برای بارز کردن خطواره‌ها بسیار مناسبند.

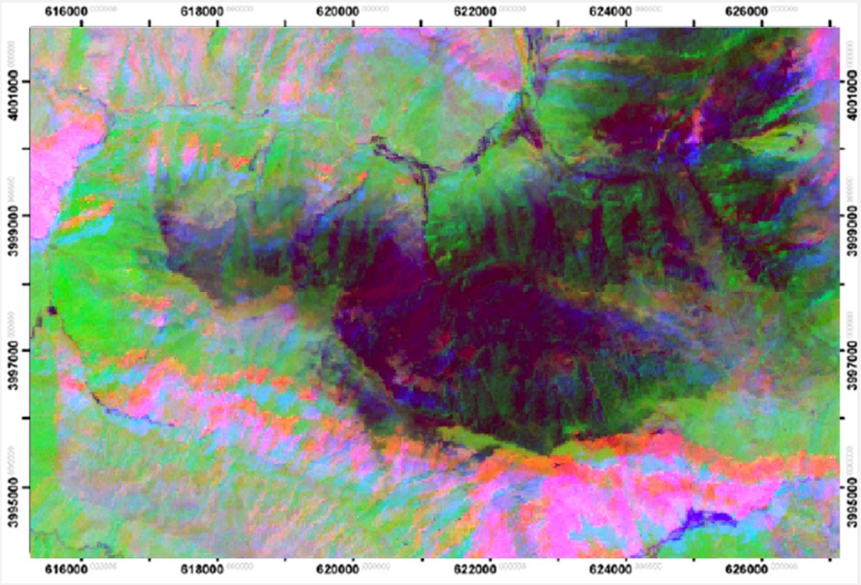
## آنالیز مولفه‌های اصلی (PCA)

این تکنیک یک ابزار سیستماتیک فشرده‌سازی تصاویر چندطیفی است و برای تشخیص بهتر خطواره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد، این روش به منظور کاهش باندهای زیاد موجود در لندست TM و نشان دادن اطلاعات طیفی در تصویر ترکیب رنگی RGB تنها با ۳ مولفه (PC1,PC2,PC3) به کارگرفته شد. تقریبا ۲۰ ترکیب از باندهای اصلی تصویر و یا مولفه‌های اصلی (PC)، مورد آزمایش قرار گرفتند تا بهبود کیفیت تصویر را تست کنند و از میان آن‌ها شش تا برای FCC در RGB مناسب تشخیص داده شدند و از میان آن‌ها دو تا قابل پذیرش‌ترین کاربردها را برای شناسایی توپوگرافی، الگوی زهکشی و خطواره‌ها داشته‌اند. یکی از این دو متشکل از باند سه اصلی لندست و مولفه‌های PC-1,PC-2 و دیگری متشکل از باند هفت اصلی لندست و مولفه‌های PC-1,PC-2 بوده است. ترکیب دوم، سودمندتر ترجیح داده می‌شود زیرا آن شامل اولین و دومین محورهای تصاویر PC و باند ۷ ETM ترکیب شده با آن است که برای تحقیق‌های زمین شناسی کاربرد دارد.

دو مولفه اصلی تصویر و باند ۷ ETM برای تولید تصویر رنگی کاذب نهایی ترکیب و در شکل ۸ نمایش داده شدند، این تصویر برای تحلیل ویژگی های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی مورد استفاده قرار گرفت(Novak & Soulakellis, 2000). اعتبار این زون‌های شکستگی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای با مشاهدات صحرایی و ساختمان‌های قابل دسترسی در ناحیه مورد مطالعه به اثبات رسیده است. مطالعات صحرایی و سنجش از دوری نشان دادند که بیشتر خطواره ها شکستگی‌هایی هستند که یا به وسیله دایک جایگزین شده‌اند و یا گسل‌های نرمال هستند همچنین خطواره‌ها کنترل کننده رودخانه‌ها نیز می‌باشند.

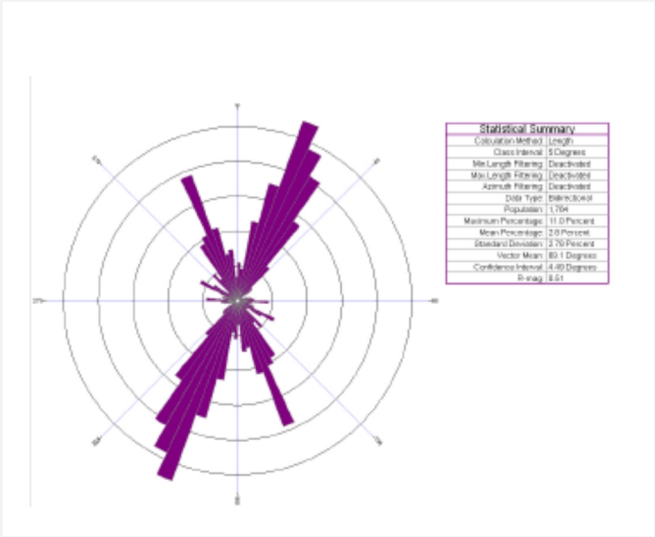
**جدول ۱**- ترکیبات رنگی مطلوب در زمینه آشکارسازی خطواره‌ها در محیط RGB

| | | |
|---|---|---|
| ۵۴۱ | بهترین تفسیر بصری خطواره ها را فراهم می سازد، تنوع رنگی بیشتر بین واحدهای متنوع لیتولوژیکی به شناسایی خطواره ها کمک می کند | (Solomon *et al.,* 2006) |
| ۷۴۲ و ۳۲۱ | آنالیز ساختمان های ناحیه ای | (Kusky *et al.,* 2002) |
| ۷۴۱ | استخراج خطواره ها | (Chernicoff *et al.,* 2002) |
| ۴۵۷ | استخراج ساختارها، تجزیه آن‌ها و استخراج روند خطواره‌ها | (Saintot *et al.,* 2000) |




**شکل۸**– ترکیب مولفه‌های PC1 ,PC2 و باند ETM۷

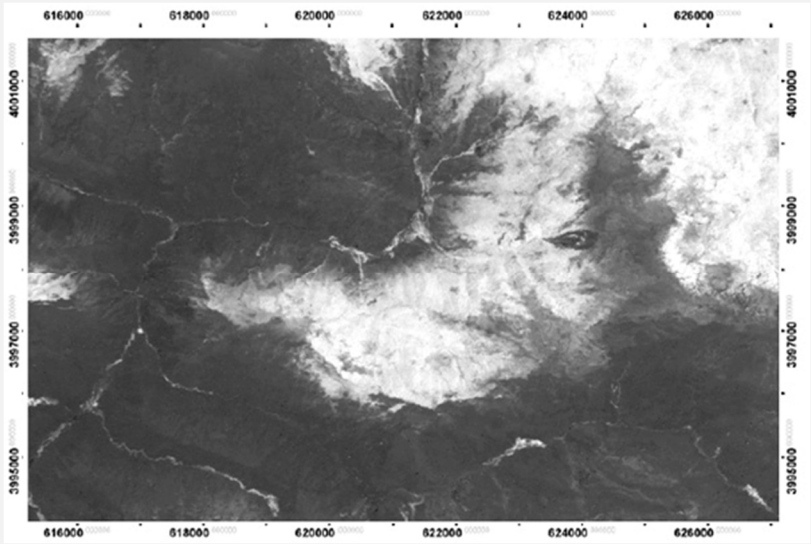
مطالعات آماری گسل‌های منطقه نیز حاکی از حضور دو دسته گسل مهم می‌باشد. در این بررسی ابتدا مشخصات ژئومتریک گسل ها شامل شیب ، امتداد و طول با استفاده از برداشت های صحرایی و نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه به دست آمده و پس از آن نتایج حاصل بصورت نمودار گلسرخی (Rose diagram) معرفی شده است(شکل۹). براین اساس روند کلی این ساختارها به دو بخش اصلی شامل شمال غربی - جنوب شرقی و شمال شرقی– جنوب غربی تفکیک می‌گردند.




**شکل ۹**- نمودار گل سرخی (Rose Diagram) گسل‌های منطقه مورد مطالعه

## پوشش‌های گیاهی پوشاننده واحدهای لیتولوژی

کاربرد شاخص پوشش گیاهی NDVI یک معیار کمی اندازه‌گیری محتوای پوشش گیاهی است (شکل ۱۰). پوشش گیاهی به دلیل تبعیت از تخلخل و قابلیت نفوذپذیری سنگ‌ها شاخصی برای شناسایی واحدهای لیتولوژیکی است. با مطالعه جنس سنگ های ولکانیکی، خاک تشکیل شده از آن‌ها و پوشش گیاهی تشکیل شده بر روی این خاک‌ها می‌توان به ارتباط میان واحدهای ولکانیکی و پوشش گیاهی پی برد. خاک‌های ولکانیکی حدودا ۰.۸٪ از سطح کره زمین را می‌پوشاند این نواحی معمولا به دلیل افزایش حاصلخیزی خاک‌ها، ضخامت و ظرفیت نگهداری آب مناطق مناسبی برای رشد گیاهان هستند (Prado *et al.*, 2007). در شرایط آب و هوایی مرطوب سرعت هوازدگی سنگ بستر بیشتر است و در نتیجه نرخ تشکیل خاک نیز بالاتر است و به همین دلیل پوشش گیاهی در این خاک‌ها در شرایط آب و هوای مرطوب متراکم‌تر است. از طرف دیگر در نواحی مرطوب، سنگ آهک ( تا حدودی دولومیت) نفوذپذیری کمتری نسبت به آب دارد و در نتیجه به وسیله پوشش گیاهی پوشیده نمی‌شوند. از هم‌پوشانی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ ناحیه مورد مطالعه به همراه نقشه شاخص پوشش گیاهی روشن شد که واحدهای ولکانیکی عمدتا منطبق بر پوشش گیاهی هستند و بدین ترتیب از شاخص NDVI برای شناسایی جنس واحدهای لیتولوژی زیرین استفاده کردیم. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که واحدهایی که در اینجا نشان داده شده اند ذاتا در ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی متفاوت بوده‌اند نه فقط در پوشش گیاهی؛ بنابراین از پراکندگی پوشش گیاهی می‌توان برای تشخیص واحدهای سنگ شناسی استفاده کرد.




**شکل ۱۰**– شاخص نرمال شده پوشش گیاهی NDVI

## تشکر و قدردانی

این پژوهش با حمایت‌های مالی و فنی شرکت مهندسی کاوشگران و اداره کل صنایع و معادن استان مازندران انجام شد. از مدیران، کارشناسان و همکاران مختلفی که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند، سپاسگزاری می‌نمائیم.

## منابع

*Allenbach*, P. (1963). Geology and Petrography of Mt. *Damavand* and Its Environment (central Alborz). Iran. Tehran: Geological Survey of Iran.

Chernicoff, C., J. Richards and E. Zappettini (2002). Crustal lineament control on magmatism and mineralization in northwestern Argentina: geological, geophysical, and remote sensing evidence. Elsevier, Ore Geology Reviews, 3: 127-155.

Kouli, M. and K. Seymour (2006). Contribution of remote sensing techniques to the identification and characterization of Miocene calderas, Lesvos Island, Aegean Sea. Hellas, Geomorphology, 77:1–16.

Kusky, T. and T. Ramadan (2002). Structural controls on Neoproterozoic mineralization in the South Eastern Desert, Egypt: an integrated field, Landsat TM, and SIR-C/X SAR approach. Elsevier, Journal of African Earth Sciences(35): 107-121.

Novak, I. and N. Soulakellis (2000). Identifying geomorphic features using LANDSAT-5r/TM data processing techniques on Lesvos, Greece. Elsevier, Geomorphology, 34: 101-109.

Prado, A.,C. Duwig, C. Hidalgo, M. Diaz, H. Yee-Madeira, C. Prat, M. Esteves and J. Etchevers (2007). Characterization, functioning and classification of two volcanic soil profiles under different land uses in Central Mexico. Elsevier, Geoderma,139: 300-313.

Ranjbar, H., M. Honarmand and Z. Moezifar (2004). Application of the Crosta technique for porphyry copper alteration mapping, using ETM data in the southern part of the Iranian volcanic sedimentary belt. Elsevier, Journal of Asian Earth Sciences, 24: 237-243.

Sabins, F. (1999). Remote sensing for mineral exploration, Remote Sensing Enterprises. Elsevier ,Ore Geology Reviews,14: 157–183.

Saintot, A. and J. Angelier (2000). Tectonic paleostress fields and structural evolution of the NW-Caucasus fold-and-thrust belt from Late Cretaceous to Quaternary. Elsevier, Tectonophysics, 357: 1-31

Solomon, S. and W. Ghebreab (2006), Lineament characterization and their tectonic significance using Landsat TM data and field studies in the central highlands of Eritrea. Elsevier , Journal of African Earth Sciences, 46: 371-378.