



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک  
گروه مهندسی اکتشاف معدن و ژئوفیزیک

## پایان نامه کارشناسی ارشد

استفاده از ماشین برداری پشتیبان در پردازش تصاویر ماهواره ای  
جهت شناسایی پتانسیل معدنی جنوب شرق ماسوله گیلان

رئوف غلامی

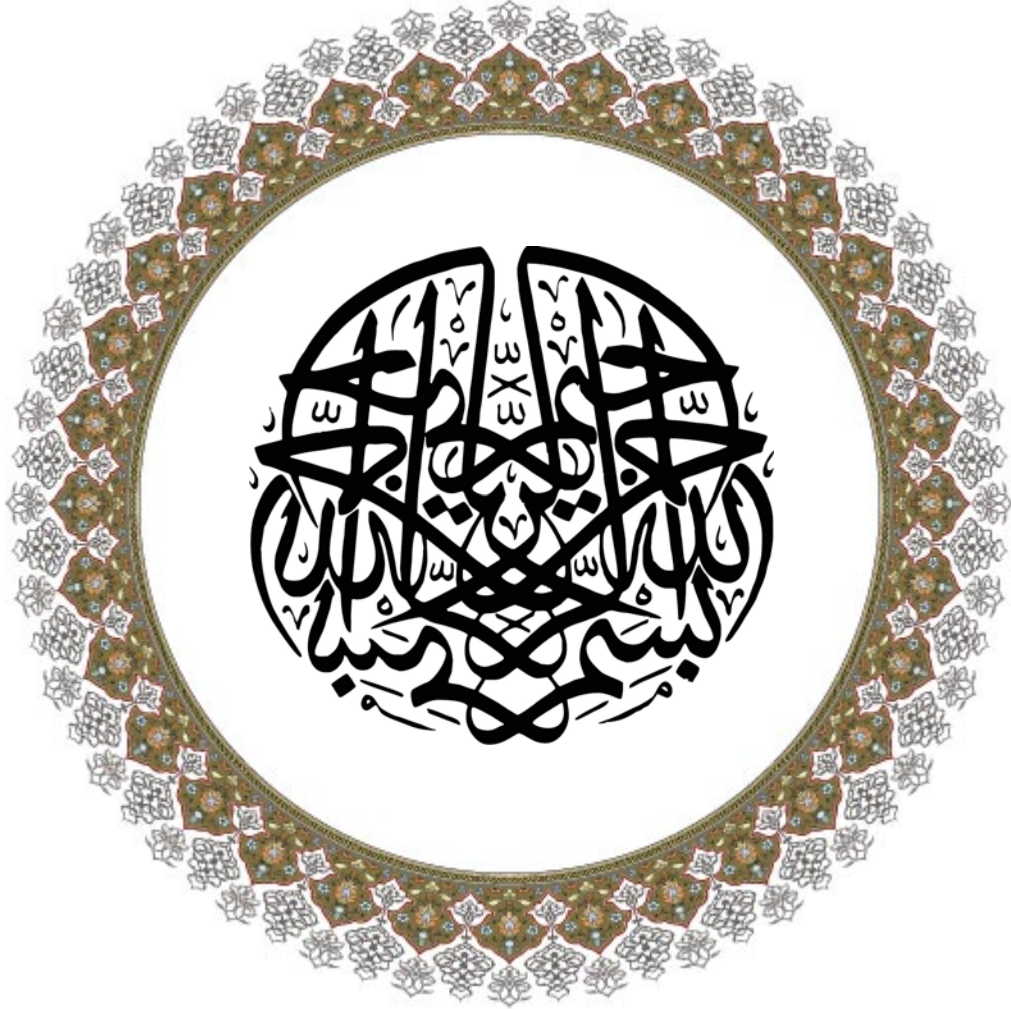
استاد راهنما

دکتر علی مرادزاده

استاد مشاور

مهندس مهیار یوسفی

تابستان ۱۳۸۹



## تقدیم به:

---

دو ستاره همیشه پر فروغ آسمان زندگی ام  
پدر و مادر  
دریای محبت و ایثار که عطر دعای سجاده  
اشان همیشه بدرقه راه پر فراز و نشیب زندگی ام  
بوده و من تمام مجال زندگی و تحصیلم را مدیون  
جان فشانی ها و دل سوزی های مدیران آنان می  
باشم.

# سپاسگزاری

---

سپاس خدای مهربان را که اندیشه‌ام داد.

حمد و ستایش بی‌قیاس خدایی را سزااست که از الطاف خود در انسان دمید و او را اشرف مخلوقات خود قرار داد. حال که به لطف او توفیق تحصیل علم و کسب دانش را پیدا نمودم، از خداوند متعال می‌خواهم که قدم‌هایم را در راه خدمت به جامعه استوار گرداند تا بتوانم از آنچه در این سال‌ها آموختم در مسیر پیشرفت و آبادانی کشور عزیزم استفاده نمایم.

با تقدیر و تشکر از استاد ارجمند جناب آقای دکتر علی مرادزاده و مهندس مهیار یوسفی که با سعه صدر و وسعت نظر مرا در انجام این پروژه تحقیقاتی صمیمانه یاری نمودند.

همچنین از پدر و مادر عزیزم که همواره باعث ایجاد انگیزه در من برای ادامه تحصیل و تلاش در این راه بوده‌اند و همه اساتید گرانقدر تشکر و قدردانی نموده توفیق و عزت همه را از خداوند متعال مسئلت می‌نمایم.

از ریاست محترم و کارشناسان اداره معادن سازمان صنایع و معادن استان گیلان و همچنین از مدیرعامل محترم شرکت مهندسان مشاور پارس پی‌آزما به خاطر در اختیار قرار دادن امکانات و برخی اطلاعات تشکر می‌گردد.

رئوف غلامی تأیید می‌نماید که مطالب مندرج در این پایان نامه نتیجه تحقیقات خودش می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده است.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد.



## چکیده

از آنجایی که عملیات اکتشافی در شرایط ریسک پذیر و سرمایه بر انجام می شود، یکی از اهداف برنامه های اکتشافی، انتخاب بهینه مناطق امید بخش و کوچک نمودن محدوده مورد مطالعه به منظور پی جویی ماده مورد اکتشاف است. یکی از راه های دسترسی به هدف فوق، استفاده از بررسی های سنجش از دور و به طور خاص استفاده از روش های شناسایی الگو در این روش خاص است که به دلیل نیاز به دقت و صحت بالای نتایج حاصله، استفاده از الگوریتم های قدرتمند و با خطای کم، ضروری به نظر می رسد. ماشین برداری پشتیبان یکی از روش های شناسایی الگو و طبقه بندی داده ها می باشد که در اوایل دهه ۱۹۹۰ معرفی شده و پس از آن به عنوان روشی نیرومند در حل مسائل طبقه بندی و رگرسیون مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج نشان می دهد که این روش از قدرت تعمیم دهی بالا و همچنین توانمندی خوبی در مقابله با نویز و کمبود داده ها برخوردار است. از آنجا که تا کنون از این روش نیرومند در شناسایی مناطق امید بخش اکتشافی استفاده نشده است، هدف از مطالعه حاضر استفاده از این روش در تحلیل داده های سنجش از دور در شناسایی مناطق امید بخش اکتشافی در جنوب شرق ماسوله گیلان می باشد.

شناسایی الگو در اکتشاف کانسارها بر مدل سازی اندیس های شناخته شده از یک ماده معدنی استوار است و می تواند بر اساس ویژگی های استخراج شده از نمونه های آموزشی مناطق مشابهی را معرفی نماید. بنابراین در مطالعه حاضر پس از جمع آوری اطلاعات و پردازش اولیه، مناطق امید بخش اولیه ای برای پیمایش و نمونه برداری صحرائی مشخص گردید. پس از این مرحله با استفاده از نمونه های آنومال حاصل از برداشت های ژئوشیمیایی منطقه به عنوان نمونه های آموزشی، داده های ماهواره ای سنجش از دور با ماشین برداری پشتیبان به صورت نظارت شده مورد پردازش و طبقه بندی مجدد همراه با دیگر روش ها قرار گرفتند. در نهایت با جمع بندی و تلفیق نتایج حاصل از کلیه بررسی ها، ۵ منطقه امیدبخش اکتشافی به ترتیب الویت و به صورت یک نقشه معرفی شده است و پیشنهاداتی نیز برای تکمیل کارها و ادامه فعالیت های اکتشافی در منطقه ارائه شده است.

## مقالات

-Raof Gholami, Ali Moradzadeh and Mahyar Yousefi. Two-step remote sensing image processing using support vector machine to identify optimum promising mineral exploration areas. Submitted to International Journal of Remote Sensing

- Raof Gholami, Ali Moradzadeh and Mahyar Yousefi. Assessing the performance of independent component analysis in remote sensing data processing. Submitted to Indian Society of Remote Sensing

- رئوف غلامی، علی مرادزاده، مهیار یوسفی. ارزیابی عملکرد تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل در پردازش تصاویر ماهواره‌ای سیستم‌های سنجش از دور. پذیرش شده در چهاردهمین کنفرانس علوم زمین

- رئوف غلامی، علی مرادزاده، مهیار یوسفی. بررسی قابلیت تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل در شناسایی زون‌های آنومال ژئوشیمیایی جنوب شرقی ماسوله. پذیرش شده در چهاردهمین کنفرانس علوم زمین



فصل اول: مقدمه

۲	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- کاربرد سنجش از دور در شناسایی مناطق امید بخش
۵	۳-۱- تعریف مسئله و بیان سوال های اصلی تحقیق
۵	۴-۱- سابقه و ضرورت انجام تحقیق
۶	۵-۱- هدف از پروژه
۶	۶-۱- روش انجام تحقیق
۷	۷-۱- سازماندهی پایان نامه

فصل دوم: علم سنجش از دور

۹	۱-۲- مقدمه
۱۰	۲-۲- تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره ای
۱۱	۳-۲- پیش پردازش
۱۱	۴-۲- بارزسازی تصاویر
۱۱	۵-۲- طبقه بندی
۱۲	۱-۵-۲- روش طبقه بندی نظارت نشده
۱۳	۱-۵-۲- روش طبقه بندی نظارت شده
۱۴	۶-۲- پس پردازش های طبقه بندی
۱۴	۷-۲- ترکیبات و تبدیلات رنگی
۱۴	۱-۷-۲- سیستم رنگی RGB
۱۷	۸-۲- تقسیمات بانندی و نسبت گیری طیفی
۱۷	۹-۲- تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی

۱۸	۱۰-۲- تجزیه و تحلیل مولفه های مستقل
۱۹	۱-۱۰-۲- مقایسه عملکرد تحلیل مولفه های مستقل و تجزیه مولفه های اصلی
۲۰	۲-۱۰-۲- الگوریتم تجزیه و تحلیل مولفه های مستقل
۲۱	۳-۱۰-۲- کاربرد الگوریتم ICA در انتخاب باندها
۲۳	۱۱-۲- مختصری در مورد نرم افزار ENVI

## فصل سوم: روش های طبقه بندی داده های اکتشافی

### با نگرش ویژه بر ماشین برداری پشتیبان

۲۶	۱-۳- مقدمه
۲۶	۲-۳- الگوریتم بیشترین شباهت
۲۸	۱-۲-۳- الگوریتم بیشترین شباهت در سنجش از دور
۲۹	۳-۳- الگوریتم کمترین فاصله
۳۰	۱-۳-۳- الگوریتم کمترین فاصله در سنجش از دور
۳۰	۴-۳- شبکه عصبی
۳۱	۵-۳- ماشین برداری پشتیبان
۳۱	۱-۵-۳- ابر صفحه جداساز
۳۲	۲-۵-۳- ماشین برداری پشتیبان خطی
۳۷	۳-۵-۳- ماشین برداری پشتیبان در سیستم های خطی جداناپذیر
۴۰	۴-۵-۳- ماشین برداری پشتیبان در سیستم های غیر خطی
۴۰	۱-۴-۵-۳- فضای ویژگی
۴۲	۲-۴-۵-۳- ماشین برداری غیر خطی
۴۳	۳-۴-۵-۳- حقه کرنل
۴۴	۵-۵-۳- نقاط قوت و ضعف ماشین برداری پشتیبان

## فصل چهارم: منطقه مورد مطالعه

۴۷	۱-۴- مقدمه
۴۷	۲-۴- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه
۴۸	۳-۴- راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه
۴۹	۴-۴- وضعیت آب و هوایی و پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه
۵۱	۵-۴- زمین شناسی عمومی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه
۵۳	۶-۴- واحدهای سنگی رخنمون دار منطقه
۵۴	۱-۶-۴- واحدهای دگرگونی پرکامبرین
۵۵	۲-۶-۴- واحدهای پالئوزوئیک
۵۶	۳-۶-۴- توده های آذرین
۵۷	۷-۴- واحدهای لیتولوژیکی از دیدگاه پتانسیل اقتصادی

## فصل پنجم: پردازش تصاویر ماهواره ای و معرفی مناطق امید بخش اولیه

۶۰	۱-۵- مقدمه
۶۰	۲-۵- آماده سازی تصویر ETM <sup>+</sup> محدوده مورد مطالعه
۶۳	۳-۵- ترکیبات و تبدیلات فضایی
۶۷	۱-۳-۵- شناسایی نواحی سیلیسی (آلتراسیون و ...)
۶۹	۲-۳-۵- شناسایی نواحی اکسید آهن
۷۱	۴-۵- تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی
۷۲	۵-۵- تجزیه و تحلیل مولفه های مستقل

## فصل ششم: بازدید، پیمایش های صحرائی،

### حفریات اولیه و نمونه برداری

۷۶	۱-۶-مقدمه
۷۶	۲-۶- نمونه برداری از سنگ ها
۷۸	۳-۶- بازدید، پیمایش های صحرائی و نمونه برداری
۷۸	۱-۳-۶- مشاهدات صحرائی
۸۱	۲-۳-۶- حفریات سطحی و نمونه برداری
۸۳	۴-۶- شماره گذاری و آماده سازی نمونه ها

## فصل هفتم: نتایج آنالیز نمونه ها و

### پردازش ثانویه تصاویر ماهواره ای

۸۵	۱-۷-مقدمه
۸۵	۲-۷- نمونه های با اهمیت بر اساس نتایج آنالیز و مطالعات مقطع نازک
۸۵	۱-۲-۷- نمونه های برداشت شده از توده های نفوذی به صورت دایک و رگه
۸۸	۲-۲-۷- نمونه های برداشت شده از لیتولوژی های مختلف ( غیر از دایک ها)
۸۹	۱-۲-۲-۷- مهمترین نمونه های برداشت شده با توجه به نتایج آنالیز
۸۹	۳-۷- پردازش ثانویه تصاویر ماهواره ای به کمک ماشین برداری پشتیبان
۹۰	۱-۳-۷- طبقه بندی نظارت شده با استفاده از اندیس های شناخته شده
۹۱	۲-۳-۷- اعمال فیلترینگ جهت شناسایی عوارض خطی
۹۴	۳-۳-۷- تجزیه و تحلیل روی خطواره های منطقه
۹۸	۴-۳-۷- تجزیه و تحلیل روی دایک های شناسایی شده

## فصل هشتم: مدل سازی، تلفیق و نتیجه گیری

- ۱۰۳ ۱-۸- مقدمه
- ۱۰۳ ۲-۸- تلفیق نتایج و ارائه نقشه پیش بینی مناطق امید بخش
- ۱۰۳ ۱-۲-۸- تلفیق نقشه های دوتایی و مدل پیش بینی مناطق امید بخش بر اساس دو معیار دانش محور فاصله صفر تا ۱۰۰ متر از دایک و گسل
- ۱۰۴ ۲-۲-۸- تلفیق نقشه های دوتایی و مدل پیش بینی مناطق امید بخش بر اساس دو معیار داده محور طبقه بندی ماشین برداری و فاصله مناسب از گسل ها
- ۱۰۶ ۳-۲-۸- تلفیق کیله نقشه ها و معرفی مناطق امید بخش به ترتیب اولویت
- ۱۰۷ ۳-۸- نتیجه گیری
- ۱۰۸ ۴-۸- پیشنهادات

## پیوست الف: نتایج مطالعات میکرسکوپی و آنالیز شیمیایی

### نمونه های جنوب شرق ماسوله

- ۱۱۱ الف-۱- مقدمه
- ۱۱۱ الف-۲- مطالعات پتروگرافی
- ۱۲۱ الف-۳- مطالعات مینرالوگرافی
- ۱۳۸ مراجع

## فهرست شکل‌ها

شماره صفحه	عنوان
۱۵	شکل (۱-۲) منحنی‌های حساسیت چشم به رنگ‌های مختلف
۱۵	شکل (۲-۲) مکعب فضای رنگ سه بعدی RGB
۲۰	شکل (۳-۲) نحوه ارجاع داده‌ها به فضای بالاتر
۲۲	شکل (۴-۲) قاعده اصلی تجزیه مولفه‌های مستقل
۳۲	شکل (۱-۳) صفحه جداساز بهینه با حداکثر مقدار حاشیه
۳۴	شکل (۲-۳) صفحه جداساز و حاشیه‌ها
۳۵	شکل (۳-۳) محاسبه فاصله حاشیه‌ها
۳۷	شکل (۴-۳) صفحه جداساز بهینه
۳۸	شکل (۵-۳) سیستم‌های خطی جداناپذیر
۴۱	شکل (۶-۳) عملکرد کرنل در فضای بالا
۴۳	شکل (۷-۳) داده‌های طبقه‌بندی شده در فضای بالا
۴۸	شکل (۱-۴) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور
۴۹	شکل (۲-۴) راه‌های ارتباطی مورد مطالعه در جنوب شرق ماسوله
۵۰	شکل (۳-۴) نمایی از پوشش جنگلی انبوه شمال-شرقی منطقه مورد مطالعه
۵۰	شکل (۴-۴) نمایی از بخش جنوب-جنوب غربی منطقه مورد مطالعه
۶۲	شکل (۱-۵) تصویر ETM <sup>+</sup> بلوک انزلی با RGB=741
۶۳	شکل (۲-۵) تصویر ETM <sup>+</sup> محدوده مورد مطالعه با RGB=741
۶۴	شکل (۳-۵) ترکیب رنگی با RGB=174 و تشخیص آسفنگی طیفی در منطقه
۶۴	شکل (۴-۵) ترکیب رنگی با RGB=175 و تشخیص آسفنگی طیفی در منطقه
۶۵	شکل (۵-۵) ترکیب رنگی با RGB=731 و تشخیص آسفنگی طیفی در منطقه
۶۷	شکل (۶-۵) ترکیب رنگی با RGB=741 و تشخیص آسفنگی طیفی در منطقه
۶۷	شکل (۷-۵) ترکیب رنگی با RGB=754 و تشخیص آسفنگی طیفی در منطقه

- ۶۷ شکل (۵-۸) ترکیب رنگی با  $RGB=5/4,3,3/1$  و شناسایی نواحی دارای آلتراسیون سیلیسی
- ۶۸ شکل (۵-۹) حضور سیلیسی در منطقه مورد مطالعه
- ۶۹ شکل (۵-۱۰) ترکیب رنگی با  $RGB=5/7,3/1,4/5$  و شناسایی نواحی دارای آلتراسیون
- ۶۹ شکل (۵-۱۱) گستردگی آلتراسیون پروپیلی تیک در منطقه مورد مطالعه
- ۷۰ شکل (۵-۱۲) ترکیب رنگی  $RGB=3/1,3,1$
- ۷۱ شکل (۵-۱۳) ترکیب رنگی  $RGB=3/1,3,1$  پس از اعمال Linear Enhance 2%
- ۷۲ شکل (۵-۱۴) ترکیب رنگی  $RGB=PC1(731)$  پس از تحلیل مولفه های اصلی
- ۷۳ شکل (۵-۱۵) ترکیب رنگی  $RGB=IC1(321)$  پس از تحلیل مولفه های مستقل
- ۷۴ شکل (۵-۱۶) نتایج اعمال تجزیه و تحلیل مولفه های مستقل
- ۷۹ شکل (۶-۱) رخنمون یک دایک در بالاترین ارتفاعات منطقه
- ۷۹ شکل (۶-۲) رخنمون یک دایک در منطقه
- ۸۰ شکل (۶-۳) رخنمون یک دایک در منطقه
- ۸۰ شکل (۶-۴) رخنمون سیلیس در میان اسلیت ها
- ۸۱ شکل (۶-۵) محل نمونه های برداشت شده در مرحله پیمایش صحرایی
- ۸۲ شکل (۶-۶) چاهک حفر شده در رخنمون سیلیسی
- ۸۲ شکل (۶-۷) آثار آلتراسیون کلریتی و اپیدوتی
- ۸۳ شکل (۶-۸) نمونه های آنومال ژئوشیمیایی به همراه نمونه های دارای ذرات طلا
- ۸۶ شکل (۷-۱) رخنمون دایک نمونه برداری شده
- ۸۷ شکل (۷-۲) خردشدگی ناشی از گسلش در توده نفوذی
- ۸۷ شکل (۷-۳) حفاری سطحی و نمونه برداری از دایک گسل خورده
- ۹۱ شکل (۷-۴) نقشه دوتایی نشان دهنده محل های مشابه انعکاس طیفی نمونه های ML55 و ML80 با روش SVM
- ۹۲ شکل (۷-۵) تصویر Pan منطقه مورد مطالعه پس از اعمال فیلتر جهتی
- ۹۳ شکل (۷-۶) تصویر Pan به همراه گسل های منطقه مورد مطالعه

- شکل (۷-۷) لایه جداگانه گسل های منطقه مورد مطالعه ۹۴
- شکل (۸-۷) نقشه حریم بندی گسل های منطقه ۹۵
- شکل (۹-۷) نقشه دوتایی گسل ها با توجه به فواصل مناسب برای کانی سازی ۹۶
- شکل (۱۰-۷) نقشه دوتایی گسل ها با توجه به فواصل مناسب برای کانی سازی ۹۶
- شکل (۱۱-۷) نقشه دوتایی گسل ها با توجه به داده های دانش محور ۹۷
- شکل (۱۳-۷) محل دایک ها بر روی تصاویر با ترکیب رنگی RGB=175 ۹۸
- شکل (۱۴-۷) نقشه حریم بندی دایک های شناسایی شده ۹۹
- شکل (۱۵-۷) نقشه دوتایی امید بخش بر اساس معیار فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر از دایک های شناسایی شده ۱۰۰
- شکل (۱-۸) نواحی امید بخش به دست آمده با کاربرد دو معیار دانش محور فاصله از گسل ها و دایک های منطقه ۱۰۴
- شکل (۲-۸) نقشه دوتایی نشان دهنده مناطق امید بخش اکتشافی بر اساس دو معیار داده محور فاصله ۰ تا ۱۶۰ متر از گسل و نتایج طبقه بندی با SVM ۱۰۵
- شکل (۳-۸) نقشه دوتایی نشان دهنده مناطق امید بخش اکتشافی بر اساس دو معیار داده محور فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰ متر از گسل و نتایج طبقه بندی با SVM ۱۰۵
- شکل (۴-۸) نقشه نشان دهنده مناطق امید بخش اکتشافی به ترتیب اولویت ۱۰۶



## فهرست جداول

شماره صفحه	عنوان
۴۱	جدول (۱-۳) توابع کرنل در فضای ویژگی
۶۱	جدول (۱-۵) مشخصات تصویر ETM+ منطقه مورد مطالعه
۷۳	جدول (۲-۵) بردارهای ویژه حاصل از اعمال تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل
۱۰۲	جدول (۱-۸) ترکیب های منطقی AND

# فصل اول

مقدمه

## ۱-۱- مقدمه

اکتشاف مواد معدنی در مناطق وسیع با محدودیت‌های بسیاری نظیر محدودیت‌های هزینه و زمان همراه است که دسترسی به اهداف از پیش تعیین شده را مشکل می‌سازد. در همین راستا همواره به کارگیری روش‌هایی جهت حداقل نمودن هزینه و زمان برای انجام بررسی‌های اولیه ضروری به نظر می‌رسد. روش سنجش از دور یکی از روش‌هایی است که اهمیت آن را می‌توان در پردازش سریعتر اطلاعات در زمان کوتاه‌تر و با هزینه کمتر به خصوص در مراحل اولیه اکتشاف نسبت به روش‌های مرسوم دیگر دانست. علاوه بر این، نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای قابلیت ورود به سیستم اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن با دیگر داده‌های موجود، جهت شناسایی مناطق مناسب برای کانی‌سازی معدنی را دارا می‌باشد.

می‌دانیم که فرآیند اکتشاف مواد معدنی همراه با ریسک می‌باشد و یکی از راه‌های کاهش ریسک استفاده از فرآیند مرحله‌ای آن در دو بعد زمان و مکان است [De Geoffroy and Wignall, 1988]. به همین جهت شناسایی مواد معدنی ابتدا در مقیاس کوچک و در منطقه‌ای وسیع آغاز شده، سپس به مناطق کوچک تبدیل می‌شود و سرانجام پس از اجرای مطالعات تفصیلی با انتخاب محل‌های مناسب برای حفاری به منظور دست‌یابی به ذخایر معدنی پنهان پایان می‌پذیرد.

شناسایی مناطق امیدبخش اولیه، نخستین گام این فرآیند مرحله‌ای است که در آن از روش‌های گوناگونی مانند شواهد حاصل از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، برداشت‌های ژئوفیزیکی (نقشه‌های مغناطیس‌سنجی و ...)، ژئوشیمیایی (نمونه‌برداری لیتولوژیکی و ...) و نیز موقعیت اندیس‌های شناخته شده معدنی (در صورت وجود) استفاده می‌شود. هر یک از روش‌های فوق به نوبه خود می‌تواند نواحی امیدبخش خاصی را معرفی نماید اما به دلیل محدودیت مالی و زمانی فقط تعدادی از این مناطق به عنوان اولویت اکتشافی انتخاب می‌شوند. در نتیجه در انتخاب این مناطق باید حداکثر دقت ممکن در نظر گرفته شود. پس اگر به جای بررسی جداگانه هر روش اکتشافی، روش‌های مختلف

در ارتباط با یکدیگر مورد بررسی قرار گیرند و خصوصیات روش‌های مختلف در یک چهارچوب وابسته به هم تجزیه و تحلیل شود، انتخاب بهترین نواحی برای تمرکز عملیات اکتشافی با دقت بیشتر و ریسک کمتر صورت خواهد گرفت. یکی از روش‌هایی که می‌تواند جهت شناسایی مناطق امیدبخش در مقیاس ناحیه‌ای به همراه لایه‌های اطلاعاتی دیگر به کار گرفته شود، علم سنجش از دور است که با تکیه بر دقت و سرعت بالاتر، هزینه‌های مربوطه را تا حد امکان کاهش خواهد داد.

## ۱-۲- کاربرد سنجش از دور در شناسایی مناطق امیدبخش معدنی

همان‌گونه که در قسمت قبل بیان شد، سنجش از دور یکی از روش‌هایی است که در شناسایی اولیه مناطق امیدبخش در اکتشافات اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش می‌تواند مناطقی را که از لحاظ دارا بودن ویژگی‌های کانی‌سازی مناسب هستند، شناسایی نماید تا عملیات اکتشافی بر روی آن‌ها متمرکز گشته و از ریسک عملیات اکتشافی کاسته شود. سنجش از دور با تکیه بر قابلیت‌هایی مانند استفاده از ترکیبات و تبدیلات فضایی، تقسیمات بانندی، ترکیبات رنگی، طبقه‌بندی و ... خود را به عنوان روشی قدرتمند در شناسایی مناطق با پتانسیل کانی‌سازی معرفی کرده است [Liu and Mason, 2009].

یکی از قابلیت‌های سنجش از دور پردازش داده‌هایی است که با استفاده از روش‌های مختلف کلاسیک (روش‌های آماری و ...) و روش‌های هوشمند (مثل شبکه عصبی و ...) به صورت نظارت شده<sup>۱</sup> یا غیرنظارت شده<sup>۲</sup> ارائه می‌شوند. البته، عمده بحثی که در زمینه طبقه‌بندی انجام می‌شود، به روش‌های نظارت شده اختصاص دارد زیرا از روش‌های غیرنظارت شده عمدتاً برای خوشه‌بندی<sup>۳</sup> و تخمین چگالی<sup>۴</sup> داده‌ها استفاده می‌شود [Bishop, 2006].

<sup>۱</sup> -Supervised

<sup>۲</sup> -Unsupervised

<sup>۳</sup> - Clustering

<sup>۴</sup> - Density Estimation

طبقه‌بندی نظارت شده با استفاده از داده‌هایی با ماهیت مشخص صورت می‌پذیرد. در این فرآیند، قسمتی از داده‌های موجود به آموزش الگوریتم انتخاب شده، اختصاص می‌یابد و سعی می‌شود تا ساختار داده‌ها توسط الگوریتم مورد استفاده شناسایی شود. در مرحله بعد با استفاده از قسمت دیگری از داده‌ها، الگوریتم مورد آزمون قرار می‌گیرد تا تفاوت خروجی آن با خروجی مطلوب بررسی گردد. در انتها جهت تعیین مرزی برای خروجی مطلوب و جلوگیری از بیش‌برازشی، فرآیند تعیین اعتبار صورت می‌پذیرد.

جهت شناسایی مناطق امیدبخش اکتشافی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای از الگوریتم‌های متعددی استفاده می‌شود که از میان برجسته‌ترین آن‌ها می‌توان به الگوریتم کمترین فاصله، بیشترین شباهت، شبکه عصبی و ... اشاره نمود [Liu and Mason, 2009]. از میان الگوریتم‌های فوق، الگوریتم کمترین فاصله و بیشترین شباهت از تابع نرمال (گوسی) استفاده می‌کنند که در برابر نویز و خطای موجود در داده‌ها عملکرد خوبی از خود نشان نمی‌دهد [Bishop, 2006]. شبکه عصبی نیز با توجه به مشکلاتی مانند گیرکردن در نقاط بهینه محلی و دسترسی به جواب‌های زودرس و نامناسب دارای نقاط ضعف خاصی است [Duda et al, 2002].

ماشین برداری پشتیبان<sup>۱</sup> یکی از روش‌های قدرتمند است که در سال‌های اخیر ارائه شده و توانسته توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نماید. ماشین برداری پشتیبان با تکیه بر الگوریتم‌های خاص در نظر گرفته شده و توجه به دو اصل تعمیم<sup>۲</sup> و تنظیم<sup>۳</sup> توانسته جواب‌هایی با دقت و صحت بالا را ارائه نماید. بر طبق نظر محققین دلایل موفقیت این ماشین را می‌توان قدرت بالای آن در برابر نویز موجود در داده‌ها، توانایی یادگیری با تعداد نمونه کم آموزشی و راندمان بالای محاسباتی آن دانست [Steinwart, 2008; Abe, 2005; Cristianini and Shawe-Taylor, 2000]. با توجه به

<sup>1</sup> - Support Vector Machine (SVM)

<sup>2</sup> - Generalization

<sup>3</sup> - Regularization

توانمندی خوب این روش در شناسایی الگو، در مطالعه حاضر از این روش جهت تجزیه و تحلیل داده-های ماهواره‌ای برای شناسایی مناطق مستعد برای وجود مواد معدنی استفاده می‌شود.

### ۱-۳- سابقه و ضرورت انجام تحقیق

روش ماشین برداری پشتیبان در اوایل سال ۱۹۹۰ جهت انجام فرآیندهای طبقه‌بندی دو کلاسه توسط ولادمیر وپنایک معرفی شد [Martinez-Ramon, 2006]. پس از آن محققین بسیاری به توسعه الگوریتم‌های این ماشین پرداخته‌اند که از میان آن‌ها می‌توان به افرادی چون Bishop, 2006; Abe, 2005; Duda et al, 2002; Martinez-Ramon, 2006; Theodoridis and Koutroumbas, 2006; Wang, 2005; Cristianini and Shown-Taylor, 2000; Steinwart, 2008 اشاره نمود.

پس از توسعه الگوریتم‌های این روش، افراد زیادی این روش را در فرآیندهای طبقه بندی و رگرسیون با موفقیت به کار گرفتند که از آن جمله می‌توان به بکارگیری الگوریتم ماشین برداری در طراحی دارو [Burbidge et al, 2001]، آنالیز داده‌های ژن انسان [Valentini, 2002]، بررسی وضعیت بازار و پیش بینی نرخ اعتبار [Huang et al, 2004]، پیش بینی نرخ بارش سالانه [Tripathi, 2006]، پیش بینی میزان ذخیره زغال سنگ [Liu et al, 2008] و ... اشاره نمود. تمامی موارد بیان شده به خوبی توانستند بر قابلیت ماشین برداری پشتیبان صحنه بگذارند و با مقایسه نمودن نتایج خود با نتایج روش‌های دیگر، قدرت این ماشین را مورد تایید قرار دادند.

بررسی منابع منتشره نشان می‌دهد که ظاهراً تا کنون از روش ماشین برداری در پردازش تصاویر ماهواره‌ای به منظور شناسایی نواحی امیدبخش اکتشافی استفاده نشده است. با توجه به این مطلب که در اکتشافات اولیه، کاهش ریسک، زمان و افزایش دقت عملیات بسیار مهم است، استفاده از این روش برای تجزیه و تحلیل داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کمک موثری به شناسایی نواحی امیدبخش نماید و ضریب احتمال موفقیت اکتشافی را افزایش دهد. در به کار گیری این روش در پردازش داده های سنجش از دور جهت شناسایی مناطق امید بخش معدنی سوالات زیر مد نظر می باشند:

۱- چگونه می‌توان از روش ماشین‌برداری به عنوان یک روش مناسب‌تر در طبقه‌بندی داده‌های

اکتشافی ناحیه مورد نظر استفاده کرد؟

۲- آیا این روش می‌تواند مناطق امیدبخش معدنی را شناسایی نماید؟

## ۱-۴- هدف از مطالعه

هدف از مطالعه حاضر، استفاده از روش ماشین‌برداری پشتیبان جهت پردازش تصویر ماهواره‌ای و طبقه‌بندی داده‌های اکتشافی در جنوب شرق ماسوله استان گیلان و تلفیق نتایج به دست آمده با سایر لایه‌های اکتشافی مانند اطلاعات زمین‌شناسی، تجزیه نمونه‌های سنگی و ... به منظور شناسایی و معرفی بهترین مناطق امیدبخش برای متمرکز شدن در مراحل بعدی و تفصیلی‌تر اکتشاف می‌باشد.

## ۱-۵- روش انجام تحقیق

پس از جمع‌آوری و تهیه کلیه اطلاعات لازم از قبیل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه زمین‌شناسی و توپوگرافی، با مطالعه نتایج آنالیز نمونه‌های سنگی برداشت شده حاصل از اکتشافات قبلی در منطقه و تجزیه و تحلیل آن‌ها، بهترین نمونه‌های معرف کانی‌سازی احتمالی (آنومالی) به عنوان نمونه‌های آموزشی برای ماشین‌برداری پشتیبان انتخاب شده و در طبقه‌بندی با استفاده از این الگوریتم به کارگرفته می‌شوند. در مرحله بعد، با قرار دادن لایه اطلاعاتی حاصل از روش SVM در کنار معیارهایی مانند فاصله مناسب از گسل و دایک‌های منطقه، مناطق امیدبخش معرفی خواهند شد. در نهایت نیز، نتایج به دست آمده با محل نمونه‌های آنومال به دست آمده از برداشت‌های لیتوژئوشیمیایی مقایسه می‌شوند.

## ۱-۶- سازماندهی پایان نامه

با توجه به مطالب بیان شده، در پایان نامه حاضر به بررسی عملکرد روش طبقه‌بندی ماشین برداری پشتیبان در پردازش تصاویر ماهواره‌ای پرداخته خواهد شد. پس از فصل حاضر در هر یک از فصل‌های بعدی ابتدا شرح مختصری بر علم سنجش از دور و روش‌های مختلف طبقه‌بندی داده‌ها مانند روش کمترین فاصله، بیشترین شباهت، شبکه عصبی و خصوصاً ماشین‌برداری پشتیبان آورده خواهد شد. سپس منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و سعی خواهد شد تا پتانسیل کانی‌سازی آن با استفاده از ماشین برداری در کنار لایه‌های دیگر اطلاعاتی مطالعه گردد. بنابراین در فصل دوم مختصری در مورد علم سنجش از دور، قابلیت‌ها و توانایی آن آورده شده است. در فصل سوم پس از بررسی چند روش طبقه‌بندی داده‌ها و بیان نقاط قوت و ضعف آن‌ها، الگوریتم و معادلات اساسی ماشین برداری پشتیبان تشریح شده است. در فصل چهارم پس از توضیحاتی در مورد محل قرارگیری منطقه مورد مطالعه در کشور و وضعیت آب و هوایی و جغرافیایی آن، ویژگی‌ها و ساختار زمین‌شناسی منطقه بررسی شده است. در فصل پنجم با تجزیه و تحلیل اولیه تصویر ماهواره‌ای منطقه سعی شده تا مناطق امیدبخش اولیه‌ای برای نمونه‌برداری ژئوشیمیایی معرفی شوند. در ادامه در فصل ششم، نمونه‌برداری ژئوشیمیایی سنگی منطقه مورد مطالعه، تعداد نمونه‌ها و روش‌های آنالیزی به کار گرفته شده، شرح داده شده است. در فصل هفتم با تکیه بر نمونه‌های آنومال به دست آمده از برداشت‌ها به عنوان نمونه‌های آموزشی، نقاط امیدبخشی با استفاده از ماشین برداری پشتیبان معرفی شده است. در نهایت در فصل هشتم، لایه‌های اطلاعاتی مختلف در کنار یکدیگر قرار گرفته و نقاطی به عنوان مناطق امیدبخش نهایی برای کارهای تفصیلی بیشتر معرفی گردید و نتیجه‌گیری‌های لازم نیز صورت گرفته است.



# فصل دوم

مختصری در مورد سنجش از دور

## ۲-۱- مقدمه

یکی از ابزارهای مؤثر در مطالعات علوم زمین، استفاده از سنجش از دور و پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. استفاده از این فناوری اغلب موجب کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در وقت می‌گردد. فناوری دورسنجی از جمله ابزارهای نوینی است که دستیابی و استخراج اطلاعات پایه برای مدیریت منابع زمین را میسر می‌سازد. با استفاده از این فناوری می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای، ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند [طاهرکیا، ۱۳۷۵]. با توجه به اینکه در پایان نامه حاضر از این روش استفاده شده، در ادامه مختصری از کلیات سنجش از دور ذکر می‌گردد.

سنجش از دور را می‌توان تکنولوژی کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی مثل هواپیما، بالن یا تجهیزات فضایی مثل ماهواره نامید. در این روش بدون تماس شخص با جسم، ویژگی‌های آن جسم مشخص شده و مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. سنجش از دور علاوه بر اینکه مشکل دسترسی به محل و حضور فیزیکی در آن را که لازمه روش‌های زمینی و سنتی است، مرتفع ساخته، با ایجاد پوشش خوبی از منطقه مورد مطالعه، امکان دید کلی و عام‌تر از آن را فراهم می‌سازد. اساس سیستم‌های سنجش از دور بر اندازه‌گیری انرژی امواج الکترومغناطیس استوار است. بخشی از انرژی الکترومغناطیس ارسالی از طرف فرستنده ماهواره‌ای از طرف اشیاء مورد برخورد بازتاب شده و به سمت سنجنده حرکت می‌کند و توسط آن دریافت، اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. معروف‌ترین نوع این انرژی همان نور است که عمده‌ترین منبع تولید آن خورشید می‌باشد [علوی پناه، ۱۳۸۲].

از میان کاربردهای سنجش از دور می‌توان به استفاده آن در زمین‌شناسی، آب‌شناسی، معدن، شیلات، کارتوگرافی، جغرافیا، مطالعات زیست‌شناسی، مطالعات زیست‌محیطی، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، هواشناسی، کشاورزی، جنگل‌داری، توسعه اراضی و به طور کلی مدیریت منابع زمینی اشاره

نمود. افزون بر این، سیستم سنجش از دور می‌تواند حد و مرز پدیده‌های زمینی اعم از مرز انواع خاک‌ها، سنگ‌ها، گیاهان، محصولات کشاورزی گوناگون و ... را مشخص کند [طاهرکیا، ۱۳۷۵]. سنجش از دور در اکتشافات معدنی نیز کاربرد بسیاری دارد. بدون شک استفاده از این تکنولوژی در مطالعات اکتشافی، منابع طبیعی و سایر موارد نه تنها سرعت انجام مطالعات را بیشتر می‌کند، بلکه از نظر دقت، هزینه و نیروی انسانی نیز بسیار با صرفه‌تر خواهد بود. در اکتشاف ذخایر معدنی که از روش‌های مختلف آشکارسازی برای تفکیک و تشخیص شواهد کنترل‌کننده کانی‌سازی (لیتولوژی، ساختارهای زمین‌شناسی و آلتراسیون) استفاده می‌گردد، مطالعه تصاویر و تجزیه و تحلیل داده‌های رقومی ماهواره‌ای منطقه مورد نظر قبل از کار صحرایی امری کاملاً مفید خواهد بود.

## ۲-۲- تفسیر رقومی اطلاعات ماهواره‌ای

منظور از تجزیه و تحلیل رقومی اطلاعات ماهواره‌ای، بررسی و اندازه‌گیری ارزش‌های رقومی آن‌ها می‌باشد که استخراج نتایج جزئی و دقیق‌تر را ممکن می‌سازد. هر تصویر به صورت شبکه‌ای منظم از اعداد است که این اعداد نشان‌دهنده میزان انرژی الکترومغناطیس ثبت شده توسط سنجنده می‌باشد. برای هر پیکسل در هر باند فرکانسی<sup>۱</sup>، عددی متناظر با آن باند وجود دارد که از کنار هم قراردادن این پیکسل‌ها تصویر باند مربوطه حاصل می‌شود. مثلاً اگر سنجنده‌ای ۵ باند داشته باشد، هر پیکسل تصویر آن دارای ۵ مقدار است. بنابراین هر تصویر، فایلی متشکل از اعداد و ارقام و گاه اطلاعات متنی جانبی است. تصاویر رقومی نسبت به عکس‌ها، طبیعتی گسسته دارند، به همین دلیل می‌توان بسیاری از الگوریتم‌ها را به طور قانون‌مند بر روی آن‌ها اعمال نمود [طاهرکیا، ۱۳۷۵]. در حالت کلی، مجموعه عملیاتی که در مسیر تجزیه و تحلیل رقومی اطلاعات ماهواره‌ای صورت می‌گیرد را می‌توان در چهار مرحله زیر خلاصه نمود.

### ۱- پیش‌پردازش

<sup>۱</sup> -Frequently Band

۲- بارزسازی تصویر

۳- طبقه‌بندی اطلاعات

۴- پس پردازش و بررسی‌های نهایی

## ۲-۳- پیش پردازش

داده‌های خام ماهواره‌ای دارای خطاهای متعددی است که قبل از استفاده باید مورد بررسی قرار گرفته و برای رفع آن‌ها اقدام نمود. در مرحله پیش‌پردازش، با انجام عملیات‌های خاصی که روی داده‌های خام صورت می‌پذیرد، خطاهای رادیومتری، اتمسفری، هندسی و غیره مورد تصحیح قرار می‌گیرند. مقدار پیش‌پردازش مورد نیاز بسته به نوع سنجنده، کیفیت داده‌های رقومی و نوع کاربرد تصویر متفاوت خواهد بود [علوی پناه، ۱۳۸۲؛ Barret and Curtist, 1992].

## ۲-۴- بارزسازی تصویر

به منظور اخذ نتایج بهتر و نیز آشکارسازی بهتر تصاویر، مجموعه عملیاتی با نام بارزسازی مانند تعدیل خطی هیستوگرام<sup>۱</sup>، فیلترگذاری<sup>۲</sup>، محاسبات تصویری<sup>۳</sup>، تفریق تصاویر<sup>۴</sup>، تقسیم تصاویر<sup>۵</sup> و تبدیل مؤلفه‌های اصلی<sup>۶</sup> بر روی تصاویر ماهواره‌ای انجام می‌شود [Barret and Curtist, 1992].

## ۲-۵- طبقه‌بندی

در طبقه‌بندی اطلاعات سعی می‌شود تا با استفاده از نرم افزارهای رایانه‌ای، ارزش طیفی پیکسل‌های تصویر با نمونه‌های آموزشی مقایسه شود و پیکسل‌ها در طبقات قابل تفکیک قرار داده شوند. با توجه

<sup>1</sup> -Linear Histogram

<sup>2</sup> -Filtering

<sup>3</sup> -Image Arithmetic Operations

<sup>4</sup> -Substraction

<sup>5</sup> -Ratioing

<sup>6</sup> -Principle Component Analysis (PCA)

به این که هدف اصلی فناوری سنجش از دور، شناسایی و تفکیک پدیده‌های زمینی است، بنابراین طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مهمترین مرحله تفسیر اطلاعات ماهواره‌ای محسوب می‌گردد. طبقه‌بندی در واقع کاربرد خواص طیفی یا مکانی تصویر رقمی، برای تقسیم‌بندی جزئی‌تر تصویر به رده‌های معنی‌دار با انواع مختلف پوشش است. بیشتر طبقه‌بندی کننده‌های رایج فقط بر اساس رنگ کار می‌کنند چراکه عملکرد آن‌ها بر روی مقادیر منفرد پیکسل در هر طول‌موج است. هر پیکسل بسته به خواص طیفی آن بدون در نظر گرفتن پیکسل‌های پیرامون، به یک رده، سیما یا نوعی پوشش تخصیص داده می‌شود [Barret and Curtist, 1992; Lillesand et al, 2000].

روش‌های طبقه‌بندی را بر این اساس که آیا از اطلاعات غیرتصویری نیز برای آنالیز تصویر کمک می‌گیرند و یا منحصراً طبقه‌بندی را بر اساس داده‌های تصویر انجام می‌دهند، به روش‌های نظارت‌شده و نظارت نشده تقسیم می‌کنند. در حقیقت تفاوت این دو روش در این نکته است که آیا کاربر قبل از طبقه‌بندی دخالتی در این فرآیند دارد یا خیر. در صورت مثبت بودن جواب، طبقه‌بندی جزء روش‌های نظارت‌شده و در غیر این صورت، طبقه‌بندی جزء روش‌های نظارت‌نشده قرار می‌گیرد [Panda, 2005]. در ادامه جزئیات هر کدام از این روش‌ها ذکر خواهد گردید.

## ۲-۵-۱- روش طبقه‌بندی نظارت نشده

در روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده از مناطق آموزشی به عنوان مبنای طبقه‌بندی استفاده نمی‌شود. به عبارت دیگر، در این روش خوشه‌های حاصل بر اساس تشابه طیفی پیکسل‌ها ایجاد می‌شوند، بنابراین نتایج حاصله نیاز به استفاده از اطلاعات جنبی و تکمیلی برای تفسیر و شناسایی دارد. برخی معتقدند روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده برای درک بهتر و شناخت اجمالی پدیده‌ها (به ویژه قبل از عملیات صحرائی برای طبقه‌بندی نظارت‌شده) مفید خواهد بود [Barret and Curtist, 1992]. در این روش، انتخاب تعداد کلاس‌ها برای طبقه‌بندی اهمیت زیادی دارد و بدیهی است که تعیین تعداد کلاس‌های طیفی مطلوب، بستگی به شناخت مفسر از منطقه مورد مطالعه، وضعیت بازتاب‌های طیفی و تجربه او

دارد. بنابراین از این روش در حد شناخت کلی از منطقه و بازتاب‌های طیفی پدیده‌ها استفاده می‌شود و می‌تواند مبنای خوبی برای طبقه‌بندی نظارت‌شده باشد [Panda, 2005].

## ۲-۵-۲- روش طبقه‌بندی نظارت شده

به روش‌های طبقه‌بندی که علاوه بر تصاویر ورودی، نیاز به یک سری اطلاعات خارجی در مورد منطقه و کلاس‌های مورد نظر داشته و دخالت عامل انسانی در آن‌ها یک امر اجتناب‌ناپذیر است، طبقه‌بندی نظارت‌شده گفته می‌شود. معمولاً این اطلاعات جانبی به صورت سری از پیکسل‌های معلوم برای هر کلاس است که به الگوریتم معرفی می‌شوند و الگوریتم طبقه‌بندی با استفاده از این پیکسل‌های معلوم در مورد مابقی پیکسل‌های تصویر تصمیم‌گیری می‌کند. پیکسل‌های معلوم به آن دسته از پیکسل‌هایی گفته می‌شود که منتسب به یک کلاس مشخص در منطقه هستند. این دسته از پیکسل‌ها از طریق بازدید زمینی، نقشه‌های موجود و یا دیگر مدارک و اطلاعات درباره منطقه تعیین می‌شوند و در مرحله‌ای به نام مرحله تمرینی توسط عامل به نرم‌افزار معرفی می‌شوند [Barret and Panda, 2005; Lillesand et al, 2000; Curtist, 1992].

از میان روش‌هایی که در طبقه‌بندی نظارت شده مورد استفاده قرار می‌گیرند می‌توان به روش‌های کمترین فاصله، بیشترین شباهت، شبکه عصبی و ... اشاره نمود که دارای نقاط ضعف و قوت خاصی هستند. با توجه به اینکه ماشین برداری پشتیبان یک روش جدید هوش مصنوعی بوده و در مقایسه با سایر روش‌ها (شبکه عصبی، فازی) در طبقه‌بندی داده‌ها بهتر عمل می‌کند، در مطالعه حاضر از این روش در پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. در فصل بعد برخی از روش‌های کلاس‌بندی داده‌های اکتشافی که عموماً در سنجش از دور مورد استفاده قرار می‌گیرند در کنار ماشین برداری پشتیبان به طور کامل تشریح و مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

## ۲-۶- پس پردازش‌های طبقه‌بندی

معمولاً نتایج طبقه‌بندی به طور خام نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد و نیاز به پردازش‌هایی به منظور آماده‌سازی این داده‌ها برای اهداف بعدی و نزدیک شدن به شکل نهایی دلخواه دارند. یکی از اعمالی که معمولاً پس از طبقه‌بندی انجام می‌شود، ترکیب کلاس‌های مختلف و تولید یک نقشه جدید است. عملیاتی نظیر انتخاب‌ها، برداری نمودن، ترکیب با اطلاعات و داده‌های دیگر، مقیاس‌گذاری، تعیین و تغییر سیستم مختصات، درج اطلاعات جانبی و... را می‌توان از جمله عملیات پس‌پردازش طبقه‌بندی عنوان کرد [Landgrebe, 2003; Barret and Curtist, 1992].

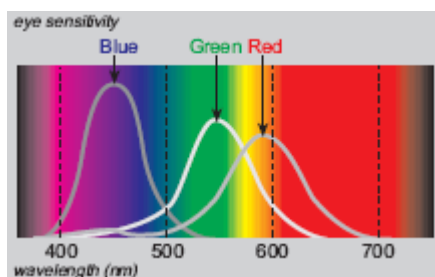
## ۲-۷- ترکیبات و تبدیل فضاهای رنگی

فضاهای رنگی برای تعریف چگونگی نمایش تصاویر چندباندی و فهم داده‌های تصویری استفاده می‌شوند. از دیگر کاربردهای مهم فضاهای رنگی می‌توان به انجام تبدیلات و تغییرات تصویری اشاره کرد. تصاویر رنگی موجب وضوح بهتر پدیده و تفسیر راحت‌تر آن‌ها می‌شود [علوی پناه، ۱۳۸۲].

### ۲-۷-۱- سیستم رنگی RGB<sup>۱</sup>

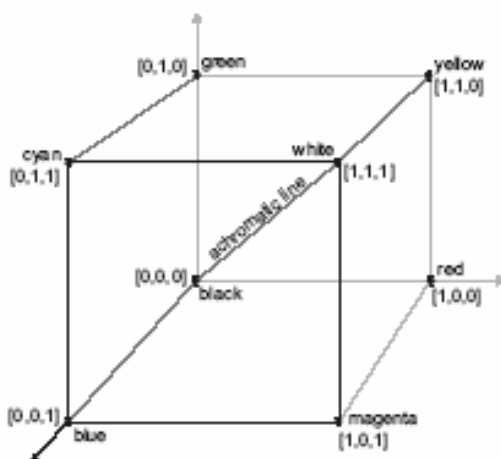
سیستم رنگی از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی برای تولید تمامی رنگ‌ها استفاده می‌کند. در واقع، هر رنگ با مشخص شدن این سه مؤلفه تعیین می‌شود و قابل تولید است [علوی پناه، ۱۳۸۲]. شکل ۱-۲ منحنی‌های حساسیت چشم به رنگ‌های مختلف را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> -Red, Green, Blue (RGB)



شکل ۲-۱: منحنی‌های حساسیت چشم به رنگ‌های مختلف [علوی پناه، ۱۳۸۲]

اگر این سیستم به صورت سه بعدی (مکعب) در نظر گرفته شود، در مبدا  $(0,0,0)$  رنگ سیاه قرار دارد و به تدریج با اضافه شدن مقادیر در سه محور رنگ‌های دیگر تولید می‌شوند به طوری که در گوشه مقابل مبدا در جایی که حداکثر اعداد ممکن برای سه رنگ اصلی قابل تولید هستند، رنگ سفید قرار دارد [Lillesand et al, 2000]. شکل ۲-۲ مکعب فضای رنگ سه بعدی RGB را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: مکعب فضای رنگ سه بعدی RGB [Lillesand et al, 2000]

قطری از این مکعب که سیاه را به سفید متصل می‌کند، خط درجات خاکستری نامیده می‌شود که در روی آن هر سه مولفه قرمز، سبز و آبی برای هر نقطه مقادیر یکسانی دارند. از آنجا که با اضافه شدن مقدار در سطح سه محور اصلی، رنگ‌های مختلف تولید می‌شوند، به سیستم رنگی RGB، سیستم تجمعی نیز گفته می‌شود. اگر هر یک از باندها به تفنگ‌های الکترونیکی هم نام خود مرتبط گردد یک



ترکیب رنگی حقیقی ( $TCC^1$ ) به دست می‌آید. مثلاً RGB: ۱۲۳ تصویر TM یک ترکیب رنگی حقیقی است. یکی دیگر از معمول‌ترین ترکیب‌های مورد استفاده ترکیب رنگی کاذب ( $FCC^2$ ) است که در آن از باندهای غیرمرئی نیز استفاده می‌شود. یک ترکیب رنگی کاذب استاندارد به صورت RGB:NIR,R,G می‌باشد. انتخاب ترکیب باندی به روش‌های مختلف صورت می‌گیرد که در زیر به شرح بعضی از این روش‌ها پرداخته شده است [Lillesand et al, 2000].

الف- روش مقایسه چشمی تصاویر حاصله از ترکیب‌های مختلف که معمولاً بسیار مشکل و وقت‌گیر است.

ب- استفاده از معیارهای آماری تصاویر مورد استفاده در ساخت تصاویر رنگی که در آن ضرایب همبستگی به صورت دو به دو برای باندهای مختلف محاسبه شده و ماتریس همبستگی به صورت جدولی نوشته می‌شود. در ماتریس همبستگی، باندهایی که روند مخالفی در نمایش سازندهای منطقه دارند، مشخص می‌شوند. یعنی باندهایی که ضریب همبستگی پایینی دارند را می‌توان در ساخت تصاویر رنگی و نسبت‌های مختلف باندی جهت بارزسازی تصویر استفاده نمود.

ج- از جمله روش‌های انتخاب ترکیب باندی، روش فاکتور شاخص بهینه<sup>۳</sup> (OIF) می‌باشد که رابطه آن به صورت رابطه (۱-۲) می‌باشد.

$$OIF = \frac{\sum_1^3 S_k}{\sum_1^3 Abs(r_j)} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

که در آن:

$S_k$ : مجموع انحراف معیار برای سه باند انتخابی

$Abs(r_j)$ : مجموع قدرمطلق ضریب همبستگی بین دو باند از ترکیب سه باند

<sup>1</sup> - True Color Composite (TCC)

<sup>2</sup> - False Color Composite (FCC)

<sup>3</sup> - Optimum Index Factor (OIF)

هر چه شاخص OIF بیشتر باشد، ترکیبات کاذب رنگی ایجاد شده توسط باندهای در نظر گرفته شده، برای تفکیک مناسب‌تر خواهند بود.

د- روش دیگری که می‌توان برای ایجاد باندهای سه گانه ترکیب رنگی کاذب جهت مشخص نمودن پدیده‌های طیفی خاص به کار برد، استفاده از مولفه‌های اصلی تصویر (PCA) است [Lillesand et al, 2000; Landgrebe, 2003].

## ۲-۸- تقسیمات باندی و نسبت گیری طیفی

تقسیم مقادیر درجه روشنایی یک باند طیفی به باند طیفی قابل انطباق دیگر را نسبت‌گیری طیفی گویند. نسبت‌گیری طیفی برای متمایز ساختن تغییراتی که توسط تغییرات روشنایی در تک باندها ممکن نیست، به کار می‌رود. علت اینکه با این عمل می‌توان بسیاری از پدیده‌هایی را که در حالت تک‌باندی قابل تفکیک نیستند، متمایز ساخت، این است که نسبت‌گیری، تغییرات شیب منحنی بازتاب طیفی بین دو باند را به تصویر می‌کشد. این شیب‌های منحنی بسته به وضعیت منطقه و باندهای مختلف، متفاوت هستند. مهمترین مزیت نسبت‌گیری، ایجاد تصاویر کاملاً مستقل از شرایط درجات روشنایی است و بدین ترتیب تصویر نسبت‌گیری به طور معنی‌داری آثار پستی و بلندی را کاهش می‌دهد [Richards and Jia, 1998; Liu and Mason, 2009].

## ۲-۹- تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی

تبدیل مؤلفه اصلی، ابزار با ارزشی جهت تولید مجموعه‌ای از تصاویر ناهمبسته از مجموعه داده‌هایی است که در ابتدا همبستگی بالایی دارند. وابستگی باندها باعث ازدیاد اطلاعات وابسته، بالا رفتن زمان پردازش و پایین آمدن دقت پردازش می‌شود [Mackiewicz and Ratajczak, 1993; Singh and Harrison, 1985]. در انجام تبدیل مؤلفه‌های اصلی، تلاش برای ایجاد دسته داده جدیدی است که در

آن همبستگی میان داده‌ها حداقل باشد و یا به عبارت دیگر ماتریس کواریانس داده‌های جدید قطری باشد [Gonzalez and Woods, 2002; Singh and Eklundh, 1993]. هدف از آنالیز مؤلفه‌های اصلی تعیین ضرایب شاخص موقعیت محورهایی است که دلالت بر وجود حداکثر تغییرپذیری دارند و فاقد همبستگی می‌باشند. با استفاده از این روش، چرخش در جهت محور مختصات به وجود می‌آید و محورهای جدید در جهتی که بیشترین واریانس ارزش‌های طیفی وجود دارد، ایجاد می‌شوند [Hall, 1992; Hall, 1997; Li et al, 1995; Peli et al, 1999; Richards and Jia, 1998].

## ۲-۱۰- تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل

علاوه بر کاربردهای گسترده‌ای که تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی داشته است، فعالیت‌های اخیر در پردازش سیگنال منجر به ارائه روشی جدید در جداسازی سیگنال از نویز با نام تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل<sup>۱</sup> (ICA) شده است. بر خلاف تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی، روش مولفه‌های مستقل هم می‌تواند وابستگی سیگنال‌های ورودی را مشخص نماید و هم وابستگی آماری مرتبه بالا را کاهش دهد. فرضیه ما، استفاده از این روش در آنالیز تصاویر چند طیفی است، جنبه‌ای که بتواند ویژگی طیفی منابع را استخراج نماید. درستی این مطلب که آیا الگوریتم ICA می‌تواند در تصاویر ماهواره‌ای و علم سنجش از دور به کارگرفته شود به اثبات نرسیده است زیرا این روش بر تعیین توابع بهینه غیرخطی که سیگنال‌های اصلی را جداسازی می‌کنند، استوار است [Hyvärinen, 1999a]; [Lee, 1998].

<sup>۱</sup> - Independent Component Analysis (ICA)

## ۲-۱۰-۱- بررسی عملکرد تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل در مقایسه با تجزیه مولفه‌های اصلی

آنالیز مولفه‌های مستقل می‌تواند روی تصاویر چند طیفی و فراطیفی جهت تبدیل مجموعه سیگنال‌های موجود به ترکیباتی مستقل، به کار گرفته شود. تبدیل ICA تکنیکی است که برای جداسازی سیگنال‌های کوری که ترکیبشان ناشناخته است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تبدیل بر فرضیات غیرگوسی ترکیبات مستقل استوار است و از آمار مرتبه بالا جهت آشکارسازی ویژگی‌ها و ساختارهای تصویر استفاده می‌نماید. تبدیل مولفه‌های مستقل حتی می‌تواند ویژگی‌های مورد نظری که تنها بخش کوچکی از پیکسل تصویر را می‌سازند، شناسایی نماید. با در نظر گرفتن مطالعات انجام شده، می‌توان کاربردهایی مانند کاهش بعد، استخراج ویژگی‌های تصویر، تعیین آنومالی‌ها، جداسازی ساختارها، طبقه‌بندی، کاهش نویز و تهیه نقشه را برای تجزیه مولفه‌های مستقل در سنجش از دور متصور بود [Hyvärinen, 1999a]. در مقایسه با PCA، آنالیز مولفه‌های مستقل دارای مزیت‌های بی‌ظنیری است که برخی از آن‌ها در ادامه شرح داده شده است.

- آنالیز PC از تجزیه و تحلیل متعامد<sup>۱</sup> استفاده می‌کند. این فرآیند بر آنالیز ماتریس کواریانس تکیه دارد که دارای فرضیات گوسی است. این در حالی است که آنالیز IC بر اساس فرضیات غیرگوسی ترکیبات مستقل عمل می‌کند.

- آنالیز PC تنها از آمار مرتبه دوم استفاده می‌کند اما آنالیز مولفه‌های مستقل از آمار مرتبه بالا استفاده می‌کند. آمار مرتبه بالا، فرضیه بسیار قوی آماری است که قادر به آشکارسازی ویژگی‌های داده‌ها می‌باشد.

- اگر ساختار مورد نظر (آنومالی) تنها بخش کوچکی از تمام پیکسل را اشغال نماید، ماتریس کواریانس، آن را ساختاری بی‌اهمیت تلقی خواهد کرد. این در حالی است که آنالیز IC، می‌تواند این

<sup>۱</sup> - Orthogonal

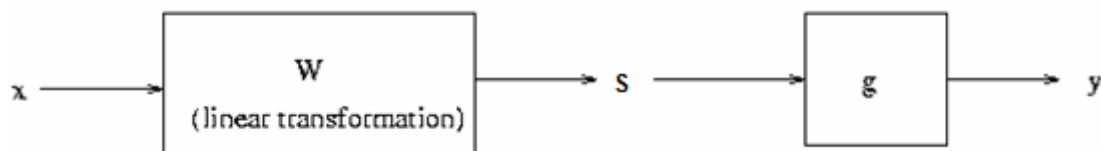
ساختارها را از باندهای دارای نویز تشخیص داده و معرفی نماید [Lee, 1998; Hyvärinen and Oja, 2000].

## ۲-۱۰-۲- الگوریتم تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل

آنالیز مولفه‌های مستقل بردار تصادفی  $x$ ، فرآیندی است که هدف آن شناسایی تبدیل خطی  $S=Wx$  است که در آن  $W$  تبدیل خطی (ماتریس وزن) و  $S$  سیگنال اصلی یا منبع است که از  $S_i$  مولفه مستقل تشکیل شده است. معادله اساسی این الگوریتم تلاش می‌کند تا تابع  $F(S_1, \dots, S_m)$  (وسیله‌ای جهت اندازه‌گیری استقلال مولفه‌ها) را بیشینه سازد. در این الگوریتم مولفه‌های فردی  $S_i$  مستقل خواهند بود اگر و تنها اگر توابع توزیع در نظر گرفته شده برای آن‌ها قابلیت فاکتورگیری را داشته باشد و بتواند به صورت معادله ۲-۲ بیان گردد [Hyvärinen and Oja, 2000].

$$f_s(s) = \prod_{s_i} f_{s_i}(s_i) \quad (2-2)$$

یکی از قابلیت‌های این روش کمینه‌سازی اطلاعات متقابلی<sup>۱</sup> است که آنتروپی تابع  $H[g(s)]$  را ماکزیمم خواهد ساخت. فرآیند بیان شده از طریق گرادیان صعودی تصادفی<sup>۳</sup> صورت می‌پذیرد که به آن اینفوفاکس<sup>۴</sup> نیز گفته می‌شود. تمامی شرایط بیان شده زمانی می‌تواند به خوبی انجام گیرد که تابع غیرخطی  $g$  تابع تجمعی چگالی مولفه‌های مستقل  $S_i$  باشد، زیرا در این صورت است که تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل می‌تواند تا اطلاعات متقابل را کمینه نماید. روش ارجاع داده‌ها به فضای بالاتر که توسط الگوریتم مولفه‌های مستقل انجام می‌شود، در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: نحوه ارجاع داده‌ها به فضای بالاتر توسط الگوریتم ICA [Hyvarinen, 1999b]

<sup>۱</sup> -Mutual Information

<sup>۲</sup> - Entropy

<sup>۳</sup> - Stochastic gradient ascent method

<sup>۴</sup> - Infomax

توجه به این نکته ضروری است که تابع غیرخطی  $g$  بدون شناخت تابع چگالی تجمعی مولفه‌های مستقل انتخاب می‌شود. البته انجام چنین کاری باعث خواهد شد تا در برخی از موارد الگوریتم راه حل مناسبی را ارائه ننماید. بر اساس مطالعات انجام شده، محاسبه مولفه‌های مستقل که بر پایه تغییرات وزن استوار است به صورت معادله (۳-۲) بیان می‌شود [Hyvarinen, 1999b].

$$\Delta W \propto \frac{\partial H(y)}{\partial W} = E \left[ \frac{\partial \ln |J|}{\partial W} \right] \quad (3-2)$$

در این معادله  $E$  مقدار انتظار داشته،  $y = [g(s_1) \dots g(s_n)]^T$  و  $|J|$  مقدار واقعی تعیین شده از ماتریس ژاکوبینی است که تلاش می‌کند تا بردار  $x$  را به فضای  $y$  ببرد. با استفاده از فرمول (۳-۲) می‌توان نشان داد که  $\Delta W$  (تغییرات وزن) را می‌توان از طریق معادله (۴-۲) محاسبه نمود.

$$\Delta W = (W^T)^{-1} + \left( \frac{\frac{\partial g(s)}{\partial s}}{g(s)} \right) x^T \quad (4-2)$$

معادله (۴-۲) دارای ماتریس معکوس است، بنابراین فرمول مناسب جهت محاسبه تغییرات وزن مطابق با گرادینان افت تنها شامل ماتریس ساده‌ای خواهد بود که به صورت رابطه (۵-۲) بیان می‌شود [Chen and Zhang, 1999].

$$\Delta W \propto \frac{\partial H(y)}{\partial W} W^T W = \left( (W^T)^{-1} + \left( \frac{\frac{\partial g(s)}{\partial s}}{g(s)} \right) x^T \right) W^T W = W + \left( \frac{\frac{\partial g(s)}{\partial s}}{g(s)} \right) s^T W \quad (5-2)$$

### ۲-۱۰-۳- کاربرد الگوریتم ICA در انتخاب باندها

زمانی که الگوریتم مولفه‌های مستقل برای کاهش بعد تصاویر چند طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرد، تعداد سیگنال‌های مشاهده‌ای  $n$ ، ابعاد اصلی تصویر را تشکیل می‌دهند و سیگنال مشاهده‌ای  $X$ ، به عنوان پروفیل طیفی تمام پیکسل‌های تصاویر چند طیفی مورد نظر قرار می‌گیرد.

سیگنال  $S$  نیز در فضای بعدی پایین تر مطابق با مواد حاضر<sup>۱</sup> در تصویر چند طیفی قرار می گیرد که در آن هر مولفه مستقل  $S_i$  به یک ماده تعلق دارد. زمانی که تعداد مواد حاضر  $m$  ناشناخته باشد، تبدیل تصاویر چندطیفی از سیگنال  $S$  انجام نخواهد شد. در چنین شرایطی به جای  $m$ ، ماتریس وزن  $W$  مورد ارزیابی قرار می گیرد تا مشخص گردد که هر باند به چه میزان در تبدیل مولفه های مستقل شرکت می کند. فرض می شود که تعداد مواد در تصاویر چند طیفی  $m$  باشد، ماتریس وزن مطابق با این مواد  $W_{m \times n}$  خواهد بود که می تواند با استفاده از الگوریتم مولفه های مستقل به دست آید. سیگنال  $S$  نیز از طریق پیکسل های مشاهده ای  $X$  و ماتریس وزن  $W$  به دست خواهد آمد. این قاعده در شکل ۴-۲ نشان داده شده است [Hyvarinen, 1999b].

$$\begin{bmatrix} S_{11} & \dots & S_{1p} \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & S_{ik} & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ S_{m1} & \dots & S_{mp} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_{11} & \dots & W_{1n} \\ \dots & \dots & \dots \\ W_{i1} & \dots & W_{in} \\ \dots & \dots & \dots \\ W_{m1} & \dots & W_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{11} & \dots & X_{1k} & \dots & X_{1p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & X_{jk} & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ X_{n1} & \dots & X_{nk} & \dots & X_{np} \end{bmatrix}$$

شکل ۴-۲: قاعده اصلی تجزیه مولفه های مستقل

در این شکل،  $W_{ij}$  تعداد پیکسل ها در تصویر چند طیفی است و  $k^{\text{th}}$  عنصر  $S_{ik}$  مولفه های مستقل  $S_i$  با استفاده از معادله (۴-۲) محاسبه خواهد شد.

$$S_{ik} = \sum_{j=1}^n W_{ij} X_{jk} \quad i=1 \dots m \quad (4-2)$$

در این معادله،  $W_{ij}$  وزن  $j^{\text{th}}$  باند را با توجه به مولفه  $S_i$  معرفی می کند. به عبارتی دیگر،  $W_{ij}$  مشخص می کند که اطلاعات  $j^{\text{th}}$  باند چقدر با مواد  $i^{\text{th}}$  مرتبط است. بنابراین، اهمیت هر باند طیفی می تواند توسط محاسبه مقدار متوسط ضریب وزنی  $\bar{w}_i$  که در معادله (۷-۲) نشان داده شده است، تخمین زده شود.

$$\bar{w}_j = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m |W_{ij}| \quad j=1 \dots n \quad (7-2)$$

<sup>۱</sup> - Present Materials

با محاسبه مقدار دقیق ضریب وزنی برای تمام باندهای طیفی، مربع وزنی باند می‌تواند از طریق معادله (۸-۲) محاسبه می‌شود.

$$[\bar{w}_1, \dots, \bar{w}_j, \dots, \bar{w}_n] \quad (8-2)$$

در این رابطه  $\bar{w}_1 \geq \dots \geq \bar{w}_j \geq \dots \geq \bar{w}_n$  است. در این تناوب، باندهایی با بالاترین ضریب وزنی در تبدیل ICA شرکت داده می‌شوند. این بدان معنی است که این باندها حاوی اطلاعات طیفی بیشتری از دیگر باندها هستند و می‌توانند برای انتخاب باندها استفاده گردند. به این باندها در الگوریتم مولفه‌های مستقل، باندهای مستقل گفته می‌شود. مجموعه باندهای مستقل انتخاب شده، زیر مجموعه‌ای از باندهای طیفی اصلی هستند و ویژگی‌های پروفیل طیفی اصلی را بدون تغییر در خصوصیات فیزیکی آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌دهند. از این باندهای انتخابی، تصویر طیفی جدیدی با ابعاد کوچکتر ایجاد خواهد شد که می‌تواند برای کاهش بعد مورد استفاده قرار گیرد [Bell and Sejnowski, 1999].

در ادامه، نظر به اینکه در کلیه مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای از نرم‌افزار ENVI [Remote sensing and Image processing ENVI software, 2008] استفاده شده است لذا در انتهای این فصل مختصری در مورد نرم‌افزار ENVI ذکر می‌گردد.

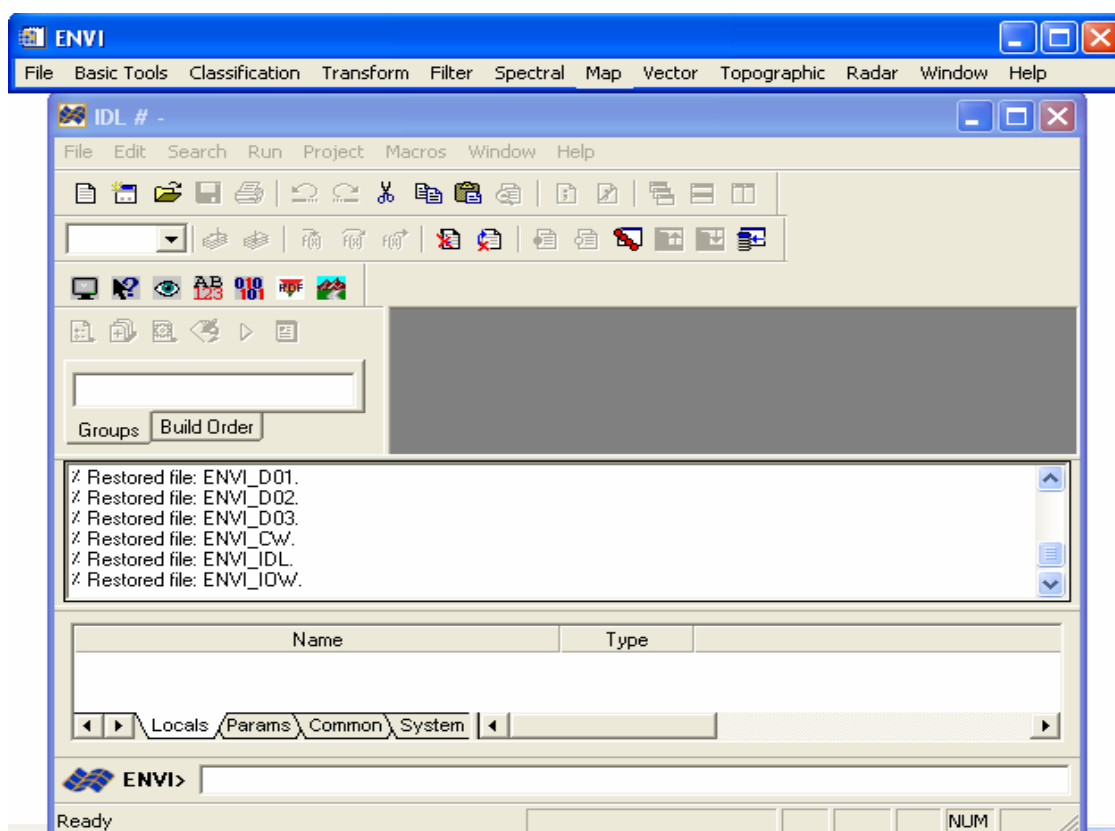
## ۲-۱۱- مختصری در مورد نرم‌افزار ENVI

نرم‌افزار ENVI<sup>۱</sup> محصول شرکت RSI<sup>۲</sup> است. این نرم‌افزار داده‌ها را در سطح وسیعی پردازش می‌کند و تصاویر با هر اندازه و نوعی را می‌تواند مورد آنالیز قرار دهد. نرم‌افزار مذکور را تقریباً می‌توان بر روی تمامی سیستم‌های عامل متداول نصب نمود و از این جنبه می‌توان گفت که کمترین محدودیت ممکن را برخلاف بسیاری از نرم‌افزارهای دیگر تحمیل می‌کند. یکی از جنبه‌های قوی این نرم‌افزار

1 The environment for Visualizing Images  
2 Research Systems, Inc



قابلیت نمایش آن است که علاوه بر سرعت بالا از امکانات جانبی بسیاری نیز برخوردار است. انواع نمایش‌های سه بعدی و دو بعدی تصاویر، داده‌های رستری مختلف نظیر DEM و داده‌های برداری در فرمت‌های گوناگون از جمله این امکانات است. این نرم‌افزار با استفاده از زبان برنامه‌نویسی IDL نوشته شده است و برای اجرا نیاز به این محیط دارد. البته در هنگام نصب، نرم‌افزار IDL نیز نصب می‌شود. IDL یک زبان بسیار قوی برنامه‌نویسی با گرایش ماتریسی و پردازش تصاویر است که در کنار ENVI طیف وسیعی از توابع را در اختیار قرار می‌دهد تا بسیاری از الگوریتم‌ها به صورت خودکار اجرا شود. با کلیک بر آیکون مربوط به نرم‌افزار، ENVI اجرا می‌شود و پس از آن دو محیط جداگانه ENVI و IDL باز می‌شوند. دسترسی به توابع و عملکردهای این نرم‌افزار از طریق منوهایی است که در قالب ۱۲ عنوان جداگانه در نرم‌افزار قرار دارند. شکل ۲-۵ منوهای اصلی نرم‌افزار مذکور را به همراه محیط IDL نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵: نرم‌افزار ENVI و منوهای آن به همراه محیط IDL

# فصل سوم

روش‌های طبقه‌بندی داده‌های اکتشافی با  
نگرش ویژه بر ماشین برداری پشتیبان

### ۳-۱- مقدمه

طبقه‌بندی را می‌توان به صورت ساده، قرار دادن داده‌ای مانند  $X$  در کلاس مربوط به خود تعریف نمود. چنین فرآیندی به دو صورت نظارت شده و نظارت نشده صورت می‌پذیرد که در اکثر موارد طبقه‌بندی نظارت شده بر غیر نظارت شده ارجحیت دارد [Duda et al, 2002]. همان‌گونه که بیان گردید، الگوریتم‌های متفاوتی در فرآیند طبقه‌بندی داده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند که دارای نقاط قدرت و ضعف خاصی می‌باشند. در همین راستا، در ادامه برخی از این روش‌های طبقه‌بندی مانند الگوریتم کمترین فاصله، بیشترین شباهت و شبکه عصبی که عموماً در علم سنجش از دور نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، شرح داده خواهند شد. در نهایت نیز اصول و مبانی ماشین برداری پشتیبان که تا حدود زیادی توانسته ضعف‌های موجود در سایر الگوریتم‌ها را پوشش دهد به طور کامل مورد بحث قرار خواهد گرفت.

### ۳-۲- الگوریتم بیشترین شباهت

الگوریتم بیشترین شباهت یکی از الگوریتم‌هایی است که در شناسایی الگو و سیستم‌های طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادله اساسی این الگوریتم که از تابع توزیع نرمال (گوسی) پیروی می‌کند، سعی بر آن دارد تا شباهت تابع توزیع در نظر گرفته شده برای یک پارامتر را به تابع توزیع واقعی آن حداکثر سازد. در واقع وقتی پارامتری به صورت تابع برای محاسبه احتمال رخداد  $p(x | C_k)$  در نظر گرفته می‌شود، الگوریتم بیشترین شباهت شرایطی را فراهم می‌آورد تا با استفاده از تابع احتمال پسین  $p(C_k)$ ، مقدار پارامتر تعریف شده تعیین گردد. البته انجام چنین کاری نیاز به مجموعه‌ای از داده‌های مشاهده‌ای با ماهیت مشخص دارد.

جهت سادگی درک مسئله می‌توان شرایط طبقه‌بندی دو کلاس از داده‌ها را در نظر گرفت که هر دو کلاس از تابع توزیع نرمال با ماتریس کواریانس مشترک برخوردار هستند. علاوه بر این، فرض می‌شود

که مجموعه‌ای از داده‌ها  $\{x_n, t_n\}$  وجود دارند که در آن‌ها  $n = 1, 2, 3, \dots, N$ . در این دو مجموعه،  $t_n$  کلاس  $C_1$  و  $t_n = 0$  کلاس  $C_2$  را مشخص می‌سازد. مطالعات انجام شده بر روی این دو کلاس مشخص ساخته که احتمال پسین  $p(C_1)$  برای کلاس  $C_1$  برابر  $\pi$  و احتمال پسین  $p(C_2)$  برای کلاس  $C_2$  برابر  $1 - \pi$  می‌باشد. در این حالت برای داده‌ای مانند  $x_n$  از کلاس  $C_1$  که با  $t_n=1$  مشخص می‌شود، می‌توان احتمال پسین را به صورت رابطه ۱-۳ بیان نمود [Bishop, 2006].

$$p(C_1 | x_n) = p(C_1) p(x_n | C_1) = \pi N(x_n | \mu_1, \Sigma) \quad (1-3)$$

به صورت مشابه برای کلاس  $C_2$  نیز رابطه ۲-۳ برقرار است.

$$p(C_2 | x_n) = p(C_2) p(x_n | C_2) = (1 - \pi) N(x_n | \mu_2, \Sigma) \quad (2-3)$$

که در این روابط پارامترهای  $\mu$  و  $\Sigma$  به ترتیب بیان کننده میانگین و ماتریس کواریانس داده‌ها می‌باشند. در نتیجه تابع مشابهت این دو کلاس به صورت رابطه ۳-۳ بیان می‌شود.

$$p(t | \pi, \mu_1, \mu_2, \Sigma) = \prod_{n=1}^N [\pi N(x_n | \mu_1, \Sigma)]^{t_n} [(1 - \pi) N(x_n | \mu_2, \Sigma)]^{1-t_n} \quad (3-3)$$

هدف الگوریتم بیشترین شباهت، بیشینه نمودن لگاریتم تابع مشابهت بیان شده است که از طریق محاسبه مقادیر پارامترهای غیرقطعی  $\mu_1, \mu_2, \pi$  و  $\Sigma$  و بیشینه‌سازی معادله اساسی بیان شده، امکان پذیر می‌شود. به عنوان مثال، ترم تعریف شده برای  $\mu_1$  با در نظر گرفتن معادله اساسی بیان شده به صورت  $\mu_1 = \frac{1}{N_1} \sum_{n=1}^N t_n x_n$  محاسبه می‌گردد که با قرار دادن مقدار به دست آمده برای این پارامتر در تابع مشابهت ارائه شده، احتمال محاسبه شده برای خروجی الگوریتم بسیار نزدیک به خروجی مطلوب خواهد بود.

باید توجه داشت که تمامی شرایط بیان شده برای محاسبه پارامترهای غیرقطعی در مدل بیان شده برای طبقه‌بندی داده‌های چند کلاس نیز برقرار است، البته در شرایطی که پارامترهای غیرقطعی از تابع توزیع گوسی (نرمال) پیروی کنند و دارای ماتریس کواریانس مشترک باشند.

با توجه به شرایط بیان شده، ضعف عمده الگوریتم بیشترین شباهت را می‌توان تکیه داشتن بر تابع توزیع گوسی دانست زیرا این تابع در مواجهه با خطا و نویز موجود در داده‌ها تابعی با راندمان عملیاتی بالا به حساب نمی‌آید [Theodoridis and Koutroumbas, 2006].

### ۳-۲-۱- الگوریتم بیشترین شباهت در سنجش از دور

الگوریتم بیشترین شباهت در طبقه‌بندی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای فرض می‌کند که تمامی کلاس‌های هر باند از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. این الگوریتم احتمال تعلق هر پیکسل به یک کلاس خاص را با این پیش فرض محاسبه می‌کند، مگر اینکه تابع آستانه‌ای برای این الگوریتم تعریف شود. در این صورت، پیکسل در کلاسی قرار داده می‌شود که دارای بالاترین احتمال ممکن باشد. این در حالی است که اگر بالاترین احتمال کوچکتر از حد آستانه تعریف شده باشد، پیکسل مورد نظر بدون طبقه‌بندی باقی خواهد ماند. معادله اساسی الگوریتم بیشترین شباهت در سیستم سنجش از دور به صورت رابطه (۳-۴) خواهد بود [Richards and Jia, 1998; Gonzalez and Woods, 2002].

$$g(x) = \ln p(w_i) + \frac{1}{2} \ln \left| \sum_i \right| + \frac{1}{2} (x - m_i)^t \sum_i^{-1} (x - m_i) \quad (۳-۴)$$

که در این رابطه

$i$  = نماینده تعداد کلاس‌ها

$X$  = داده‌هایی با بعد  $n$  ( $n$  = تعداد باندها)

$p(w_i)$  = احتمال اینکه کلاس  $w_i$  رخ دهد

$\left| \sum_i \right|$  = دترمینان ماتریس کواریانس

$\sum_i^{-1}$  = معکوس ماتریس کواریانس

$m_i$  = بردار میانگین می‌باشند

### ۳-۳ - الگوریتم کمترین فاصله

در این الگوریتم نیز مانند الگوریتم بیشترین شباهت، فرض می‌شود که کلاس‌های مورد نظر دارای احتمال شناخته شده بوده، از تابع گوسی پیروی می‌کنند و دارای ماتریس کواریانس مشابه می‌باشند. در این حالت، معادله اساسی الگوریتم کمترین فاصله به صورت رابطه (۵-۳) بیان می‌شود [Duda et al, 2002].

$$g(x) = -\frac{1}{2}(x - \mu_i)^T \Sigma^{-1}(x - \mu_i) \quad (۵-۳)$$

که در این رابطه  $\mu$  میانگین داده‌ها و  $\Sigma$  ماتریس کواریانس داده‌ها خواهد بود. در این شرایط اگر ماتریس کواریانس برابر حاصل ضرب واریانس در ماتریس قطری باشد، آن‌گاه بیشینه مقدار  $g(x)$  از طریق کمینه مقدار فاصله اقلیدسی به دست می‌آید که به صورت رابطه (۶-۳) بیان می‌شود.

$$\text{Euclidean Distance: } D = \|x - \mu_i\| \quad (۶-۳)$$

در این شرایط بردار ویژگی  $x$  مطابق با فاصله‌اش از مقدار میانگین در کلاس مناسب خود قرار داده می‌شود.

اما اگر ماتریس کواریانس، ماتریسی غیرقطری باشد، ترم بیشینه سازی  $g(x)$  برابر با کمینه سازی نرم  $\Sigma^{-1}$  خواهد بود که با عنوان فاصله ماهالونوبیس بیان می‌شود.

$$\text{Mahalanobis Distance: } D = \left( (x - \mu_i)^T \Sigma^{-1} (x - \mu_i) \right)^{\frac{1}{2}} \quad (۷-۳)$$

در این حالت فاصله  $d$  به صورت بیضی خواهد بود و تمامی نقاط طبقه‌بندی شده دارای فاصله ماهالونوبیس یکسان از نقطه‌ای مشخص در داخل بیضی هستند.

از میان عمده ضعف‌های الگوریتم کمترین فاصله می‌توان به ضرورت مشخص بودن تابع توزیع پارامترهای مورد نظر و پیروی آن‌ها از تابع توزیع گوسی اشاره کرد که از عملکرد بالایی در مواجهه با نویز داده‌ها برخوردار نمی‌باشد [Theodoridis and Koutroumbas, 2006].

### ۳-۱- الگوریتم کمترین فاصله در سنجش از دور

روش کمترین فاصله در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور از بردار میانگین هر نمونه آموزشی استفاده می‌کند و فاصله اقلیدسی تمامی پیکسل‌های ناشناخته را تا بردار میانگین هر کلاس محاسبه می‌نماید. در این حالت، تمامی پیکسل‌ها در نزدیکترین کلاس خود طبقه‌بندی می‌شوند مگر اینکه انحراف استاندارد برای طبقه‌بندی مشخص شود که در این صورت ممکن است برخی از پیکسل‌ها به دلیل عدم رسیدن به معیار مورد نظر طبقه‌بندی نگردند [Richards and Jia, 1998; Gonzalez and Woods, 2002].

### ۳-۴- شبکه عصبی

شبکه عصبی روش محاسباتی است که بر اساس اتصال به هم پیوسته چندین واحد پردازشگر (نرون) عمل می‌کند. این شبکه از تعداد مشخصی نرون تشکیل شده که ورودی را به خروجی مرتبط می‌سازند. این شبکه توانایی یادگیری توابع مختلفی مانند توابع حقیقی، برداری یا گسسته را داراست. شبکه عصبی را می‌توان ماشینی برای ساخت مدلی دانست که از قطعات الکترونیکی ساخته شده یا از طریق نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است. از این شبکه‌ها برای حل مسائلی استفاده می‌شود که فرمول حل آن‌ها ناشناخته است و مدل علت و معلولی برای آن‌ها وجود ندارد. از آنجا که این شبکه مانند شبکه عصبی مغز انسان از اجزا به هم مرتبط تشکیل شده است، به آن شبکه عصبی گفته می‌شود. هدف اصلی از به‌کارگیری شبکه عصبی، ارائه الگو برای داده‌هایی است که نمی‌توان برای آن‌ها تابع مشخصی را تعریف نمود [Duda et al, 2002; Theodoridis and Kourtombas, 2010]. از میان مشکلات این شبکه می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- نیاز به تعیین پارامترهای مختلف جهت دستیابی به کمترین خطای ممکن

یکی از مشکلات عمده استفاده از شبکه‌های عصبی، نیاز این شبکه‌ها به تعیین پارامترهای بسیاری مانند نوع شبکه، تعداد لایه‌ها، تعداد نرون‌ها و... می‌باشد که لزوم این مسئله، کار با شبکه‌های عصبی را مشکل می‌سازد.

## ۲- افتادن در نقاط کمینه محلی

این بزرگترین مشکل شبکه عصبی است که در برخی از موارد به جای یافتن نقاط بهینه جامع<sup>۱</sup>، اولین

نقطه بهینه نسبی را به عنوان بهترین جواب معرفی می‌کند [Yu Hen and Jenq-Neng, 2002]

## ۳- امکان ارائه یک جواب زودرس و نامناسب

معمولاً شبکه‌های عصبی برای هر مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی به یک جواب همگرا می‌شوند و هیچ تضمینی وجود ندارد که جواب ارائه شده، بهترین مدل برای داده‌ها باشد [Navvab Kashani and Chartiera et al, 2008 Shahhosseini, 2010].

## ۳-۵- ماشین برداری پشتیبان

### ۳-۵-۱- ابر صفحه جداساز

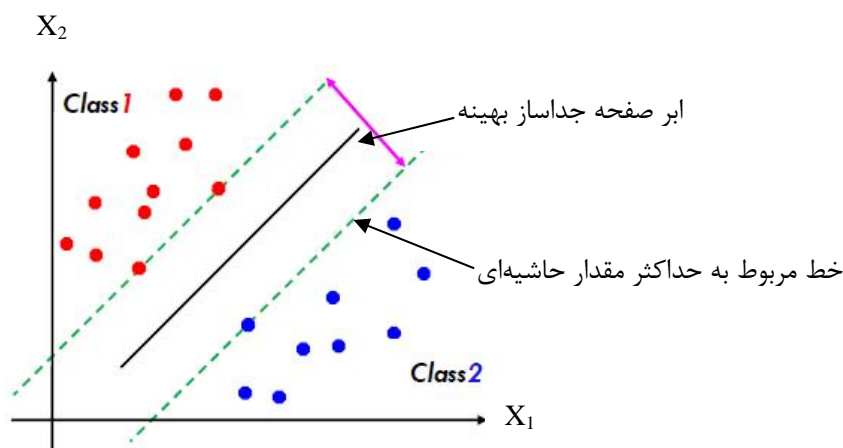
ماشین برداری پشتیبان می‌تواند به خوبی در مسائل طبقه‌بندی دو کلاسه تا چند کلاسه استفاده گردد [Martinez-Ramon, 2006] که برای سادگی درک قضیه می‌توان از مسائل طبقه‌بندی دو کلاسه استفاده نمود. هدف از این گونه مسائل ایجاد یک معیار طبقه‌بندی است که برای نمونه‌های نادیده به خوبی قابل استفاده باشد و در عین حال از قابلیت تعمیم خوبی برخوردار باشد. به عنوان مثال، شکل ۳-۱ در نظر گرفته می‌شود. همان‌گونه که مشاهده می‌شود برای داده‌های شکل ۳-۱ صفحات جداساز خطی زیادی وجود دارد که قادر به جداسازی داده‌ها می‌باشند اما تنها یکی از آن‌ها دارای حاشیه<sup>۲</sup> (فاصله بین صفحه جداساز و نزدیکترین نقاط) بیشینه خواهد بود. این طبقه‌بندی

<sup>۱</sup>- Global Optimum

<sup>۲</sup>-Margin



کننده خطی، ابر صفحه جداساز<sup>۱</sup> بهینه نامیده می‌شود که انتظار می‌رود بتواند مرز به دست آمده را به تمام محدوده‌های ممکن تعمیم دهد [Abe, 2005; Duda et al, 2002]. ابر صفحه جداساز بهینه در شکل ۱-۳ مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۳: صفحه جداساز بهینه با حداکثر مقدار حاشیه

### ۳-۵-۲- ماشین برداری پشتیبان خطی

فرض می‌شود مسئله‌ای برای جداسازی مجموعه نمونه‌های آموزشی که متعلق به دو کلاس جداگانه

$$w^T x_i + b \begin{cases} \geq 1 \\ \leq -1 \end{cases} \text{ که گونه‌ای به گونه‌ای وجود دارد}$$

$$D = \{(x', y'), \dots, (x', y')\}, x \in R^n, y \in \{-1, 1\}$$

عموما در مسائل جداسازی خطی برای برداری مانند  $x$  وزنی مانند  $w$  در نظر گرفته شود، به گونه‌ای که این وزن بتواند بردارها را به خوبی در کلاس مربوط به خود طبقه‌بندی نماید. در این حالت برای صفحه جداساز بهینه معادله (۳-۹) در نظر گرفته می‌شود.

$$w^T x + b = 0 \quad (۳-۹)$$

رابطه بین بردار  $x$  و وزنی مانند  $w$  در این حالت به صورت ضرب داخلی بیان می‌گردد. ضمناً علامت  $T$  ترانهاده ماتریس وزن را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> - Hyperplane

ابر صفحه‌ای که در این گونه از مسائل برای طبقه‌بندی داده‌ها استفاده می‌شود باید دارای دو ویژگی خاص باشد: اول اینکه دارای کمترین میزان خطای ممکن باشد و از سویی دیگر، از داده‌های هر کلاس بیشترین فاصله ممکن را داشته باشد. در این حالت اگر رابطه (۳-۹) برای صفحه جداساز در نظر گرفته شود، داده‌های آموزشی در بالا و پایین این صفحه قرار خواهند گرفت که به ترتیب برای  $y=1$ ،  $w^T x + b > 0$  و برای  $y=-1$ ،  $w^T x + b < 0$  خواهد بود [Quang-Anh et al, 2005]؛ [Sanchez, 2003]. بر اساس شرایط بیان شده، زمانی مجموعه‌ای از نقاط به صورت بهینه با یک صفحه جداسازی می‌شوند که

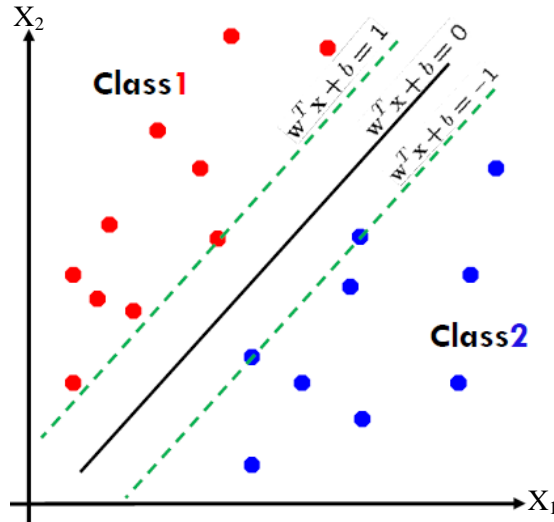
۱- بدون اشتباه در کلاس مربوط به خود قرار گرفته باشند.

۲- فاصله بین نزدیکترین نقاط هر کلاس داده تا صفحه جدا کننده بیشینه باشد.

بر این اساس، پارامترهای  $w$  و  $b$  باید به گونه‌ای محاسبه گردند که دو شرط ذکر شده برقرار باشد. جهت حل این مسئله و برای کنترل جدایی‌پذیری داده‌ها نیز رابطه (۳-۱۰) برای حاشیه بیان می‌گردد [Huang Te-Ming and Kecman, 2006].

$$w^T x + b \begin{cases} \geq 1 & \text{for } y_i = 1 \\ \leq -1 & \text{for } y_i = -1 \end{cases} \quad (۳-۱۰)$$

در شکل ۳-۲ معادلات در نظر گرفته شده برای حاشیه‌ها و صفحه جداسازی بهینه مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۲: صفحه جداساز و حاشیه‌ها

جهت معرفی صفحه جداسازی که از بیشترین حاشیه ممکن برخوردار باشد، سعی می‌شود تا فاصله بین دو حاشیه در نظر گرفته شده، بیشینه گردد. برای محاسبه فاصله این دو حاشیه و بیشینه نمودن آن از رابطه (۳-۱۱) استفاده می‌شود [Martinez-Ramon, 2006].

$$d(w, b; x) = \frac{|(w^T x + b - 1) - (w^T x + b + 1)|}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|} \quad (۳-۱۱)$$

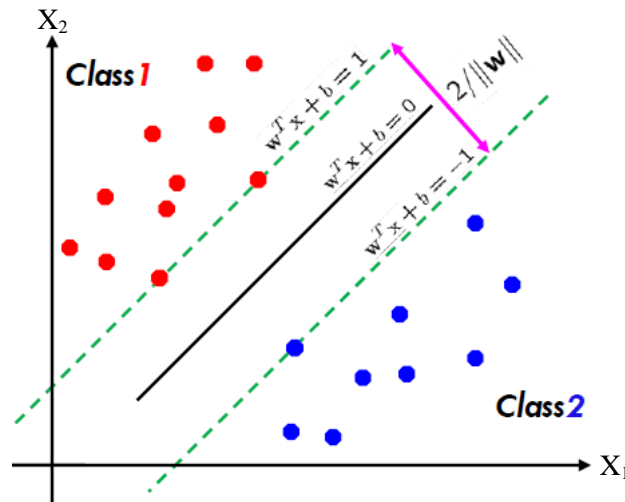
در این رابطه  $\|w\|$  نرم تابع نامیده می‌شود. بر اساس خروجی محاسبه شده از رابطه (۳-۱۱)، اگر بیشینه  $\frac{2}{\|w\|}$  گردد، حاشیه مورد نظر ماکزیمم خواهد شد. اما برای سادگی کار می‌توان مقدار به

دست آمده را معکوس نموده و آن را کمینه نمود که در این صورت به صورت  $\frac{1}{2} w^T w$  نوشته خواهد شد. بر اساس شرایط بیان شده در حالت کلی جهت بیشینه نمودن فاصله حاشیه‌ها و یافتن بهینه‌ترین ابر صفحه جداساز از رابطه (۳-۱۲) استفاده می‌شود.

$$\text{Min}_{w, b} = \frac{1}{2} w^T w \quad (۳-۱۲)$$

$$\text{Subject to } y_i (w^T x + b) \geq 1$$

این رابطه مستقل از  $b$  است چرا که  $y_i (w^T x + b) \geq 1$  (به صورت یک صفحه جداساز) تحقق پیدا می‌کند و تغییر  $b$  باعث حرکت آن در جهت طبیعی به سوی خود می‌گردد، بنابراین مرز بدون تغییر باقی خواهد ماند [Stefano and Giuseppe, 2006; Abe, 2005]. محاسبه فاصله بین حاشیه‌ها در شکل ۳-۳ نشان داده شده است.



شکل ۳-۳: محاسبه فاصله حاشیه‌ها

سوالی که پس از معرفی معادله (۳-۱۲) مطرح می‌شود، چگونگی کمینه‌سازی مسئله بهینه‌سازی فوق و به دست آوردن مقادیر بهینه  $w$  و  $b$  با توجه به شرایط و محدودیت‌های موجود است. راه کار پیشنهادی استفاده از ضریب لاگرانژ است.

ضریب لاگرانژ که گاهی ضریب نامعین نیز خوانده می‌شود، جهت شناسایی نقاط خاص تابعی که دارای چندین متغیر و محدودیت است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در واقع اگر هدف کمینه سازی تابع  $f(x)$  با توجه به محدودیت  $g(x) \geq 0$  باشد، تابع لاگرانژ  $L(x, \alpha) \equiv f(x) + \alpha g(x)$  با در نظر گرفتن  $\alpha \geq 0$  خواهد شد [Abe, 2005].

با در نظر گرفتن تابع لاگرانژ برای رابطه (۳-۱۲) این رابطه به فرم بدون قید (۳-۱۷) نوشته می‌شود [Bishop, 2006].

$$L_p(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} w^T w - \sum_{i=1}^N \alpha_i \{ y_i [w^T x_i + b] - 1 \} \quad (۳-۱۷)$$

اگر از رابطه (۱۷-۳) نسبت به  $w$  و  $b$  مشتق جزئی گرفته شده و مساوی صفر قرار داده شود، مقدار بهینه  $w$  به دست خواهد آمد.

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \Rightarrow w_0 = \sum_{i=1}^N \alpha_i x_i y_i \quad (۱۸-۳)$$

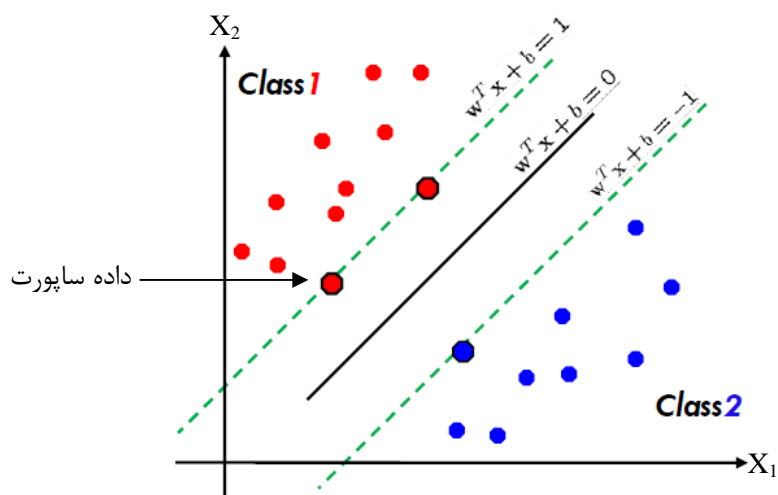
حال اگر مقدار  $w$  به دست آمده از رابطه (۱۸-۳) در رابطه (۱۷-۳) قرار داده شود، معادله اساسی ماشین برداری به صورت رابطه (۱۹-۳) معرفی می‌شود. بنابراین، هدف در ماشین برداری حل معادله (۱۹-۳) با توجه به محدودیت‌های مشخص شده است. باید توجه داشت که در ماشین برداری سیستم‌های خطی جداپذیر، مقدار ضریب لاگرانژ باید بزرگتر از صفر باشد [Martinez-Ramon, 2006].

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad L_d(\alpha) &= \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N y_i y_j \alpha_i \alpha_j x_i^T x_j \\ \text{S.t} \quad &\begin{cases} \alpha_i \geq 0 \\ \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (۱۹-۳)$$

مقدار بهینه  $b$  نیز از طریق رابطه  $b = y_i - w^T x_i$  و میانگین‌گیری از تمامی مقادیر به دست آمده، محاسبه می‌شود. معادله کلی محاسبه مقدار بهینه  $b$  را می‌توان به صورت رابطه (۲۰-۳) بیان نمود.

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{s=1}^N (y_s - w^T x_s) \quad (۲۰-۳)$$

با حل مسئله بهینه‌سازی رابطه (۱۹-۳) و استفاده از رابطه (۲۰-۳) می‌توان به بهینه‌ترین صفحه جداساز دست یافت. ابر صفحه جداساز بهینه در شکل ۳-۴ نشان داده شده است.



شکل ۳-۴: صفحه جداساز بهینه

نکته قابل توجه در شکل ۳-۴ داده‌هایی است که روی حاشیه‌ها قرار گرفته‌اند، این داده‌ها همان داده‌های ساپورت هستند که ماشین برداری برای طبقه‌بندی صحیح داده‌ها از آن‌ها استفاده می‌کند [Wang, 2005; Van der Heijden et al, 2004].

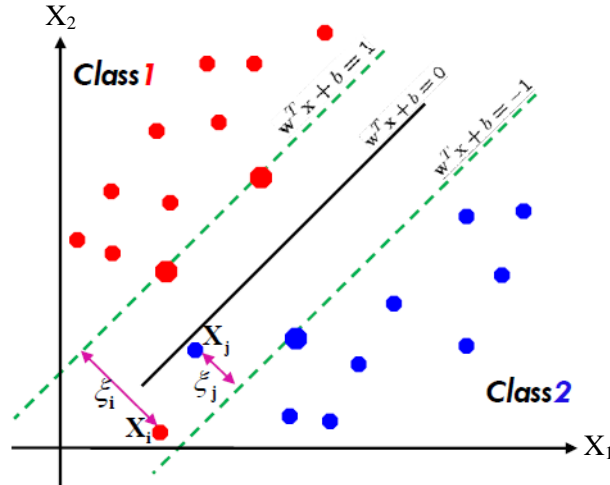
### ۳-۵-۳- ماشین برداری پشتیبان در سیستم‌های خطی جداناپذیر

گاهی در سیستم‌های خطی شرایطی ایجاد می‌شود که تعدادی از داده‌ها در کلاس مربوط به خود قرار نمی‌گیرند (شکل ۳-۵). در چنین شرایطی برای دستیابی به ابر صفحه جداساز باید تابعی به نام تابع جریمه<sup>۱</sup> را معرفی نمود. این تابع به صورت رابطه (۳-۲۱) تعریف می‌گردد [Wang, 2005].

$$F(\xi) = \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (۳-۲۱)$$

در رابطه (۳-۲۱)،  $\xi_i$  میزان خطای طبقه‌بندی را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> - Penalty Function



شکل ۳-۵: سیستم‌های خطی جداناپذیر با میزان خطای  $\xi_i$

بنابراین، مسئله بهینه‌سازی محدب<sup>۱</sup> در سیستم‌های خطی جداناپذیر به صورت معادله (۲۲-۳) نوشته می‌شود. در واقع ابر صفحه جداساز بهینه تعمیم یافته، توسط بردار  $w$  به گونه‌ای تعیین می‌شود که تابع (۲۲-۳) کمینه گردد.

$$\text{Min}_{w,b} = \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^N \xi_i \quad (22-3)$$

$$\text{S.t} \quad y_i (w^T x + b) \geq 1 - \xi_i$$

در رابطه فوق،  $C$  ضریب موازنه<sup>۲</sup> جهت بیشینه‌نمودن حاشیه‌ها و کمینه‌سازی خطای تابع است. همان‌گونه که پیش از این نیز بیان گردید، در شرایطی مثل این از ضرایب لاگرانژ استفاده می‌شود که در رابطه اخیر با در نظر گرفتن  $\alpha, \beta$  به عنوان ضرایب لاگرانژ، معادله (۲۲-۳) به صورت رابطه (۲۳-۳) بیان می‌شود [Wang, 2005].

$$L_p(w,b,\xi,\alpha,\beta) = \frac{1}{2} w^T w + C \sum_{i=1}^N \xi_i - \sum_{i=1}^N \alpha_i \{ y_i [w^T x_i + b] - 1 + \xi_i \} - \sum_{i=1}^N \beta_i \xi_i \quad (23-3)$$

لاگرانژ کلاسیک دوگانه قادر است مسئله اولیه معادله (۲۳-۳) را به مسئله دوگانه آن تبدیل کند. مسئله دو گانه این رابطه، توسط معادله (۲۴-۳) تعریف می‌شود.

<sup>۱</sup> -Convex Optimization Problem

<sup>۲</sup> -Trade-Off

$$Max W(\alpha, \beta) = Max_{\alpha, \beta} (Min_{w, b, \xi} L(w, b, \alpha, \xi, \beta)) \quad (24-3)$$

اگر از رابطه (24-3) نسبت به  $w$ ،  $b$  و  $\xi_i$  مشتق گرفته شده و مساوی صفر قرار داده شود، مقادیر معادله (25-3) به دست می‌آیند.

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial w} = 0 &\Rightarrow w = \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i x_i \\ \frac{\partial L}{\partial b} = 0 &\Rightarrow \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \xi} = 0 &\Rightarrow \alpha_i + \beta_i = C \end{aligned} \quad (25-3)$$

با قرار دادن این روابط در معادله (24-3)، معادله اساسی ماشین برداری در حالت خطی جداناپذیر به دست می‌آید که به صورت رابطه (26-3) خواهد بود [Wang, 2005].

$$\begin{aligned} \text{Max } L_d(\alpha) &= \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N y_i y_j \alpha_i \alpha_j x_i^T x_j \\ \text{S.t } &\begin{cases} 0 \leq \alpha_i \leq C \\ \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (26-3)$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تابع هدف سیستم‌های جداناپذیر خطی مشابه با سیستم‌های جداناپذیر خطی است و تنها تفاوت این دو، اصلاح کران‌های ضرایب لاگرانژ می‌باشد. پارامتر  $C$  نیز که قابلیت کنترل ظرفیت اضافی طبقه‌بندی کننده را مشخص می‌سازد، در این سیستم‌ها باید تعیین گردد [Stefano and Giuseppe, 2006; Sanchez, 2003].



### ۳-۵-۴- ماشین برداری پشتیبان در سیستم‌های غیر خطی

#### ۳-۵-۴-۱- فضای ویژگی

ماشین برداری پشتیبان در ابتدای امر، تنها برای سیستم‌های خطی به کار گرفته می‌شد و صفحه جداساز بهینه تنها برای حالت خطی وجود داشت. این در حالی بود که در بسیاری از مسائل طبقه‌بندی و رگرسیون، راه حل خطی جواب مناسبی را ارائه نمی‌کند. مطالعات گسترده انجام شده در این زمینه، تئوری مرسر<sup>۱</sup> را که در اوایل سال ۱۹۰۰ ارائه گردید بود، جهت حل این مشکل ارائه کرد تا ماشین برداری بتواند در سیستم‌های غیرخطی بسط پیدا کند [Martinez-Ramon, 2006]. ایده اصلی این تئوری بردن برداری مانند  $x$  که در فضای محدود (که به فضای ورودی<sup>۲</sup> مشهور است) حضور دارد به فضای بالاتر (شاید فضای بینهایت) و طبقه‌بندی آن در فضای بالا بود. در این شرایط برداری مانند  $x$  در فضای بالاتر به صورت  $\varphi(x)$  نوشته می‌شود. با استفاده از این قضیه، ماشین برداری خطی توانست در فضای بالاتر ساخته شود (که اغلب فضای ویژگی<sup>۳</sup> نامیده می‌شود) در حالی که فضای ورودی آن در حالت غیرخطی باقی می‌ماند. این شرایط با توجه به خاصیت  $\int K(x, y)g(x)g(y)dxdy > 0$  قضیه مرسر امکان پذیر می‌شد. البته در عمل، اغلب این جابجایی‌ها ناشناخته می‌مانند و تنها ضرب داخلی فضای منطبق بر آن‌ها می‌تواند به صورت تابعی از بردارهای ورودی به صورت  $\varphi(x_i, x_j) = K(x_i, x_j)$  بیان گردد. این فضا، فضای هیلبرت کرنل<sup>۴</sup> (RKHS) نامیده می‌شود و ضرب داخلی<sup>۵</sup> آن کرنل مرسر نام گرفته است. البته لازم نیست که بردارها در فضای ویژگی نشان داده شوند و تنها محاسبه ضرب داخلی آن‌ها کافی خواهد بود. در واقع، تئوری مرسر ضرب داخلی کرنل  $K(x_i, x_j)$  را در فضای ویژگی معرفی می‌کند. بنابراین، تابعی مانند  $\varphi: R_n \rightarrow H$  و ضرب داخلی  $\varphi(x_i, x_j) = K(x_i, x_j)$  وجود دارد اگر و تنها اگر برای هر تابعی

<sup>1</sup> -Mercer

<sup>2</sup> -Input Space

<sup>3</sup> -Feature Space

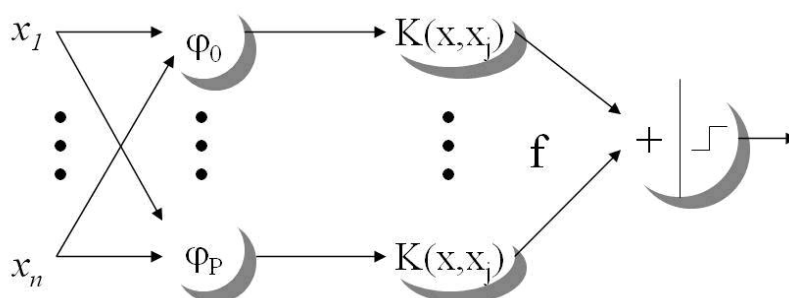
<sup>4</sup> -Reproducing Kernel Hilbert Spaces

<sup>5</sup> -Dot Product

مانند  $g(x)$ ،  $g(x)dx < \infty$ ، رابطه  $\int K(x, y)g(x)g(y)dxdy$  برقرار باشد [Martinez-Ramon, 2006]. کرنل‌های مختلفی برای استفاده در فضای ویژگی معرفی شده‌اند که بسته به شرایط مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی از این کرنل‌ها که در واقع نقش ارتباط دهنده را بین پارامترهای مدل و تابع هدف بازی می‌کنند در جدول ۳-۱ ذکر شده‌اند. عملکرد کرنل در فضای بالاتر نیز در شکل ۳-۶ نشان داده شده است [Agarwala et al, 2008; Martinez-Ramon, 2006; Eryarsoy, 2009].

جدول ۳-۱: توابع کرنل در فضای ویژگی

تابع کرنل	نوع طبقه بندی
$K(x_i, x_j) = (x_i^T x_j)^\rho$	خطی از درجه $\rho$
$K(x_i, x_j) = (x_i^T x_j + 1)^\rho$	چند جمله ای از درجه $\rho$
$K(x_i, x_j) = e^{-\frac{\ x_i - x_j\ ^2}{2\sigma^2}}$	گوسین یا نمایی
$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i^T x_j + \mu)$	پرسپترون چند لایه
$K(x_i, x_j) = \frac{\sin((n+1/2)(x_i - x_j))}{2 \sin((x_i - x_j)/2)}$	دریکله برای مسائل شرایط مرزی



شکل ۳-۶: عملکرد کرنل در فضای بالا [Wang, 2005]

شکل ۳-۶ به خوبی می‌تواند عملکرد کرنل را در انتقال فضای ورودی به فضای بالاتر نشان دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، داده‌های ورودی  $x$  برای رفتن به فضای بالاتر ابتدا تبدیل به پارامتری مانند  $\phi$  می‌شوند، سپس توابع کرنل به کارگرفته می‌شوند تا فضای ورودی بتواند در فضای بی‌نهایت طبقه‌بندی گردد.

### ۳-۵-۴-۲- ماشین برداری غیرخطی

راه حلی که برای ماشین برداری خطی ارائه شده بر رابطه  $w = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i x_i$  تکیه دارد تا بتوان داده‌ها را به درستی در کلاس مربوط به خود طبقه‌بندی نمود. اما در سیستم‌های غیرخطی برای بردن داده‌ها به فضای بالاتر، برداری مانند  $x$  به صورت  $\phi(x)$  نوشته می‌شود، در نتیجه برای محاسبه وزن مناسب برای داده‌ها از رابطه  $w = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i \phi(x_i)$  استفاده خواهد شد. مسئله‌ای که اکنون وجود دارد، محاسبه ضرب داخلی بردارهاست. علاوه بر این، در این شرایط نمی‌توان از رابطه  $y_i = w^T \phi(x_i) + b$  استفاده نمود زیرا پارامتر  $w$  در چنین شرایطی، بعد بی‌نهایت پیدا می‌کند. جهت حل این مسئله از توابع کرنل استفاده می‌شود. بنابراین از رابطه (۳-۲۷) در حالت غیرخطی استفاده می‌شود [Martinez-Ramon, 2006].

$$y_i = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i \phi(x_i)^T \phi(x_j) + b = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i K(x_i, x_j) + b \quad (۳-۲۷)$$

با در نظر گرفتن معادله بیان شده، ماشین قادر است تا با استفاده از ضریب لاگرانژ و ضرب داخلی که به صورت توابع کرنل بیان می‌گردد، شروع به کار کند. با در نظر گرفتن این پارامترها، ماشین برداری غیرخطی نیز می‌تواند به سادگی ماشین برداری خطی مورد استفاده قرار گیرد.

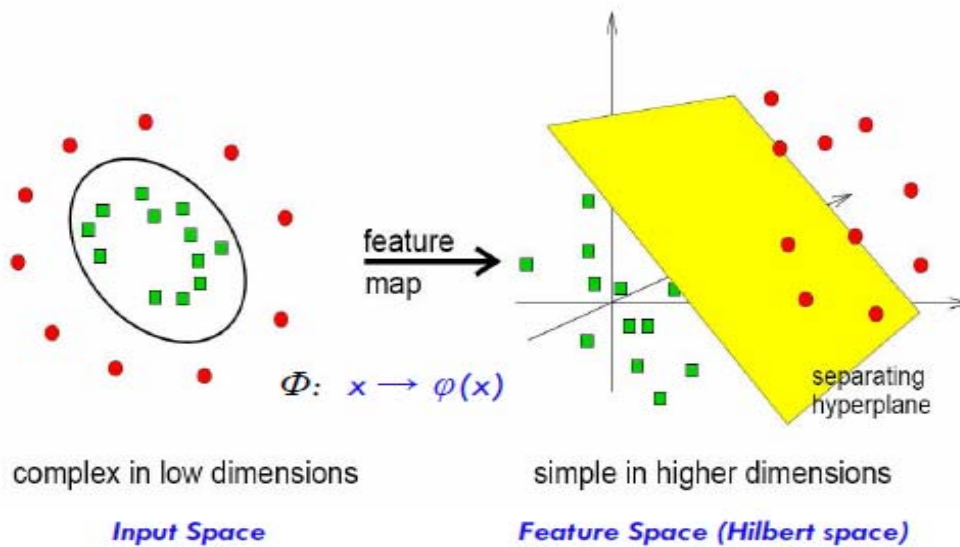
برای محاسبه  $b$  نیز می‌توان از رابطه موجود در سیستم‌های خطی که به صورت  $y_i(w^T x_i + b) - 1 = 0$  بیان می‌شود، استفاده نمود. این رابطه در حالت غیرخطی به صورت معادلات (۳-۲۸) بیان می‌گردد [Abe, 2005].

$$y_i \left( \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i \phi(x_i)^T \phi(x_j) + b \right) - 1 = 0 \quad (۳-۲۸)$$

$$y_i \left( \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i K(x_i, x_j) + b \right) - 1 = 0$$

که در معادله بالا برای تمام  $x_j$  باید،  $\alpha_j < C$  باشد [Lia et al, 2007; Eryarsoy et al, 2009].

چگونگی جداسازی داده‌ها در فضای ویژگی در شکل ۳-۷ مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۷: داده‌های طبقه‌بندی شده در فضای بالا [Eryarsoy et al, 2009]

بر اساس مطالب بیان شده، معادله اساسی که در اکثر مراجع برای ماشین برداری غیرخطی ارائه شده است به صورت معادله (۳-۲۹) خواهد بود. این معادله همان معادله اساسی سیستم‌های خطی است که تنها کرنل جایگزین ضرب داخلی بردارهای ورودی  $(x_i^T x_j)$  شده است.

$$\begin{aligned} \text{Max } L_d(\alpha) &= \sum_{i=1}^N \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N y_i y_j \alpha_i \alpha_j K(x_i, x_j) \\ \text{Subject to } &\begin{cases} 0 \leq \alpha_i \leq C \\ \sum_{i=1}^N \alpha_i y_i = 0 \end{cases} \end{aligned} \quad (۳-۲۹)$$

### ۳-۵-۴-۳- حقه کرنل

سوالی که عموماً در مبحث فضای هیلبرت (فضای ویژگی) پرسیده می‌شود، محاسبه مقدار  $\varphi(x)$  است. بر اساس مطالب بیان شده، مقدار بهینه  $w$  در مسائل غیرخطی بر اساس رابطه  $w = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i \varphi(x_i)$  به دست می‌آید که در این رابطه  $\varphi(x)$  مقداری مجهول است. در چنین

شرایطی برای محاسبه جواب بهینه از حقه کرنل<sup>۱</sup> استفاده می‌شود [Hwei-Jen and Jih Pin, 2009] که در ادامه تشریح خواهد شد.

با توجه به آنچه که تا کنون عنوان گردید، مقدار بهینه  $w$  برای ماشین برداری در سیستم‌های غیرخطی از رابطه  $w = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i \varphi(x_i)$  به دست می‌آید. با در نظر گرفتن این رابطه و قرار دادن آن در رابطه  $b = y_i - w^T \varphi(x_i)$  می‌توان به معادله (۳۰-۳) برای محاسبه مقدار بهینه  $b$  دست یافت.

$$b = y_i - \sum_{i,j=1}^{N_{SV}} \alpha_i y_i K(x_i, x_j) \quad (30-3)$$

حال می‌توان معادلات ارائه شده برای  $w$  و  $b$  را در معادله اصلی صفحه جداساز در سیستم‌های غیرخطی که به صورت  $d(x) = w^T \varphi(x) + b$  بیان می‌گردد، قرار داد. با در نظر گرفتن شرایط بیان شده، معادله اساسی صفحه جداساز بهینه در سیستم‌های غیرخطی به صورت معادله (۳۱-۳) بیان می‌گردد.

$$d(x) = \sum_{i=1}^N y_i \alpha_i K(x, x_i) + b \quad (31-3)$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، مقدار معادله صفحه جداساز می‌تواند بدون محاسبه  $\varphi(x)$  در سیستم‌های غیرخطی به دست آید، تنها کافیست که از کرنل مناسب جهت حل معادله صفحه استفاده شود [Arun Kumar and Gopal; Cristianini Shawe-Taylor, 2000; Steinwart, 2008].

### ۳-۵-۵- نقاط قوت و ضعف ماشین برداری پشتیبان

نقاط قوت ماشین برداری که باعث برتری این ماشین نسبت به سایر روش‌های طبقه بندی شده است را می‌توان در ۳ برتری عمده دانست [Steinwart, 2008].

<sup>۱</sup> -Kernel Trick

۱- فرآیند آموزش این ماشین بسیار آسان است (نسبت به شبکه عصبی و سیستم فازی) و مانند شبکه عصبی در نقطه بهینه محلی گیر نمی‌کند.

۲- در انتقال داده‌ها به فضای بالاتر به خوبی عمل نموده و عملکرد خوبی در سیستم‌های غیرخطی دارد.

۳- موازنه بین پیچیدگی طبقه‌بندی کننده و میزان خطا قابل کنترل است.

تنها مشکل ماشین برداری که به عنوان نقطه ضعف این ماشین بیان شده، نیاز این ماشین به انتخاب کرنل مناسب است زیرا در صورت عدم مناسب بودن آن، نتایج ارائه شده رضایت بخش نخواهند بود [Cristianini and Shawe-Taylor, 2000].

۴- نیاز به تعداد نمونه‌های کم آموزشی که از جمله نقاط قوت اصلی این روش به حساب می‌آید.

### ۳-۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نقاط ضعف بیان شده برای الگوریتم‌های بیشترین شباهت، کمترین فاصله، شبکه عصبی و ... می‌توان الگوریتم ماشین برداری پشتیبان را به دلیل پوشش ضعف‌های موجود و قدرتمندی آن در برابر نویز موجود در داده‌ها، بهترین الگوریتم حاضر قلمداد نمود. با این وجود از این الگوریتم تا کنون در شناسایی مناطق امیدبخش اکتشافی استفاده نشده است، بنابراین در ادامه سعی خواهد شد تا با استفاده از یک مطالعه موردی، قدرت این الگوریتم در شناسایی مناطق امیدبخش نیز به اثبات رسد.

# فصل چهارم

اطلاعات جغرافیایی و زمین‌شناسی  
منطقه مورد مطالعه

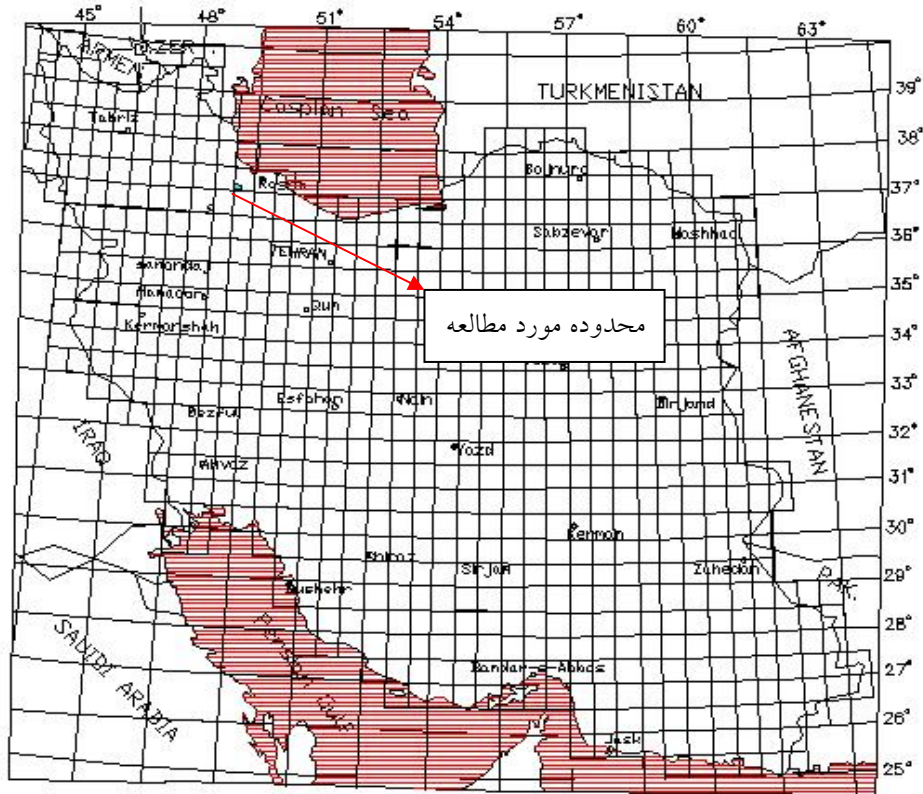
#### ۴-۱- مقدمه

پس از معرفی ماشین برداری پشتیبان به عنوان روشی در طبقه‌بندی و شناسایی الگوها، سعی شد تا عملکرد بالای این ماشین در شناسایی مناطق امیدبخش اکتشافی نیز با مطالعه موردی خاص اثبات گردد. در همین راستا منطقه‌ای واقع در جنوب شرقی ماسوله در استان گیلان به عنوان مطالعه موردی مد نظر قرار گرفت که در ادامه وضعیت جغرافیایی، آب و هوایی و زمین شناسی آن به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد.

#### ۴-۲- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۸۰ کیلومتر مربع در فاصله ۶۰ کیلومتری جنوب غربی رشت و جنوب شرقی ماسوله در ناحیه‌ای به نام گشت واقع است. این منطقه در طول جغرافیایی  $37^{\circ} 06'$  تا  $49^{\circ} 00'$  و عرض جغرافیایی  $41^{\circ} 29'$  تا  $35^{\circ} 16'$  قرار داشته و بخشی از نقشه زمین‌شناسی ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ بندرانزلی را تشکیل می‌دهد. کوه‌های گیلی بلنگا و آسمان کوه نقاط مرتفع منطقه می‌باشند. این منطقه دارای توپوگرافی شدیدی بوده و وجود کوه‌هایی با دامنه‌های پر شیب، منطقه را صعب العبور ساخته است. بزرگترین رودهای جاری در منطقه، گشت رودخان، رودخانه گیلونده رود و رودخانه چوکا می‌باشد. در شکل ۴-۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه کشور نشان داده شده است.





شکل ۴-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور [مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۵]

### ۴-۳- راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

دسترسی به گستره مورد مطالعه از طریق دو مسیر امکان پذیر می‌باشد. اولین مسیر از طریق رشت - فومن - گشت میسر می‌شود که از گشت تا مرکز محدوده مطالعه صعب العبور بوده، هیچ گونه جاده‌ای برای عبور وجود ندارد و برای دسترسی به مرکز محدوده حدود ۳ تا ۴ ساعت کوه‌پیمایی و پیاده‌روی از راه‌های مالرو کوهستانی نیاز است. مسیر دوم که راحت‌تر است، مسیر رشت - منجیل - گیلوان - آب‌بر - بزه بره می‌باشد. این مسیر تا آب‌بر، آسفالت‌ه بوده و از آب‌بر تا بزه بره به صورت جاده خاکی کوهستانی است. برای دسترسی به مرکز محدوده از بزه بره حدود ۳ کیلومتر پیاده روی از جاده‌ای مالرو و کوهستانی نیاز است. در شکل ۴-۲ موقعیت تقریبی محدوده مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن در جنوب شرق ماسوله نشان داده شده است.



شکل ۴-۲: راه‌های ارتباطی و موقعیت محدوده مورد مطالعه در جنوب شرق ماسوله با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰

[مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۵]

#### ۴-۴- وضعیت آب و هوایی و پوشش گیاهی محدوده مورد مطالعه

از لحاظ آب و هوایی و پوشش گیاهی، منطقه مورد مطالعه را می‌توان به دو بخش نیمه شمالی - شرقی و بخش جنوب - جنوب غربی تقسیم نمود. قسمت اول جزء مناطق معتدل بوده که از آب و هوای کوهستانی البرز و دریای خزر متاثر شده است. این منطقه تحت تاثیر آب و هوای کوهستانی قرار دارد و جزء مناطق با پوشش گیاهی متراکم است. از دیدگاه گروه‌بندی آب و هوایی، ناحیه یاد شده در شمار نواحی پر باران جنگلی است. حداکثر دمای مطلق ۳۳ و حداقل ۱ درجه می‌باشد و رطوبت نسبی بین ۱۰۰٪-۱۱٪ است. میزان بارندگی ۱۳۹۳/۲ mm گزارش شده و از دیدگاه پوشش گیاهی، گستره مورد بررسی دارای پوشش گیاهی کامل از نوع جنگلی است که با چگالی زیاد خود، کار مطالعه را با مشکل مواجه کرده است [مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی گیتاشناسی، ۱۳۸۵].

بخش جنوب - جنوب غرب جزء مرتفع‌ترین نقاط گیلان با ارتفاع متوسط ۲۷۰۰ متر از سطح دریا بوده و از نواحی خشک و سرد به حساب می‌آید. این منطقه فاقد پوشش گیاهی بوده و فقط در بعضی

از نواحی دارای پوشش مرتع است. این قسمت در واقع مرز استان‌های گیلان و زنجان بوده و تقریباً در بیش از ۸ ماه از سال پوشیده از برف است. شکل‌های ۳-۴ و ۴-۴ به ترتیب نمایی از دو بخش دارای پوشش گیاهی انبوه و بخش فاقد پوشش گیاهی منطقه را نشان می‌دهند.



شکل ۳-۴: نمایی از پوشش جنگلی انبوه بخش شمالی - شرقی منطقه مورد مطالعه



شکل ۴-۴: نمایی از بخش جنوب - جنوب غربی منطقه مورد مطالعه (فاقد پوشش گیاهی متراکم)

#### ۴-۵- زمین شناسی عمومی و چینه شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون البرز مرکزی است که تحدب جنوب دریای خزر را شامل می شود. بخش شمالی این زون را البرز شمالی می نامند که به زون گرگان رشت نیز معروف است. این زون شامل مناطقی است که حاشیه دریای خزر را در سواحل ایران محدود کرده، در شمال گسل البرز قرار دارد و بخش اصلی آن توسط رسوبات عصر حاضر (رودخانه ای، دلتایی، ساحلی) پوشیده شده است. مرز شرقی آن با زون هزار مسجد - کپه داغ نیز توسط لایه های ضخیمی از لس پوشیده شده است. با توجه به شیست های دگرگون شده گرگان نشانه هایی از دگرگونی در بخش غربی این زون یعنی جنوب اسالم و شاندرمن که به پیر کامبرین نسبت داده شده وجود دارد. در شرق ماسوله نیز سنگ های دگرگونی دیگری به سن دونین - کربونیفر وجود دارد که در آن گنیس، میکاشیست و میگماتیت نیز دیده می شود. در همین مناطق مجموعه های اولترابازیک تا بازیک به صورت عدسی های طویل یا مدور وجود دارند که پیدایش آن ها را به حرکات تریاس میانی مربوط می دانند. حرکات تریاس میانی در بخش غربی این زون نیز سبب گرانیتهایی در جنوب لاهیجان، ناحیه گشت (ماسوله) و پیدایش توده های اولترابازیک شده است که در برخی نواحی توسط کنگلومرای پیش رونده ژوراسیک پوشیده شده اند. دو مشخصه مهم این زون، نبود سنگ های ائوسن و الیگوسن و دگرشیبی لایه های میوسن بر روی سنگ های کرتاسه است. این در حالی است که در البرز جنوبی و درست در همین زمان، رسوبات متنوع همراه با سنگ های آتشفشانی تشکیل شده است. حفاری های متعدد رسوبات پلیو - کواترنر در نواحی ساحلی دریای خزر نشان دهنده وجود دریای کم عمق در اواخر سنوزوئیک است. این رسوبات متعلق به دریای خزر است که به علت فرونشینی کف آن و فرآیند تبخیر، ساحل قدیمی را رها کرده است [سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳].

## ۴-۶- واحدهای سنگی رخنمون دار منطقه

واحدهای سنگی رخنمون دار منطقه مورد مطالعه شامل توده‌های نفوذی، دگرگونی و رسوبی می‌باشند که از قدیم به جدید در ادامه تشریح می‌شوند [سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳].

### ۴-۶-۱- واحدهای دگرگونی پرکامبرین

از آنجایی که واحدهای دگرگونی منطقه جزئی از مجموعه دگرگونی گشت می‌باشند، ابتدا خصوصیات مجموعه دگرگونی گشت توسط رسوبات مزوزوئیک و پالئوزئیک پوشیده شده است که از بالا به پایین عبارتند از

- رسوبات شمشک که عمدتاً از افق توارسین (لیاس فوقانی) شروع می‌شود و در زیر آن لایه‌ای از کنگلومرای قاعده‌ای وجود دارد.

- کوارتزیت سفیدرنگ نازک لایه‌ای که احتمالاً سطح فوقانی رسوبات پیش از شمشک را تشکیل می‌داده است.

- رسوبات پالئوزوئیک فوقانی (پرموکرینیفر تا پرمین) شامل اسلیت‌ها و سنگ‌های فیلیتی که در آن لایه‌هایی از توف‌های آتشفشانی بازیک یافت می‌شود. در جنوب شرق ماسوله در بین این سری‌ها، لایه‌ای از آهک متبلور فوزولین‌دار پرمین دیده شده که سن آن را دقیقاً مشخص می‌کند اما در بخش جنوب غربی، سن سنگ‌های بیرون زده معادل دونین فوقانی تا پرمین فوقانی است.

- دگرشیبی زاویه‌دار که احتمالاً نشانه‌ای از وقفه در رسوب‌گذاری است و حد پالئوزوئیک زیرین و فوقانی را از هم جدا می‌کند.

- رسوبات پالئوزوئیک زیرین که شامل آهک‌های صورتی رنگ سیلورین است.

گرانیت تورمالین دار گشت- ماسوله رسوبات اواخر پالئوزوئیک را قطع کرده و در آن‌ها دگرگونی مجاورتی صورت گرفته است که احتمالاً به تریاس تعلق دارد. با توجه به ویژگی‌های رخساره‌ای مجموعه گشت و شاندرمن می‌توان رخساره‌های مذکور بخش فوقانی را متعلق به مجموعه آواری کانتی بستر کهن متعلق دانست. شکل ۴-۵ پیوست نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر روی این نقشه واحدهای رخنمون دار به شرح زیر مشاهده می‌شوند.

واحدهای دگرگونی رخنمون دار در منطقه از قدیم به جدید عبارتند از:  $(pc^{amsch})$ ،  $(pc^{bsch})$  و  $(pc^{cgr})$

$(pc^{amsch})$ : آمفیبول شیست سیاه تا خاکستری تیره، شیست‌های آمفیبولیتی و اپیدوتی

$(pc^{bsch})$ : بیوتیت تا موسکویت شیست به همراه رخساره‌های شیست سبز

$(pc^{cgr})$  سنگ‌های گرانیتوئیدی میلونیتی شده به رنگ سفید خاکستری روشن (سنگ‌های متارنیت تا متاریولیت)

بخش فوقانی مجموعه گشت شامل سنگ‌های گوناگونی در رخساره‌های بالای دگرگونی است. سنگ‌هایی مثل شیست‌های دو میکایی با کانه‌هایی چون استارولیت، دستین، کوردیریت و تورمالین از مهمترین تشکیل دهنده‌های بخش تحتانی گشت می‌باشند که در محدوده مطالعاتی فوق با نفوذ توده‌هایی از گرانیت‌های گنیسی، میلونیتی و کاتاکلاستیکی  $(pc^{cgr})$  دچار دگرگونی حرارتی شده و افزون بر ظهور کانه‌های عارضه‌ای ناشی از اثر حرارتی توده، دچار دگرگونی قهقرایی نیز شده‌اند. این دگرگونی قهقرایی با حفظ ساختار بلوری، سبب هضم و تشکیل کانه‌های حرارت پایین چون مسکویت دلکریت در کنار دیگر کانه‌های حرارت و فشار بالا چون سیلیمانت، دیستن و ... شده است. مشابه این دگرگونی در دیگر سنگ‌های دگرگون شده این ناحیه چون دگرگونی‌های افیولیتی شاندرمن نیز قابل مشاهده است. اثر زمین ساخت برشی در گستره‌ای قابل توجه در کنار نفوذ توده‌های گرانیتوئیدی  $(PC^{cgr})$  از مهمترین عوامل ظهور دگرگونی‌های قهقرایی در این رخساره‌هاست. اثر

دگرگونی قهقرایی و زمین ساخت برشی در تمامی رخساره‌های سنگی پیش از پرمین نیز قابل پیگیری است.

#### ۴-۶-۲- واحدهای پالئوزوئیک

این واحدها نیز از قدیم به جدید در زیر تشریح شده است.

$(PZ_L^q)$ : آرنایت و کوارتزیت به رنگ صورتی تا خاکستری روشن

$(PZ_{Lg}^{ph})$ : فیلیت، به مقدار کم شیست و ماسه سنگ

$(PZ_2^s)$ : ماسه سنگ و رسوبات کلسیتی

$(PZ)$ : رسوبات اسلیتی و فیلیتی

$(PZ_2^v)$ : ولکانیک‌های کالک آکالن، آندزیت‌های بازالتی و آندزیت

$(P_d^s)$ : تناوبی از کنگلومرا، ماسه سنگ آراکوزی، کوارتزیت و آهک دولومیتی

$(P_r^L)$ : آهک‌های بلوری با رگه‌های کلسیت

#### ۴-۶-۳- توده‌های آذرین

$(Tr^{gr})$ : گرانیتوئید، پگماتیت و رگه‌های کوارتز

$(d_i)$ : دایک‌های دلریتی و دیابازی قبل از کرتاسه

این دایک‌ها با ترکیب بازیک آندزیتی-بازالتی شامل دیابازها، دلریت‌های کانه‌دار و آندزیت‌های بورنیری با راستای غالب شمالی - جنوبی در منطقه در میان مجموعه‌های منصوب به پالئوزوئیک مشاهده می‌گردد. ضخامت این دایک‌ها نزدیک به ۴ متر و درازای آن‌ها تا ۱۰۰۰ متر است. از نظر سنی شواهد کافی در دست نیست اما نظر به اینکه این دایک‌ها تمامی نهشته‌های پالئوزوئیک پایانی را قطع کرده‌اند و دایک‌های مشابهی از آن را می‌توان در سنگ نهشته‌های ژوراسیک یافت، شاید بتوان

آن‌ها را از نظر سنی به دوران پیش از کرتاسه منصوب دانست [سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۳؛ درویش‌زاده، ۱۳۷۳].

#### ۴-۷- واحدهای لیتولوژی از دیدگاه پتانسیل اقتصادی

وجود دایک‌هایی با ترکیب بازیک آندزیتی بازالتی که دارای دیاباز، دلریت‌های کانه‌دار و آندزیت‌های پورفیری هستند می‌تواند منشا کانسارهای سولفیدی و کانسارهای گروه پلاتین همراه با مس و طلا در منطقه باشد [کریم پور، ۱۳۶۸].

وجود نشانه‌هایی از عناصر سنگین و قیمتی چون طلا و پلاتین در میان سیالات هیدروترمال سیلیسی ناشی از نفوذ دایک‌های اسیدی به درون سنگ‌های دگرگونی مجموعه گشت و کانسارهای سولفیدی مس، سرب و روی از تیپ ماسیو سولفاید در میان نهشته‌های پالئوزوئیک بالایی (سازند درود) در این گستره مشاهده می‌گردد. این کانسارهای ماسیو سولفاید یکی از منابع اصلی مس، سرب، روی، نقره و طلا می‌باشند و عناصری نظیر قلع، کادمیوم، آنتیموان و بیسموت به عنوان محصولات فرعی از این کانسارها به دست می‌آید و از نقطه نظر اهمیت اقتصادی به عنوان منابع فلزات غیرآهنی قرار دارد. با توجه به اینکه بخشی از گستره مورد مطالعه دارای سنگ‌های بازالت آندزیتی و آندزیت کالکوالکالن است، در داخل این سنگ‌ها احتمال وجود کانسارهای کروم-نیکل-پلاتین وجود دارد [کریم پور، ۱۳۶۸].

سنگ آهک دگرگونی قسمت‌های زیادی از منطقه را فرا گرفته است اما در بسیاری از نقاط به شدت تکتونیزه شده و از آن‌ها نمی‌توان به عنوان سنگ نما استفاده نمود. نفوذ توده‌هایی از گرانیت گنیسی و میلونیتی و کاتاکلاستیکی باعث ایجاد دگرگونی قهقرایی در گشت شده است که در سنگ‌های پالئوزوئیک بالایی قابل مشاهده است.



توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی و پگماتیت در شمال محدوده و بخشی در سازند روته مشاهده می‌گردد. سنگ‌های گرانیتوئیدی، سنگ‌هایی هستند که ترکیب‌شان از کوارتز دیوریت و تونالیت تا سینوگرانیت متغیر است. این سنگ‌ها را می‌توان به دو سری گرانیتوئیدهای سری مگنتیت و سری ایلمنیت تقسیم نمود که سری ایلمنیت در منطقه وجود داشته و در ارتباط با کانی‌سازی کاسیتیریت و ولفرامیت می‌باشد.

کانسارهای همراه با سنگ‌های گرانیتوئیدی به دو گروه وسیع کانسارهای نوع پورفیری و کانسارهای نوع گرانوفیلی تقسیم می‌گردند. در اطراف بسیاری از کانسارهای مس پورفیری رگه‌هایی که حاوی کانسارهای سرب، روی، منگنز، نقره و طلا می‌باشند، وجود دارد. این کانسارها در ارتباط با سیستم‌های گرمابی مربوط به توده‌های نفوذی می‌باشند. در این کانسارها دگرسانی و کانی‌سازی به طور متقارن و یا نامتقارن بر روی توده نفوذی و یا اطراف آن متمرکز می‌باشند.

کانسارهای نوع گرانوفیلی حاوی سنگ‌های گرانیتوئیدی لوکوکراتیک غنی از کوارتز می‌باشند که از لحاظ عناصر گرانوفیلی غنی می‌باشند. کانسارهای گرانوفیلی ممکن است همانند کانسارهای پورفیری مس-مولیبدن دارای دگرسانی گرمابی باشند و تاثیراتی از قبیل کائولینی شدن و سریسیتی شدن از خود نشان دهند، اما این کانسارها بیشتر توسط کانی‌های گرایزنی مشخص می‌گردند و در فصل مشترک سنگ‌های گرانیتوئیدی با سنگ‌های اطراف تمرکز می‌یابند. وجود این سنگ‌ها و پگماتیت‌ها در سنگ‌های آهکی در تشکیل کانسارهای اسکارن دخالت داشته و احتمال تشکیل کانسارهای اسکارن قلع و تنگستن را بالا می‌برند [یعقوب پور، ۱۳۶۷].

# فصل پنجم

پردازش تصاویر ماهواره‌ای  
و معرفی مناطق امیدبخش اولیه

## ۵-۱- مقدمه

با در نظر گرفتن وسعت بسیار زیاد منطقه مورد مطالعه، در مرحله اول بررسی‌ها سعی شد تا با استفاده از تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای مانند ترکیب رنگی مجازی، تقسیم باندها، طبقه‌بندی نظارت شده، تحلیل مولفه اصلی و مستقل، اعمال فیلتر و ... مناطق امیدبخش اولیه‌ای معرفی شود تا از وسعت منطقه مورد مطالعه کاسته شود. به صورت کلی، هدف اصلی بررسی‌های دورسنجی در این مرحله شامل موارد زیر می‌باشد.

۱- تشخیص زون‌های دارای پتانسیل بالای کانی‌سازی فلزی و غیرفلزی

۲- تشخیص زون‌های آلتزه در رابطه با کانی‌سازی‌های احتمالی

۳- تشخیص ساختارهای خطی و حلقوی منطقه که احتمالاً در تشکیل کانی‌سازی نقش داشته‌اند

۴- معرفی بهترین نواحی امیدبخش جهت کنترل زمینی و نمونه‌برداری

در ادامه این فصل تکنیک‌های مورد استفاده و نتایج حاصل از این بررسی‌ها مورد بحث قرار گرفته است. ضمناً در مطالعه حاضر از تصاویر ماهواره‌ای  $ETM^+$  استفاده شده است که در ادامه مختصری در مورد آن توضیح داده می‌شود.

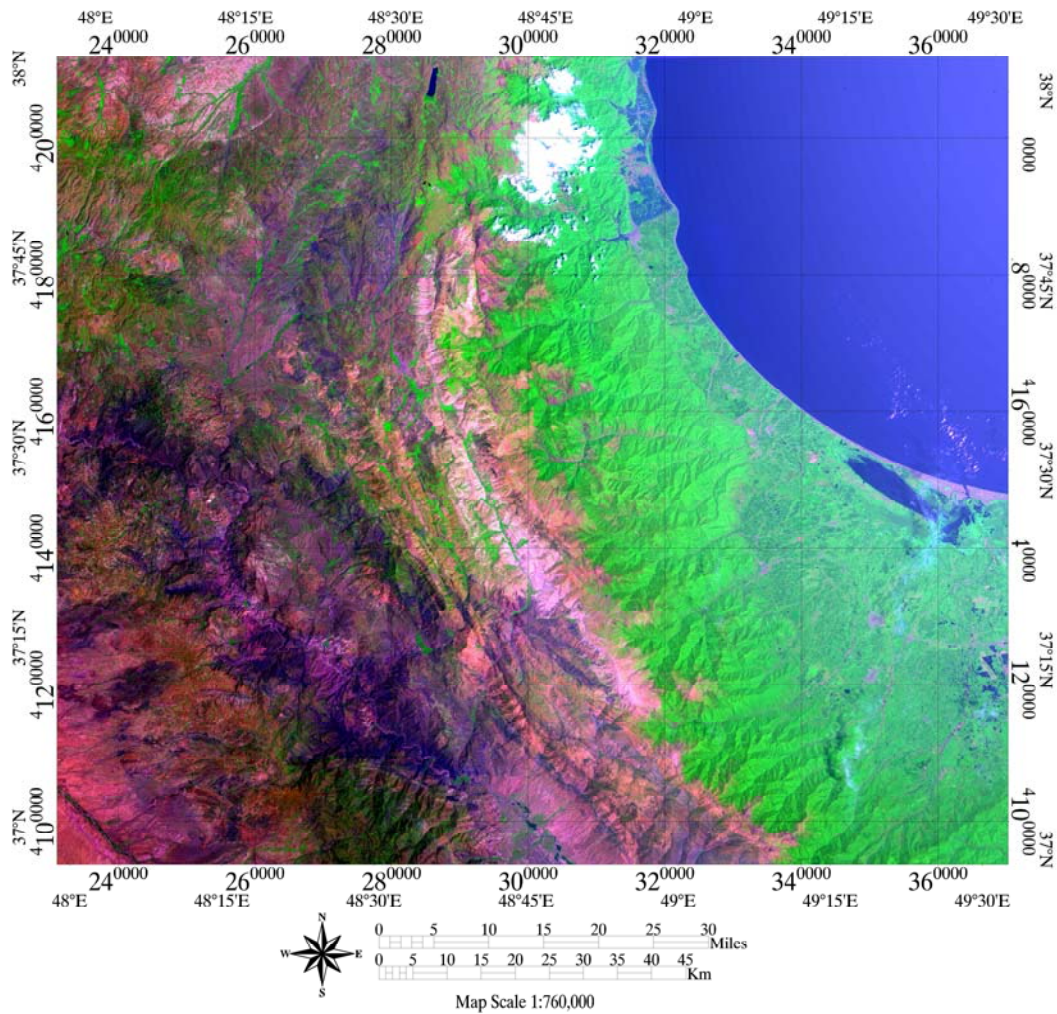
## ۵-۲- آماده‌سازی تصویر $ETM^+$ محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه تحت پوشش تصویر  $ETM^+$  با مشخصات جدول ۵-۱ قرار دارد.

جدول ۱-۵: مشخصات تصویر ETM<sup>+</sup> منطقه مورد مطالعه

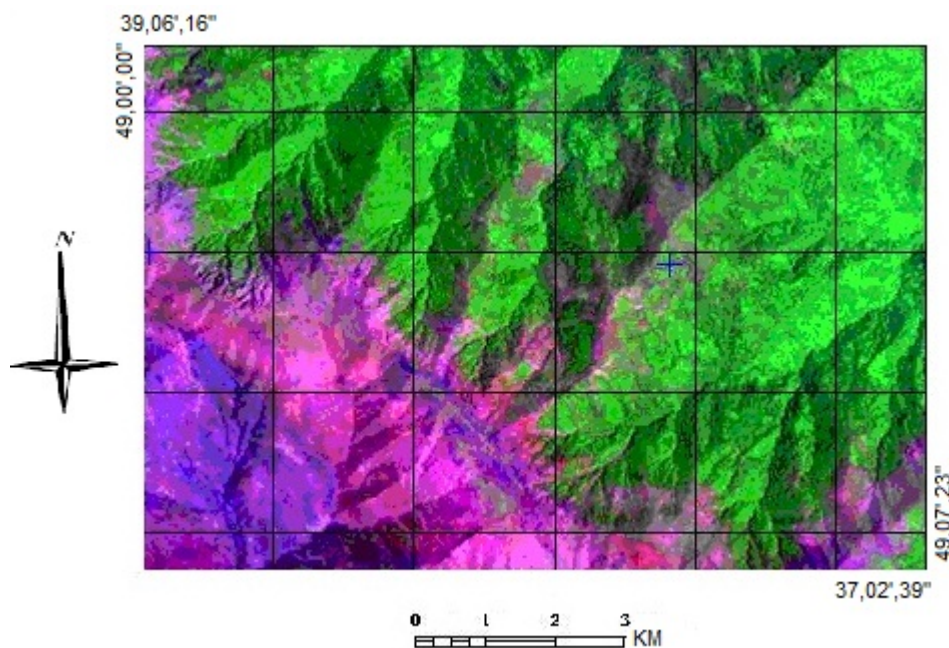
<b>Dataset Identification</b>	
Dataset Name	Block-14
Area Name	B-ANZALI
<b>Source Data &amp; Date</b>	
Source Data Type	Satellite Landsat-7 Image
Date of Source Data	2000
Date of Production or Update	1383
<b>Data Transfer (Output) Information</b>	
Format of Raster Data	PIX
Dataset Size	229,470,208 bytes
Storage Media	Network \ CD
<b>Quality &amp; Accuracy</b>	
Panchromatic image	14.25 m
Multispectral image	28.5 m
Thermal image	57 m
<b>Coordinate &amp; Projection System</b>	
Reference Ellipsoid	WGS-84
Map Projection	UTM
Zone Number	39
Measuring Unit	S

این تصویر با RGB=741 در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱: تصویر  $ETM^+$  بلوک انزلی با  $RGB=7,4,1$

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، آب به رنگ آبی و پوشش گیاهی به رنگ سبز قابل تشخیص است. این تصویر پس از آماده‌سازی اولیه مورد عمل جداسازی زیر مجموعه مکانی قرار گرفت به این صورت که ابتدا ناحیه مورد مطالعه به صورت یک فایل برداری به یک ناحیه انتخابی تبدیل شد، سپس تصویر اولیه با استفاده از این ناحیه انتخابی برش داده شد تا زیر مجموعه مکانی مورد نظر (محدوده مورد مطالعه) به دست آید. این تصویر با  $RGB=741$  در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.



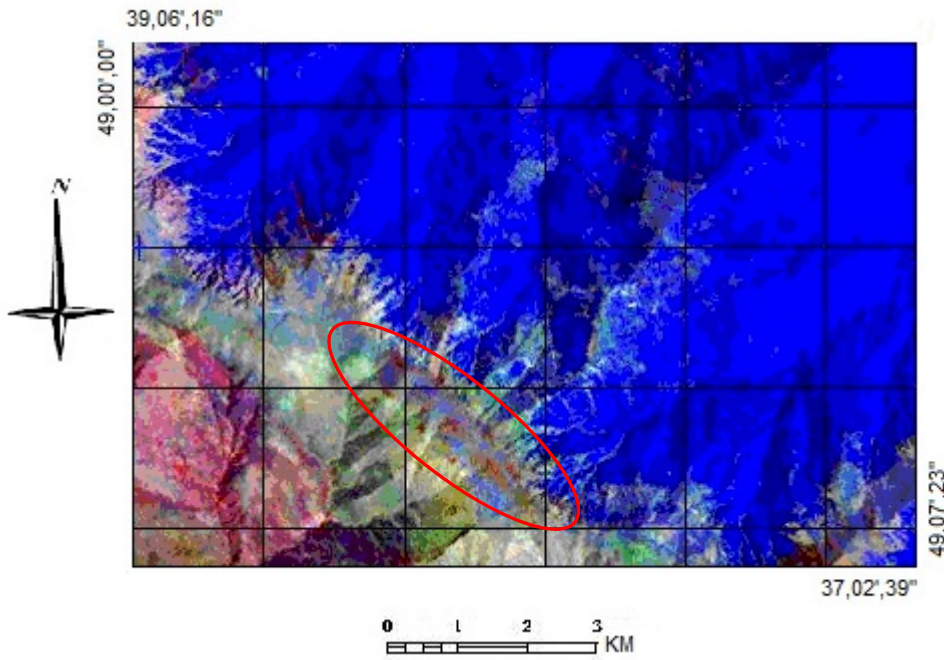
شکل ۵-۲: تصویر ETM<sup>+</sup> محدوده مورد مطالعه با RGB=7,4,1

همان‌طور که در تصویر شکل ۵-۲ مشخص است، مناطق سبز رنگ با توجه به داشتن پوشش گیاهی نمی‌توانند به عنوان اولویت اول نواحی امیدبخش مدنظر قرار گیرند. در این تصویر مناطق فاقد پوشش گیاهی، بیشتر در جنوب و جنوب غرب منطقه گسترش دارند. لذا بیشتر مطالعات سنجش از دور در این مناطق متمرکز شده است.

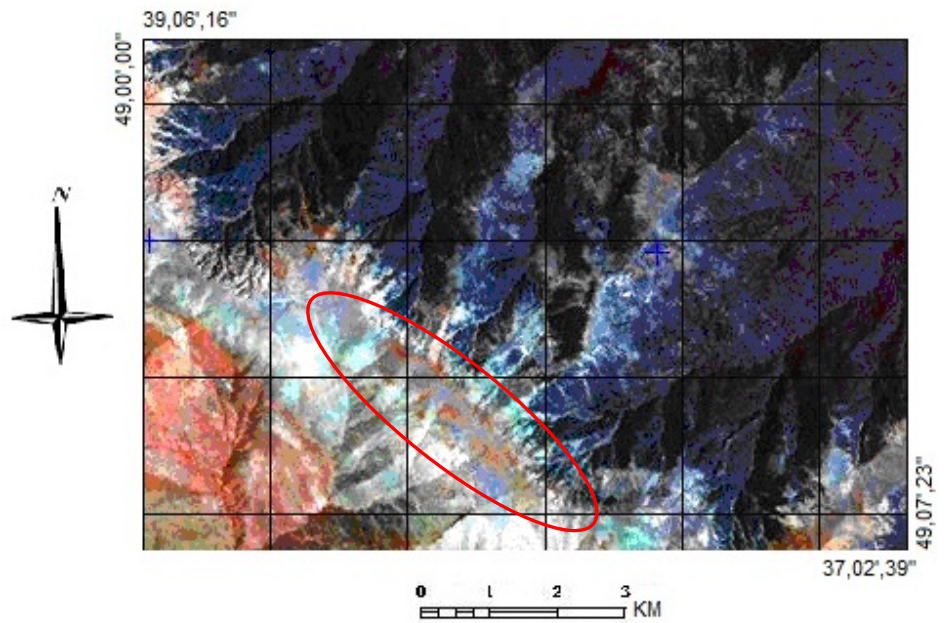
### ۵-۳- ترکیبات و تبدیلات رنگی

همان‌گونه که در فصل دوم اشاره گردید، ترکیبات و تبدیلات فضایی یکی از قابلیت‌های تصاویر ماهواره‌ای است که به مشخص نمودن مناطق با آشفتگی طیفی کمک می‌کند. در منطقه مورد مطالعه نیز سعی شد تا با اعمال ترکیبات رنگی مناسب نقاط احتمالی وجود کانی‌سازی و نیز مناطق دارای آلتراسیون شناسایی شوند.

در همین راستا، با اعمال ترکیب رنگی  $RGB=174$  و  $RGB=175$  که در شکل‌های ۳-۵ و ۴-۵ نشان داده شده است، آشفتگی خاصی در انعکاس طیفی قسمت مشخص شده مشاهده می‌شود که می‌تواند ناشی از تنوع لیتولوژی حاکم باشد.

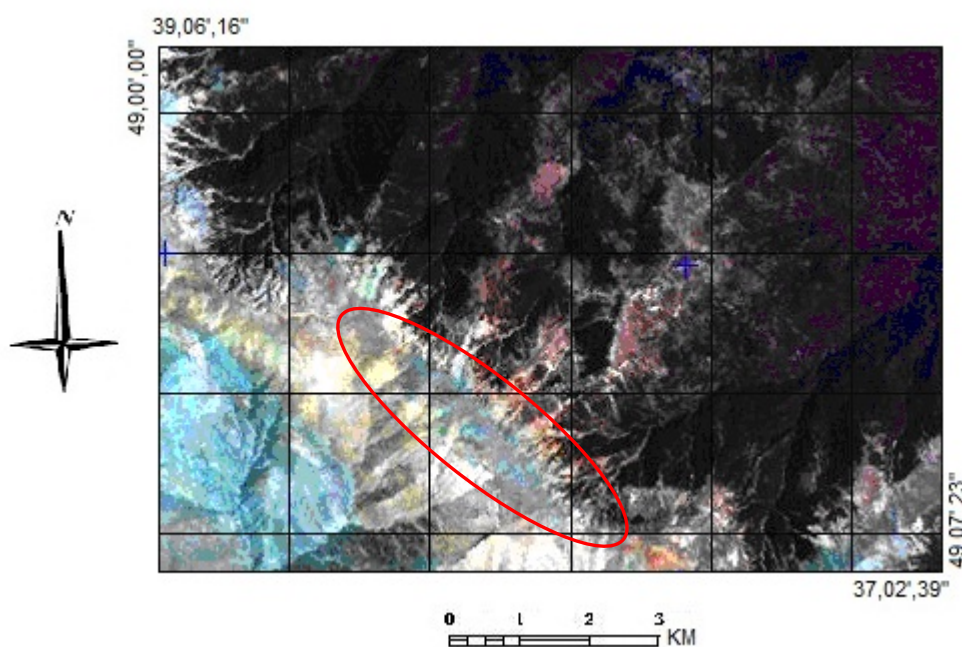


شکل ۳-۵: ترکیب رنگی با  $RGB=174$  و تشخیص آشفتگی طیفی در منطقه



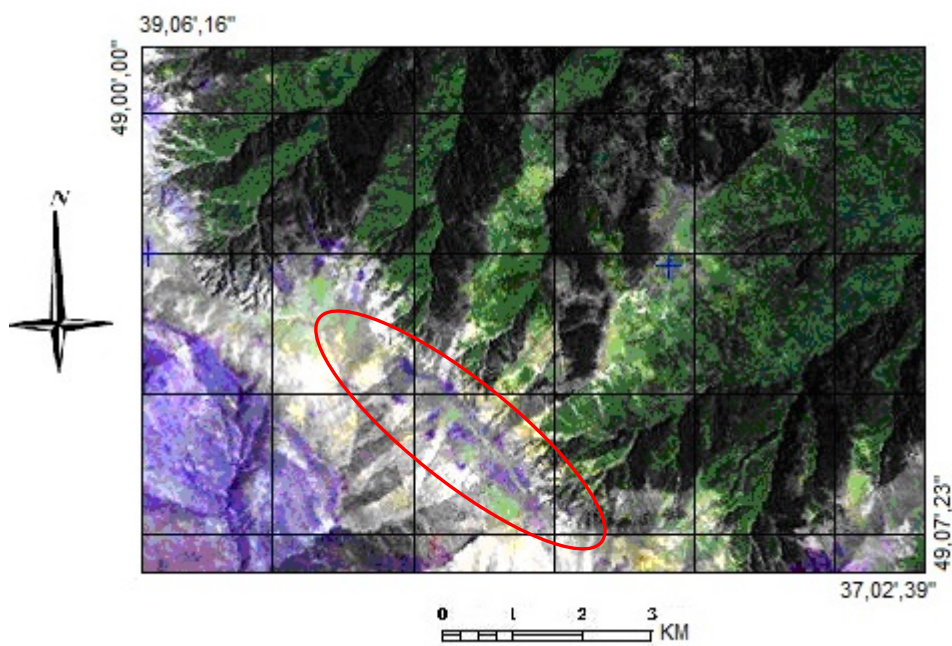
شکل ۴-۵: ترکیب رنگی با  $RGB=175$  و تشخیص آشفتگی طیفی در منطقه

با اعمال ترکیبات رنگی RGB=731 و RGB=741 و RGB=754 عموماً می‌توان واحدهای سنگی را شناسایی نمود [Yetkin, 2003]. این شناسایی اکثراً از طریق کنترل با نقشه زمین‌شناسی انجام می‌شود اما از آنجا که در پروژه حاضر آشفتگی در قسمت مشخص شده در این تصاویر نیز کاملاً واضح است سعی شد تا با انتخاب این نواحی به عنوان نقاطی که باید تحت کنترل و نمونه‌برداری قرار گیرند، وضعیت لیتولوژی از طریق کنترل زمینی بررسی شود. این تصاویر در شکل‌های ۵-۵، ۵-۶ و ۵-۷ نشان داده شده‌اند.

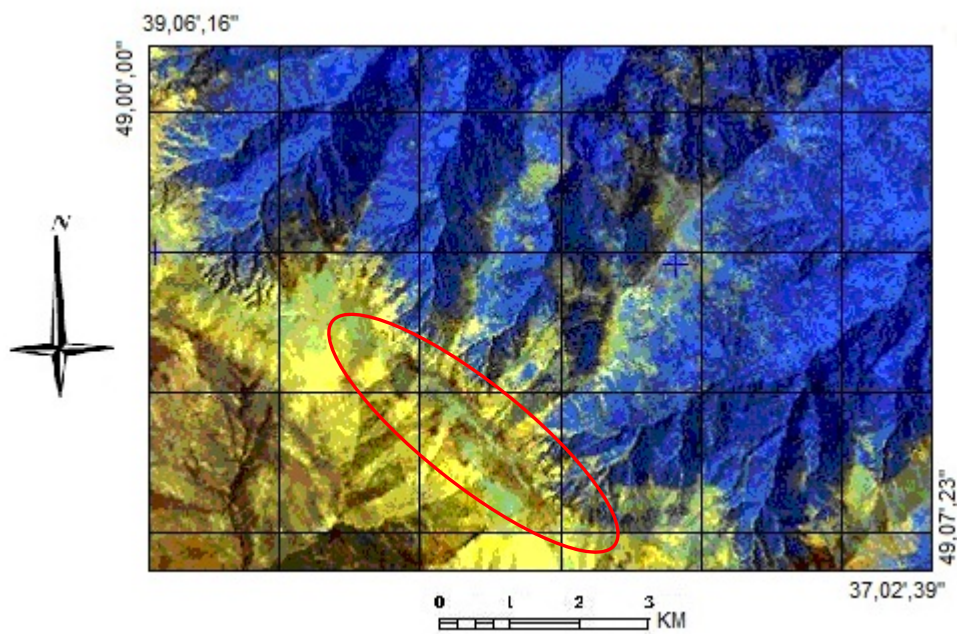


شکل ۵-۵: ترکیب رنگی با RGB= 731 و تشخیص آشفتگی طیفی در منطقه





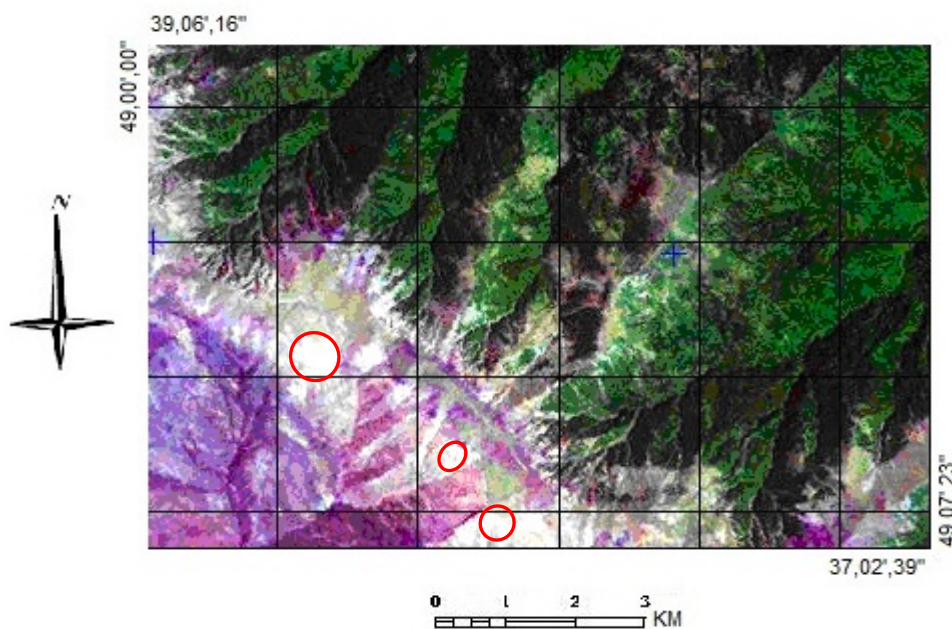
شکل ۵-۶: ترکیب رنگی با RGB= 741 و تشخیص آشفته‌گی طیفی در منطقه



شکل ۵-۷: ترکیب رنگی با RGB= 754 و تشخیص آشفته‌گی طیفی در منطقه

### ۵-۳-۱- شناسایی نواحی سیلیسی (آلتراسیون و ...)

یکی از قابلیت‌های دیگر تصاویر ماهواره‌ای استفاده از تقسیمات بانندی و معرفی مناطق دارای آلتراسیون (دگرسانی) است. در پروژه حاضر نیز با انجام تقسیم بانندی ۵/۴ و ۳/۱ [Yetkin, 2003] و سپس اعمال ترکیب رنگی  $RGB=5/4,5,3/1$  تصویر شکل ۵-۸ حاصل شد در این تصویر پوشش گیاهی به رنگ سبز تیره و نواحی سیلیسی به رنگ سفید بسیار روشن (محل‌های مشخص شده بر روی تصویر ۵-۸) نمایان گردید. شکل شماره ۵-۹ مقادیر بالای سیلیس منطقه را در مرحله برداشت نمونه‌ها نشان می‌دهد که درستی پردازش تصویر انجام شده را تایید می‌کند.

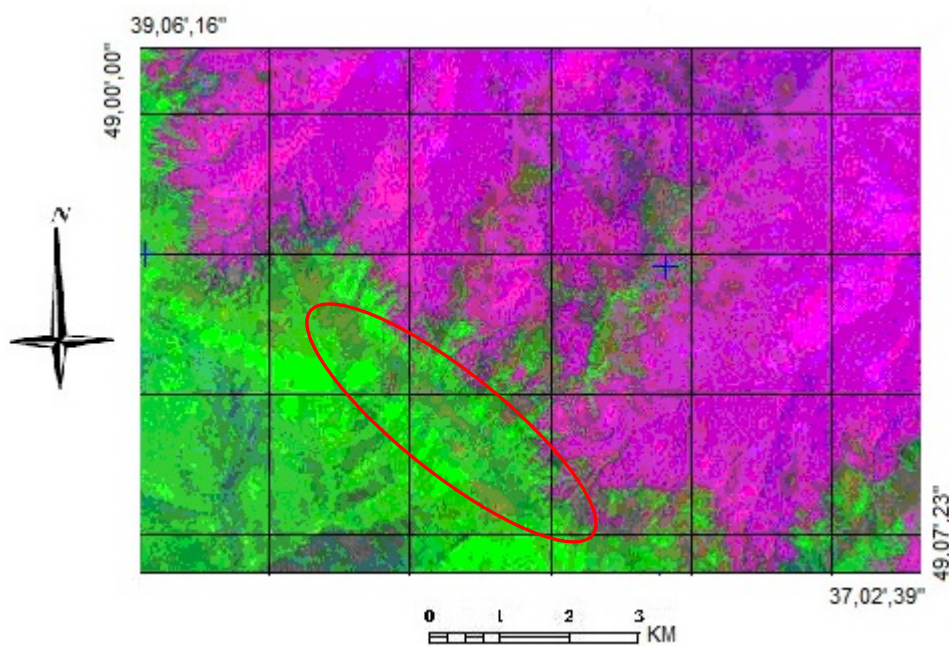


شکل ۵-۸: ترکیب رنگی با  $RGB= 5/4, 5, 3/1$



شکل ۵-۹: حضور سیلیس در منطقه مورد مطالعه

علاوه بر این، با انجام تقسیم باندی ۵/۷ و ۳/۱ و ۴/۵ [Rowan et al, 1977; Yetkin, 2003] و سپس اعمال ترکیب رنگی  $RGB=5/7,3/1,4/5$  تصویر ۵-۱۰ حاصل گردید که در آن نواحی دگرسان شده عموماً به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای (محل مشخص شده در تصویر شکل ۵-۱۰) دیده می‌شوند. در شکل ۵-۱۱ نیز آلتراسیون پروپیلی تیک منطقه مورد مطالعه که در مرحله برداشت نمونه‌های ژئوشیمیایی مشخص شده است، مشاهده می‌شود. این تصویر نیز درستی پردازش اولیه تصویر ماهواره‌ای منطقه و مشخص نمودن آلتراسیون پروپیلی تیک را تایید می‌کند.



شکل ۵-۱۰: ترکیب رنگی با  $RGB = 5/7, 3/1, 4/5$

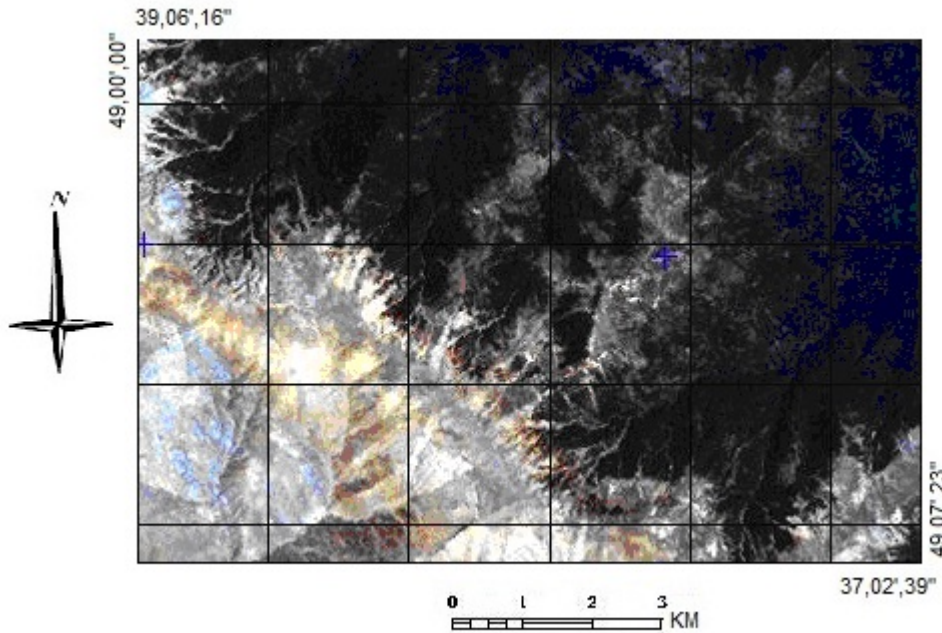


شکل ۵-۱۱: گستردگی آلتراسیون پروپیلی تیک در منطقه مورد مطالعه

### ۵-۳-۲- شناسایی نواحی اکسید آهن

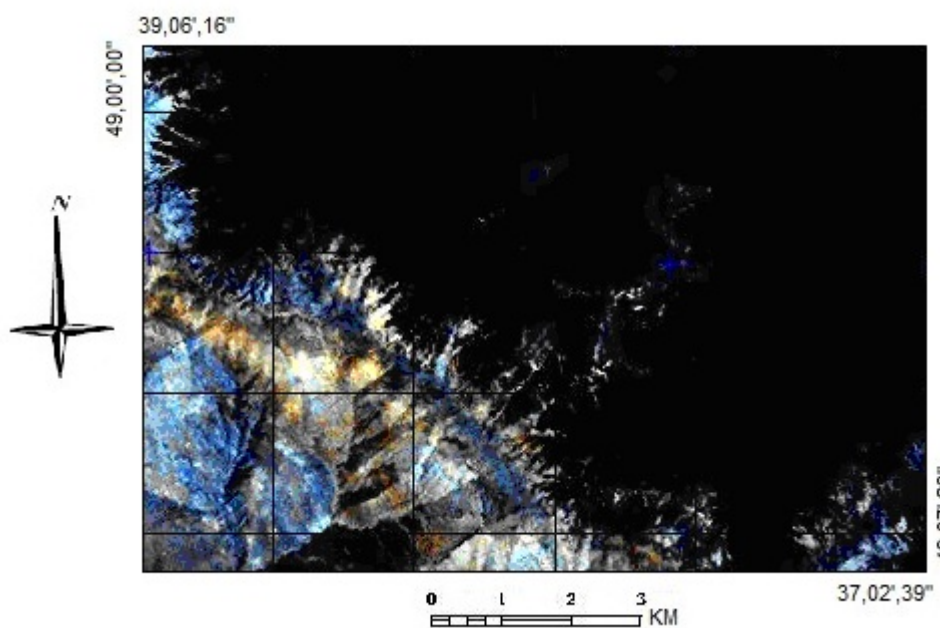
با توجه به قابلیت سنجش از دور در شناسایی زون‌های اکسیدهای آهن و با توجه به اهمیت این زون‌ها در معرفی مناطق دارای کانی‌سازی، سعی شد تا در این مرحله با استفاده از پردازش‌های لازم نواحی دارای اکسید آهن نیز شناسایی شوند. در این راستا با انجام تقسیم باندی ۳:۱ و سپس اعمال

ترکیب رنگی RGB=3/1,3,1 تصویر ۱۲-۵ حاصل شد. در این تصویر نواحی دارای اکسید آهن عموماً به رنگ زرد طلایی روشن دیده می‌شوند.



شکل ۵-۱۲: ترکیب رنگی با RGB=3/1, 3, 1

همان‌طور که در شکل ۵-۱۲ مشخص است، نواحی دارای رنگ زرد طلایی روشن در نقاط مختلف پراکنده بوده و گاهی مرز واضحی با رنگ‌های دیگر ندارند. به منظور مشخص نمودن بهتر مناطق اکسید آهن شکل ۵-۱۲، بازرسازی لازم تصویر با استفاده از Enhance Linear 2% انجام شد که نتیجه آن در شکل ۵-۱۳ نشان داده شده است.



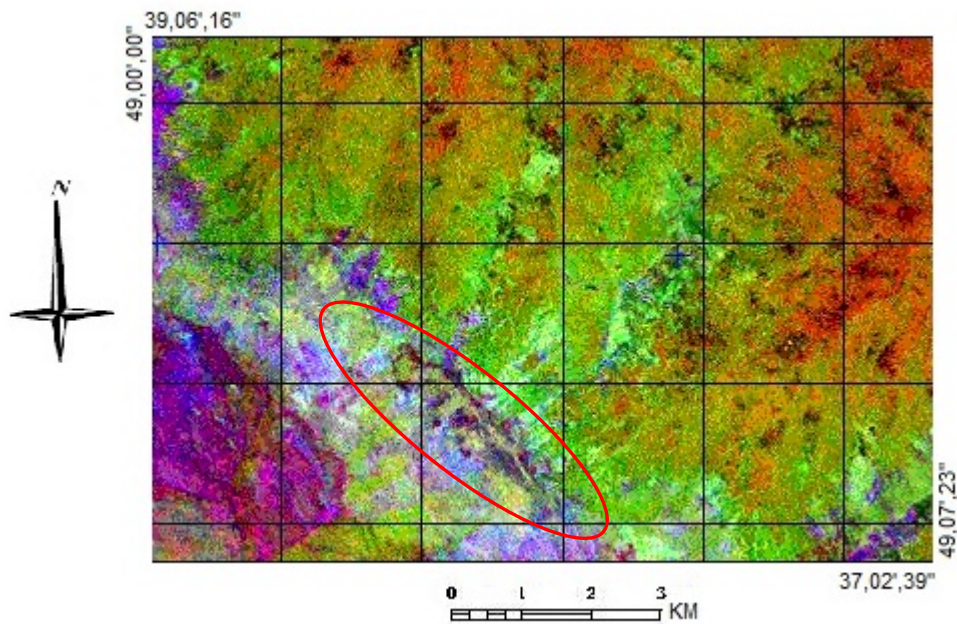
شکل ۵-۱۳: ترکیب رنگی با  $RGB = 3/1, 3, 1$  پس از اعمال ENLANCE LINEAR 2%

همان‌طور که در این تصاویر مشخص است، محل مورد نظر به نحو بارزتری نسبت به شکل ۵-۱۲ مشخص شده است.

## ۵-۴- تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی

تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) قادر به ایجاد تصویری جدید با پیکسل‌هایی است که حداکثر واریانس تصویر اصلی را پوشش می‌دهند [Singh and Harrison, 1985]. در مطالعه حاضر نیز به منظور شناخت باندهایی که دارای اطلاعات بیشتری بوده و حداکثر واریانس تغییرات را پوشش می‌دهند، از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی استفاده شد و سپس با گرفتن اطلاعات آماری لازم، RGB های گوناگونی از این باندها ساخته شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

با استفاده از ترکیب رنگی  $RGB = PC1(7,3,1)$  که در شکل ۵-۱۴ نشان داده شده است، آشفتگی موجود در انعکاس طیفی ناشی از تنوع لیتولوژی در قسمت مشخص شده کاملاً بارز بوده و پردازش‌های قبلی را تأیید می‌کند.

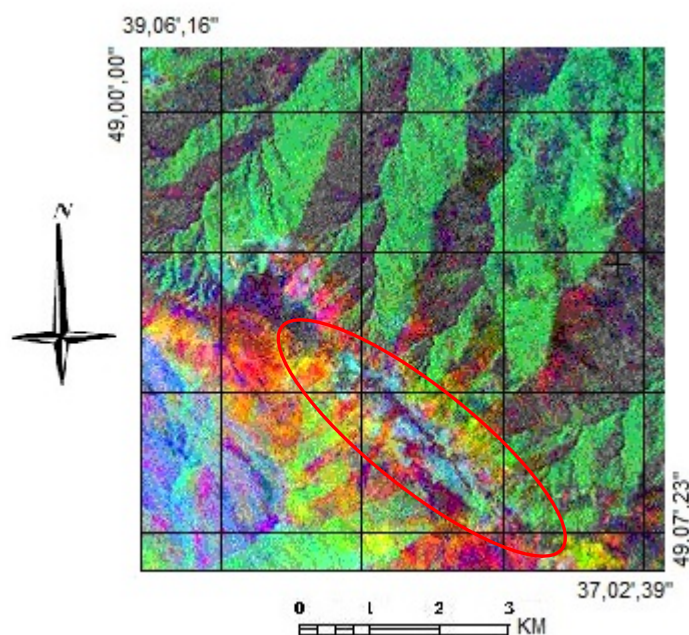


شکل ۵-۱۴: ترکیب رنگی با  $RGB = PC1(7,3,1)$  پس از تجزیه و تحلیل مولفه اصلی

## ۵-۵- تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل

با تکیه بر توانایی‌های بالای تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل (ICA) که در فصل دوم به صورت کامل تشریح شد، از این روش نیرومند نیز جهت تایید منطقه امیدبخش اولیه شناسایی شده، استفاده گردید.

با استفاده از ترکیب رنگی  $RGB = IC1(3,2,1)$  که در شکل ۵-۱۵ نشان داده شده است، تنوع لیتولوژیکی و آشفتگی طیفی منطقه مورد نظر، با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل نیز به اثبات رسید.



شکل ۵-۱۵: ترکیب رنگی با  $RGB = IC1(3,2,1)$  پس از تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل

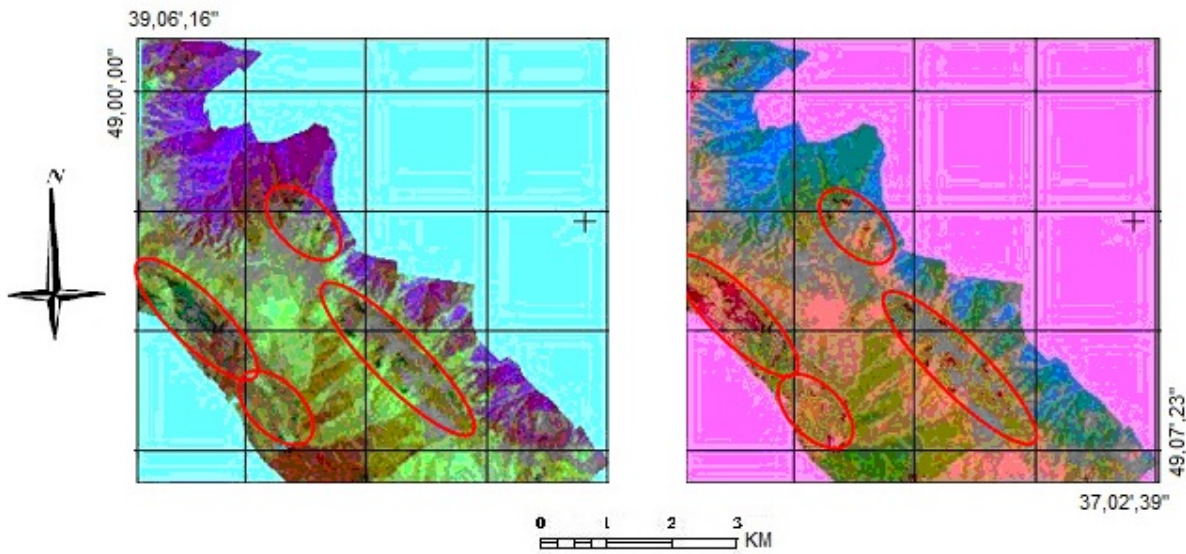
علاوه بر این، بردارهای ویژه  $IC1$  تا  $IC4$  باندهای مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت تا با استفاده از آن‌ها بتوان نسبت بانندی را پیدا نمود که بتواند به خوبی مناطق آنومال را معرفی نماید. این بردارهای ویژه در جدول ۵-۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۵-۲: بردارهای ویژه حاصل از اعمال تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل بر روی باندهای تصویر ماهواره‌ای

Axis	TM Band 1	TM Band 2	TM Band 3	TM Band 4	TM Band 5	TM Band 6
IC 1	0.3205	0.2845	0.7819	0.4527	0.419615	0.557295
IC 2	0.066052	0.035132	0.209442	-0.80979	-0.52729	-0.12939
IC 3	-0.32775	-0.39308	-0.45951	-0.48325	0.403786	0.361047
IC 4	0.445729	0.254682	-0.82132	-0.27117	0.840535	-0.56725

همان‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، باندهای ۵ و ۳ دارای بالاترین اختلاف ممکن در  $IC4$  هستند که این امر، ترکیب بانندی این دو را به عنوان ترکیبی جهت آشکارسازی آشفتگی طیفی منطقه معرفی می‌کند. با اعمال این ترکیب بانندی روی تصویر منطقه و استفاده از ترکیب‌های رنگی  $RGB=5:3,4,7$  و  $RGB=5:3,7,4$  نقاط خاصی روی تصویر منطقه مورد مطالعه مشاهده گردید که احتمال حضور آلتراسیون را قوت می‌بخشد. نتایج این بررسی در شکل ۵-۱۶ آمده است.





شکل ۵-۱۶: نتایج تجزیه و تحلیل مولفه‌های مستقل با اعمال ترکیب‌های رنگی  $RGB=5:3,7,4$  در راست و  $RGB=5:3,4,7$  در سمت چپ

با توجه به شرایط بیان شده و تایید تمامی روش‌های مورد استفاده در خصوص وجود آشفتگی غیرعادی در منطقه مورد نظر، برنامه پیمایش و نمونه‌برداری ژئوشیمیایی جهت بررسی منطقه مشخص شده طراحی گردید که در فصل بعد به طور کامل تشریح می‌شود.

## فصل ششم

بازدید، پیمایش‌های صحرائی،  
حفریات اولیه و نمونه‌برداری

## ۶-۱- مقدمه

پس از به دست آمدن مناطق معرفی شده توسط تکنیک‌های به کار گرفته شده در پردازش تصاویر ماهواره‌ای و برنامه‌ریزی اولیه، در قالب یک طرح پژوهشی و قرارداد جداگانه با مشارکت اینجانب از مناطق معرفی شده بازدید به عمل آمد و طی پیمایش‌هایی عملیات نمونه‌برداری انجام شد. از آنجا که در مطالعه حاضر، نمونه‌برداری فقط از رخنمون‌های سنگی صورت گرفته، در ادامه ابتدا مختصری در مورد این روش بحث شده است و سپس سایر مطالب مربوط به بازدید صحرایی و نمونه‌برداری تشریح گردیده است.

## ۶-۲- نمونه‌برداری از سنگ‌ها

نمونه‌برداری از سنگ‌ها باید با تکیه بر قوانین حاکم بر تمرکز فلزات در سنگ‌ها انجام شود. در این روش، بررسی نقش معرف‌های ژئوشیمیایی از اهمیت خاصی برخوردار است. عناصر معرف باید طوری انتخاب شوند که بتوانند نشان دهنده تیپیک‌ترین مراحل یا فرآیندهای تشکیل کانسار باشند. بررسی سنگ‌ها در مرحله اکتشافات کوچک مقیاس (ناحیه‌ای یا مقدماتی) به منظور شناخت ایالات متالوژنی و سنگ‌های میزبانی انجام می‌پذیرد که ارتباط نزدیکی با نوع خاصی از کانی‌سازی دارند. با اینکه بررسی‌های اکتشافی روی سنگ‌ها از آسان‌ترین و عملی‌ترین روش‌های اکتشاف محسوب می‌شود، اما با برخی مشکلات عملی نیز همراه است. به عنوان مثال، یکی از مشکلات این روش اکتشافی، زیادی تعداد نمونه‌ها است، زیرا هر نمونه سنگی تنها معرف محیط کوچکی از سنگ مورد نظر است. در بررسی‌های اکتشافی که بر اساس مطالعه سنگ‌ها انجام می‌گیرد، علاوه بر مشکلات عملی، احتمال ایجاد مشکلات نظری هم وجود دارد. در ادامه چند نمونه از این مشکلات نظری ذکر شده است [حسنی‌پاک، ۱۳۸۰].

(۱) آنومالی‌های مشاهده شده در سنگ‌ها ممکن است متعلق به بخش زیرین نهشته‌های کانساری باشد که فرسایش یافته‌اند و دیگر وجود ندارند.

۲) سیالات هیدروترمال غنی از فلزات ممکن است باعث تولید آنومالی‌هایی شوند که دال بر هاله اولیه باشد ولی با نهشته کانساری ارتباط نداشته باشد.

۳) هاله‌های پراکندگی ثانویه‌ای که از جابجایی آب‌های زیرزمینی یا غنی‌شدگی سوپرژن حاصل می‌شوند ممکن است الگوهای پراکندگی را تشکیل دهند که ظاهراً به هاله‌های اولیه شبیه می‌باشند. این امر به ویژه برای عناصر متحرکی نظیر Zn و U صادق است.

۴) افزایش غیرعادی غلظت عناصر کمیاب در کانی‌های خاصی ممکن است با فرآیندهای عادی سنگ‌شناسی نظیر تفریق بخشی در ارتباط باشد، بدون آنکه با کانی‌سازی در مقیاس اقتصادی توام گردد.

۵) هاله‌های اولیه ممکن است قبل یا بعد از فرآیند کانی‌سازی تشکیل شده باشند و از این رو ممکن است با فرآیند کانی‌سازی ارتباطی نداشته باشند، اگرچه ظاهراً با آن مرتبط می‌باشند. این شرایط خصوصاً در مورد جیوه، هلیوم و سایر گازهایی که پراکندگی آن‌ها از ساختمان‌هایی چون گسل‌ها پیروی می‌کنند، صادق است.

علی‌رغم مشکلات و نارسایی‌های بیان شده، بیشتر بررسی‌های اکتشافی که در حال حاضر برای کشف نهشته‌های کانساری بی‌رخمون در سنگ‌های آذرین به کار گرفته می‌شوند، بر اساس روش بررسی ژئوشیمیایی سنگ‌ها (روش لیتوژئوشیمیایی) است اما چنین بررسی‌هایی تنها در مواردی که هاله‌های اولیه در سنگ حضور دارند و نمونه‌برداری از آن‌ها امکان پذیر است، موثر واقع می‌شود. همچنین به دلیل کم بودن وسعت هاله‌های اولیه نسبت به سنگ درون گیر، شبکه نمونه‌برداری از هاله‌های اولیه باید متراکم باشد. برای عناصری که قابلیت تحرک بیشتری دارند، این هاله‌ها ممکن است وسیع‌تر بوده و شبکه نمونه‌برداری آن‌ها می‌تواند بازتر باشد. بنابراین فضای انتخاب شده در نمونه‌برداری باید با در نظر گرفتن نحوه پراکندگی عنصر مورد نظر انجام گیرد [حسنی‌پاک، ۱۳۸۰].

## ۶-۳- بازدید، پیمایش صحرائی و نمونه برداری

پس از مشخص شدن مناطق امیدبخش اولیه از طریق پردازش تصاویر ماهواره‌ای و برنامه‌ریزی‌های اولیه، ۳ گروه نمونه‌برداری متشکل از ۲ کارشناس و یک کارگر به سرپرستی مدیر عملیات جناب مهندس یوسفی و مشارکت اینجانب به عنوان کارشناس به منطقه اعزام گردیدند. از آنجا که نمونه‌برداری از سنگ‌ها به لحاظ کوچک بودن محدوده‌ای که هر نمونه می‌تواند در آن معرف باشد، کار بسیار مشکلی است و درضمن به جهت دسترسی به رخنمون‌های احتمالی، محدوده مورد نظر باید با دقت تحت پوشش پیمایش صحرائی و نمونه‌برداری قرار گیرد. ناگزیر تعداد نمونه‌ها در این روش نسبت به سایر روش‌ها زیادتر بوده و به جهت تعیین نحوه توزیع عناصر نیاز به نمونه-برداری با چگالی زیاد در مناطق امیدبخش می‌باشد. بنابراین سعی شد تا ضمن بازدید از مناطق امیدبخش، نمونه‌برداری از منطقه تحت پوشش پیمایش به دقت انجام گیرد.

## ۶-۳-۱- مشاهدات صحرائی

طی پیمایش‌های صورت گرفته در منطقه، مشاهده گردید که مناطق معرفی شده دارای تنوع سنگی بوده و در یک قسمت کوچک از آن می‌توان چندین نوع لیتولوژی را مشاهده نمود. از میان عمده‌ترین سنگ‌های مشاهده شده در پیمایش‌های صحرائی می‌توان به اسلیت، شیل، ماسه سنگ، کوارتز، کنگلومرا، آندزیت و سنگ‌هایی با ترکیب گرانیتی و دیوریتی اشاره کرد. علاوه بر این، وجود دایک‌های متعدد با ترکیب حد واسط از دیگر ساختارهای شگفت آور منطقه بود. شکل‌های ۶-۱ شمایی از یکی از دایک‌ها را نشان می‌دهد. مسئله دیگر وجود سیلیس به صورت گسترده در منطقه بود که اکثراً به صورت کوارتزیت و بعضاً به صورت رگه‌ای در میان اسلیت‌ها حضور داشتند. شکل ۶-۲ نمونه‌ای از این سیلیس را نشان می‌دهد. محل وجود این مناطق سیلیسی بر نتایج پردازش تصاویر ماهواره‌ای منطبق است.



شکل ۶-۱: رخنمون یک دایک در بالاترین ارتفاعات منطقه (دید به سمت شمال غرب)

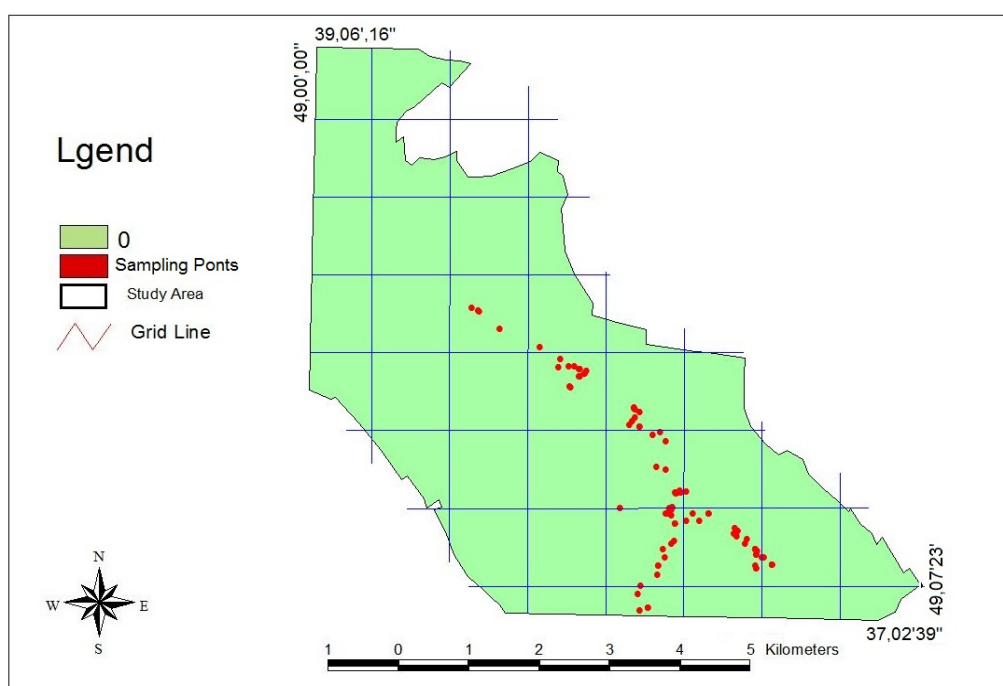


شکل ۶-۲: رخنمون سیلیس در میان اسلیت‌ها

### ۶-۳-۲- حفریات سطحی و نمونه‌برداری

در انجام عملیات نمونه‌برداری سعی شد تا به جهت دسترسی به نمونه‌های غیرهوازه از حفریات سطحی مانند چاهک و ترانشه استفاده شود. همچنین سعی شد تا از تمام دایک‌های مشاهده شده، رخنمون‌های سیلیسی مشاهده شده و نیز از سایر لیتولوژی‌ها به خصوص در موارد مشاهده آثار

کانی سازی احتمالی حد اقل یک نمونه سنگی به صورت لپری - شیاری<sup>۱</sup> برداشت گردد. به طور کلی تعداد ۱۰ نمونه جهت انجام آنالیز ICP، ۱۶ نمونه جهت مطالعه مقطع صیقلی، ۲۲ نمونه جهت مطالعات تیغه نازک و ۳۵ نمونه به منظور آزمایشات XRD برداشت گردید و حتی المقدور سعی شد تا با انجام حفاری های سطحی نظیر ترانشه و چاهک از نمونه های غیرهوازده برداشت شود. در ادامه تعدادی از این حفریات نشان داده شده است. محل تمامی نمونه های برداشت شده در مرحله پیمایش و نمونه برداری در شکل ۳-۶ نشان داده شده است.



شکل ۳-۶: محل برداشت نمونه های ژئوشیمیایی در مرحله پیمایش صحرایی

شکل ۴-۶ چاهک حفر شده در رخنمون سیلیس را جهت برداشت نمونه از زیر سطح نشان می دهد.

<sup>۱</sup> - Chip Sampling



شکل ۴-۶: چاهک حفر شده در رخنمون سیلیسی

شکل ۵-۶: آتار آلتراسیون حاصل از نفوذ دایک و آثار آلتراسیون کلریتی و اپیدوتی را نشان می دهد.

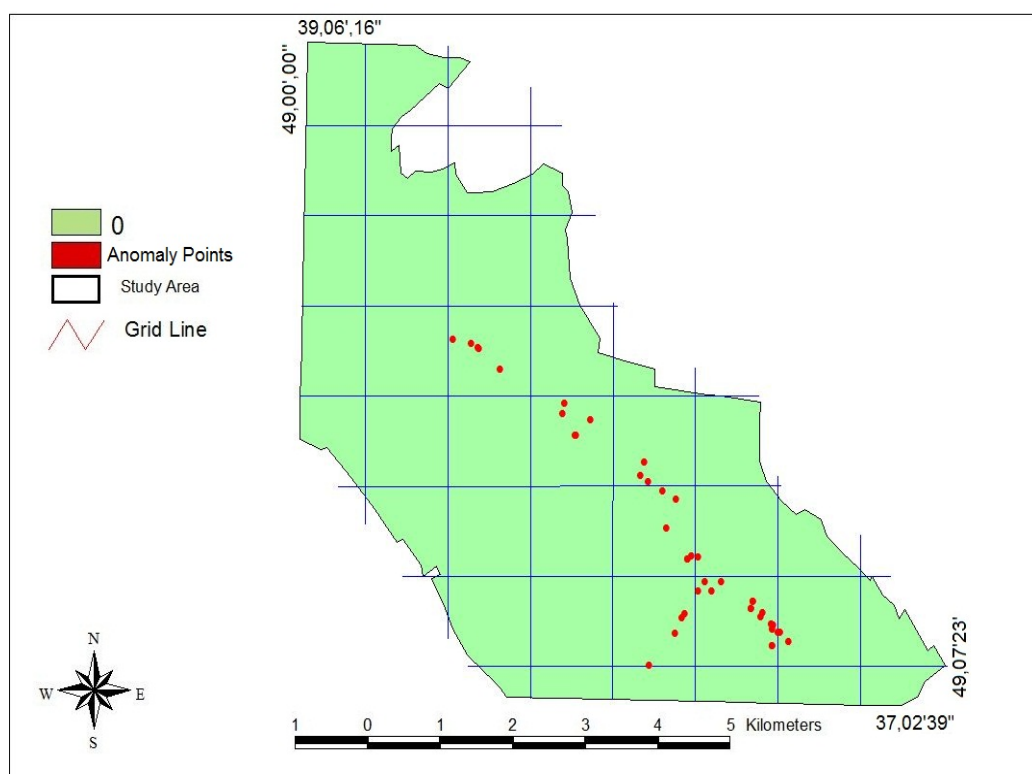


شکل ۵-۶: آثار آلتراسیون کلریتی و اپیدوتی



## ۴-۶- شماره گذاری و آماده سازی نمونه ها

پس از پایان عملیات صحرایی، تعداد ۱۱۰ نمونه با نام های ML1 تا ML110 جهت آنالیز شیمیایی ۴۴ عنصری به روش ICP، تعداد ۱۶ نمونه با نام های MP1 تا MP16 برای تهیه مقطع صیقلی، تعداد ۲۲ نمونه با نام های MT1 تا MT22 جهت تهیه تیغه نازک و همچنین تعداد ۳۵ نمونه با نام های MX1 تا MX35 به منظور انجام آزمایشات XRD شماره گذاری، بسته بندی و به آزمایشگاه ارسال گردیدند. نمونه های آنومال ارائه شده توسط آزمایشگاه به همراه نمونه های دارای ذرات مشکوک به طلا در شکل ۶-۶ نشان داده شده است. نتایج آنالیزهای صورت گرفته، نتایج مطالعات میکروسکوپی روس تیغه نازک و مقاطع صیقلی در پیوست الف آمده است.



شکل ۶-۶: نمونه های آنومال زئوشیمیایی به همراه نمونه های دارای ذرات مشکوک به طلا

نتایج آنالیزهای انجام شده، نشان می دهد که در منطقه آثاری از کانی سازی آهن، پلاتین، طلا و نقره وجود دارد که جزئیات آن در فصل بعدی بیشتر مورد بحث و بررسی قرار می گیرد.

# فصل هفتم

نتایج آنالیز نمونه‌ها

و پردازش ثانویه تصاویر ماهواره‌ای

## ۷-۱- مقدمه

پس از آماده شدن نتایج آنالیز نمونه‌ها، مطالعات لازم بر روی این نتایج صورت گرفت و با توجه به آن پردازش ثانویه داده‌های ماهواره‌ای به کمک روش ماشین برداری پشتیبان انجام گردید. قسمتی از منطقه مورد مطالعه نیز تحت پوشش گیاهی قرار داشت که به دلیل مرتبط نبودن با مطالعات انجام شده، این قسمت از تصویر در دومین مرحله پردازش حذف گردید. پیشنهادات ارائه شده برای این قسمت در فصل هشتم آمده است. نتایج آنالیز نمونه‌ها و مطالعه مقاطع صیقلی و نازک نیز پیوست الف پایان‌نامه می باشد. در ادامه مطالعات صورت گرفته تشریح می‌شود.

## ۷-۲- نمونه‌های بااهمیت بر اساس نتایج آنالیز و مطالعات مقطع نازک

با توجه به نتایج آنالیز شیمیایی و مطالعات میکروسکوپی انجام شده، مهمترین نمونه‌هایی که می‌توانند حائز اهمیت باشند در زیر تشریح می‌شوند.

### ۷-۲-۱- نمونه‌های برداشت شده از توده‌های نفوذی به صورت دایک و رگه

- نمونه‌های ML2، ML3، ML10 و ML11 به همراه نمونه‌های MT15، MT18، MT19، MX30 و MX31 پس از حفر ترانشه و چاهک از دایکی با طولی بیش از ۲۰۰ متر برداشت گردید. نتایج آنالیز و مطالعات مقطع نازک و XRF، نوع دایک را گرانودیوریتی به همراه آلتراسیون‌های کلریتی و اپیدوتی و همچنین دارای کانه‌های فلزی مانند طلا، آهن و نقره به میزان ۱ ppb تعیین نمود. شکل ۷-۱ دایک مورد نظر جهت نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱: رخنمون دایک نمونه برداری شده

- نمونه‌های ML12 و MP14 از دایک دیگری برداشت گردیدند که نتایج مطالعات نوع کانی‌های آن را منیتیت - پیریت - کالکوپیریت و اکسیدهای تیتان تعیین نمود (شکل الف-۳۰).
- نمونه‌های ML17 و MX18 از دایکی برداشت شد که نتایج مطالعات آن را دارای کانی کریکیت و با ترکیب سولفید آرسنیک، بیسموت و سرب و همچنین دارای طلا به میزان ۱۰ ppb نشان داد.
- نمونه‌های ML20 و MT11 از گسل پر شده با توده نفوذی واقع در مرکز منطقه برداشت شدند که نتایج آنالیز و مطالعه نمونه‌ها ترکیب آن را گرانودیوریت با آلتراسیون کربناتی، کلریتی، آرژیلیتی و سربیسیتی تعیین نمود (شکل الف-۹). شکل‌های شماره ۲-۷ و ۳-۷ نمایی از این گسل و اجرای حفاری سطحی جهت نمونه برداری را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲: خردشدگی ناشی از گسلش در توده نفوذی



شکل ۷-۳: حفاری سطحی و نمونه‌برداری از دایک گسل خورده

- در نمونه‌های ML23 و MP10 نتایج مطالعات مقطع صیقلی وجود کانی‌های پیریت، هماتیت و سایر اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و نیز حضور احتمالی طلا را تأیید نمود (شکل الف-۲۶).

- در نمونه‌های ML41 و ML42 و نمونه‌های MX14، MP5 و MT6 نتایج مطالعات نام سنگ را دیوریت و دارای آلتراسیون کلریتی، اپیدوتی، کربناتی و سیلیسی تعیین نمود. علاوه بر این، حضور کانی‌های منیتیت، پیریت، هماتیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن نیز تأیید شد.
- نمونه ML56 دارای طلا به میزان ۳ ppb و نقره به میزان ۴ ppm بود
- نمونه‌های ML70 و MP2 دارای کانی‌های منیتیت، پیریت و کالکوپیریت بودند (شکل الف-۱۷).
- نمونه‌های ML100 و MP9 دارای کانی‌های منیتیت، پیریت، کالکوپیریت و حضور احتمالی طلا بودند.
- نمونه‌های ML101 و MT10 از سنگی برداشت شدند که نتایج آنالیز جنس سنگ را گرانودیوریتی تا تونالیتی و دارای دگرسانی کلریتی تا کربناتی و کانی‌زائی فلزی معرفی کرد (شکل الف-۷).
- نمونه‌های ML102 و MP8 دارای کانی‌های منیتیت، پیریت، کالکوپیریت و حضور احتمالی طلا و نقره بودند.
- نمونه‌های MP3، MP6، MP7، MP8، MP9، MP10، MP12، MP13، MP15 و MP16 دارای ذرات مشکوک به طلا بودند لذا از مختصات و محل قرارگیری این نمونه‌ها جهت تعیین اعتبار مناطق امیدبخش معرفی شده، استفاده گردید (شکل‌های الف-۱۸، الف-۲۱ تا الف-۲۹).

## ۷-۲-۲- نمونه‌های برداشت شده از لیتولوژی‌های مختلف (غیر از دایک‌ها)

- نمونه ML71 به همراه نمونه‌های MT16 و MP15 و MX34 از یک سنگ آذرین اسیدی تا حدواسط خروجی که دارای آلتراسیون شدید کلریتی و اپیدوتی و دارای کانی‌های کالکوپیریت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، حضور احتمالی طلا و نقره و نیز کانی کاراکولیت (کانی سدیم، سرب، کلریت و سولفات) بود، برداشت شد (شکل الف-۳۱).
- نمونه ML76 به همراه نمونه‌های MT9 و MX23 از سنگ کنگلومرا که دارای کلریت، کانی فلزی و حضور طلا به میزان ۲ ppb و نقره به میزان ۱۲ ppm بود، برداشت شده بودند (شکل الف-۹).

- نمونه ML89 به همراه نمونه MX3 دارای طلا به میزان ۱۰ ppb بودند.
- نمونه ML90 به همراه نمونه MX33 دارای طلا به میزان ۳ ppb و نقره به میزان ۹ ppm بودند.

### ۷-۲-۱- مهمترین نمونه‌های برداشت شده با توجه به نتایج آنالیز

- نمونه ML55 به همراه نمونه MX9 دارای طلا به میزان ۱۱ ppb، آهن به میزان بیش از ۰.۵٪، نقره به میزان ۱۶ ppm، اورانیوم به میزان ۲ ppm و حضور کانی‌های مگنتیت، گوتیت، هماتیت و پیریت و همچنین حضور عناصر نادر بود (جدول الف-۲).
  - نمونه ML80 به همراه نمونه MX7 دارای طلا به میزان ۱۷ ppb و نقره به میزان ۵ ppm و همچنین حضور یک کانی آهن و پلاتین بود (جدول الف-۲).
- لازم به ذکر است که در برخی از نمونه‌های دیگر نیز طلا در حد ppb، حضور کانی‌های منیتیت و اورانیوم گزارش شد که با توجه به در الویت نبودن تشریح نگردیدند. (فهرست آنالیز کلیه نمونه‌ها در پیوست الف پایان نامه آمده است).

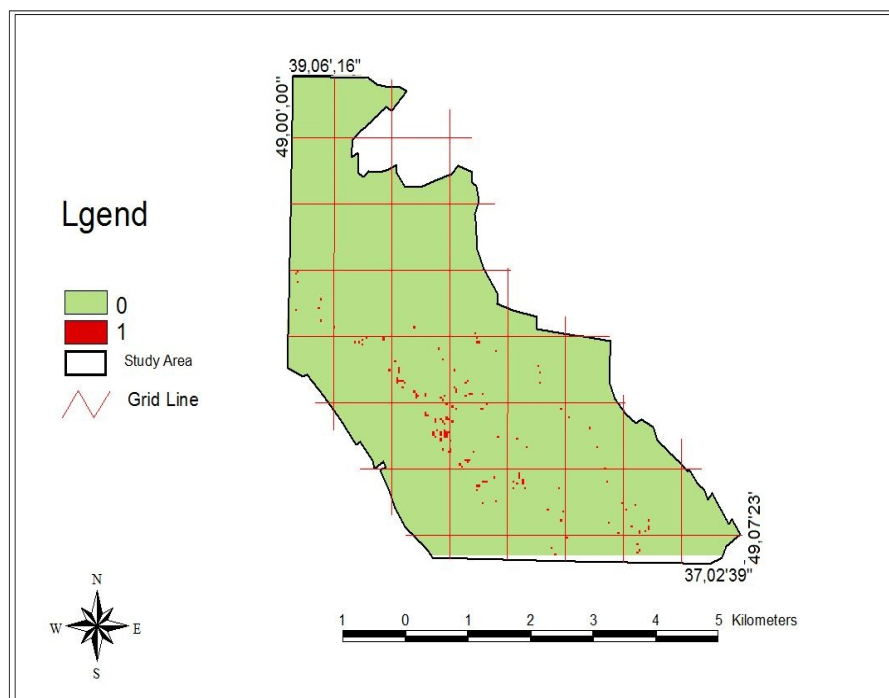
### ۷-۳- پردازش ثانویه تصاویر ماهواره‌ای به کمک روش ماشین برداری پشتیبان

پس از مشخص شدن نتایج مطالعه نمونه‌ها و همچنین انتخاب امیدبخش‌ترین نمونه‌ها سعی شد تا با استفاده از این نمونه‌ها طبقه‌بندی و بررسی مجدد بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه با هدف شناسایی نقاط مشابه نمونه‌های ML55 و ML80 صورت گیرد. در ادامه روش مطالعه صورت گرفته و عملیات انجام شده تشریح می‌شود.

### ۷-۳-۱- طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از اندیس‌های شناخته شده

یکی از روش‌هایی که می‌تواند در شناسایی مناطق امیدبخش اکتشافی یک ناحیه مفید باشد، استفاده از اندیس‌های شناخته شده قبلی به عنوان الگو و شاهد می‌باشد. در چنین شرایطی، ابتدا مختصات اندیس‌های شناخته شده جمع آوری شده و سپس نقاطی که خصوصیات مشابه این اندیس‌ها را دارند، جستجو و معرفی می‌شوند. در مطالعه حاضر نیز مختصات نمونه‌های ML55 و ML80 که رخنمون‌دار نیز می‌باشند به عنوان نمونه‌های شاخص استفاده شد. پس از این مرحله از انعکاس طیفی سلول‌های مورد نظر به عنوان الگو استفاده شده و در نهایت با کاربرد الگوریتم ماشین برداری پشتیبان طبقه‌بندی انجام گردید. از آنجا که ماشین برداری از این قابلیت برخوردار است که با تعداد نمونه‌های کم آموزشی نیز نتایج مناسبی را ارائه نماید، نتایج ارائه شده نسبت به الگوریتم‌های موجود دیگر از دقت و صحت بالاتری برخوردار خواهد بود. ماشین برداری ساخته شده یک ماشین برداری غیرخطی بود که از کرنل گوسین بهره می‌برد، در حالی که مقدار پارامتر گاما برای این کرنل ۰,۱۸ و تابع جریمه ۱۰۰ در نظر گرفته شده بود. جهت دستیابی به مقادیر بهینه پارامترهای فوق، ماشین برداری بارها روی تصویر اعمال شد تا بهترین نتایج ممکن با توجه به محل نمونه‌های دارای ذرات مشکوک به طلا که به عنوان نمونه‌های آزمون و تعیین اعتبار خروجی استفاده شده بودند ارائه شود. ماشین برداری غیرخطی نیز با توجه به نتایج ارائه شده معرفی شد و کرنل گوسین از میان کرنل‌های چند جمله‌ای، خطی و سیگموئیدال به عنوان بهترین کرنل ارائه گردید. البته جهت پیاده‌سازی ماشین برداری از نرم افزار ۴,۵ ENVI استفاده شد که از قابلیت پیاده‌سازی اکثر الگوریتم‌های طبقه‌بندی از جمله ماشین برداری پشتیبان برخوردار است. پس از این مرحله، روی تصویر حاصله پس‌پردازش‌های لازم انجام گردید و به نقاط معرفی شده به عنوان نقاط امیدبخش کد ۱ و به سایر نقاط کد ۰ داده شد که نتیجه آن به صورت یک نقشه باینری در شکل ۷-۴ نشان داده شده است.



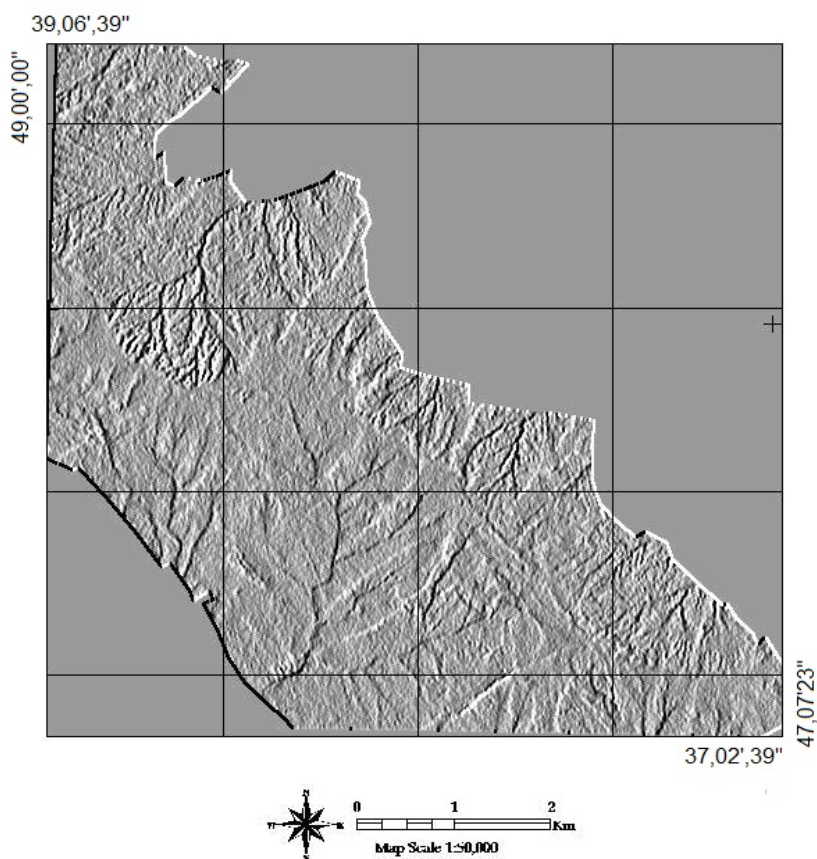


شکل ۷-۴: نقشه دوتایی نشان دهنده محل‌های مشابه انعکاس طیفی نمونه‌های ML55 و ML80 با روش SVM هدف از این طبقه‌بندی مشخص نمودن نواحی مناسب و مشابه محل نمونه‌های ML55 و ML80 بوده که پس از طبقه‌بندی مجدد، کلاس مربوط به نقاط مناسب با کد ۱ و بقیه کلاس‌ها با کد صفر ذخیره شد تا یک نقشه باینری نشان‌دهنده نقاط مناسب برای کانی‌سازی به دست آید.

### ۷-۳-۲- اعمال فیلترینگ جهت شناسایی عوارض خطی

پردازشی که با استفاده از آن درجه‌های روشنایی مشخصی برای ایجاد یک تصویر به کار برده می‌شود، اصطلاحاً فیلترینگ نامیده می‌شود [Gonzalez and Woods, 2002]. در واقع فیلتر کردن نوعی تغییر ارزش طیفی است که در آن ارزش هر پیکسل نسبت به پیکسل‌های همسایه‌اش تغییر می‌کند و تصویر جدیدی می‌سازد که تباین آن با تصویر اصلی متفاوت است. در برخی از تبدیلات مقدار یک پیکسل در تصویر خروجی فقط به مقدار همان پیکسل در تصویر ورودی و عملکرد تابع اعمال شده بستگی دارد که به این نوع از تبدیلات، تبدیلات نقطه‌ای گفته می‌شود [Landgrebe, 2003]. روش‌های مختلف بارسازی تصویر از تبدیلات نقطه‌ای به شمار می‌آیند. دسته‌ای دیگر از تبدیلات نیز

وجود دارند که در آن‌ها مقدار یک پیکسل در تصویر خروجی به به مقادیر پیکسل‌های همسایه‌اش بستگی دارد که به این‌گونه از تبدیلات، تبدیلات همسایگی گفته می‌شود. فیلترها جزء تبدیلات همسایگی به حساب می‌آیند [Liu and Mason, 2009]. فیلترهای مختلفی وجود دارد که هر یک در جایگاه خود و به موقع می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در منطقه مورد مطالعه و در مطالعه حاضر به منظور تشخیص عوارض خطی نظیر گسل‌ها و ساختارهای حلقوی از فیلتر نوع خطی<sup>۱</sup> بر روی تصویر پانکروماتیک<sup>۲</sup> با قدرت تفکیک مکانی ۱۴/۲۵ متر استفاده گردید. این تصویر پس از اعمال فیلتر در شکل ۷-۵ نشان داده شده است.

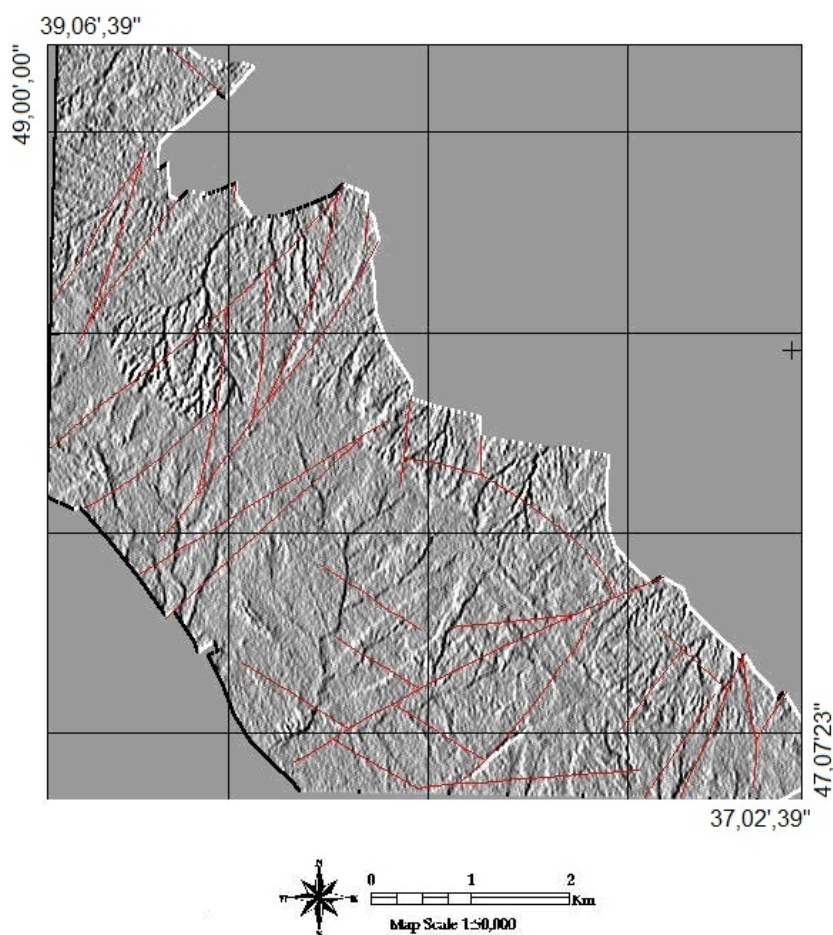


شکل ۷-۵: تصویر pan منطقه مورد مطالعه پس از اعمال فیلتر جهتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۴,۲۵ متر

<sup>۱</sup> -Directional

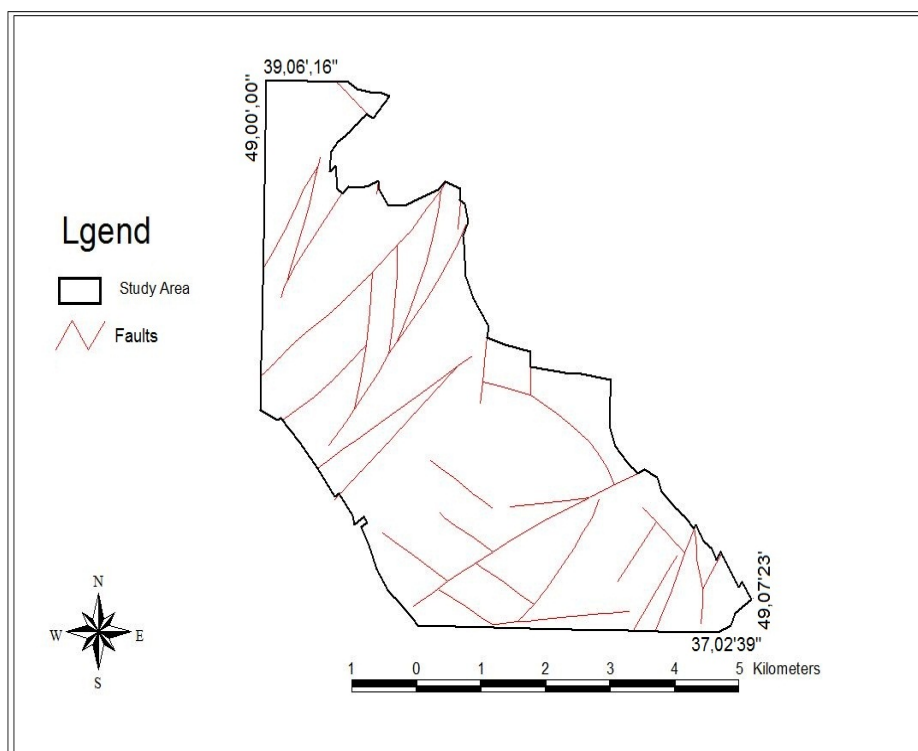
<sup>۲</sup> - Panchromatic

پس از این مرحله با توجه به تصویر فوق و مقایسه با نقشه زمین‌شناسی و نیز مشاهدات صحرایی عوارض خطی بر روی آن شناسایی شدند که در شکل ۶-۷ با رنگ قرمز مشخص می‌باشند.



شکل ۶-۷: تصویر پنکروماتیک منطقه مورد مطالعه و عوارض خطی مشخص شده بر روی آن با رنگ قرمز

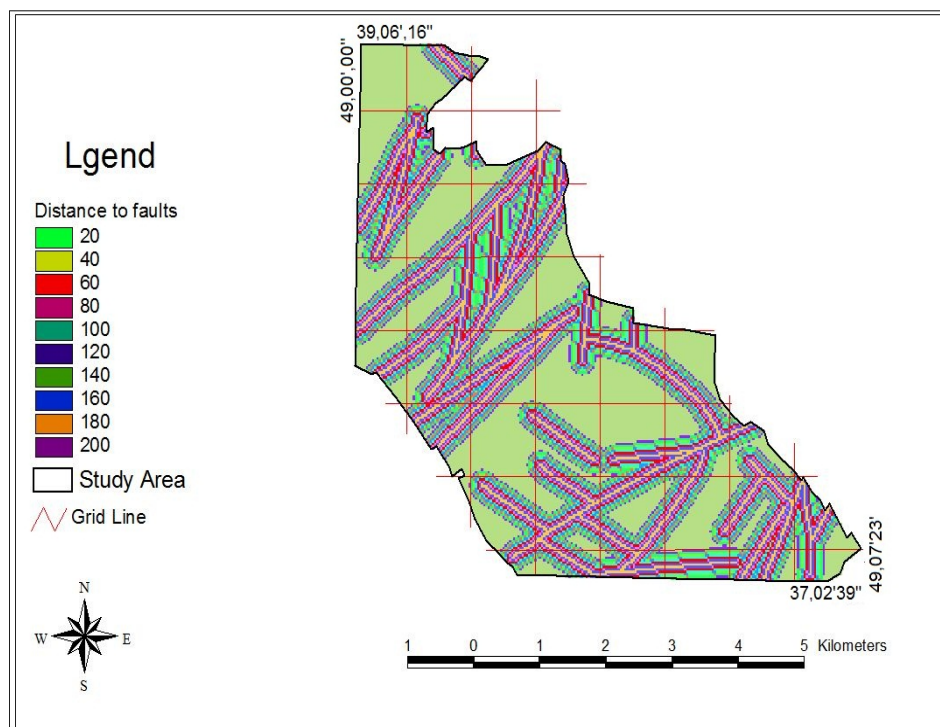
پس از مشخص شدن عوارض خطی، لایه‌ای مجزا ساخته شد که در آن فقط عوارض خطی و گسل‌ها به طور خاص حضور داشته باشند. این لایه به صورت نقشه شکل ۷-۷ نشان داده شده است.



شکل ۷-۷: لایه جداگانه‌ای از گسل‌ها و عوارض خطی منطقه مورد مطالعه

### ۷-۳-۳- تجزیه و تحلیل روی خطواره‌های منطقه

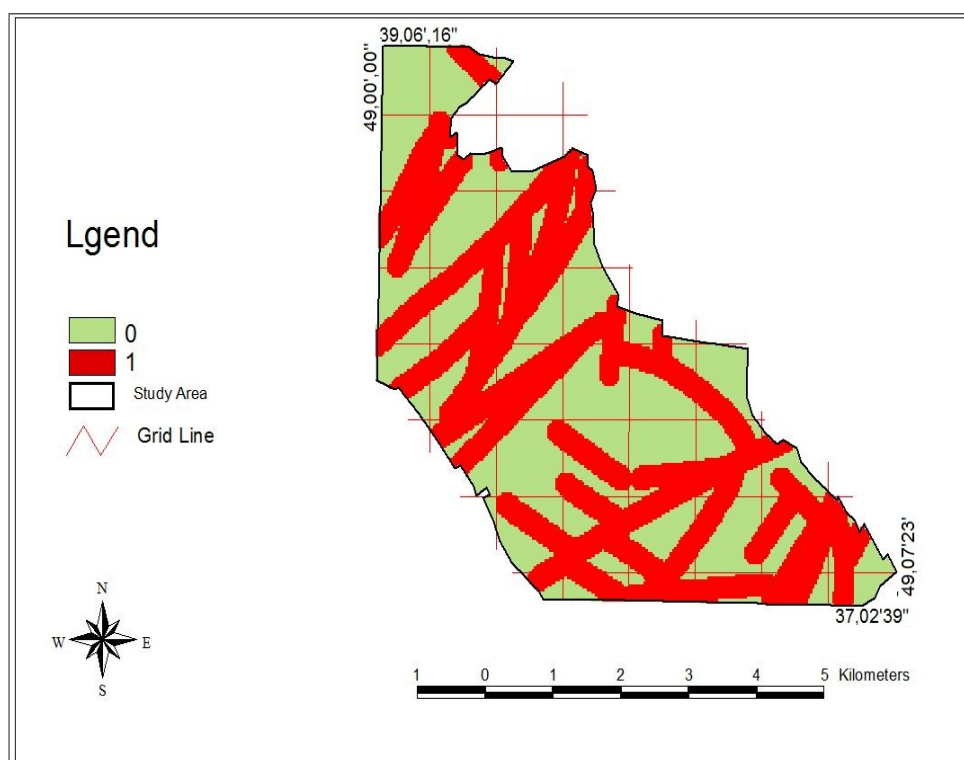
به جهت مشخص شدن وابستگی‌های فضایی بین اندیس شناخته شده (نمونه‌های ML55 و ML80)، به عنوان معیاری برای شناسایی پتانسیل‌های جدید، از تجزیه و تحلیل فاصله از گسل برای به دست آوردن ارتباط گسل‌ها با کانی‌سازی استفاده شد. در این مطالعه ابتدا، کلیه گسل‌های مشخص شده روی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به طور جداگانه رقومی شده و با گسل‌های شناخته شده از طریق پردازش تصویر ماهواره‌ای روی هم قرار داده شد تا یک نقشه مرکب از کل گسل‌ها و ساختارهای خطی شناسایی شده به دست آید. سپس به منظور آماده‌سازی برای تحلیل، روی این نقشه عملیات بافرینگ انجام شده و مناطق تا فاصله ۲۰۰ متری از گسل‌ها به فواصل ۲۰ متر به ۲۰ متر تقسیم شدند. شکل ۷-۸ نقشه حریم‌بندی گسل‌های منطقه را نشان می‌دهد.



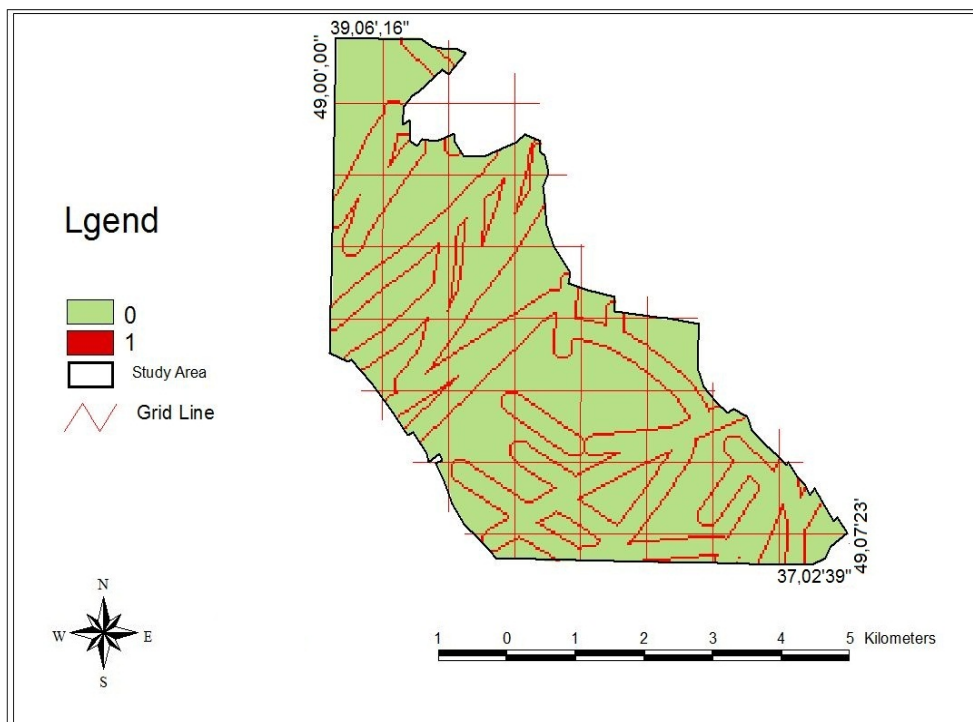
شکل ۷-۸: نقشه حریم بندی گسل‌های منطقه

پس از این مرحله روی نقشه شکل ۷-۸ با توجه به مختصات نمونه‌های ML55 و ML80 مقایسه فواصل مختلف صورت گرفت. نتایج این بررسی مشخص نمود که اندیس شناخته شده (نمونه‌های ML55 و ML80) در فاصله ۱۴۰ متری از گسلی که در قسمت جنوب شرقی منطقه قرار دارد. بنابراین با توجه به این فاصله و در نظر گرفتن یک فاصله اطمینان، بهترین دامنه ۰ تا ۱۶۰ متری تشخیص داده شد. بنابراین با توجه به خروجی این مرحله و به دست آوردن فاصله مناسب، نقشه دوتایی گسل‌های ناحیه مورد بررسی تهیه شد که در آن به فواصل مذکور ارزش ۱ و به بقیه مناطق ارزش ۰ داده شده است (شکل ۷-۹). فرق این نقشه با نقشه شکل ۷-۸ در این است که در این نقشه فاصله ۰ تا ۱۶۰ متر از گسل به عنوان یک معیار اکتشافی انتخاب شده و به آن ارزش ۱ داده شده است در صورتی که در شکل ۷-۸ فقط خود گسل‌ها نشان داده شده است. البته در مطالعه حاضر جهت کوچکتر نمودن منطقه مورد نظر، با توجه به اینکه ممکن است در برداشت مختصات با GPS و همچنین در زمین مرجع نمودن تصویر ماهواره‌ای خطا نیز وجود داشته باشد با در

نظر گرفتن یک بازه اطمینان، می‌توان فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰ متر را نیز به عنوان معیار کانی‌سازی در نظر گرفت. شکل ۷-۱۰ این معیار داده محور را نیز نشان می‌دهد. علاوه بر این، بر اساس ویژگی‌های مشاهده شده در منطقه در مرحله پیمایش و نمونه‌برداری صحرایی و بر اساس داده‌های دانش محوری که عموماً بر اساس نظریه متخصص بیان می‌گردد، فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر گسل‌ها به عنوان معیار کانی‌سازی برای تلفیق با داده‌های دانش محور دیگر انتخاب شد. این نقشه در شکل ۷-۱۱ مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که در این فصل کلیه تحلیل‌ها به صورت رقومی صورت گرفته و هر شکل فقط یک گراف ساده نیست بلکه کلیه نقشه‌ها با مختصات واقعی به صورت زمین مرجع در کامپیوتر ذخیره شده و بنابراین تحلیل‌های مکانی روی آن‌ها به صورت واقعی قابل انجام بوده است.



شکل ۷-۹: نقشه دوتایی گسل‌ها با توجه به فواصل مناسب از کانی‌سازی بر اساس اطلاعات داده محور (فاصله ۰ تا ۱۶۰ متر)



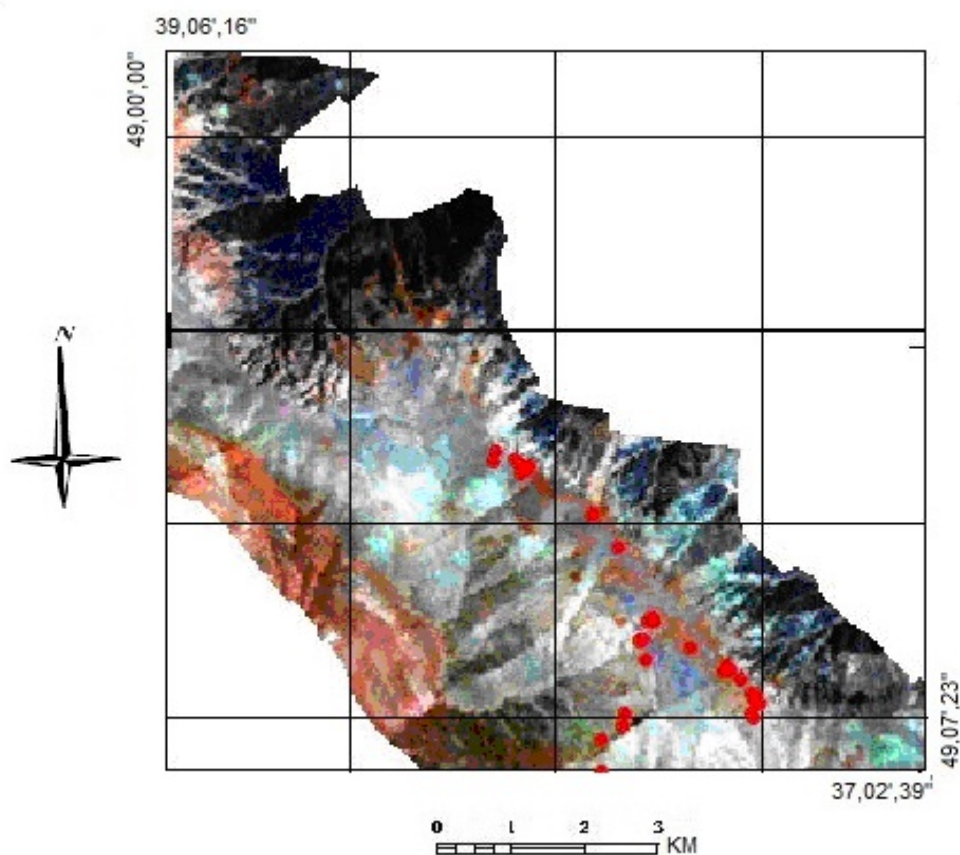
شکل ۷-۱۰: نقشه دوتایی گسل‌ها با توجه به فواصل مناسب از کانی‌سازی بر اساس اطلاعات داده محور (فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰)



شکل ۷-۱۱: نقشه دوتایی گسل‌ها با توجه به معیار صفر تا ۱۰۰ متر دانش محور

### ۷-۳-۴- تجزیه و تحلیل روی دایک‌های شناسایی شده

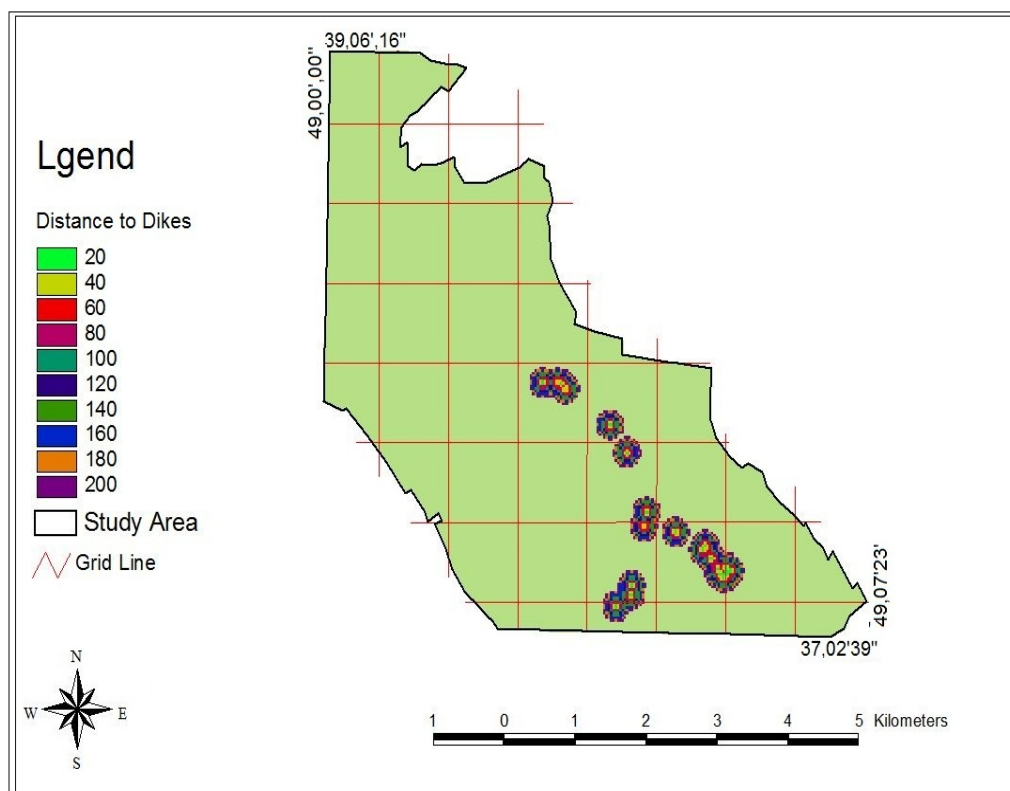
با توجه به دایک‌های شناسایی شده در مرحله پیمایش، عملیات صحرایی و نمونه‌برداری از منطقه مورد مطالعه، در گام اول این دایک‌ها به نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه اضافه گردید. این نقشه در شکل ۷-۱۲ مشاهده می‌شود. از آنجا که توده‌های نفوذی (دایک‌های منطقه) نیز یک معیار کانی‌سازی محسوب می‌شوند [کریم پور، ۱۳۶۸] و توجه به این نکته که نتایج مطالعه نمونه‌های برداشت شده از دایک‌ها، این توده‌های غیرهمشیب را عموماً دارای ذرات طلا، نقره و ... معرفی نموده بود [یوسفی، ۱۳۸۳]، سعی شد تا با تجزیه و تحلیل روی این دسته از دایک‌ها از آن‌ها به عنوان مناطق امیدبخش دیگری برای کانی‌سازی استفاده شود. شکل ۷-۱۳ دایک‌های شناسایی شده را بر روی تصویر با ترکیب رنگی RGB=1,7,5 نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۳: محل دایک‌های شناسایی شده بر روی تصویر با ترکیب رنگی RGB=1,7,5



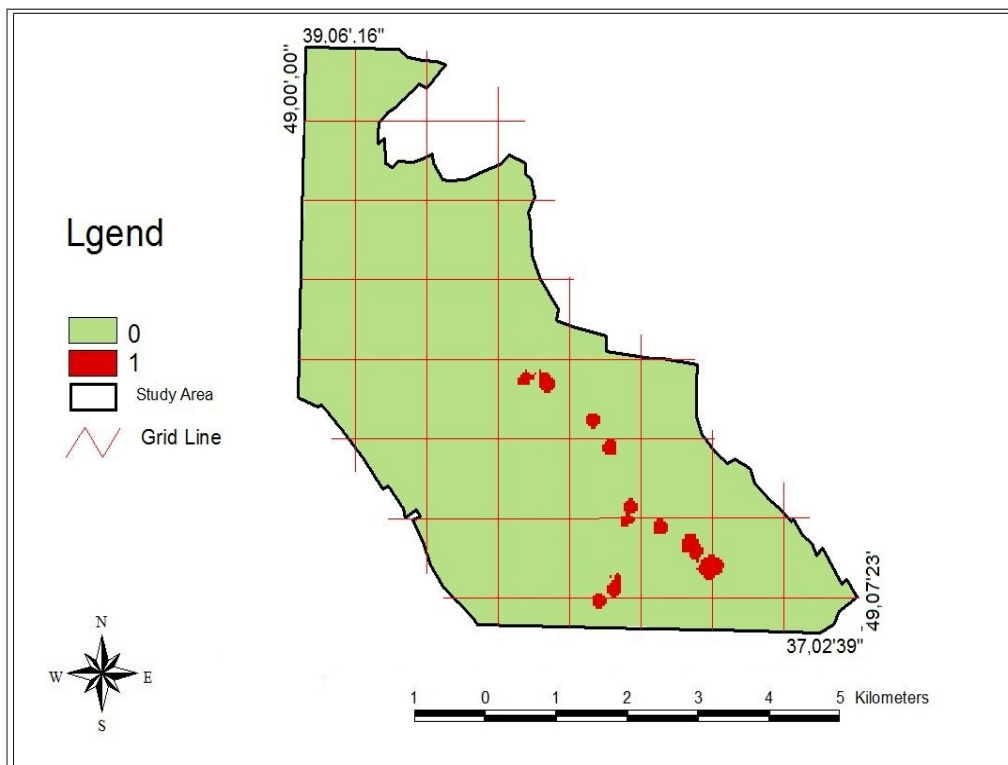
جهت تعیین مناطق امیدبخش بر اساس فاصله مناسب از دایک، ابتدا دایک‌های مشخص شده روی نقشه زمین‌شناسی شکل ۷-۱۳ به طور جداگانه رقومی شده و سپس روی این نقشه عملیات حریم‌بندی انجام شد. در این مرحله مناطق تا فاصله ۲۰۰ متری از دایک‌ها به فواصل ۲۰ متر به ۲۰ متر طبقه‌بندی شدند. شکل ۷-۱۴ نقشه حریم‌بندی دایک‌های شناسایی شده در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۱۴: نقشه حریم‌بندی دایک‌های شناسایی شده منطقه

پس از این مرحله با توجه به ویژگی‌های دایک‌های شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه در مرحله پیمایش صحرائی و عملیات صحرائی، با تکیه بر مشاهدات صحرائی در مرحله پیمایش صحرائی و تکیه بر روش دانش‌محور، بهترین فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر از دایک‌ها به عنوان معیار امیدبخش بودن تشخیص داده شد. بنابراین با توجه به شکل ۷-۱۴ و معیار فاصله مناسب، نقشه دوتایی از دایک‌های

ناحیه مورد بررسی تهیه شد که در آن به فواصل مذکور ارزش ۱ و به بقیه مناطق ارزش ۰ داده شده است. این نقشه در شکل ۷-۱۵ نشان داده شده است.



شکل ۷-۱۵: نقشه دوتایی امیدبخش بر اساس معیار فاصله ۰ تا ۱۰۰ متر از دایک‌های شناسایی شده

همان‌گونه که در شکل ۷-۱۵ مشاهده می‌شود، فاصله ۰ تا ۱۰۰ متری از دایک‌های شناسایی شده به عنوان مناطق امیدبخش برای مطالعات بیشتر معرفی شده است. در فصل بعدی با جمع‌بندی و تلفیق نتایج به دست آمده، مناطق امیدبخش نهایی از کانی‌سازی منطقه معرفی و پیشنهادات لازم برای ادامه کار ارائه خواهند شد.

# فصل هشتم

تلفیق نتایج، نتیجه‌گیری و  
پیشنهادات

## ۸-۱- مقدمه

در این فصل با توجه به مطالعات انجام شده و تلفیق نتایج حاصل، ابتدا بهترین مناطق امیدبخش معرفی می‌شود و سپس با نتیجه‌گیری‌های لازم پیشنهاداتی برای ادامه عملیات اکتشافی ارائه خواهد شد.

## ۸-۲- تلفیق نتایج و ارائه نقشه پیش‌بینی مناطق امیدبخش

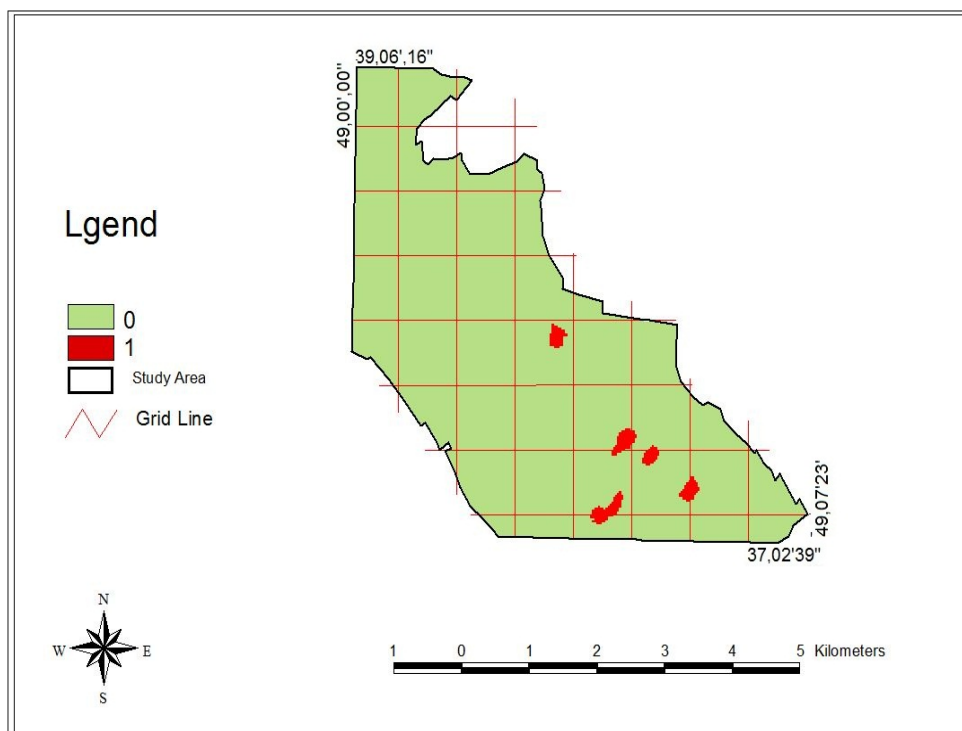
پس از تهیه کلیه نقشه‌هایی که قادر به معرفی مناطق دارای پتانسیل کانی‌سازی بودند، سعی شد تا نقشه‌های حاصل از مطالعات داده‌محور (بر اساس داده‌های موجود) و دانش‌محور (بر اساس مطالعه و نظر متخصص) با یکدیگر تلفیق شوند تا مناطقی امیدبخشی معرفی شود که توسط چند معیار کانی‌سازی مختلف تایید شده باشد.

### ۸-۲-۱- تلفیق نقشه‌های دوتایی و مدل پیش‌بینی مناطق امیدبخش بر اساس دو معیار دانش‌محور فاصله صفر تا ۱۰۰ متر از دایک و گسل

با توجه به نقشه‌های دوتایی دانش‌محور مناطق مناسب برای دایک‌ها و گسل‌ها، این دو نقشه با استفاده از ترکیب‌های منطقی And نشان داده شده در جدول ۸-۱ ترکیب شده و نقشه شکل ۸-۱ به صورت یک نقشه نشان‌دهنده نواحی امیدبخش در اولویت با کد ۱ و نواحی غیر امیدبخش با کد ۰ به دست آمد.

جدول ۸-۱: ترکیب‌های منطقی And

A	B	A and B
۱	۱	۱
۰	۱	۰
۱	۰	۰
۰	۰	۰

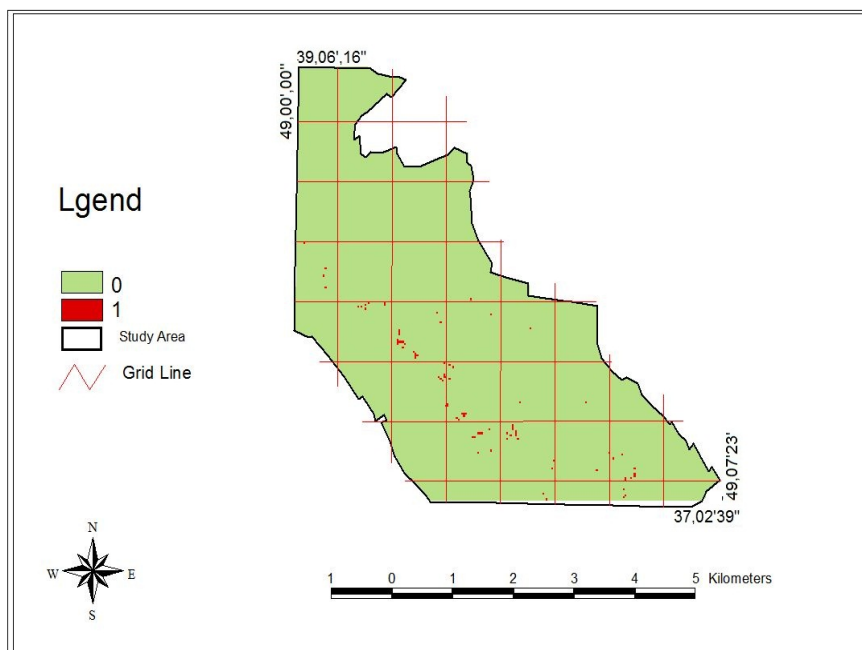


شکل ۸-۱: نواحی امیدبخش به دست آمده با کاربرد دو معیار دانش محور فاصله از گسل‌ها و دایک‌های منطقه

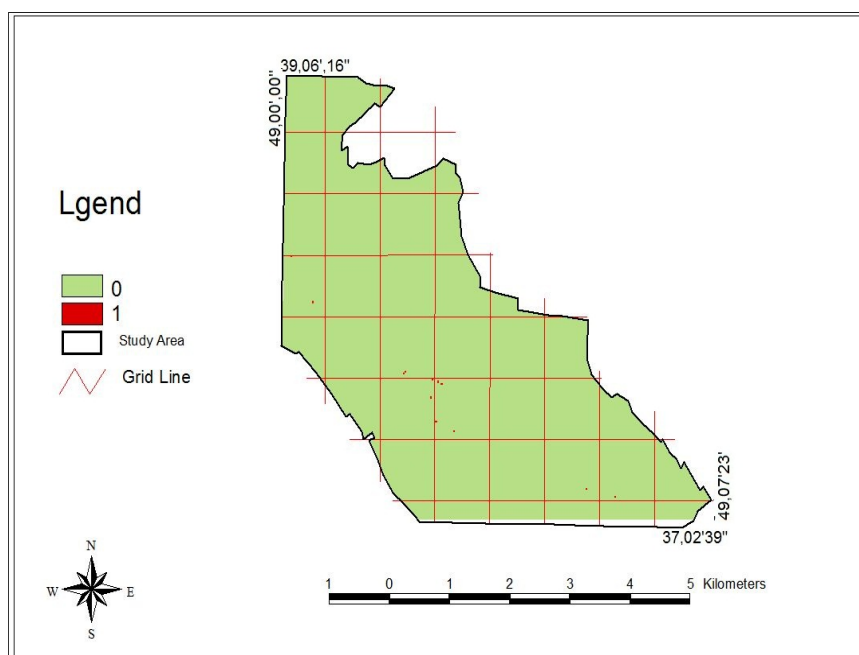
همان‌طور که در شکل ۸-۱ مشاهده می‌شود، مناطق امیدبخش با رنگ قرمز و با کد ۱ جدا شده‌اند و مساحت مناطق امیدبخش معرفی شده بر اساس این دو معیار بسیار کوچکتر از نقشه‌های قبلی است.

## ۸-۲-۲- تلفیق نقشه‌های دوتایی و مدل پیش‌بینی مناطق امیدبخش بر اساس دو معیار داده‌محور طبقه‌بندی ماشین برداری و فاصله مناسب از گسل‌ها

پس از انجام کلیه مطالعات انجام شده بر اساس معیارهای داده‌محور، به منظور معرفی مناطق امیدبخش به صورت متمرکز، با انطباق نقشه شکل ۷-۶ که حاصل تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی نظارت شده ماشین برداری پشتیبان با استفاده از معیار اندیس به دست آمده توسط آنالیز نمونه‌های ML55 و ML80 می‌باشد و نیز نقشه شکل ۷-۱۱ که حاصل تجزیه و تحلیل روی گسل‌ها است، بهترین مناطق امیدبخش بر اساس داده‌های داده‌محور به صورت نقشه‌های شکل ۸-۲ و ۸-۳ معرفی شد. این نقشه‌ها می‌توانند به عنوان نقشه‌های نشان‌دهنده مناطق امیدبخش استفاده شوند.



شکل ۸-۲: نقشه دوتایی نشان دهنده مناطق امیدبخش بر اساس دو معیار داده‌محور فاصله ۰ تا ۱۶۰ متر از گسل و نتایج طبقه‌بندی با روش SVM

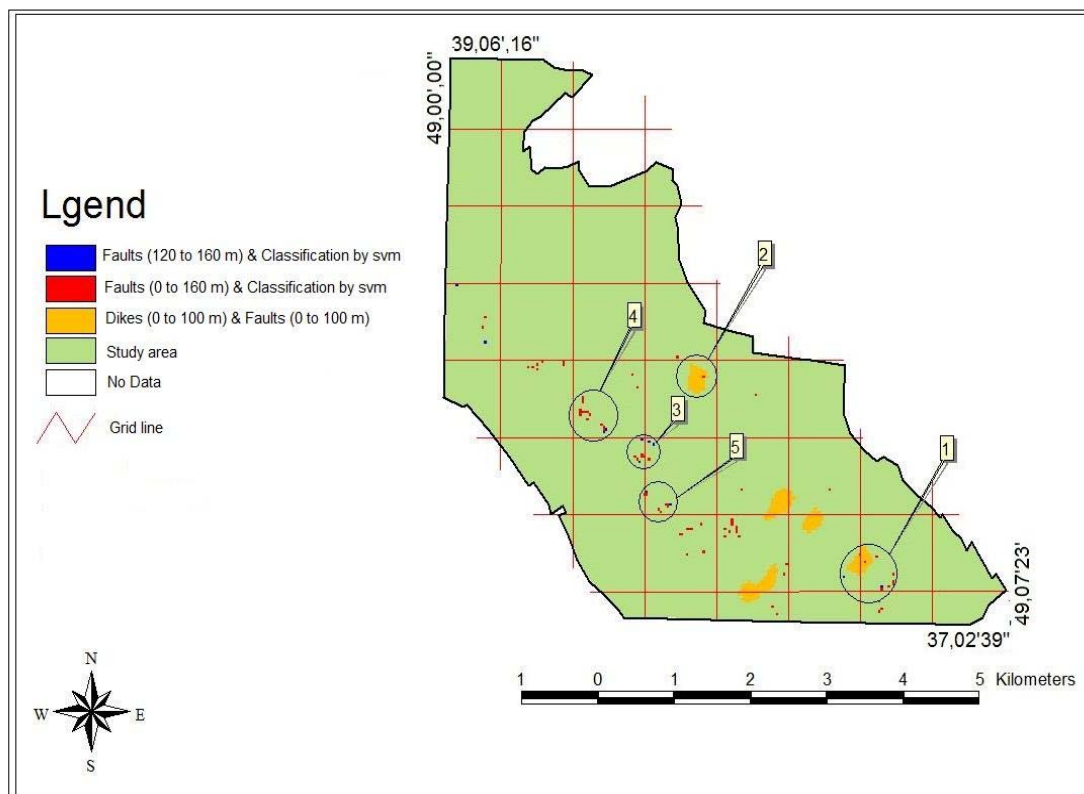


شکل ۸-۳: نقشه دوتایی نشان دهنده مناطق امیدبخش بر اساس دو معیار داده‌محور فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰ متر از گسل و نتایج طبقه‌بندی با روش SVM

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، شکل ۸-۲ نشان دهنده مناطق امیدبخش بر اساس دو معیار فاصله ۰ تا ۱۶۰ متری از گسل با طبقه‌بندی ماشین برداری پشتیبان است و شکل ۸-۳ نقشه امیدبخش حاصل از تلفیق نقشه‌های حاصل از دو معیار فاصله ۱۲۰ تا ۱۶۰ متری از گسل با طبقه‌بندی ماشین برداری پشتیبان می‌باشد که هر کدام به تنهایی می‌توانند به عنوان مناطق در اولویت اکتشافی مورد استفاده قرار گیرند.

### ۸-۲-۳- تلفیق کلیه نقشه‌ها و معرفی مناطق امیدبخش به ترتیب اولویت

در نهایت، جهت تلفیق کلیه نقشه‌های امیدبخش ارائه شده توسط معیارهای داده‌محور (شکل‌های ۸-۲ و ۸-۳) و دانش‌محور (شکل ۸-۱) و معرفی مناطق امیدبخش نهایی، تمامی نقشه‌های امیدبخش رو هم قرار داده شدند. این نقشه که نشان دهنده مناطق امیدبخش اکتشافی به ترتیب اولویت می‌باشد در شکل ۸-۴ مشاهده می‌شود.



شکل ۸-۴: نقشه نشان دهنده مناطق امیدبخش اکتشافی به ترتیب اولویت

## ۸-۳- نتیجه‌گیری

با بررسی‌های انجام شده توسط روش‌های مختلف در فصل‌های قبل و همچنین با توجه به نقشه امیدبخش شکل ۸-۴، نتایج زیر قابل استنتاج است.

- همان‌طور که در شکل فوق‌الذکر مشاهده می‌شود، تعداد ۵ منطقه امیدبخش برای اکتشاف مواد معدنی معرفی شده است که به ترتیب اولویت در زیر آورده شده‌اند.

- منطقه ۱: با توجه به اینکه در این منطقه نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته بر اساس معیار داده محور فاصله مناسب از گسل، طبقه‌بندی نظارت شده با ماشین برداری، آنالیز شیمیایی، مطالعه دو نمونه برداشت شده و معیار دانش محور فاصله از دایک و گسل، همدیگر را تأیید می‌کنند و وجود کانی‌سازی توسط همگی این معیارها تأیید می‌گردند، این منطقه در اولویت اول قرار می‌گیرد.

- منطقه ۲: این منطقه با توجه به نتایج بکارگیری معیار داده محور فاصله ۰ تا ۱۶۰ متری از گسل و طبقه‌بندی با ماشین برداری و معیار دانش محور فاصله مناسب از دایک و گسل در اولویت دوم مطرح می‌گردند.

- مناطق ۳، ۴ و ۵: این مناطق با توجه به دو همپوشانی دو معیار داده محور فاصله مناسب از گسل و طبقه‌بندی با ماشین برداری جزء مناطق امیدبخش معرفی شده‌اند.

- علاوه بر ۵ منطقه معرفی شده، کلیه نقاط معرفی شده در نقشه شکل ۸-۴ به تنهایی جزء مناطق امیدبخش محسوب می‌شوند. همچنین دایک‌های گرانودیوریتی منطقه نیز با توجه به مطالعات تیغه نازک و مقطع صیقلی دارای کانی‌های فلزی بوده و بعضاً در آنها ذرات طلا دیده شده است، بنابراین محل حضور دایک‌های فوق‌الذکر قابل بررسی بوده و در مطالعات بعدی می‌توانند مورد اکتشافات متمرکزتر قرار گیرند. البته لازم به ذکر است که مقدار طلا در نمونه‌های برداشت شده از دایک‌ها در حد ppb می‌باشد ولی از آنجا که نمونه‌برداری برای طلا بسیار حساس بوده و برای سنجش آن روش-



های دقیق اندازه‌گیری نیاز است بررسی روند تغییرات عناصر نسبت به عمق در این دایک‌ها می‌تواند مفید باشد.

- با توجه به اینکه سیلیس در منطقه فراوان بوده و از گستردگی خوبی برخوردار است، امکان استفاده از این پتانسیل‌ها نیز قابل بررسی می‌باشد.

- با توجه به کلیه مطالعات انجام شده در منطقه، احتمال وجود ذخایر آهن و پلاتین در درجه اول، طلا و نقره در درجه دوم و عناصر کمیاب و اورانیوم در درجه سوم اهمیت قرار دارد.

## ۸-۴- پیشنهادات

با توجه به بکارگیری روش ماشین برداری پشتیبان که در مطالعه حاضر از آن به عنوان مرحله شناسایی استفاده شده، نتایج مطلوبی حاصل شده است که می‌تواند با استفاده از قابلیت روش‌های اکتشافی مختلف برای اکتشاف تفصیلی معرفی شوند. علاوه بر این، پیشنهادات زیر نیز ارائه می‌شود.

۱- با توجه به استفاده از روش ماشین برداری که جزء روش‌های هوشمند است، پیشنهاد می‌شود که از دیگر روش‌های هوشمند مانند شبکه عصبی و عصبی- فازی برای تحلیل داده‌ها استفاده گردد و نتایج حاصله با نتایج حاصل از ماشین برداری پشتیبان که در این پایان نامه به آن اشاره شده است، مقایسه شوند تا نقاط ضعف و قوت این روش بیشتر نمایان گردد.

۲- با توجه به این مطلب که در مطالعه حاضر و جهت آموزش ماشین برداری پشتیبان از تعداد نمونه‌های آموزشی کمی استفاده شده است و نتایج مناسبی ارائه شده است، پیشنهاد می‌شود که از این روش در مناطقی با داده‌های بیشتر استفاده شود تا قابلیت آن در ارائه نتایج مطلوب بیشتر مورد بررسی قرار گیرد.

۳- در مورد ادامه عملیات اکتشافی در مناطق امیدبخش معرفی شده در نقشه شکل ۸-۴ ابتدا باید طی یک سری عملیات پیمایش و بازدید از مناطق معرفی شده، نمونه‌برداری‌های لازم صورت گیرد تا وضعیت این مناطق از نظر داشتن پتانسیل مشخص گردد. لازم به ذکر است که با توجه به اینکه از

منطقه ۱ مشخص شده در نقشه ۸-۴ دارای الویت از نظر کانی‌سازی است، می‌توان عملیات اکتشافی زیر را برای آن اجرا نمود.

- بازدید مجدد از این منطقه به جهت بررسی وضعیت گسترش رخنمون‌ها در سطح

- اجرای حفاری‌های سطحی به صورت ترانشه و چاهک در محل نمونه‌های ML55 و ML80 و مناطق امید بخش معرفی شده

۴- مطالعه اولیه بر روی دایک‌های نشان داده شده در شکل ۷-۱۳ با توجه به آنالیزهای انجام شده و انتخاب بهترین آن‌ها از نظر بالا بودن میزان عناصر، وضعیت آلتراسیون، ضخامت، گسترش و وضعیت قرارگیری و ...

۵- از آنجا که مناطق شمالی و شرقی منطقه مورد مطالعه دارای پوشش جنگلی بسیار متراکم می‌باشد، روش سنجش از دور با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نمی‌تواند برای این مناطق استفاده شود، بنابراین پیشنهاد می‌شود در این مناطق در ابتدا از روش ژئوشیمی رسوبات رودخانه‌ای در اکتشافات مقدماتی استفاده شود.

## منابع

- حسینی پاک علی اصغر، (۱۳۸۰)، "نمونه برداری معدنی"، انتشارات دانشگاه تهران
- درویش زاده ع.، (۱۳۷۰) "زمین شناسی ایران"، نشر دانش امروز
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ انزلی"
- طاهرکیا ح.، (۱۳۷۵) "اصول و کاربرد سنجش از دور"، چاپ اول، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه تهران، ۴۸۰ صفحه
- علوی پناه ک.، (۱۳۸۲) "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)"، دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ، ۴۷۸ صفحه.
- کریم پور م.ح.، (۱۳۶۸) "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات جاوید
- مؤسسه جغرافیائی و کارتوگرافی گیتاشناسی، (۱۳۸۵) "اطلس راه‌های ایران"، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰۰
- یعقوب پور ع.م.، (۱۳۶۷) "مبانی زمین شناسی اقتصادی"، مرکز نشر دانشگاهی تهران
- یوسفی مهیار، ۱۳۸۳، شناسایی پتانسیل های معدنی جنوب شرق ماسوله گیلان، مهندسان مشاور پارس پی آزما
- Abbaspour A. and Baramake L.H. (2006). "Application of principle component analysis artificial neural network for simultaneous determination of zirconium and hafnium in real samples", **Spectrochimica Acta Part A** 64, 477–482.
- Abe S, (2005). "**Support Vector Machines for Pattern Classification**", Kobe University, Kobe, Japan, Springer.
- Agarwala S., Vijaya Saradhib V., Karnick H. (2008). "Kernel-based online machine learning and support vector reduction", **Neurocomputing** 71, pp 1230–1237.
- Arun Kumar M., Gopal M. (2008). "Application of smoothing technique on twin support vector machines", **Pattern Recognition Letters** 29, pp 1842–1848.
- Barret E.D. and Curtist F. (1992). "**Introduction to Environmental remote sensing**", Chapman & Hall, London

Bell A. J. and Sejnowski T. J. (1999). "The 'Independent Components' of natural scenes are edge filters", **Vision Research**, Vol. 37:23, pp. 3327-3338.

Bishop C. M. (2006). "**Pattern Recognition and Machine Learning**", Springer.

Bonham-Carter, G.F. (1995), "**Geological applications of GIS mineral mapping**", CRCAMET, Department of exploration Geophysics: Curtin University of Technology, Western Australia.

Burbidge R, Trotter M, Buxton B, Holden S. (2001). "Drug design by machine learning: support vector machines for pharmaceutical data analysis". **Computers and Chemistry** 26, 5–14

Chartiera S., Renaud P., Boukadoum M. (2008). "A nonlinear dynamic artificial neural network model of memory", **New Ideas in Psychology** 26, 252–277

Chen B. and Wang J. (2007). "Global exponential periodicity and global exponential stability of a class of recurrent neural networks with various activation functions and time-varying delays", **Neural Networks** 20, 1067–1080

Chen C. H. and Zhang X. (1999). "Independent component analysis for remote sensing study," **Proceedings of SPIE**, vol. 387, pp. 150-158.

Chih-Hung W., Gwo-Hshiung T., Rong-Ho L. (2009). "A Novel hybrid genetic algorithm for kernel function and parameter optimization in support vector regression", **Expert Systems with Applications** 36, pp 4725–4735.

Common P. (1994). "Independent component analysis, a new concept" **Signal Processing**, 36(3):287–314, Special Issue on High-order Statistics.

Cristianini N., Shawe-Taylor J. (2000). "**An Introduction to Support Vector Machines (and other kernel-based learning methods)**", Cambridge University Press, UK.

De Geoffroy J.G. and Wignall T.K. (1988). **Designing optimal strategies for mineral exploration**, Plenum Press, Nework.

Duda R. A., Hart P. E. & Stork D. G. (2002). "**Pattern Classification**", Springer.

Er M.J. and Zhou Y. (2009). "**Theory and Novel Applications of Machine Learning**", Published by In-The.

Eryarsoy E., Koehler, Gary J., Aytug H. (2009). "Using domain-specific knowledge in generalization error bounds for support vector machine learning", **Decision Support Systems** 46, pp 481–491

Gonzalez R. C., Woods R. E. (2002) "**Digital Image Processing**". Second Edition, Prentice Hall.

Grim J, Hora J. (2008). "Iterative principles of recognition in probabilistic neural networks", **Neural Networks** 21, 838–846

Hall D.L. (1992). "**Mathematical Techniques in Multisensor Data Fusion**", Boston, MA: Artech House.

Hall D.L (1997). "An Introduction to Multisensor Data Fusion," **Proceedings of the IEEE**, Vol. 85, No. 1, pp. 6-23.

Huang Te-Ming., Kecman V. (2006). "**Kernel Based Algorithms for Mining Huge Data Sets**", Faculty of Engineering The University of Auckland, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Huanga Z, Chena H, Hsua Ch, Chenb W, Wu S. (2004). "Credit rating analysis with support vector machines and neural networks: a market comparative study" **Decision Support Systems** 37, 543– 558.

Hwei-Jen L., Jih Pin Y. (2009). "Optimal reduction of solutions for support vector machines", **Applied Mathematics and Computation** 214, pp 329–335.

Hyvärinen A., (1999a). "Survey on Independent Component Analysis", **Neural Computing Surveys**, Vol. 2, pp. 94-128.

Hyvarinen, A. (1999b) "Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis", **IEEE Trans. on Neural Networks**, Vol. 10, Issue 3, May 1999, pp. 626-634

Hyvärinen A. and Oja E. (2000). "Independent Component Analysis: Algorithms and Applications", **Neural Networks**, Vol. 13:4-5, pp. 411-430.

Landgrebe D A. (2003). "**Signal theory methods in multispectral remote sensing**", John Wiley and Son.

Lee T. W. (1998). "**Independent Component Analysis. Theory and Applications**" Kluwer Academic Publishers.

Li H., Manjunath B. A., Mitra S. K. (1995). "Multisensor Image Fusion Using the Wavelet Transform," **Graphical Models and Image Processing**, Vol. 57, No. 3, May, pp. 235-245.

Lia Q., Licheng J., Yingjuan H. (2007). "Adaptive simplification of solution for support vector machine", **Pattern Recognition** 40, pp 972 – 980.

Lillesand T.M and Chipman J.W and Kiefer P.W. (2000). "**Remote sensing and image interpretation**", 4th Edition, John Willey & Sons, u.s.

Liu, J. G; Mason, P. J. (2009). "**Essential Image Processing and GIS for Remote Sensing**", John Wiley & Sons Ltd.

LIU W, WANG R, ZHENG X. (2008). "Estimating coal reserves using a support vector machine". **J China Univ Mining & Technol** 18, 0103–0106

Loughlin, W.P. (1991). "**Principal component analysis for alteration mapping**". The eighth thematic conference on geologic remote sensing, Denver, Colorado, USA, p.11.

-Mackiewicz A. and Ratajczak W. (1993). "Principal Components Analysis (PCA)", **Computers & Geosciences**, vol.19, pp303-342.

Marques de Sa J. P. (2001). **Pattern Recognition**, Springer

Martinez-Ramon, M. (2006). "**Support Vector Machines for Antenna Array Processing and Electromagnetic**", Universidad Carlos III de Madrid, Spain, Morgan & Claypool, USA.

Navvab Kashani M. and Shahrokh Shahhosseini. (2010). "A methodology for modeling batch reactors using generalized dynamic neural networks", **Chemical Engineering Journal** 159, 195–202

Oliveira R. (2004). "Combining first principles modeling and artificial neural networks: a general framework", **Computers and Chemical Engineering** 28, 755–766

Özgen Karacan C. (2008). "Modeling and prediction of ventilation methane emissions of U.S. longwall mines using supervised artificial neural networks", **International Journal of Coal Geology** 73, 371–387

Panda B.C. (2005). "**Remote Sensing Principles And Applications**", VIVA Books Private limited New Delhi, Mumbai, Chennai, Bangalore. Hyderabad.

Peli T., Peli E., Ellis K., Stahl R. (1999). "Multi-Spectral Image Fusion for Visual Display", **SPIE** vol. 3719 Sensor Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications III, pp359-368.

Quang-Anh, T., Xing L., Haixin D., (2005). Efficient performance estimate for one-class support vector machine, *Pattern Recognition Letters* 26, pp1174–1182.

Remote sensing and Image processing ENVI software. (2008). <http://www.ittvis.com/envi>

Richards J. A., Jia X. (1998). "**Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction**", New York, NY: Springer.

Rowan L.C., Goetz A.F.H., Ashley R.P. (1977). "Discrimination of hydrothermally altered and unaltered rocks in visible and near infrared multispectral images". **Geophysics** 42 (3), 522–535.

Sanchez D. V. (2003). Advanced support vector machines and kernel methods, *Neurocomputing* 55, pp 5 – 20.

Singh A, and Harrison A. (1985). "Standardized Principal Components", **International Journal of Remote Sensing**, 6, 883-896.

Singh A., Eklundh L., (1993). "A Comparative Analysis of Standardized and Unstandardised Principal Components Analysis in Remote Sensing", **International Journal of Remote Sensing**, 14, 1359-1370.

Stefano M., Giuseppe J. (2006). "Terminated Ramp–Support Vector Machines: A nonparametric data dependent kernel," **Neural Networks** 19, pp 1597–1611.

Steinwart I. (2008). "**Support Vector Machines**", Los Alamos National Laboratory, information Sciences Group (CCS-3), Springer Science+Business Media, LLC.

Theodoridis S., Koutroumbas K. (2006). "**Pattern recognition**", Elsevier.

Theodoridis S., Kourtombas K. (2010). "**An introduction of pattern recognition**", Academic Press

Tripathi Shivam, Srinivas V.V, Nanjundiah R S. (2006). "Downscaling of precipitation for climate change scenarios: A support vector machine approach" **Journal of Hydrology**, 330, 621– 640

Valentini G. (2002). "Gene expression data analysis of human lymphoma using support vector machines and output coding ensembles". **Artificial Intelligence in Medicine** 26, 281–304

Van der Heijden F., Duin, R.P.W., De Ridder, D., Tax D.M.J. (2004). "**Classification, parameter Estimation and State Estimation**", John Wiley & Sons Ltd.

Wang L. (2005). "**Support Vector Machines: Theory and Applications**", Nanyang Technological University, School of Electrical & Electronic Engineering, Springer Berlin Heidelberg New York.

Yetkin, E. (2003). "**Alteration mapping by remote sensing: application to Hasandag–Melendiz volcanic complex**", M.Sc. Thesis, Department of Geological Engineering, MIDDLE EAST TECHNICAL UNIVERSITY.

Yu Hen H., Jenq-Neng H. (2002). "**Handbook of neural network signal processing**", CRC PRESS.

# پیوست الف

نتایج مطالعات میکروسکوپی و آنالیز  
شیمیایی نمونه های جنوب شرق ماسوله



## الف-۱: مقدمه

همان گونه که در فصل ششم به آن اشاره گردید، تعداد ۱۱۰ نمونه ژئوشیمیایی در ناحیه جنوب شرق ماسوله گیلان مورد برداشت قرار گرفت که نتایج حاصل از نتایج آنالیز دستگامی و مطالعات سنگ شناسی و پتروگرافی آن در این فصل آمده است.

## الف-۲: مطالعات پتروگرافی

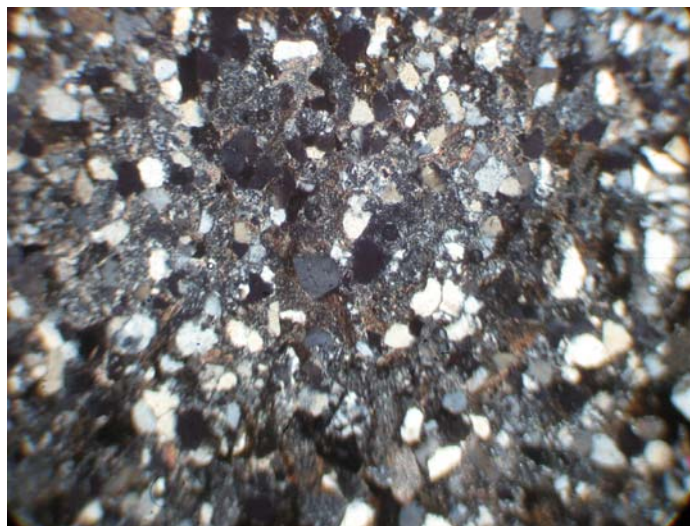
### MT1

قطعات اصلی اسکلت یا Framework به ترتیب فراوانی: کوارتز، فلدسپات پلاژیوکلاز، کانه فلزی، میکا، کلریت که در شکل الف-۱ مشاهده می شوند.

خمیره: سیلیس ریز دانه، ترکیبات رسی و کربناته

جورشدگی: متوسط تا ضعیف و دانه‌ها زاویه دار

نام سنگ: ماسه سنگ



شکل الف-۱: نمایی از ماسه سنگ در نور پلاریزه که در آن کانی‌های کوارتز و فلدسپات در زمینه ریز دانه قرار گرفته‌اند

## MT2

قطعات اصلی سنگ: کوارتز، قطعات سنگی، فلدسپات، میکا، کانه فلزی

خمیره: بیشتر سیمان سیلیسی و نیز کمی ترکیبات رسی + کربناته

جورشدگی: بسیار ضعیف

نام سنگ: کنگلومرا

## MT3

بافت لپیدوبلاستیک

کانی‌های ورقه‌ای بیوتیت + مسکویت (سریسیت) که در زمینه کوارتز، فلدسپات که اغلب کوارتز می‌باشد، قرار گرفته‌اند. فراوانی کانی‌های خانواده میکا که عموماً در امتداد سطح فولیاسیون قرار می‌گیرد، باعث شده سنگ حالت تورق از خود نشان دهد (شکل‌های الف-۲).

نام سنگ: میکا شیست دارای دو نوع میکا



شکل الف-۲: در این دو تصویر کانی‌های فیلوسیلیکاته بیوتیت و مسکویت در بین بلورهای کوارتز در نورهای طبیعی و پلاریزه مشاهده می‌شوند

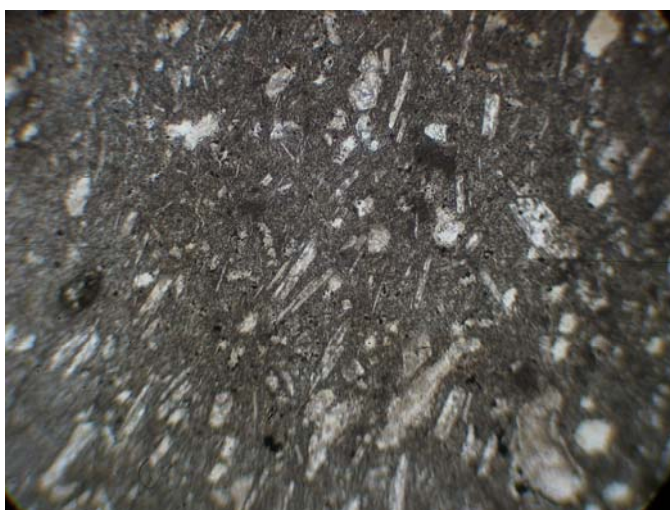
## MT4

بافت: پورفیری میکرولیتی

سنگ به شدت تحت آلتراسیون و فرآیند کانی‌سازی قرار گرفته است، به طوری که شناسایی کانی‌های اصلی سنگ را با مشکل مواجه می‌سازد، اما می‌توان فراوان ترین فنوکریست را فلدسپات پلاژیوکلاز دانست. (شکل الف-۳).

از دیگر فنوکریست‌ها می‌توان به حضور جزئی کانی‌های خانواده آمفیبول و نیز حضور کانی کلریت اشاره نمود. آلتراسیون فراگیر در سنگ کربناتی شدن است، گرچه سنگ تحت فرآیند سیلیسی شدن نیز قرار گرفته است. زمینه سنگ از میکروولیت‌های فلدسپات تشکیل شده است.

نام‌سنگ: آندزیت



شکل الف-۳: در این شکل فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در زمینه میکروولیتی در نور طبیعی رویت می‌شوند

## MT5

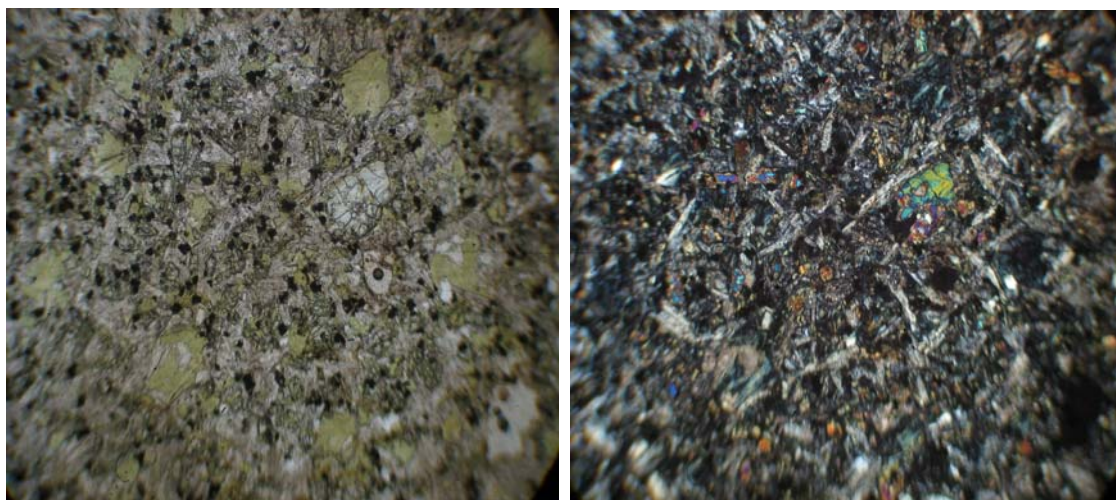
بافت: گرانولار

کانی‌ها: پلاژیوکلاز، فلدسپات آلكالن، کوارتز + پیروکسن + کانه‌های فلزی

آلتراسیون: کلریتی، اپیدوتی و کربناتی

مشخصه: حضور فراوان کانه‌فلزی به صورت افشان در سنگ (شکل الف-۴)

نام سنگ: دیوریت کوارتزار



فلدسپات، کوارتز، پیروکسن، کلریت و کانه‌های فلزی در نورهای طبیعی و پلاریزه در سنگ دیوریت کوارتزار مشاهده می‌شوند

## MT6

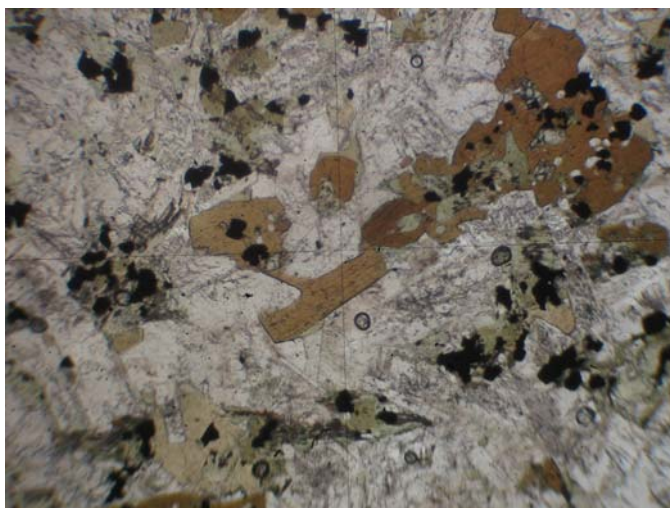
بافت گرانولار

کانی‌ها: پلاژیوکلاز، فلدسپات آلکالن، میکا، پیروکسن، آمفیبول (شکل الف-۵).

آلتراسیون: کلریتی، اپیدوتی، کربناتی، سیلیسی

کانی‌های فلزی به صورت افشان در سنگ حضور دارند.

نام سنگ: دیوریت



شکل الف-۵: در این تصویر کانی‌های مافیک سنگ به همراه کلریت و ترکیبات فلزی در نور طبیعی مشاهده می‌شوند.

## MT7

خمیره: میکرایت

که بعداً تحت تاثیر فرآیند سیلیسی شدن قرار گرفته است و سنگ حالت دگرگونه به خود گرفته است. به جزء کانی کوارتز مقادیری جزئی فلدسپات و سربیسیت نیز در مقطع مشاهده می شود. نام سنگ: آهک سیلیسی دگرگون شده تا کالک شیست

## MT9

ذارت اصلی تشکیل دهنده Framework: کوارتز، فلدسپات، قطعات سنگی و میکا

خمیره: کربناتی و رسی

سنگ تحت فرآیندهای ثانویه تحت تاثیر کلریتی شدن و کانی زایی به صورت رگچه ای قرار گرفته است (شکل الف-۶).

نام سنگ: کنگلومرا



شکل الف-۶: نمایی از کانی زایی رگچه ای در کنگلومرا در نور پلاریزه (X5)

## MT10

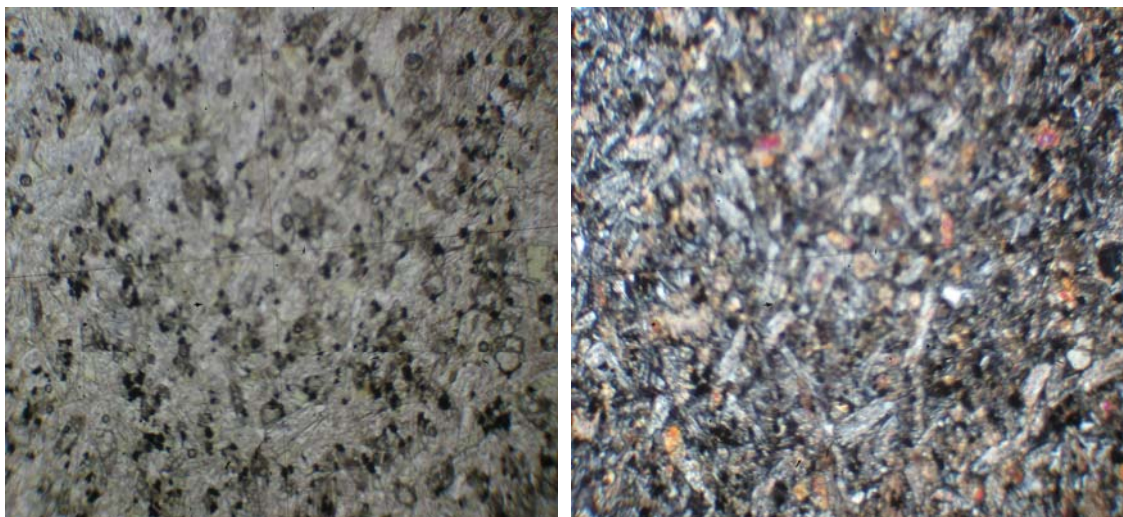
بافت: گرانولار

کانی‌ها: فلدسپات پلاژیوکلاز، فلدسپات آلكالی، کوارتز، میکا، پیروکسن

دگرسانی: کلریتی و کربناتی (شکل الف-۷)

کانی‌زایی به صورت افشان در نمونه مشاهده می‌شود.

نام‌سنگ: گرانودیوریت تا تونالیت



شکل الف-۷: نمایی از آلتراسیون کلریتی و کربناتی شدن در نمونه MT10 در نورهای طبیعی و پلاریزه

## MT11

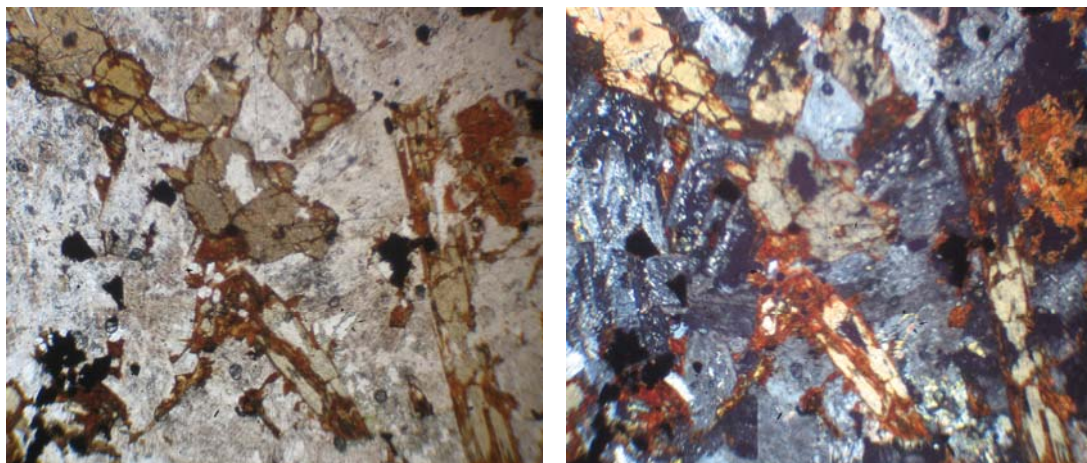
بافت: گرانولار

کانی‌ها: کوارتز، فلدسپات آلكالن، فلدسپات پلاژیوکلاز، آمفیبول، تورمالین

آلتراسیون: کربناتی، کلریتی، آرژیلیتی و سریسیتی

کانی‌زایی به صورت افشان و نیز در حاشیه کانی‌های مافیک دیده می‌شود (شکل الف-۸)

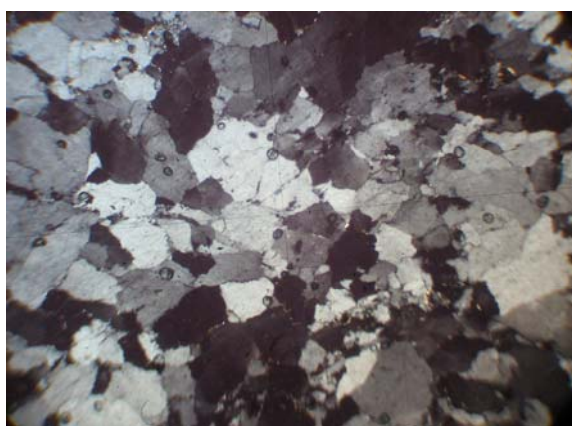
نام سنگ: گرانودیوریت



شکل های الف-۹: در این تصاویر بلورهای پلاژیوکلاز و کانه های فلزی در نورهای طبیعی و پلاریزه مشاهده می شوند که کانه های فلزی هم به صورت افشان و هم به صورت حاشیه ای در بلورهای مافیک دیده می شوند

## MT12

سنگ در یک زون سیلیسی قرار گرفته است که در درز و شکاف موجود بین بلورهای کوارتز، کانه فلزی تزریق شده است (شکل الف-۱۰).



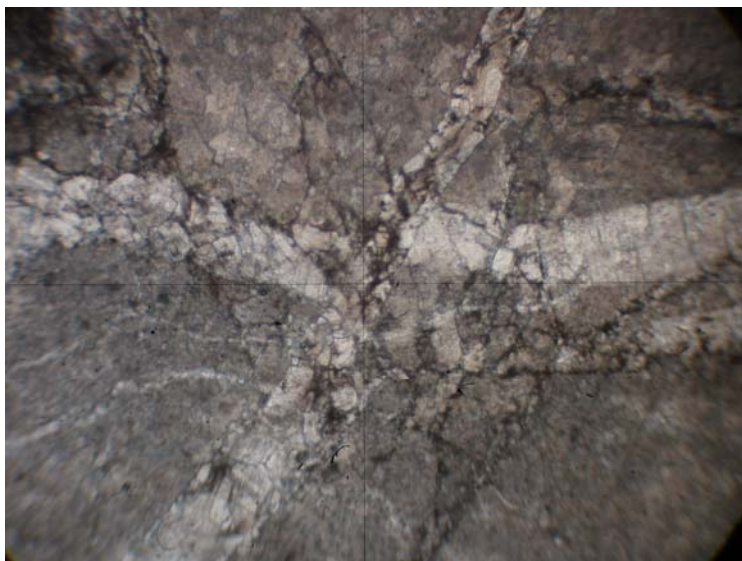
شکل الف-۱۰: نمایی از بلورهای کوارتز در نور پلاریزه

## MT13

زمینه: میکرایت + قطعات اسپارایتی

رگچه های اسپارایتی و کانه فلزی در مقطع وجود دارد (شکل الف-۱۱).

نام سنگ: دیس میکرایت



شکل الف-۱۱: نمایی از رگچه‌های اسپارایتی و کانه‌های فلزی در نور طبیعی

### **MT15**

بافت: گرانولار

کانی : فلدسپات پلاژیوکلاز، فلدسپات الکان، کوارتز

آلتراسیون: آلتراسیون غالب کربناتی است و به مقدار کم آلتراسیون کلریتی و اپیدوتی نیز وجود دارد.

نام‌سنگ: گرانودیوریت آلتره

### **MT17**

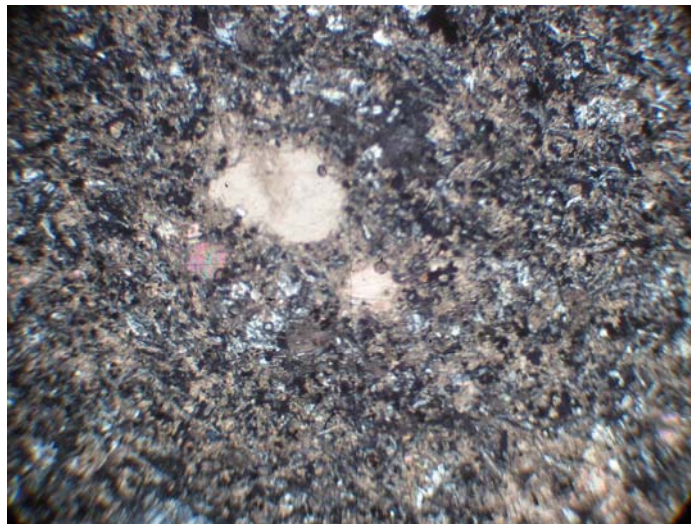
بافت: گرانولار

کانی‌ها: کوارتز، فلدسپات الکان و پلاژیوکلاز

آلتراسیون: آلتراسیون غالب کربناتی است (شکل الف-۱۲).

نام‌سنگ: آذرین نیمه عمیق در حد گرانودیوریت





شکل الف-۱۲: نمایی از فرآیند کربناتی شدن در نمونه MT17 در نور پلاریزه

### MT18

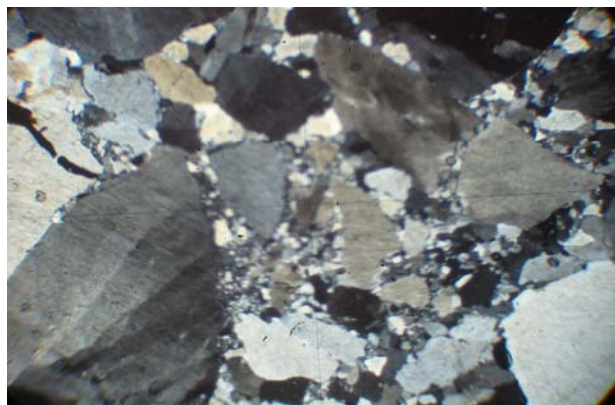
سنگ در زون آلتزه شدید واقع گردیده و فقط در آن می توان کانی های کوارتز و کمی فلدسپات و حجم عظیم ترکیبات کربناته که هم در متن و هم در رگچه مشاهده نمود. کانه های فلزی به صورت افشان و به صورت رگچه ای در سنگ حضور دارند.

### MT19

قطعات اصلی: کوارتز، فلدسپات

خمیره: بیشتر سیلیسی - کانه فلزی به صورت رگچه ای و حالت سیمانی بلورهای کوارتز و فلدسپات را فراگرفته است (شکل الف-۱۳).

نام سنگ: برش گسلی

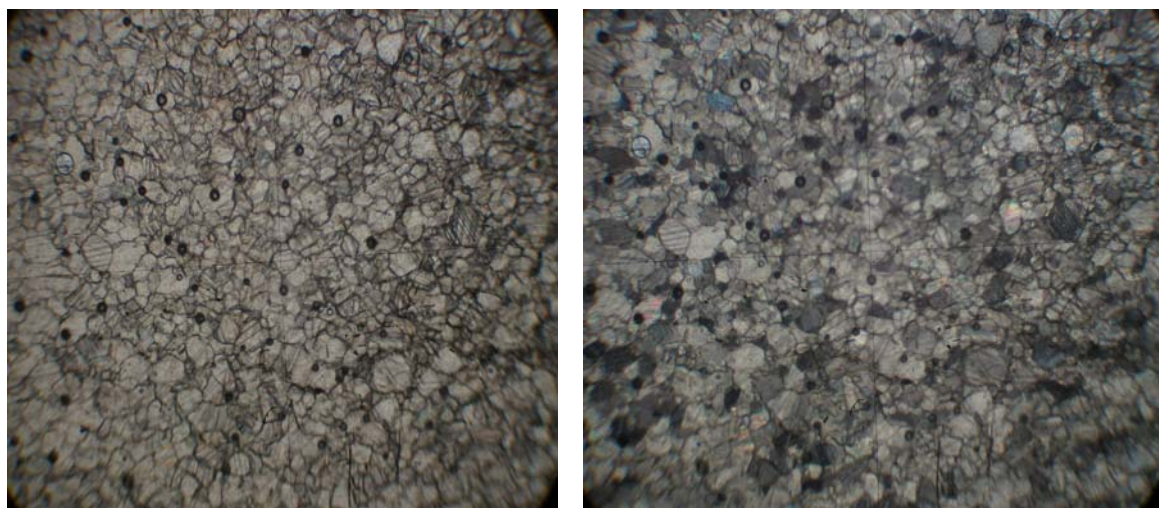


شکل الف-۱۳: در این تصویر زمینه ریزبلور کوارتزی، بلورهای کوارتز و فلدسپات را دربرگرفته است.

## MT20

اجزای تشکیل دهنده سنگ فقط ترکیبات کربناته بوده که دچار پدیده تبلور مجدد قرار گرفته و حالت درشت بلور پیدا نموده است. بلورهای کلسیت مقطع رخ رمبوندی و ماکل پلی سنتتیک ترکیبات کربناته را به خوبی نشان می دهند (شکل الف-۱۴).

نام سنگ: کربناته دارای تبلور مجدد یا مرمر

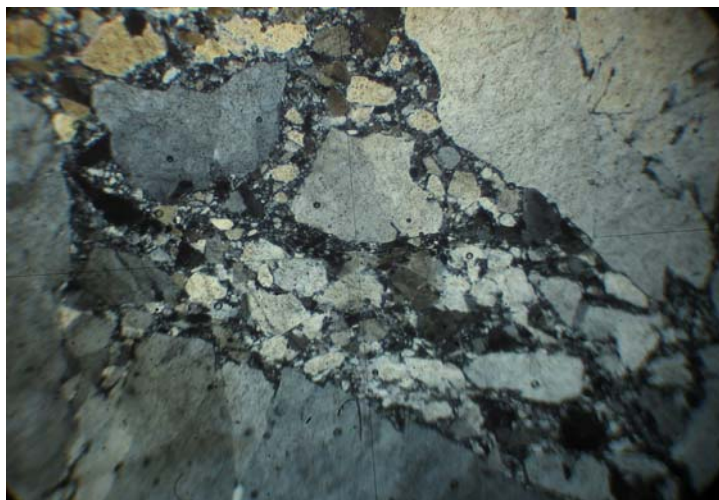


شکل الف-۱۴: در این تصاویر که در نور طبیعی و پلاریزه برداشت شده است، بلورهای کلسیت متساوی البعد با ویژگی رخ رمبوندی و ماکل پلی سنتتیک مشاهده می شوند

## MT21

کانی ها: کوارتز و فلدسپات که در یک زمینه ریزدانه کوارتز و فلدسپات و کانه فلزی قرار گرفته اند.

نام سنگ: برش گسلی (شکل الف-۱۵).



شکل الف-۱۵: نمایی از برش گسلی در نور پلاریزه

## MT22

سنگ در یک زون آلتزه شدید برداشت شده که نام سنگ را نمی‌توان تعیین نمود ولی در اثر فرآیندهای تکتونیکی درز و شکاف فراوان در سنگ ایجاد شده که اکثراً توسط ترکیبات اسپارایتی اشغال شده‌اند. کانه‌فلزی نیز اکثراً در امتداد رگچه‌ها تزریق شده‌اند.

## الف-۳: مطالعات مینرالوگرافی

### مقطع صیقلی MP-1

- تشکیل‌دهنده‌ها: منیتیت- پیریت- اکسیدهای آهن - اکسیدهای تیتان  
- منیتیت ( $Fe_3O_4$ ) به صورت لکه‌هایی بی‌شکل در سنگ مشاهده می‌شود. ابعاد لکه‌ها در حد ۳۰۰ تا ۲۰۰ میکرون است و تا حدودی نیز به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است و فراوانی آن در حد ۱-۲٪ است.

- اکسیدهای تیتان نیز در امتداد کلیواژهای کانی‌های فرومنیزین سنگ دیده می‌شود. فراوانی آن در حد ۱-۲ درصد است. در ضمن در امتداد کلیواژهای کانی‌های فرومنیزین سنگ نیز اکسید و هیدرواکسیدهای آهن مشاهده می‌شود.

- پیریت ( $FeO_2$ ) تنها کانه سولفوری سنگ است که تا حدود زیادی در اثر دگرسانی سوپرژن به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل الف-۱۶) و فقط در موضعی آثاری از پیریت در میان اکسید و هیدرواکسیدهای آهن مشاهده می‌شود. البته فراوانی آن در حد ۲٪ است.

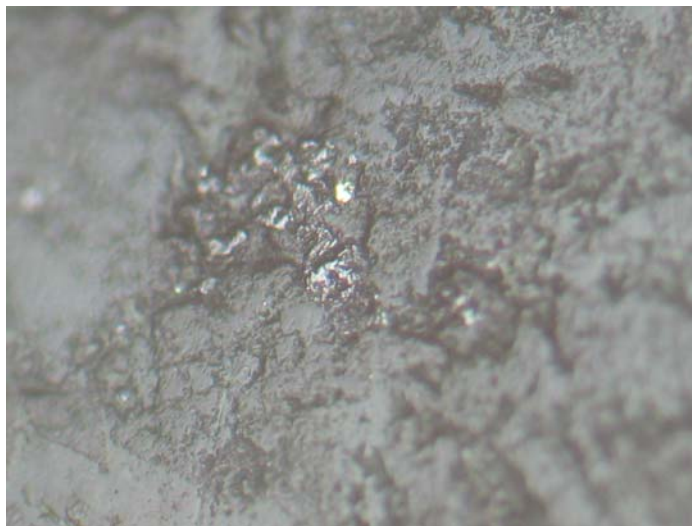


شکل الف-۱۶: تبدیل شدگی پیریت از حاشیه به اکسید هیدرواکسیدهای آهن

### مقطع صیقلی شماره MP-2

- تشکیل دهنده‌ها: منیتیت - پیریت - کالکوپیریت
- منیتیت به صورت لکه‌های ریز و بی‌شکل در ابعاد ۲۰ تا ۵۰ میکرون در سنگ گسترش دارد و فراوانی آن در حد ۲٪ است.
- منیتیت نیز با فراوانی ۱-۲٪ در سنگ مشاهده می‌گردد که ابعاد بلورهای آن در حد ۲۰۰-۳۰۰ میکرون است.

- کالکوپیریت نیز به صورت لکه‌های بسیار ریز در چند مورد در ابعاد ۳۰ تا ۱۰ میکرون مشاهده گردید (شکل الف-۱۷).

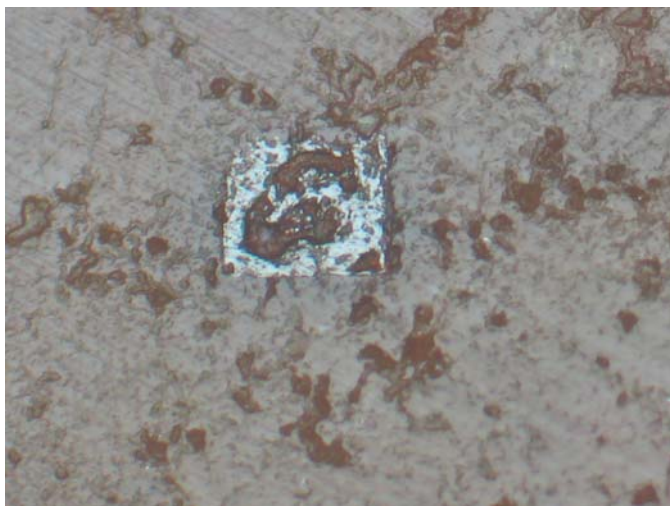


شکل الف-۱۷: حضور لکه‌های بی شکل کالکوپیریت و منیتیت در سنگ

### مقطع صیقلی شماره MP-3

- تشکیل دهنده‌ها: اکسید و هیدرواکسیدهای تیتان - اکسید و هیدرواکسیدهای آهن  
- آغشتگی به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن باعث رنگ آمیزی سنگ شده است. چند مورد لکه‌های شکل‌دار مشاهده می‌شود که کاملاً توسط اکسید و هیدرواکسیدهای آهن پر شده است. با توجه به سطوح کریستالوگرافی بجا مانده به نظر می‌رسد بلور اولیه پیریت بوده که تحت تاثیر دگرسانی سوپرژن قرار گرفته است (شکل الف-۱۸).

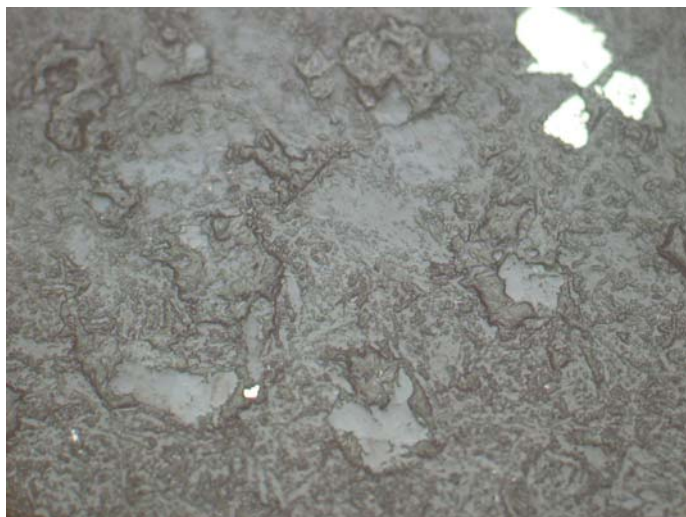
- اکسیدهای تیتان نیز در چند مورد به صورت لکه‌های بی‌شکل در سنگ مشاهده می‌شود. دانه‌های ریز با قدرت انعکاسی بالا دیده می‌شود که به علت ریز بودن تشخیص آن مشکل است. جهت اطمینان بیشتر آنالیز برای عنصر طلا پیشنهاد می‌شود.



شکل الف-۱۸: قالب پیریت که توسط اکسیدهای آهن پر شده است

#### مقطع صیقلی شماره MP-4

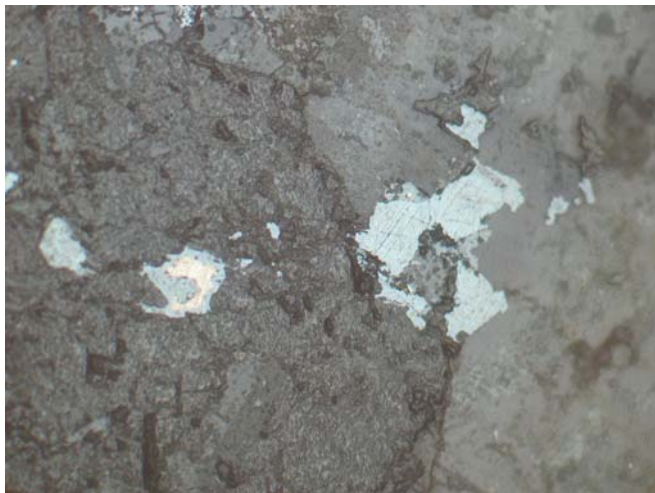
- تشکیل دهنده‌ها: منیتیت - پیریت - کالکوپیریت
- منیتیت به صورت لکه‌های بسیار ریزی در حد ۲۰ میکرون در سطوح نمونه گسترش دارد و فراوانی آن در حد ۱٪ است.
- پیریت نیز با فراوانی ۱ تا ۲٪ در سنگ مشاهده می‌شود که به صورت لکه‌های نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار است و ابعاد بلورها بین ۳۰۰ تا ۱۰۰ میکرون می‌باشد.
- کالکوپیریت نیز با فراوانی زیر ۱٪ در سنگ حضور دارد و دارای ابعاد لکه‌هایی بین ۲۰ تا ۵۰ میکرون است (شکل الف-۱۹).



شکل الف-۱۹: حضور بلورهای نیمه شکل دار پیریت (در گوشه سمت راست) و کالکوپیریت (در قسمت پایین شکل)

### مقطع صیقلی شماره MP-5

- تشکیل دهنده‌ها: منیتیت - پیریت - هماتیت و سایر اکسید و هیدرواکسیدهای آهن
- منیتیت فراوانترین کانه فلزی سنگ است که فراوانی آن به ۶-۵ درصد می رسد. ارتباط تنگاتنگی بین کانی‌های فرومنیزین سنگ با منیتیت دیده می‌شود. منیتیت به صورت لکه‌های بی‌شکل تا نیمه شکل دار مشاهده می‌شود و ابعاد لکه‌ها بین ۵۰ تا ۵۰۰ میکرون می باشد.
- پیریت نیز به صورت لکه‌های نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل مشاهده می‌شود که تا حدود زیادی از حاشیه به هماتیت و سایر اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است و فراوانی آن در حد ۲-۱ درصد است (شکل الف-۲۰).



شکل الف-۲۰: تبدیل شدگی پیریت به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن

### مقطع صیقلی شماره MP-6

- تشکیل دهنده‌ها: اکسیدهای تیتان - اکسید و هیدرواکسیدهای آهن
- اکسیدهای تیتان به صورت لکه‌های نیمه شکل‌دار در سنگ مشاهده می‌شود و دارای فراوانی ۱-۲٪ است. ابعاد لکه‌های نیمه‌شکل‌دار در سنگ بین ۳۰ تا ۱۰۰ میکرون می‌باشد (شکل الف-۲۱).
- اکسید و هیدرواکسیدهای آهن به صورت آغستگی در سنگ مشاهده می‌شود. در مکان‌هایی به صورت پرشدگی در رگه و رگچه‌های سنگ نیز دیده می‌شود.
- ذرات ریز در ابعاد ۱۰ میکرون مشاهده می‌شود که دارای قدرت انعکاس بالائی می‌باشند و تشخیص آن مشکل است. لذا جهت اطمینان بیشتر، نمونه برای آنالیز طلا پیشنهاد می‌شود.





شکل الف-۲۱: حضور اکسید تیتان (در مرکز شکل) در سنگ

### مقطع صیقلی شماره MP-7

- تشکیل دهنده‌ها: منیتیت - پیریت - کالکوپیریت - اکسیدهای تیتان - هماتیت - ذره مشکوک به

ترکیبات طلا و نقره

- منیتیت به صورت لکه‌های ریز و بی شکل در سنگ مشاهده می‌شود. ابعاد لکه‌ها در حد ۵۰ تا ۱۰

میکرون است و فراوانی آن حدود ۱٪ است.

- در مواضعی تجمعاتی از هماتیت نیز به صورت لکه‌های بی شکل مشاهده می‌شود و کمتر از ۱٪ در

سنگ فراوانی دارد.

- پیریت نیز به صورت لکه‌های بی شکل در سنگ مشاهده می‌شود و ابعاد آنها بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون

است. فراوانی آن نیز در حدود ۱٪ است.

- کالکوپیریت نیز به صورت لکه‌های بی شکل و در ابعاد بسیار ریز در حد ۵۰ تا ۱۰ میکرون مشاهده

می‌شود و فراوانی آن زیر ۱٪ است (شکل الف-۲۲).

- اکسیدهای تیتان نیز به صورت لکه‌های بی شکل و در ابعاد ۵۰ تا ۱۰ میکرون و با فراوانی زیر ۱٪ در

سنگ مشاهده می‌شود.

- یک مورد لکه در ابعاد ۳۰ میکرون مشاهده شد که دارای قدرت انعکاس بالائی می باشد و بسیار سفید و درخشنده است و به نظر می رسد می تواند از ترکیبات طلا و نقره باشد لذا آنالیز نمونه جهت تعیین طلا و نقره پیشنهاد می شود.



شکل الف-۲۲: حضور لکه های بی شکل کالکوپیریت در سنگ

### مقطع صیقلی شماره MP-8

- تشکیل دهنده ها: منیتیت- پیریت - کالکوپیریت ذره مشکوک به ترکیبات طلا و نقره - اکسید و هیدرواکسیدهای آهن

- منیتیت به صورت لکه های ریز و بی شکل در سنگ گسترش دارد. ابعاد لکه ها در حد ۵۰-۱۰ میکرون است و فراوانی آن در حدود ۱٪ است (شکل الف-۲۳).

- پیریت نیز با فراوانی ۱٪ در سنگ مشاهده می شود و به صورت لکه های شکل دار تا نیمه شکل دار است و ابعاد بلورها بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون است و در محل هایی از حاشیه در حال تبدیل به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن است.

- کالکوپیریت در حد چند مورد در ابعاد بسیار ریز (۵۰ تا ۱۰ میکرون) مشاهده می شود.

- در این نمونه یک ذره در ابعاد ۳۰ میکرون مشاهده گردید که دارای قدرت انعکاس بالایی می باشد و مشکوک به ترکیبات طلا و نقره می باشد لذا جهت اطمینان، آنالیز نمونه برای این دو عنصر توصیه می شود.

لازم به توضیح است که این نمونه از لحاظ پاراژنز کاملاً شبیه نمونه MP7 است.

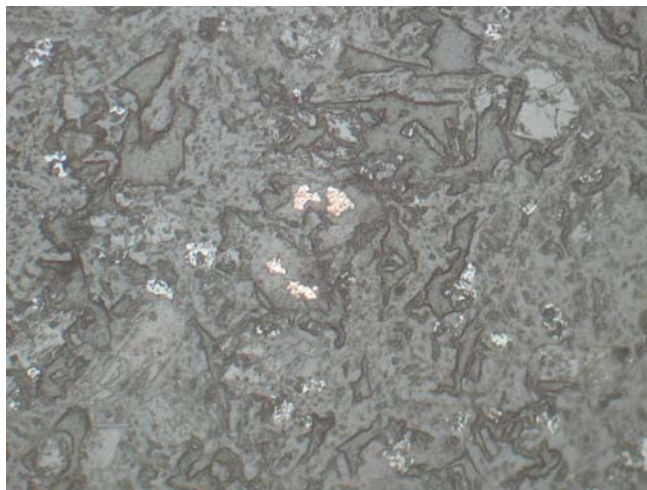


شکل الف-۲۳: حضور لکه های بی شکل کالکوپیریت و منیتیت در سنگ

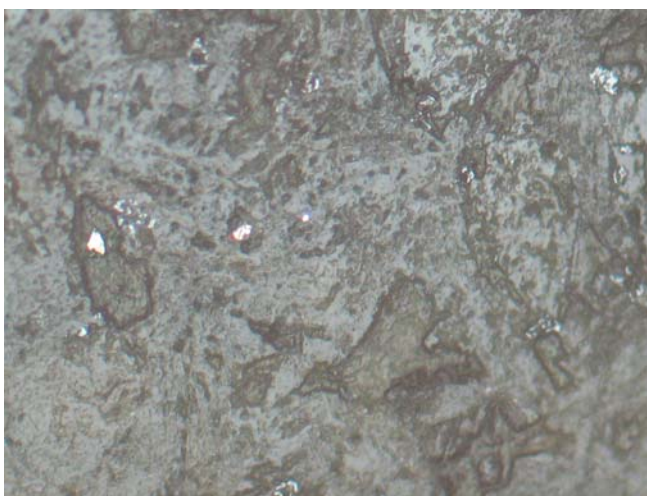
### مقطع صیقلی شماره MP-9

- تشکیل دهنده ها: منیتیت - پیریت - کالکوپیریت - ذرات مشکوک به طلا
- منیتیت فراوانترین کانه فلزی سنگ را تشکیل می دهد. فراوانی آن در حد ۶-۵ درصد است و به صورت بلورهای شکل دار تا نیمه شکل دار مشاهده می شود که به صورت افشان در سنگ گسترش دارند. ابعاد بلورها بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون است و جابه جا به صورت درگیر با کالکوپیریت دیده می شود.
- پیریت نیز با فراوانی ۱٪ در سنگ گسترش دارد و به صورت لکه های نیمه شکل دار تا شکل دار و در ابعاد ۱۰۰ تا ۳۰ میکرون مشاهده می گردد (شکل الف-۲۴).
- کالکوپیریت در حد چند مورد در ابعاد ۵۰ تا ۲۰ میکرون مشاهده می شود.

- در این نمونه ذرات ریز با قدرت انعکاس بالا مشاهده می شود که می تواند ترکیبات طلا و نقره باشد. لذا آنالیز نمونه جهت عنصر طلا و نقره پیشنهاد می گردد (شکل الف-۲۵).



شکل الف-۲۴: لکه های پیریت و منیتیت در سنگ



شکل الف-۲۵: ذره مشکوک به طلا در مرکز شکل

### مقطع صیقلی شماره MP-10

- تشکیل دهنده ها: پیریت - هماتیت و سایر اکسید و هیدرواکسیدهای آهن - ذرات مشکوک به طلا

- پیریت با فراوانی ۲-۱ درصد در سنگ گسترش دارد و تا حد زیادی در اثر دگرسانی سوپرژن به هماتیت و سایر اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است. ابعاد لکه‌ها بین ۱۰۰ تا ۳۰ میکرون است (شکل الف-۲۶).

- ذرات با قدرت انعکاس بالا مشاهده می‌شود که مشکوک به طلا هستند لذا جهت اطمینان آنالیز نمونه برای عنصر طلا توصیه می‌شود.



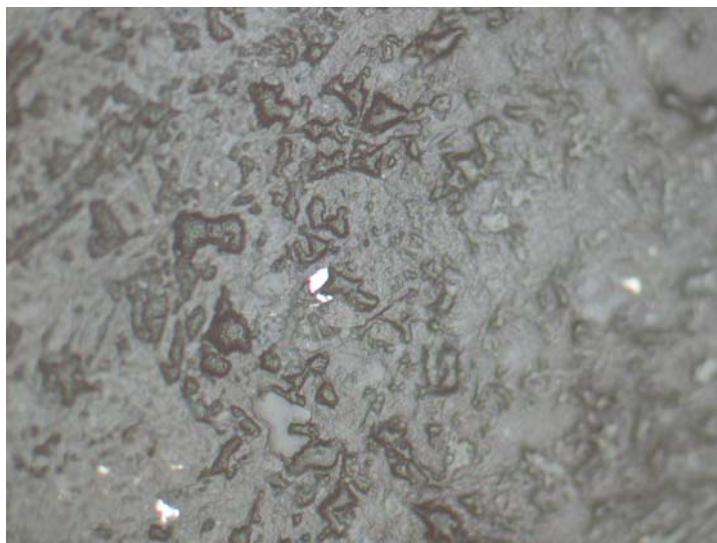
شکل الف-۲۶: قالب پیریت که از حاشیه به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است

### مقطع صیقلی شماره MP-11

- تشکیل دهنده‌ها: پیریت - کالکوپیریت

- پیریت به صورت لکه‌های شکل‌دار تا بی‌شکل و در ابعاد ریز در حد ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون در سنگ گسترش دارد و فراوانی آن در حد ۱٪ است.

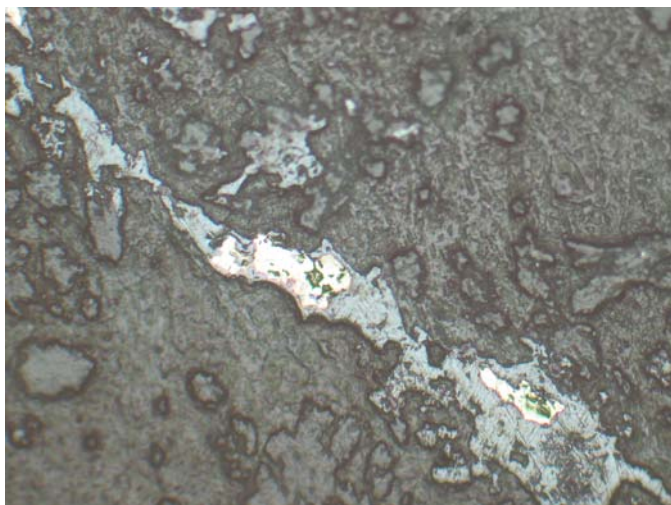
- کالکوپیریت نیز با فراوانی زیر ۱٪ در سنگ مشاهده می‌شود و به صورت لکه‌های بی‌شکل دیده می‌شود ابعاد لکه‌ها در حد ۵۰ تا ۱۰ میکرون است (شکل الف-۲۷).



شکل الف-۲۷: حضور لکه‌های بی‌شکل کالکوپیریت در سنگ

### مقطع صیقلی شماره MP-12

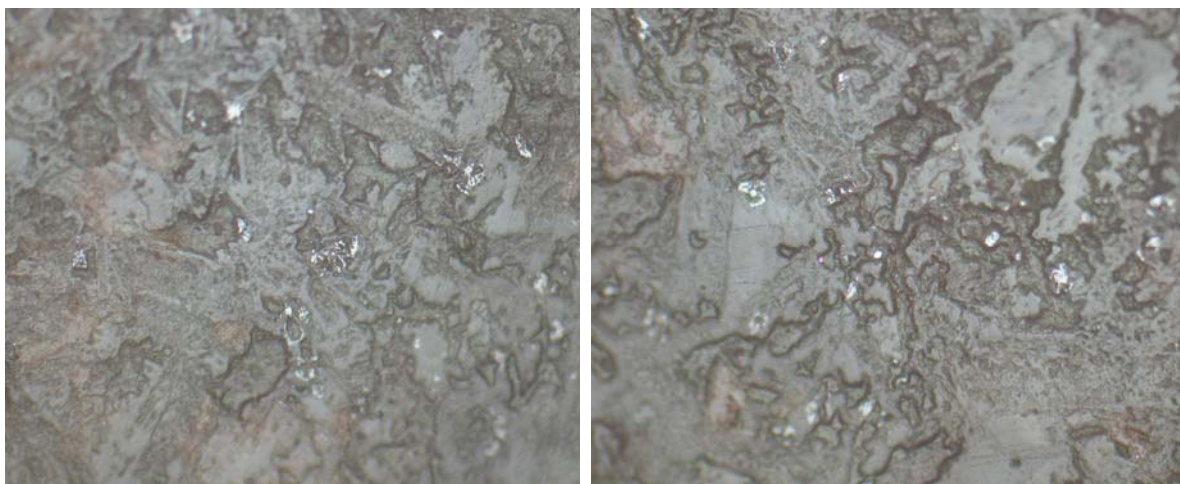
- تشکیل‌دهنده‌ها: منیتیت - هماتیت - کالکوپیریت - اکسیدهای تیتان - طلا
- منیتیت با فراوانی ۱٪ در سنگ مشاهده می‌شود و به صورت لکه‌های بی‌شکل در سنگ حضور دارد. ابعاد لکه‌ها در حد ۱۰۰ تا ۵۰ میکرون است.
- هماتیت نیز با فراوانی ۲-۳٪ در سنگ دیده می‌شود. هماتیت هم به صورت صفحه‌ای و هم به صورت تیغک دیده می‌شود و در مکان‌هایی به گوتیت نیز تجزیه شده است و رگه رگچه‌های سنگ توسط سایر اکسید و هیدرواکسیدهای آهن پر شده است.
- کالکوپیریت نیز به صورت پرشدگی در فضاهای خالی سنگ و یا در رگه رگچه‌های سنگ دیده می‌شود و قسمت اعظم آن در اثر دگرسانی سوپرژن به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل الف-۲۸) و فراوانی کالکوپیریت در حد ۱-۲ درصد است.
- در این نمونه ذرات ریزی با قدرت انعکاس بالا مشاهده می‌شود می‌تواند ذرات طلا باشد. لذا جهت اطمینان آنالیز نمونه برای طلا توصیه می‌شود
- اکسیدهای تیتان نیز با فراوانی زیر ۱٪ به صورت لکه‌های بی‌شکل مشاهده می‌شود.



شکل الف-۲۸: پرشدگی رگچه‌های سنگ توسط کالکوپیریت و تبدیل شدگی کالکوپیریت به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن

### مقطع صیقلی شماره MP-13

- تشکیل دهنده‌ها: منیتیت - اکسید و هیدرواکسیدهای آهن - ذرات مشکوک به طلا
- منیتیت با فراوانی ۲-۳ درصد در سنگ مشاهده می‌شود و به صورت لکه‌های بی‌شکل و ریز در سنگ گسترش دارد. ابعاد لکه‌ها بین ۳۰ تا ۷۰ میکرون است و جابه‌جا تجمعانی از اکسید و هیدرواکسیدهای آهن نیز در سنگ مشاهده می‌شود.
- چند مورد ذرات ریز در حد ۳۰ تا ۱۰ میکرون با قدرت انعکاسی بالا مشاهده شد که می‌تواند از ترکیبات طلا و نقره (الکتروم) باشد لذا جهت اطمینان آنالیز نمونه برای این دو عنصر گرانپها توصیه می‌شود (شکل الف-۲۹).

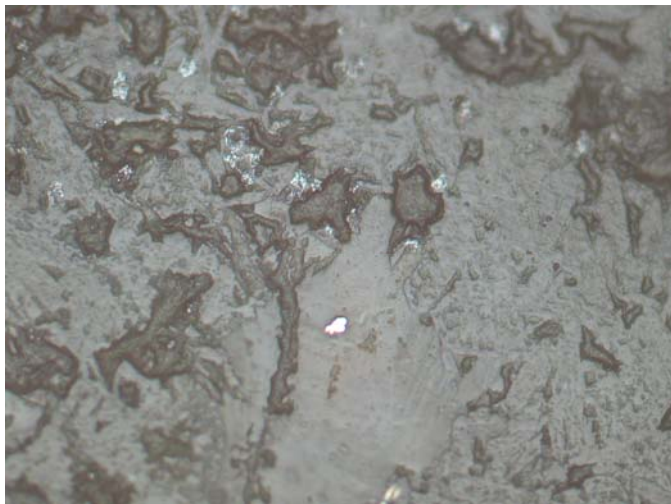


شکل الف-۲۹: ذرات مشکوک به طلا در مرکز شکل ها

### مقطع صیقلی شماره MP-14

- تشکیل دهنده‌ها: منیتیت - پیریت - کالکوپیریت - اکسیدهای تیتان
- منیتیت با فراوانی ۲-۳ درصد در سنگ مشاهده می‌شود و به صورت پراکنده و افشان گسترش دارد و به صورت لکه‌های بی‌شکل تا نیمه شکل‌دار و در ابعاد ریز بین ۱۰ تا ۱۰۰ میکرون در تغییر است. در حاشیه بعضی از لکه‌های منیتیت تبدیل شدگی به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن مشاهده می‌گردد.
- پیریت با فراوانی زیر ۱٪ در سنگ حضور دارد و ابعاد بلورها در حد ۱۰۰ تا ۵۰ میکرون است و جابه‌جا از حاشیه به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است.
- کالکوپیریت با فراوانی زیر ۱٪ در حد چند مورد بلور بسیار ریز در ابعاد ۵۰ تا ۳۰ میکرون مشاهده گردید (شکل الف-۳۰).





شکل الف-۳۰: حضور کالکوپیریت و منیتیت در سنگ

### مقطع صیقلی شماره MP-15

- تشکیل دهنده‌ها: کالکوپیریت - اکسید و هیدرواکسیدهای آهن - ذرات مشکوک به طلا و نقره
- کالکوپیریت با فراوانی کمتر از ۱٪ در سنگ حضور دارد و در حد ۲ مورد در ابعاد ۱۵۰-۲۰۰ میکرون مشاهده گردید. و تا حدود زیادی در اثر دگرسانی سوپرژن به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل الف-۳۱).
- چند مورد ذرات طلا و نقره باشد لذا جهت اطمینان آنالیز نمونه توصیه می‌شود.



شکل الف-۳۱: تبدیل شدگی کالکوپیریت به اکسید و هیدرواکسیدهای آهن

## مقطع صیقلی شماره MP-16

- تشکیل دهنده‌ها: اسفالریت - پیریت - مالاکیت - اکسید و هیدرواکسیدهای آهن - ذرات مشکوک به طلا
- اسفالریت به صورت بلورهای نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل در سنگ دیده می‌شود و فراوانی آن در حد ۱-۲ درصد است. ابعاد لکه‌ها بین ۱۵۰ تا ۵۰ میکرون است.
- مالاکیت نیز به صورت آغشتگی در سطح سنگ مشاهده می‌شود.
- تجمعاتی از اکسید و هیدرواکسیدهای آهن نیز مشاهده می‌شود.
- در این نمونه نیز ذرات ریز با قدرت انعکاس بالا مشاهده شد که می‌تواند از ترکیبات طلا و نقره باشد. لذا جهت اطمینان آنالیز نمونه توصیه می‌شود
- پیریت نیز به صورت پرشدگی در رگچه‌های سنگ و بسیار ریز بلور مشاهده شد (شکل الف-۳۲).



شکل الف-۳۲: پر شدگی رگچه‌ها توسط پیریت

علاوه بر موارد ذکر شده، مختصات کلیه نمونه‌های برداشت شده در جدول الف-۱ و نتایج آنالیز کلیه نمونه‌ها در جدول الف-۲ آمده است.

جدول الف-۱: مختصات و محل قرارگیری کلیه نمونه‌های برداشت شده

S. NO.	X	Y	S. No	X	y
ML1	326401	4103996	ML61	326569	4101493
ML2	325750	4104579	ML62	326925	4103001
ML4	325772	4104605	ML64	328161	4102067
ML5	326390	4104120	ML65	327723	4102513
ML6	326398	4104101	ML66	325694	4104537
ML7	326632	4103766	ML67	325575	4104399
ML8	326463	4104064	ML69	326925	4103001
ML9	327228	4102636	ML70	327965	4102198
ML10	325750	4104579	ML71	326796	4103315
ML12	325677	4104638	ML72	326569	4101493
ML13	325688	4104632	ML73	327684	4102538
ML14	325622	4104669	ML75	328030	4102164
ML15	325540	4104673	ML76	324390	4105387
ML16	325413	4104654	ML77	326676	4103350
ML17	325431	4104764	ML78	326330	4103902
ML19	326909	4102602	ML79	326357	4103945
ML20	326977	4103039	ML80	328054	4102162
ML22	327143	4102737	ML81	327723	4102513
ML23	326986	4103010	ML82	326962	4103016
ML24	327054	4102641	ML84	325681	4104535
ML25	326917	4103006	ML85	327965	4102198
ML28	326721	4103806	ML86	327958	4102014
ML29	326794	4103681	ML87	327976	4102246
ML31	326455	4103880	ML88	328161	4102067
ML36	326778	4102154	ML89	326465	4101788
ML38	326385	4104124	ML90	326455	4103880
ML39	324299	4105442	ML91	324377	4105401
ML40	325175	4104928	ML92	327342	4102737
ML41	326699	4102047	ML93	327342	4102737
ML42	326699	4102047	ML94	327706	4102432
ML43	326863	4102334	ML96	327677	4102476
ML46	326681	4101925	ML97	326463	4101460
ML47	326431	4101683	ML98	324072.6	4105490
ML48	327945	4102267	ML99	325561	4104400
ML49	327945	4102267	ML100	326844	4102795
ML50	327945	4102267	ML101	326844	4102807
ML51	327945	4102045	ML102	326880	4102807
ML52	328161	4102067	ML103	326877	4102816
ML53	326900	4102376	ML104	326203	4102805
ML54	326760	4102268	ML105	326863	4102709
ML55	328054	4102162	ML106	326810	4102738
ML56	327843	4102395	ML107	326789	4102733
ML57	327815	4102344	ML108	326813	4102740
ML58	327064	4103022	ML109	326865	4102786
ML59	327958	4102014	ML110	326909	4102602







ادامه جدول الف-۲

ML.65	7.6	10.9	0.5	0.4	30.6	1.1	0.3	3.3	3.8	1.07	0	0	52.7	4.9	18.3	64	0.3
PARS PEY AZMA	Co	Cu	Mo	Sb	Zn	Sn	W	Cs	Nb	U	Te	Cd	Rb	Th	Y	Ce	Tl
UNITS	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
ML.66	26.8	7	0.8	0.8	62.5	0.9	0.9	4.1	9	0.77	0	0	55	2.87	15.4	37.7	0.8
ML.67	49.2	1.9	0.2	2.9	52.4	0	0.1	2.2	0	0.11	0	0	11.6	0.09	7.3	1.1	0
ML.68	52	3.1	0.4	2.2	38.1	0	0.2	3.2	0	0.15	0	0	15.5	0.2	7.2	1.5	0
ML.69	31.8	74.6	0.6	0	82.6	1	0.8	3.1	13.4	0.7	0	0	18.8	2.79	15.4	41.5	0.3
ML.70	24	55.1	2.1	1	85.1	1.3	0.8	2	33.5	1.09	0	0	16.5	3.2	15.7	104	0.5
ML.71	54.8	74.7	0.1	1.7	39.4	0	0	0.6	0	0.04	0	0	4.2	0.06	9.66	1.2	0
ML.72	49.2	93.6	0.3	2.9	90.3	0.8	0.3	2.4	17.9	0.07	0	0	9.9	1.08	12.5	47.3	0
ML.73	23	17.8	0.4	1	54.1	1	0.8	5.4	7	0.81	0	0	40.6	2.46	18	36.4	0.5
ML.74	23.8	24.5	0.4	1	51.8	1.3	0.8	6.1	6.8	0.89	0	0	47.9	2.51	18.8	40.2	0.6
ML.75	3.3	8	8.6	2.2	12.7	0.6	0.2	0.4	1.6	3.16	0	0	17.7	2.23	5.17	24.1	0.3
ML.76	1.7	6.5	1.4	1.3	3.4	1.9	0.7	2.1	2.9	0.87	0	0	73	5.41	3.73	47.5	0.3
ML.77	2	16.4	1.4	1.2	18.8	0.8	0.2	0.6	1.7	0.44	0	0	19.5	2.54	1.52	30.3	0.1
ML.78	0.4	8.8	1.1	0.2	12.6	0.3	0.2	0	0	0	0	0	0.3	0.03	0.06	0	0
ML.79	3.9	20.8	1.3	8.1	26.8	1.9	0.5	4	6.5	1.4	0	0	98.8	9.66	5.65	92.3	0.6
ML.80	0.8	9.1	5.7	52.4	46.6	0.3	0	0.4	0	0.63	0	0.1	11.6	0.87	0.64	1.8	3.6
ML.81	14.7	18	1	1.1	63.5	2.1	0.7	6.2	8.7	1.12	0	0	100	8.82	10.4	70.4	0.7
ML.82	23.6	2.4	1	0.3	57.4	1	0.8	5.1	9.1	0.7	0	0	23.6	3	17.5	38.5	0.3
ML.83	22.4	2.5	0.9	0.3	56.5	1	0.8	5.1	8.9	0.69	0	0	27.7	2.93	15.8	37.4	0.3
ML.84	2.8	0	0.2	0	0.4	0	0	0	0	0.09	0	0.2	0.8	0.06	8.76	2.3	0
ML.85	1.3	15.9	0.7	7.3	17.2	1.3	0.4	3.4	5.6	0.73	0	0	85.5	5.85	3.93	74	0.8
ML.86	1	1.9	1.7	8.8	0	1.1	0.2	1.7	1.6	0.9	0	0	52.9	3.35	2.85	36	0.9
ML.87	0.9	8.6	1	2.9	7	1.7	0.6	5.1	5.7	1.18	0	0	83.5	6.03	4.77	60.8	1.5
ML.88	8.3	3.2	0.6	0.2	3.7	2.1	0.9	2.3	8.2	1.87	0	0	92.6	9.31	6.44	58.6	0.4
ML.89	15.5	0.8	2	0.8	0	9.6	1.6	0.6	0	3.36	0	0	70.3	5.66	16.1	48	0.2
ML.90	10	27.2	0.2	2.2	58.2	2.3	0.6	7.7	8.8	1.01	0	0	163	12.5	5.91	81.5	0.9
ML.91	1.6	5.6	1.2	1.2	0	1.9	1	1	1.4	0.73	0	0	78.3	3.75	3.25	44.1	0.2
ML.92	6.5	18.3	0.7	8.6	34.2	2.5	0.7	6.2	7.4	1.51	0	0	147	8.92	5.87	65.5	1.7
ML.93	23.9	20.1	0.9	1.9	49.6	0.9	0.5	0.9	6	0.47	0	0.1	25.6	1.65	15.9	32.5	0.7
ML.94	7.2	37.2	2.7	7.1	69.3	3.7	3.1	18.8	13.4	1.95	0.4	0.1	162	10.2	7.49	67.2	4
ML.95	3.3	23.8	1.5	8.1	43.2	3.4	2.5	8.5	12.3	1.53	0	0	96.4	8.79	6.01	68.6	1.9
ML.96	20.4	30.2	0.8	0.4	98.8	1.7	1.8	0.3	34.8	0.76	0	0	36.6	2.98	19.4	105	0.3
ML.97	30.9	21.1	3.2	2.2	54.3	2.1	1.4	2	51.2	0.88	0	0	29.4	2.7	19.9	94	0.2
ML.98	18.5	44.4	0.3	1.1	441	5	2.7	4	9.6	4.18	0.3	4.4	173	14.8	7.98	116	0.8
ML.99	31.2	9	0.2	0.7	20.4	0	0.4	1.2	0	0.1	0	0	60.7	0.11	10.1	3.1	0.1
ML.100	31.6	66.8	0.5	0.5	69	0.8	1.4	1.9	5.7	0.63	0	0	58.4	1.92	17	26.8	0.8
ML.101	33.3	76.3	0.5	0.7	80.7	1	1	1.1	6.2	0.71	0	0	47.9	2.17	18	29.3	1
ML.102	28.5	69.2	1	0.7	76.2	1.1	1.4	2.3	12.9	0.66	0	0	59.9	2.72	12.9	41.1	0.7
ML.103	29.6	69.8	1	1	75.7	1.1	1.5	1.8	13.4	0.66	0	0.1	65.1	2.58	12.4	42	0.4
ML.104	3.7	7.5	1.1	0.7	24	0.2	0.1	0.2	0	0.05	0	0	3.5	0.12	6.44	2	0
ML.105	3	10.4	1.5	0.5	14.7	0.7	0.2	0.2	0	0.28	0	0	7	1.68	0.74	10.5	0
ML.106	3	9.1	1.2	0.3	11.5	0.7	0.2	0.3	0.5	0.44	0	0	16.4	1.76	0.98	2.7	0.2
ML.107	3.7	1.6	0.5	2.1	11.8	1.2	0.4	1.5	1.8	1.53	0	0	68.8	5.32	8.74	35.1	0.8
ML.108	0.6	9.5	1.3	0.6	14	0.5	0.2	0	0	0	0	0	0.5	0.03	0.21	0	0
ML.109	3.4	1.4	0.2	1.1	11.7	1	0.2	0.6	0	0.12	0	0	49.9	0.05	16	9.8	0
ML.110	1.2	7.4	1.1	0.2	25.1	0.5	0.2	0.1	0	0.18	0	0	7.6	1.28	0.85	16.9	0

## **Abstract**

As the exploration task is usually encountered with risky situation, optimum selection of district will be a crucial process. One of the sophisticated methods in accessing to the expressed purpose is to use of the remote sensing data processing especially considering the pattern recognition methods in order to receive some accurate results. Support vector machine (SVM) is a novel machine learning technology to be considered as a robust method in classification and regression tasks. This particular method has been introduced in the early of 1990s and there are at least three reasons for its success namely, 1)ability to learn well with only a very small number of parameters, 2) its robustness against the error of model, and 3) its computational efficiency compared with several other methods such neural network, fuzzy network and etc. Since, there is no evidence of using SVM in recognition of the promising exploration areas, this paper has been performed with the main aim of utilizing SVM in recognition of the mineral potential areas in southwest of Masuleh, Gilan province, Iran.

Pattern recognition in the mineral exploration works is relied on the modeling of the known mineral occurrences and be able to provide a chance to recognize the potential areas in terms of extracted features of training points. Therefore, in the present study, after the investigation of available information and image processing of interested area, several suspected points are indicated for field observation and geochemical exploration works. In the next stage, considering the geochemical anomalies as training set, implementation of supervised classification as well as the other necessary image processing, has been done and 5 promising exploration areas are introduced as priority for further investigation.





Shahrood  
University of Technology  
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

**Application of Support Vector Machine (SVM) in remote sensing data processing to recognize the mineral potential of southeastern Masoule, Guilan province**

**A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Mining Exploration Engineering**

By:  
**Raof Gholami**

Supervisor:  
**Dr. Ali Moradzadeh**

Advisor:  
**Eng. Mahyar Yosefi**

**September 2010**