

صلى الله عليه وسلم



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته‌ی مهندسی معدن گرایش اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

پی‌جویی بوکسیت در منطقه‌ی البرز شرقی با استفاده از فن‌آوری سنجش از

دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی

نگارنده: میلاد قنبری عدیوی

استاد راهنما:

دکتر حمید آقاجانی / دکتر سوسن ابراهیمی

استاد مشاور:

دکتر محمد رضایی

شهریور ۱۳۹۷

تقدیر و شکر

سپاس بی حد خداوند مهربان، را سزاوارست که به انسان، توانایی و دنیایی بخشد تا به بندگانش شفقت
ورزد و مهربانی کند و در حل مشکلاتش یار و سرشمار نماید. نه فقط شکر خالق که شکر مخلوق هم سزاوارست
چرا که "منسلم یشکر و المخلوق لم یشکر و الخالق"؛ بدین معنی است که منم می دانم و دانستم که شما
آقا و دکتر آقا جانی و سرکار خانم دکتر پرویمی که زحمات و همتای بی‌پایان، نامه را بر عهده داشتند و
همه عزیزانی که در مراحل مختلف پیاپی، نامه را یار و سر نموده اند، صمیمانه شکر و قدر دانی نمایم و توفیق روز
آفرین، را بر یاری یکایک شما، از درگاه خداوند متعال خواستارم و سپس پیاپی را به خانواده عزیزم تقدیم
می کنم که همراه شما، همیشگی ام بودند و رنج سال ها در سر و تحصیل را به جا، خریدند.

تقديم به:

محضر شریف صاحب الامر،

پرومادرم

تعهدنامه

اینجانب **میلاد قنبری عدیوی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **اکتشاف معدن** دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **پی جویی بوکسیت در منطقه البرز شرقی با استفاده از فن آوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی** تحت راهنمایی **دکتر حمید آقاجانی و دکتر سوسن ابراهیمی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام **دانشگاه صنعتی شاهرود** و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ :

امضاء دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات، مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

سنجش از دور علمی بر پایه پیشرفت‌های حاصل از فن‌آوری‌های جدید و ماهواره‌ای است که به ما این امکان را می‌دهد که در کوتاه‌ترین زمان و با کم‌ترین هزینه، با دقت نسبتاً بالایی، منطقه وسیعی را مورد مطالعه قرار داده و پتانسیل‌های معدنی موجود در آن را شناسایی کرد. کانسنگ بوکسیت عموماً برای تولید آلومینا که ماده اولیه تولید آلومینیم است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ایران مهم‌ترین کانسار بوکسیت در ناحیه جاجرم، در جنوب غربی شهرستان بجنورد قرار دارد. در پایان نامه‌ی فعلی که شامل ورقه‌های یک صدهزار سمنان، جام، کیاسر، پل سفید، دامغان، معبد، گرگان، علی آباد، شاهرود، بسطام، رامیان، گنبد کاووس، دوزین، ری‌آباد، میامی، رباط قره بیل، جاجرم، سنخواست و فرومد می‌باشد، برای موارد دیگر کار دورسنجی انجام شده است، ولی هدف از این تحقیق، شناسایی مناطقی از ناحیه مذکور است که دارای پتانسیل معدنی بوکسیت باشد. با توجه به قرار گیری معادن بوکسیت موجود در ناحیه در بین سازندهای الیکا به عنوان کمر پایین ماده معدنی و سازند شمشک به عنوان کمر بالای ماده معدنی به شناسایی سازندهای مذکور پرداخته شد. از معدن بوکسیت جاجرم به عنوان مبنا استفاده شد. برای نیل به این هدف، با استفاده از روش‌های مختلف، آماده سازی و پیش پردازش روی داده‌های ناحیه انجام گرفت. همچنین برای پردازش داده‌ها با استفاده از روش‌هایی مانند، نسبت باندی، روش رنگ کاذب، روش کمترین مربعات، تجزیه مولفه‌های اصلی و ... به شناسایی سازندها و سنگ بستر مناسب بوکسیت و دگرسانی‌های مرتبط در منطقه پرداخته شد. در نهایت، از روش طبقه بندی نقشه برداری زاویه طیفی (Sam) به منظور شناسایی مکان‌های پرتانسیل معدنی استفاده شد. در این پژوهش برای انجام عمل پیش‌پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای حاصل از ماهواره‌ی لندست و سنجنده‌ی ETM+ از نرم افزارهای ENVI و GIS استفاده شده است.

کلمات کلیدی:

البرز شرقی، بوکسیت، سنجش از دور، ETM+، GIS

فهرست مطالب

۱- فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۱-۲ سابقه تحقیق.....	۳
۱-۳ ضرورت انجام تحقیق.....	۴
۱-۴ روش تحقیق.....	۵
۱-۵ ساختار پایان نامه.....	۶
۲- فصل دوم : معیارهای شناسایی کانسارهای بوکسیت و زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه.....	۷
۲-۱ مقدمه.....	۸
۲-۲ کانسارهای بوکسیت در ایران.....	۹
۲-۳ زمین شناسی عمومی ناحیه.....	۹
۲-۴ پراکندگی زمانی بوکسیت زایی در ایران و ناحیه ی البرز شرقی.....	۱۱
۲-۴-۱ مرز بین پرمین و تریاس.....	۱۲
۲-۴-۲ تریاس زیرین-میانی.....	۱۳
۲-۴-۳ تریاس میانی-بالایی.....	۱۳
۲-۴-۴ سازند الیکا.....	۱۳
۲-۵ پالئوژئوگرافی ایران در ژوراسیک.....	۱۴
۲-۵-۱ سازند شمشک (ژوراسیک زیرین، لیاس).....	۱۵

- ۶-۲ ارتباط بوکسیت زایی با زغال سنگ..... ۱۵
- ۷-۲ عوامل موثر بر بوکسیت زایی..... ۱۶
- ۱-۷-۲ تاثیر شرایط آب وهوایی..... ۱۶
- ۲-۷-۲ تاثیر پوشش گیاهی در حفظ بوکسیت..... ۱۷
- ۳-۷-۲ تاثیر تکتونیک در تشکیل بوکسیت..... ۱۷
- ۴-۷-۲ اثر توپوگرافی در تشکیل بوکسیت..... ۱۷
- ۵-۷-۲ سنگ منشا بوکسیت..... ۱۸
- ۶-۷-۲ بحث اکسایش واحیا..... ۱۸
- ۷-۷-۲ تاثیر تغییر غلظت اکسید های ($Fe_2O_3 - SiO_2 - Al_2O_3$) در عیار اقتصادی کانسار های بوکسیت..... ۱۹
- ۸-۲ مدل پیدایش کانسار بوکسیتها در قاعده لیا س با تمرکز روی معدن تاش..... ۲۰
- ۹-۲ مدل پیشنهادی پیدایش کانسارهای بوکسیت قاعده لیا س بر اساس منشأ غیر بازالتی... ۲۱
- ۱۰-۲ اندیس های معدنی بوکسیت موجود در منطقه ی مورد مطالعه (البرز شرقی)..... ۲۱
- ۱-۱۰-۲ معدن بوکسیت جاجرم..... ۲۲
- ۲-۱۰-۲ معدن بوکسیت تاش..... ۲۲
- ۳- فصل سوم..... ۲۵
- ۱-۳ مقدمه..... ۲۶
- ۲-۳ تاریخچه ی استفاده بشر از سنجش از دور..... ۲۷
- ۳-۳ انرژی الکترومغناطیس و سنجش از دور..... ۲۸

- ۳۰..... ۳-۳-۱ طیف الکترو مغناطیس
- ۳۱..... ۳-۳-۲ مفهوم باند
- ۳۲..... ۳-۴-۴ عوامل موثر در تشکیل تصاویر
- ۳۲..... ۳-۴-۱ تاثیر اتمسفر بر انرژی الکترومغناطیس
- ۳۳..... ۳-۵-۵ سامانه ی ماهواره ی سنجش از دور
- ۳۳..... ۳-۵-۱ پلاتفرم‌ها
- ۳۳..... ۳-۵-۲ سنجنده‌ها
- ۳۴..... ۳-۶-۱ ماهواره ی لندست
- ۳۵..... ۳-۷-۷ برخی از ویژگی‌های مهم ماهواره‌ها
- ۳۵..... ۳-۷-۱ زاویه میل
- ۳۶..... ۳-۷-۲ زمان بازدید مجدد
- ۳۶..... ۳-۷-۳ میدان دید (Fov)
- ۳۷..... ۳-۸-۱ پیش پردازش داده‌ها
- ۳۸..... ۳-۸-۱ موزائیک کردن
- ۳۹..... ۳-۸-۲ برش تصاویر
- ۳۹..... ۳-۸-۳ تصحیح اتمسفری
- ۴۰..... ۳-۹-۹ پردازش تصاویر ماهواره‌ای
- ۴۱..... ۳-۹-۱ روش ترکیبات رنگی
- ۴۲..... ۳-۹-۲ روش نسبت باندی

۳-۹-۳	روش آنالیز مؤلفه های اصلی (PCA).....	۴۳
۳-۱۰	روش کمترین مربعات رگرسیون شده.....	۴۶
۳-۱۱	طبقه بندی تصاویر.....	۴۶
۳-۱۱-۱	طبقه بندی نظارت نشده.....	۴۷
۳-۱۱-۲	طبقه بندی نظارت شده.....	۴۷
۳-۱۱-۱-۱	روش نقشه برداری زاویه طیفی (SAM).....	۴۸
۴- فصل چهارم		۵۱
۴-۱	مقدمه.....	۵۲
۴-۲	داده های مورد استفاده.....	۵۲
۴-۳	پیش پردازش ها.....	۵۳
۴-۳-۱	موزائیک و برش تصاویر محدوده مورد مطالعه.....	۵۳
۴-۳-۲	انجام تصحیحات بر روی داده ها.....	۵۴
۴-۳-۳	شناسایی پوشش گیاهی در منطقه با شاخص گیاهی نرمال شده ی تفاضلی.....	۵۴
۴-۴	پردازش تصاویر.....	۵۶
۴-۴-۱	ترکیب رنگی کاذب.....	۵۷
۴-۴-۲	نسبت باندی.....	۶۲
۴-۴-۲-۱	بارز کردن سازند شمشک با نسبت باندی ۲ به ۵ در منطقه.....	۶۶
۴-۴-۲-۲	بارز کردن سازند دولومیتی و آهکی الیکا.....	۶۹
۴-۴-۳	ایجاد تصاویر نسبتی.....	۷۲

۴-۴-۴	روش آنالیز مولفه‌های اصلی.....	۸۴
۴-۴-۵	تحلیل مولفه‌های اصلی انتخابی (روش کروستا).....	۹۲
۴-۴-۶	شناسایی دگرسانی‌های منطقه بر اساس مؤلفه‌ی اصلی مطلوب در روش کروستا و مقایسه با مؤلفه اصلی مطلوب در روش PC.....	۹۵
۴-۴-۶-۱	شناسایی اکسید آهن در روش کروستا و مقایسه با روش استاندارد.....	۹۵
۴-۴-۶-۲	شناسایی دگرسانی رسی در روش کروستا و مقایسه با روش استاندارد.....	۹۷
۴-۴-۷:	روش حداقل مربعات رگرسیون شده.....	۹۹
۴-۴-۸	روش نقشه برداری زاویه طیفی.....	۱۰۳
۵- فصل پنجم.....		۱۰۷
۵-۱ نتیجه گیری.....		۱۰۸
۵-۲ پیشنهادات.....		۱۰۸
منابع.....		۱۰۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۲: نقشه ساده شده تکتونیک ایران با زون‌های زمین ساختی گوناگون و توزیع مجموعه‌های
ماگمایی سنوزوئیک..... ۱۱
- شکل ۲-۲: نمایش نمودار رده بندی بوکسیت‌ها و لاتریت‌ها..... ۱۹
- شکل ۱-۳: نحوه حرکت یک موج الکترومغناطیس..... ۲۸
- شکل ۲-۳: شمای کلی از فرآیند سنجش از دور و دریافت داده‌های ماهواره‌ای..... ۲۹
- شکل ۳-۳: محدوده طیف امواج الکترومغناطیس..... ۳۰
- شکل ۴-۳: A: سنجنده فعال و B: سنجنده‌ی غیرفعال..... ۳۴
- شکل ۵-۳: زاویه‌ی میل..... ۳۵
- شکل ۶-۳: تصاویر موزائیک شده ماهواره‌ی لندست سنجنده+ETM کل ایران و قسمت‌هایی از
خاورمیانه..... ۳۹
- شکل ۷-۳: نمودار DN باند ۱ محور (X1) و باند ۲ (محور X2) لندست و ارتباط بین دو باند..... ۴۴
- شکل ۸-۳: زاویه بین دو بردار..... ۴۹
- شکل ۱-۴: نقشه‌های موزائیک شده‌ی زمین‌شناسی محدوده‌ی مورد مطالعه و مناطق مشخص شده
روی آن..... ۵۴
- شکل ۲-۴: RGB=(7,4,1) از منطقه مورد مطالعه..... ۵۵
- شکل ۳-۴: تصویر ماسک شده پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه..... ۵۶
- شکل ۴-۴: تصویر ترکیب رنگی کاذب حاصل از ترکیب باندهای 3,4,7 به ترتیب در فیلترهای قرمز و
سبز و آبی در منطقه ۱ محدوده‌ی مورد مطالعه..... ۵۸
- شکل ۵-۴: محدوده معدن بوکسیت جاجرم در تصویر رنگی کاذب RGB=(7,4,3)..... ۵۸
- شکل ۶-۴: ترکیب رنگی کاذب: RGB=(7,4,3) سنجنده‌ی ETM+ در منطقه‌ی ۳ مورد مطالعه
..... ۶۰

شکل ۴-۷: ترکیب رنگی کاذب: $RGB = (7,4,3)$ سنجندهی $ETM+$ در منطقه‌ی ۲ مورد مطالعه

۶۱

شکل ۴-۸: برشی از سازند شمشک والیکا در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه در تصویر

۶۱..... $RGB=(7,4,3)$

شکل ۴-۹: محدوده معدن بوکسیت تاش در ترکیب رنگی کاذب: $RGB(7,4,3)$ سنجندهی $ETM+$

در منطقه‌ی ۲ مورد مطالعه..... ۶۲

شکل ۴-۱۰: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۳/۱ بر روی عکس هوایی سنجنده $ETM+$ در منطقه

ی ۱ محدوده مورد مطالعه..... ۶۳

شکل ۴-۱۱: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۳/۱ بر روی عکس هوایی سنجنده $ETM+$ در منطقه

ی ۲ محدوده مورد مطالعه..... ۶۴

شکل ۴-۱۲: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۳/۱ بر روی عکس هوایی سنجنده $ETM+$ در منطقه

ی ۳ محدوده مورد مطالعه..... ۶۴

شکل ۴-۱۳: تصویر حاصل از نسبت بانندی ۵/۷ در منطقه ۱..... ۶۵

شکل ۴-۱۴: نسبت بانندی ۵/۷ در منطقه ۲..... ۶۵

شکل ۴-۱۵: نسبت بانندی ۵/۷ در منطقه ۳..... ۶۶

شکل ۴-۱۶: نسبت بانندی ۲ به ۵ برای بارز کردن سازند شمشک در منطقه ۱..... ۶۷

شکل ۴-۱۷: بارز شدن سازند شمشک در نسبت بانندی ۲ به ۵ در محدوده معدن بوکسیت جاجرم..... ۶۷

شکل ۴-۱۸: نسبت بانندی ۲ به ۵ برای بارز کردن سازند شمشک در منطقه ۲..... ۶۸

شکل ۴-۱۹: بارز شدن سازند شمشک با نسبت بانندی ۲ به ۵ در منطقه مورد مطالعه..... ۶۸

شکل ۴-۲۰: نسبت بانندی ۲ به ۵ برای بارز کردن سازند شمشک در منطقه ۳..... ۶۹

شکل ۴-۲۱: نسبت بانندی ۷ به ۳ برای بارز کردن سازند الیکا در منطقه ۱..... ۷۰

شکل ۴-۲۲: توالی سازند شمشک -الیکا در محدوده معدن بوکسیت جاجرم در تصویر حاصل از

- نسبت باندی ۷ به ۳ که سازند الیکا به صورت سفید بارز شده است..... ۷۰
- شکل ۴-۲۳: نسبت باندی ۷ به ۳ برای بارز کردن سازند الیکا در منطقه ۲..... ۷۱
- شکل ۴-۲۴: بارز شدن محدوده‌ی سازند الیکا با نسبت باندی ۷ به ۳ در محدوده مورد مطالعه از منطقه ۲..... ۷۱
- شکل ۴-۲۵: نسبت باندی ۷ به ۳ برای بارز کردن سازند الیکا در منطقه ۳..... ۷۲
- شکل ۴-۲۶: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(3/1,5/7,5/4)$ در منطقه ۱..... ۷۳
- شکل ۴-۲۷: محدوده معدن بوکسیت جاجرم در تصویر نسبتی $RGB=(3/1,5/7,5/4)$ در منطقه ۱..... ۷۳
- شکل ۴-۲۸: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(3/1,5/7,5/4)$ در منطقه ۲..... ۷۴
- شکل ۴-۲۹: برشی از سازند شمشک و الیکا در ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(3/1,5/7,5/4)$ ۷۴
- شکل ۴-۳۰: برشی از محدوده بوکسیت تاش در ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(3/1,5/7,5/4)$ در منطقه ۲..... ۷۵
- شکل ۴-۳۱: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(3/1,5/7,5/4)$ در منطقه ۳..... ۷۶
- شکل ۴-۳۲: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(2/5,7/3,4/2)$ در منطقه ۱..... ۷۷
- شکل ۴-۳۳: محدوده معدن بوکسیت جاجرم در تصویر نسبتی $RGB=(2/5,7/3,4/2)$ در منطقه ۱..... ۷۷
- شکل ۴-۳۴: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(2/5,7/3,4/2)$ در منطقه ۲..... ۷۸
- شکل ۴-۳۵: برشی از سازند شمشک و الیکا در ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(2/5,7/3,4/2)$ در منطقه ۲..... ۷۸
- شکل ۴-۳۶: برشی از محدوده بوکسیت تاش در ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی‌ها $RGB=(2/5,7/3,4/2)$ در منطقه ۲..... ۷۹

- شکل ۴-۳۷: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی ها $RGB=(2/5,7/3,4/2)$ در منطقه ۳..... ۸۰
- شکل ۴-۳۸: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی ها $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در منطقه ۱..... ۸۱
- شکل ۴-۳۹: محدوده معدن بوکسیت جاجرم در تصویر نسبیتی $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در منطقه ۱
از محدوده مورد مطالعه..... ۸۱
- شکل ۴-۴۰: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی ها $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در منطقه ۲..... ۸۲
- شکل ۴-۴۱: برشی از سازند شمشک و الیکا در ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی ها
 $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در منطقه ۲..... ۸۲
- شکل ۴-۴۲: برشی از محدوده بوکسیت تاش در ترکیب رنگی حاصل از نسبت
باندی ها $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در منطقه ۲..... ۸۳
- شکل ۴-۴۳: ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی ها $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در منطقه ۳..... ۸۳
- شکل ۴-۴۴: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد در
منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه ۸۵
- شکل ۴-۴۵: تصویر حاصل از ترکیب رنگی $RGB=(H+F,F,H)$ در منطقه ۱ در محدوده مورد
مطالعه..... ۸۶
- شکل ۴-۴۶: محدوده معدن بوکسیت جاجرم در تصویر حاصل از ترکیب رنگی $RGB=(H+F,F,H)$
در منطقه ۱..... ۸۶
- شکل ۴-۴۷: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد در
منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه..... ۸۸
- شکل ۴-۴۸: تصویر حاصل از ترکیب رنگی $RGB=(H+F,F,H)$ در منطقه ۲ در محدوده مورد
مطالعه..... ۸۹
- شکل ۴-۴۹: برشی از سازند شمشک والیکا در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه در تصویر
 $RGB=(H+F,F,H)$ ۸۹

- شکل ۴-۵۰: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۱
- شکل ۴-۵۱: تصویر حاصل از ترکیب رنگی $RGB=(H+F,F,H)$ در منطقه ۳ در محدوده مورد مطالعه..... ۹۲
- شکل ۴-۵۲: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش‌های (A:PC ، B:CROSTA) برای شناسایی دگرسانی اکسید آهن در منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۶
- شکل ۴-۵۳: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش‌های (A:PC ، B:CROSTA) برای شناسایی دگرسانی اکسید آهن در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۶
- شکل ۴-۵۴: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش‌های (A:PC ، B:CROSTA) برای شناسایی دگرسانی اکسید آهن در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۷
- شکل ۴-۵۵: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش‌های (A:PC ، B:CROSTA) برای شناسایی دگرسانی رسی در منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۸
- شکل ۴-۵۶: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش‌های (A:PC ، B:CROSTA) برای شناسایی دگرسانی رسی در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۸
- شکل ۴-۵۷: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش‌های (A:PC ، B:CROSTA) برای شناسایی دگرسانی رسی در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه..... ۹۹
- شکل ۴-۵۸: تصویر حاصل از انجام روش حداقل مربعات رگرسیون شده $RGB=(res3,res5,res4)$ در منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵۹: تصویر حاصل از انجام روش حداقل مربعات رگرسیون شده $RGB=(res3,res5,res4)$ در محدوده معدن بوکسیت جاجرم..... ۱۰۰
- شکل ۴-۶۰: تصویر حاصل از انجام روش حداقل مربعات رگرسیون شده $RGB=(res3,res5,res4)$ در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه..... ۱۰۱

شکل ۶۱-۴ برشی از سازند شمشک والیکا در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه در تصویر

۱۰۱.....**RGB=(res3,res5,res4)**

شکل ۶۲-۴: تصویر حاصل از انجام روش حداقل مربعات رگرسیون شده **RGB=(res3,res5,res4)**

در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه.....۱۰۲.....

شکل ۶۳-۴: تصویر حاصل از انجام روش **SAM** در منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه.....۱۰۳.....

شکل ۶۴-۴: تصویر حاصل از انجام روش **SAM** در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه.....۱۰۴.....

شکل ۶۵-۴: تصویر حاصل از انجام روش **SAM** در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه.....۱۰۵.....

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: خلاصه‌ای از ویژگی‌های مهم تعدادی از کانسارهای بوکسیت منطقه البرز شرقی ۲۳
- جدول ۱-۳: محدوده‌ی طول موجی باندهای ماهواره لندست ۵ و ۷ ۳۱
- جدول ۲-۳: مشخصات سنجنده‌ی **ETM+** ماهواره‌ی لندست ۳۷
- جدول ۱-۴: داده‌های سنجنده **ETM** مورد استفاده ۵۳
- جدول ۲-۴: مقادیر **OIF** محاسبه شده برای منطقه ۱ ۵۷
- جدول ۳-۴: مقادیر **OIF** محاسبه شده برای منطقه ۳ ۵۹
- جدول ۴-۴: تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده **ETM** در منطقه ۱ ۸۴
- جدول ۵-۴: تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده **ETM** در منطقه ۲ ۸۷
- جدول ۶-۴: تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده **ETM** در منطقه ۳ ۹۰
- جدول ۷-۴: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی تصویر
با شماره ردیف ۳۴ (منطقه ۱) ۹۲
- جدول ۸-۴: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی
تصویر با شماره ردیف ۳۴ (منطقه ۱) ۹۳
- جدول ۹-۴: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی
(منطقه ۲) ۹۳
- جدول ۱۰-۴: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری دگرسانی رسی بر روی چهار باند انتخابی
(منطقه ۲) ۹۴
- جدول ۱۱-۴: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی
تصاویر با شماره گذر ۱۶۳ (منطقه ۳) ۹۴
- جدول ۱۲-۴: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری دگرسانی رسی بر روی چهار باند انتخابی
تصاویر با شماره گذر ۱۶۳ (منطقه ۳) ۹۵

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

بوکسیت کانسنگ رسوبی است که حاوی بیش از ۴۰ درصد وزنی اکسید آلومینیم (Al_2O_3) و کمتر از ۸ درصد وزنی اکسید سیلیس (SiO_2) است و مهمترین منبع تولید آلومینا (ماده اولیه کارخانجات تولید آلومینیم)، در دنیاست (Bárdossy and Aleva 1990). ۹۶ درصد آلومینیم جهان از بوکسیت و ۴٪ از نفلین سینیت و آلونیت به دست می‌آید. میزان ذخایر بوکسیتی جهان حدود ۷۵ میلیارد تن تخمین زده می‌شود؛ که مهمترین ذخایر آن در آفریقا (۳۳٪)، اقیانوسیه (۲۴٪)، آمریکای جنوبی و کارائیب (۲۲٪) و آسیا (۱۵٪) می‌باشند. میزان ذخایر بوکسیت کشف شده در ایران در مقایسه با مقادیر جهانی بسیار ناچیز است و به دلیل افزایش مصرف آلومینیم در ایران و جهان، اهمیت اکتشاف این ماده معدنی در کشور امری اجتناب ناپذیر است (شهریاری، ۱۳۶۵). بنابراین با توجه به کمبود ذخایر بوکسیت در کشور و نیاز به پتانسیل‌یابی گسترده در مناطق مستعد، به‌کارگیری فن‌آوری سنجش از دور در پی‌جویی بوکسیت نقش به‌سزایی در بهینه‌سازی عملیات اکتشافی خواهد داشت.

سنجش از دور^۱ علم به‌دست آوردن اطلاعات از یک شی، منطقه و یا یک پدیده است که از طریق تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از سنجنده انجام می‌گیرد؛ که در تماس فیزیکی با پدیده مورد مطالعه نمی‌باشد. در حقیقت سنجش از دور، دانش پردازش و تفسیر تصاویری است که حاصل ثبت تعامل انرژی الکترومغناطیس و اشیاء می‌باشند (Sabins, 1997). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، به دلیل میدان دید گسترده و فرامنطقه‌ای، تکرار داده‌ها در مدت زمان کم، چندباندی بودن داده‌های ماهواره‌ای، دسترسی آسان، توانایی بارزسازی و فراهم نمودن تصاویر رنگی واضح از پدیده‌ها و توانایی تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی (G.I.S)، سبب صرفه‌جویی در زمان، هزینه و نیروی انسانی می‌گردد؛ که می‌تواند در امر اکتشاف معادن و ساختارهای زیرسطحی موثر واقع شود.

^۱ Remote sensing

۲-۱ سابقه تحقیق

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای جهت اکتشاف ذخایر بوکسیت در ایران گزارش شده‌است؛ که می‌توان به چند نمونه از این پی‌جویی‌ها به طور خلاصه اشاره نمود.

زرگری (۱۳۹۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، به شناسایی پتانسیل ذخایر بوکسیت و لاتریت در استان کهگیلویه و بویراحمد (زاگرس مرکزی) پرداخت. به همین منظور، ابتدا رفتار طیفی بوکسیت‌های منطقه را توسط دستگاه فیلدسپک^۳، مورد آنالیز طیفی قرار داد و سپس طیف‌های حاصل از بوکسیت منطقه شاهد برای طبقه‌بندی در تصاویر تصحیح شده جوی ماهواره لندست ۸ به عنوان طیف مرجع معرفی شدند و نتایج حاصل از بارزسازی در الگوریتم SAM پراکندگی احتمالی ذخایر بوکسیت-لاتریت را نشان داد.

مطالعات دورسنجی در یکی از ذخایر بوکسیت جاجرم نشان داده، که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با قابلیت قدرت تفکیک متوسط و بالا در مناطق معرفی شده به عنوان پتانسیل ماده معدنی موثر بوده است. همچنین شناسایی و تفکیک دقیق عوارض و ساختارهای زمین‌شناسی در منطقه در تعیین مناطق کانی‌سازی موثر واقع شده‌است (سلیمانی و همکاران، ۱۳۹۴).

تاری یوسفخانی و رنجبر (۱۳۹۵)، در تحقیقی به شناسایی مناطق با پتانسیل بالای بوکسیت در ورقه ۱،۱۰۰۰۰۰ زرنند کرمان اقدام کردند.

در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره استر و لندست ۸، دولومیت‌ها و مناطق حاوی اکسید آهن به عنوان مناطق پر پتانسیل بوکسیتی شناسایی شدند.

از تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای به منظور شناسایی لایه راهنمای آهکی برای اکتشاف ذخایر بوکسیت در جنوب هند استفاده شده است (Sanjeevi, 2008).

در این تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره ASTER و داده‌های STRM-DEM و مطالعات میدانی پارامترهای مختلفی که سنگ آهک و بوکسیت را کنترل می‌کنند استخراج شده است. و باندهای SWIR-NIR برای مطالعات سنجش از دور مناسب شناخته شد.

هیکی^۱ (۲۰۱۰)، با استفاده از تصاویر لندست TM و طبقه بندی نظارت شده، مناطق بوکسیتی را در شرق استرالیا شناسایی کرد.

از داده‌های ماهواره لندست جهت شناسایی مناطق پتانسیل دار بوکسیت در کشور کامرون استفاده شده است (Tematio, Songmene et al. 2015).

در این تحقیق با استفاده از شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی شناسایی شد و با استفاده از مناطق شناخته شده، طبقه بندی نظارت شده انجام شد و با تلفیق با سایر داده‌ها دو سطح بوکسیتی در منطقه فومبن^۲ کامرون شناسایی شدند.

از شاخص های طیفی برای پتانسیل یابی مناطق معدنی بوکسیت در منطقه پنج پاتمالی در کشور هند استفاده گردید (Suman Babu, Majumdar et al. 2015).

پردازش تصاویر ماهواره ای با استفاده از تصاویر استر برای شناسایی مناطق معدنی بوکسیتی در شمال شرقی هند در منطقه‌ای به نام جهرخند صورت گرفت (Guha and Vinod Kumar 2016).

۳-۱ اهداف و ضرورت انجام تحقیق

بوکسیت مهمترین منبع تولید آلومینا و تولید فلز آلومینیم است و کاربردهای فراوانی در صنایع مختلف دارد. وجود مجموعه معادن بوکسیت و کارخانه تولید پودر آلومینا در شهرستان جاجرم نقش اساسی در رشد و شکوفایی فرهنگی، اجتماعی و اشتغال زایی در این منطقه داشته است. با توجه به فعالیت و بهره‌برداری از ذخایر بوکسیت منطقه در بازه‌ی طولانی، کاهش ذخیره قابل دسترس، کاهش میزان کیفیت و عیار ماده معدنی و از طرفی نیاز روزافزون به این ماده مهم و استراتژیک نیاز به شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید بیش از پیش محرز است.

شناسایی منابع جدید به روش‌های سنتی زمین‌شناسی و چکشی در سطح کشور، نیازمند به‌کارگیری نیروهای متخصص، صرف زمان و هزینه‌ای هنگفت دارد؛ که به لحاظ اقتصادی امکان پذیر و مقرون به

^۱ Hickey

^۲ Fouban

صرفه نیست. از طرفی شناسایی منابع جدید هنگامی موثر واقع می‌شود؛ که ماده معدنی در نزدیک محل کارخانه باشد و یا در صورت فاصله از کارخانه از کیفیت بالایی برخوردار باشد؛ که با صرف هزینه انتقال از معدن به کارخانه، همچنان اقتصادی بماند. جهت نیل به این هدف، استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای و کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و مکان‌یابی جهانی، امری اجتناب‌ناپذیر است. هدف از این تحقیق، شناسایی مناطق احتمالی دارای پتانسیل معدنی بوکسیت در محدوده‌ای از جاجریم تا سمنان می‌باشد، که تا کنون کاری هدفمند، سیستماتیک و یکپارچه در این محدوده انجام نگرفته است.

۴-۱ روش تحقیق

سنجش از دور علمی جدید بر پایه پیشرفت‌های حاصل از فناوری‌های جدید و ماهواره‌ای است؛ که امکان مطالعات منطقه‌ای را با دقتی بالا در کمترین زمان و با کوتاه‌ترین هزینه جهت ارزیابی پتانسیل‌های اکتشافی فراهم می‌نماید. جهت نیل به این هدف، با استفاده از روش‌های مختلف تصحیحات و پیش پردازش بر روی داده‌های موجود صورت می‌گیرد. جهت پردازش داده‌ها از روش‌هایی مانند نسبت‌های باندی، روش رنگ کاذب، روش کمترین مربعات، روش تجزیه مولفه‌های اصلی و ... استفاده می‌شود. در این پژوهش برای انجام عمل پیش پردازش و پردازش تصاویر ماهواره‌ای حاصل از سنجنده‌های ETM+ از نرم‌افزار ENVI استفاده گردید. برای شناسایی مناطق امیدبخش معدنی بوکسیت، عوامل تاثیرگذار در این زمینه مانند شناسایی لایه‌های راهنما (کربنات‌ها)، شناسایی دگرسانی‌های مرتبط در منطقه و سازندهای مرتبط با بوکسیت زایی مورد بررسی قرار گرفت.

۵-۱ ساختار پایان نامه

ساختار پایان نامه مشتمل بر پنج فصل است؛ که فصل اول به مقدمه، سابقه موضوع، ضرورت و روش کار اختصاص یافته است. فصل دوم، به معرفی کانسارهای بوکسیتی و همچنین زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده است. در فصل سوم روش و مبانی سنجش از دور توضیح داده شده است. فصل چهارم روش‌های پردازش بر روی داده‌های موجود در منطقه ارائه گردیده و در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات مربوط به این تحقیق آورده شده است.

فصل دوم

معیارهای شناسایی کانسارهای

بوکسیت و زمین شناسی ناحیه

مورد مطالعه

۲-۱ مقدمه

واژه بوکسیت، از نام روستایی در جنوب فرانسه به نام له‌بو^۱ توسط پیر برتیه^۲ زمین‌شناس فرانسوی برای سنگ معدن آلومینیم اقتباس گردید. آلومینیم پس از آهن دومین عنصر فراوان و پرکاربرد در جوامع بشری است و مهمترین سنگ میزبان آن نفلین سینیت، آلونیت و بوکسیت می‌باشد.

بوکسیت (Bauxite) سنگ معدنی غنی از آلومینیوم است؛ که از سه کانی گیبسیت ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$)، بوهمیت ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) و دیاسپور ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) تشکیل شده و غالباً با ناخالصی‌هایی نظیر اکسیدهای آهن، کانی‌های رسی (کائولینیت و ایلیت)، اکسید تیتان، کلریت، کوارتز و آنتاز همراه است. به‌طور کلی بوکسیت کانسنگ رسوبی غنی از آلومینیوم است؛ که حاصل هوازدگی سنگ‌های آذرین و رسوبی غنی از اکسید آلومینیم (نظیر بازالت و شیل) در آب و هوای حاره و نیمه‌حاره است. در شرایط حاره‌ای، سنگ حاوی سیلیکات آلومینیوم، هوازده شده و ترکیبی از هیدرات‌های آلومینیوم، آهن، سیلیس و سایر ناخالصی‌ها را به‌وجود می‌آورد؛ که با افزایش عیار اکسید آلومینیوم، بوکسیت ایجاد می‌شود.

بوکسیت‌ها به‌دلیل شرایط خاص زمین‌شناسی، استحصال آسان، ذخیره و عیار مناسب، منبع اصلی تولید آلومینیم محسوب می‌شود. مطالعات پالئو جغرافیایی ایران نشان می‌دهد، در پرمین تا ژوراسیک به دلیل حرکت خرد قاره ایران از گندوانا به سمت لورازیا چندین ناپیوستگی رخ داده است، که نهشته‌های بوکسیتی مختلفی را بر جای گذاشته است (بسطامی و فردوست، ۱۳۹۳). مهمترین و با کیفیت‌ترین نهشته‌های بوکسیتی در قاعده لپاس به‌وجود آمده‌اند (بسطامی و فردوست، ۱۳۹۳). اکثر بوکسیت‌های ایران از نوع کارستی بوده و از نظر مکانی در سه پهنه ساختاری-رسوبی البرز، ایران مرکزی و زاگرس توزیع شده است (قربانی، ۱۳۸۶).

پهنه ساختاری-رسوبی البرز و به‌خصوص زون ساختاری-رسوبی البرز شرقی، از نظر زمین‌ساختی بسیار پرتکاپو بوده و با فعالیت‌های ماگمایی، چین‌خوردگی و گسل‌های متعدد مشخص می‌شود (آقانباتی،

^۱ Les Baux

^۲ Pierre Berthier

۱۳۸۳). زون ساختاری-رسوبی البرز شرقی، از نهشته‌های بوکسیتی متعددی برخوردار است که می‌توان به ذخایر بوکسیت جاجرم، تاش، سیاهرود بار و قشلاق اشاره کرد.

۲-۲ کانسارهای بوکسیت در ایران

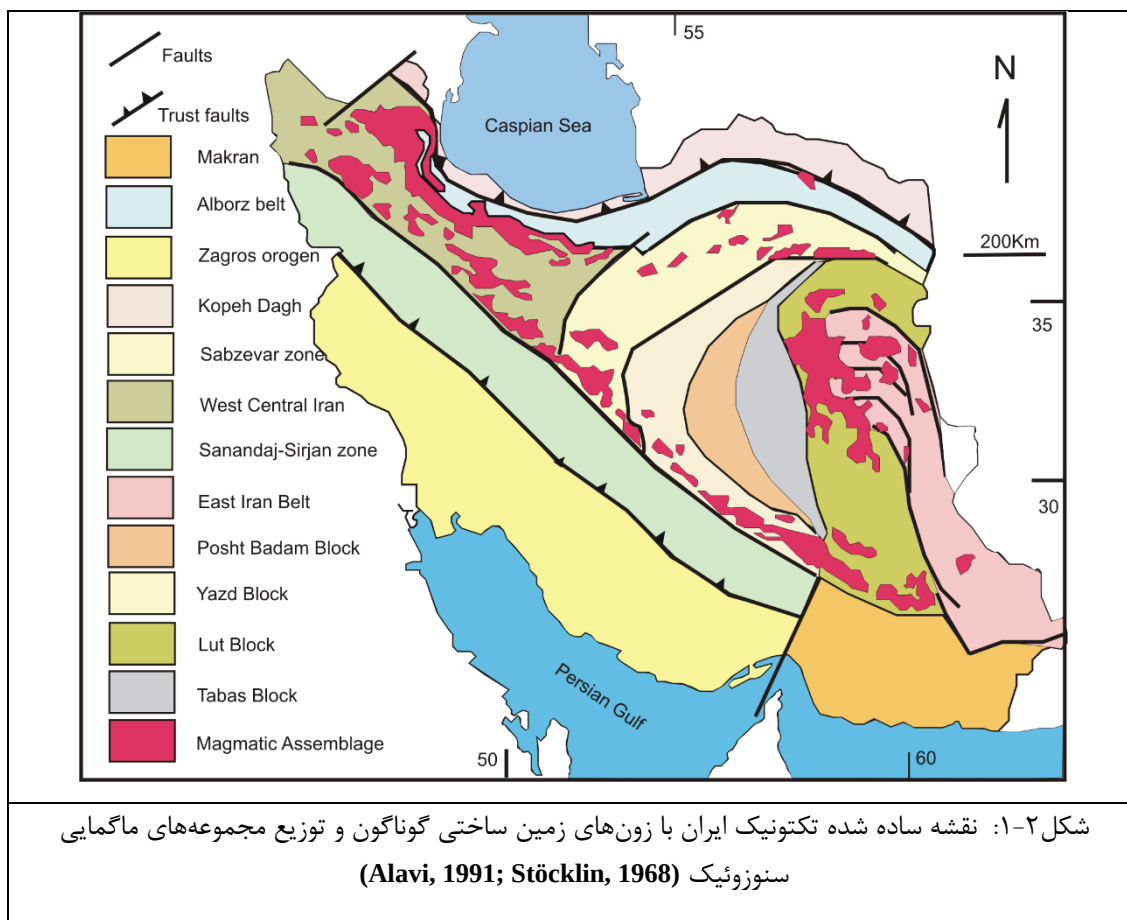
نخستین بار در سال ۱۹۵۸ در ناحیه بلبلوئیه استان کرمان، بوکسیت گزارش شده‌است و در ادامه مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات بنیادی افق‌های بوکسیتی، ذخایر بیشتری در ایران کشف گردید. این ذخایر از نظر ویژگی متفاوت بوده اما اغلب از نوع کارستی هستند. ذخایر بوکسیت ایران به استثنای بوکسیت جاجرم، از نوع دیاسپوری-بوهمیتی می‌باشند. ذخایر بوکسیت کارستی مدیترانه‌ای به صورت عدسی شکل و با کمر پایین کربناتی تشکیل شده‌است؛ که شدت کارستی شدن در کمر پایین ضعیف تا متوسط است. کانسارهای بوکسیت ایران از نظر جغرافیایی در شمال خاور، شمال، شمال باختر، مرکز و جنوب باختر ایران پراکنده است و از نظر ایالت‌های زمین ساختی-رسوبی از پرمین تا کرتاسه بالایی و در نواحی خاور البرز (بینالود)، البرز مرکزی، باختر البرز و زون‌های ایران مرکزی و زاگرس واقع شده‌اند.

۳-۲ زمین شناسی عمومی ناحیه مورد مطالعه

رشته کوه البرز با طولی معادل ۲۰۰۰ کیلومتر بخشی از قسمت شمالی کوهزایی آلپ-همالیا در آسیای غربی به شمار می‌رود (Alavi, 1996). کوه‌های البرز با روند تقریباً شرقی-غربی نسبتاً پیچ و خم‌دار بوده که از شمال به بلوک فرورفته کاسپین و از جنوب به فلات ایران مرکزی محدود می‌شود. در مورد مرز شرقی و غربی آن در ایران اختلاف نظر وجود دارد؛ ولی در حالت کلی مرز غربی البرز تا قفقاز کوچک و مرز شرقی آن تا کوه‌های پاراپامیسوس افغانستان ادامه دارد (Alavi, 1996). این مجموعه با ساختاری کشیده و راستای کلی خاوری-باختری به سه بخش باختری، مرکزی و خاوری تقسیم می‌شود. در البرز باختری روند گسل‌ها و چین خوردگی‌ها به صورت شمال باختری-جنوب خاوری است. در البرز خاوری روند گسل‌ها و چین خوردگی‌ها به صورت جنوب باختری-شمال خاوری است که این دو روند در البرز مرکزی با یکدیگر تلاقی پیدا می‌کنند و روند خاوری-باختری به خود می‌گیرند. به دلیل اختلاف چینه‌شناسی و تکتونیک زون ساختاری البرز به واحدهای البرز شرقی، البرز مرکزی، البرز غربی

و آذربایجان تقسیم‌بندی شده‌است (Alavi, 1991).

محدوده مورد مطالعه در زون ساختاری-رسوبی البرز شرقی واقع شده‌است. به عقیده افتخارنژاد (۱۳۵۹)، البرز شرقی یک زون مستقل به حساب نمی‌آید، بلکه جزئی از ایران مرکزی است که در آن رسوبات اپی‌کنتینتال پالئوزوئیک تقریباً در همه جا مشاهده می‌شود، ولی در بخش‌های بالا آمده به‌طور محلی، قسمت‌هایی از ردیف‌های رسوبی حذف شده و در آن نبود چینه‌شناسی مشخص دیده می‌شود (درویش زاده، ۱۳۷۰). رسوبات تریاس البرز با ایران مرکزی تفاوت داشته ولی در بینالود (البرز شرقی) هیچ نوع رسوبی در دوره تریاس تشخیص داده نشده‌است. در حوضه کپه داغ نیز، بیرون‌زدگی رسوبات تریاس بسیار نادر است و اطلاعات چندانی از ماهیت آن‌ها به‌خصوص در تریاس زیرین و میانی در دست نیست. در زون بینالود، رسوبات ژوراسیک در بسیاری از نقاط به‌طور هم شیب، رسوبات پالئوزوئیک و مجموعه‌های دگرگونی را می‌پوشاند و در کنگلومرای قاعده‌ای آن می‌توان قطعات مختلف و فراوان دگرگونی و آذرین پالئوزوئیک را پیدا کرد (خسروتهرانی، ۱۳۸۳). رسوبات لیاس نیز مشابه رسوبات سازند شمشک البرز است و در آن گاهی لایه‌های ماسه‌سنگ بین لایه‌ای وجود دارد که حاوی فسیل‌های گیاهی زیاد است. شکل نقشه ساده شده تکتونیک ایران به همراه زون‌های زمین‌ساختی گوناگون را نشان داده است.



۲-۴ پراکندگی زمانی بوکسیت زایی در ایران و ناحیه‌ی البرز شرقی

کانسارهای بوکسیت در افق‌های زمانی خاصی دارای گسترش بیشتری می‌باشند. به‌طور کلی پراکندگی کانسارهای بوکسیت در ایران در سه افق زمانی پرموتریاس در شمال غرب (Calagari and Abedini 2007)، تریاس بالایی تا ژوراسیک پایینی در شمال شرق (Rouzbeh-Kargar 1997) و کرتاسه در زاگرس (Zarasvandi, Charchi et al, 2008) می‌باشند. پراکندگی کانسارهای بوکسیت ایران مربوط به پرموتریاس با سهم پراکندگی (۳۶/۵۳٪)، پرمین (۲۶/۹۲٪)، تریاس - ژوراسیک (۱۷/۳٪)، تریاس (۱۱/۵۲٪) و کرتاسه (۷/۶۹٪) می‌باشند (سهیلی‌نیا، ۱۳۸۴). پدیده بوکسیت‌زایی در منطقه مورد مطالعه مربوط به قاعده لیاس بوده و اغلب معادن موجود در منطقه، مربوط به این دوره زمین‌شناسی هستند. به دلیل اهمیت کانسارزایی در این دوره‌ها، مختصری از ویژگی‌های زمین‌شناسی و زمان‌های تشکیل بوکسیت در ایران توضیح داده خواهد شد.

مرز بین دوران اول (پالئوزوئیک) و دوران دوم (مزوزوئیک) در ایران با توجه به زون‌های ساختاری مختلف، متفاوت است. از مطالعات رسوبات پرمین و تریاس واقع در جلغای ارس، قمشه و آباده که تقریباً در امتدادی برابر با جهت شمال غربی-جنوب شرقی قرار می‌گیرند، می‌توان نتیجه گرفت که این رسوبات از نظر رخساره و شرایط محیطی شباهت بسیار زیادی به هم دارند، هر چند ضخامت رسوبات در این سه ناحیه با هم متفاوت است؛ که می‌تواند ناشی از فرونشست متفاوت کف حوضه رسوبی در نواحی سه گانه باشد (خسروتهرانی، ۱۳۸۳). توزر^۱ (۱۹۸۸) رسوبات پرمین فوقانی را در جلغای ایران و روسیه، با فسیل پاراتیرولیتس مشخص کرده است؛ که حد انتهایی پرمین فوقانی است. وی همچنین رسوبات تریاس زیرین را با فسیل کلاریا مشخص کرده است. سنگ‌های پرمین در منطقه البرز برونزدهای گسترده‌ای دارد. در این منطقه سه واحد سنگ چینه‌ای به نام سازند درود (در زیر)، روته (وسط) و نسن (بالا) معرف توالی‌های پرمین است.

سطوح پایانی سنگ‌های روته نشانگر یک سطح فرسایشی-کارستی می‌باشد؛ که می‌تواند با عدسی‌های بوکسیت-لاتریت تایید شود (آقانباتی، ۱۳۷۰). سطح بالایی سازند روته به سازند الیکا (تریاس) و یا سازند شمشک (تریاس-ژوراسیک) منتهی می‌شود. مرز بالای ردیف‌های پرمین در ایران به‌طور عموم ناپیوسته ولی از نوع دگرشیبی موازی است. نبوده‌های رسوبی کوتاه و موقتی، به‌طور عموم با تشکیل افق‌های بوکسیت و لاتریت و یا نهشت رسوب‌های تبخیری همراه بوده است. این دیدگاه با افق‌های هوازده، ماسه‌سنگ‌های آهن‌دار تیره رنگ و یا عدسی‌های از بوکسیت و لاتریت مسجل می‌شود؛ اگرچه در چند ناحیه، شواهدی از رسوبگذاری پیوسته از پرمین به تریاس گزارش شده است (آقانباتی، ۱۳۷۰)

^۱ Touzer

۲-۴-۲ تریاس زیرین-میانی

رسوبات پرمین فوقانی و تریاس زیرین به لایه‌های ضخیم دولومیتی تریاس میانی ختم می‌شوند. در آغاز تریاس تحتانی، قسمت اعظم محدوده ایران به وسیله دریای کم عمق اپی کنتینتال پوشیده شده و راه دریا به طرف جنوب باز بوده است؛ که این وضعیت کم و بیش تا تریاس میانی برقرار می‌باشد. در تریاس میانی تقریباً در سرتاسر ایران، رسوبات دولومیتی ته‌نشین می‌شوند؛ که سازندهای دولومیتی الیکا، دولومیت شتری و دولومیت‌های حاوی رسوبات تبخیری خانه کت نمونه‌ای از آن است (رپین، ۱۳۶۵). با توجه به رخساره‌های تریاس میانی-بالایی می‌توان نتیجه گرفت که در اکثر نقاط ایران، فاز فشاری مهمی به وقوع پیوسته است که به فاز سیمیرین شناخته می‌شود. به عقیده اشتامپلی (۱۹۷۸) این فاز کوهزایی که به شدت پلاتفرم توران، منطقه قفقاز و هندوکش را تحت تاثیر قرار داده‌است، در ایران حالت خشکی زایی دارد و به‌ویژه منطقه مورد مطالعه البرز شرقی، تحت تاثیر این فاز قرار داشته است.

۲-۴-۳ تریاس میانی-بالایی

فاز کوهزایی سیمیرین که یکی از فازهای فرعی کوهزایی آلپی است، درحد بین تریاس میانی و فوقانی نیز ایران را تحت تاثیر قرار داده است که با شواهدی نظیر بالازدگی‌های ناحیه ای، چین خوردگی‌ها و دگرگونی‌ها و بالاخره فرسایش همراه بوده و حوضه‌های رسوبی جدیدی (مثل حوضه رسوبی کپه داغ) را به وجود آورده است (بربریان و کینگ، ۱۹۸۱). جنبش‌های تریاس میانی-بالایی را می‌توان علت اصلی بسته شدن اقیانوس هرسی نین پسین (پالئوزوئیک پایانی)، بین ایران و صفحه توران در شمال دانست که سبب ایجاد خشکی واحدی از تریاس میانی به بعد شده است (خسرونژاد، ۱۳۸۳). در منطقه-مورد مطالعه طی دوره‌ی تریاس بالایی در اثر عملکرد فاز سیمیرین پیشین یک دوره خشکی زایی ایجاد شده است و توسعه و گسترش پوشش گیاهی موجب تشکیل رخساره‌های زغال دار شده است.

۲-۴-۴ سازند الیکا

سازند الیکا مربوط به دوره تریاس است که به دو بخش کاملاً متمایز از هم تقسیم می‌شوند:

بخش زیرین از آهک‌های ورقه‌ای نازک لایه تشکیل شده که مارنی و دولومیتی شده و در بیش‌تر موارد به رنگ زرد متمایل به خاکستری دیده می‌شوند. همچنین آهک‌های خاکستری رنگ با آثار کرمی شکل نیز در بخش زیرین از رخساره‌های مشخص تریاس زیرین است. با توجه به فسیل‌های شکم‌پایان کوچک و دوکفه‌ایها از قبیل کلاریا، سن این بخش را تریاس زیرین تعیین می‌کنند.

بخش میانی دولومیت‌های ضخیم لایه توده‌ای شکل، بخش تریاس میانی را شکل می‌دهند. سازند تریاس با ناپیوستگی هم شیب روی رسوبات پرمین میانی تا بالایی قرار دارد؛ که با افقی از لایه‌های لاتریتی یا بوکسیتی قرمز رنگ مشخص می‌شوند. به علت نبود چینه‌شناسی تریاس بالایی سبب ناپیوستگی هم‌شیب بین تریاس میانی و شیل ماسه‌سنگ‌های لیاس می‌شود، این وضع در منطقه البرز شرقی قابل مشاهده است. از مقایسه سنگ‌شناسی تریاس زاگرس با نواحی البرز و همچنین رخساره‌های دریایی ایران مرکزی، چنین نتیجه می‌شود؛ که اساساً دو بخش آهک و دولومیت‌های ورقه‌ای و دولومیت توده‌ای از رخساره‌های شاخص تریاس است. دولومیت‌های بخش دوم الیکا، با یک سطح فرسایش توسط سازند شمشک پوشیده می‌شوند؛ که مرز بین این دو با یک افق آهن‌دار (لاتریت) مشخص می‌شود

۲-۵ پالئوژئوگرافی ایران در ژوراسیک

پس از جنبش‌های تریاس میانی، قسمت اعظم ایران از آب خارج شده و به‌صورت محیط مردابی- رودخانه‌ای درآمد، که نتیجه آن گسترش پوشش گیاهی در تریاس پسین و اوایل ژوراسیک شده است (خسروتهرانی، ۱۳۸۳). پوشش گیاهی فراوان در ژوراسیک زیرین (سازند لیاس) در البرز، نشانه وجود جنگل‌های انبوه در سرتاسر ایران است؛ که این سازند عموماً در البرز شرقی و مرکزی با آثار زغالی همراه است. معادن مهم زغال سنگ ایران از جمله معادن زغال سنگ شمشک، طزره و قشلاق در این سازند قرار گرفته‌اند. به‌طور کلی رخساره‌های لیاس در البرز، از ماسه‌سنگ، سیلستون، شیل و رس سنگ که به‌طور متناوب دیده می‌شوند تشکیل شده‌اند. رخساره‌های لیاس در البرز از نوع رخساره‌های قاره‌ای هستند ولی در لیاس بالایی و ژوراسیک میانی رخساره‌ها به تدریج دریایی می‌شوند.

به‌طور کلی گسترش جغرافیایی رسوبات ژوراسیک تا کوه‌های بینالود-آلاداغ مشاهده شده‌است؛ که امتداد البرز شرقی را دنبال می‌کند. رسوبات ژوراسیک زیرین کپه داغ با رخساره ماسه سنگ و شیلی (سازند کشف رود) به ساند همزمان خود در البرز (سازند شمشک) شباهت زیادی دارد.

۲-۵-۱ سازند شمشک (ژوراسیک زیرین، لیاس)

سازند شمشک به مجموعه رسوبات زغال‌دار در البرز اتلاق می‌شود و یکی از ضخیم‌ترین واحدهای سنگ چینه‌ای ایران است که از سلسله جبال البرز تا غرب ترکیه گسترش دارد (Fursich et al, 2005). رسوب‌گذاری سازند شمشک با پیشروی غیر همزمان دریا از زمان تریاس بالایی تا میانی ادامه داشته و منشأ این رسوبات احتمالاً در سمت جنوب بوده‌است. زغال‌سنگ در البرز شرقی و مرکزی دیده می‌شود؛ اما البرز غربی و کپه‌داغ فاقد زغال است. با این وجود در سازند شمشک البرز غربی و مرکزی، سنگ‌های آذرین (اغلب با ترکیبات بازالتی تا آندزیتی) وجود دارد که در البرز شرقی و کپه‌داغ دیده نمی‌شود (دوریش‌زاده، ۱۳۷۰).

فاصله زمانی تریاس پیشین تا ژوراسیک میانی را در حقیقت می‌توان یک چرخه رسوبی بین رخداد زمین‌ساختی دانست. رسوب‌گذاری در حوضه‌های گسله، باعث به وجود آمدن تراف‌هایی شده که با رسوب‌گذاری در آن‌ها سازند شمشک در البرز شرقی گسترش یافته است. سازند شمشک شامل چهار بخش اصلی ماسه‌سنگ زیرین، بخش زغال‌دار زیرین، بخش ماسه‌سنگ بالایی و بخش زغال‌دار بالایی است (آقانباتی، ۱۳۷۰).

۲-۶ ارتباط بوکسیت زایی با زغال سنگ

شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی برای اولین بار در سال (۱۳۴۷) ضمن پی‌جویی زغال‌سنگ وجود بوکسیت را در جاجرم گزارش کرد. تاکنون نهشته‌های بوکسیتی زیادی از قاعده شمشک در ایران اکتشاف گردیده است. نتایج بررسی‌های انجام شده بر روی مرز بالایی بوکسیت‌های تاش و سازند زغال‌دار شمشک بیانگر ارتباط مستقیم بین آن‌ها می‌باشد. چنانچه مطالعات آنالیز پراش اشعه ایکس، حاکی از

وجود کانی‌های کائولینیت، دیاسپور و آناتاز در شیل‌های بلا فصل بوکسیت‌ها دارد (بسطامی و فردوست، ۱۳۹۳).

اولین بار وجود کانی‌های آلومینیم‌دار در شیل‌ها و زغال‌سنگ‌های ناحیه زغال‌خیز جانگار چین در معدن هیدوجا به سن پنسیلوانیا گزارش شده است (Shifeng di, 2012). در این ناحیه بوکسیت به شکل کانی بوهمیت همراه با زغال‌سنگ در محیط مردابی ته نشست کرده و علاوه بر آلومینیم، گالیوم و عناصر نادر خاکی نیز غنی شدگی نشان می‌دهند. در قسمت‌هایی از معدن بوکسیت تاش که سازند شمشک بوکسیت‌ها را پوشانده است، می‌توان ارتباط بین کانی‌های رسی، شیل و مارن‌های حاوی مواد آلی را مشاهده نمود (بسطامی و فردوست، ۱۳۹۳).

۷-۲ عوامل موثر بر بوکسیت زایی

بوکسیت‌ها در زمان نبود چینه‌ای تشکیل می‌شوند و معرف ناپیوستگی زمانی هستند. در زمان تریاس فوقانی؛ نواحی البرز و ایران مرکزی در بهترین شرایط بوکسیت‌زایی ناشی از هوازدگی بازالت‌ها و یا سایر رسوبات مناسب قرار گرفته‌اند (بسطامی و فردوست، ۱۳۹۳). این شرایط شامل قرار گرفتن در نزدیک استوا و شرایط حاره‌ای، فراهم بودن مواد اولیه (بازالت‌ها)، مهیا بودن سنگ بستر مناسب (حفرات و کارست‌های کربناتی سازند الیکا و شتری) و رسوب همزمان سازند شمشک که باعث محفوظ ماندن بوکسیت‌ها از فرسایش شده است. در ادامه تاثیر عوامل مختلف در بوکسیت‌زایی به اختصار شرح داده می‌شود:

۷-۲-۱ تاثیر شرایط آب و هوایی

آنچه در فرایند بوکسیت‌زایی مورد پذیرش همگان قرار گرفته است، ضرورت وجود آب و هوای گرم و رطوبت بالا است (Bardossy, 1978). امروزه اغلب فرآیند لاتریتی‌زاسیون، در مناطق گرمسیری با دمای بیش از ۲۰ درجه سانتی‌گراد و میزان بارش سالانه بیش از ۱۲۰۰ میلی‌متر صورت می‌گیرد (Mikhailov, 1975). آب و هوای گرم و مرطوب تریاس بالایی و اوایل ژوراسیک در منطقه مورد مطالعه،

اغلب شرایط بسیار مناسبی را برای تشکیل بوکسیت ایجاد کرده است.

۲-۷-۲ تاثیر پوشش گیاهی در حفظ بوکسیت

دوره لياس با رشد گیاهان رطوبتی همراه بوده و فرسایش شدید باعث حفظ و نگهداری مهمترین کانسارهای بوکسیت ایران مانند کانسار جاجرم، تاش، سیاهرودبار، گانو و... شده است. همزمان و بعد از تشکیل بوکسیت قاعده لياس در ایران، سازند شمشک شروع به رسوب گذاری کرده، به طوری که در البرز شرقی، ردیف های تریاس بالا برجستگی های حاصل از رویداد زمین ساختی سیمیرین پیشین را بدون فرسایش شدید می پوشاند. مواد فرسایش یافته در دشت سیلابی مجاور انباشته شده است. در چنین دشت هایی، دریاچه های فصلی موجود محل مناسبی برای تشکیل انباشته هایی زغال سنگی درجا بوده است و به همین دلیل گروه شمشک در البرز شرقی دارای زون های گیاهی متفاوت است (آقاناتی، ۱۳۷۷). وجود پوشش گیاهی باعث تخریب مکانیکی سنگ بستر توسط ریشه ها، کاهش تبخیر آب توسط پوشش گیاهی، جلوگیری از فرسایش بوکسیت تولید شده و ترشح ترکیبات آلی که باعث افزایش سرعت تخریب شیمیایی در سنگ می شود.

۲-۷-۳ تاثیر تکتونیک در تشکیل بوکسیت

مناطق پایدار تکتونیکی مثل سپرها و پلت فرم ها برای بوکسیت زایی مناسب هستند. اغلب زمین شناسان معتقد هستند؛ که در زمان نبود رسوب گذاری بوکسیت ها پدید می آیند و بوکسیت ها را جز ناپیوستگی ها طبقه بندی می کنند.

۲-۷-۴ اثر توپوگرافی در تشکیل بوکسیت

در تشکیل بوکسیت، توپوگرافی مناسب و زهکشی بالا خیلی مهم است، زیرا باعث تشکیل ماده معدنی در همان ناحیه شده و از حرکت مواد تجزیه شده بوکسیت ها و از بین رفتن آن جلوگیری می کند. رسوبات سازند شمشک در البرز و ایران مرکزی بلافاصله بعد از بوکسیت زایی شرایط بسیار مناسبی را

برای حفظ این ماده معدنی به وجود آورده است.

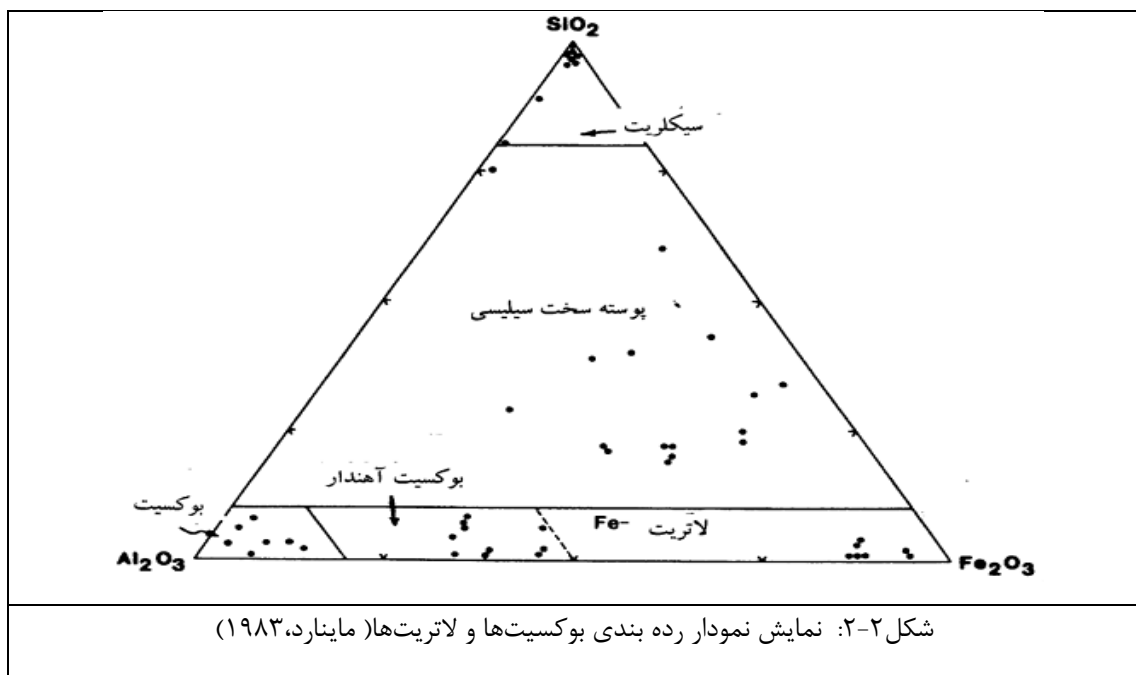
۵-۷-۲ سنگ منشا بوکسیت

در کانسارهای بوکسیتی معمولاً سنگ منشا رخنمون ندارد و پیچیدگی رویدادهای بوکسیتی باعث مبهم شدن تعیین سنگ منشا می شود (Petroschek, 1989). بین بوکسیت و سنگ مادر لایه میانی وجود ندارد، زیرا بوکسیت حاصل تجزیه سنگ مادر است، همچنین به علت مقدار کم آلومینیم در سنگ میزبان نمی توان مشخص کرد که چه میزان بوکسیت توسط هوازدگی سنگ میزبان تشکیل شده است. به طور کلی در هوازدگی سنگ میزبان، ترکیب شیمیایی، کانی شناسی سنگ و نفوذپذیری دارای اهمیت فوق العاده ای می باشد.

۶-۷-۲ بحث اکسایش واحیا

بوکسیت قرمز رنگ مشخص کننده شرایط اکسایش است. این فرآیند را می توان به اکسایش برونزا کانی های آهن دار و تشکیل اکسید و هیدروکسیدهای ثانویه آهن نسبت داد؛ که در محیط اکسایشی حاشیه قاره ای تشکیل می شود (Shamaniean et al, 2012). علاوه بر کانی های ثانویه آهن، در شرایط اکسایش، دیاسپور، بوهمیت و آناکاز نیز تشکیل می شود؛ که همراهی بوهمیت و هماتیت نشان دهنده شرایط اکسایش و اسیدی ضعیف است (Bardossy and White, 1979). شرایط احیایی با حضور بوکسیت سبز غنی از شاموزیت مشخص می شود، که در اغلب بوکسیت های دیاسپوری دنیا یافت می شود و اغلب با کائولینیت همراه است. تشکیل کائولینیت در بوکسیت های کارستی بیشتر به جانشینی دیاژنیکی کانی های آلومینیم دار با سیلیس و با آب زدایی کانی های آلومینیم آب دار نسبت داده می شود (Karadag et al, 2009). شاموزیت های بوکسیت البرز در سطح اکسید شده و به کائولینیت، هماتیت و گوئیتیت تبدیل شده اند (بسطامی و فروست، ۱۳۹۳).

۷-۷-۲ تاثیر تغییر غلظت اکسیدهای ($\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$) در عیار اقتصادی کانسارهای بوکسیت همانطور که قبلاً ذکر شده است، بوکسیت سنگ رسوبی متشکل از کانی‌های دیاسپور، بوهمیت و گیپسیت و کانی‌های آهن، تیتان و سیلیس می‌باشد. ماینارد، بوکسیت‌ها را بر اساس مقادیر ($\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2$)، به بوکسیت، بوکسیت آهن‌دار، لاتریت، لایه‌های سخت سیلیسی آهن‌دار و سیکلریت تقسیم می‌شوند (ماینارد، ۱۹۸۳).



در کانسارهای بوکسیتی، عیار بالاتر از ۳۵ درصد Al_2O_3 و مدول (نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{SiO}_2$) بیش از ۲/۶ از نظر اقتصادی ارزشمند است (Bogatyrev et al, 2009). بالا بودن غلظت Al_2O_3 اغلب با فراوانی کانی دیاسپور در کانسار مشخص می‌شود. همچنین کانسارهایی با SiO_2 بالا حاکی از حضور کائولینیت در کانسار است، که فراوانی این کانی نشان دهنده فرآیند ناقص بوکسیت زایی است.

کانسارهایی با غلظت بالای Fe_2O_3 با فراوانی کانی هماتیت مشخص می‌شوند. به طور مثال در منطقه مورد مطالعه و کانسارهای بوکسیت استان گلستان در پهنه البرز شرقی، کانسار سیاهرودبار دارای بیشترین مقدار Al_2O_3 بوده که حاکی از مناسب بودن این کانسار از نظر متالورژیکی در استحصال آلومینیوم است. کانسار شیرین‌آباد و قشلاق دارای بیشترین مقادیر SiO_2 و Fe_2O_3 می‌باشند و قابلیت

استفاده و بهره‌برداری به عنوان خاک نسوز را دارا می‌باشند (زمانی و همکاران، ۱۳۹۵).

وجود مقادیر بالایی از کانی‌های رسی، ترکیب شیمیایی نامناسب سنگ مادر (Ti, Fe, Si بالا)، تفریق و تفکیک ضعیف سه عنصر آلومینیوم، آهن و سیلیسیم در طی فرآیندهای هوازدگی، زهکشی ضعیف مواد آزاد شده در طی دگرسانی و هوازدگی سنگ مادر اولیه و تنش‌های ساختاری از عوامل موثر بر کاهش کیفیت ماده معدنی در این کانسار است.

۸-۲ مدل پیدایش کانسار بوکسیت‌ها در قاعده لیاث با تمرکز روی معدن تاش

با شروع تریاس دریای کم عمقی، قسمت بزرگی از ایران را فراگرفته و سازندهای دولومیتی الیکا در البرز، شتری در ایران مرکزی و دولومیت تبخیری خانه کت در زاگرس را در تریاس میانی تشکیل داده‌اند.

در پایان تریاس میانی در اثر فاز کوهزایی سیمیرین پیشین اقیانوس پالئوتتیس بسته شده و شرایط قاره‌ای در منطقه حاکم می‌گردد و در نتیجه دولومیت‌های سازند الیکا دچار کارستی شدن می‌شوند (شهرابی، ۱۳۷۸).

همزمان با بسته شدن پالئوتتیس، فروانش نئوتتیس در زاگرس آغاز می‌شود؛ این فرایند باعث تشکیل یک محیط کششی پشت کمان شده که حاصل آن فعال شدن گسل‌های عمیق و فعالیت ماگمای بازالتی قلیایی در البرز و ایران مرکزی (مثل بازالت‌های جاجرم) همزمان با رسوب‌گذاری سازند شمشک می‌شود (قاسمی و جمشیدی، ۱۳۹۰).

با توجه به قرارگیری البرز و ایران مرکزی در نزدیکی استوا و شرایط حاره‌ای و فراهم بودن مواد اولیه (بازالت‌ها)، مهیا بودن سنگ‌بستر مناسب (حفرات و کارست‌های کربناتی سازند الیکا و شتری) در زمان تریاس فوقانی، بهترین شرایط برای بوکسیت‌زایی ناشی از هوازدگی بازالت‌ها و مواد مختلف ایجاد شده است. در این شرایط عناصر متحرک بازالت‌ها مانند عناصر قلیایی و سیلیس شسته و خاک‌های برجای مانده غنی از عناصر نامتحرک مانند آلومینیم، آهن و تیتانیوم می‌شوند که در اثر فرسایش و نوسانات محیط ساحلی به کارست‌ها انتقال پیدا کرده‌اند.

حد فاصل تریاس میانی و فوقانی رویداد تکتونیکی بسیار مهم سیمیرین پیشین اتفاق افتاده است، که سبب شده رسوبات تریاس بالایی در قسمت‌هایی به نهشته‌های زغالی بوکسیتی تبدیل می‌شوند. با فرسایش بالآمدگی‌های البرز ناشی از فاز کوهزایی در تریاس فوقانی تا لیا، رسوبات مولاس سازند شمشک در حوضه‌های بین کوهستانی رسوب کرده و باعث محفوظ ماندن بوکسیت‌ها از فرسایش شده است.

سازند کربناته الیکا (تریاس بالایی و میانی) توسط بوکسیت-لاتریت‌ها از گروه شمشک جدا می‌شود.

۲-۹ مدل پیشنهادی برای پیدایش کانسارهای بوکسیت قاعده لیا بر اساس منشا غیر

بازالتی

با توجه به شواهد زمین‌شناسی و قرارگیری اکثر بوکسیت‌های قاعده لیا در نزدیکی شیل‌های سازند شمشک و همچنین عدم حضور فعالیت‌های ماگمایی در نزدیکی کانسار، می‌توان شیل، مارن، کربنات‌های رس‌دار و... را منبع تامین کننده آلومینیم دانست (بسطامی و فردوست، ۱۳۹۲). بر اساس این مدل در صورت وجود فعالیت‌های ماگمای قلیایی (بازالت)، ابتدا باید این بازالت‌ها به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند و عناصر نامتحرک مانند آلومینیم برجا می‌ماند و بوکسیت را تشکیل می‌دهد.

۲-۱۰ اندیس‌های معدنی بوکسیت موجود در ناحیه‌ی مورد مطالعه (البرز شرقی)

مهمترین نهشته‌های بوکسیتی در منطقه البرز شامل بوکسیت جاجرم، سیاهرودبار، شیرین آباد، قشلاق و تاش می‌باشند. این کانسارها به صورت افق‌های چینه‌سان و گاه عدسی شکل در بین سنگ-آهک‌های دولومیتی سازند الیکا (تریاس زیرین) و شیل و ماسه‌سنگ‌های سازند شمشک (ژوراسیک زیرین) تشکیل شده‌اند. اغلب کانسارهای دارای خصوصیات مشترکی هستند که می‌توان به نوع سنگ بستر و پوشش، کانی‌های اصلی تشکیل دهنده، بافت‌های غالب و سنگ منشا اشاره نمود. در ادامه به طور مختصر در مورد اندیس‌های معدنی منطقه اشاره می‌شود.

۲-۱۰-۱ معدن بوکسیت جاجرم

کانسار بوکسیت جاجرم در ۱۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بجنورد واقع شده است. این کانسار دارای گسترش طولی ۱۶ کیلومتر و ضخامت ۱ تا ۴۰ متر است. این کانسار به شکل یک افق چینه‌سان بین دولومیت‌های تریاس و شیل و ماسه سنگ‌های ژوراسیک تشکیل شده است.

۲-۱۰-۲ معدن بوکسیت تاش

نهشته‌ی بوکسیت تاش در ۴۰ کیلومتری شمال غرب شاهرود و در استان سمنان قرار دارد و از دیدگاه زمین‌شناسی در زون ساختاری البرز شرقی واقع شده است. تکتونیک و ساختار منطقه متأثر از گسلش و چین‌خوردگی‌هایی است که عموماً دارای روند شمال شرق-جنوب غربی و شرقی-غربی می‌باشند.

براساس مطالعات انجام شده در منطقه دو ناپیوستگی زمانی وجود دارد؛ که ناپیوستگی اولی به صورت بوکسیت‌لایه‌ای در بالای سازند روته و زیر سازند الیکا (پرموتریاس) و ناپیوستگی دومی به صورت بوکسیت‌های منقطع عدسی شکل در بالای سازند الیکا و زیر سازند شمشک (تریاس بالایی) قرار دارد و در بستر کربناته سازند الیکا جای گرفته است. کانی اصلی آلومینیم‌دار کانسار تاش، دیاسپور است؛ که در اغلب بوکسیت‌های کارستی یافت می‌شود، ولی بیشترین گسترش آن در نهشته‌های پالئوزوئیک می‌باشد و بیشتر در ساختارهایی تشکیل می‌شود که تحت تأثیر زمین‌ساخت متوسط تا شدید قرار گرفته باشند (Bardossy, 1982). با توجه به مطالب ذکر شده، بوکسیت‌زایی در منطقه مورد مطالعه بعد از فاز کوهزایی سیمیرین پیشین بر اثر فرسایش و هوازدگی بازالت‌های قاعده شمشک و همزمان با نهشته‌شدن مولاس‌های سازند شمشک به سن تریاس فوقانی ایجاد شده است.

جدول ۱-۲: خلاصه‌ای از ویژگی‌های مهم تعدادی از کانسارهای بوکسیت منطقه البرز شرقی

نام کانسار	جاجرم	سیاه‌رودبار	گانو	شیرین‌آباد	تاش
موقعیت جغرافیایی	خراسان	مازندران	سمنان	گلستان	سمنان
سنگ بستر	الیکا				
سنگ پوشش	شمشک				
سن کانسار	تریاس-ژوراسیک				
کانی‌های اصلی	(دیاسپور، بوهمیت، آنتاز)	دیاسپور	دیاسپور	کائولینیت، هماتیت	دیاسپور، هماتیت
درصد آلومینیم	(۳۶,۲۱٪)	(۴۶٪)	(۴۷,۶٪)	(۴۷٪)	(۴۶٪)
سنگ منشا	بازالت قلیایی	بازالت قلیایی	مواد رسی	بازالت قلیایی	بازالت/مواد رسی
تیپ کانسار	کارستی مدیترانه‌ای				
منبع	امینی و همکاران، ۱۳۹۰	سازمان زمین‌شناسی کشور	سازمان زمین‌شناسی کشور	شمعانیان، ۱۳۹۰	بسطامی و فردوست، ۱۳۹۰

فصل سوم

مبانی روش کار (سنجش از

دور)

دورسنجی یا سنجش از دور^۱، دانشی است که با مشاهده و اندازه‌گیری یک شیء یا پدیده زمینی از فاصله دور و بدون تماس فیزیکی با آن، می‌توان اطلاعات ارزنده‌ای را کسب نمود و در مرحله بعد با تجزیه و تحلیل آنها، داده‌های مفیدی را استخراج کرد. به‌طور کلی سنجش از دور را می‌توان فن‌آوری کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از تجهیزات هوانوردی مانند هواپیما، بالن یا تجهیزات فضایی نظیر ماهواره دانست. ماهواره لندست یکی از ماهواره‌هایی می‌باشد، که جهت مطالعه منابع زمینی در چند سال اخیر بیش از سایر ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. تولید اطلاعات از داده‌های سنجش از دور به‌ویژه داده‌های ماهواره‌ای، نسبت به گذشته نه‌چندان دور افزایش فزاینده‌ای یافته و با توجه به اهمیت و نقش اینگونه داده‌ها، تولید آنها همچنان افزایش می‌یابد.

در اکتشاف مواد معدنی می‌توان به کمک فن‌آوری سنجش از دور، نقشه زمین‌شناسی و شکستگی‌های منطقه را در مقیاس‌های محلی و ناحیه‌ای تهیه نمود. مهندسان معدن و زمین‌شناسان، مدت زمان طولانی است که به اهمیت نقش الگوهای شکستگی محلی و ناحیه‌ای در تشکیل کنسارها پی برده‌اند. کاربرد مهم دیگر سنجش از دور در اکتشاف مواد معدنی شناسایی سنگ‌های دگرسان شده مرتبط با کانی‌سازی است، لذا بهترین نتایج اکتشافی از ترکیب نقشه‌های زمین‌شناسی، شکستگی‌ها و مناطق دگرسانی به‌دست می‌آید (Sabins, 1999). در اکتشافات مقدماتی یک منطقه وسیع، با استفاده از علم سنجش از دور می‌توان از کاهش هزینه‌ها و افزایش دقت و سرعت انجام کار بهره برد (Leege, 1997). هدف اصلی از این تحقیق که محدوده‌ای از جاذرم تا سمنان را در بر می‌گیرد، شناسایی مناطق دارای پتانسیل معدنی جهت اکتشاف بوکسیت می‌باشد؛ که تا کنون کاری هدفمند و سیستماتیک انجام نشده‌است. در این فصل، ابتدا مبانی روش سنجش از دور شرح داده خواهد شد و سپس شرح پیش پردازش انجام گرفته و همچنین روش‌های پردازش استفاده شده ارائه می‌گردد.

^۱ Remote sensing

۳-۲ تاریخچه‌ی استفاده بشر از سنجش از دور

همانطور که ذکر شد، سنجش از دور فن‌آوری کسب اطلاعات و تصویربرداری از زمین با استفاده از انواع تجهیزات هوانوردی است. بنابراین استفاده بشر از این علم، به زمان آغاز استفاده از وسایل پروازی بر می‌گردد. برای اولین بار گاسپار فیلیکس تورناکون فرانسوی (۱۸۵۸) به‌وسیله یک بالن از فراز شهر پاریس اقدام به عکس‌برداری هوایی کرد. با توسعه تجهیزات هوانوردی و اختراع هواپیما و پیلر رایت (۱۹۰۸) اولین هواپیمای عکاس را رهبری نمود. در سال‌های آخر جنگ جهانی اول، عکس‌های هوایی به‌صورت گسترده جهت شناسایی اهداف به‌کار گرفته شد. اما جنگ جهانی دوم دوره جدیدی برای عکس‌برداری هوایی به‌همراه داشت. در این زمان بود که پیشرفت‌های مهمی در صنعت عکس‌برداری حاصل و استفاده از فیلم‌های حساس مادون قرمز رایج شد. در سال (۱۹۷۲) اولین سری از ماهواره‌های لندست و سنجنده های MSS و TM در چهار و هفت باند توسط ایالات متحده آمریکا در مدار زمین قرار گرفته و تصاویر زیادی از سطح کره زمین در اختیار محققین در سراسر جهان قرار داده است. از این مرحله که تصویربرداری از حالت آنالوگ خارج و به‌صورت عددی در آمد ، دریچه‌ای جدید برای پردازش تصاویر و آنالیز و تفسیر به‌روزی محققین گشوده است.

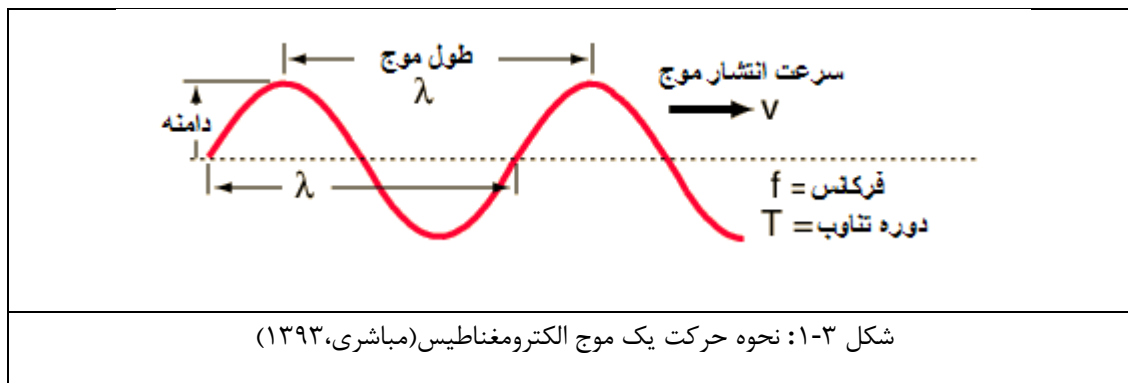
فرانسه در سال (۱۹۸۶) اولین سری ماهواره های Spot را با قدرت تفکیک ۱۰ و ۲۰ متر (درسه باند)، هندوستان سری ماهواره‌های IRS را در سال (۱۹۸۸)، ژاپن سری ماهواره های MOS را در سال (۱۹۹۰) و آژانس فضایی اروپا سری ماهواره های ERS را در سال (۱۹۹۱) در مدار زمین قرار دادند (زبیری، ۱۳۸۲). سایر کشورهای جهان برای استفاده از این فن‌آوری و به‌کارگیری هر چه بهتر آن در موضوعات مختلف از جمله امنیتی و علمی هدف‌گذاری کردند و به موفقیت‌های مهمی نیز دست یافته‌اند؛ که از این میان می‌توان به کره شمالی با پرتاب ماهواره KOM SAT در سال (۱۹۹۸) و مشارکت برزیل و چین جهت پرتاب ماهواره CBERS در سال (۱۹۹۶) اشاره کرد. در ایران نیز، عکس‌های هوایی از مناطق مختلف ایران برای اولین بار در دهه (۱۳۴۰) تهیه شد. پرتاب اولین ماهواره منابع زمینی نیز در سال (۱۳۵۳) صورت گرفت (زبیری، ۱۳۸۲).

۳-۳ انرژی الکترومغناطیسی^۱ و سنجش از دور

اساس سیستم‌های سنجش از دور برای ارسال و دریافت اطلاعات، نوعی از انرژی است که انرژی الکترومغناطیسی نامیده می‌شود. انرژی توسط ذراتی به نام فوتون که با سرعت نور حرکت می‌کنند، حمل می‌شوند. مقدار انرژی الکترومغناطیسی از رابطه قانون پلانک محاسبه می‌شود. (در این رابطه Q)، انرژی و f)، فرکانس است.)

$$Q = hf \quad h = 6.626E - 34 \quad \text{رابطه (۱-۳)}$$

در فیزیک موجی، فرکانس موج، تعداد نوساناتی است که توسط موج در هر واحد زمان انجام می‌شود، و واحد آن هرتز (Hz) می‌باشد. فاصله بین نزدیک‌ترین نقاط مجاور یک قله یا دره را طول موج می‌گویند. از طرفی مدت زمانی که یک ذره دلخواه موج از یک قله به قله‌ای دیگر، یا از یک دره به دره‌ای دیگر برسد و یک دور کامل حرکت موجی را طی کند، زمان تناوب نامیده می‌شود که با T نمایش داده می‌شود. شکل (۳-۳)، حرکت یک موج الکترومغناطیسی را نشان می‌دهد.



طبق تعاریف انجام شده، روابط زیر به اثبات رسیده اند: (v ، سرعت موج می‌باشد)

$$\begin{cases} v = \frac{\lambda}{T} \\ T = \frac{1}{f} \end{cases} \Rightarrow v = \lambda f \quad \text{رابطه (۲-۳)}$$

^۱ Electro Magnetic Radiation

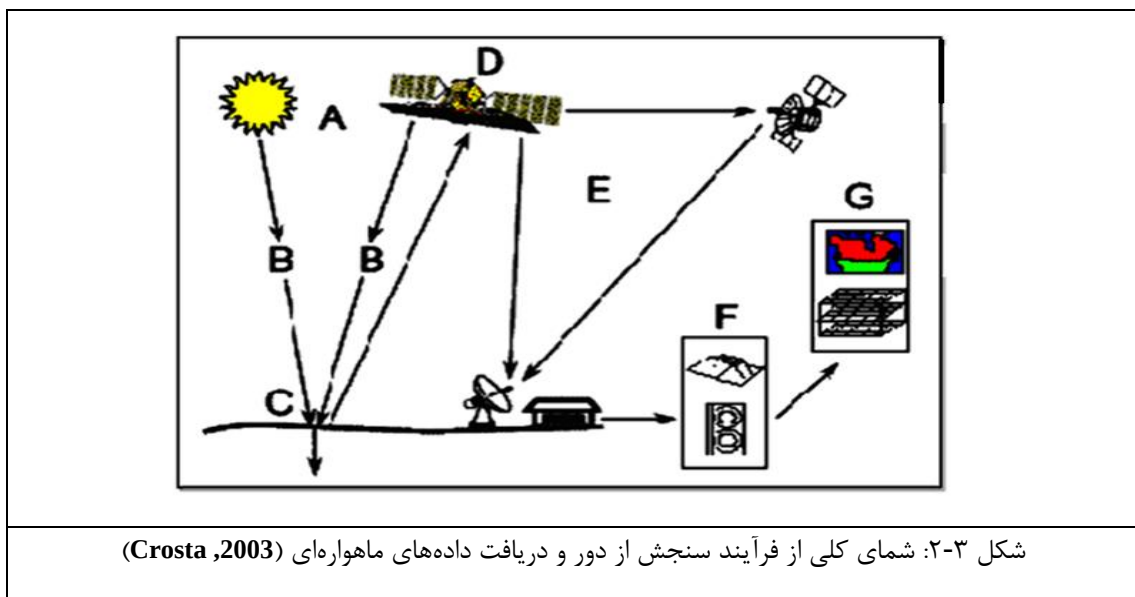
از رابطه‌های (۱-۳) و (۲-۳) رابطه (۳-۳)، نتیجه می‌شود:

$$Q = \frac{h \times V}{\lambda} \quad \text{رابطه (۳-۳)}$$

با توجه به رابطه (۳-۳)، مقدار انرژی گسیل شده، متناسب با عکس طول موج می‌باشد. بنابراین هرچه

طول موج در باندی بیشتر باشد، انرژی آن باند کمتر می‌شود.

در شکل (۴-۳) شمای کلی از نحوه دریافت داده‌ها از طریق سنجنده نشان داده شده است.



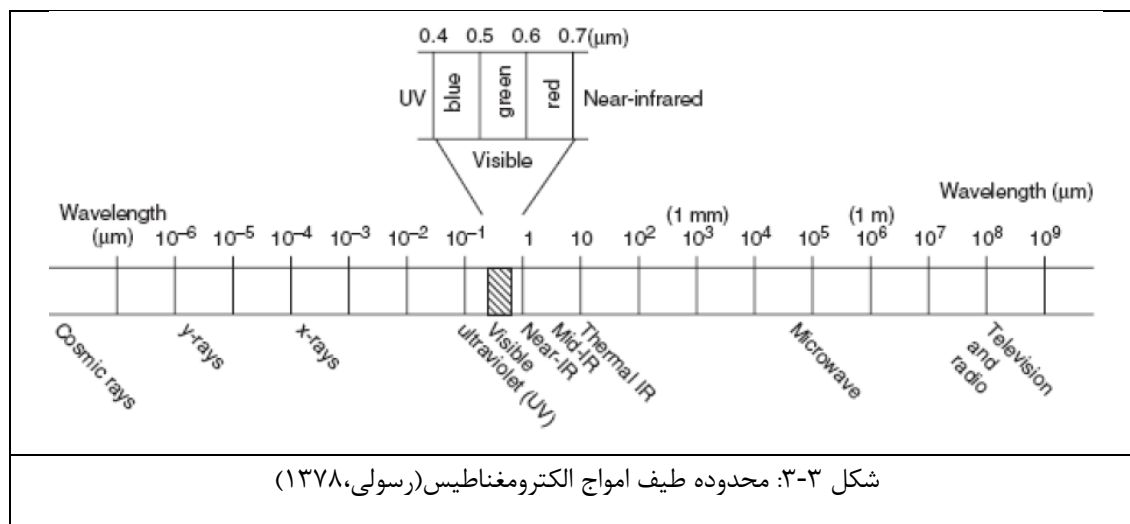
عناصر نام‌گذاری شده در شکل (۲-۳) عبارت‌اند از :

- A - منبع انرژی (که معمولاً به دو صورت فعال و غیر فعال می‌باشد)
- B - انتشار انرژی از میان جو و برخورد آن به سطح زمین و انعکاس آن
- C - فعل و انفعالات انرژی بر اثر برخورد با عوارض سطحی زمین
- D - سنجنده‌های هوایی و یا فضایی
- E - انتقال اطلاعات کسب شده
- F - دریافت اطلاعات اولیه و تولید داده بصورت رقومی و یا تصویری
- G - فرآیند تجزیه و تحلیل داده، شامل بررسی و تعبیر و تفسیر داده‌ها با بکارگیری وسایل مختلف

دیداری و کامپیوتری به منظور آنالیز داده های حاصل از سنجنده.

۳-۳-۱ طیف الکترو مغناطیس

تمام عناصر از اتم‌هایی تشکیل یافته‌است، که توسط الکترون‌ها یا اوربیتالی که دارای ترازهای انرژی مختلف می‌باشد در برگرفته شده است. انتقال الکترون‌ها از تراز به تراز دیگر باعث تابش اشعه‌هایی با طول موج‌های مجزا می‌شود، در نتیجه طیفی به نام طیف الکترومغناطیسی ایجاد می‌شود. این طیف (EMR) که از یک شیء بازتاب می‌یابد، منبع معمول داده‌های سنجش از دور است. در سنجش از دور، طبقه‌بندی امواج الکترومغناطیسی براساس موقعیت طول موج آنها در طیف الکترومغناطیس انجام می‌گیرد. به‌طور کلی، متداول‌ترین واحدی که برای اندازه‌گیری طول موج در طیف الکترومغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرد، میکرومتر است. همچنین باید توجه داشت که بخش‌های طیف الکترومغناطیسی به‌کار رفته در سنجش از دور در امتداد یک طیف پیوسته قرار می‌گیرند؛ که مقدار آنها نسبت به یکدیگر تا حد توان ده (به‌طور پی در پی) تفاوت دارد. شکل (۳-۳) نشان‌دهنده این رفتار است:



امواج الکترومغناطیس بر حسب طول موج‌شان دارای نام‌های گوناگونی هستند، نظیر اشعه گاما، اشعه X، اشعه فرابنفش، نور مرئی، اشعه مادون قرمز تا میکروویو و نهایتاً امواج رادیویی که به ترتیب کاهش

طول موج یا افزایش بسامد، مرتب شده‌اند.

بخش مرئی^۱ قسمت کوچکی از طیف الکترومغناطیس با طول موج ۰/۴-۰/۷ میکرون می‌باشد، زیرا حساسیت طیفی چشم انسان بین ۰/۴ میکرومتر تا ۰/۷ میکرومتر است. این بخش با نام رنگ‌ها شناخته می‌شود، به‌طوری که رنگ آبی تقریباً بین طول موج ۰/۴ میکرومتر تا ۰/۵ میکرومتر، رنگ سبز تقریباً بین طول موج ۰/۵ میکرومتر تا ۰/۶ میکرومتر و رنگ قرمز تقریباً بین طول موج ۰/۶ میکرومتر تا ۰/۷ میکرومتر می‌باشد. به تابش‌های الکترومغناطیسی با طول موج ۰/۷ میکرون تا یک میلی‌متر امواج مادون قرمز^۲ اطلاق می‌گردد؛ که قابل دیدن نیست. پس از امواج مادون قرمز، در طول موج‌های بیشتر (۱ میلی‌متر تا ۱ متر)، بخش امواج کوتاه (میکروویو) طیف وجود دارد.

۳-۳-۲ مفهوم باند^۳

یک بخش باریک طیف که از طیف الکترومغناطیس جدا می‌شود را باند می‌نامند. به عنوان مثال در سنجنده‌ی ETM+، باند ۲، محدوده طول موجی ۰/۵۲ میکرومتر تا ۰/۶ میکرومتر را پوشش می‌دهد، که در طیف امواج الکترومغناطیس در محدوده نور مرئی و در بخش رنگ سبز قرار می‌گیرد و به همین خاطر به باند سبز معروف می‌باشد. در جدول (۳-۱)، محدوده طول موجی باندهای ماهواره لندست ۵ و ۷ به ترتیب با سنجنده‌های TM و ETM، نشان داده شده است.

جدول ۳-۱: محدوده‌ی طول موجی باندهای ماهواره لندست ۵ و ۷

باند سنجنده	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8
TM	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.76-0.90	1.55-1.75	10.4-12.5	2.08-2.35	—
ETM+	0.45-0.52	0.52-0.60	0.63-0.69	0.78-0.90	1.55-1.75	10.4-12.5	2.09-2.35	0.52-0.90

^۱ Visible

^۲ Infra Red

^۳ Band

۳-۴ عوامل موثر در تشکیل تصاویر

پدیده‌های که در سنجش از دور مورد بررسی قرار می‌گیرند، عموماً دارای دو خصوصیت عمده هستند:

۱- خصوصیت رادیومتریک که شامل انعکاس^۱ و انتشار^۲ هستند، ۲- خصوصیات هندسی که می‌توان به اندازه، شکل و... اشاره کرد (اسماعیلی، ۱۳۹۴). وقتی انرژی تابشی در سطح زمین به جسمی برخورد کند، با توجه به تفاوت خصوصیات اجسام و مواد موجود در سطح زمین، انرژی تابشی ایجاد شده، ویژگی‌های منحصر به فردی از خود نشان می‌دهد. از این ویژگی مهم و کاربردی امواج، در سنجش از دور استفاده زیادی می‌شود. در واقع مواد مختلفی که در سطح زمین وجود دارند در مقابل یک طول موج خاص حالت انعکاسی و در مقابل طول موجی دیگر خاصیت جذبی به خود می‌گیرند.

۳-۴-۱ تاثیر اتمسفر بر انرژی الکترومغناطیس

دو پدیده‌ی موجود در اتمسفر که روی امواج اثر می‌گذارند و سبب افزایش یا کاهش انرژی دریافتی سنجنده از هدف می‌شوند، پدیده‌ی جذب و پراکنش یا پخش نامیده می‌شوند. پدیده‌ی پخش جوی ناشی از انحراف امواج الکترومغناطیسی از مسیر اصلی در اثر برخورد با ذرات معلق درون جو مانند گرد و غبار یا ملکول‌های گاز می‌باشد. بخشی از انرژی الکترومغناطیس از اتمسفر عبور کرده و بخشی دیگر نیز توسط گازهای موجود در اتمسفر نظیر بخار آب، دی اکسید کربن یا ازن جذب می‌شوند و باعث تغییر درونی ملکول‌های اتمسفر و تلف شدن انرژی می‌شوند. پدیده‌ی جذب در بخش فرابنفش و مادون قرمز انعکاسی زیاد و در بخش مرئی بسیار کم است. برای دفع این اثرات مخرب معمولاً سنجنده‌ها طوری طراحی می‌شوند که امواج دریافتی در محدوده‌های جذبی اتمسفر قرار نگیرند. باران و ابر نیز بر روی تصاویر اخذشده اثرگذار هستند. علاوه بر موارد ذکر شده پدیده‌هایی که در کنار یکدیگر هستند نیز بر روی هم اثرگذارند. پنجره‌های اتمسفری^۳، بخش‌هایی از طیف الکترومغناطیسی هستند، که جذب

^۱ Reflection

^۲ Emission

^۳ Atmospheric Windows

انرژی در پایین ترین سطح قرار دارد و بیشتر انرژی در این محدوده طول موجی از اتمسفر عبور می کند. باندهای سنجنده معمولاً در همین محدوده طول موجی انتخاب می شوند.

۳-۵ سامانه ی ماهواره ی سنجنش از دور

امروزه از تکنیک های دورسنجی در جهان استفاده های فراوانی می شود؛ که یکی از کاربردهای مهم آن در اکتشاف ذخایر معدنی می باشد. اجزای سنجنش از دور نیازمند عملکرد عضوهای مهمی چون سنجنده ها و ماهواره ها است که به شرح آنها می پردازیم.

۳-۵-۱ پلاتفرم ها^۱

انتقال سنجنده های دورسنجی به فضا توسط ابزاری انجام می گیرد؛ که پلاتفرم یا سکو نامیده می شود. سکوها، قابلیت نگهداری، حرکت و در هنگام نیاز دوران و تغییر دید سنجنده را دارند. مهم ترین و پرکاربردترین آن ها ماهواره ها و هواپیماها هستند. مزیت این سکوها در پوشش محدوده های وسیع نسبت به دیگر سکوها می باشد. علاوه بر این سکوهای ماهواره ای دائمی وجود دارند، که باعث کاهش هزینه ها می شود. وسایل دیگری نظیر فضاپیماها یا بالونها نیز برای سنجنش از دور با ارتفاع کم مورد استفاده قرار می گیرند.

۳-۵-۲ سنجنده ها^۲

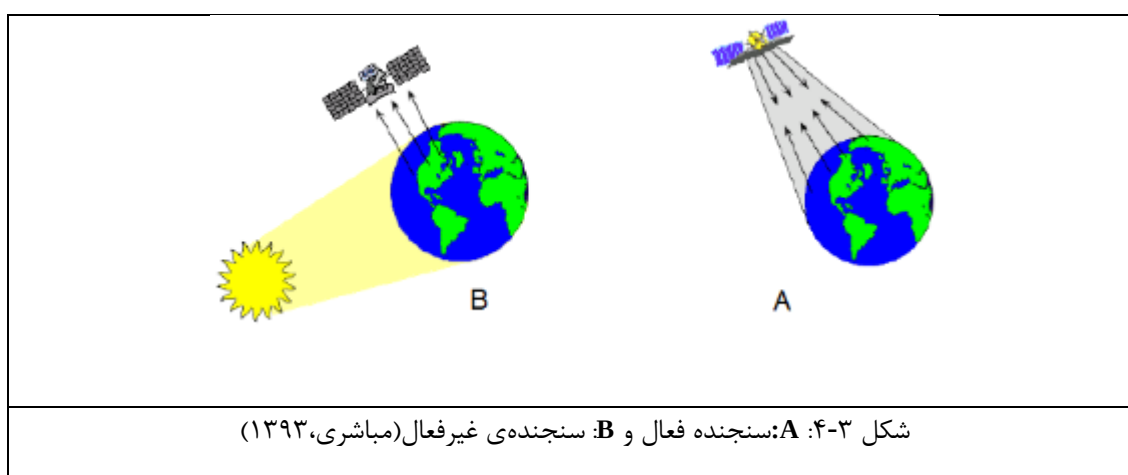
به دستگاهی اطلاق می شود که انرژی الکترومغناطیس را دریافت نموده و آن را به سیگنال تبدیل می کند. این سیگنال می تواند به صورت داده های رقومی (تصویر) و یا یک عکس (آنالوگ) ذخیره و نمایش داده شود (اسماعیلی، ۱۳۹۴). سنجنده ها بر روی سکوهای مختلف مانند ماهواره ها و هواپیماها نصب می شوند. همان طور که در شکل (۵-۳) نمایش داده شده است، می توان سنجنده ها را بر اساس نوع منبع انرژی به دو دسته تقسیم بندی کرد:

^۱ Platforms

^۲ Sensor

A-سنجنده‌های فعال^۱: این سنجنده‌ها هم دارای فرستنده امواج و هم دارای گیرنده امواج می‌باشند. بنابراین وابستگی کمتری به شرایط آب و هوایی و پوشش ابری دارند. این سنجنده‌ها غالباً در بخش مایکروویو طیف امواج الکترومغناطیس مورد استفاده قرار می‌گیرند و از تکنولوژی راداری برای تولید و دریافت انرژی استفاده می‌کنند.

B-سنجنده‌های غیرفعال^۲: این سنجنده‌ها تنها دارای گیرنده می‌باشند و فرستنده ندارند و از منبع طبیعی به نام خورشید استفاده می‌کنند. در نتیجه به شرایط آب و هوایی و پوشش ابری وابسته می‌باشند.



۳-۶ ماهواره‌ی لندست^۳

ماهواره لندست، یکی از ماهواره‌هایی است که جهت مطالعه منابع زمینی در چند سال اخیر بیش از سایر ماهواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌است. این ماهواره توسط سازمان ملی هوانوردی و فضانوردی آمریکا (ناسا)، طراحی و در مدار زمین قرار گرفته است و مسئولیت دریافت و آرشیو تصاویر با سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS)^۴، می‌باشد. استفاده جهانی اطلاعات سنجنش از دور ابتدا توسط ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ آغاز شد. این ماهواره به نام Landsat₁، شناخته شد. در سال‌های بعد Landsat₂،

^۱ Active Sensors

^۲ Passive Sensors

^۳ Landsat

^۴ The United States Geological Survey

Landsat₃ و Landsat₄ به ترتیب در سال‌های ۱۹۷۵، ۱۹۷۸ و ۱۹۸۲ به فضا پرتاب شدند.

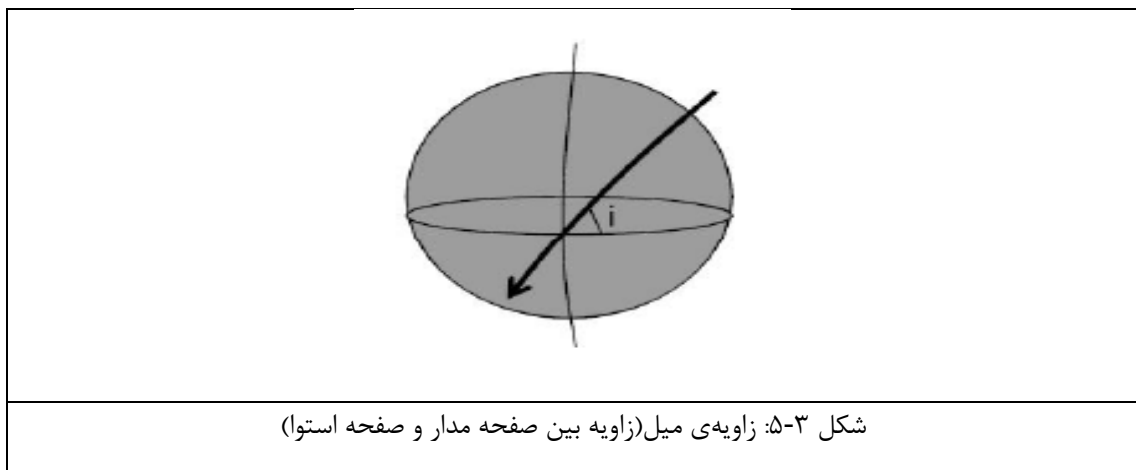
سپس ماهواره‌ی Landsat₅ در سال ۱۹۸۴، همراه با سنجنده‌ی TM، به فضا پرتاب شد و به مدت ۲۸ سال و ۱۰ ماه در فضا اطلاعات جمع‌آوری می‌کرد و به عنوان طولانی‌ترین کار ماهواره‌ای در کتاب گینس ثبت شد. اما Landsat₆، موفق به رسیدن به مدار نشد و در سال ۱۹۹۳ در فضا گم شد. پس از آن Landsat₇، مجهز به سنجنده‌ای به نام نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته (ETM+) در سال ۱۹۹۹، با موفقیت به فضا پرتاب شد و امروزه همراه با Landsat₈، که در سال ۲۰۱۳ راه اندازی شد به ارائه اطلاعات جهانی می‌پردازد.

لندست ۷ دارای جرم تقریبی ۲۲۰۰ کیلوگرم است و در مداری خورشید آهنگ با ارتفاع ۷۰۵ کیلومتر قرار دارد (پاول ام میتر، ۱۳۸۸).

۳-۷ برخی از ویژگی‌های مهم ماهواره‌ها

۳-۷-۱ زاویه میل^۱

زاویه صفحه مداری و صفحه استوا را زاویه میل می‌گویند. ماهواره لندست ۷ با زاویه میل ۹۸/۲ درجه به دور زمین می‌گردد (Mather, 1999).



^۱ Inclination Angle

۳-۷-۲ زمان بازدید مجدد^۱

مدت زمان لازم، برای تصویر برداری مجدد از یک منطقه مشخص را می‌گویند. ماهواره لندست ۷، با دوره چرخش ۱۶ روزه (۲۳۳ مدار بر دور) در ۱۰ صبح از استوا می‌گذرد (Mather, 1999).

۳-۷-۳ میدان دید (Fov)^۲

زاویه اسکن از یک سمت تا سمت دیگر را میدان دید سنجنده می‌گویند. معادل زمینی این زاویه را عرض برداشت (S.W)^۳ می‌گویند، که برابر عرض تصویر بر حسب کیلومتر بر روی زمین می‌باشد. رابطه میان دو پارامتر به صورت زیر می‌باشد (h ارتفاع ماهواره می‌باشد):

$$SW = 2 \times h \times \tan \frac{Fov}{2} \quad \text{رابطه (۳-۴)}$$

برای ماهواره لندست (ETM+)، زاویه میدان دید ۱۵ درجه می‌باشد و ارتفاع ماهواره ۷۰۵ کیلومتر است که با توجه به رابطه (۳-۴)، ابعاد تصاویر (ETM+)، بر روی زمین بر حسب کیلومتر قابل محاسبه می‌باشد.

$$SW = 2 \times 705 \times \tan \frac{15}{2} \cong 185 km$$

مشخصات سنجنده (ETM+)، در جدول (۳-۲)، آورده شده است:

^۱ Revisit Time

^۲ Field of View

^۳ Swath width

جدول ۳-۲: مشخصات سنجنده‌ی ETM+ ماهواره‌ی لندست (علوی پناه، ۱۳۸۲)

شماره باند	محدوده طیفی (میکرومتر)	قدرت تفکیک مکانی (متر)	زمان پوشش کامل زمین/ارتفاع مدار	ابعاد پوشش (کیلومتر)
۱	۰/۴۵-۰/۵۱۵	۳۰	۱۶ روز / ۷۰۵ کیلومتر	۱۸۵*۱۸۵
۲	۰/۵۲۵-۰/۶۰۵	۳۰		
۳	۰/۶۳-۰/۶۹	۳۰		
۴	۰/۷۵-۰/۹۰	۳۰		
۵	۱/۵۵-۱/۷۵	۳۰		
۶	۱۰/۴-۱۲/۵	۶۰		
۷	۲/۰۹-۲/۳۵	۳۰		
پانکروماتیک	۰/۵۲-۰/۹۰	۱۵		

۳-۸ پیش پردازش داده‌ها

قبل از انجام روش‌های مختلف پردازش جهت آنالیز داده‌ها و استخراج اطلاعات، می‌بایست عملیاتی جهت آماده‌سازی داده‌ها صورت بگیرد؛ که اولین بخش از پردازش‌ها داده‌ها محسوب می‌شود و پیش پردازش داده‌ها نامیده می‌شود. این عملیات می‌تواند شامل برش تصاویر، موزاییک کردن و به هم چسباندن تصاویر ماهواره‌ای و نقشه‌های زمین شناسی و انجام تصحیحات روی داده‌های ماهواره‌ای باشد. حجم عملیات پیش پردازش بسته به نوع سنجنده، کیفیت اطلاعات رقومی و نوع کاربرد متغیر خواهد بود.

یکپارچه سازی یا موزائیک کردن تصاویر، عبارت از اتصال تصاویر دارای مرز مشترک به منظور دستیابی به یک تصویر یکپارچه است. این عملیات زمانی مورد نیاز است؛ که داده‌های مورد مطالعه در بیشتر از یک سین ماهواره‌ای قرار گرفته باشند و لازم باشد که این سین‌ها به هم متصل شوند. در انجام عملیات موزائیک کردن روی داده‌های ماهواره‌ای لازم است که نکاتی زیر رعایت شود:

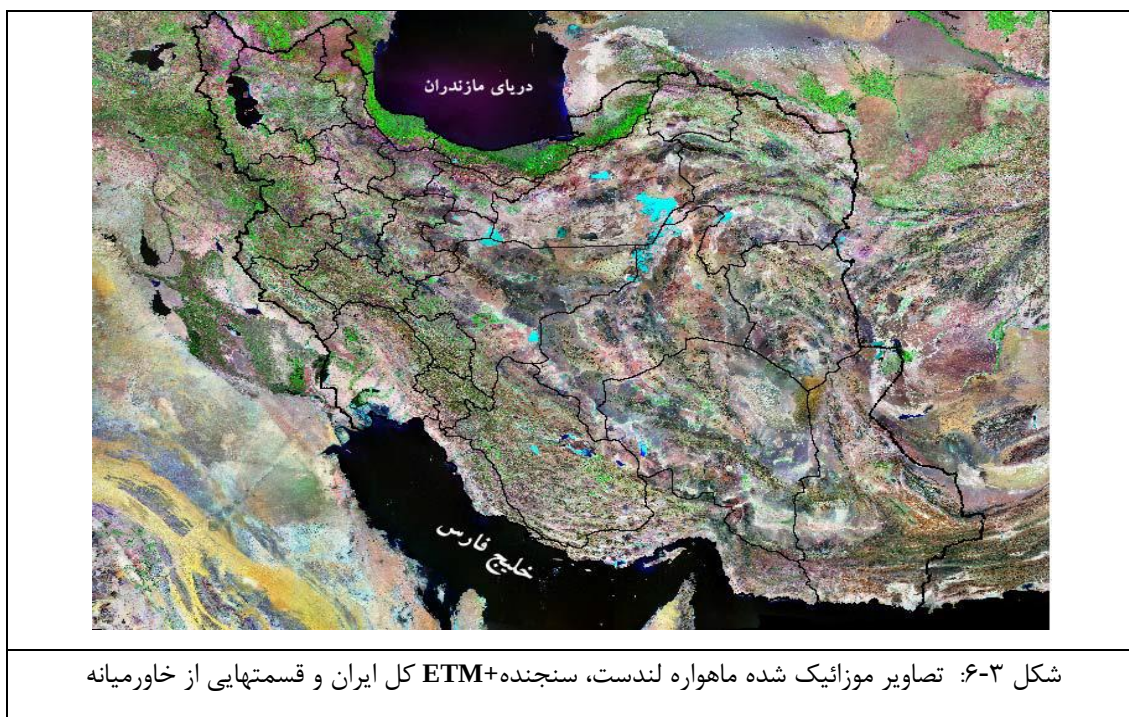
۱- برای انجام عمل موزائیک کردن که روی دو یا چند تصویر صورت می‌گیرد، لازم است تصاویر متعامد باشند تا مرز اتصال آن‌ها فاقد جابه جایی مکانی باشد.

۲- تغییرات جوی و شدت متفاوت نور خورشید در سین‌ها با تاریخ‌های مختلف، منجر به نوسانات ناخواسته رادیومتری می‌شود. بنابراین باید تصاویر منطقه مورد مطالعه در حد امکان از لحاظ زمانی به هم نزدیک باشند و یا خطاهای بزرگ رادیومتری آن‌ها تصحیح شده باشد.

۳- برای اینکه این عملیات با کمترین خطا صورت گیرد، لازم است لبه‌های تصاویر منطبق شوند و اختلاف رنگ تنظیم شود. بهتر است خطوط اتصال^۲ لبه‌های تصاویر از بخش‌های با کمترین برجستگی و اختلاف رنگی عبور کند، که معیار دقت و درستی انجام این کار، بررسی ترکیبات رنگی حاصل است. شکل (۳-۱۰) موزائیک تصاویر ETM کل ایران و بخش‌های از خاورمیانه را نشان می‌دهد.

^۱ Mosaicking

^۲ Cutlines



۳-۸-۲ برش تصاویر

پس از موزائیک کردن تصاویر ماهواره‌ای، به منظور پردازش بهتر و دقیق‌تر و حذف محدوده‌های اضافی، تصاویر موزائیک شده با استفاده از نرم افزار ENVI به اندازه محدوده دلخواه برش داده می‌شود. لازم است قبل از برش تصاویر ماهواره‌ای، داده‌های زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به هم چسبانده شده و سپس محدوده مورد نظر در نرم افزار GIS برش داده شود. با انتقال شیب فایل ساخته شده در نرم افزار GIS به نرم افزار ENVI محدوده متناظر در تصاویر موزائیک شده از منطقه مورد مطالعه برش داده می‌شود.

۳-۸-۳ تصحیح اتمسفری^۱

تابش الکترومغناطیس خورشید یک بار در گذر از خورشید به زمین و بار دیگر پس از انعکاس از سطح زمین و برگشت به سوی سنجنده، از جو عبور می‌کند. این تابش در گذر از جو با گازها و ذرات معلق موجود در اتمسفر برخورد می‌کند و باعث دو پدیده مخرب به نام‌های فراکنش و جذب جوی

^۱ (Atmospheric correction)

می‌شود. فرآیند فراکنش باعث تغییر مسیر تابش می‌شود و فرآیند جذب انرژی تابشی الکترومغناطیسی را به انرژی ذاتی ملکول جذب کننده تبدیل می‌کند؛ که در اثر این دو عامل رادیانس رسیده به سنجنده کاهش می‌یابد و در نتیجه کنتراست بین عوارض تصویر ضعیف می‌شود. برای احیای ضریب بازتاب سطحی مواد باید اثرات گازها و ذرات معلق اتمسفر از بین برود، که نیاز به انجام تصحیحات اتمسفری روی داده‌ها می‌باشد. این خطاها ممکن است ناشی از دستگاه ثبت داده‌ها، طول موج تابش خورشیدی و یا اثرات اتمسفری باشند (Richards, 2013). پس از تصحیح رادیومتریک، داده‌ها به گونه‌ای در می‌آیند که نمایانگر انعکاس واقعی پدیده‌های روی سطح زمین باشند. امروزه برای حذف این خطاها از الگوریتم‌های متنوعی استفاده می‌شود؛ که در این تحقیق از الگوریتم میانگین نسبی داخلی (IARR) بر روی تصاویر جهت حذف اثرات اتمسفری استفاده شده است.

این الگوریتم توسط بن دور و همکارانش (Ben dor et al, 1994) به عنوان یک روش تصحیح که نیازی به دانش قبلی از منطقه‌ی مطالعاتی نیست، جهت نقشه‌برداری کانی‌ها پیشنهاد شد. در این روش میانگین طیفی از کل تصویر محاسبه شده و سپس به عنوان طیف مرجع بر هر کدام از پیکسل‌ها تقسیم می‌شود (ENVI, 2003).

۳-۹ پردازش تصاویر ماهواره‌ای

بررسی و مطالعه داده‌های ماهواره‌ای به منظور شناسایی پدیده‌های مختلف سطح زمین که هر یک با رنگ خاصی بر روی این داده‌ها ظاهر می‌شود را پردازش تصویر می‌گویند.

پردازش تصاویر مرحله مهمی از عملیات دورسنجی است که به دو زیر مرحله تقسیم‌بندی می‌شود؛ ابتدا مرحله پیش پردازش در تمامی مواردی که به تصاویر رقومی نیاز است، ضروری می‌باشد و سپس بارزسازی و استخراج اطلاعات است که برای هر نوع کاربردی، اجتناب ناپذیر است (لگ، ۱۹۹۷).

استخراج اطلاعات ممکن است با تکیه بر مهارت‌های چشمی مفسر و یا انواع الگوریتم‌های کامپیوتری انجام بگیرد. تبدیل داده‌های تصویری تصحیح شده به اطلاعات زمین‌شناسی یا اکتشافی با به کارگیری روش‌های خاصی مانند افزایش کنتراست، فیلترینگ، روش ایجاد تصاویر رنگی و عملیات بین تصاویر

انجام می‌گیرد. شتاب چشم‌گیر در روند توسعه صنعت کامپیوتر مانند سیستم تعیین موقعیت جهانی و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) با مقوله سنجش از دور باعث ایجاد تحولات اساسی در اهداف و فرآیندهای سیستم‌های پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای می‌شود.

۳-۹-۱ روش ترکیبات رنگی^۱

تصاویر ماهواره‌ای در سنجنده‌های مختلف دارای چندین باند با طول موج‌های مختلف و مجزا از یکدیگر هستند. برای اینکه بتوان کامل‌ترین و دقیق‌ترین اطلاعات را از تصویر مورد نظر جهت رسیدن به هدف مورد نظر به دست آورد، بهتر است از بررسی ارتباط بین باندهای مختلف با طول موج‌های مختلف یک سنجنده استفاده کرد. بنابراین در روش ایجاد ترکیب رنگی، متداول است که در آن سه باند مختلف به سه رنگ اصلی آبی، سبز و قرمز نسبت داده می‌شوند؛ که طول موج سه باند در محدوده طیف مرئی قرار دارد و چشم انسان قادر به دیدن آن‌ها است. باید توجه داشت که هر پدیده‌ای در طبیعت طول موج‌های متفاوت و انعکاس‌های منحصر به فردی دارد که این انعکاس‌ها ترکیبی از بازتاب‌های بخش قرمز، سبز و آبی محدوده طیف مرئی هستند. بنابراین اگر در ماهواره لندست و سنجنده‌ی (ETM+)، سه باند اول که مربوط به محدوده مرئی هستند به ترتیب شامل رنگ‌های اصلی قرمز، سبز و آبی شوند، تصویر ایجاد شده همان تصویر واقعی از منطقه مورد مطالعه خواهد بود و به این ترکیب رنگی ترکیب رنگی واقعی گفته می‌شود و به سایر ترکیب‌های رنگی، ترکیب رنگی کاذب گفته می‌شود (Vincent, 1997).

با توجه به تعداد باندهای سنجنده مورد نظر می‌توان ترکیبات سه تایی متعددی ایجاد کرد. تعداد ترکیبات ایجاد شده در سنجنده‌های مختلف، به تعداد باندهای موجود در تصویر سنجنده بستگی دارد. که از طریق فرمول زیر محاسبه می‌شود: (N، تعداد باندها می باشد)

$$[N]_3 = \frac{N!}{3!(N-3)!} \quad (3-5)$$

^۱ Color Composite Image

بر این اساس تعداد ۲۰ ترکیب باندی از ۶ باند لندست می‌توان ایجاد کرد. تعداد زیاد این ترکیبات باعث ایجاد مشکلاتی برای مفسر خواهد شد، از جمله این مشکلات می‌توان به هدر رفت وقت زیادی برای مقایسه و تحلیل این ترکیبات اشاره کرد. از این رو دانشمندان این علم به دنبال شاخصی برای انتخاب بهترین تصویر از بین ترکیبات ایجاد شده رفتند. لگ (۱۹۹۵) معتقد است اگر همبستگی بین باندها حداقل شود، تفاوت‌های طیفی نمایان‌تر خواهد شد و در نتیجه قابلیت تفسیر تصاویر افزایش خواهد یافت. چاوز و همکاران (۱۹۸۲، ۱۹۸۴) از فاکتور بهترین شاخص یا OIF^۱ استفاده کردند. مقدار این شاخص برای ترکیب‌های سه تایی از باندها از روش زیر محاسبه می‌شود:

$$OIF = \frac{Std\ i + Std\ j + Std\ k}{|Corr\ ij| + |Corr\ jk| + |Corr\ ik|} \quad (۶-۳)$$

که در معادله‌ی (۶-۳)، (Std)، انحراف معیار سه باند i, j, k و Corr، قدر مطلق ضرایب همبستگی بین دو باند از سه باند مورد استفاده می‌باشد. ترکیبی که بالاترین مقدار OIF را داشته باشد، مناسب‌ترین تصویر را برای استخراج اطلاعات مورد نیاز ایجاد می‌کند، ترکیباتی که مقدارشان تفاوت چندانی با ترکیب بهینه ندارد، نیز قابل استفاده می‌باشند زیرا تفاوت چندانی در میزان کلی اطلاعاتشان ندارند.

۳-۹-۲ روش نسبت باندی^۲

نسبت‌های باندی یا تصاویر نسبتی از روش‌های بسیار مفید در پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. مهمترین مزیت کاربرد نسبت‌های باندی، تهیه تصویری است که کاملاً از شرایط روشنایی مستقل است (گوپتا^۳، ۲۰۰۳). در واقع تمایز اصلی این روش با روش‌های دیگر آن است که ویژگی‌های طیفی پدیده-های تصویر را بدون توجه به تغییرات شرایط نوردهی که بر اثر تغییرات توپوگرافی ایجاد می‌شود، منتقل و بر محتوای رنگ‌ها تاکید می‌کند (Sabin, 1999). شکل این روش، تقسیم یک باند بر باندی دیگر است.

^۱ Optimum Index Factor

^۲ Band ratios

^۳ Gupta

در این روش ارزش بازتابشی هر پیکسل در هر باند بر ارزش بازتابشی سایر باندها تقسیم می‌شود (Rowan et al., 2003). با توجه به اینکه کانی‌های سطحی مشخص شده در تصاویر به خاطر شیب توپوگرافی، جهت شیب، تغییرات شدت تابش در فصول مختلف و تغییر زاویه تابش، می‌توانند روشنایی متفاوتی را نشان دهند، روش نسبت باندی این اثرات منفی را به حداقل می‌رساند (Goetz et al, 1983). از منحنی بازتاب طیفی کانی‌ها (اخذ شده از سازمان زمین شناسی آمریکا)^۱ نیز برای تعیین باندهای حداقل و حداکثر انعکاس به‌منظور تعیین نسبت باندی مناسب جهت تشخیص کانی مورد نظر استفاده می‌شود. از این روش جهت به نقشه درآوردن گیاهان، رس‌ها و تشخیص زون‌های دگرسانی ناشی از دگرسانی هیدروترمال استفاده می‌شود.

۳-۹-۳ روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)^۲

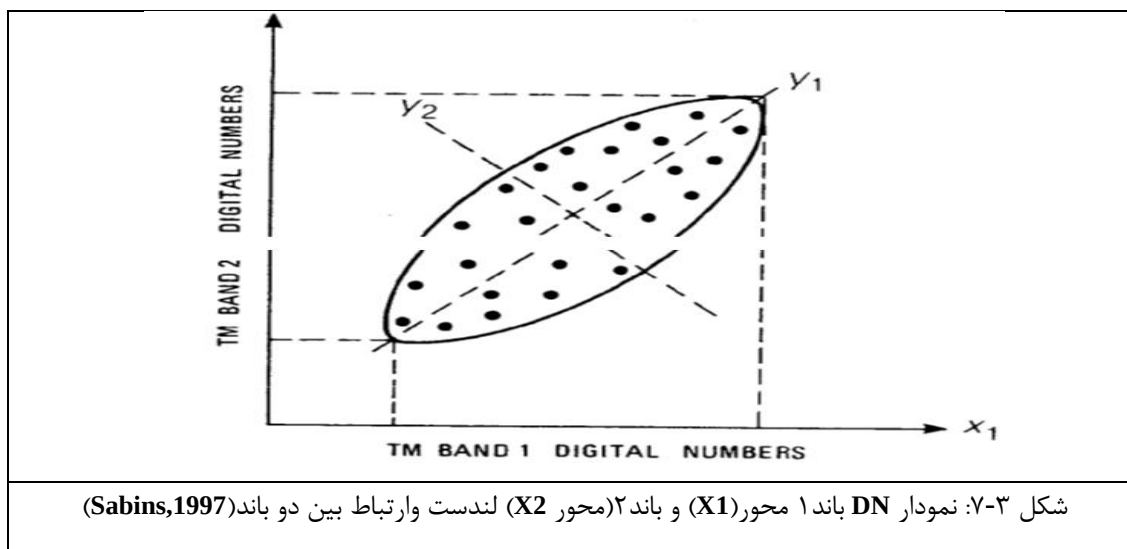
روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، ابتدا در سال (۱۹۰۱) توسط پیرسون^۳ معرفی شد و سپس در سال (۱۹۳۳)، هتلینگ^۴ روش‌های محاسباتی آن را پیشنهاد نمود (Crosta et al, 2003). در تصاویر چند طیفی نظیر ETM+ و یا ASTER، اگر محدوده متناظری از منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته شود و نحوه نمایش آن محدوده در باندهای مختلف مقایسه شود؛ شباهت تصویر ایجاد شده در باندهای مختلف مشخص خواهد شد. به گونه‌ای که مناطقی که در یک باند روشن‌تر یا تاریک‌تر از سایر نواحی هستند در سایر باندها نیز وضعیت مشابهی دارند. این شباهت در تصاویر باندهای مختلف باعث می‌شود، اطلاعات زائدی به-دست بیاید که نیاز به حذف داشته باشد. روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، برای کاهش دادن اطلاعات زائد و فشرده کردن داده‌های چندطیفی در یک تصویر جدید (PC) و در یک مختصات جدید می‌باشد (Pearson, 1901). شکل (۳-۸) نمایش انجام این روش برای دوباند انتخابی است.

^۱ USGS

^۲ Principal Component Analysis

^۳ Pearson

^۴ Hetling



(y1) محور جدید شامل داده‌های انتقال یافته است، که پراکندگی داده‌ها در طول آن جهت یافته است. محور بعدی (y2) عمود بر محور قبلی (y1) انتخاب می‌شود تا داده‌ای که آن‌ها در بر می‌گیرند، همبستگی نداشته باشند (Sabins, 1999).

معادله (۷-۳)، را بطن تبدیل ارزش‌های پیکسلی در محور مختصات اولیه به ارزش‌های پیکسلی در محور مختصاتی جدید را نشان می‌دهد:

پیکسل‌ها در سیستم جدید (y1, y2) هستند.)
 a_{22}, a_{12}, a_{11} ضرایب ثابت، مختصات پیکسل‌ها در سیستم اولیه: (x_1, x_2) و مختصات

$$\begin{cases} y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \\ y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \end{cases} \quad \text{رابطه (۷-۳)}$$

مقادیر داده‌های مؤلفه‌های اصلی در امتداد اولین مؤلفه اصلی (y1)، دارای واریانس یا پراکندگی بیشتری نسبت به داده‌های ترسیم شده در مقابل هر یک از محورهای اولیه (x_1, x_2) می‌باشند. داده‌های موجود در امتداد دومین مؤلفه اصلی دارای واریانس بسیار کمتری است که این از ویژگی‌های تمام مؤلفه‌های اصلی است. بنابراین در داده‌های چند طیفی نظیر تصاویر لندست، اولین مؤلفه اصلی (PC1)،

شامل بیشترین درصد واریانس کلی تصویر است. در نتیجه تجمع اطلاعات در این مؤلفه حداکثر است و شامل کمترین نویز می‌باشد. مؤلفه‌های بعدی ($PC_2, PC_3, \dots, PC_n$)، هریک در برگیرنده درصد کمتری از واریانس کلی تصویر می‌باشند. این مؤلفه‌ها زمانی کاربرد دارند که با تصاویر قوی‌تری ترکیب شوند (Abdeen, 2001). شکل (۳-۹)، نحوه اعمال روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی را نشان می‌دهد.

در روش PCA، باندهای انتخاب می‌شوند که همبستگی کمتری با هم داشته باشند. در این صورت ترکیب این باندها، حداکثر اطلاعات را می‌دهد. ضریب همبستگی عددی بین صفر و یک می‌باشد. ضریب همبستگی یک باند با خودش یک است زیرا داده‌ها کاملاً مشابه و تکراری خواهند بود. معمولاً کمترین همبستگی در بین باندهای لندست نیز بین باند ۶ و سایر باندهاست (Crosta, 2003).

هر تصویر ایجاد شده مؤلفه اصلی دارای اطلاعاتی از همه باندهای سنجنده می‌باشد؛ که به صورت سیاه و سفید نمایش داده می‌شود. می‌توان با ترکیب هر سه تصویر مؤلفه اصلی یک ترکیب رنگی ایجاد کرد، که واریانس ترکیب ایجاد شده بیشتر از ترکیب رنگی باندهای طیفی خام است. از امتیازات این ترکیب رنگی ایجاد شده از مؤلفه‌های اصلی بر ترکیب رنگی از باندهای معمول به موارد زیر می‌توان اشاره کرد:

- ۱- جزئیات بیشتری از اختلاف طیفی پدیده‌های سطح زمین در این ترکیب رنگی قابل مشاهده است، به گونه‌ای که مرز بین مناطقی که در تصاویر رنگی خام قابل تشخیص نیست را می‌توان مشاهده کرد.
- ۲- در تصاویر ایجاد شده از ترکیب رنگی حاصل از مؤلفه‌های اصلی می‌توان مناطق با وسعت کم نظیر دگرسانی‌ها را که از نظر ویژگی‌های طیفی، متمایز از کل تصویر می‌باشند را مشخص کرد (Vincent, 1997).

۳-۹-۴ روش کروستا^۱

روش کروستا، همان آنالیز مؤلفه‌های اصلی جهت‌داری است که از این طریق تعداد باندها برای تحلیل

^۱ Crosta

مؤلفه‌های اصلی کاهش می‌یابد (رسولی، ۱۳۸۷). این روش برای اولین بار توسط (Crosta, 1989) به منظور تعیین یک هدف خاص در یکی از تصاویر مؤلفه‌های اصلی با پیکسل‌های روشن نسبت به سایر پدیده‌ها استفاده شد.

در روش تحلیل مولفه اصلی استاندارد همه باندهای سنجنده به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند؛ اما در روش کروستا مولفه‌های انتخابی به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شوند.

۳-۱۰ روش کمترین مربعات رگرسیون شده^۱

این روش بر اساس تخمین خط پایه گذاری شده و با به کار بردن روش کمترین مربعات به دست آمده است. مقادیر ورودی در این روش، باندهایی در نظر گرفته می‌شوند، که متغیرهای خطی می‌باشند و رفتار سایر باندها را به صورت یک معادله خطی نشان می‌دهند. این باند تخمینی به دست آمده از باندهای ورودی به عنوان خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود و به نام باند مدل شناخته می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷). برخی از کانی‌ها در یک باند خاص انعکاس و جذب قابل توجهی دارند، بنابراین میان مقادیر واقعی و مقادیر محاسبه شده توسط روش کمترین مربعات (باند مدل) اختلاف وجود دارد؛ که این اختلاف را به عنوان باقی‌مانده معرفی می‌کنند و به عنوان یک تصویر خروجی مدل در نظر گرفته می‌شود.

خروجی الگوریتم دو تصویر سیاه و سفید، باقی مانده و پیش‌بینی شده است. تصویر پیش‌بینی شده چون بر اساس تخمین سایر باندها بوده، بیشترین شباهت را به سایر باندها داشته اما تصویر باقی مانده چون خطای تصویر پیش‌بینی شده است، نشان دهنده اختلاف باند مذکور با سایر باندهاست (حمید، ۱۳۹۴). پیکسل‌های باقی‌مانده بزرگ (مثبت یا منفی) نشان دهنده تصویر دلخواه می‌باشند.

۳-۱۱ طبقه بندی تصاویر^۲

هدف اصلی در روش طبقه بندی تصاویر، قرار دادن پیکسل‌های منفرد تصویر در گروه‌های کاملاً مجزا از یکدیگر می‌باشد. با توجه به اینکه هر پدیده در سطح زمین دارای خصوصیات طیفی منحصر به

^۱ LS-Fit

^۲ Classification

فردی می‌باشد، در تحلیل داده‌های دورسنجی از این مفهوم برای طبقه بندی عوارض و پدیده‌های مختلف استفاده می‌شود. این عوارض شامل پوشش گیاهی، خاک، مناطق مسکونی، مناطق کشاورزی و.. می‌باشد. جهت طبقه بندی تصاویر دو روش کلی وجود دارد:

۳-۱۱-۱ طبقه بندی نظارت نشده^۱

این روش به دلیل دخالت کم کاربر، به طبقه‌بندی نظارت نشده شناخته می‌شود. این روش در صورتی استفاده می‌شود که اطلاعات کافی بصری و یا شناخت کافی از پوشش سطح زمین در نواحی مختلف منطقه مورد مطالعه وجود نداشته باشد. در این روش تحلیل‌گر، با توجه به اعداد رقومی مشابه، پیکسل-های مشابه را در کلاس‌های طیفی با استفاده از روش‌های آماری گروه‌بندی می‌کند. در این روش داده‌های ورودی توسط نرم افزار انتخاب می‌شوند و بر خلاف روش طبقه بندی نظارت شده که کاربر نام کلاس‌های مختلف را قبل از انجام عملیات طبقه بندی به نرم افزار می‌دهد، نام کلاس‌ها بعد از انجام عملیات طبقه بندی تعیین می‌گردد. طبقه‌بندی نظارت نشده در صورتی است که امکان استفاده از سایر منابع مانند نقشه‌های زمین‌شناسی و عکس‌های هوایی نباشد ممکن است نیاز به چک زمینی به منظور شناخت کلاس‌های طیفی داشته باشد. روش‌های عمده طبقه‌بندی نظارت نشده، الگوریتم‌های K-means و Iso data می‌باشند.

۳-۱۱-۲ طبقه بندی نظارت شده^۲

در این روش، تحلیل‌گر چندین ناحیه مختلف در یک تصویر که رخدادهای سطحی مشخص و شناخته شده هستند را شناسایی می‌کند. این نواحی به عنوان سایت‌های آموزشی شناخته می‌شوند. نرم افزار با توجه به این سایت‌های آموزشی که شامل گروه‌های مختلف مانند آب، گیاه، خاک، مناطق شهری و.. می‌باشد، تصویر را طبقه‌بندی می‌کند. در روش طبقه‌بندی نظارت شده، داده‌های ورودی که همان

^۱ Unsupervised Classification

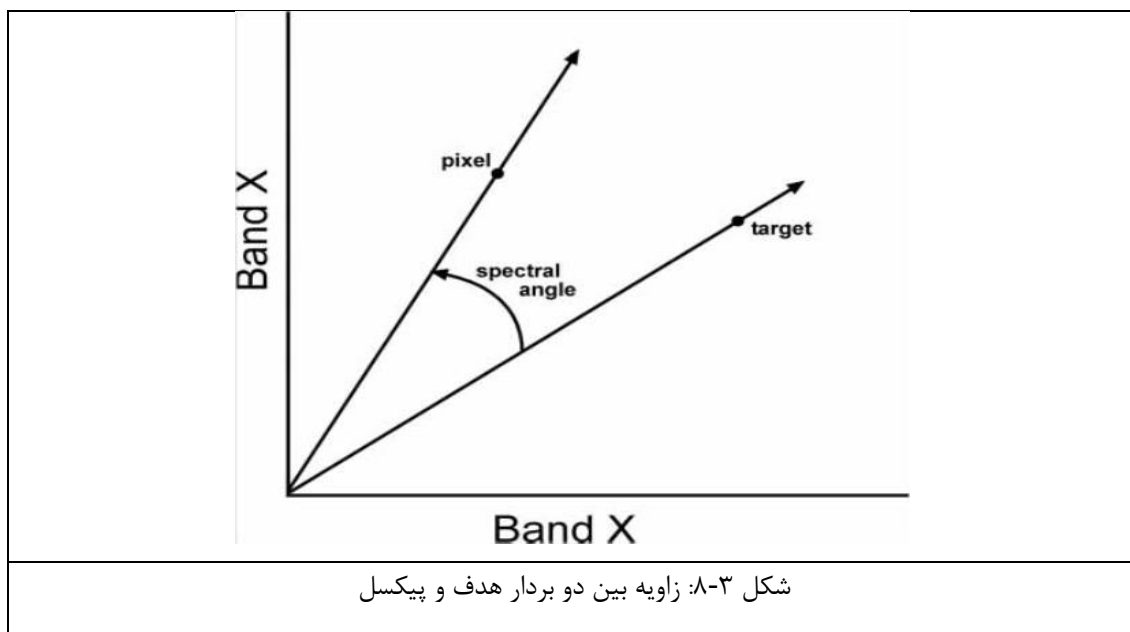
^۲ Supervised Classifications

پیکسل‌ها و نقاط کنترلی انتخاب شده هستند، از طریق عملیات میدانی، تفسیر عکس‌های هوایی و یا نقشه‌های زمین‌شناسی به‌دست می‌آیند که مناطق و عوارض مختلف توسط این روش طبقه‌بندی می‌شوند. استفاده از اطلاعات پیکسلی در این روش به‌صورت یک الگوریتم بوده و با استفاده از این الگوریتم می‌توان به‌دنبال نواحی با ارزش‌های پیکسلی مشابه با گروه‌های مشابه بود. طبقه‌بندی نظارت شده به‌روش‌های متعددی نظیر، نزدیکترین فاصله تا میانگین، شبکه‌های موازی، استفاده از حداکثر احتمال و روش زاویه طیفی (SAM) انجام می‌شود.

۱۱-۲-۳ روش نقشه برداری زاویه طیفی^۱ (SAM)

روش نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM)، اولین بار توسط کروس و همکارانش (۱۹۹۳) به‌کار برده شد. این روش یک روش طبقه‌بندی سریع است که از راه محاسبه و ارزیابی میزان تشابه طیف تصویر و طیف مرجع رفتار می‌کند (Kruse et al, 1993). این روش براساس شباهت بین طیف‌های مرجع کتابخانه طیفی سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS) و دگرسانی موجود در منطقه عمل می‌کند. مطابق شکل (۳-۱۳) طیف پیکسل مورد نظر و طیف هدف هر دو به‌صورت نقاطی ترسیم می‌شوند؛ که اگر یک بردار از مبدا به هر نقطه ترسیم شود، زاویه بین دو بردار، زاویه طیفی دو نقطه را تشکیل خواهد داد.

^۱ Spectral Angle Mapper



هر قدر زاویه طیفی کوچکتر باشد، شباهت طیف پیکسل مورد نظر به هدف نزدیکتر خواهد بود (Yong et al,2008). این زاویه از فرمول (۳-۸) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\alpha = \cos^{-1} \left[\frac{[\sum_{i=1}^N r_i t_i]}{\sqrt{\sum_{i=1}^N r_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N t_i^2}} \right] \quad \text{رابطه (۳-۸)}$$

خروجی این روش تصویری چند لایه است که RULE نامیده می‌شود. این تصاویر بهترین هماهنگی (SAM) بین طیف ناشناخته و طیف مرجع برای هر پیکسل را بیان می‌کند. طیف‌های مرجع ممکن است از کتابخانه طیفی وارد شده و یا یک کلاس آموزشی آماری باشند (یاراحمدی، ۱۳۹۴). پیکسل‌های با زاویه کوچکتر در تصاویر RULE تیره‌تر هستند و معکوس آن‌ها بخش روشن‌تر می‌باشد (Crosta,2003).

فصل چهارم

پردازش و تفسیر داده=

های سنجش از دور

۴-۱ مقدمه

امروزه دیگر مزایای استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بر کسی پوشیده نیست. با استفاده از این تصاویر می‌توان، سرعت پروژه‌های مختلف را بالا برد. تحلیل‌های زمان بر با داده‌هایی که حضوری و یا با استفاده از نقشه‌های قدیمی از مناطق وسیع و طی زمان طولانی اخذ شده‌اند، جای خود را به تحلیل‌های بهتر از نظر کمی و کیفی و همچنین، زمان داده است. محدوده‌ی مورد مطالعه ما شامل پنج سین ماهواره‌ای لندست ۷ می‌باشد که به دلیل شناسایی بهتر جزئیات و اتصال دقیق‌تر، دوسین ماهواره‌ای به هم موزائیک شدند و سه سین دیگر نیز جداگانه به هم موزائیک شدند. سپس محدوده‌ی مورد نظر برش داده شده تا موارد اضافی و غیرضروری از تصاویر حذف شوند. با توجه به اینکه تصاویر ماهواره‌ای پس از اخذ به صورت مستقیم قابل استفاده نیستند، عملیات پیش پردازش و آماده سازی داده‌ها با تصحیحات لازم و سپس پردازش داده‌ها با روش‌های مختلف توسط نرم افزار ENVI، صورت گرفت. هدف ما در این فصل شناسایی سازندهای مرتبط با بوکسیت‌زایی در منطقه و همچنین شناسایی دگرسانی‌های توسط روش‌های مختلف سنجش از دور می‌باشد.

۴-۲ داده‌های مورد استفاده

۵ تصویر ماهواره‌ای لندست، محدوده‌ی مورد مطالعه را که شامل ۱۹ ورقه یکصد هزار زمین‌شناسی می‌باشد، پوشش می‌دهد. با توجه به وسعت منطقه و تحلیل آسان‌تر و دقیق‌تر تصاویر با شماره گذر ۳۵ به صورت جداگانه مورد آنالیزهای سنجش از دور قرار گرفتند. مشخصات تصاویر لندست مورد استفاده در جدول (۴-۱)، آورده شده است :

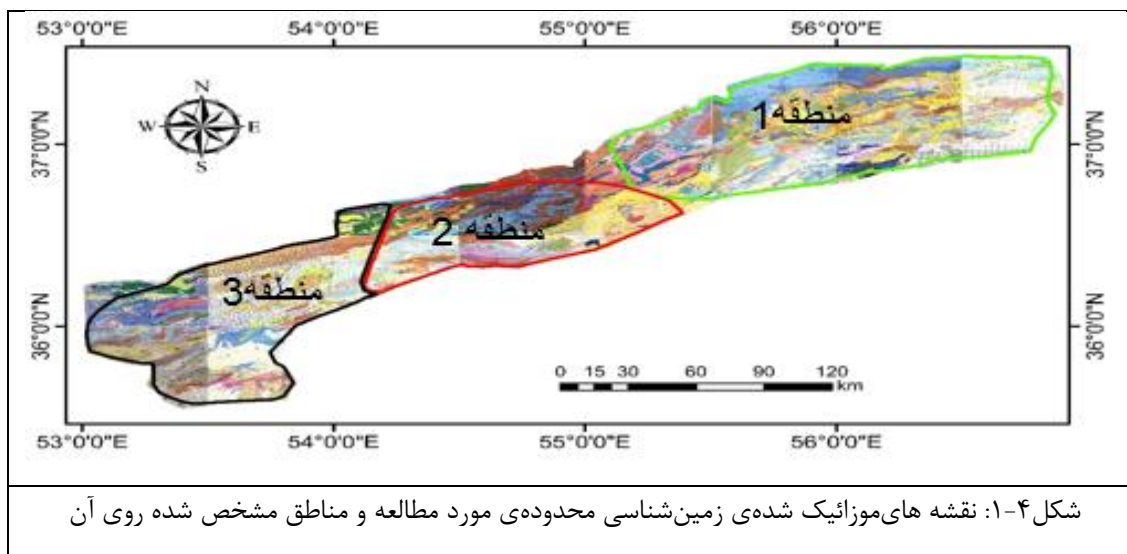
جدول ۴-۱: داده‌های سنجنده ETM مورد استفاده

شماره گذر	ردیف	تاریخ برداشت
۱۶۱	۳۴	۲۰۰۰/۷/۲۹
۱۶۱	۳۵	۲۰۰۰/۶/۲۷
۱۶۲	۳۴	۲۰۰۰/۷/۲۰
۱۶۲	۳۵	۲۰۰۰/۷/۲۰
۱۶۳	۳۵	۲۰۰۱/۷/۳۰

۴-۳ پیش پردازش ها

۴-۳-۱: موزائیک و برش تصاویر محدوده مورد مطالعه

با توجه به وسعت منطقه‌ی مورد مطالعه، و استفاده‌ی بیش از یک تصویر ماهواره‌ای، نیاز به انجام عمل موزائیک کردن می‌باشد. برای حذف محدوده‌های اضافی به منظور پردازش بهتر و سریع‌تر داده‌ها، محدوده‌ی مورد مطالعه با توجه به روند زمین‌شناسی موجود برش داده شد (شکل ۴-۱). به منظور تفسیر بهتر جزئیات و پردازش دقیق‌تر، منطقه‌ی مورد مطالعه بر اساس سین‌های ماهواره‌ای به سه بخش: منطقه‌ی (۱): شامل سین‌های ماهواره‌ای با شماره‌ی ردیف ۳۴، منطقه‌ی (۲): شامل سین‌های ماهواره‌ای با شماره‌ی گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۵ و منطقه‌ی (۳): شامل سین‌های ماهواره‌ای با شماره‌ی گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۵ و همچنین سین‌های ماهواره‌ای با شماره‌ی گذر ۱۶۱ و ردیف ۳۵ تقسیم‌بندی شده‌اند.



۴-۳-۲ انجام تصحیحات بر روی داده ها

تصاویر ماهواره ای، بر اثر نویزهای اتمسفری یا اختلالات سنسور دچار خطاهایی هستند که با تصحیحات اتمسفری، نمایانگر پدیده های واقعی روی زمین می شوند. بر روی فایل تصحیح شده، تصحیح IAR، جهت تولید بازتابی واقعی از پدیده ها و اشیا از طریق میانگین گیری برای تک تک پیکسل ها با توجه به پیکسل های اطراف انجام شد.

۴-۳-۳ شناسایی پوشش گیاهی در منطقه با شاخص گیاهی نرمال شده ی تفاضلی^۱

ارزانی و همکاران (۱۳۷۶)، مطالعه ای به منظور تخمین پوشش گیاهی در ایالت نیوسادات ولز استرالیا با استفاده از داده های رقومی سنجنده TM انجام دادند و تخمین پوشش گیاهی را با استفاده از این اطلاعات امکان پذیر دانسته اند. قبل از انجام روش های پردازش روی تصاویر ماهواره ای منطقه البرز شرقی، لازم است تا پوشش گیاهی موجود در منطقه شناسایی گردند. این امر به علت تداخل طیف پوشش گیاهی و کانی های رسی می باشد. وجود انواع رس ها در خاک این مناطق سبب تداخل مناطق حاوی پوشش گیاهی با آلتراسیون های موجود در منطقه می شود.

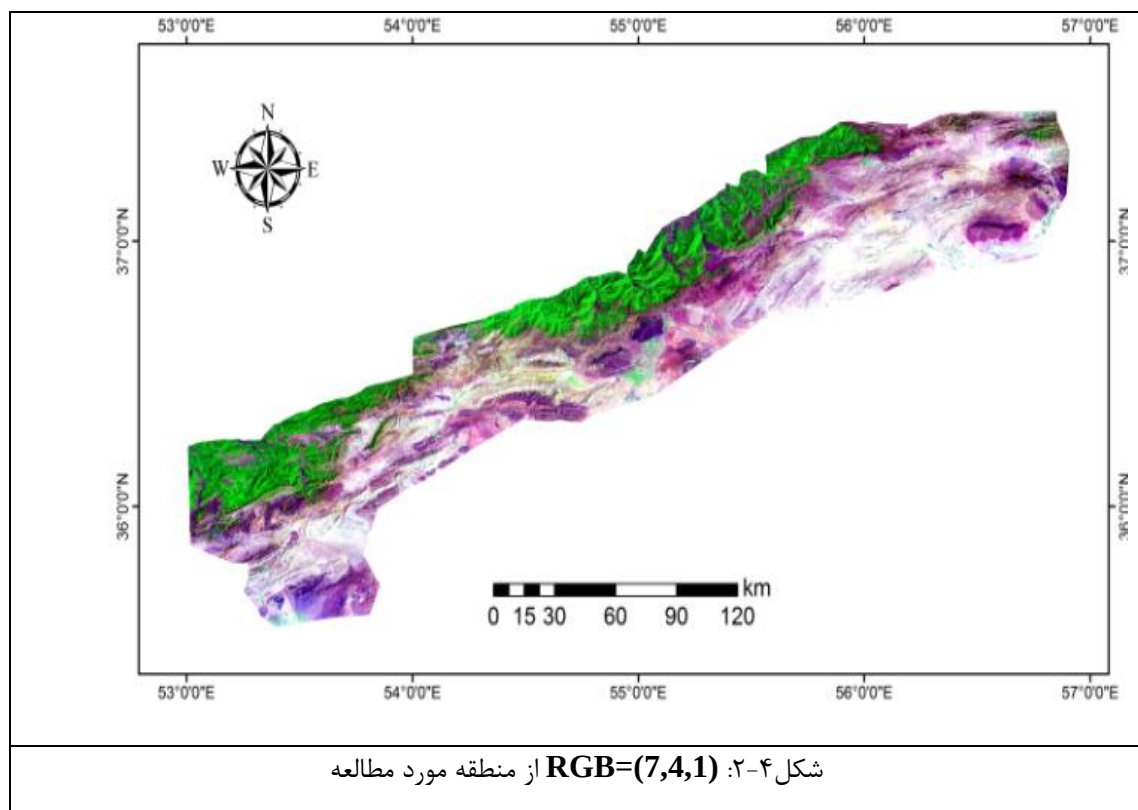
^۱ Normalized Difference Vegetation Index

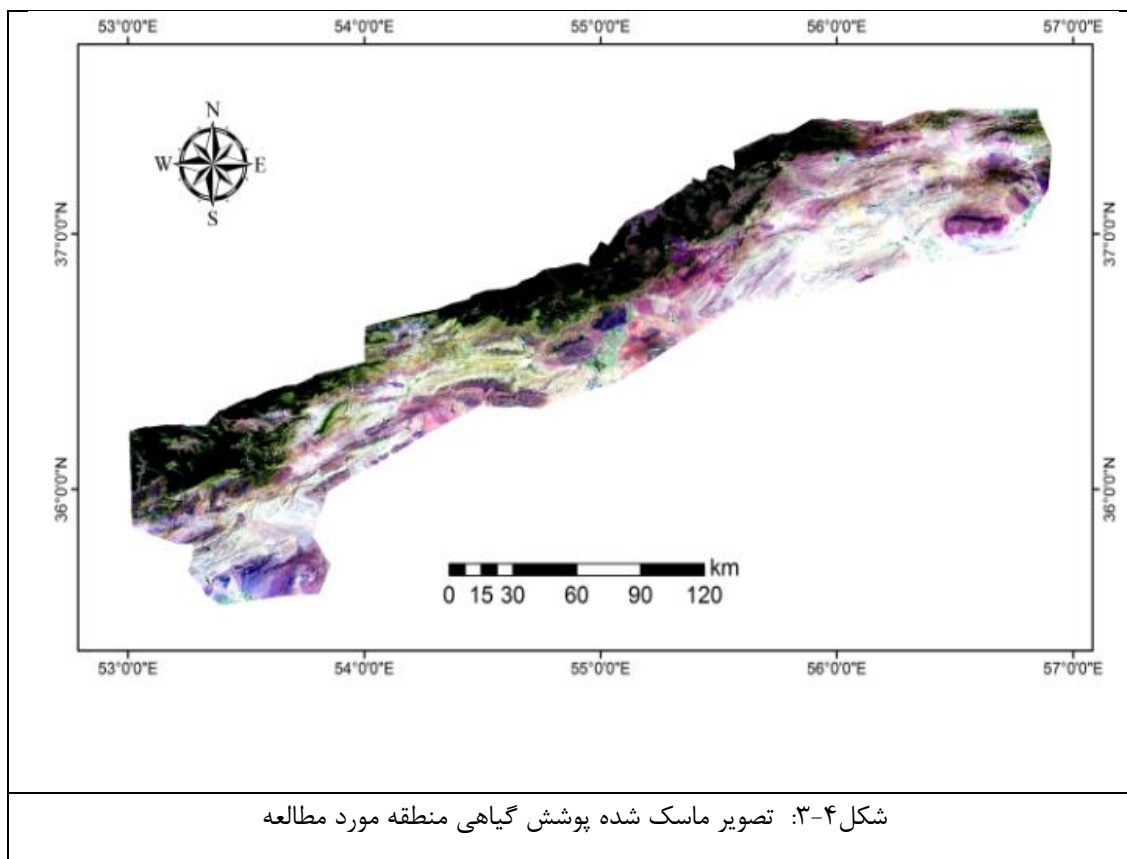
از این شاخص جهت مشخص کردن پوشش گیاهی در منطقه استفاده می‌شود. از آنجایی که گیاهان دارای بازتاب بالایی در باند سوم و چهارم در سنجنده ETM+ هستند، از نسبت زیر که به شاخص NDVI معروف است، برای هدف مورد نظر استفاده می‌شود.

$$NDVI = \frac{Near\ IR_Red}{Near\ IR+Red} = \frac{B4-B3}{B4+B3} \quad \text{رابطه (۳-۹)}$$

مقادیر شاخص NDVI بین ۱- و ۱+ هستند که معمولاً رنج مقادیر بین ۰/۸-۰/۲ پوشش گیاهی را به ما نشان می‌دهد. در تصاویر ما این رنج بین ۰/۸-۰ در نظر گرفته شد. حالا از آنجایی که گیاهان در باند ۴ تصاویر ETM دارای انعکاس بالایی هستند، این تصویر ایجاد شده را می‌توان برای اعتبار سنجی با تصویر ایجاد شده از ترکیب رنگی کاذب (۷,۴,۱) مقایسه کرد.

با ایجاد تصویر NDVI منطقه‌ی مورد نظر می‌توان اقدام به ماسک کردن مناطقی که به عنوان گیاه شناسایی شده کرد و تصویری ایجاد کرد که در آن گیاهان موجود در منطقه ماسک شده‌اند و عملاً اثری در انجام پردازش‌ها ایجاد نمی‌کنند.





۴-۴ پردازش تصاویر

جهت شناسایی مناطق امیدبخش معدنی بوکسیت، عوامل تاثیرگذار در این زمینه، مانند شناسایی دگرسانی‌های مرتبط در منطقه و شناسایی سازندهای مرتبط با بوکسیت زایی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به این که کانسارهای بوکسیتی موجود در منطقه در بین سنگ‌آهک‌های دولومیتی سازند الیکا و شیل و ماسه سنگ‌های سازند شمشک تشکیل شده‌اند، در این بخش با استفاده از روش‌های مختلف پردازش نظیر ترکیب رنگی کاذب، نسبت بانندی، تصاویر نسبتی حاصل از ترکیب رنگی نسبت‌های بانندی، آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد، آنالیز مؤلفه‌های انتخابی (کروستا) و روش کمترین مربعات رگرسیون شده بارزسازی شدند. علاوه بر این دگرسانی‌های اکسید آهن و آرژیلیک منطقه نیز توسط روش‌های مختلف سنجش از دور شناسایی شدند.

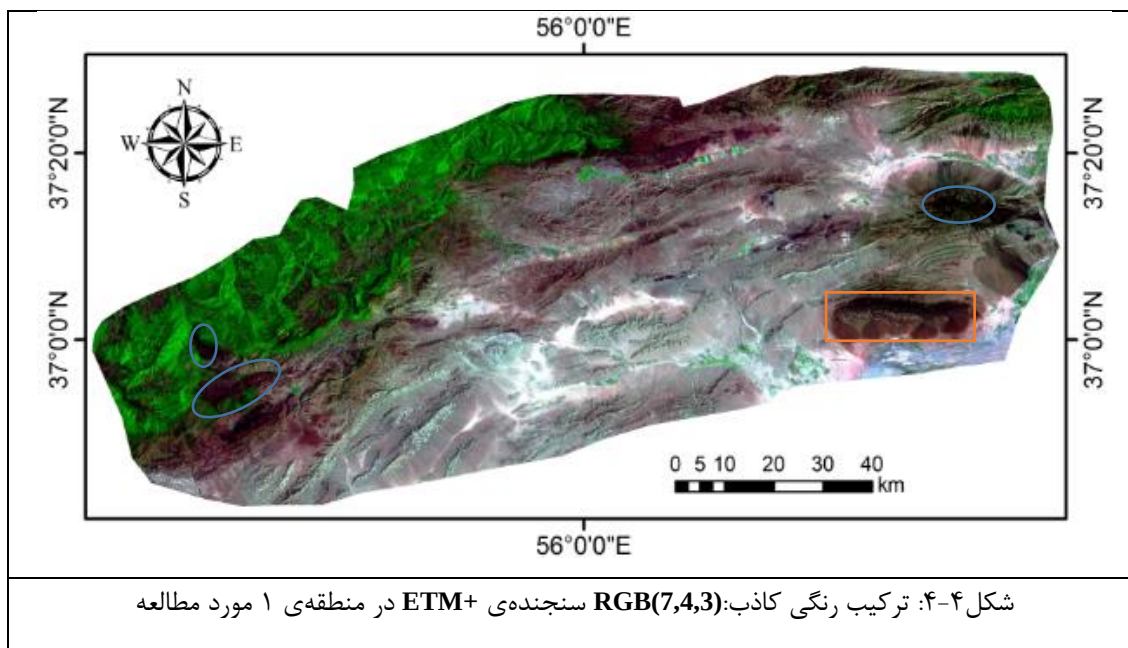
۱-۴-۴ ترکیب رنگی کاذب

در این روش با قرار دادن باندهای مناسب تصویر، در فیلترهای قرمز، سبز و آبی، عوارض مورد نظر مفسر به رنگهای دلخواه در تصویر پدید می‌آیند تا به راحتی و با تفسیر چشمی عوارض مورد هدف از تصویر استخراج گردند. از طرفی با توجه به اینکه، انتخاب بهترین ترکیبهای باندی از طریق مشاهدهی چشمی تصاویر رنگی کاذب، کاری مشکل و وقت‌گیر است، از تکنیک شاخص بهینه مطلوب برای انتخاب بهترین ترکیب باندی از ماهواره‌ی لندست ۷ استفاده شد.

مقدار شاخص بهینه با قرار دادن ترکیبات سه تایی از ۶ باند سنجنده‌ی ETM+ در فرمول (۳-۶) به دست می‌آید. با توجه به جدول (۴-۲)، بهترین ترکیب برای شناسایی واحدهای سنگی منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه نیز ترکیب باندی (۷،۴،۳) می‌باشد که شکل (۴-۴)، تصویر ترکیب رنگی ایجاد شده می‌باشد. محدوده‌ی بوکسیت جاجرم حاصل از ترکیبهای رنگی کاذب نیز در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.

جدول ۴-۲: مقادیر OIF محاسبه شده برای منطقه ۱

شاخص OIF	ترکیب باندی	ردیف	شاخص OIF	ترکیب باندی	ردیف
1.3802	4-3-2	11	1.3484	4-2-1	1
1.3545	5-3-2	12	1.3330	5-2-1	2
1.3607	7-3-2	13	1.3400	7-2-1	3
1.3550	5-4-2	14	1.3707	4-3-1	4
1.3720	7-4-2	15	1.3493	5-3-1	5
1.3476	7-5-2	16	1.3571	7-3-1	6
1.3756	5-4-3	17	1.3427	5-4-1	7
1.3908	7-4-3	18	1.3612	7-4-1	8
1.3593	7-5-3	19	1.3402	7-5-1	9
1.3496	1-2-3	20	1.3652	7-5-4	10



در تصویر حاصل از ترکیب رنگی فوق، واحدهای سنگی شامل شیل و ماسه سنگ و کنگلومرا به صورت قرمز و قرمز مایل به تیره بارزسازی شده‌اند و با خطوط آبی رنگ در شکل (۴-۴)، نشان داده شده‌اند. شکل (۴-۵)، برشی از سازند شمشک با خط آبی در کمر بالای محدوده‌ی معدن بوکسیت جاجرم و سازند الیکا با خط قرمز در کمر پایین معدن جاجرم را نشان داده است. این برش در تصویر (۴-۴)، با مستطیل نارنجی رنگ مشخص شده است. دولومیت‌ها و سنگ‌آهک‌های دولومیتی به رنگ سبز و سبز روشن متمایز شده‌اند.

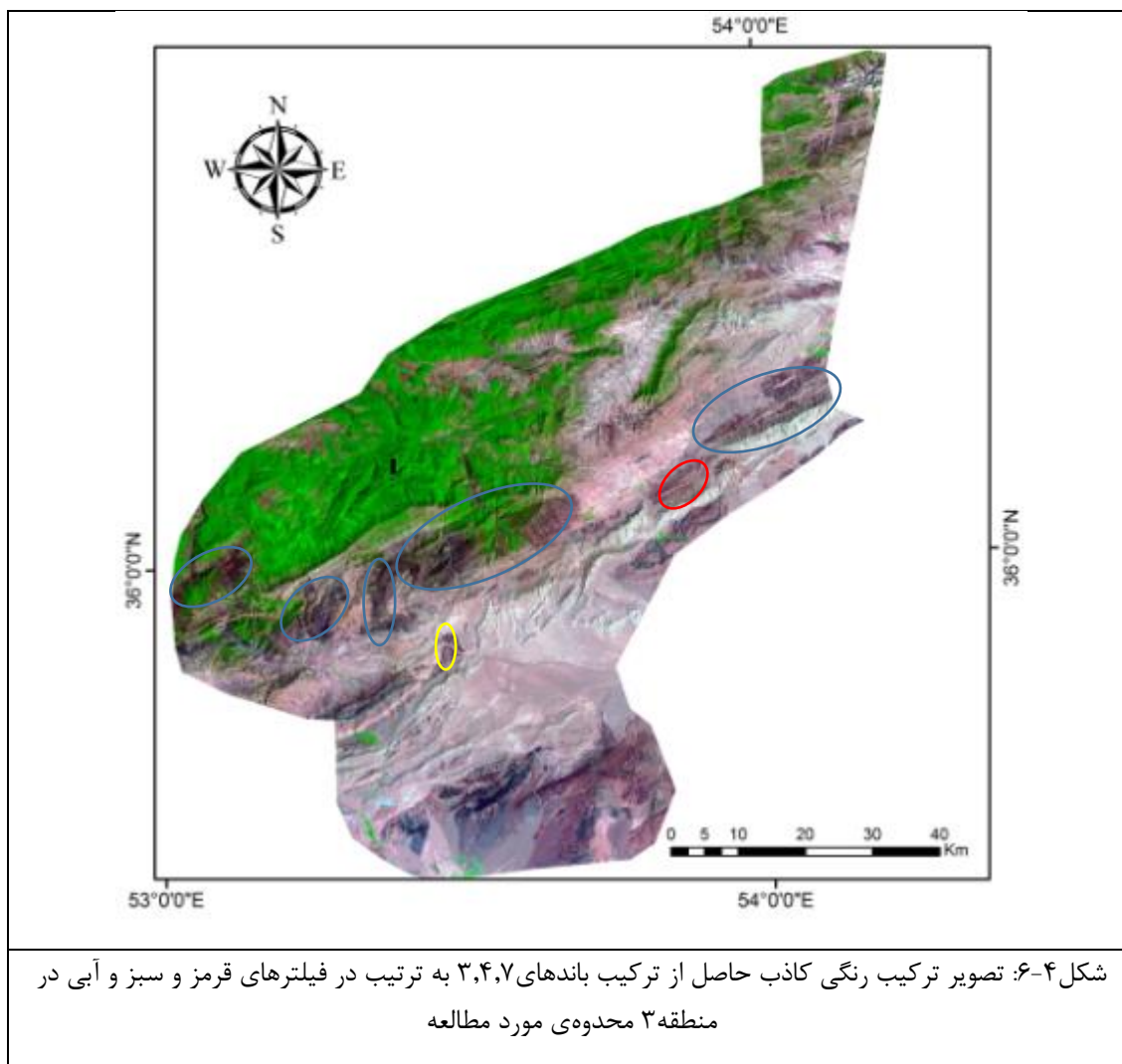


مقدار شاخص بهینه برای تصویر با شماره‌ی گذر ۱۶۳ (منطقه ۳)، در جدول (۳-۴) آمده است. جداول (۳-۴)، مقادیر OIF محاسبه شده برای ۲۰ ترکیب ممکن از ترکیبات سه تایی باندها می‌باشد:

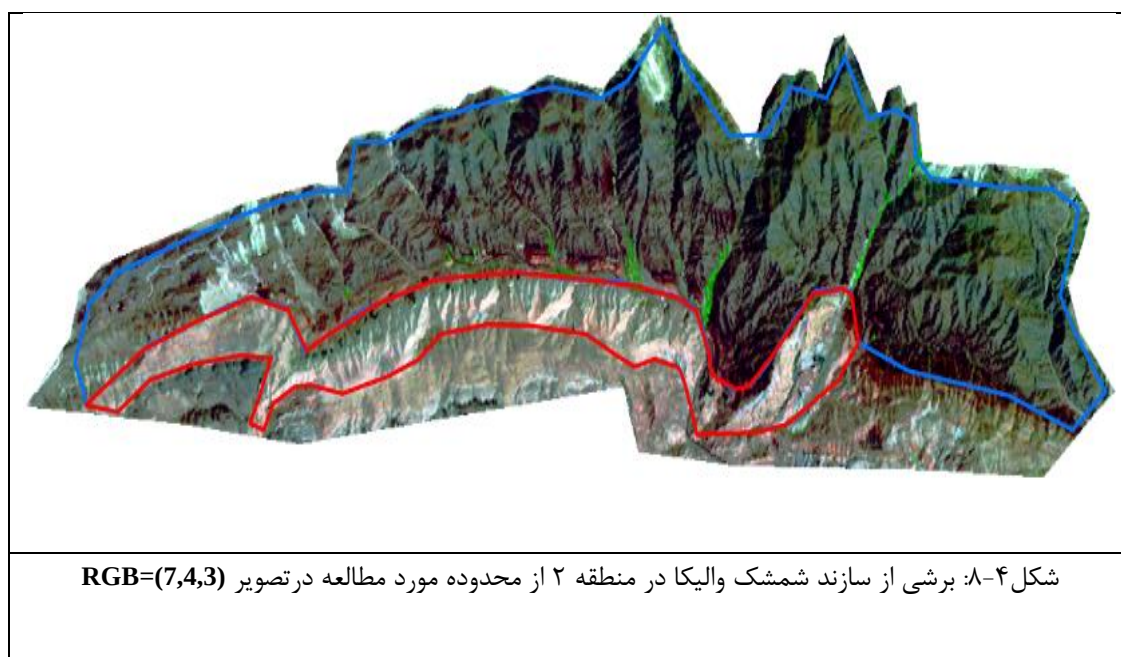
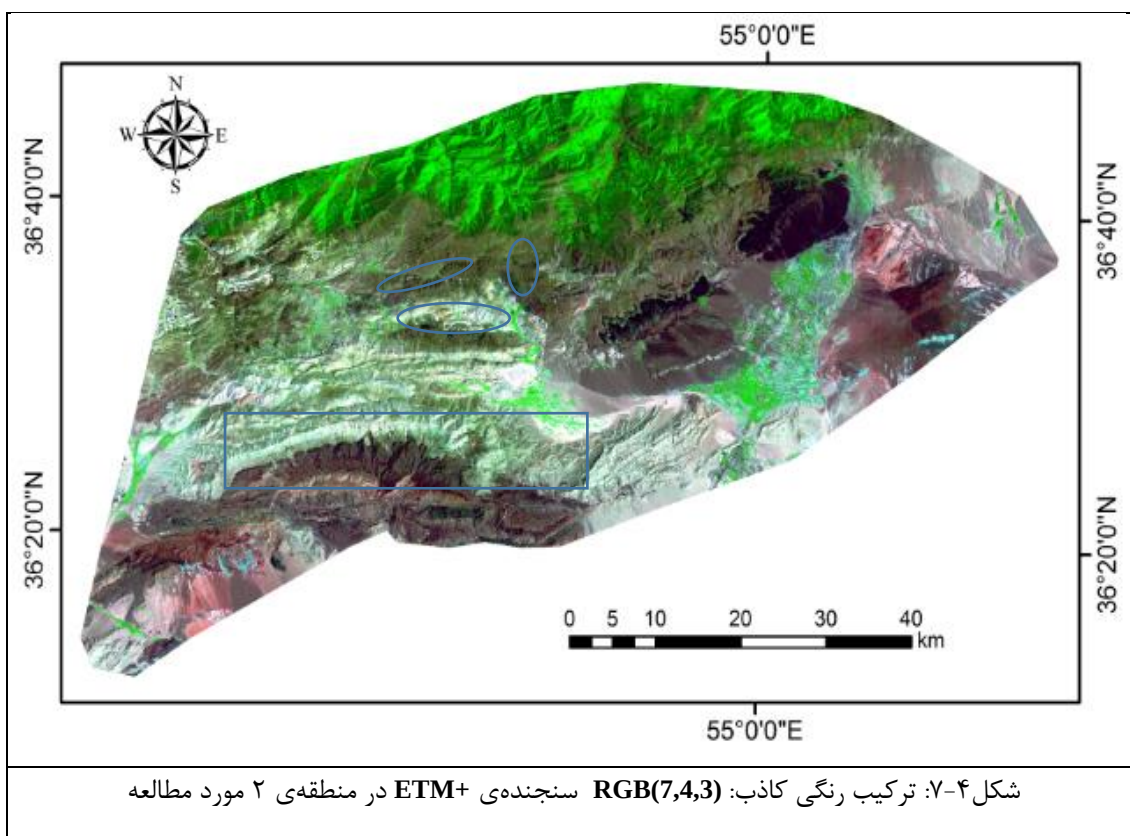
جدول ۳-۴: مقادیر محاسبه شده برای شاخص OIF در منطقه ۳

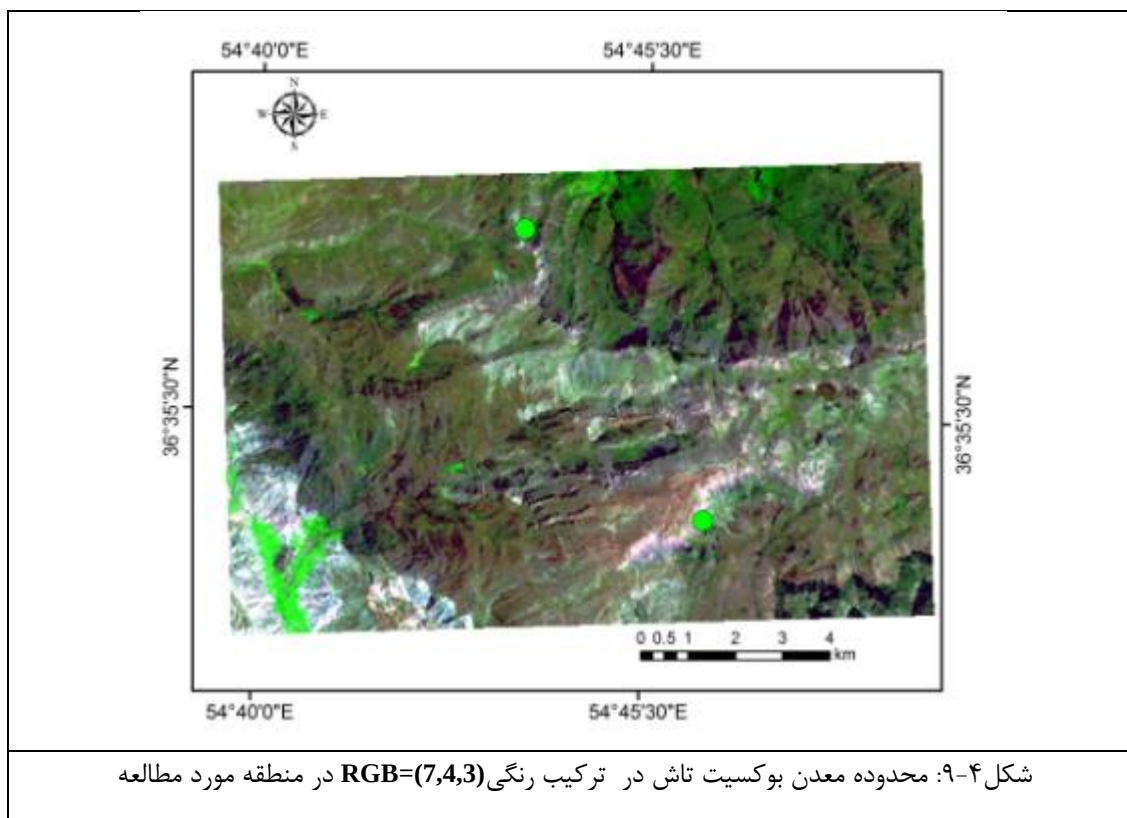
شاخص OIF	ترکیب باندی	ردیف	شاخص OIF	ترکیب باندی	ردیف
1.626	4-3-2	11	1.5519	4-2-1	1
1.5899	5-3-2	12	1.5408	5-2-1	2
1.604	7-3-2	13	1.5654	7-2-1	3
1.56	5-4-2	14	1.6420	4-3-1	4
1.608	7-4-2	15	1.5832	5-3-1	5
1.57	7-5-2	16	1.6022	7-3-1	6
1.61	5-4-3	17	1.5434	5-4-1	7
1.655	7-4-3	18	1.609	7-4-1	8
1.605	7-5-3	19	1.564	7-5-1	9
1.57	1-2-3	20	1.595	7-5-4	10

با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول (۳-۴)، می‌توان از ترکیب رنگی ۳-۴-۷ که دارای بالاترین مقدار شاخص بهینه یا OIF هست جهت ساخت مناسب ترین تصویر رنگی استفاده کرد. بنابراین با قرار دادن سه باند ۷ و ۴ و ۳، به ترتیب در فیلترهای قرمز و سبز و آبی، تصویری ایجاد می‌شود که بیشترین اطلاعات را در اختیار مفسر قرار می‌دهد. واحدهای سنگی مربوط به سازند شمشک در منطقه با تغییر رنگ مشابه در تصویر متمایز شده اند. همانطور که در شکل (۴-۶)، مشاهده می‌شود، واحدهای سنگی مربوط به سازند شمشک به دایره‌های با رنگ آبی مشخص شده اند. واحدهای سنگی دولومیتی به رنگ صورتی و صورتی روشن و سنگ آهک‌ها متمایز شده اند. محدوده معدن بوکسیت گانو با دایره قرمز رنگ و محدوده معدن بوکسیت رضا آباد با دایره زرد رنگ مشخص شده اند.



با توجه به محاسبات مربوط به مقدار شاخص بهینه برای تعیین بهترین ترکیب باندی جهت شناسایی واحدهای سنگی، تصویر با ترکیب رنگی کاذب (۷، ۴، ۳)، اعمال شده بر تصویر با شماره گذر ۶۲ در شکل‌های (۷-۴)، نشان داده شده است. شکل (۴-۸) نیز برشی از توالی سازند شمشک و سازند الیکا در منطقه مورد مطالعه می‌باشد و شکل (۴-۹)، محدوده معدن بوکسیت تاش را نشان می‌دهد که دو نقطه سبز رنگ دو لایه معدن بوکسیتی تاش را با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه نشان می‌دهد. در شکل (۷-۴) که تصویر ترکیب رنگی بهینه می‌باشد، واحدهای ماسه سنگی و شیلی سازندهای شمشک با دایره‌های آبی رنگ در تصویر نشان داده شده اند. مناطق سفید رنگ موجود در تصویر، سنگ آهک‌های موجود در منطقه می‌باشند. دولومیت‌ها در منطقه نیز به رنگ صورتی و صورتی روشن متمایز شده اند.



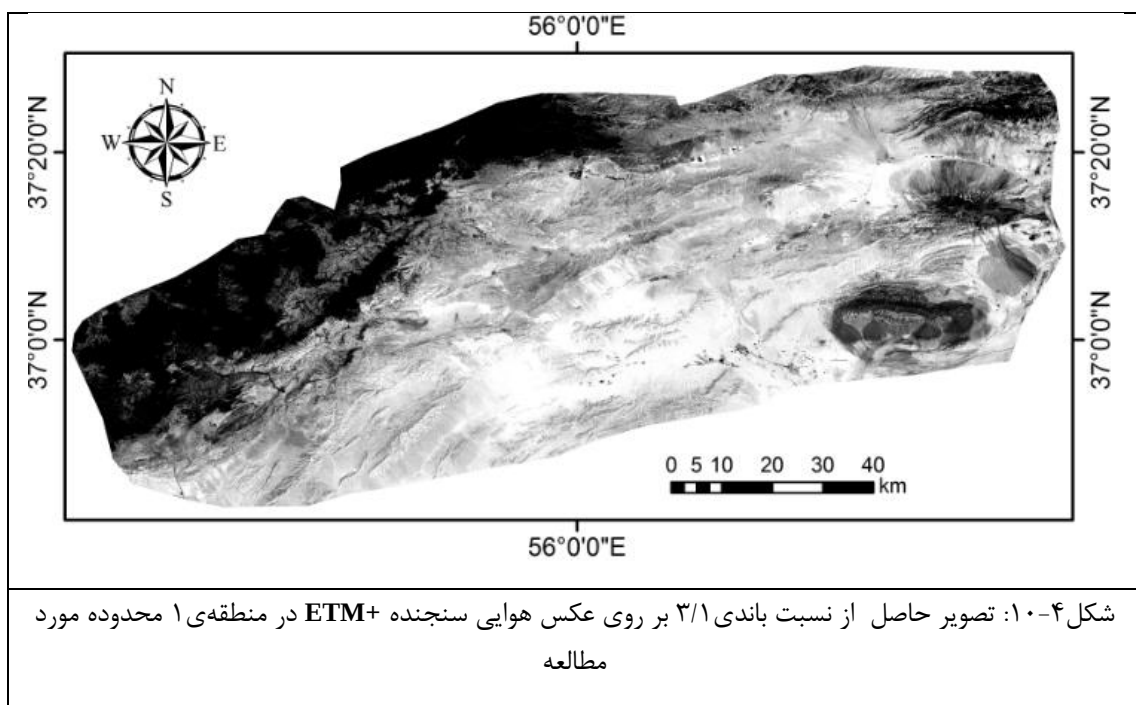


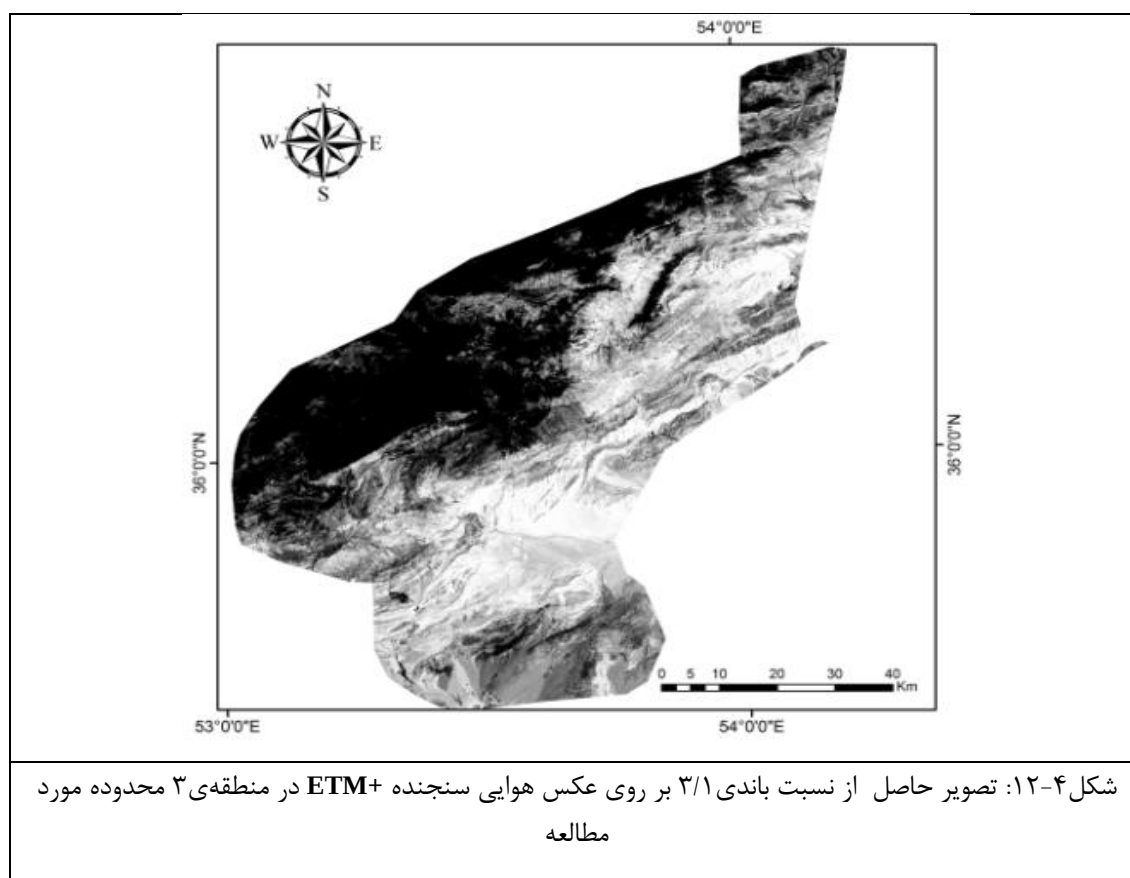
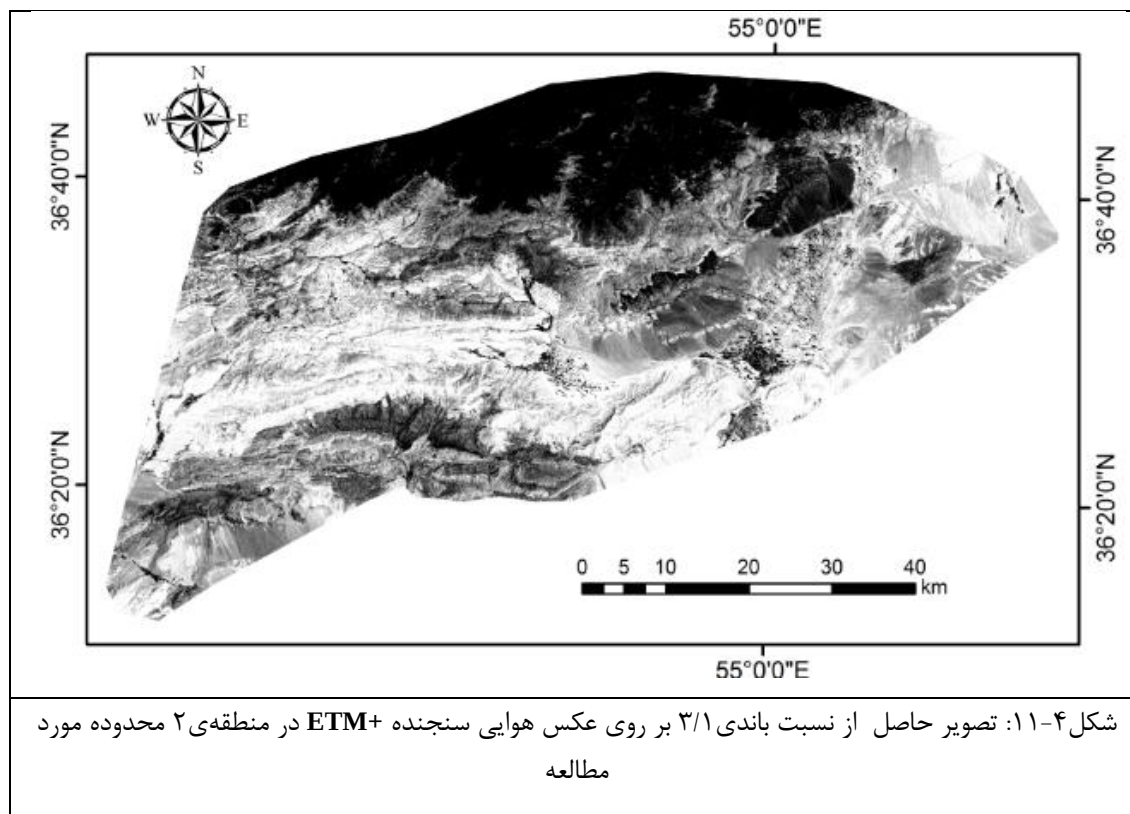
۴-۲-۴ نسبت باندی

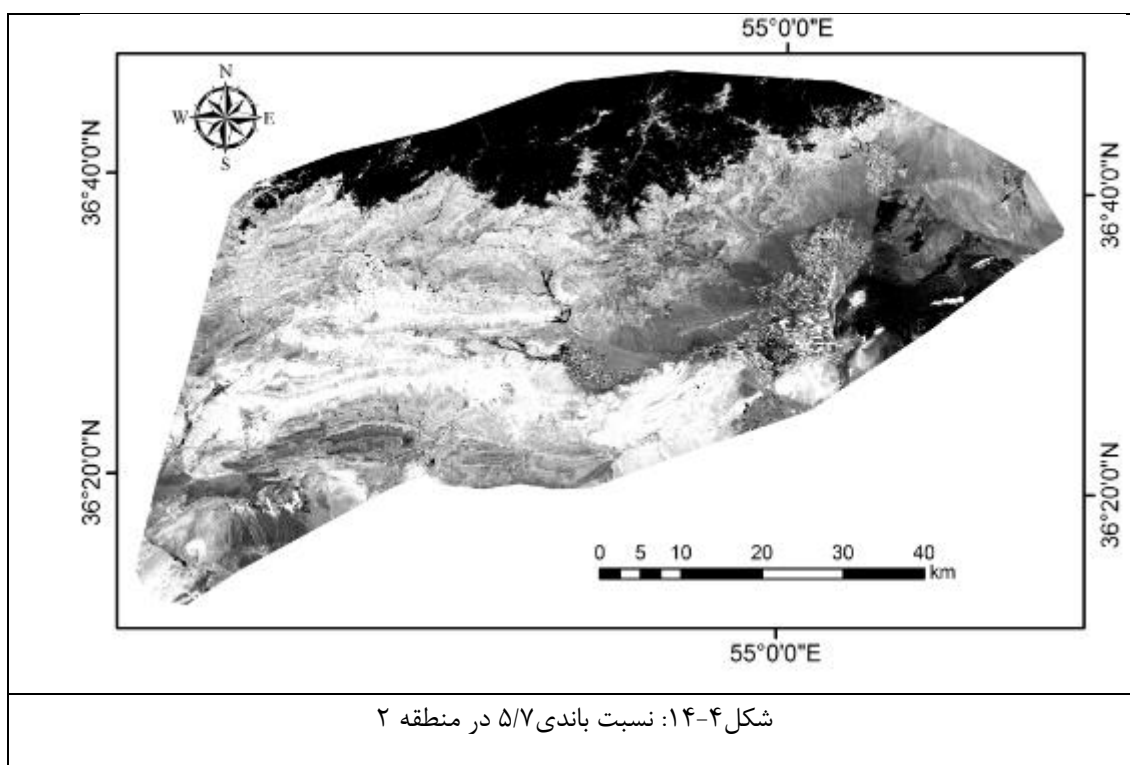
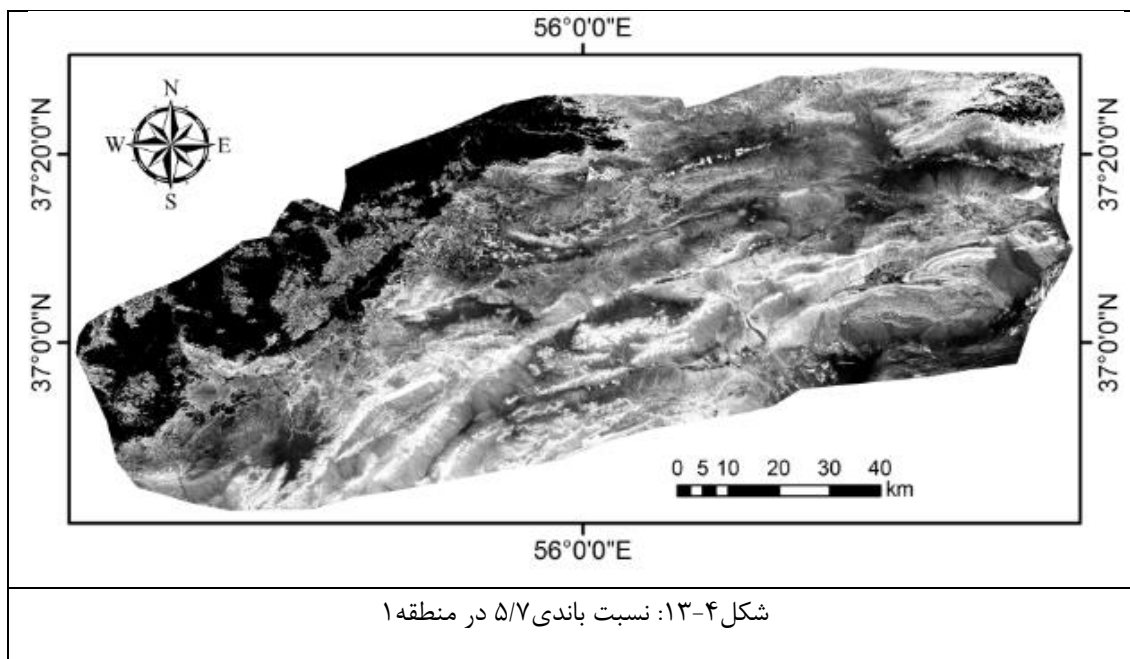
روش نسبت باندی، یکی از روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای است که اساس آن بر تقسیم پیکسل‌های یک تصویر و یا یک باند طیفی به پیکسل‌های متناظر آن تصویر یا باندی دیگر است (sabins, 1999). در تصاویر حاصل از نسبت‌های باندی، تغییرات جزئی عوارض بهتر از تصاویر باندهای تک نمایان می‌گردند به این دلیل که در تصاویر حاصل از نسبت‌گیری باندی، اثرات نامطلوبی مانند اثر توپوگرافی و یا اثر روشنایی خورشید حذف می‌شوند (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۷). برای استفاده از این روش، بایستی از خصوصیات طیفی کانی‌ها و سنگ‌ها و یا پدیده‌های مورد نظر آگاهی داشت و محدوده‌ی جذب و بازتاب آن‌ها را مشخص کرد. این اطلاعات از روی دیاگرام‌های طیفی آن‌ها حاصل می‌شود، سپس به تناسب از باندهای بازتاب و جذب در صورت و مخرج کسر استفاده نمود.

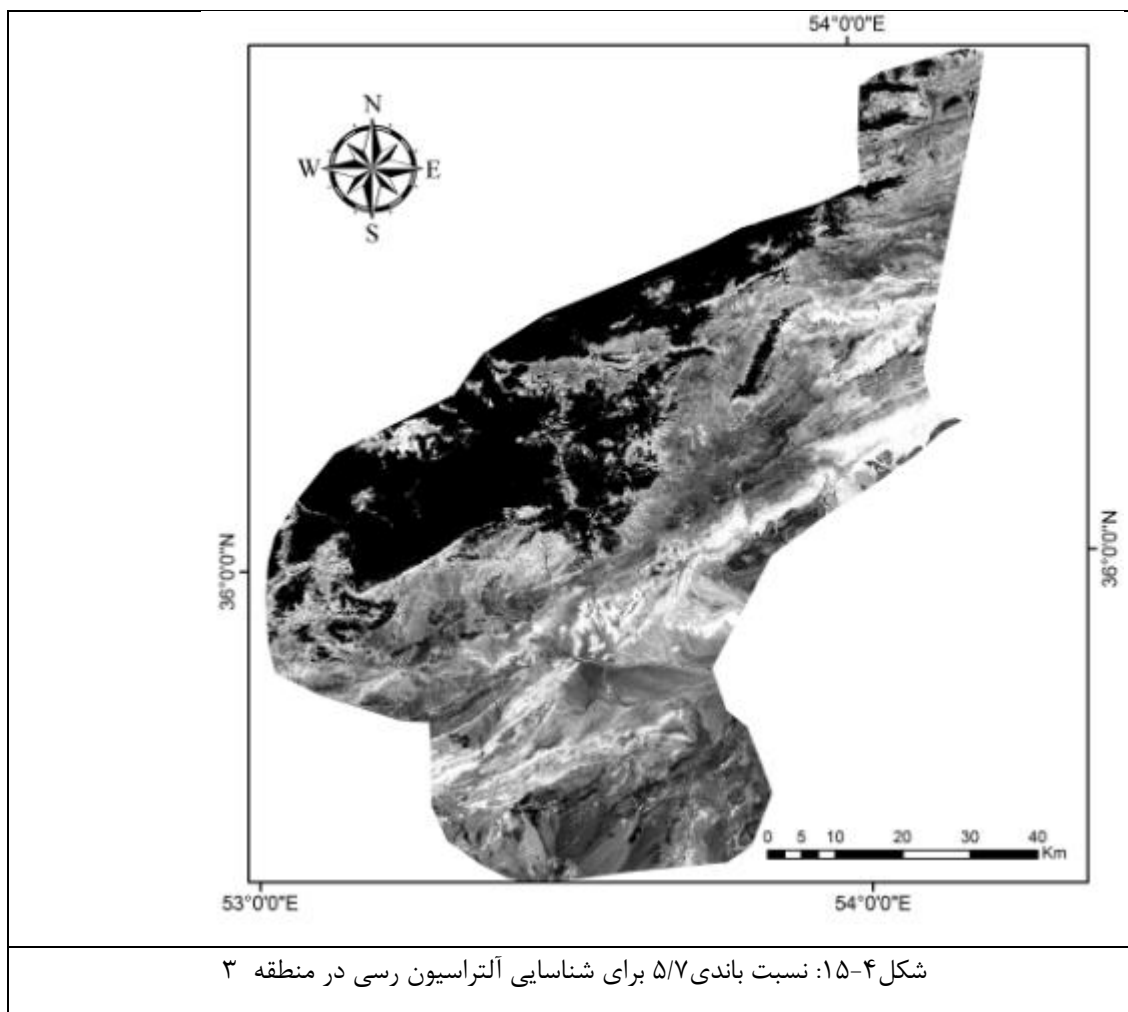
برای شناسایی سازند و دگرسانی‌های مرتبط با بوکسیت‌زایی از نسبت‌های باندی متفاوتی استفاده شد. نسبت باندی دو به پنج برای شناسایی شیل و ماسه سنگ‌های سازند شمشک به عنوان کمربالای

ماده معدنی در معادن بوکسیت منطقه مفید بوده است و این سازند را مشخص کرده است. از نسبت باندی ۷ به ۳ نیز برای شناسایی دولومیت‌ها و آهک‌های سازند الیکا استفاده شده است. برای بارزسازی دگرسانی‌ها می‌توان از بارزسازی کانی‌های شاخص این دگرسانی‌ها از نمودارهای رفتار طیفی آن‌ها استفاده کرد. طبق نمودار طیف انعکاسی کانی‌های شاخص اکسید آهن شامل (گوئیتیت، لیمونیت و هماتیت)، این کانی‌ها در باند یک جذب و در باند ۳ انعکاس قابل توجهی دارند. به همین دلیل از نسبت باندی ۳ به ۱ برای بارزسازی اکسیدهای آهن در منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. به همین ترتیب برای بارزسازی آلتراسیون‌های کانی‌های دارای بنیان (OH) در منطقه با توجه به نمودار طیفی کانیهای شاخص آن مانند (کائولینیت، مونت موریونیت و سیریسیت)، از نسبت باندی ۵ به ۷ استفاده شده است. مناطق هدف با پیکسل‌های سفید نشان داده شده اند.



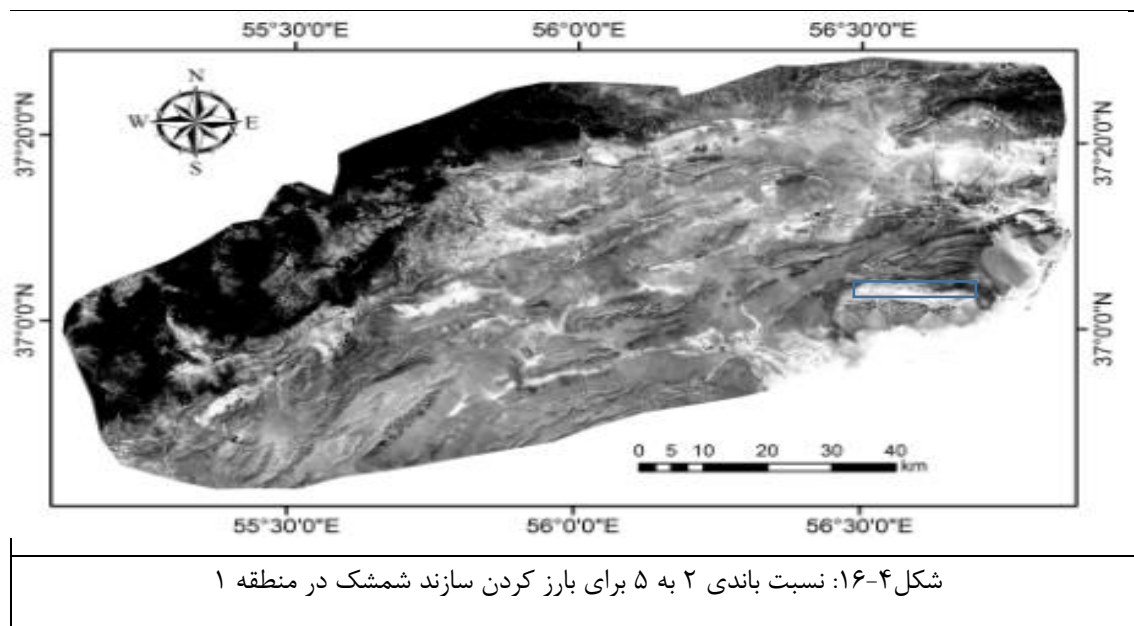




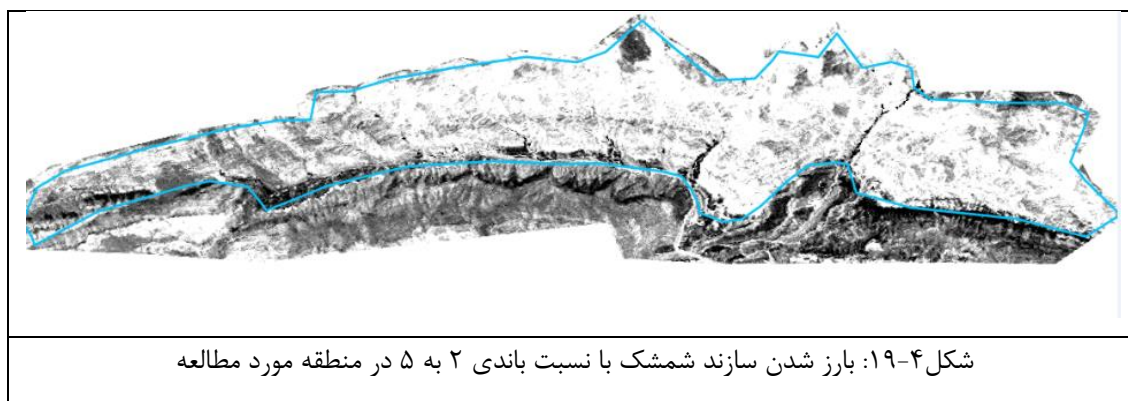
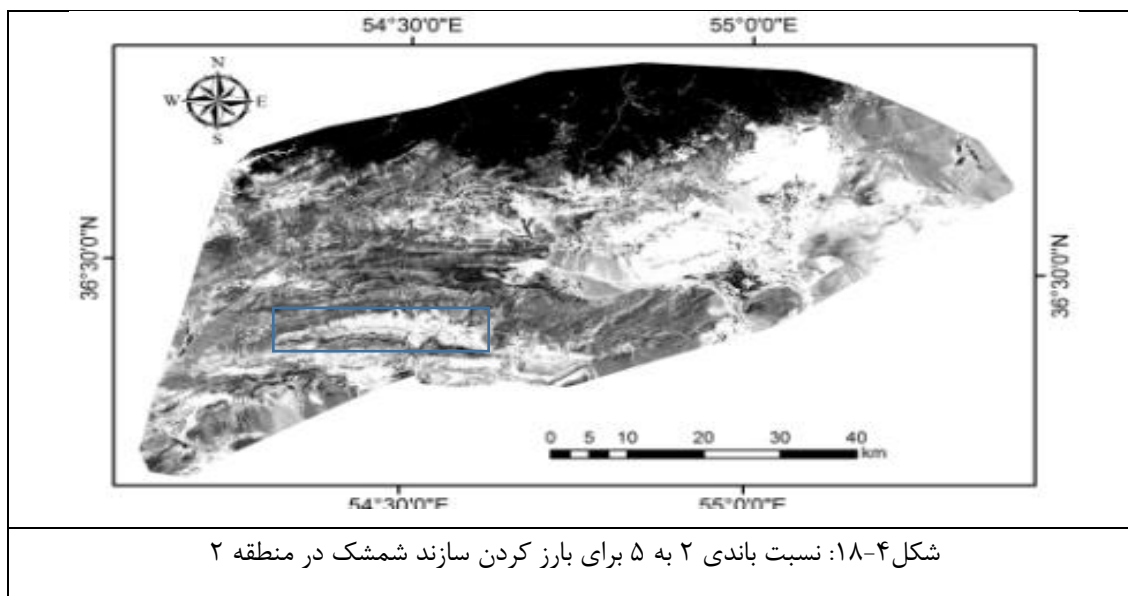


۴-۲-۱ بارز کردن سازند شمشک با نسبت باندی ۲ به ۵ در منطقه

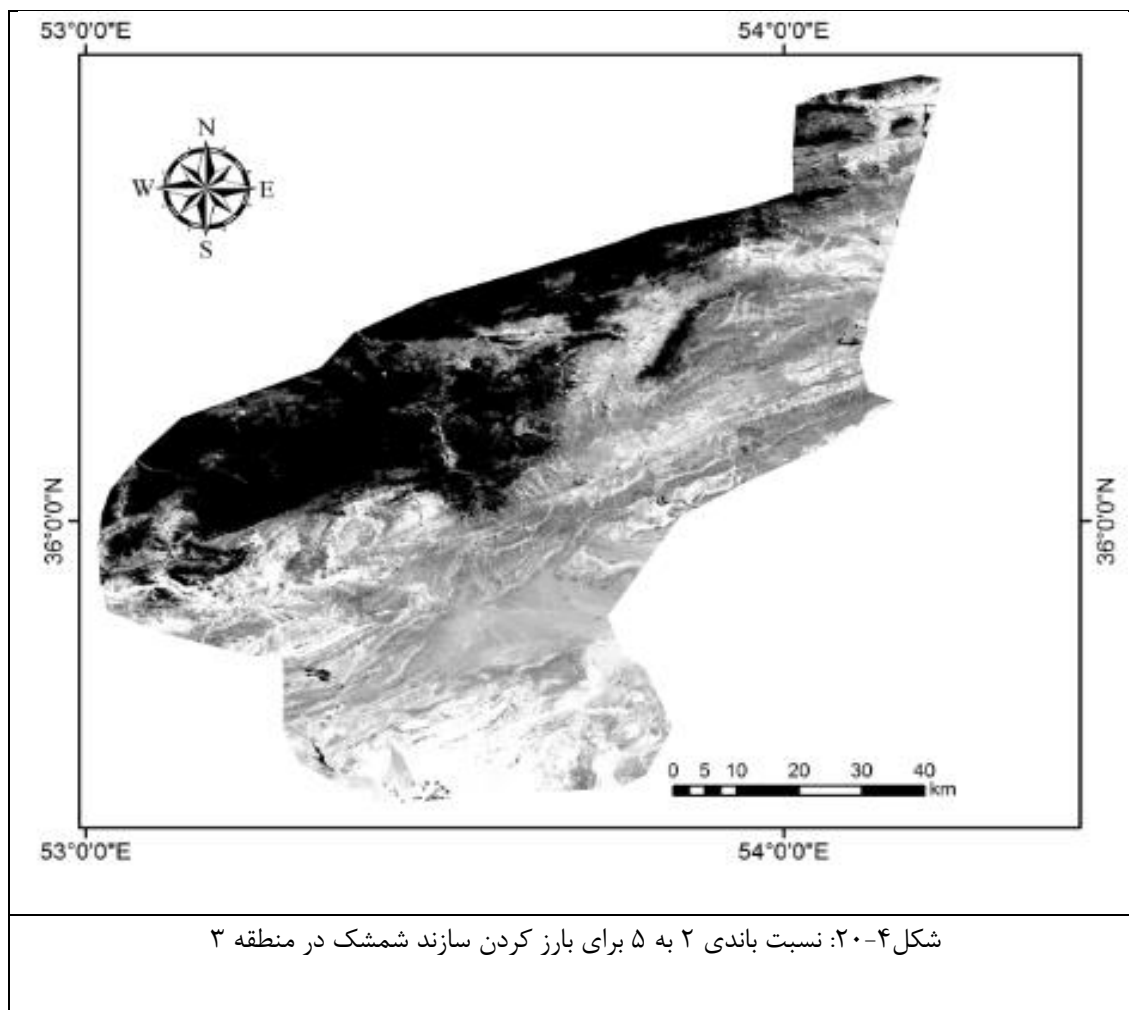
با توجه به واحدهای ساختاری سازند شمشک که شامل شیل و ماسه سنگ و کنگلومرا می شود از نسبت باندی ۲ به ۵ استفاده شده که این واحدها را به خوبی متمایز کرده است. شکل (۴-۱۶)، تصویر حاصل از انجام این نسبت باندی در محدوده مورد مطالعه در منطقه ۱ است که سازند شمشک موجود در کمربالای معدن بوکسیت جاجرم را به خوبی روشن کرده است (شکل ۴-۱۷).



در تصویر ماهواره‌ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه نیز از نسبت باندی ۲ به ۵ برای بارزسازی واحدهای سنگی سازند شمشک موجود در منطقه استفاده شد که شکل (۴-۱۸)، تصویر حاصل از این نسبت باندی در این منطقه را نشان می‌دهد. شکل (۴-۱۹)، نیز تصویر برشی از سازند شمشک موجود در منطقه است که با مستطیل آبی رنگ در شکل مشخص شده و به رنگ روشن درآمده است.

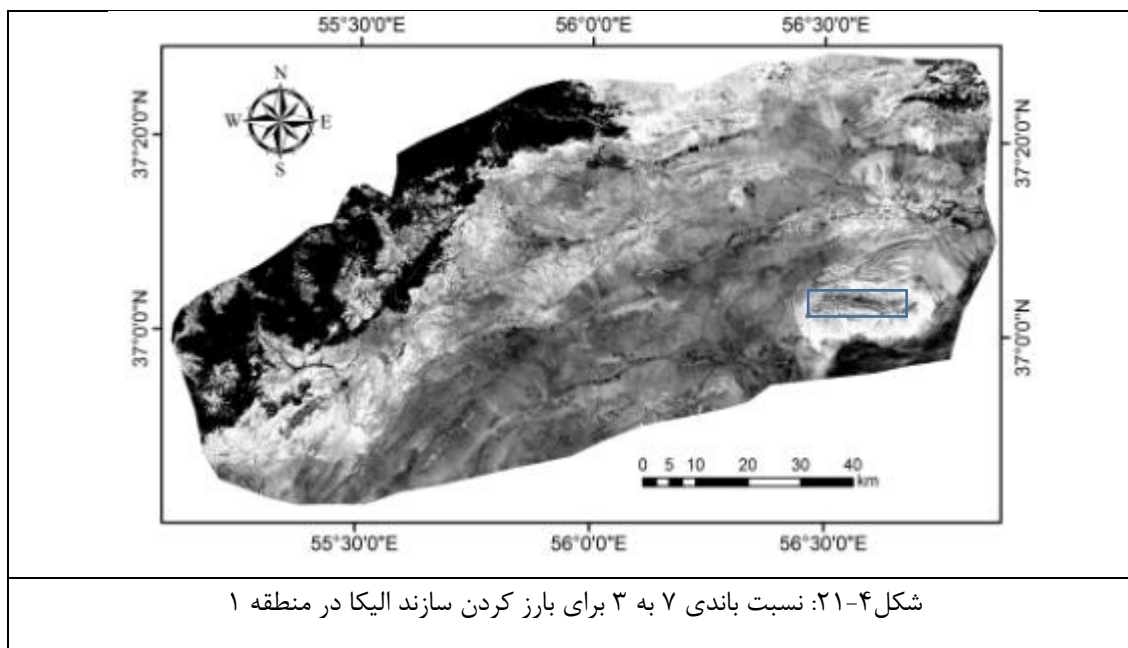


تصویر حاصل از نسبت باندی دو به پنج در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه نیز در شکل (۴-۲۰) نمایش داده شده است که واحدهای سنگی مربوط به سازند شمشک مانند ماسه سنگ و کنگلومرا و شیل را تا حد قابل قبولی روشن کرده است.

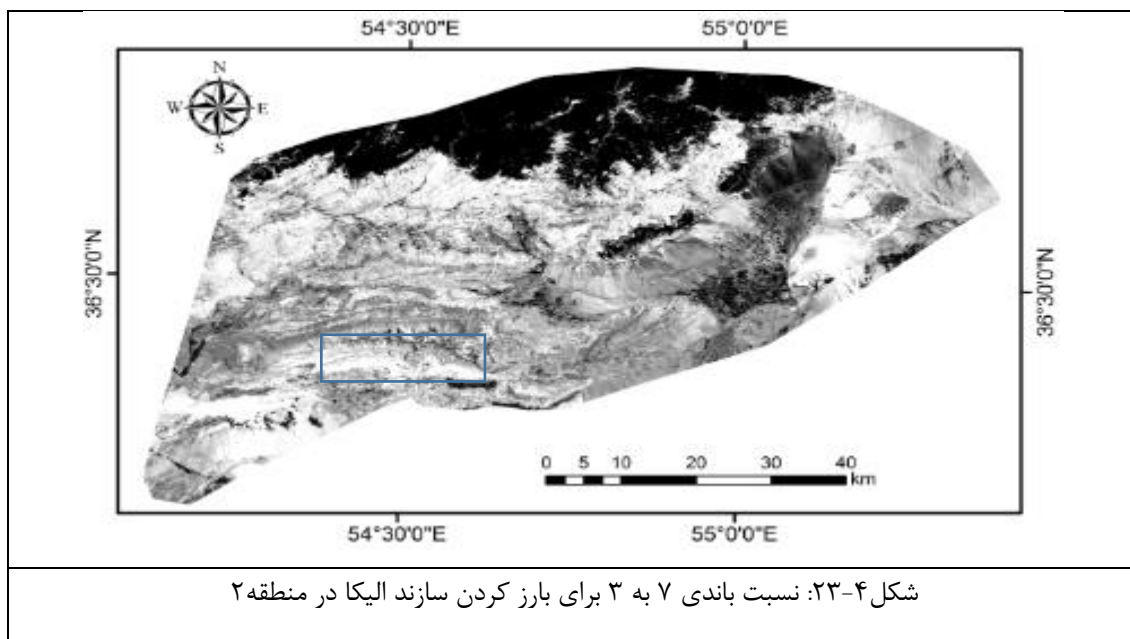


۴-۲-۴-۲ بارز کردن سازند دولومیتی و آهکی الیکا

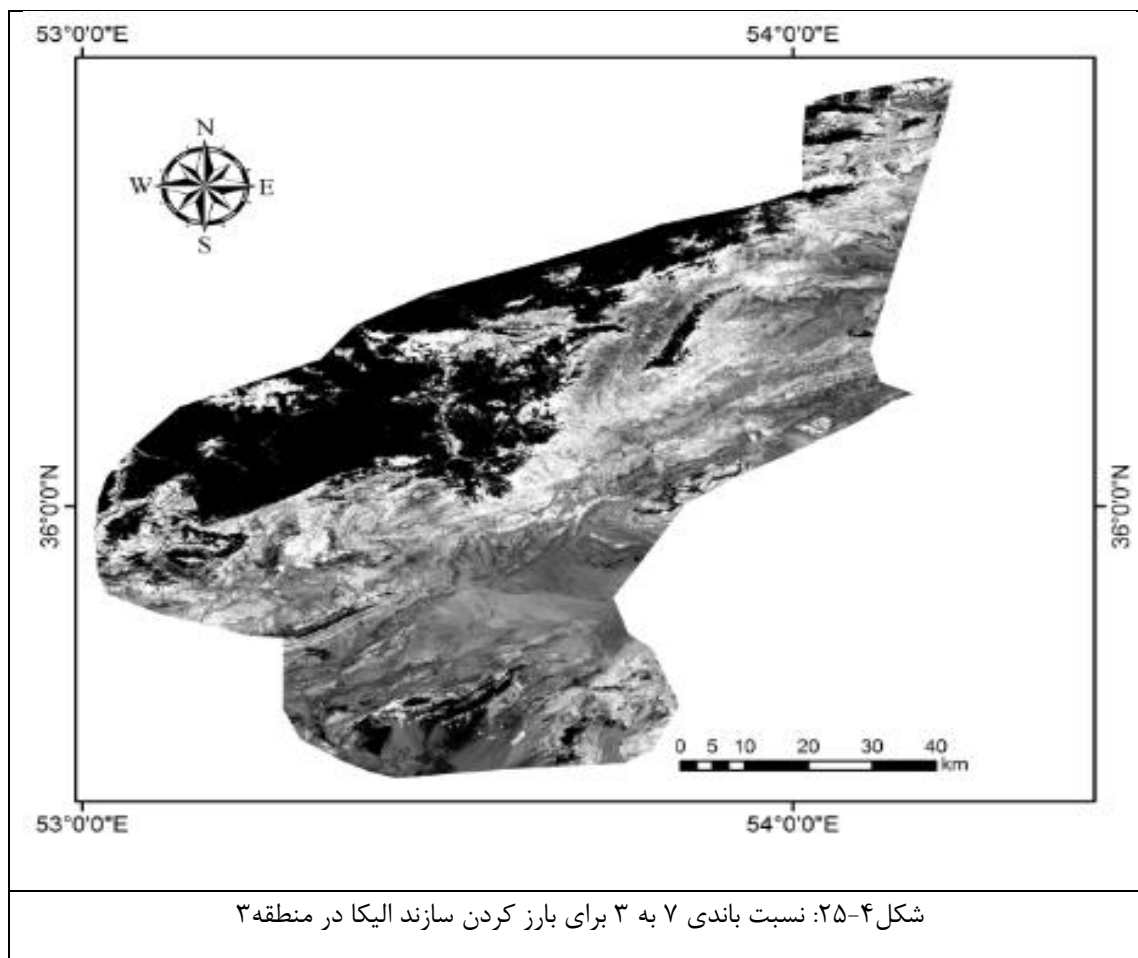
با توجه به قرار گیری این سازند در کمربند معدن بوکسیت در منطقه، برای بارزسازی آن از نسبت باندی ۷ به ۳ استفاده شد. این نسبت باندی برای شناسایی دولومیت و سنگ آهک ها در منطقه مفید است و سازند الیکا رو نیز به خوبی بارز کرده است. شکل (۴-۲۱)، تصویر حاصل از این نسبت باندی در منطقه یک از محدوده مورد مطالعه می باشد که دولومیت ها و سنگ های آهکی را به خوبی روشن کرده است. شکل (۴-۲۲)، برشی از محدوده معدن بوکسیت جاجرم در منطقه مورد مطالعه با مستطیل آبی رنگ است که دولومیت ها و آهک های دولومیتی واقع در کمربند معدن بوکسیت را به رنگ سفید بارز کرده است.



تصویر حاصل از نسبت باندی ۷ به ۳ برای بارزسازی لایه کربناته در منطقه ۲ نیز در شکل (۴-۲۳)، نمایش داده شده است. مستطیل آبی رنگ، برشی از توالی دو سازند شمشک و الیکا با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه می باشد که در شکل (۴-۲۴) نشان داده شده است. مطابق شکل سازند الیکا در این نسبت باندی به رنگ سفید درآمده است.



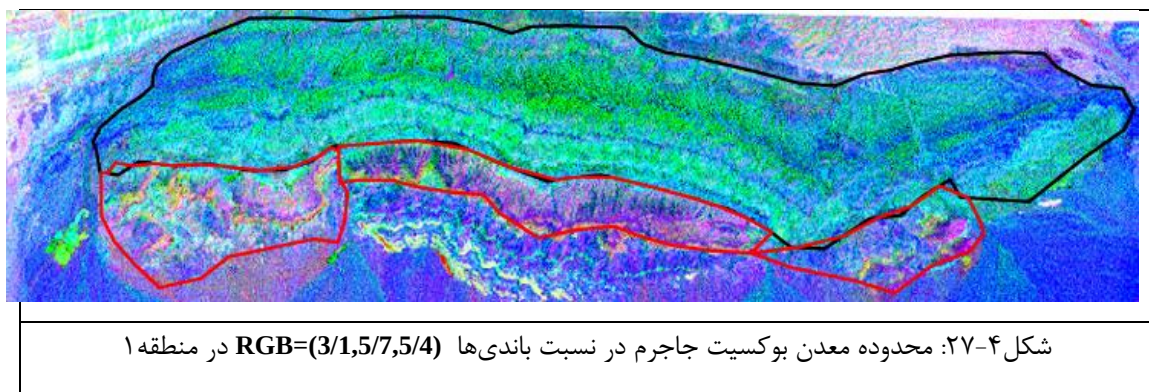
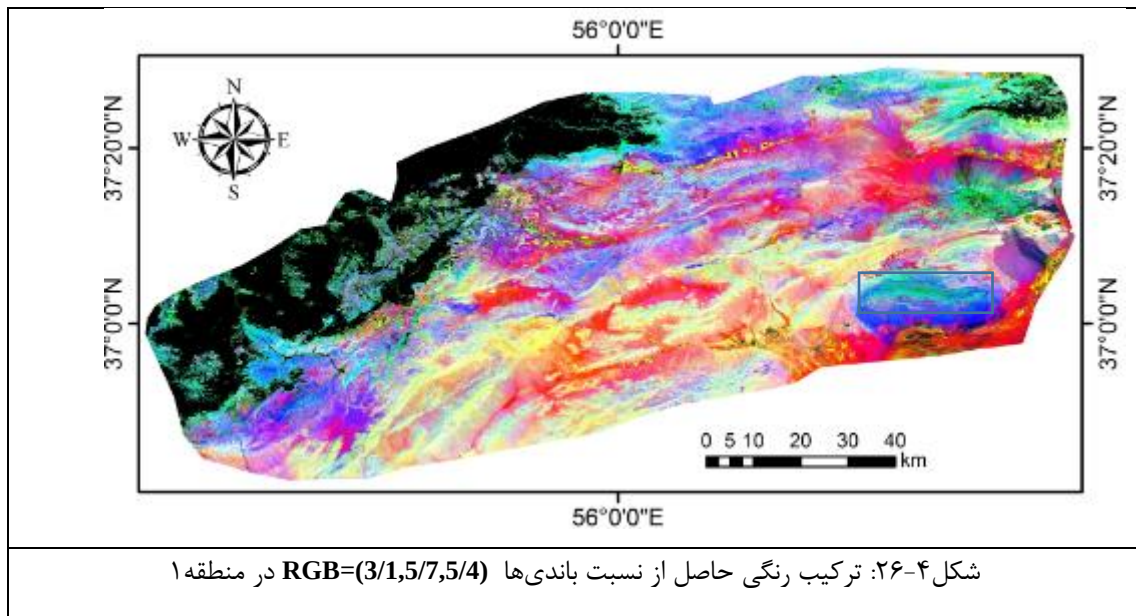
از نسبت باندی ۷ به ۳ برای شناسایی سازند الیکا در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه استفاده شد که تصویر حاصل از این نسبت باندی در شکل (۴-۲۵) آورده شده است.



۴-۳-۴ ایجاد تصاویر نسبتی

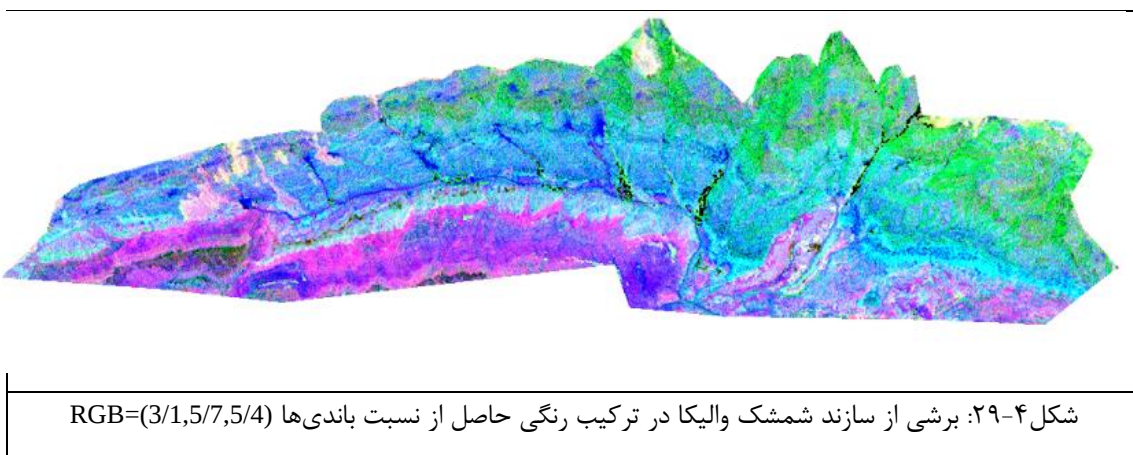
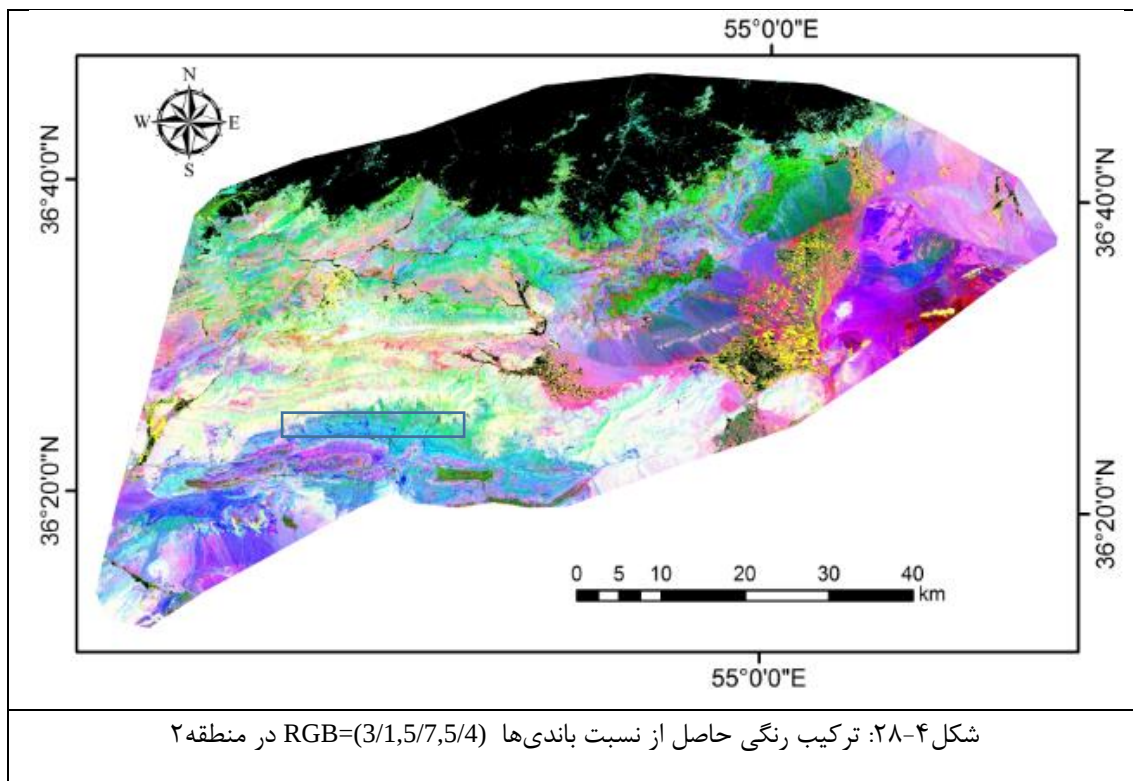
در روش نسبت گیری باندی، تصویر نسبتی ۳ به ۱، مناطق آغشته به دگرسانی اکسید آهن را به خوبی با رنگ سفید نشان داده است. همچنین نسبت باندی ۵ به ۷ نیز دگرسانی رسی را نیز نشان داده است. نسبت ۴ به ۵ نیز برای دگرسانی رسی و اکسید آهن تقریباً میزان یکسانی دارد. از قرار دادن تصویر نسبتی حاصل از تقسیم باند ۳ به ۱ در فیلتر قرمز، نسبت باندی ۵ به ۷ در فیلتر سبز و نسبت باندی ۵ به ۴ در فیلتر آبی می توان این پدیده ها را به خوبی با رنگ های متمایز از یکدیگر بارز کرد. مناطق حاوی اکسید آهن به رنگ قرمز و مناطق حاوی کانی رسی به رنگ سبز نشان داده شده اند. همچنین نقاط مشترک شامل هر دو دگرسانی به رنگ زرد و زرد مایل به سفید نمایان شده اند. محدوده های سنگی سازند الیکا و شمشک نیز با رنگ های خاصی متمایز شده اند. شکل (۴-۲۶)، تصویر حاصل از

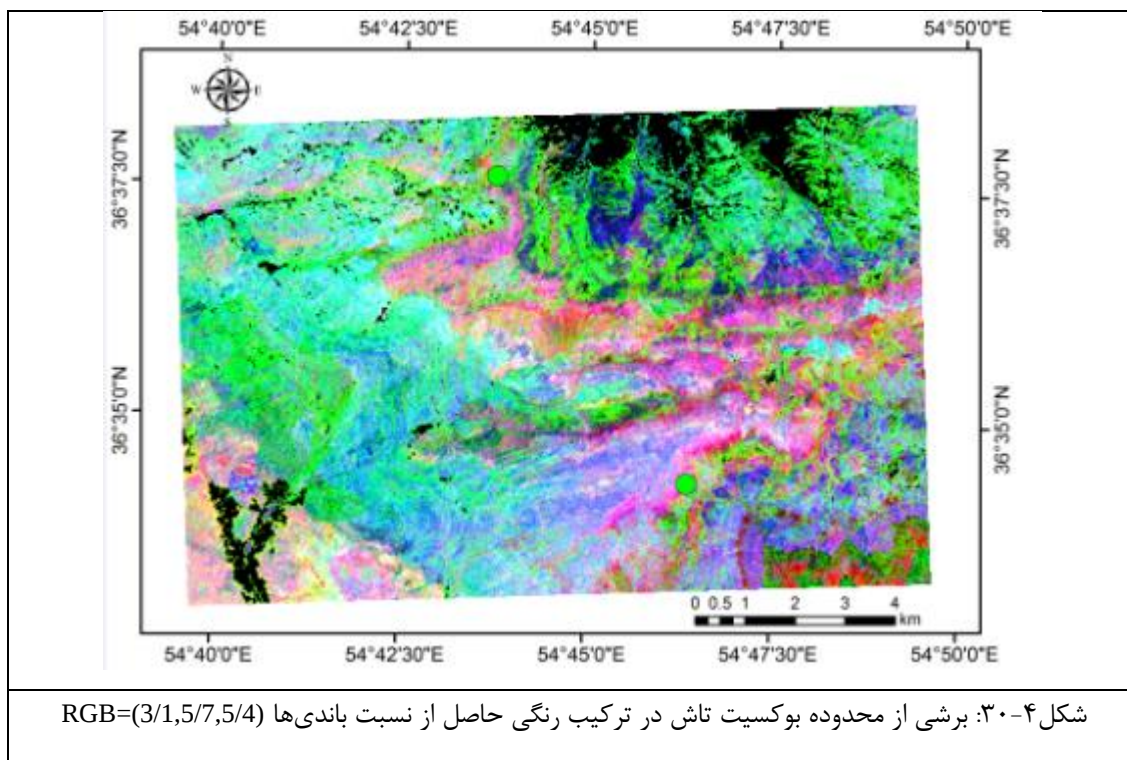
نسبت بانندی مذکور در منطقه یک از محدوده مورد مطالعه می‌باشد. شکل (۴-۲۷)، برشی از تصویر ترکیب رنگی ایجاد شده از محدوده معدن بوکسیت جاجرم می‌باشد.



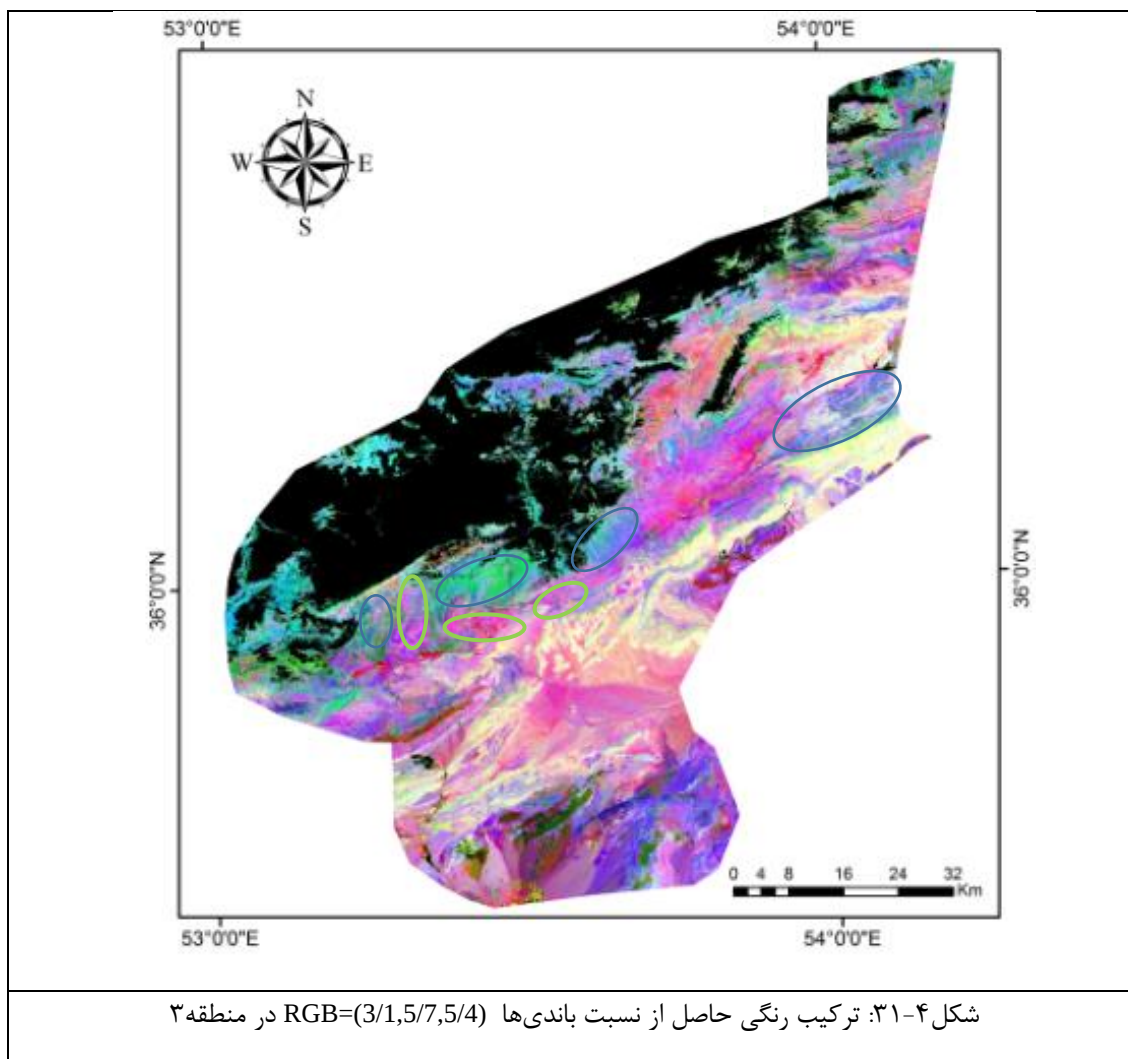
از ترکیب رنگی حاصل از نسبت‌های بانندی در تصویر ماهواره ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه نیز استفاده شده است که شکل (۴-۲۸)، تصویر حاصل از ترکیب رنگی ایجاد شده می‌باشد. در تصویر حاصل، دگرسانی مربوط به اکسید آهن با رنگ صورتی تا قرمز و دگرسانی کانی رسی با رنگ سبز متمایز شده اند. مناطق مشترک از هر دو دگرسانی نیز با رنگ زرد متمایز شده اند. در تصویر حاصل سازند شمشک و سازند الیکا نیز با رنگ های خاصی از سایر واحدهای سنگی متمایز شده اند که شکل (۴-۲۹) را مشاهده کنید.

۲۹)، برشی از توالی دو سازند در محدوده ۲ از منطقه مورد مطالعه می‌باشد. شکل (۴-۳۰) نیز برشی از محدوده بوکسیت تاش در منطقه را نشان می‌دهد که دو نقطه سبز رنگ محل دو لایه بوکسیتی را مطابق نقشه زمین شناسی منطقه نشان می‌دهد.



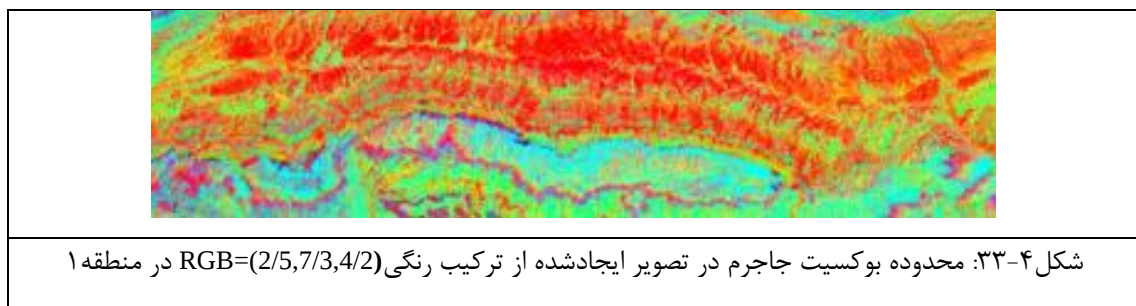
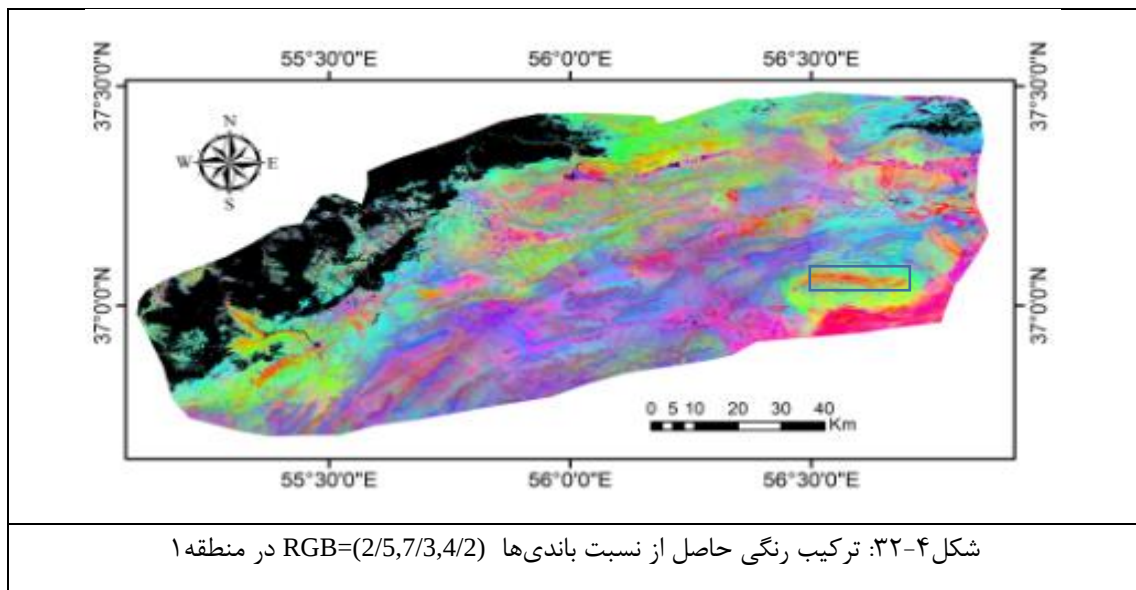


از ترکیب رنگی ساخته شده از نسبت‌های باندهای ۳ تصویر منطقه ۳ نیز استفاده شد که مطابق تصاویر مناطق ۱ و ۲، دگرسانی مربوط به اکسید آهن در منطقه به رنگ صورتی و صورتی تمایل به قرمز متمایز شده است. همچنین دگرسانی آرژیلیک به رنگ سبز و نقاط حاوی هر دو دگرسانی به رنگ زرد، مشخص شده است. واحدهای سنگی مربوط به سازند شمشک و الیکا نیز مطابق تصاویر ایجاد شده در مناطق ۱ و ۲ به رنگ‌های خاصی متمایز شده‌اند، که واحدهای شمشکی با بیضی‌های آبی رنگ و واحدهای دولومیت و آهکی با بیضی‌های سبز در تصویر مشخص شدند (شکل ۴-۳۱).

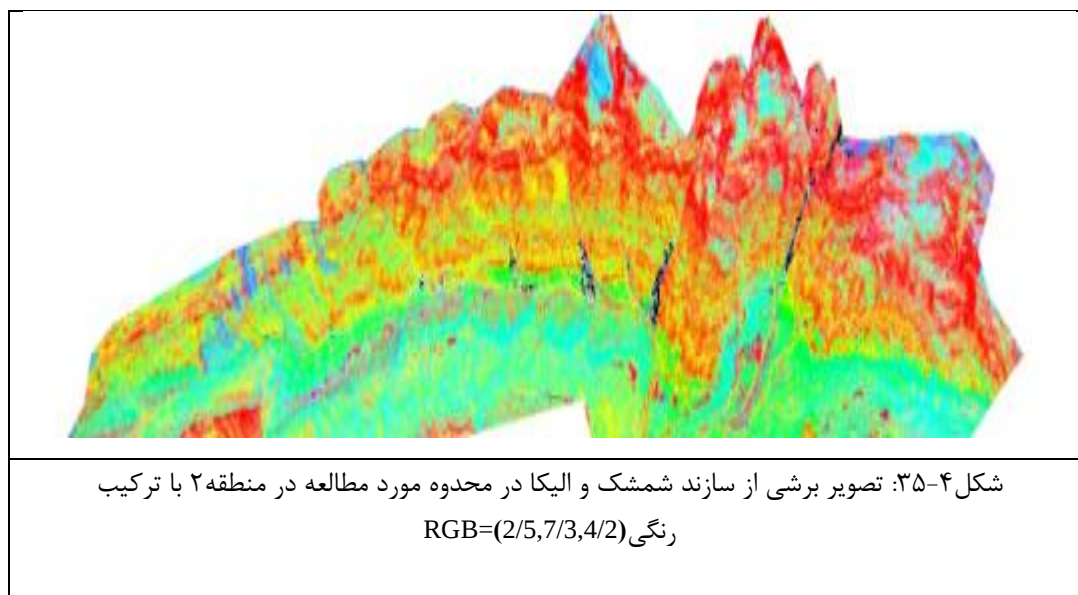
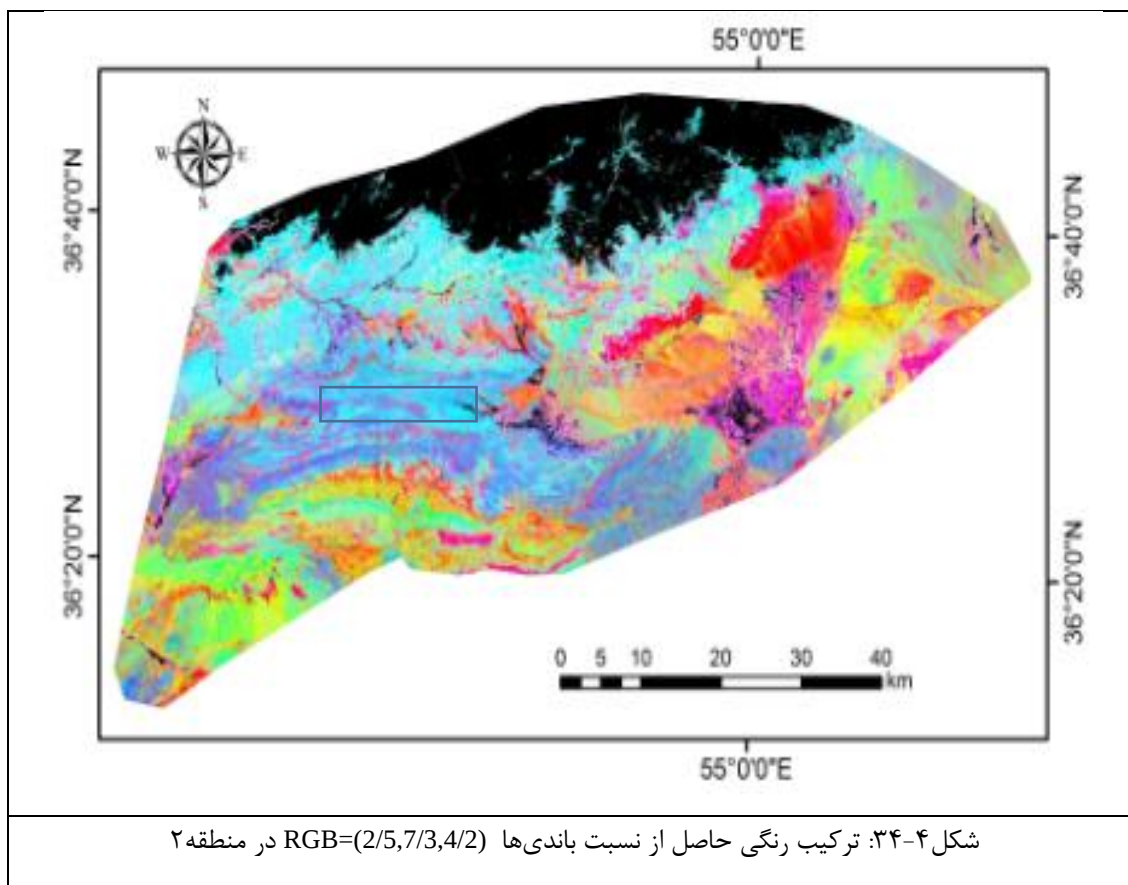


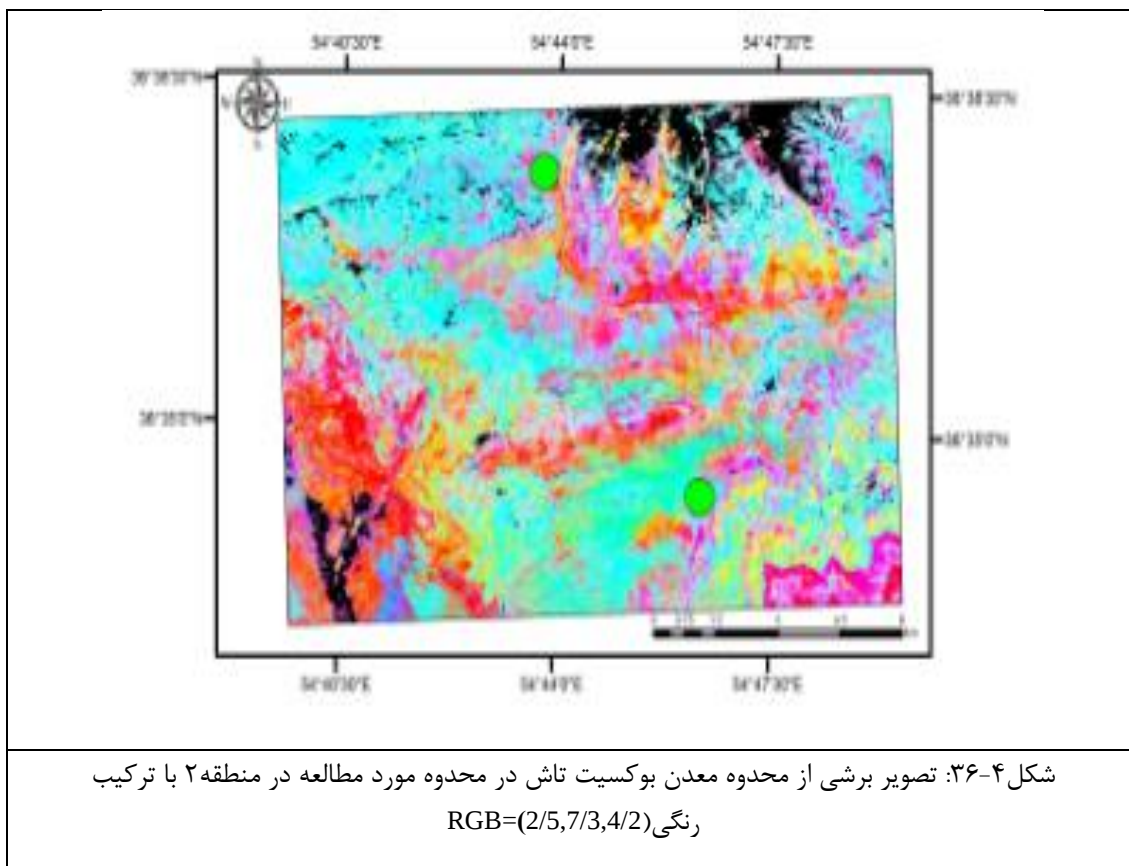
با توجه به این که نسبت باندهای ۲ به ۵ برای شناسایی سازند شیل و ماسه سنگی شمشک و نسبت ۷ به ۳ برای شناسایی دولومیت‌های منطقه مفید بوده است برای تفکیک مناسب‌تر و نتایج بهتر از ترکیب رنگی حاصل از باندهای نسبتی $2/5, 7/3, 4/2$ به ترتیب در فیلترهای آبی، سبز و قرمز استفاده شده است. شکل (۴-۳)، تصویر حاصل از ترکیب کاذب ایجاد شده از نسبت های باندهای مذکور است که در واحدهای سنگی سازند شمشک و سازند دولومیتی-آهکی در محدوده بوکسیت جاجرم در شکل (۴-۴)

(۳۳)، نشان داده شده است.



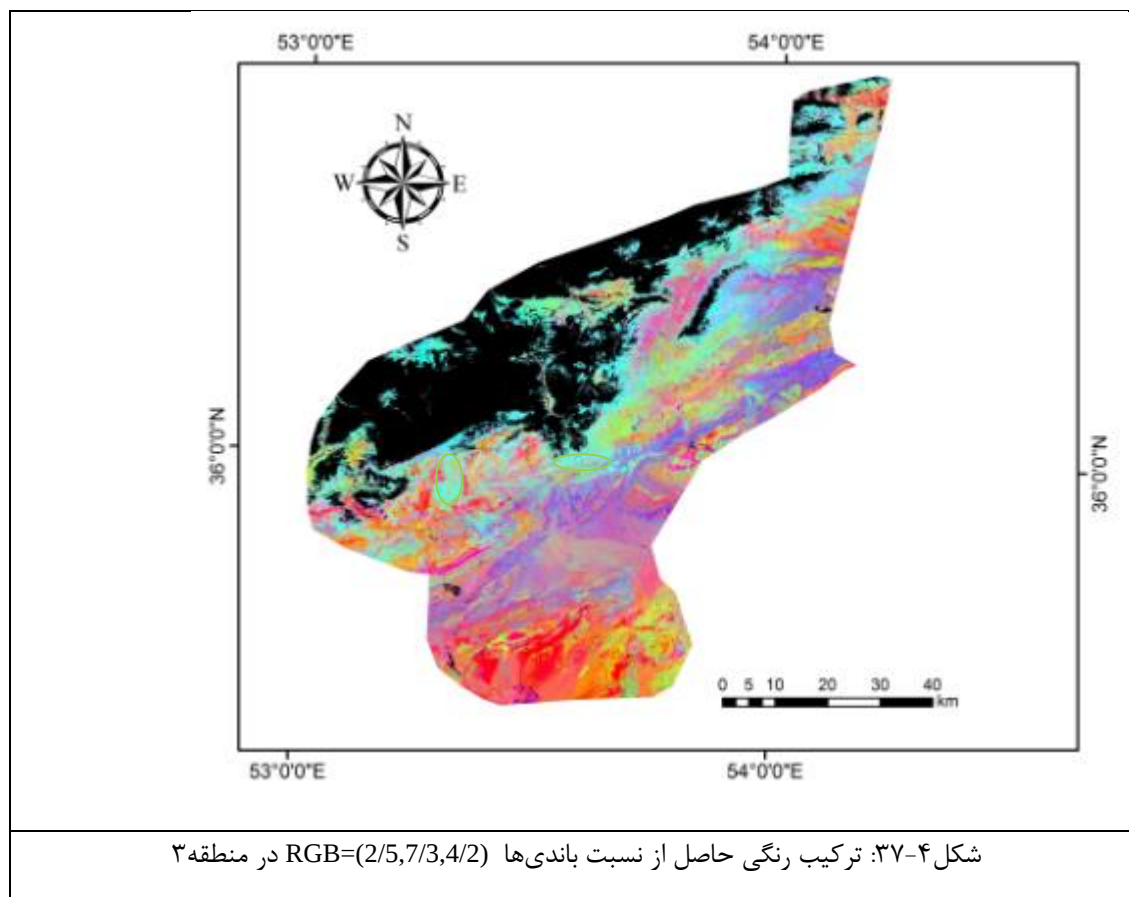
مطابق تصویر (۴-۳۲)، واحدهای سنگی مربوط به سازند شمشک به رنگ زرد تا قرمز و واحدهای سنگی مربوط به سازند الیکا به رنگ آبی فیروزه ای متمایز شده اند. از ترکیب رنگی فوق در تصویر ماهواره‌ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه نیز استفاده شد که شکل (۴-۳۴)، تصویر حاصل از این ترکیب رنگی در منطقه می‌باشد. برشی از توالی سازند شمشک والیکا در منطقه مورد مطالعه در شکل (۴-۳۵) نشان داده شده است. شکل (۴-۳۶) نیز محدوده معدن بوکسیت تاش را نشان می‌دهد.



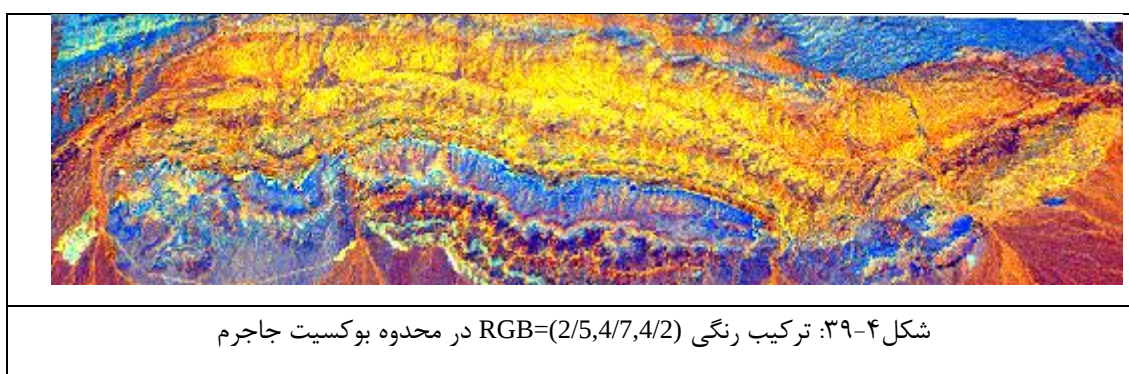
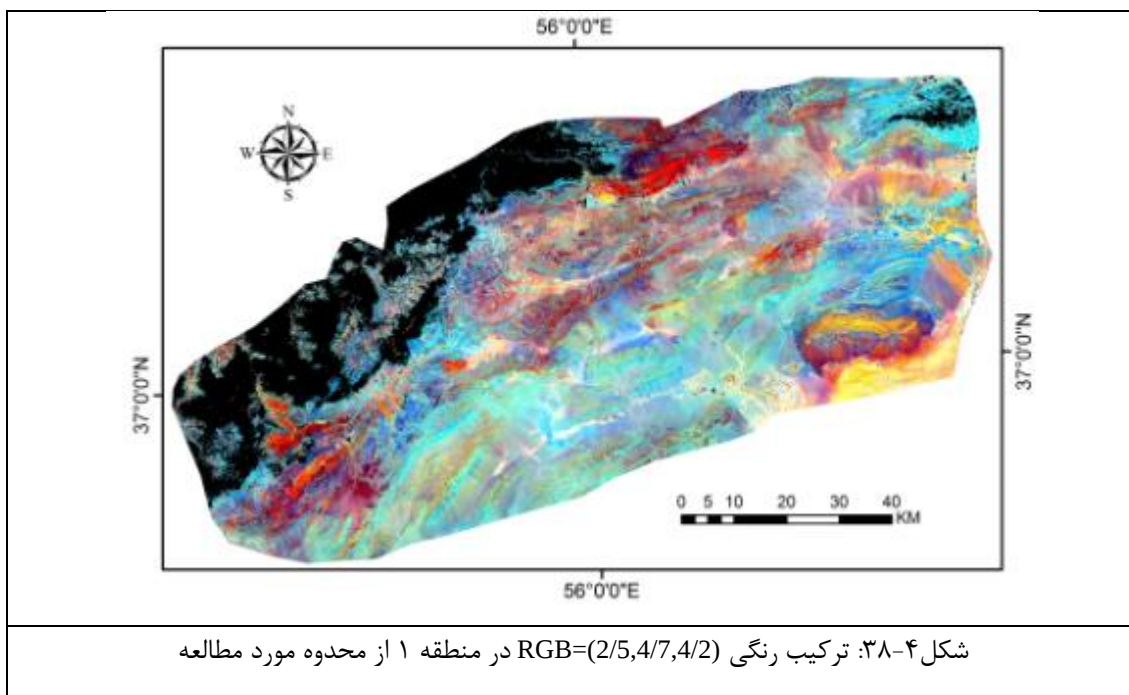


ترکیب رنگی حاصل از نسبت بانندی های فوق در منطقه ۳ مورد مطالعه استفاده شد که شکل (۴-۳۷) تصویر حاصل از این نسبت بانندی در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه می باشد. مطابق نتایج حاصل از مناطق ۱ و ۲ رنگ واحدهای سنگی سازند شمشک به صورت مخلوطی از زرد تا قرمز و واحدهای

دولومیتی-آهکی به رنگ آبی فیروزه‌ای نمایش داده شده اند.

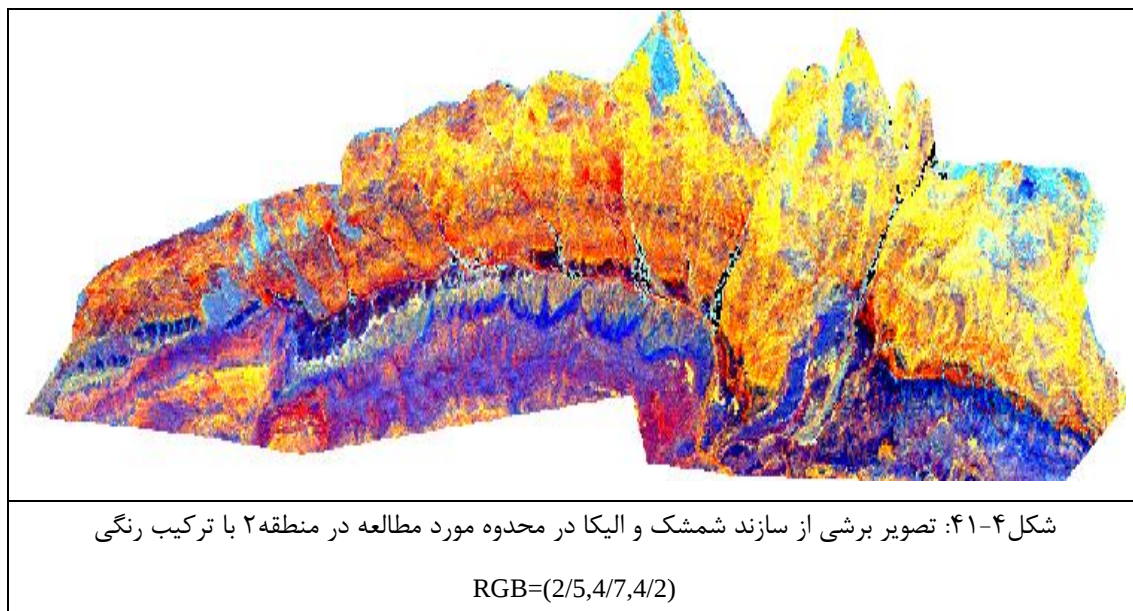
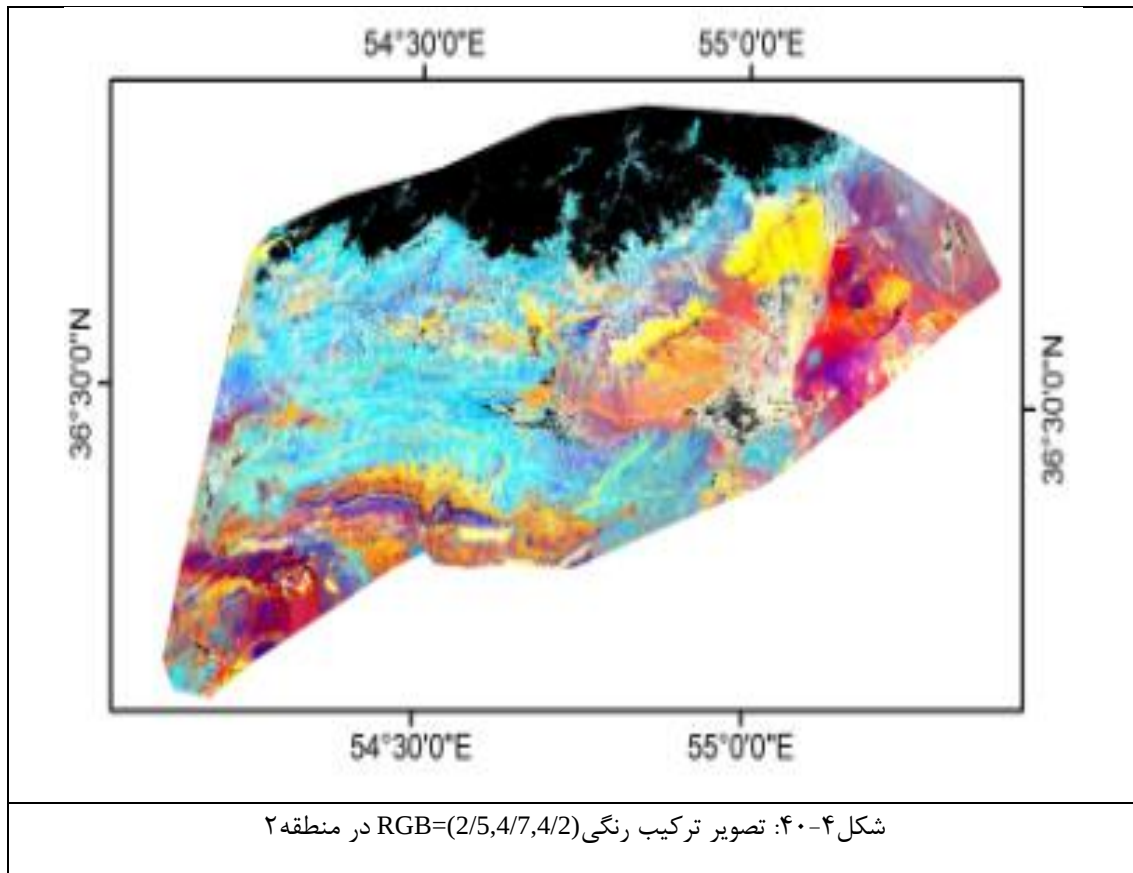


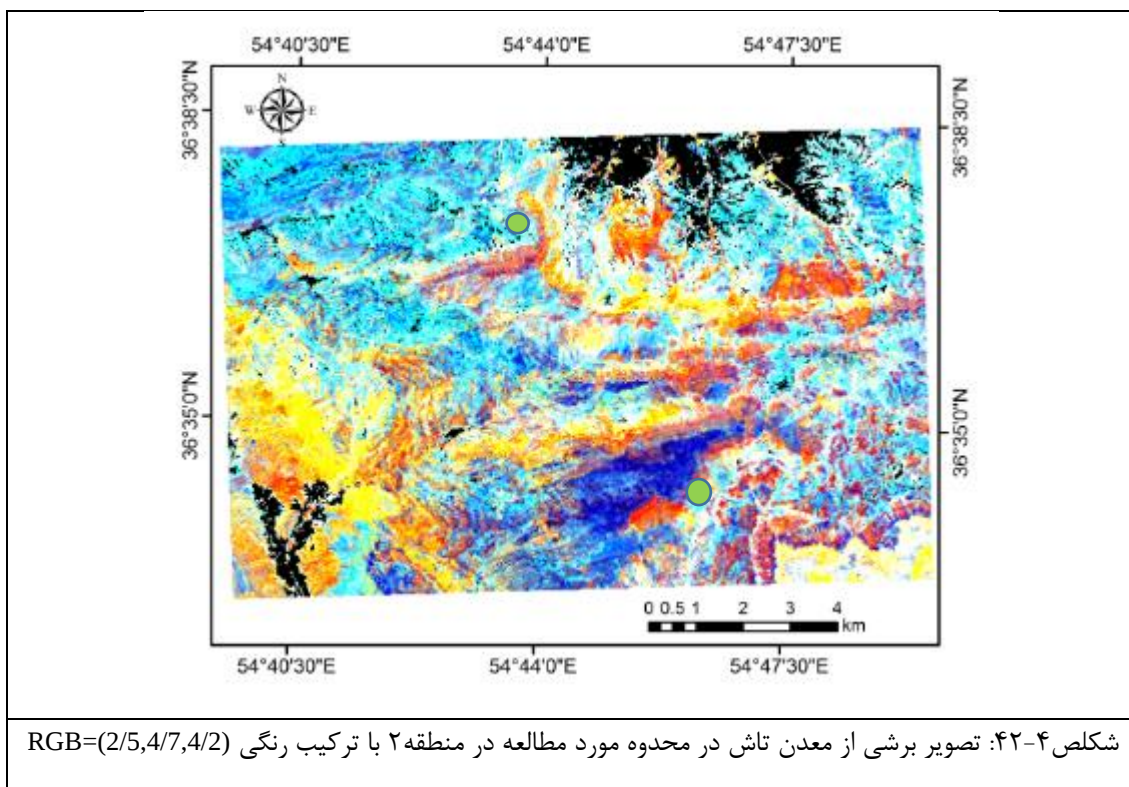
برای کسب نتایج بهتر و تفکیک بهتر واحدهای مربوط به سازند شمشک والیکا از تصویر نسبتی ساخته شده با نسبت‌های باندی $RGB=(2/5, 4/7, 4/2)$ نیز استفاده شد. که در ترکیب رنگی فوق سازند شمشک به رنگ زرد و سازند الیکا به رنگ آبی متمایز شده اند. شکل (۴-۳۸)، تصویر حاصل از این نسبت باندی در منطقه ۱ و شکل (۴-۳۹)، تصویر حاصل از سازند شمشک و سازند الیکا در محدوده معدن بوکسیت جاجرم می‌باشد.



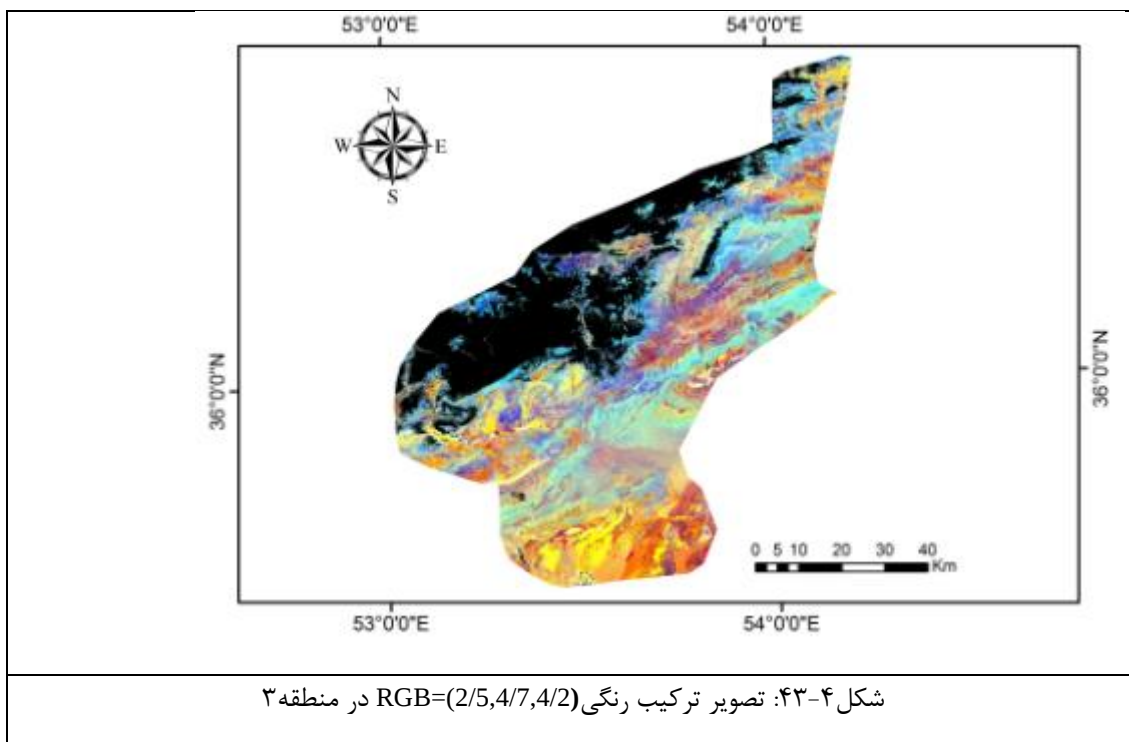
از ترکیب رنگی $RGB=(2/5,4/7,4/2)$ در تصویر ماهواره‌ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه استفاده گردید که شکل (۴-۴۰)، تصویر ترکیب رنگی ایجاد شده می‌باشد. مطابق شکل واحدهای سنگی سازند شمشک موجود در منطقه به رنگ زرد متمایز شده اند و واحدهای دولومیتی سازند الیکا با رنگ آبی پررنگ مشخص شده اند که شکل (۴-۴۱)، برشی از توالی این دو سازند در منطقه را نشان می‌دهد و

شکل (۴-۴۲)، محدوده‌ی معدن بوکسیت تاش را نشان می‌دهد.





از ترکیب باندی مذکور در منطقه ۳ مورد مطالعه نیز استفاده گردید که شکل (۴-۴۳)، تصویر حاصل از این ترکیب رنگی می باشد.



۴-۴-۴ روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی

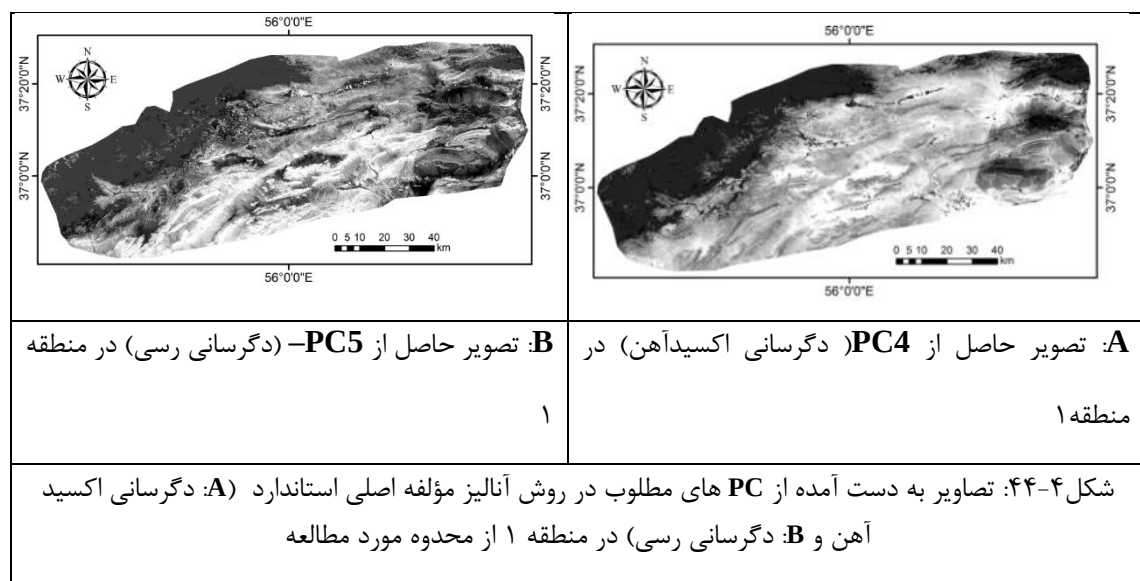
روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، برای کاهش داده‌های زائد و اضافی به کار می‌رود. با استفاده از این روش اطلاعات چندین باند به صورت خلاصه و دقیق به تعداد اجزای کمتری تبدیل می‌شود که از وقت و هزینه آنالیز تصاویر می‌کاهد. اطلاعات آماری حاصل از روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، در انتخاب روش شناسایی مطلوب، مفید است. از مقادیر بردارهای ویژه^۱، برای تعیین مؤلفه اصلی مطلوب برای هدف مورد نظر استفاده شده است. از روش‌های آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد روی ۶ باند، روش کروسا روی ۴ باند و روش PCA انتخابی روی ۲ یا سه باند برای استخراج اطلاعات استفاده گردیده است (Karimpour et al, 2008). نتایج به دست آمده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی محاسبه شده (مقادیر ویژه بردارها) بر روی ۶ باند (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷)، سنجنده ETM+ در تصاویر ماهواره‌ای با شماره‌ی ردیف ۳۴ (منطقه ۱)، در جدول (۴-۴)، آمده است :

جدول ۴-۴: تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده ETM در منطقه ۱

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band3	Band4	Band5	Band7
PC1	- 0.408005	- 0.408568	- 0.408422	- 0.407976	- 0.408211	- 0.408308
PC2	0.703090	0.258235	- 0.103491	- 0.608651	0.240270	- 0.009078
PC3	- 0.096210	- 0.286769	- 0.322938	- 0.416401	0.583832	0.538487
PC4	- 0.430575	0.159572	0.612466	- 0.419265	- 0.304601	0.381396
PC5	0.070291	- 0.072944	- 0.382723	0.334304	- 0.578520	0.629934
PC7	- 0.373637	0.808311	- 0.443396	- 0.046557	0.085481	- 0.030887

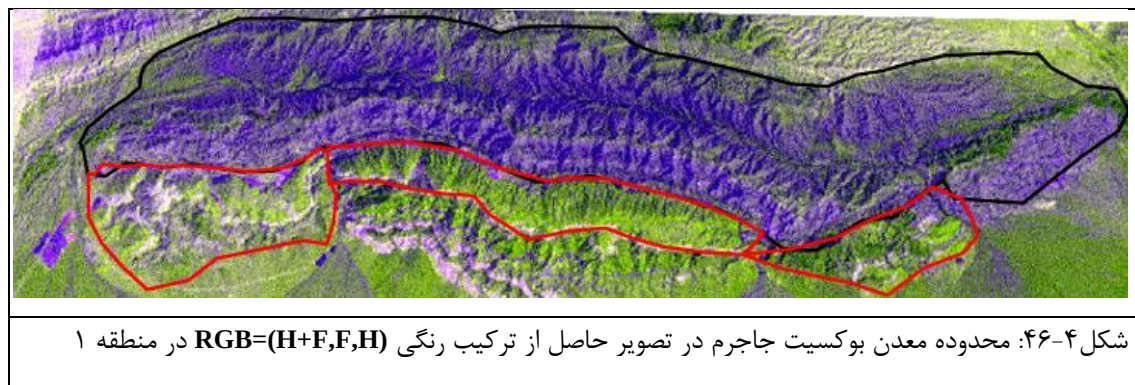
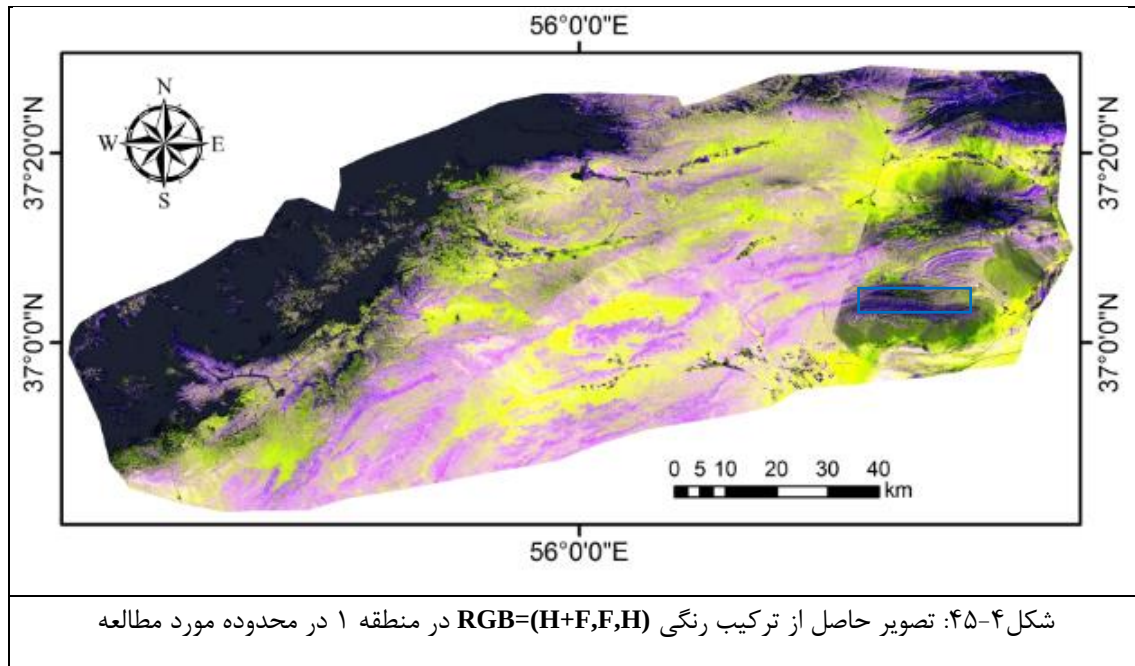
^۱ Eigenvectors

با توجه به اطلاعات مربوط به PCها، باید به دنبال بیشترین اختلاف بین باندهای حداکثر انعکاس و حداکثر جذب هدف مورد نظر بود. همانطور که در جدول (۴-۴)، قابل مشاهده است، بیشترین اختلاف بین دو باند ۳ و ۱ برای نمایش کانی‌های اکسید آهن در PC4 وجود دارد. در تصویر حاصل از نسبت باندی ۳ به ۱، مناطق هدف با رنگ سفید نمایش داده می‌شوند. همچنین اطلاعات طیفی کانی‌های هیدروکسیل در تصاویر سنجنده‌ی ETM+، به صورت عمده در دو باند ۵ و ۷ متمرکز شده‌اند. و همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین اختلاف بین دو باند در PC5، متمرکز شده است. به دلیل منفی بودن باند انعکاس و مثبت بودن باند جذب (باتوجه به ضرایب بردارهای ویژه)، مناطق تیره رنگ نشان‌دهنده‌ی هدف مورد نظر می‌باشند که با معکوس کردن PC حاصل مناطق هدف، مناطق سفید رنگ می‌باشند (شکل ۴-۴۴).



ترکیب رنگی حاصل از تصویر هیدروکسیل (H)، تصویر اکسیدهای آهن (F) و تصویر حاصل جمع هیدروکسیل و اکسید آهن (H+F) توسط محققین زیادی استفاده شده است. با اختصاص PC، حاصل از جمع $(H+F) = (-PC3 + (-PC5))$ ، به رنگ قرمز، $F = (-PC3)$ به رنگ سبز و $H = (-PC5)$ به رنگ آبی تصویری حاصل می‌شود که در آن سازند شمشک به رنگ آبی متمایز شده است. واحدهای دولومیتی و آهکی در کمرباطین ماده معدنی به صورت سبزرنگ مشخص شده‌اند. همچنین دگرسانی‌های اکسید

آهن به رنگ زرد و زرد متمایل به سبز و دگرسانی رسی به رنگ بنفش قابل مشاهده است (۴-۴۵).



منطقه ۲

نتایج به دست آمده از تحلیل مولفه‌های اصلی محاسبه شده (مقادیر ویژه بردارها) بر روی ۶ باند (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷)، سنجنده $ETM+$ در تصویر با شماره‌ی گذر ۱۶۲ و ردیف ۳۵ (منطقه ۲)، در جدول (۴-۴)

(۵)، آمده است :

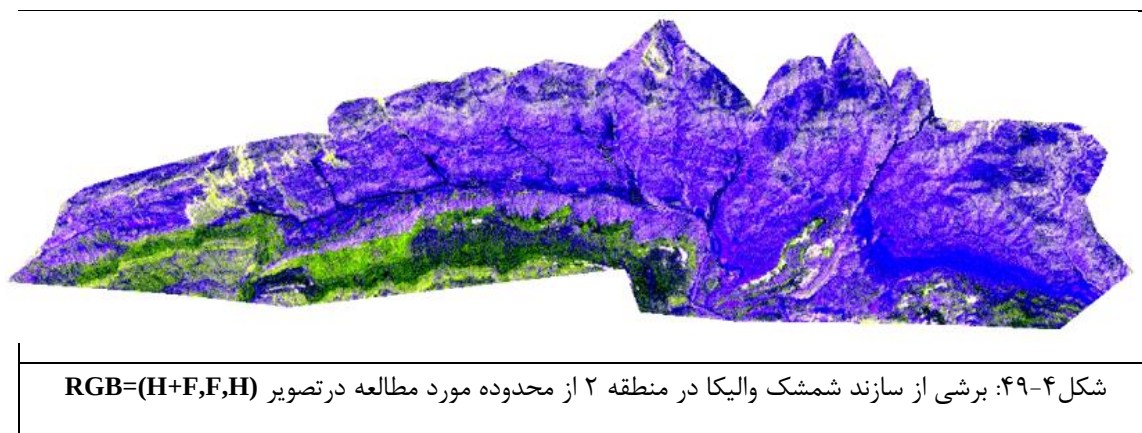
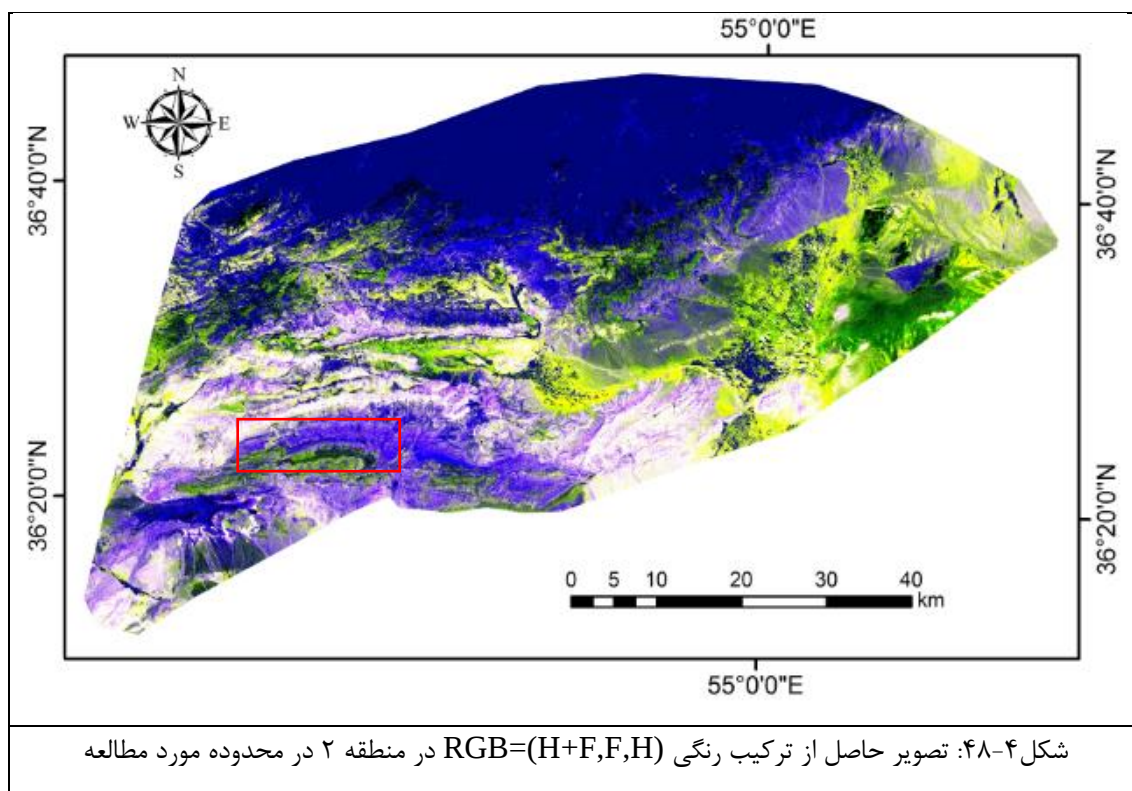
جدول ۴-۵: تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده ETM در منطقه ۲

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band3	Band4	Band5	Band7
PC1	- 0.407779	- 0.408698	- 0.408528	- 0.408076	- 0.408238	- 0.408171
PC2	- 0.663665	- 0.339432	- 0.057019	0.161246	0.524429	0.374243
PC3	0.142257	0.042008	- 0.000861	- 0.802443	0.042494	0.576434
PC4	0.460494	- 0.215582	- 0.798459	0.211114	0.160979	0.182895
PC5	- 0.110910	- 0.120874	0.043883	0.344775	- 0.726414	0.569751
PC7	0.385581	- 0.809260	0.436338	- 0.010934	0.054029	- 0.054733

با توجه به جدول (۴-۵)، بیشترین اختلاف بین دو باند ۳ و ۱ برای نمایش کانی‌های اکسید آهن در PC4 وجود دارد. در تصویر حاصل از نسبت باندی ۳ به ۱، مناطق هدف با رنگ تیره نمایش داده می‌شوند که با معکوس کردن PC حاصل مناطق هدف، مناطق سفید رنگ می‌باشند. همچنین بیشترین اختلاف بین باندهای جذب (باند ۷) و انعکاس (باند ۵)، کانی‌های رسی در PC5، متمرکز شده است. به دلیل منفی بودن باند انعکاس و مثبت بودن باند جذب (با توجه به ضرایب بردارهای ویژه)، مناطق تیره رنگ نشان‌دهنده‌ی هدف مورد نظر می‌باشند که با معکوس کردن PC حاصل مناطق هدف، مناطق سفید رنگ می‌باشند (شکل ۴-۴۷).

B: تصویر حاصل از PC5-، (دگرسانی رسی) در منطقه ۲	A: تصویر حاصل از PC4- (دگرسانی اکسید آهن) در منطقه ۲
شکل ۴-۴۷: تصاویر به دست آمده از PC های مطلوب در روش آنالیز مؤلفه اصلی استاندارد (A: دگرسانی اکسید آهن و B: دگرسانی رسی) در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه	

از قرار دادن تصاویر حاصل از هیدروکسیل (H)، اکسیدهای آهن (F) و تصویر حاصل جمع هیدروکسیل و اکسید آهن $H = (H + F)$ به ترتیب در فیلترهای آبی، سبز و قرمز، تصویر ترکیب رنگی حاصل می شود که در آن سازند شمشک به رنگ آبی متمایز شده است. همچنین دگرسانی های اکسید آهن به رنگ زرد و رسی به رنگ آبی و نقاط مشترک هر دو دگرسانی به رنگ سفید قابل مشاهده است (شکل ۴-۴۸). مستطیل قرمز رنگ نیز توالی دو سازند شمشک و الیکا را مطابق با نقشه زمین شناسی منطقه نشان می دهد که در شکل (۴-۴۹) نشان داده شده است.

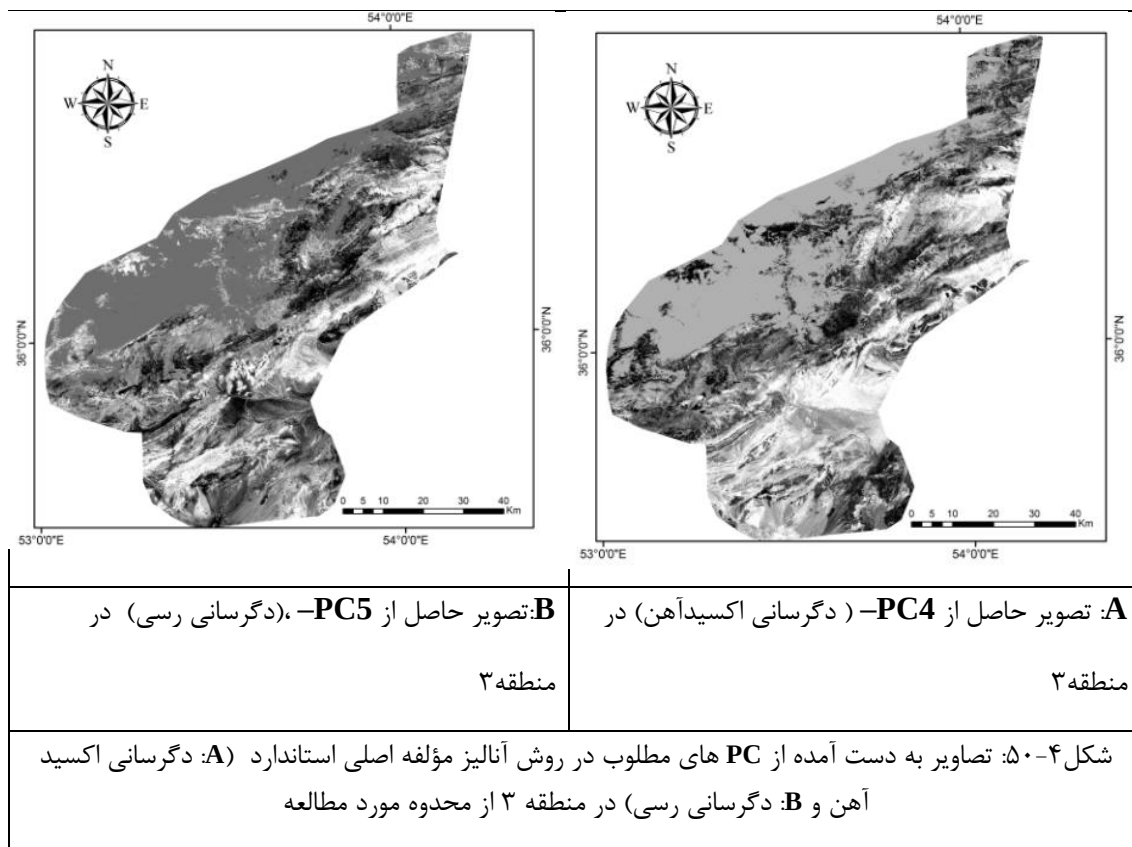


منطقه ۳: نتایج به دست آمده از تحلیل مولفه‌های اصلی محاسبه شده (مقادیر ویژه بردارها) بر روی ۶ باند (۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷)، سنجنده ETM+ در تصویر ماهواره‌ای با شماره‌ی گذر ۱۶۳ (منطقه ۳)، در جدول (۴-۶)، آورده شده است:

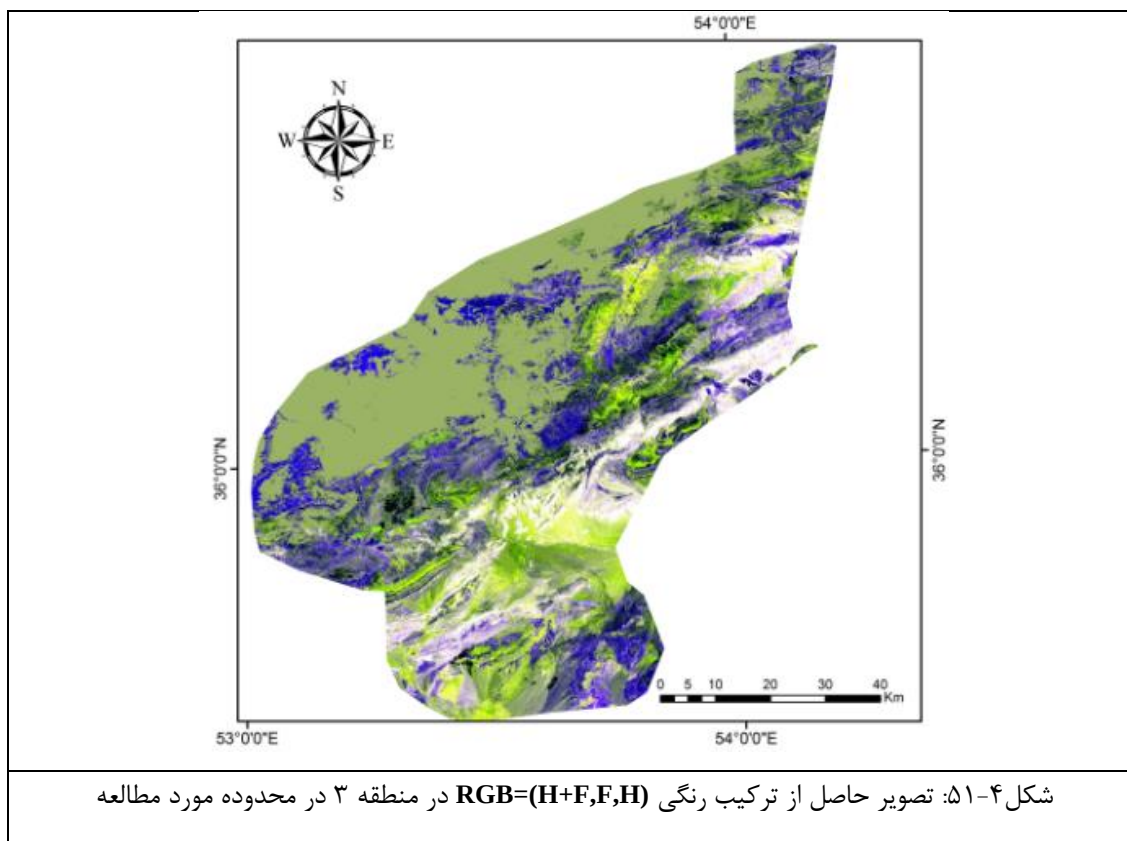
جدول ۴-۶: تحلیل مؤلفه اصلی بر روی ۶ باند سنجنده ETM در منطقه ۳

Eigenvector	Band 1	Band 2	Band3	Band4	Band5	Band7
PC1	0.407469	0.408721	0.408493	0.408359	0.408249	0.408198
PC2	0.636497	0.370219	0.096753	- 0.208877	- 0.498563	- 0.395289
PC3	0.442306	- 0.100835	- 0.566172	- 0.442511	0.169642	0.499052
PC4	0.289137	- 0.191874	- 0.539039	0.675293	0.113829	- 0.346475
PC5	- 0.018240	- 0.160044	- 0.004723	0.364881	- 0.732894	0.551143
PC7	0.386359	- 0.789486	0.461126	- 0.068111	0.076798	- 0.065301

همانطور که در جدول بالا قابل مشاهده است، بیشترین اختلاف بین دو باند ۳ و ۱ برای نمایش کانی‌های اکسید آهن در PC3 وجود دارد. در تصویر حاصل از PC3، باند ۳ دارای مقدار منفی هست. بنابراین در تصویر حاصل از نسبت باندی ۳ به ۱، مناطق هدف با رنگ سیاه نمایش داده می‌شوند. که با معکوس کردن تصویر، پیکسل‌های روشن، نمایانگر هدف می‌باشند. همچنین اطلاعات طیفی کانی‌های هیدروکسیل در تصاویر سنجنده‌ی ETM+، به صورت عمده در دو باند ۵ و ۷ متمرکز شده اند. و همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین اختلاف بین دو باند در PC5، متمرکز شده است. در تصویر حاصل از PC5، باند ۵ دارای مقدار منفی هست. بنابراین در تصویر حاصل از نسبت باندی ۵ به ۷، مناطق هدف با رنگ سیاه نمایش داده می‌شوند. که با معکوس کردن تصویر، پیکسل‌های روشن، نمایانگر هدف می‌باشند (شکل ۴-۵۰).



از تصاویر به دست آمده از آنالیز مؤلفه‌های اصلی می‌توان ترکیب رنگی‌های مختلفی ایجاد کرد. ترکیب رنگی حاصل از تصویر هیدروکسیل (H)، تصویر اکسیدهای آهن (F) و تصویر حاصل جمع هیدروکسیل و اکسید آهن (H+F) توسط محققین زیادی استفاده شده است. با اختصاص PC، حاصل از جمع- $(H+F)=PC3+(-PC5)$ ، به رنگ قرمز، $F=(-PC3)$ به رنگ سبز و $H=(-PC5)$ به رنگ آبی تصویری حاصل می‌شود که در آن سازند شمشک به رنگ آبی متمایز شده است. مناطق حاوی دگرسانی نیز به رنگ سفید مشخص شده اند (شکل ۴-۵۱).



۴-۵ تحلیل مؤلفه‌های اصلی انتخابی (روش کروستا)

در روش کروستا از دو گروه طیفی (۱,۳,۴,۵) و (۱,۴,۵,۷) به ترتیب برای استخراج برداری شاخص اکسید آهن (F) و کانی‌های رسی (H)، استفاده گردید. مقادیر بردار ویژه به دست آمده از مؤلفه‌های انتخابی برای دگرسانی اکسید آهن در جدول (۴-۷) و برای دگرسانی کانی‌های حاوی بنیان OH در جدول (۴-۸) ارائه شده است.

جدول ۴-۷: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی تصاویر با شماره ردیف ۳۴ (منطقه ۱)

Eigenvector	Band 1	Band3	Band4	Band5
PC1	-0.499706	-0.500271	-0.499975	-0.500048
PC2	-0.789392	0.124235	0.597415	0.067235
PC3	-0.174425	-0.440080	-0.234516	0.849063
PC4	0.311013	-0.735272	0.581483	-0.156600

جدول ۴-۸: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری دگرسانی رسی بر روی چهار باند انتخابی تصاویر با شماره ردیف ۳۴ (منطقه ۱)

Eigenvector	Band 1	Band4	Band5	Band7
PC1	-0.499711	-0.499717	-0.500305	-0.500266
PC2	-0.696157	0.697449	0.119617	-0.120926
PC3	-0.505128	-0.494817	0.474936	0.523868
PC4	-0.102473	0.137856	-0.714018	0.678729

طبق مقادیر محاسبه شده، مناسب ترین PC برای نمایش اکسیدهای آهن PC4 می‌باشد که با توجه به منفی بودن مقدار باند انعکاس از معکوس تصویر ایجاد شده برای نشان دادن هدف مورد نظر استفاده می‌شود. همچنین مطابق جدول (۴-۸)، مناسب ترین PC برای نمایش دگرسانی آرژیلیک PC4 می‌باشد که تصویر جاصل با توجه به منفی بودن باند انعکاسی در عدد منفی یک ضرب می‌شود. منطقه ۲: با توجه به نتایج به دست آمده از روش آنالیز مؤلفه‌های انتخابی در جداول (۴-۹) و (۴-۱۰)، نشان داده شده است.

جدول ۴-۹: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی (منطقه ۲)

Eigenvector	Band 1	Band3	Band4	Band5
PC1	-0.499436	-0.500364	-0.500186	-0.500014
PC2	-0.797774	-0.025434	0.299516	0.522685
PC3	-0.139080	0.630555	-0.726595	0.234768
PC4	0.307859	-0.592781	-0.363543	0.649362

جدول ۴-۱۰: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری دگرسانی رسی بر روی چهار باند انتخابی (منطقه ۲)

Eigenvector	Band 1	Band4	Band5	Band7
PC1	-0.499297	-0.500056	-0.500405	-0.500241
PC2	0.826120	-0.044849	-0.466094	-0.313481
PC3	0.191657	-0.795721	0.030388	0.573735
PC4	0.177471	-0.338762	0.728991	-0.567729

در تصویر ماهواره‌ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه، برای نقشه برداری اکسید آهن از مؤلفه اصلی چهارم به صورت معکوس و برای نقشه برداری از دگرسانی رسی موجود در منطقه از مؤلفه اصلی چهارم مربوط به آن استفاده می‌شود.

منطقه ۳:

نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی حاصل از تصاویر مربوط به منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه برای نقشه برداری اکسید آهن و کانی‌های رسی بر اساس باندهای ورودی مربوطه نیز به ترتیب در جداول (۴-۱۱) و (۴-۱۲) ارائه شده است.

جدول ۴-۱۱: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری اکسید آهن بر روی چهار باند انتخابی تصویر با شماره گذر ۱۶۳ (منطقه ۳)

Eigenvector	Band 1	Band3	Band4	Band5
PC1	0.499073	0.500365	0.500532	0.500028
PC2	0.803509	0.016142	-0.309656	-0.508159
PC3	0.320792	-0.846495	0.118820	0.407947
PC4	0.048905	0.181164	-0.799664	0.570373

جدول ۴-۱۲: تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای نقشه برداری کانی‌های رسی بر روی چهار باند انتخابی تصویر با شماره گذر ۱۶۳ (منطقه ۳)

Eigenvector	Band 1	Band4	Band5	Band7
PC1	-0.498700	-0.500329	-0.500569	-0.500399
PC2	-0.846511	0.118075	0.419059	0.306377
PC3	0.134823	-0.789506	0.059192	0.595819
PC4	0.128608	-0.335276	0.755193	-0.548392

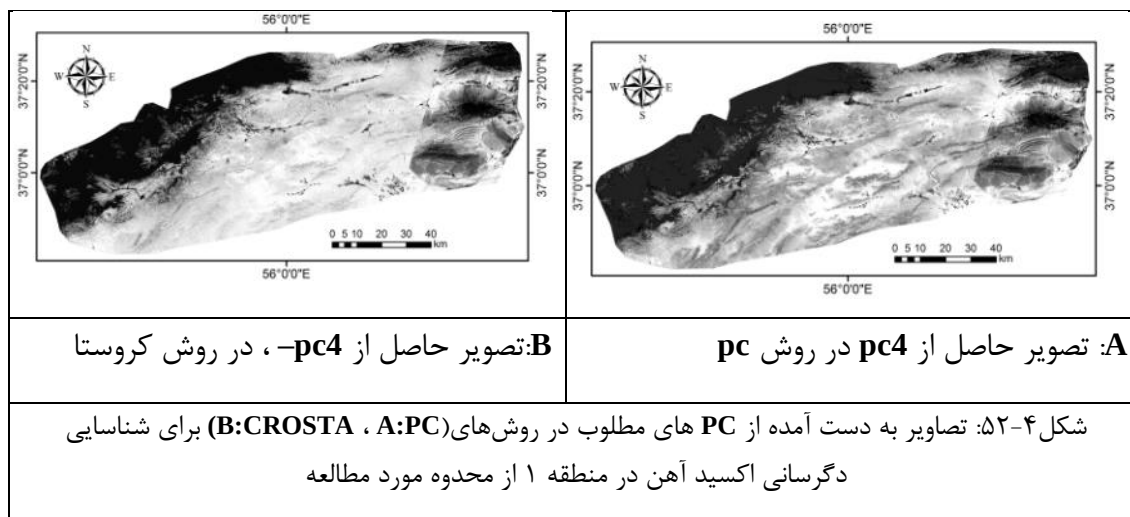
۴-۴-۶ شناسایی دگرسانی‌های منطقه بر اساس مؤلفه‌ی اصلی مطلوب در روش کروستا و مقایسه با

مؤلفه اصلی مطلوب در روش PC

۴-۴-۶-۱ شناسایی اکسید آهن در روش کروستا و مقایسه با روش استاندارد

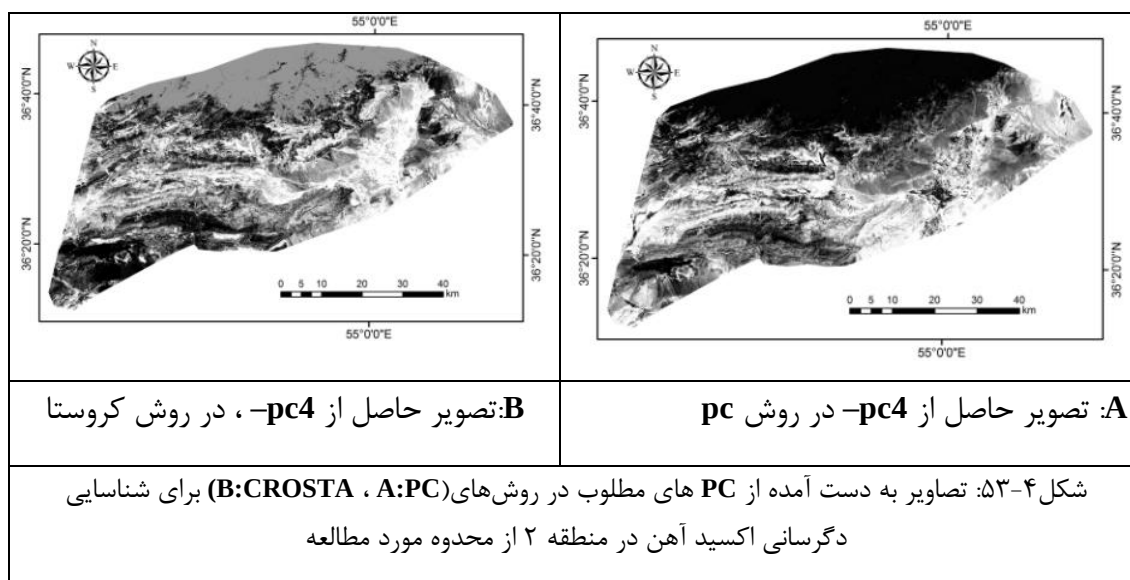
در روش کروستا برای بارزسازی مناطق دارای اکسید آهن از باندهای ۱ و ۳ و ۴ و ۵، به عنوان ورودی روش آنالیز مؤلفه‌های انتخابی (کروستا) استفاده شده است. نتایج حاصل از تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شناسایی مناطق حاوی اکسید آهن در این منطقه با روش کروستا در جداول (۴-۷)، (۴-۹) و (۴-۱۱)، نشان داده شده است که طبق مقادیر مؤلفه‌های اصلی در جداول مربوطه، بیشترین اختلاف بین باندهای ۳ و ۱ محاسبه شده است. بنابراین این PC ها مطلوب برای نقشه برداری از اکسیدهای آهن منطقه می باشند.

منطقه ۱: مؤلفه اصلی چهارم، طبق جدول (۴-۷)، به عنوان PC مطلوب انتخاب شد. در تصویر حاصل از PC4 باند ۳ دارای مقداری منفی می باشد و مقدار باند ۱ مثبت است که تصویر حاصل از نسبت باند ۳ به باند ۱ با رنگ تیره مشخص می شود. برای روش نمایش دادن مناطق هدف در تصویر باید آن را در یک عدد منفی یک ضرب کرد (تصویر B از شکل ۴-۵۲). پیکسل‌های روشن، نشان‌دهنده مناطق حاوی اکسیدهای آهن می باشند که تطابق زیادی با تصویر حاصل از PC مطلوب از روش مؤلفه‌های اصلی دارد (تصویر A از شکل ۴-۵۲).



منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه

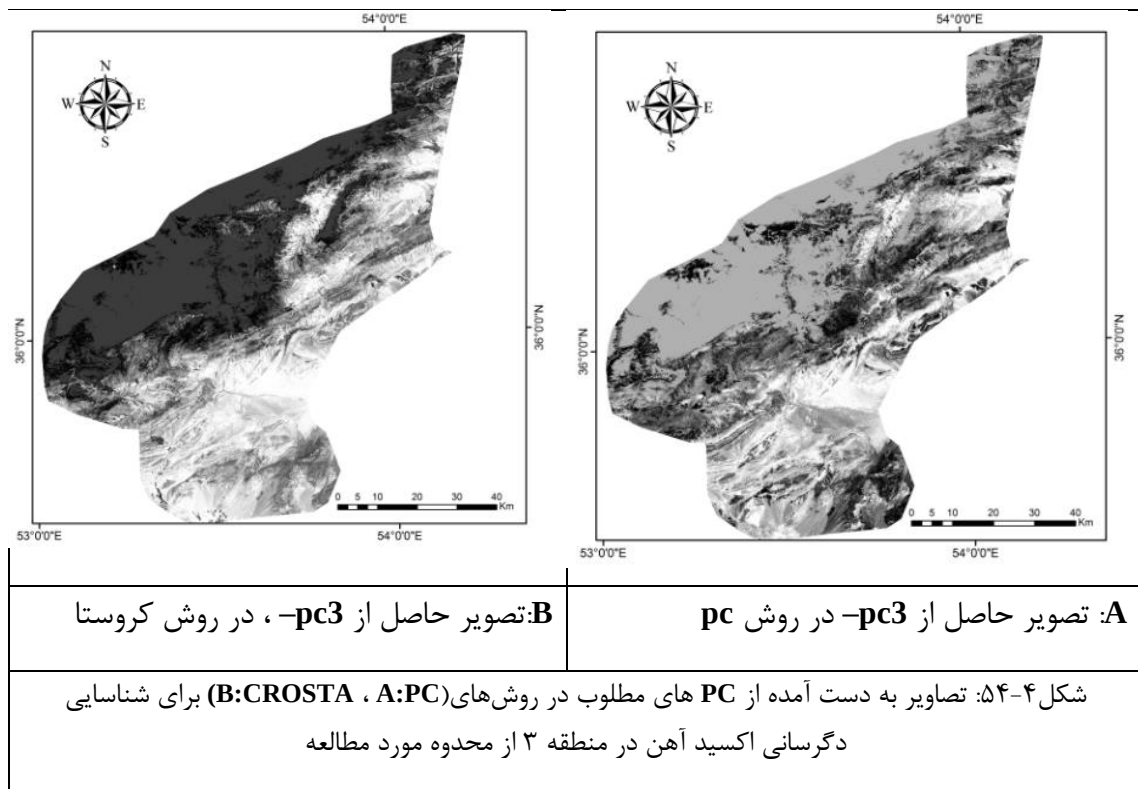
در منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه نیز مانند روش انجام شده در منطقه یک عمل می‌کنیم که طبق جدول (۴-۹)، مؤلفه اصلی چهارم (PC4)، مناطق حاوی اکسیدهای آهن را نمایش می‌دهد که باتوجه به مقدار منفی باند انعکاسی، لازم است تصویر حاصل معکوس شود تا پیکسل‌های روشن نمایش‌دهنده مناطق حاوی دگرسانی اکسید آهن باشند (تصویر B از شکل ۴-۵۳).



منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه

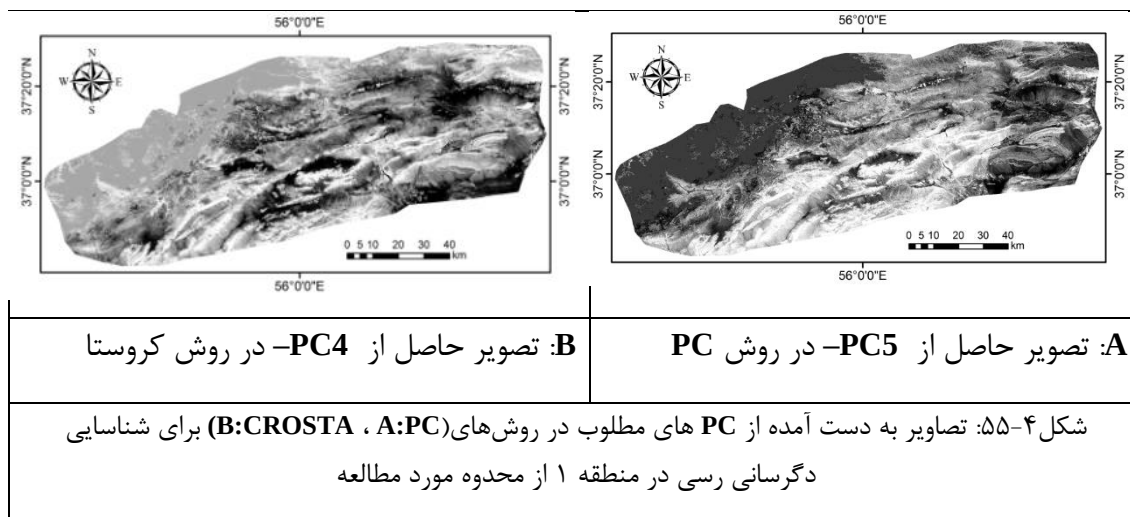
نتایج تحلیل مؤلفه‌های اصلی باندهای انتخابی برای شناسایی اکسیدهای آهن حاصل از تصویر منطقه ۳ در جدول (۴-۱۱) برای روش کروستا آمده است که طبق این نتایج، بیشترین اختلاف بین

باند‌های ۳ و ۱ در PC3 دیده می‌شود. با توجه به منفی بودن مقدار باند ۳ و مثبت بودن باند یک، با معکوس کردن تصویر حاصل از PC3، مناطق روشن مناطق هدف می‌باشند (تصویر B از شکل ۴-۵۴).



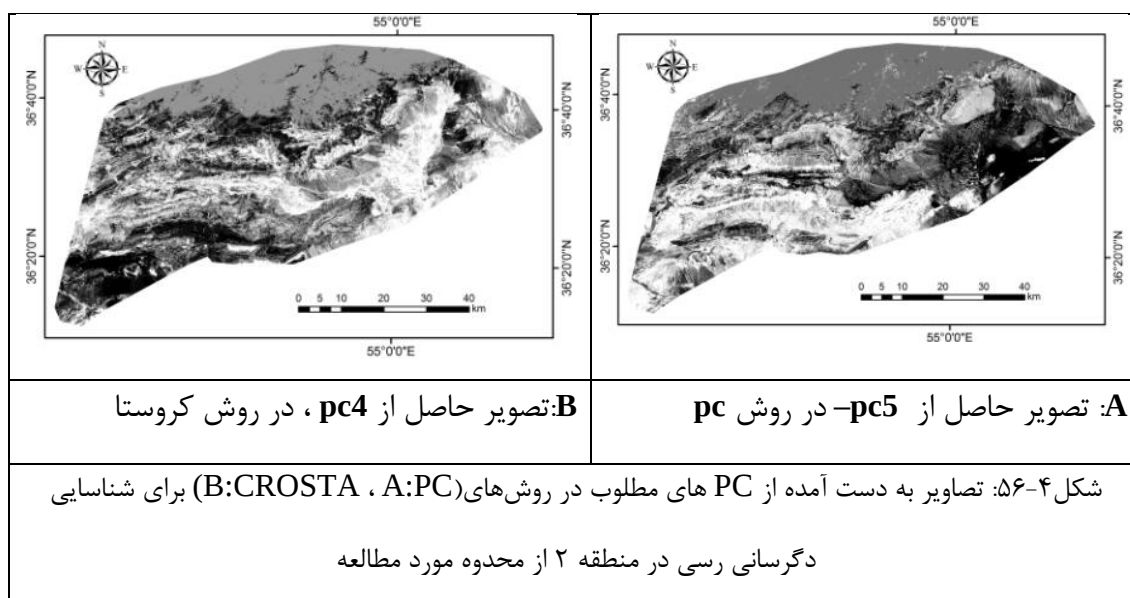
۴-۴-۶-۲ شناسایی دگرسانی رسی توسط روش PC و کروستا در محدوده مورد مطالعه

برای بارزسازی مناطق دارای دگرسانی آرژیلیک در روش مؤلفه‌های انتخابی (کروستا)، نیز از باند‌های ۱ و ۳ و ۴ و ۷ به عنوان باند‌های ورودی استفاده شده است. همانطور که در جدول (۴-۸) حاصل از آنالیز مؤلفه‌های انتخابی برای نمایش دگرسانی رسی در تصاویر منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود، بیشترین اختلاف بین باند‌های ۵ و ۷ در روش مؤلفه‌های انتخابی در PC4 وجود دارد. با توجه به اینکه باند ۵ باند انعکاسی کانی‌های هیدروکسیل می‌باشد و مقدار آن منفی می‌باشد با معکوس کردن تصویر حاصل از PC ها، مناطق روشن، مناطق هدف برای نمایش دادن دگرسانی‌های رسی می‌باشند (تصویر B از شکل ۴-۵۵). مناطق حاوی دگرسانی رسی که از روش آنالیز مؤلفه‌های استاندارد به دست آمده اند در شکل ها با حرف A نمایش داده شده اند.



منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه

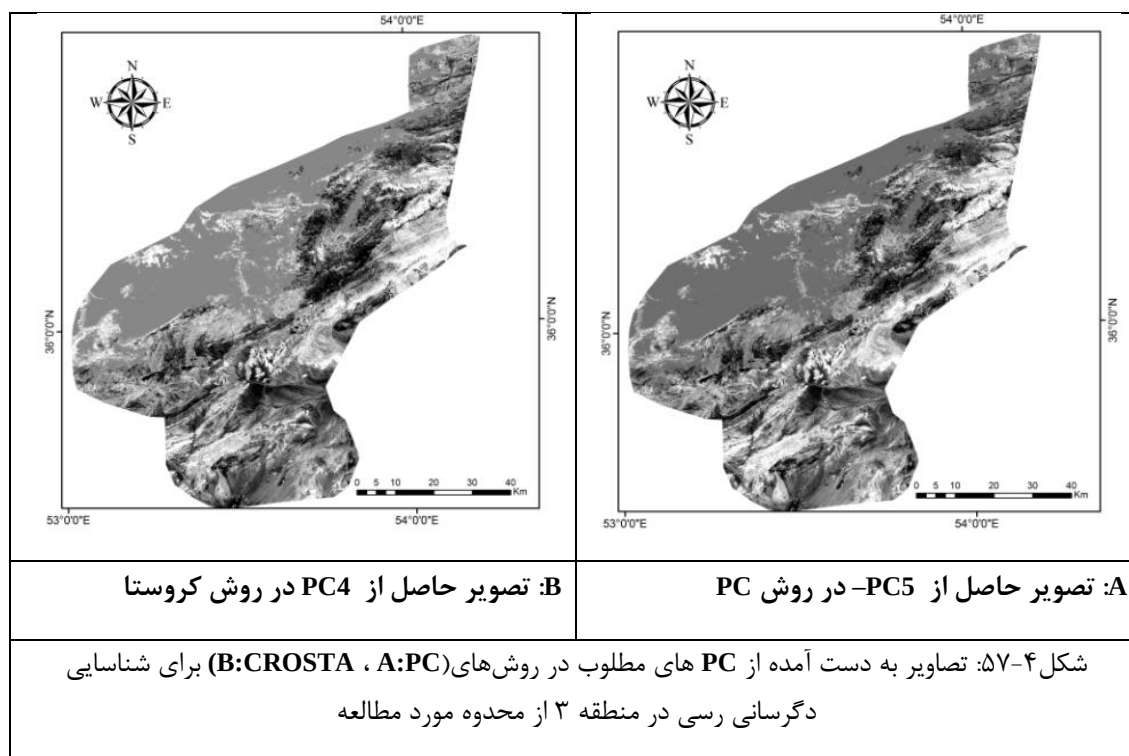
مشابه روش محاسبات ذکر شده، مؤلفه های مطلوب برای نمایش دگرسانی‌های رسی در تصاویر ماهواره‌ای منطقه ۲، در روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی PC5- و در روش کروستا PC4 می‌باشند. مناطق روشن، مناطق آغشته به دگرسانی رسی می‌باشند (شکل ۴-۵۶).



منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه

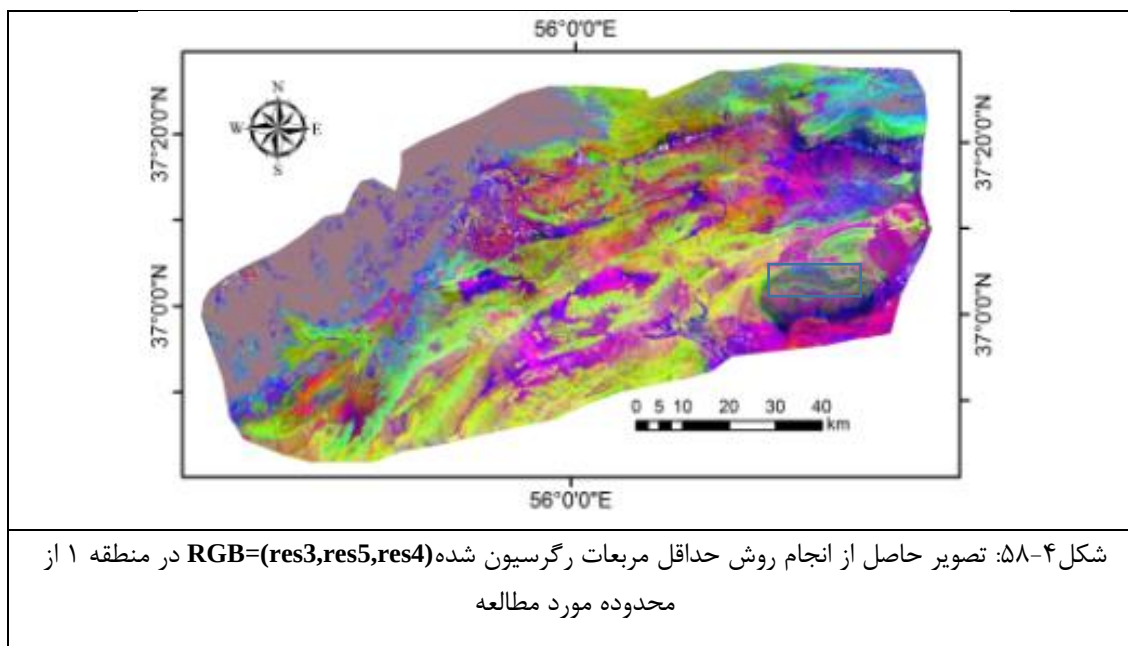
طبق جدول مؤلفه‌های اصلی و مؤلفه‌های اصلی انتخاب شده حاصل از تصویر ماهواره‌ای منطقه ۳، برای نمایش دگرسانی‌های رسی در روش PC از معکوس مؤلفه‌ی پنجم و در روش کروستا از مؤلفه‌ی

چهارم استفاده می‌شود. شکل (۴-۵۷) نتایج حاصل از دو روش را نشان داده است که مناطق روشن، نمایش دهنده‌ی دگرسانی رسی موجود در منطقه می‌باشد.



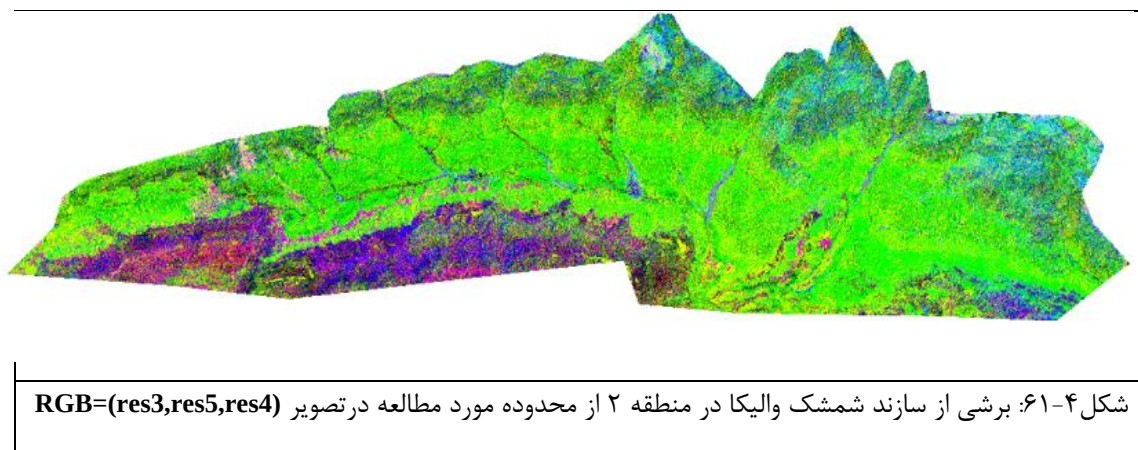
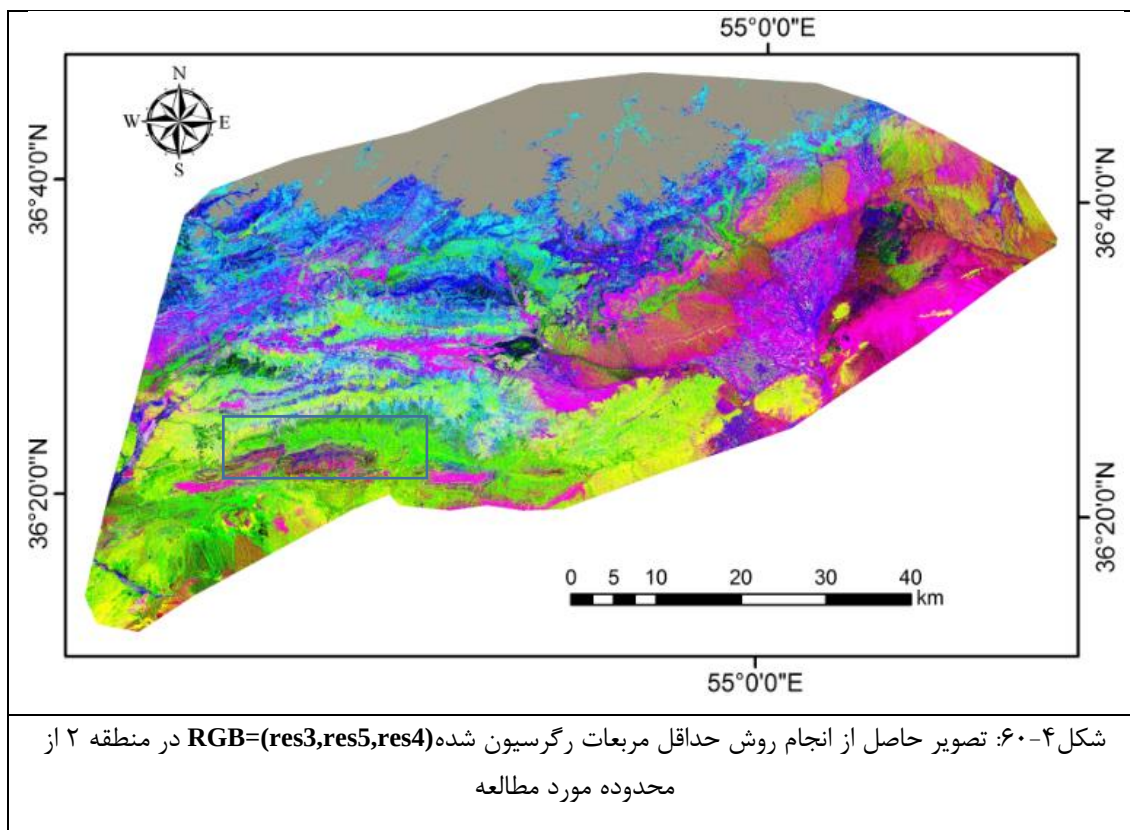
۴-۴-۷ روش حداقل مربعات رگرسیون شده

کانی‌های دارای بنیان هیدروکسیل در بانده ۵ سنجنده‌ی ETM⁺، دارای بازتاب بالایی هستند و به همین دلیل باقیمانده این باند برای تخمین مناطق دارای دگرسانی آرژیلیکی انتخاب می‌شود. از باقیمانده باند سه نیز برای آشکارسازی مناطق دارای اکسید آهن و از باقیمانده باند ۴ برای مشخص نمودن پوشش گیاهی می‌توان استفاده کرد (رضایی، ۱۳۹۰). از ترکیب باندهای مذکور به صورت RGB=(res5,res3,res4) می‌توان ترکیب رنگی ایجاد کرد. در تصاویر ترکیب رنگی ایجاد شده، مناطق دارای اکسید آهن با رنگ بنفش و مناطق حاوی دگرسانی رسی با رنگ زرد و سبز متمایل به زرد نمایش داده شده‌اند.



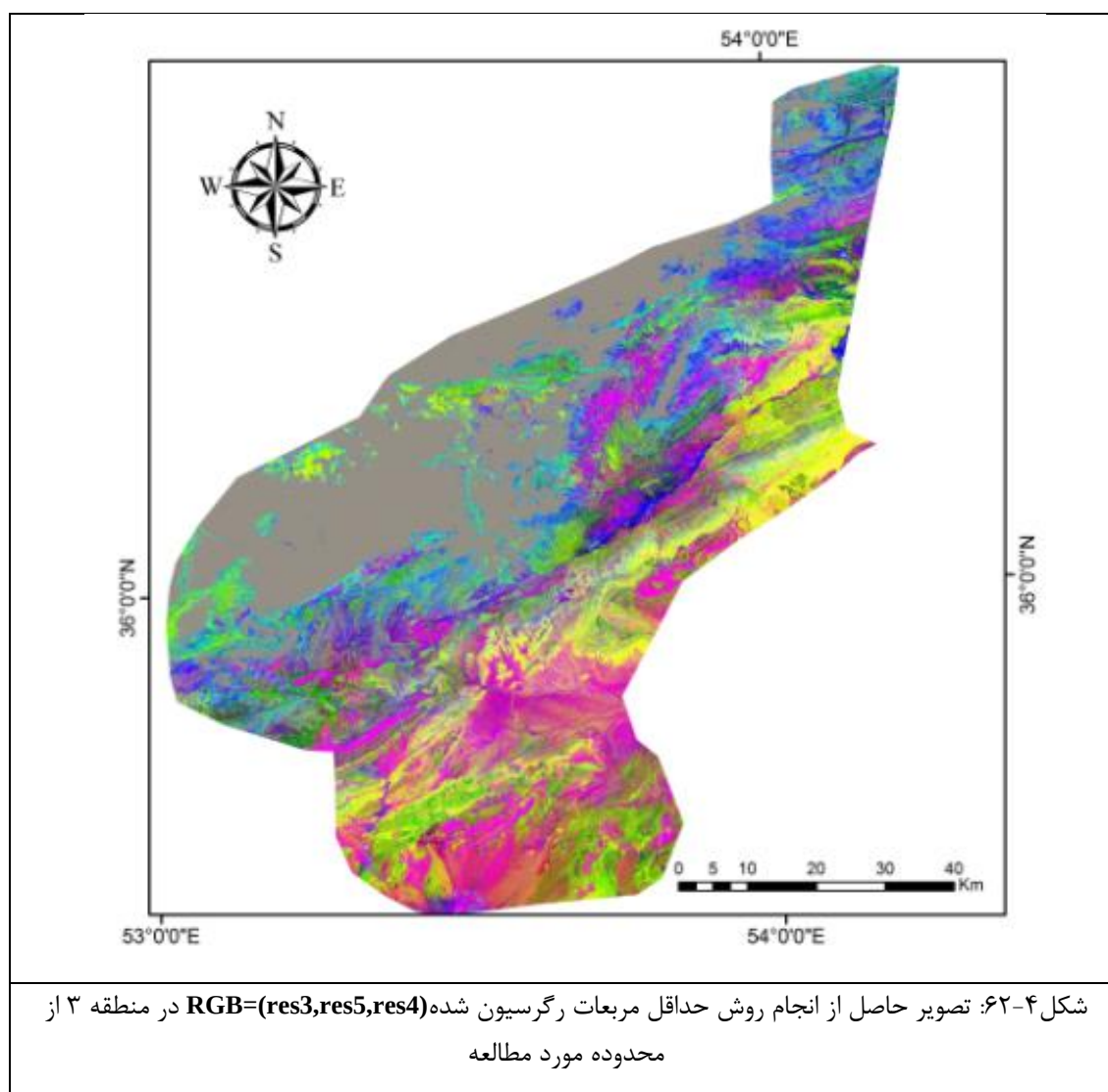
ترکیب رنگی فوق در تصاویر ماهواره‌ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه نیز اعمال شد و مطابق تصاویر منطقه ۱، مناطق دارای اکسید آهن با رنگ بنفش و مناطق حاوی دگرسانی رسی با رنگ زرد و سبز

متمايل به زرد نمايش داده شده اند.



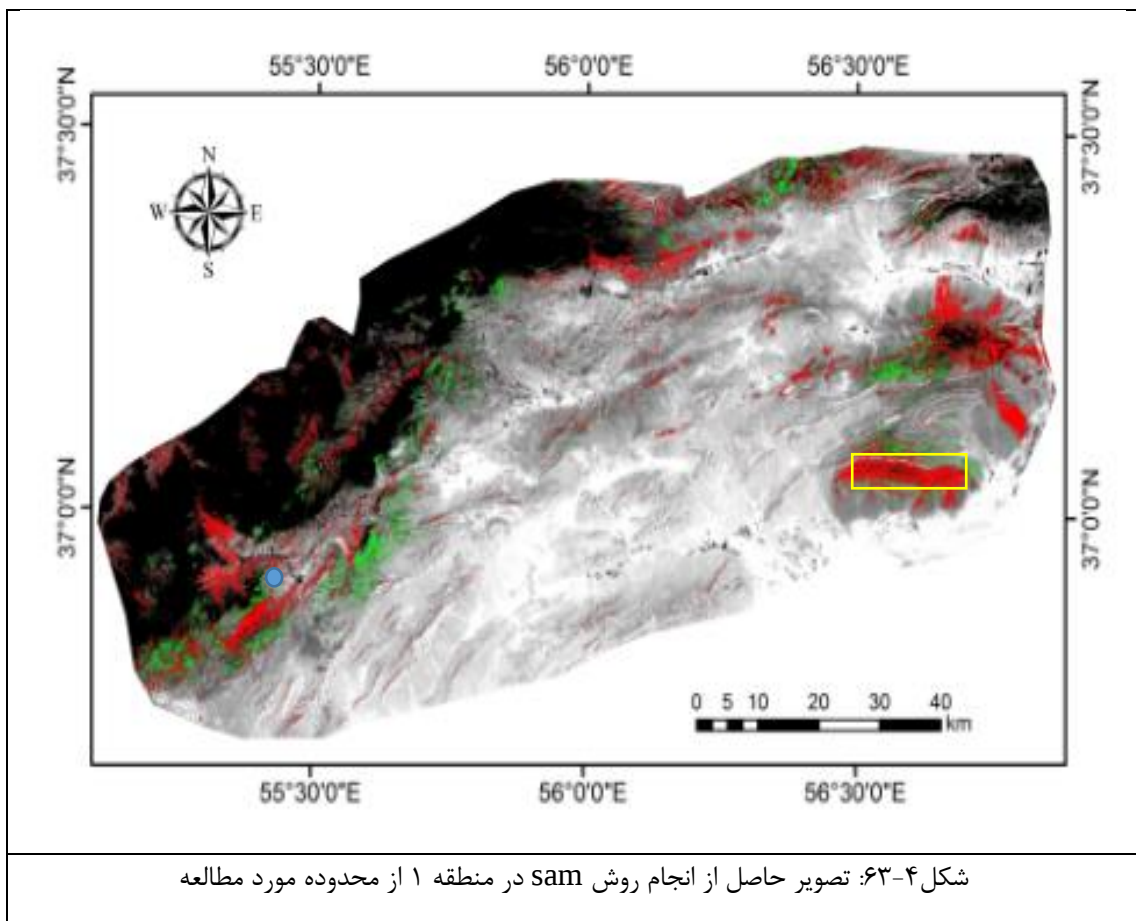
در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه نیز از ترکیب رنگی مورد نظر استفاده گردید که شکل (۴-۶۲)، تصویر ترکیب رنگی ایجاد شده می باشد. در تصاویر ترکیب رنگی ایجاد شده، مناطق دارای اکسید آهن

با رنگ بنفش و مناطق حاوی دگرسانی رسی با رنگ زرد و سبز متمایل به زرد نمایش داده شده اند.



۸-۴-۴ روش نقشه برداری زاویه طیفی^۱

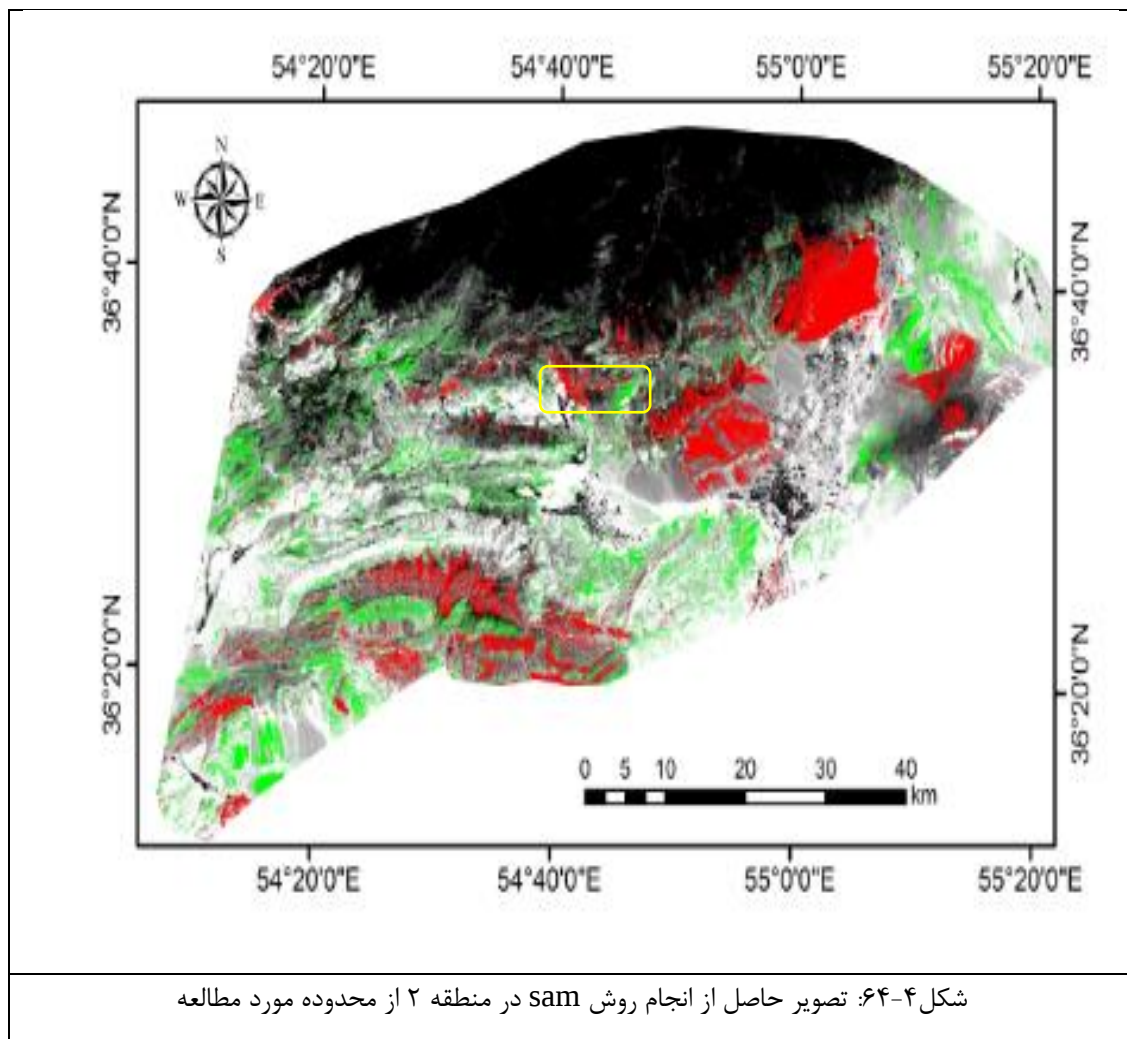
روش sam، میزان شباهت، طیف مرجع را با طیف ناشناخته برای هر پیکسل بیان می‌کند. در تصویر حاصل از روش طبقه بندی sam، در منطقه ۱ از محدوده مورد مطالعه، طیف واحدهای سنگی سازند شمشک و واحد دولومیتی-آهکی الیکا به عنوان طیف لایه راهنمای بوکسیت به نرم افزار معرفی شد. طیف واحدهای سنگی سازند شمشک با رنگ قرمز و دولومیت‌های الیکا با رنگ سبز در شکل مشخص شده اند. همچنین مستطیل زرد رنگ محدوده بوکسیت جاجرم را نشان می‌دهد و دایره آبی رنگ نشان دهنده موقعیت معدن بوکسیت قشلاق با توجه به نقشه‌ی زمین شناسی مربوطه می‌باشد.



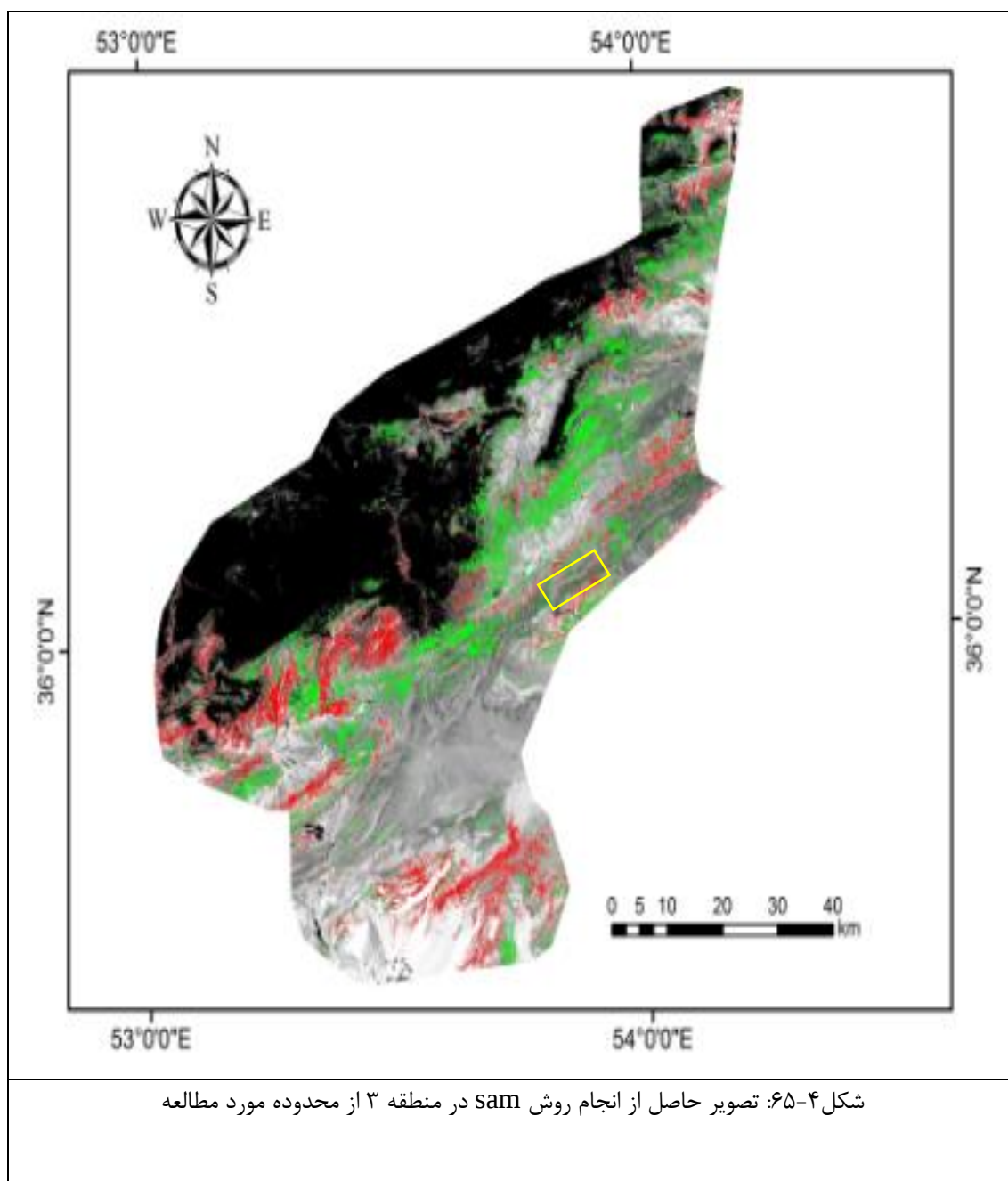
در تصویر ماهواره‌ای منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه، طیف واحد سنگی سازند شمشک و واحد سنگی الیکا به نرم افزار داده شد. شکل (۴-۶۴)، خروجی حاصل از اعمال روش نقشه برداری زاویه طیفی در

^۱ Spectral Angle Mapper

منطقه ۲ از محدوده مورد مطالعه می‌باشد. طیف واحد سنگی شمشک به رنگ قرمز و طیف واحدهای سازند الیکا به رنگ سبز در شکل نشان داده شده اند. محدوده معدن بوکسیت تاش با مستطیل زرد رنگ در شکل (۴-۶۴)، مشخص شده است.



در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه نیز واحدهای سنگی سازند شمشک به رنگ قرمز و واحدهای دولومیتی و آهکی به رنگ سبز مشخص شده اند. شکل (۴-۶۵)، خروجی حاصل از اعمال روش sam در منطقه ۳ از محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. محدوده معدن بوکسیت گانو با مستطیل زرد رنگ در شکل مشخص شده است.



نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

هدف ما در این تحقیق، بررسی محدوده‌ی مورد مطالعه واقع شده در منطقه‌ی البرز شرقی به منظور شناسایی مناطق پر پتانسیل ماده‌ی معدنی بوکسیت بوده است. با توجه به قرار گیری معادن موجود در منطقه در بین واحدهای ساختاری سازند شمشک و سازند دولومیتی-آهکی الیکا، از سازندهای مذکور به عنوان لایه راهنما استفاده شد. علاوه بر آن دگرسانی‌های اکسید آهن و دگرسانی رسی موجود در منطقه شناسایی شدند. برای نیل به این هدف، با استفاده از روش‌های مختلف سنجش از دور مانند روش ترکیب رنگی کاذب، نسبت باندی، آنالیز مؤلفه‌ی اصلی، روش کروستا و کمترین مربعات رگرسیون شده، مناطق مورد هدف بارزسازی شدند. از محدوده‌ی معدن بوکسیت جاجرم به عنوان، منطقه آموزشی در تحقیق استفاده شد و طیف مربوطه برای انجام روش نقشه برداری زاویه طیفی به نرم افزار معرفی شد. از محدوده چند معدن بوکسیت دیگر برای اعتبار سنجی استفاده گردید. با توجه به میزان مشابهت نتایج حاصل از روش‌های سنجش از دور و نقشه های زمین شناسی منطقه‌ی البرز شرقی، نتایج اعتبارسنجی شد.

۵-۲ پیشنهادات

با توجه به اینکه سنجش از دور گام اول در شناسایی و اکتشاف مناطق معدنی محسوب می‌شود، پیشنهاد می‌شود از سایر روش‌های اکتشافی برای تلفیق با اطلاعات سنجش در مناطق پر پتانسیل شناسایی شده با وسعت کمتر استفاده گردد.

برای مطالعه دقیق‌تر و تشخیص بهتر واحدهای سنگی مربوط به بوکسیت‌زایی پیشنهاد می‌شود، از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک بالاتر مانند داده‌های هایپریون و اسپات و... استفاده شود.

با توجه به قرارگیری معادن بوکسیت منطقه در مرز بین دولومیت‌های الیکا و شیل و ماسه سنگ‌های سازند شمشک، پیشنهاد می‌شود این دو واحد سنگ شناسی به عنوان لایه راهنما در تصاویر فراطیفی بارزسازی دقیق تری شوند.

منابع

منابع فارسی

- آقانباتی (۱۳۸۳). "زمین شناسی ایران." سازمان زمین شناسی و اکتشافی معدنی کشور: ۵۸۶.
- آقانباتی، علی. (۱۳۷۷). "چینه‌شناسی ژوراسیک ایران"، جلد اول، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- ارزانی، ح، کینگ، گ و فرستروپ، (۱۳۷۶)، "کاربرد اطلاعات رقومی ماهواره لندست تی ام در تخمین تولید و پوشش گیاهی"، مجله منابع طبیعی ایران، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، جلد ۵۰
- اسماعیلی، ف. "جزوه درسی مبانی سنجش از دور" انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی تهران.
- افتخارنژاد، ج (۱۳۵۹). "تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی."، نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲، ص ۱۹-۲۸
- امینی، ل، شمعیان، غ، رقیمی، م و جعفرزاده، ر. (۱۳۹۰)، "بررسی کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و پیدایش کانسارهای بوکسیت کارستی جاجرم، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ص ۴۱۳-۴۲۶
- بسطامی، ح، فردوست، ف. (۱۳۹۲)، "زمین شناسی، کانی‌شناسی و نگاهی بر نحوه تشکیل بوکسیت تاش شمال غرب شاهرود"، هفدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- بسطامی، ح، فردوست، ف. (۱۳۹۳)، "ارتباط بوکسیت‌زایی و محیط تشکیل ذغالسنگ در منطقه تاش، شمال غرب شاهرود"، دومین کنگره ملی ذغالسنگ ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود و معادن ذغالسنگ کرمان.
- بسطامی، ح، فردوست، ف. (۱۳۹۳)، "پتانسیل بوکسیت‌زایی قاعده لیاپ در ایران"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی دانشگاه زاهدان.
- حمید، ز. (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد "تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در محیط

GIS با استفاده از پردازش داده‌های ماهواره‌ای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه یکصد هزارم هشت‌رود، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

خسرو تهرانی، خ. (۱۳۸۴). "زمین شناسی ایران"، انتشارات کلیدر، چاپ اول.

درویش زاده، ع. (۱۳۷۰)، "زمین شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر، چاپ اول.

رپین، یو. (۱۳۷۷). "استراتیگرافی و پالئوژئوگرافی رسوبات ذغال‌دار ایران"، شرکت ملی فولاد ایران، ترجمه ع. مهدیان ص ۳۲۶-۳۶۴.

رسولی، ع. ا. (۱۳۸۷). "مبانی سنجش از دور با تاکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای"، انتشارات دانشگاه تبریز.

رنجبر، یوسف‌خانی (۱۳۹۵). "شناسایی مناطق پتانسیل‌دار بوکسیت در ورقه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زرنده، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، همپوشانی شاخص و فازی"، سی و پنجمین گردهمایی ملی علوم زمین.

زرگری، ز. (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد "پتانسیل یابی و بارزسازی ذخایر بوکسیت ولایت با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، فیلدسپک ۳ و GIS در استان کهگیلویه و بویر احمد با نگاه ویژه به زاگرس مرکزی"، دانشگاه شهیدچمران اهواز.

زمانی، ع.، شمعانیان، غ.، شفیع، ب.، (۱۳۹۵). "کانسارهای بوکسیتی و نقش آن در توسعه شهری استان گلستان"، دومین کنگره بین‌المللی علوم زمین و توسعه شهری.

سلیمانی، ک.، عرب امیری، ع.، کامکار، شمس‌الدینی نژاد، م.، (۱۳۹۴). "تعیین مدل اکتشافی بوکسیت جاجرم با استفاده از داده‌های اکتشافی در محیط GIS"، نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن ص ۸۳-۹۱.

سهیلی نیا، سمیرا، صادقی فلک دهی، صدیقه.، (۱۳۹۴) "پراکندگی زمانی کانسارهای بوکسیت ایران"، بیست چهارمین گردهمایی علوم زمین

شهرابی، م. (۱۳۷۸)، "زمین شناسی تریاس در ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

شهریاری، (۱۳۶۵). "ذخایر بوکسیت کارستی (با بستر کربناته)". انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده

فنی تهران.

علوی پناه، ک. (۱۳۸۲). "کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)". انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی تهران.

قاسمی، ح، جمشیدی، خ. (۱۳۹۰). "ژئوشیمی، سنگ شناسی و الگوی تکتونوماگمایی پیشنهادی برای تشکیل سنگ‌های بازی قلیایی در قاعده سازند شمشک، زون البرز شرقی، مجله بلورشناسی و کانی شناسی ایران، ص ۶۹۹ تا ۷۱۴". انتشارات جهاد دانشگاهی دانشکده فنی تهران.

قربانی، م. (۱۳۸۶)، "زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران" انتشارات آراین زمین، چاپ اول.

مباشری، م (۱۳۹۳). "مبانی فیزیک در سنجش از دور و فنآوری ماهواره". انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، چاپ اول

یاراحمدی، ز. (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد "بررسی روش‌های کیفی و کمی سنجش از دور در شناسایی واحدهای سنگی زمین‌شناختی در منطقه کوه زر در جنوب دامغان". دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- Alavi, M. (1991) "Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys Remnants in northeastern Iran" *Geological Society of America Bulletin* 13, pp 992-983
- Alavi, M. (1996). "Tectonostratigraphic synthesis and structural style of the Alborz mountain system in northern Iran." *Journal of Geodynamics* **21**(1): 1-33
- Bárdossy, G. and G. J. J. Aleva (1990). *Lateritic bauxites*, Elsevier Science Ltd
- Bardossy, G., & White, J. L. (1979). Carbonate inhibits the crystallization of aluminum hydroxide in bauxite. *Science*, 203(4378), 355-356
- Berberian, M. & King, G. C., 1981- Towards a paleogeography and tectonic evaluation of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18: 210- 265.
- Bogatyrev, B. A., Zhukov, V. V., & Tsekhovsky, Y. G. (2009). Formation conditions and regularities of the distribution of large and superlarge bauxite deposits. *Lithology and Mineral Resources*, 44(2), 135-151.
- Calagari, A and A. Abedini (2007). "Geochemical investigations on Permo-Triassic bauxite horizon at Kanisheeteh, east of Bukan, West-Azarbaidjan, Iran." *Journal of Geochemical Exploration* **94**(1-3): 1-18.
- Crosta, A. P., De Souza Filho, C. R., Azevedo, F., & Brodie, C. (2003). Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia, Argentina, using ASTER imagery and principal component analysis. *International journal of Remote sensing*, 24(21), 4233-4240.
- Chavez, P C., Bauer, B., 1982, Automatic optimum of Environment, Vol 12, 22-38
- ENVI (2003). ENVI User's manual. Environmental Institute.
- Fursich, F.T., Wilmsen, M., SeyedEmami,K., Cecco, F., Majidifard, M., "The upper Shemshak Formation (Toarcian Aalenian) of the eastern Alborz (Iran), Biota and Paleoenvironment during a transgress regressive cycle". *Facies* 15: 365-384, 2005.
- Gupta, R. P., 2003. *Remote Sensing Geology*. Second Edition. Springer-Verlag. Berlin. 655 pp.
- Goetz, A. F., Rock, B. N., & Rowan, L. C. (1983). Remote sensing for exploration; an overview. *Economic Geology*, 78(4), 573-590
- Guha, A. and K. Vinod Kumar (2016). "Comparative analysis on utilisation of linear spectral unmixing and band ratio methods for processing ASTER data to delineate bauxite over a part of Chotonagpur plateau, Jharkhand, India." *Geocarto International* **31**(4): 367-384.

Hickey, R. J. (2005). An investigation of the multispectral response patterns of west Australian bauxite deposits. *Journal of spatial science*, 50(2), 97-113.

Myint, S. W., Krit W., Isao T., Punya C., (2008). "Comparison of remote sensing image processing techniques to identify tornado damage areas from Landsat TM data." *Sensors* 8(2): 1128-1156

Karadag, M. M., Kupeli S., Aryk F., Ayhan A., Zedaf V., Doyen A., 2009., "Rare earth element (REE) geochemistry and genetic implications of the Mortas Bauxite deposit (Seydisehir/Konya_ Southern Turkey)", *Chemie der Erde* 69, 143-159.

Kruse, F. A., Lefkoff, A. B., Boardman, J. W., Heidebrecht, K. B., Shapiro, A. T., Barloon, P. J., & Goetz, A. F. H. (1993). The spectral image processing system (SIPS)—interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data. *Remote sensing of environment*, 44(2-3), 145-163.

Legg, C. A., & Laumonier, Y. (1999). Fires in Indonesia, 1997: A remote sensing perspective. *AMBIO-STOCKHOLM*-, 28, 479-485.

Legg, C. A. (1997). Remote sensing and Geographic Information System, Published in Association with PRAXIS PUBLISHING.

Mather, P. M., 1999- Computer Processing of Remotely-Sensed Images, An Introduction, Second edition, Wiley, Chichester, 292 P

Mikhailov, B. M., 1975, Evolution of the Settings of Bauxite Deposition in the Geological History of the Earth, in Genesis of Bauxites, pp. 57–68 in Russian

Maynard, J. B. (1982). Extension of Berner's "New geochemical classification of sedimentary environments" to ancient sediments. *Journal of Sedimentary Research*, 52(4), 1325-1331.

Pearson, K. (1901). On lines and planes of closest fit to systems of points in space *Philosophical Magazine*, vol. 2, pp. 559-572

Rouzbeh-Kargar, S. (1997). Chemical and mineralogical composition of Alamut bauxite deposit in Qazvin area and comparing it with known bauxites in Iran. 8 th International Conference of ICSOBA

Rowan, L. C., & Mars, J. C. (2003). Lithologic mapping in the Mountain Pass, California area using advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer (ASTER) data. *Remote sensing of Environment*, 84(3), 350-366.

Richards, J. A. (2013). In Remote sensing digital image analysis an introduction. New York: Springer - Verlag Berlin Heidelberg.

Sabins, F. F. (1997), Remote Sensing: principles and interpretations, WH Freeman

Sabins, F. F. (1999), Remote Sensing for mineral exploration, *Ore Geology Reviews*, 14, pp. 157-183

Sanjeevi, S. (2008). "Targeting limestone and bauxite deposits in southern India by spectral unmixing of hyperspectral image data." *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* **37**(B8): 1189-1194

Shamanian, GH., Amini, L., Raghimi, M. and Jafarzadh, R., 2012. Study of mineralogy, geology and genesis of karst bauxite deposits Jajarm. *Journal of Mineralogy and Crystallography*, 19(3): 413-426.

Suman Babu, P., Majumdar, T.J. and Bhattacharya, A., (2015). "Study of spectral signatures for exploration of Bauxite ore deposits in Panchpatmali, India." *Geocarto International* **30**(5): 545-559

Shtocklin, J, "Structural history and tectonics of Iran" *A review. AAPG Bulletin* 52,7:1229 -1258, 1968.

Shifeng Dai, Yaofa Jiang, Colin R. Ward, Landing Gu, Vladimi V. Seredin, Huidong Liu, Dao Zhou, Xibo Wang, Yuzhuang Sun, Jianhua Zou, Deyi Ren., "Mineralogical and geochemical compositions of the coal in the Guanbanwusu Mine, Inner Mongolia, China: Further evidence for the existence of an Al (Ga and REE) ore deposit in the Jungar Coalfield" *International Journal of Coal Geology* 98 (2012) .

Tematio, P., Meli Songmene, S., Leumbe, O., Momo Nouazi, M., Yemefack, M. and Yongue, F., (2015). "Mapping bauxite indices using Landsat ETM+ imageries constrained with environmental factors in Fouban area (West Cameroon)." *Journal of African Earth Sciences* **109**: 47-54

Zarasvandi, A., Charchi, A., Carranza, E.J.M. and Alizadeh, B., (2008). "Karst bauxite deposits in the Zagros mountain belt, Iran." *Ore Geology Reviews* **34**(4): 521-532.

Vincent, R.K., 1997- *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*, Prentice Hall, 370 pp

Abstract:

Remote Sensing is a science based on the advances made by the new satellite technologies which allows us to study the vast area at shortest time and with the lowest cost, with a relatively high accuracy. Bauxite ore is commonly used to produce alumina, which is the primary source of aluminum production. In Iran, the most important Bauxite deposit is located in Jajarm district, southwest of Bojnourd. In the present dissertation, which includes a sheet of one hundred thousand Semnan, Jam, Kiyasar, Pol sefid, Damghan, Mabad, Gorgan, Ali Abad, Shahrood, Bastam, Ramin, Gonbad Kavous, Dozin, Rey Abad, Meyami, Robat-e-Ghareh Bil, Jajarm, Sankhast, Forumad, remote sensing has been done for other occasions, But the purpose of this research is to identify areas of the area with potential bauxite minerals. Considering the presence of bauxite mines in the region between the Elik Formation as the lower back of the mineral and Shemshak Formation as the waist of the mineral, the formations were identified. The bauxite mine of Jajarm was used as the basis. To achieve this goal, using various methods, preparation and pre-processing were performed on area data. Also, for processing data using methods such as Band Ratio, Color Composite Image, Ls-fit, Principal Component analysis methods and ..., identification of appropriate formation and bedrock of bauxite and related alterations in the region were investigated. Finally, the Spectral Angle Mapping classification method (sam) was used to identify mineral potential locations. In this research, Envi and GIS software were used for pre-processing and processing satellite images from Landsat satellite and ETM+ sensors.

Key words: Eastern Alborz, Bauxite, Remote sensing, ETM+, GIS



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

**Bauxite prospecting in eastern Alborz using remote sensing
and GIS**

By: Milad Ghanbari

Supervisor:

Dr. Hamid Aghajani

Dr. Susan Ebrahimi

Advisor:

Dr. Mohammad Rezaei

September 2018