تفکیک واحدهای سنگی ناحیهٔ ایران‌کوه اصفهان با استفاده از الگوریتم تهیهٔ تصاویر طبقه‌بندی شدهٔ داده‌های ماهواره‌ای ناحیه

رضا قائدرحمتی: دانشگاه لرستان، دانشکده فنی مهندسی، گروه معدن
دکتر نادر فتحیان پور: دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده مهندسی معدن
حمزه امیری: دانشگاه تهران

تاریخ: دریافت ۸٤/۹/۲۵ **پذیرش** ۸٦/۱۱/۱۰

چکیده

امروزه وجود داده‌های رقومی ماهواره‌ای و امکان دسترسی آسان و ارزان به این داده‌ها و همچنین در دسترس بودن بسته‌های نرم‌افزاری پرقدرت برای تجزیه و تحلیل این داده‌ها، باعث جبران حجم وسیعی از عملیات صحرایی زمین‌شناسی شده است. یکی از موضوعات مهم زمین‌شناسی، ترسیم و تعیین مرز دقیق واحدهای زمین‌شناسی است، در این مقاله با هدف تهیهٔ نقشهٔ طبقه‌بندی شده واحدهای سنگی منطقه و جداسازی مرز دقیق واحدهای مختلف ناحیهٔ ایران‌کوه(شامل معادن باما واقع در ۲۵ کیلومتری جنوب غرب اصفهان) با استفاده از روش‌های سنجش از دور، ابتدا پردازش‌ها و تصحیحات لازم بر روی داده‌های این منطقه صورت گرفته و سپس با به‌کارگیری انواع مختلف طبقه‌بندی مناسب‌ترین الگوریتم برای تهیهٔ نقشهٔ کلاس‌های مختلف واحدهای سنگی در منطقه ارائه شده و در نهایت این نقشه برای محدودهٔ پژوهش تهیه شده است. در الگوریتم ذکر شده، با به‌کارگیری تکنیک ***MNF*** و همچنین تعیین پیکسل‌های خالص و سپس به‌کارگیری نمایش‌گر **n** بعدی تصویر طبقه‌بندی شده منطقه تهیه شده است. سپس با استفاده پردازش‌های نهایی از جمله اجرای فیلتر ***Clump*** بر روی این تصویر برای انتقال پیکسل‌های حد واسط به درون کلاس‌ها و واضح‌تر شدن مرز کلاس‌ها تصویر نهایی به‌عنوان نقشه واحدهای سنگی منطقه تهیه شده است. با مقایسهٔ این نقشه با مرز واحدهای

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

سنگی ارائه شده در نقشه زمین‌شناسی منطقه که از طریق استفاده از عکس‌های هوایی و پیمایش‌های صحرایی تهیه شود و همچنین مقایسه با ترکیب‌های رنگی دیگر از منطقه صحت و دقت عملیات قابل تأیید است.

واژه‌های کلیدی: داده‌های ماهواره‌ای، سنجش از دور، الگوریتم طبقه‌بندی تصاویر، نقشه واحدهای سنگی، روش ***MNF***.

مقدمه

استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و به‌کارگیری روش‌های مختلف تصویر، ابزاری مناسب در شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی مختلف، ساختارهای زمین‌شناسی، زون‌های دگرسانی و ... است که می‌تواند زمین‌شناسان و مکتشفان را در دست‌یابی به نتایج بهتر و کامل‌تر در مدت زمان کوتاه‌تری یاری کند. تلفیق داده‌های به‌دست آمده از این بررسی‌ها با برداشت‌های زمین، نتایج ارزنده‌ای را در بر خواهدداشت. روش‌های دورسنجی می‌تواند به‌عنوان ابزاری برای زمین‌شناسان و متخصصان اکتشاف موادمعدنی در تعیین موقعیت و نقشه‌برداری ساختاری، سنگ‌شناسی و شناسایی زون‌های آلتراسیون مورد استفاده قرار گیرد. در میان روش‌های مختلف سنجش از دور، تکنیک طبقه‌بندی در تجزیه و تحلیل، جداسازی و تعیین مرز واحدهای مختلف سنگ‌شناسی جایگاه ویژه‌ای دارد. از آن‌جاکه یکی از مشکلات اصلی در تهیهٔ نقشه‌های زمین‌شناسی تعیین مرز سازندهاست برای رفع این نقیصه و افزایش دقت در تعیین مرز دقیق سازندها می‌توان از تصویر طبقه‌بندی شدهٔ داده‌های ماهواره‌ای آن منطقه استفاده کرد. در ناحیه بررسی شده(مجتمع معادن باما واقع در۲۵ کیلومتری غرب اصفهان) سوابق معدن‌کاری و پژوهش‌های زمین‌شناسی حاکی از مرتبط بودن کانی‌سازی سرب و روی با واحدهای سنگی خاصی از جمله دولومیت است[۳]،[۱٤] همچنین واحدهای دولومیت و آهک و پراکندگی باندهای دولومیتی در میان طبقات آهکی و دشواری تشخیص مرز دقیق این واحدها جداسازی و تعیین موقعیت دقیق‌تر واحدهای مختلف سنگی در ناحیه بررسی شده را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. تهیه نقشه واحدهای سنگی منطقه با استفاده از داده‌های ماهواره‌های منابع زمینی و پردازش آن‌ها یکی از مناسب‌ترین روش‌ها در شناسایی اکتشافی و زمین‌شناسی ناحیه ایران‌کوه است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

اجرا و پردازش‌های اولیه داده‌های ماهواره‌ای منطقه

داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های ***ASTER*** است. سنجنده استر۱۴ باند دارد که دامنه طول موجی $0/52\ \mu m$ تا $11/65\ \mu m$ را با سه باند طیفی مرئی و نزدیک مادون قرمز(باندهای۱ تا ۳)، شش باند مادون قرمز طول موج کوتاه(باندهای ۴ تا ۹) و پنج باند طیفی مادون قرمز حرارتی(باندهای۱۰تا ۱۴) پوشش می‌دهد[۱]،[۲]،[٤]،[۱۳].

با توجه به این‌که باندهای۱۰ تا ۱۴ مربوط به طول موج حرارتی هستند در بررسی‌های این ۵ باند مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. برای اجرای داده‌های ***ASTER*** در منطقه باندهای۴ تا ۹ را که دارای توان تفکیک زمینی۳۰ متر هستند با باندهای۱ تا ۳ که توان تفکیک ۱۵ متر دارند ***Resize*** می‌کنیم که باندهای۱ تا ۹ ***ASTER*** تماماً دارای توان تفکیک ۱۵ متر شوند و در مراحل بعد تصحیحات را بر روی این باندها انجام می‌دهیم[۵]،[۱۱].

تصحیح هندسی: در منطقهٔ ایران‌کوه از آن‌جایی که مختصات داده‌های ماهواره‌ای با نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی معدن با ما مطابقت نداشته، کار تصحیح هندسی بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است. روش به کار رفته بر اساس نقاط کنترل زمینی بوده است و نقاط مشخصی به عنوان نقاط کنترل زمینی برای نمونه‌برداری مجدد در نظرگرفته شده(تعداد ده نقطه) و تصحیح هندسی بر روی داده‌ها صورت گرفته است. بعد از انجام تصحیح هندسی، نتایج به‌دست آمده رضایت‌بخش بوده و تمام داده‌های ماهواره‌ای ***ASTER*** با نقشه‌های ذکر شده مطابقت نشان می‌دهد.

تصحیح توپوگرافی: برای تصحیح نسبت سایه به شیب که عامل ایجاد آن توپوگرافی است از نسبت‌گیری طیفی استفاده می‌شود. برای این منظور تمام تصاویر(به جز تصویر باند سوم) بر تصویر باند سوم تقسیم شده‌اند و تصویر باند سوم به باند چهارم تقسیم شده است[۱] ،[۲].

فیلتراسیون: فیلترها در بسیاری از فرآیندهای مختلف به کار می‌روند فیلترها به‌ویژه در هموارسازی[1] تصویر، برجسته کردن حاشیهٔ تصویر[2]فیلترخطی[3] و تعیین حاشیه و خطوط عکس

1. Smoothing
2. Edge- enhancement
3. Linear Filter

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

اهمیت دارند. در این‌جا از فیلتر مدیان(***median***)برای هموارسازی بر روی همهٔ باندها استفاده شده است[٤]،[٥].

گسترش تصاویر[٤]: در این‌جا برای آشکارسازی و افزایش اختلاف در تصویر از بسط خطی استفاده شده است به این ترتیب که تصاویر۹ باند ***ASTER*** محدودهٔ بررسی شده به‌طور خطی گسترش داده شده‌اند. لازم به ذکر است که ابتدا با بررسی هیستوگرام هر تصویر مشاهده شده است، توزیع اعداد پیکسل‌ها به شکل فشرده بوده و بهتر است که برای افزایش اختلاف از روش بسط تصاویر استفاده شود[١٦].

تکنیک طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور

طبقه‌بندی[٥]خودکار پیکسل‌های سازنده تصویر سنجش از دور اختصاص دادن برچسب یا کد به هر یک از پیکسل‌ها را شامل می‌شود که نشان‌دهندهٔ موضوع واقعی است. در طبقه‌بندی داده‌های سنجش از دور ارزش عددی هریک از پیکسل‌ها باید به‌صورت نوعی پوشش جغرافیایی، زمین‌شناسی و یا سایر عوارض سطح‌زمین، شناسایی شود؛ استفاده کننده انتظار دارد که یک طبقه‌بندی خودکار، پیکسل موردنظر را بر اساس و مقایسه با انعکاسات طیفی موضوعات موجود در محل بررسی شده، طبقه‌بندی کند. در صورتی که عمل اختصاص دادن برچسب(کد) برای تمامی پیکسل‌های موجود در تصویر صورت گیرد، به جای اطلاعات متنوع مربوط به یک مکان، همانند اطلاعاتی که در نقشه‌های توپوگرافی عرضه می‌شود نقشه‌ای موضوعی به‌دست خواهد آمد که نشان‌دهندهٔ توزیع جغرافیایی عارضه‌ای از قبیل پوشش گیاهی یا آب یا نوع خاصی از واحدهای سنگ‌شناختی خواهد بود و بنا بر این تصویر طبقه‌بندی شده‌ای به صورت یک نقشه چندکلاسهٔ رقومی، نشان دهندهٔ عوارض مختلف به دست می‌آید.

طبقه‌بندی هدایت‌شده

طبقه‌بندی هدایت‌شده سعی در برقراری ارتباط میان مجموعه پیکسل‌ها با پوشش‌های واقعی سطح زمین دارد بنا بر این، این مجموعه پیکسل‌ها رده‌های اطلاعاتی نامیده می‌شوند.

4 . Streching
5. Classification

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

این نوع طبقه‌بندی بر اساس اطلاعاتی غیر از اطلاعات موجود در تصویر انجام می‌گیرد و این روش به داده‌های ورودی از طرف استفاده کننده قبل از استفاده از الگوریتم انتخاب شده نیازمند است. طبقه‌بندی هدایت‌شده را می‌توان به چندین روش انجام داد که از آن جمله، روش حداقل فاصله، روش متوازی‌السطوح و روش حداکثر شباهت را می‌توان برشمرد. که در این تحقیق هم از این روش‌ها استفاده شده است و سرانجام روش حداکثر شباهت انتخاب شده است.

روش حداکثر شباهت[6]

شکل هندسی مجموعه‌ای از نقاط را که نشان‌دهندهٔ مجموعه‌ای از پیکسل‌های یک رده یا گروه است می‌توان با بیضوی تعریف کرد که جهت و ابعاد نسبی این بیضوی به کوواریانس نمودهای p که الگوی فضایی را مشخص می‌سازند، بستگی دارد. یک شکل نزدیک به دایره، کوواریانس صفر دارد، طول قطرهای بیضی تصویر شده بر محور مختصات (X,Y) به انحراف معیار دو متغیر بستگی دارد. بنا بر این موقعیت شکل و اندازهٔ هر بیضی نشانه میانگین، انحراف معیار و کوواریانس دو متغیر است و این مسئله را به‌راحتی می‌توان به سه و یا چند بعد تعمیم داد.

این بیضی‌ها منحنی‌های احتمال عضویت اعضای هر کلاس را نشان می‌دهند که احتمال عضویت آن‌ها با فاصله گرفتن از مقدار میانگین کاهش می‌یابد. بنا بر این تنها شاخص برای تصمیم‌گیری در مورد وابستگی یک نقطه به یک کلاس و یا کلاس دیگر فاصله نسبت به مرکز نیست؛ زیرا شکل منحنی‌های احتمال به ابعاد نسبی اقطار بیضی و همچنین جهت آن‌ها بستگی دارد[۱].

طبقه‌بندی هدایت‌نشده

این طبقه‌بندی مجموعه پیکسل‌ها را تعیین می‌کند که از نظر ارزش‌های طیفی شباهت درون گروهی دارند، ولی از نظر بین گروهی متفاوت هستند. بنا بر این این مجموعه پیکسل‌ها را طبقه‌بندی‌های طیفی می‌نامند. طبقه‌بندی هدایت‌نشده نیازمند به دخالت کم کاربر دارد و لذا به آن طبقه‌بندی هدایت‌نشده گفته می‌شود[۱].

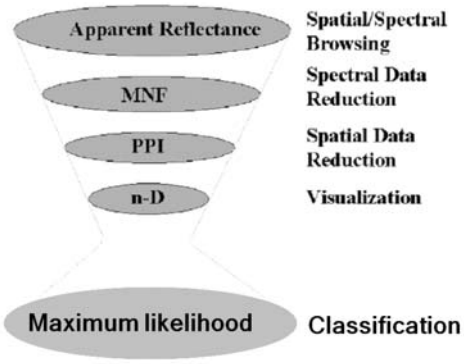
6. Maximum likelihood method

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

الگوریتم تهیه تصویر طبقه‌بندی شده

بعد از کاربرد انواع روش‌های طبقه‌بندی هدایت شده از قبیل روش حداقل فاصله، روش متوازی السطوح، روش حداکثر شباهت و روش‌های هدایت نشده از قبیل ***K-means*** و ***Isodata*** بر روی داده‌های ماهواره‌ای منطقهٔ پژوهش مناسب‌ترین الگوریتم برای تهیهٔ تصویر طبقه‌بندی شده به شکل زیر ایجاد شده است(شکل۱). بدین ترتیب که بعد از انجام تصحیحات لازم بر روی باندها، ***MNF*** [۷] برای همه باندها محاسبه شده و سپس پیکسل‌های خالص با ***PPI*** [۸] به‌دست آورده شده است و در نمایش‌گر ***n*** بعدی نمایش داده شده و به ۱۴کلاس مختلف تقسیم شده‌اند سپس با کلاسه‌بندی هدایت‌شده از نوع حداکثر شباهت تصویر طبقه‌بندی شده محدوده پژوهش تهیه شده و با مقایسه این تصویر با نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه و تصاویر رنگی به‌دست آمده مخصوصاً تصویر ۸،۳،۱ تطابق تغییرپذیری، بخوبی بین دو تصویر مشخص می‌شود. این طبقه‌بندی جواب قابل قبولی برای به نقشه در آوردن لیتولوژی منطقه است.



شکل۱. الگوریتم تهیهٔ تصاویر طبقه‌بندی شده

تهیه تصویر طبقه‌بندی شده محدودهٔ پژوهش

همبستگی بین داده‌های طیفی در محدودهٔ پژوهش

برای محاسبهٔ هم‌بستگی بین تصاویر باندهای مختلف ضرایب هم‌بستگی، برای دوبه دو باندهای مختلف محاسبه شده و در نتیجه ماتریس هم‌بستگی به صورت جدول۱ به‌دست آمده است.

7. Minimum Noise Fraction
8 . Pixel Purity Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

یکی از اهداف تشکیل ماتریس همبستگی بین باندها تعیین کردن باندهایی است که روند مخالفی در نمایش سازندهای منطقه دارند؛ یعنی باندهایی که ضریب همبستگی دو به دو آن‌ها پایین باشد،که از آن‌ها می‌توان در ساخت ترکیب‌های رنگی و نسبت‌های مختلف در آشکارسازی سازندهای مختلف استفاده کرد[۳]،[۶]،[۱۵].

جدول۱. ضریب همبستگی بین باندهای مختلف داده‌های استر در محدوده ایرانکوه

	باند ۱	باند ۲	باند۳	باند۴	باند۵	باند۶	باند۷	باند۸	باند۹
باند۱	۱	۰/۹۹۴	۰/۶۷۶	−۰/۵۶۷	−۰/۶۷۱	−۰/۸۰۰	−۰/۵۰۸	−۰/۲۶۵	−۰/۳۵۹
باند۲	۰/۹۹۴	۱	۰/۶۹۸	−۰/۵۴۵	−۰/۶۶۲	−۰/۷۸۸	−۰/۴۹۵	−۰/۲۴۸	−۰/۳۹۳
باند۳	۰/۶۷۶	۰/۶۹۸	۱	−۰/۷۰۹	−۰/۷۲۰	−۰/۷۴۷	−۰/۶۳۵	−۰/۴۲۵	−۰/۵۴۰
باند۴	−۰/۵۶۷	−۰/۵۴۵	−۰/۷۰۹	۱	۰/۹۴۰	۰/۹۰۹	۰/۹۱۴	۰/۷۳۰	۰/۸۴۰
باند۵	−۰/۶۷۱	−۰/۶۶۲	−۰/۷۲۰	۰/۹۴۰	۱	۰/۹۷۱	۰/۹۵۱	۰/۷۲۰	۰/۹۰۷
باند۶	−۰/۸۰۰	−۰/۷۸۸	−۰/۷۴۷	۰/۹۰۹	۰/۹۷۱	۱	۰/۸۸۷	۰/۶۱۲	۰/۸۲۱
باند۷	−۰/۵۰۸	−۰/۴۹۵	−۰/۶۳۵	۰/۹۱۴	۰/۹۵۱	۰/۸۸۷	۱	۰/۸۶۳	۰/۹۳۵
باند۸	−۰/۲۶۵	−۰/۲۴۸	−۰/۴۲۵	۰/۷۳۰	۰/۷۲۰	۰/۶۱۲	۰/۸۶۳	۱	۰/۷۹۴
باند۹	−۰/۳۹۵	−۰/۳۹۳	−۰/۵۴۰	۰/۸۴۰	۰/۹۰۷	۰/۸۲۱	۰/۹۳۵	۰/۷۹۴	۱

تجزیه مؤلفه‌های اصلی[9]

اطلاعات باندهای مختلف تصاویر چند طیفی سنجش از دور غالباً همبستگی دارند. معمولاً همبستگی منفی میان باندهای مرئی و مادون‌قرمز و مثبت بین باندهای مرئی بر روی پوشش‌های خاکی و سنگی وجود دارد. وجود همبستگی میان تصاویر باندهای چند طیفی حکایت از وجود اطلاعات مشترک، و یا به عبارت دیگر تکرار اطلاعات است. وجود اطلاعات مشترک در باندها به صورت همبستگی میان آن‌ها آشکار می‌شود.

9. Principal Component Analysis

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

اطلاعات موجود در باندهای چند طیفی غالباً ابعادی کم‌تر از تعداد باندها دارند هدف از آنالیز مؤلفه‌های اصلی تعیین تعداد ابعاد موجود در یک مجموعه اطلاعاتی است. تعیین ضرایب شاخص موقعیت محورهایی که دلالت بر وجود حداکثر تغییرپذیری را دارند از اهداف دیگر آنالیز مؤلفه‌های اصلی است. این محورها همبستگی ندارند. انتظار می‌رود که تبدیل مؤلفه‌های اصلی یک سری تصاویر چندطیفی بتواند ابعاد اطلاعات و محورهای اصلی تغییرپذیر را در اطلاعات تعیین کند. این خصوصیات آنالیز مؤلفه‌های اصلی برای فشرده‌کردن اطلاعات بسیار مفید است. به این ترتیب برای هر مؤلفه اصلی یا بردار ویژه متناظراً یک تصویر که معرف تغییرپذیری در جهت آن بردار است به‌دست می‌آید[۱]،[۳]،[۱۵]. لذا با این اهداف آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی باندهای یک تا نه داده‌های استر ناحیه پژوهش صورت گرفته است که در ادامه از نتایج این آنالیز استفاده شده است.

تهیه ترکیب‌های رنگی[۱۰]

از آن‌جا که اغلب تصاویر ماهواره‌ای در فرمت‌های چندباندی موجود است، بررسی داده‌های یک باند در برهه‌ای از زمان حداکثر اطلاعات را به‌دست نمی‌دهد. آگاهی از روابط متقابل بین طول موج‌های مختلف برای شناسایی عوارض و انواع مختلف پوشش زمین بسیار مهم است و نمایش دادن بیش از یک باند به‌طور هم‌زمان برروی سیستم پردازش تصویر و تهیهٔ نسخهٔ چاپی چندباندی سودمند و ثمربخش خواهد بود این کار اغلب از طریق به‌کارگیری تصاویر ترکیبی رنگی میسر است. در این حالت سه باند از داده‌ها به رنگ‌های آبی، سبز و قرمز نمایش داده می‌شوند. همچنان که در بخش‌های قبلی گفته شد در ساخت ترکیب‌های رنگی کاذب بهتر است از باندهایی که همبستگی کم‌تری نسبت به هم دارند استفاده شود. یک روش برای مشخص‌کردن باندهای سه‌گانه استفاده از فاکتور شاخص بهینه[۱۱] ***(OIF)*** بدین‌صورت زیر است.

$$OIF = \frac{\sum_{k=1}^{3} S_k}{\sum_{j=1}^{3} r_j}$$

10. Colour Composite Image
11. Optimum Index Factor

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

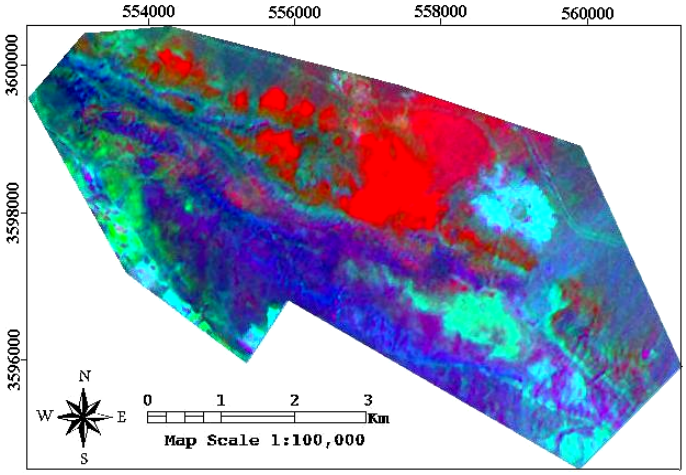
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

که در آن S_k انحراف معیار باند $r_{j,k}$ ضریب هم‌بستگی دو باند از ترکیب سه باند است.[۳]، [۱۵].

هرچه شاخص ***OIF*** بالا باشد باندهای سه‌گانه ترکیب رنگی کاذب برای تفکیک مناسب‌ترند. با استفاده از نرم افزار ترکیب‌های رنگی کاذب(آبی-سبز- قرمز)۱-۴- ۹، ۱-۳-۱،۶-۴-۷، ۳-۵-۱،۸-۳-۸ و۱-۳-۹ از باندهای مختلف تهیه شده است بر اساس ***OIF*** (جدول۲) ترکیب ۱-۳-۸ و همچنین ترکیب رنگی حاصل از سه مؤلفه اول آنالیز مؤلفه‌های اصلی تمام باندها برای تفکیک واحدهای سنگی و تشخیص نوع لیتولوژی مناسب‌تر تشخیص داده شده است (شکل۲ و۳).

جدول۲. مقادیر محاسبه شده شاخص *OIF* برای ترکیب‌های رنگی مختلف از داده‌های استر ناحیهٔ پژوهش

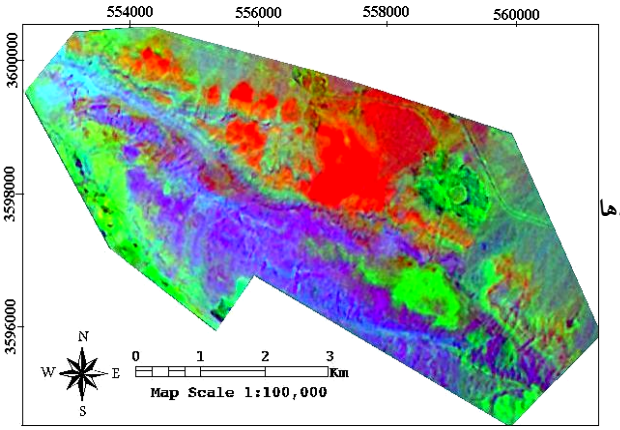
ترکیب سه باندی	مقدار شاخص OIF
۹-۴-۱	۲۲،۳۱
۶-۳-۱	۱۵،۸۰
۷-۴-۱	۲۰،۲۱
۸-۵-۳	۲۹،۴۵
۸-۳-۱	۲۹،۵۲
PCA1-PCA2-PCA3	۳۷،۰۱



شکل۲. بهترین تصویر ترکیب رنگی کاذب(*RGB*) محدودهٔ پژوهش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]



شکل ۳.ترکیب رنگی کاذب از مؤلفه‌های ۱و۲و۳ ،*PCA* تمام باندها

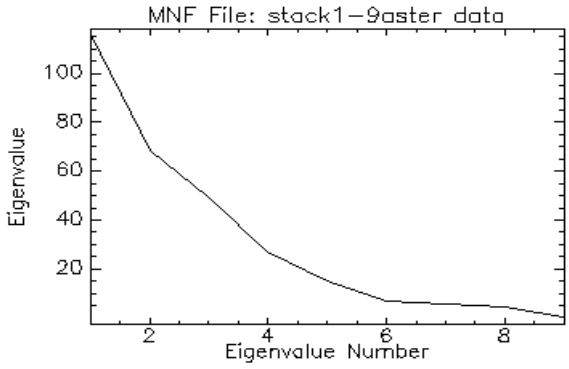
روش حداقل سهم پارازیت:*MNF*

از آن‌جا که اصولاً داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی حاوی درصدی پارازیت ناشی از جذب و پراکندگی اتمسفری و همچنین تغییرات در انعکاس از پوشش‌های سطحی ناشی از زبری سطح و سایر عوامل توپوگرافی و بافت زمین هستند، این عوامل در عمل باعث کاهش دقت الگوریتم‌های متداول طبقه‌بندی می‌شوند. هدف اصلی در روش حداقل سهم پارازیت ***(MNF)*** شناسایی و جداسازی سهم پارازیت در بین تصاویر باندهای مختلف چندطیفی است. الگوریتم ***MNF*** در حقیقت یک روش اصلاح شدهٔ آنالیز مؤلفه‌های اصلی است که در دو مرحله انجام می‌پذیرد. بدین منظور و در مرحلهٔ اول از طریق آنالیز مؤلفه‌های اصلی پیشرو و دوران‌یافته اقدام به تعیین سهم تغییرپذیری‌های پارازیتی هم‌بسته با استفاده از مقادیر ویژه ماتریس کوواریانس پارازیت بین باندهای اولیه می‌شود. در انتهای مرحلهٔ اول داده‌های تبدیل یافته‌ای که دارای سهم واریانس پارازیتی واحد و غیر هم‌بسته بین مؤلفه‌ای‌اند حاصل می‌شود. سپس در مرحلهٔ دوم یک آنالیز مؤلفه‌های اصلی استاندارد بر روی داده‌های تبدیل یافته که از نظر پارازیت دارای سهم واریانس واحدند صورت می‌گیردکه به دلیل سهم یک‌سان و کوچک پارازیت‌های غیرهمبسته در داده‌های تبدیل یافتهٔ مرحله اول، این تغییرپذیری‌های ناشی از پارازیت در مؤلفه‌های انتهایی***MNF*** قرار می‌گیرند. بدین ترتیب می‌توان آن‌ها را به‌راحتی حذف کرد و از طریق تبدیل مؤلفه‌های اصلی معکوس به داده‌های با حداقل سهم پارازیت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

دست یافت. به‌طورکلی بیش‌ترین کوواریانس پارازیت بین سیگنال‌های اولیه مقادیر ویژه بزرگ مؤید سهم تغییرپذیری بیش‌تر در مؤلفهٔ مربوطه می‌شود که به ترتیب نزولی سهم تغییرپذیری از ***MNF1*** تا حداکثر تعداد بارهای ورودی اولیه نام‌گذاری می‌شوند[۹]،[۱۲].

به عنوان قاعده‌ای کلی، مقادیر ویژه کوچک‌تر از واحد نشان دهندهٔ باقی‌ماندن سهم پارازیت در مؤلفه‌های مربوطه خواهند بود. بنا بر این می‌توان از طریق تبدیل ***MNF*** به ابعاد طیفی واقعی تصاویر چندطیفی پی برد و با حذف اطلاعات تکراری و به‌کارگیری تعداد کم‌تری مؤلفه نه تنها از حجم محاسبات کاست، بلکه به دقت‌های افزون‌تری از نظر طبقه‌بندی پدیده‌های طیفی دست یافت[۹]،[۱۲]. در شکل۴ مقادیر ویژه ***MNF*** برای منطقهٔ پژوهش نشان داده شده است. با توجه به این‌که مقادیر ویژه ***MNF8*** و ***MNF9*** ناچیز است و سهم پارازیتی بیش‌تری دارند از این دو صرف‌ظر شده است.



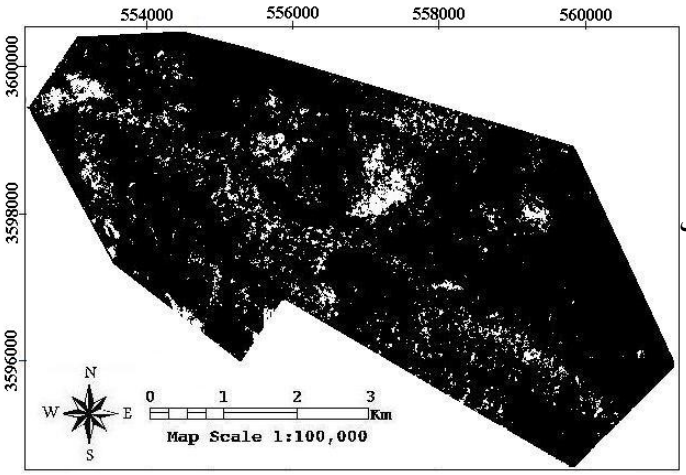
شکل۴. میزان مقادیر ویژهٔ محاسبه شده برای *MNF* تمام باندها

روش اندیس خلوص پیکسلی *PPI*

PPI برای یافتن پیکسل‌هایی که از نظر طیفی خالص هستند، در تصاویر چندطیفی به‌کار می‌رود. اندیس خلوص پیکسلی از طریق تکرار و تصویر پلات پراکندگی ***n*** بعدی بر روی یک بردار واحد با امتداد تصادفی محاسبه می‌شوند. تعداد کل دفعاتی که هر پیکسل به عنوان پیکسل انتهایی ظاهر می‌شود محاسبه می‌شود و در نهایت یک تصویر خلوص پیکسلی ایجاد می‌شود که در آن ارزش هر پیکسل متناسب با تعداد دفعاتی است که آن پیکسل به عنوان پیکسل انتهایی ظاهر شده است. معمولاً ***PPI*** را بر روی نتیجه تبدیل***MNF*** که در آن

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

باندهای حاوی پارازیت حذف شده‌اند اجرا می‌کنند و نتیجهٔ ***PPI*** به عنوان ورودی نمایش‌گر ***n*** بعدی[12] به‌کار گرفته می‌شود. پس از انجام پروسه ***PPI*** پیکسل‌های روشن معرف آن‌هایی هستند که از نظر طیفی خالص‌تر هستند تصاویر ***PPI*** به‌عنوان سایت‌های آزمایش در طبقه‌بندی هدایت‌شده به‌کار گرفته می‌شود. پس از تعیین پیکسل‌های خالص برای جدایش این پیکسل‌ها به عنوان سایت‌های آزمایشی از نمایشگر ***n*** بعدی استفاده می‌کنیم[۱۰]. در شکل۵ پیکسل‌های خالص طیفی در منطقه پژوهش به رنگ روشن به نمایش در آمده است.



شکل۵. پیکسل‌های خالص طیفی در منطقه پژوهش

به‌کارگیری نمایش‌گر *n* بعدی

نمایشگر ***n*** بعدی پروسه‌ای است که با همراهی ***MNF*** و ***PPI*** به‌کار برده شود طبقه‌بندی دقیقی بر روی پیکسل‌های حاوی خلوص کامل‌تر در تصاویر صورت خواهد گرفت. همچنین از ***n-Dvisualizer*** برای کنترل قابلیت جداپذیری زون‌های آزمایشی تعریف شده در ناحیه دلخواه می‌توان استفاده کرد[۷]،[۸].

در شکل۶ نمایش‌گر ***n*** بعدی منطقه پژوهش نشان داده شده است که۱۴ کلاس مختلف از هم جدا شده‌اند. در نهایت با استفاده از کلاس‌بندی هدایت‌شده از نوع حداکثر شباهت تصویر طبقه‌بندی شده منطقه پژوهش به‌دست آمد که در شکل۷ نشان داده شده است.

12. N-Dimensienal Visualizer

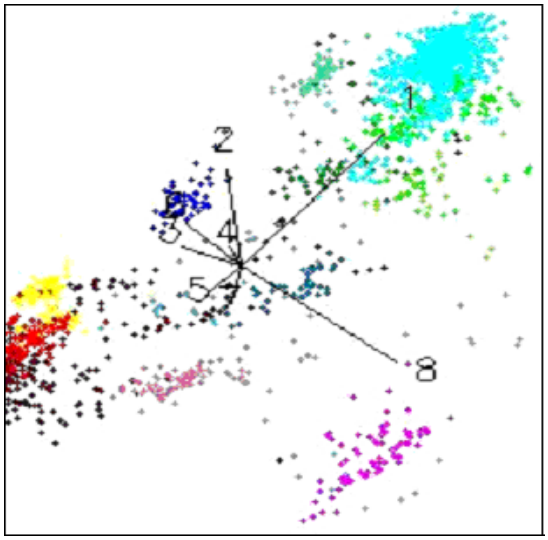
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

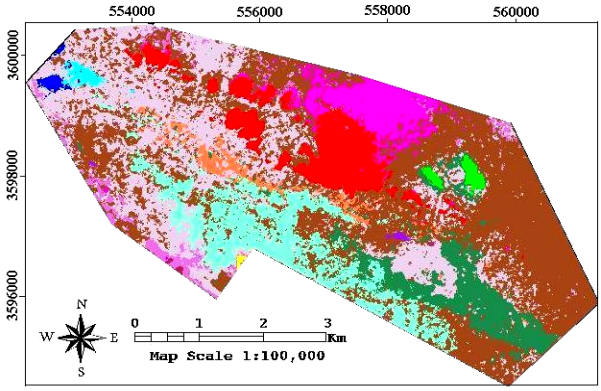
پردازش‌های نهایی

اجرای فیلتر *Majority Analysis*: استفاده از این آنالیز باعث به وجود آوردن کلاس‌های بزرگ‌تر می‌شود. این آنالیز موجب تعلق گرفتن پیکسل‌های پراکنده در بین یک کلاس بزرگ تنها، به آن کلاس می‌شود.

اجرای فیلتر *Clump*: این پردازش برای انتقال پیکسل‌های حد واسط کلاس‌ها به درون کلاس‌ها بر روی تصویر طبقه‌بندی شده انجام می‌شود. در شکل۸ تصویر طبقه‌بندی شده منطقهٔ پژوهش بعد از انجام پردازش‌ها نشان داده شده است.



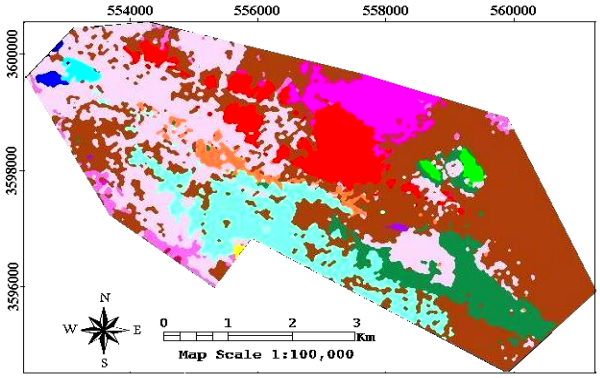
شکل۶. نمایش‌گر *n* بعدی که در آن سایت‌های آزمایشی منطقه به رنگ‌های مختلف جدا شده



شکل۷. کلاس‌بندی هدایت شده از نوع حداکثر شباهت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

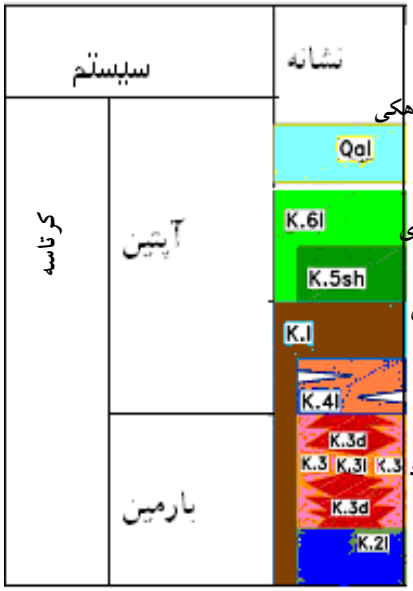
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]



شکل۸. کلاس‌بندی منطقه بعد از پردازش‌های نهایی

با مقایسه نقشهٔ طبقه‌بندی شده نهایی(شکل۸) با نقشه زمین‌شناسی منطقه و همچنین برداشت‌های صحرایی برای کنترل نتایج می‌توان راهنمای این نقشه را به منظور تفکیک سنگ‌شناسی سطحی به صورت زیر در شکل ۹ ارائه کرد:

طبقات مارنی و شیل‌های ابیتولی



Qalآبرفتهای رودخانه‌ای عهد حاضر

K6lطبقات مارنی و شیل‌های اربیتولین دار

K5shشیل خاکستری تا تیره و مارن با عدسی‌های آهکی آهکی

Klآهک اربیتولین دار خاکستری رنگ با لایه‌های نازک تا توده‌ای با عدسی‌هایی از دولومیت تیره تا قهوه‌ای

K4lآهک اربیتولین دار با لایه بندی خوب حاوی عدسی‌های دولومیتی

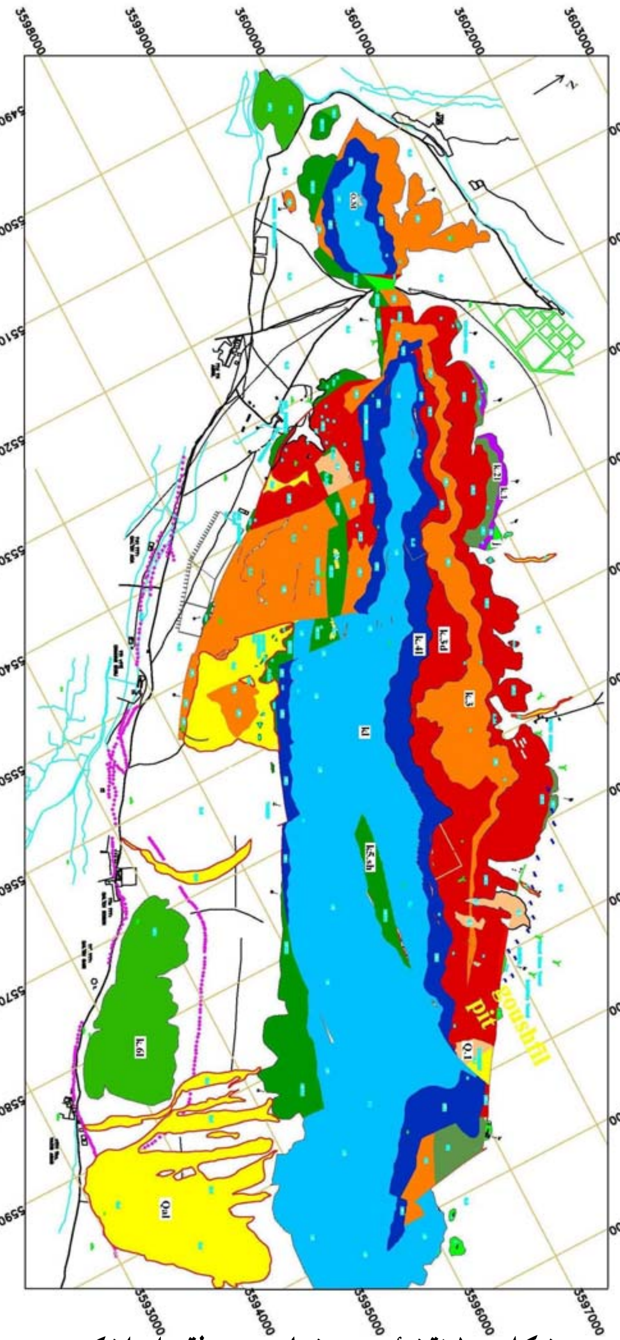
K3d و ***K3l***دولومیت قهوه‌ای تا خاکستری تیره با لایه‌بندی متوسط تا نازک حاوی ماده معدنی معدنی

K3 آهک خاکستری رنگ با ضخامت متوسط حاوی عدسی‌های دولومیتی زرد تا قهوه‌ای رنگ

K2lآهک اربیتولین دار خاکستری تا خاکستری مایل به زرد با لایه‌بندی متوسط

شکل ۹. نمودار راهنمای سازندهای تفکیک شده در شکل ۸

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]



شکل ۱۰.نقشهٔ زمین‌شناسی منطقه ایران‌کوه

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

به‌طوری‌که در شکل۹ مشاهده می‌شود تصویر طبقه‌بندی شده منطقه(شکل۹) حدود هشت واحد سنگی محدده پژوهش را که در سطح رخنمون دارند تفکیک کرده است همچنین واحدهای سنگی که به رنگ ارغوانی در این تصویر مشاهده می‌گردد واریزه‌های دولومیت‌های آهن‌دار هوازده است. در ضمن نقشه زمین‌شناسی منطقه پژوهش در شکل۱۰ با همان نشانه‌های شکل۹ بدون در نظر گرفتن رنگ آن‌ها به پیوست ارائه شده است، با بررسی‌های صحرایی مشاهده شد که اختلافات کم تصویر طبقه‌بندی واحدهای سنگی با نقشه زمین‌شناسی مقداری ناشی از خطای عملیات و بخشی به دلیل خطای داده‌های ماهواره‌ای و پردازش آن‌ها است ضمناً ستون چینه‌شناسی نشان داده شده حاصل نقشهٔ زمین‌شناسی و کارهای صحرایی بوده که با مقایسه تصویر نهایی داده‌های ماهواره‌ای با نقشه زمین‌شناسی منطقه و کنترل‌های صحرایی جایگاه واحدهای تفکیک شده در آن مشخص گردیده است.

نتیجه گیری

در تهیهٔ نقشهٔ طبقه‌بندی شده بسته به میزان هم‌بستگی داده‌های سنجش از دور منطقه روش‌های خاصی را می‌توان انتخاب کرد. به این صورت که اگر داده‌های ماهواره‌ای منطقه هم‌بستگی اندکی داشته باشند روش‌های معمول طبقه‌بندی نیز قادرند واحدهای مختلف را متمایز کنند؛ ولی در صورت وجود هم‌بستگی اندک داده‌ها باید تمهیداتی برای حذف اطلاعات مشترک و تعیین جهات حداکثر تغییرپذیری به‌کار گرفته شود و به هیچ وجه نباید از داده‌های خام برای طبقه‌بندی استفاده کرد. در این مقاله نیز با پردازش‌های مختلف و تصحیحات لازم و حذف پارازیت‌ها برای تعیین جهات اصلی تغییر پذیری نقشه طبقه‌بندی شده واحدهای سنگی منطقه تهیه گردیده است. در آخر با توجه به بررسی‌های انجام شده به منظور تفکیک واحدهای سنگی منطقه، اگر چه از تصویر طبقه‌بندی شده نهایی نتوان به‌عنوان نقشه واحدهای سنگی استفاده کرد اما آن را می‌توان به عنوان نقشهٔ خام واحدهای سنگی و یا به‌عنوان راهنما و تکمیل کنندهٔ خوب به ضمیمه کنترل‌های صحرایی در تهیهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی به‌کار گرفت. در واقع

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

روش به‌کار گرفته شده در این مقاله راهنمای بسیار خوبی برای تهیه کنندگان نقشه‌های زمین‌شناسی برای سرعت بخشیدن و همچنین افزایش دقت در تهیه این‌گونه نقشه‌ها است.

منابع

۱.پل ام. میدز، *پردازش کامپیوتری تصاویر سنجش از دور*، ترجمه نجفی دیسفانی، تهران، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، ۱۳۷۷.

۲.علیزاده ربیعی،ح،*سنجش از دور(اصول و کاربرد)*،تهران سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، ۱۳۸۰.

۳. قائدرحمتی، ر.، *مطالعه پیوستگی وگسترش ابعادی کانیسازی سرب و روی در محدوده یال شمالی ایرانکوه با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی وتلفیق اطلاعات اکتشافی*، دانشگاه صنعتی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۱.

۴. گیاهچی، پانته‌آ، *"مقدمه‌ای بر کاربرد سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی وGIS در زمین شناسی*، ۱۳۸۰

۵. لگ، کریستوفر، ترجمه فرهت‌جاه، *دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی*، نیروهای مسلح، ۱۳۷۹.

6. Bonham-Carter, G.F. geographic information system for Geoscientists, Modelling with GIS(1994).

7. Boardman, Joseph W., Fred A. Kruse, Robert O. Green "Mapping Target Signatures via Partial Unmixing of AVIRIS Data" 5th Annual JPL Airborne Earth Science Workshop, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, JPL Pub. 95-1, V.1(1995) 23-26.

8. Boardman, Joseph W. "Analysis, understanding and visualization of hyperspectral data as convex sets in n-space" SPIE Proceedings, Vol. 2480(1995) 14-22.

9. Boardman, J. W., and Kruse, F. A., 1994, Automated spectral analysis: a geological example using AVIRIS data, north Grapevine Mountains,

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]

Nevada: in Proceedings, ERIM Tenth Thematic Conference on Geologic Remote Sensing, Environmental Research Institute of Michigan, Ann Arbor, MI, pp. I-407 - I-418.

10.Craig, Maurice, D. "Minimum Volume Transforms for Remotely Sensed Data" IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 32 (1994) 542-552.

11.] ENVI 3.5, Manual(2001).

12. Green, A., M. Berman, P.Switzer, and M.D. Craig, A Transformation for ordering Multispectral Data in Terms of Image Quality with Implications for Noise Removal, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 26, no.1(1988) 65-74.

13.Hook.S.J,ASTER Validation plan version 1.03(2000).

14. Rastad, E., Geologocal, mineralogical and facies investigations on the lower cretaceous strataband Zn, Pb, (Ba,Cu) deposits on the Irankuh mountain range, Isfahan west central Iran, Ph. D. Thesis(1981).

15. Sheffield, C., Selecting band combinations from multispectral data, photogrametric Engineering and Remote sensing, Vol.51., No.6 (1985).

16.Vincent, R. k., Fundamentals of geological and environmental remote sensing, Bowling Green State University(1997).

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[DOR: 20.1001.1.22286837.1386.2.2.2.4]