آشکارسازی دولومیت‌های ماسه‌ای آهن‌دار مرتبط با کانی سازی سرب و روی به روش تحلیل مؤلفه های اصلی داده های ماهواره ای TM

رضا قائدرحمتی [۱*]، نادر فتحیان‌پور

۱. مربی، دانشگاه لرستان، دانشکده فنی مهندسی، گروه معدن

۲. استادیار دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده معدن

E-mail: rezaghaedrahmaty@yahoo.com

چکیده

آنالیز مؤلفه‌های اصلی بر روی شش باند لندست TM (باندهای ۱،۲،۳،۴،۵،۷) با هدف جداسازی رخنمونهای دولومیت ماسه‌ای آهن‌دار از دیگر رخنمونهای کربناته(آهک، آهک دولومیتی و دولومیت های کم آهن) در ناحیه یال شمالی-جنوبی ایرانکوه واقع در ۲۰ کیلومتری جنوب غرب اصفهان بکار گرفته شده است. طبق نتایج بدست آمده بیش از ۹۸/۷ درصد تغییرات در مؤلفه های اول تا سوم ظاهر می شوند. در روش مورد استفاده رابطه ضرائب بردارهای ویژه و باندهای مجزای مرئی و فروسرخ بازتابی بگونه‌ای است که مؤلفه اول بیانگر سپیدائی عمومی صحنه بوده و مؤلفه دوم مربوط به اختلاف تأثیرباندهای مرئی و فروسرخ میانی است ولذا بدلیل حضور آهن و ماسه‌های سیلیسی در واحد دولومیت ماسه‌ای از این مؤلفه برای بارزسازی دولومیتها استفاده شده‌است. همچنین تطبیق نتایج حاصل با نقشه زمین شناسی منطقه همبستگی بالائی را نشان می دهد. مؤلفه‌های دیگر بدلیل همبستگی بالای بین داده‌های باندهای مختلف دارای درصد واریانس کمتر و تصاویر مربوطه آنها بصورت تیره و غالباً با توزیع تصادفی دیده می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: دولومیت، ضرائب بردارهای ویژه، باندهای مجزای مرئی و فروسرخ میانی، مؤلفه اصلی، درصد واریانس.

[*]دانشگاه لرستان، دانشکده فنی مهندسی، گروه معدن

مقدمه

اطلاعات موجود در باندهای چند طیفی غالباً دارای ابعادی کمتر از تعداد باندها می‌باشند. یکی از اهداف اصلی از آنالیز مؤلفه‌های اصلی(Principal Component Analysis) تعیین تعداد ابعاد موجود در یک مجموعه داده های چند متغیره همانند داده های چند طیفی تصاویر ماهواره ای می باشد. تعیین ضرائب شاخص موقعیت محورهایی که دلالت بر وجود حداکثر تغییرپذیری را دارند، از اهداف دیگر آنالیز مؤلفه‌های اصلی است. این محورها بر هم عمود بوده و با هم همبستگی آماری ندارند. انتظار می‌رود که تبدیل مؤلفه‌های اصلی یک سری تصاویر چند طیفی بتواند ابعاد اطلاعات و محورهای اصلی تغییرپذیر را در مجموعه داده ها تعیین نماید.

در این مقاله بر اساس بررسی ضرائب بردارهای ویژه مشخص می شود که کدام یک از تصویرهای مؤلفه اصلی اطلاعات مربوط به نشانهای طیفی هدف‌های خاص را بطور مستقیم متمرکز می‌کند. این روش برای اولین بار توسط Crosta and MC.M.Moore,1989 پیشنهاد گردید، بطوریکه بتوان یک هدف خاص را در یکی از تصاویر مؤلفه اصلی با پیکسلهای روشن و نسبت به سایر پدیده ها نشان داد.

ارتباط ماده معدنی(سرب و روی) در ناحیه ایرانکوه (مجتمع معادن شرکت باما) با دولومیتهای ماسه‌ای آهن‌دار، تعیین و تفکیک این رخنمونها را اجتناب ناپذیر نموده است. پیچیده‌گی‌های ژنتیکی خاص در ناحیه ایرانکوه، تشخیص و جداسازی مرز دقیق دولومیتها از آهک و آهکهای دولومیتی را مشکل نموده است. بدین منظور با پردازش داده‌های سنجش از دور محدوده مورد مطالعه(داده های هفت باند لندست TM) و بکارگیری روش PCA دولومیتهای ماسه‌ای آهن دار بخوبی از دیگر رسوبات تفکیک و با نواحی که نقشه زمین شناسی آنها قبلاً تهیه شده بود کنترل گردیده اند .

داده‌های مورد مطالعه بخشی از ربع دوم قطعه ۱۶۴/۳۷ را که در سال ۱۹۹۶ برداشت شده شامل می‌شوند. تصویر هرکدام از این باندهای TM یال شمالی-جنوبی ایرانکوه از محدوده معدن گوشفیل تا معدن گردنه را پوشش می دهد.

همبستگی بین داده‌های طیفی در محدودهٔ مورد مطالعه

برای محاسبه همبستگی بین تصاویر باندهای مختلف، ضرایب همبستگی برای دو به دو باندهای مختلف (باند ۶ در نظر گرفته نمی‌شود، چرا که مربوط به طول موجهای حرارتی است) محاسبه شده و در نتیجه ماتریس همبستگی به صورت جدول1 بدست آمده‌است.

جدول ۱- ماتریس همبستگی باندهای TM در محدوده مورد مطالعه[محاسبه با استفاده از نرم‌افزار مربوطه]

	B1	B2	**B3**	B4	B5	B7
B1	۱,۰۰۰	۰,۹۵۹	۰,۸۹٤	۰,۷۳۸	۰,٦۹۳	۰,٦٤۳
B2	۰,۹۵۹	۱,۰۰۰	۰,۹۷۱	۰,۸٤٦	۰,۷۸۹	۰,۷٤۷
B3	۰,۸۹٤	۰,۹۷۱	۱,۰۰۰	۰,۹۰۲	۰,۸٦۱	۰,۸۳۱
B4	۰,۷۳۸	۰,۸٤٦	۰,۹۰۲	۱,۰۰۰	۰,۸۸٤	۰,۸٤۵
B5	۰,٦۹۳	۰,۷۸۹	۰,۸٦۱	۰,۸۸٤	۱,۰۰۰	۰,۹۷۸
B7	۰,٦٤۳	۰,۷٤۷	۰,۸۳۱	۰,۸٤۵	۰,۹۷۸	۱,۰۰۰

چنانچه در این ماتریس مشخص است همبستگی بین باندهای مختلف یا به عبارت دیگر بین تصاویر باندهای مختلف در محدوده مورد مطالعه بالاست. به همین خاطر تصاویر باندهای مختلف در نمایش کلی سازندهای منطقه روند تقریباً یکسانی را به نمایش می‌گذارند. کمترین همبستگی مربوط به باندهای ۱ و ۷ می‌شود که ۰/۶۴۳ می‌باشد.

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 پائین باشد، که از آنها می‌توان در ساخت ترکیب‌های رنگی و نسبت‌های مختلف در واضح‌سازی سازندهای مختلف استفاده کرد[۴].

تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای شش باند TM

برای محاسبه مؤلفه‌های اصلی داده‌های TM محدودهٔ مورد مطالعه از تصاویر گسترش یافته باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۷ لندست TM استفاده شده است. نتایج مربوط به آنالیز مؤلفه‌های اصلی داده‌ها بر اساس ماتریس همبستگی- کوواریانس در جداول۲و۳ آورده شده است. همچنانکه مشاهده می‌شود، بیشترین تغییرپذیری را مؤلفه C_1 با ۸۶/۶۶٪ کل واریانس دارا می‌باشد. مؤلفه‌های C_2 و C_3 بترتیب حدود ۱۰ و ۳ درصد کل واریانس را به خود اختصاص می‌دهند. دیگر مؤلفه‌ها دارای درصد تغییرپذیری کمتر از ۱ درصد می‌باشند.

مؤلفه اصلی C_1 دارای بارهای بسیار بالا در تمام باندها است که نشان دهندهٔ همبستگی نسبتاً بالای بین باندها می‌باشد. تصویر مربوط به این مؤلفه دارای روشنایی کلی در تمام صحنه تصویر می‌باشد. این تصویر مشخص‌کننده میانگین وزن‌دار باندهای اولیه می‌باشد. این مؤلفه با بیشترین تغییرپذیری با باروری بالا مشخص‌کننده روشنایی کلی صحنه و یا میزان انعکاس زمینه می باشد[۵].

مؤلفه C_2 با مقادیر متوسط تا پائین بارهای منفی در نواحی مرئی (TM_3, TM_2, TM_1) و مقادیر متوسط تا پائین بارهای مثبت در نواحی مادون قرمز انعکاسی (TM_7, TM_5, TM_4) نشان‌دهندهٔ اختلاف بین باندهای مرئی و باندهای مادون قرمز میانی است. سازندهایی که بیشترین بازتابش را در نواحی طیف مرئی دارند در تصویر مربوط به مؤلفه دوم یعنی C_2 بصورت تیره و آنهایی که دارای بیشترین بازتابش در نواحی طیفی مادون قرمز میانی هستند در این تصویر به صورت روشن دیده می‌شوند.

با توجه به مشخصات طیفی کانیهای دولومیت و کلسیت (آهک) این دو کانی در تمام باندها دارای میزان رفلکتانس بالایی بوده و باندهای مرئی و مادون قرمز آنها از لحاظ بازتابش اختلاف قابل مشاهده‌ای ندارند و این دو سازند دارای روند رفلکتانس تقریباً یکسانی می‌باشند، پس نمی‌توان این سازندها را توسط مؤلفه C_2 تشخیص داد. دولومیتهای ماسه‌ای آهن‌دار به دلیل وجود آهن و کوارتز در نواحی مادون قرمز میانی دارای بازتابش بالایی می‌باشند و در نواحی مرئی سطح بازتابش پایینی دارند لذا بنا به تحلیلهای قبل

منطقه روشن در تصویر مؤلفه دوم مشخص کننده این نواحی می‌باشد. تصاویر مربوط به C_3 و C_4 و C_5 و C_6 بخاطر پایین‌بودن مقادیر مؤلفه‌های بردار بار مربوطه تیره دیده می‌شوند. شکل ۱ تصویر مؤلفه دوم را نشان می‌دهد. در این شکل دولومیتهای ماسه‌ای آهن‌دار با پیکسلهای روشن از سایر رسوبات تفکیک شده‌اند[۲و۳].

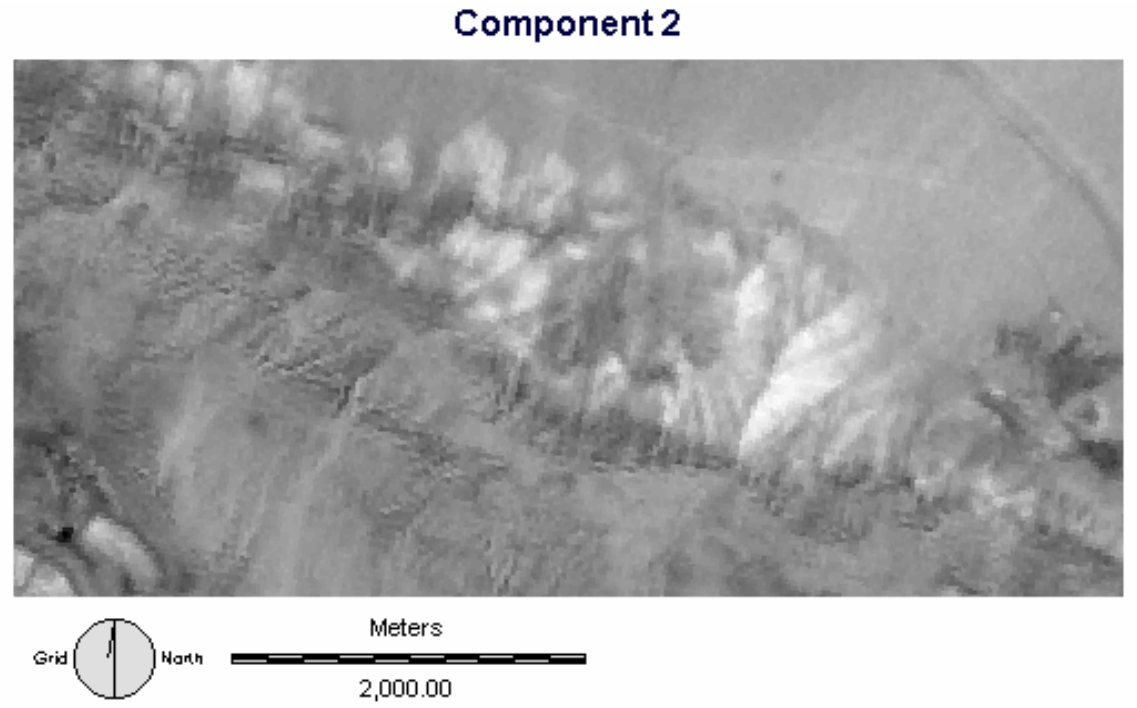
با استفاده از مشخصات طیفی دولومیت، آهک، آهن، باریت و به کمک جداول توزیع رفلکتانس و با بکارگیری نسبتهای طیفی مختلف از جمله تشکیل نسبت طیفی $r[r(5,2),r(7,5)]$ که مشخص کننده دولومیت آهن‌دار می‌باشد صحت تحلیل فوق در بارزسازی دولومیتهای ماسه‌ای آهن‌دار تأیید شده‌است[۱]. در ادامه جهت تأئید این مطالعات بخشهای دولومیتی با کمک نسبتهای طیفی و کامپوزیت‌های رنگی مورد مطالعه و تفکیک قرار می‌گیرد. در نهایت کنترلهای صحرایی جهت تأیید مطالعات، صورت گرفته و نتایج مثبت ارزیابی گردیده است.

جدول۲- مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس همبستگی باندهای TM

مؤلفه اصلی	C1	C2	C3	C4	C5	C6
درصد واریانس	۸۶,۶۶	۹,۵۲	۲,۵۷	۰,۸۱	۰,۲۸	۰,۱۶
مقدار ویژه	۵,۲	۰,۵۷	۰,۱۵	۰,۰۵	۰,۰۲	۰,۰۱
عضو اول بردار ویژه	۰,۳۸۷	-۰,۵۷۸	۰,۳۱۲	-۰,۵۵۱	۰,۱۵۹	-۰,۳۰۱
عضو دوم بردار ویژه	۰,۴۱۷	-۰,۳۸۶	۰,۰۲۲	۰,۲۶۰	-۰,۰۹۸	۰,۷۷۴
عضو سوم بردار ویژه	۰,۴۲۹	-۰,۱۶۱	-۰,۱۰۷	۰,۶۸۳	-۰,۰۹۷	-۰,۵۵۰
عضو چهارم بردار ویژه	۰,۴۱۰	۰,۱۶۸	-۰,۸۲۴	-۰,۳۱۷	۰,۱۵۵	۰,۰۱۱
عضو پنجم بردار ویژه	۰,۴۰۹	۰,۴۴۱	۰,۲۴۶	-۰,۲۳۳	-۰,۷۲۴	-۰,۰۲۱
عضو ششم بردار ویژه	۰,۳۹۶	۰,۵۱۸	۰,۳۸۸	۰,۰۹۳	۰,۶۳۹	۰,۰۸۴

جدول ۳- ماتریس ضرائب(بار) حاصل از بردارهای ویژه در جدول۱

	C1	C2	C3	C4	C5	C6
B1	۰,۸۸۲	-۰,۴۳۷	۰,۱۲۳	-۰,۱۲۱	۰,۰۲۱	-۰,۰۲۹
B2	۰,۹۵۲	-۰,۲۹۲	۰,۰۰۸	۰,۰۵۷	-۰,۰۱۳	۰,۰۷۵
B3	۰,۹۷۹	-۰,۱۲۲	-۰,۰۴۲	۰,۱۵۰	-۰,۰۱۳	-۰,۰۵۴
B4	۰,۹۳۵	۰,۱۲۷	-۰,۳۲۴	-۰,۰۷۰	۰,۰۲۰	۰,۰۰۱
B5	۰,۹۳۲	۰,۳۳۳	۰,۰۹۷	-۰,۰۵۱	-۰,۰۹۴	-۰,۰۰۲
B7	۰,۹۰۳	۰,۳۹۲	۰,۱۵۲	۰,۰۲۰	۰,۰۸۳	۰,۰۰۸



شکل ۱- تصویر مؤلفه دوم از تبدیل مؤلفه‌های اصلی شش باند در یال شمالی-جنوبی ایرانکوه که دولومیتهای ماسه‌ای آهن‌دار را با پیکسلهای روشن نمایان می‌کند

محاسبه نسبتهای مهم برای جداسازی آهک و دولومیت

با توجه به شناختی که از زمین‌شناسی منطقه وجود دارد واحدهای سنگی مختلف منطقه شامل آهک، دولومیت، شیل و بخش‌های دولومیتی آلتره شده که احتمالاً حاوی دولومیت‌های آهن‌دار و اکسیدهای آهن هستند، می‌باشند. به همین منظور جدول توزیع رفلکتانس طیفی شش باند TM برای دولومیت،کلسیت، سیدریت ، اسمیت زونیت و باریت که احتمالاً در بخش‌های آلتراسیون همراه سنگ‌های باریتی می‌باشد تهیه و مورد بررسی قرار گرفت همچنین جدول توزیع رفلکتانس طیفی نسبتهای مختلف این باندها برای موارد فوق نیز تهیه گردیده‌است. با توجه به این جداول نسبتهای مختلف زیر برای تفکیک واحدهای مختلف مناسب تشخیص داده شده‌اند.

نسبتهای طیفی برای جداسازی دولومیت:

الف- $r[r(5,2),r(7,5)]$

ب- $r[r(5,2),r(7,4)]$

ج- $r[r(5,2),r(7,3)]$

لازم به ذکر است که منظور از نسبت $r(7,5)$ یعنی نسبت باند ۷ به باند ۵ و منظور از نسبت آورده شده درالف نسبت $r(5,2)$ به $r(7,5)$ می‌باشد.

نسبتهای طیفی برای جداسازی آهک:

الف- $r[r(4,3),r(4,1)]$

ب- $r[r(4,3),r(3,2)]$

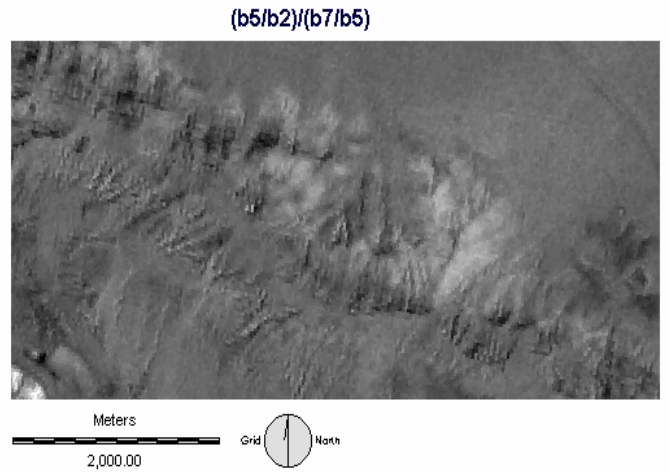
ج- $r[r(4,3),r(3,1)]$

در تصاویر مربوط به نسبتهای تفکیک دولومیت، روشن‌ترین منطقه مشخصه دولومیت و همچنین برای تصاویر مربوط به آهک روشن‌ترین منطقه مشخصه آهک می‌باشد. در نسبت $r[r(7/5),r(2/1)]$ نواحی آهکی تضعیف شده که این امر باعث رفع ابهام در تشخیص آهک و باریت در دیگر تصاویر می‌شود.

تصاویر مربوط به هر کدام از نسبتهای مختلف تهیه شده است. با توجه به این تصاویر بخش‌های دولومیتی و دولومیت آهن‌دار بخوبی مشخص می‌شود. همچنین بخش‌های آهکی و باریتی هم تقریباً قابل تفکیک است. تصویر نسبت مشخص‌کننده دولومیت آهن‌دار در شکل۱ نشان داده شده‌است. با توجه تصاویر حاصل از نسبتهای طیفی برای جداسازی دولومیت و آهک و دیگر سازندها بخشهای دولومیتی قابل تفکیک بوده که این نواحی تأئید کننده همان بخشهای جداسازی شده بوسیله روش PCA می‌باشد.

تهیه ترکیب‌های رنگی کاذب (False color composit) با هدف جداسازی دولومیتها

یکی از روشهای مؤثر برای تفکیک و جداسازی واحدهای مختلف ساخت ترکیبهای رنگی دروغین می‌باشد. تصویر کاذب رنگی، ترکیب سه باند مختلف است که بصورت رنگهای قرمز، سبز و آبی با هم ترکیب می‌شوند. چنانچه باندهای ترکیبی در طول موج آبی، سبز و قرمز باشد تصویر حاصله با رنگ واقعی به دست خواهد آمد. در صورتی که باندهای ترکیبی متفاوت از آبی، سبز و قرمز باشد تصویر حاصله رنگ کاذب خواهد داشت.



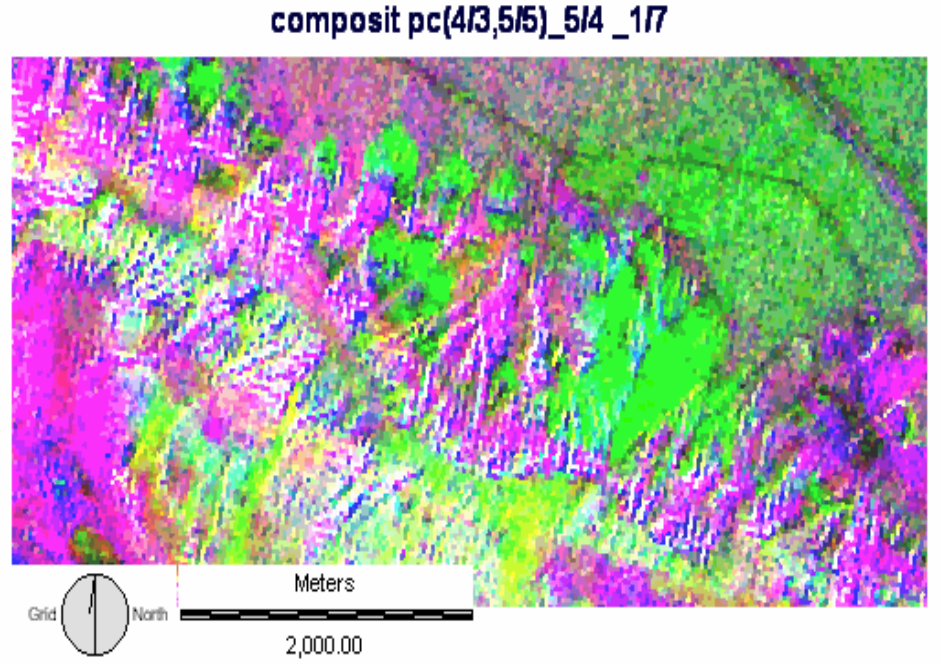
شکل ۲- تصویر مشخص کننده دولومیتهای آهن‌دار با پیکسلهای روشن

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 مشخص کردن باندهای‌سه‌گانه استفاده از فاکتور شاخص بهینه (Optimum Index Factor) (OIF) بصورت زیر می‌باشد[۴].

$$OIF = \frac{\sum_{k=0}^{3} S_k}{\sum_{j=1}^{3} r_j} \qquad (۱)$$

که در آن S_k انحراف معیار باند k و r_j ضریب همبستگی دو باند از ترکیب سه باندی می‌باشد.

هر چند شاخص OIF بالا باشد باندهای سه‌گانه ترکیب رنگی کاذب جهت تفکیک مناسب‌تر می‌باشند. با استفاده از نرم‌افزار، ترکیب‌های رنگی کاذب (آبی – سبز – قرمز) ۱-۴-۵، ۱-۴-۷، ۳-۴-۵، ۴-۵-۷ از باندهای مختلف تهیه شده است. بر اساس OIF ترکیب‌های ۱-۴-۷ و ۴-۵-۷ جهت تفکیک واحدهای دولومیتی و آهکی مناسب‌تر تشخیص داده شده‌اند. به همین دلیل این ترکیبات مورد بررسی بیشتر قرار گرفته‌اند. از این تصاویر مرزهای واحدهای سنگی مختلف را می‌توان تمیز داد و در تشخیص نوع لیتولوژی به همراه ملاکهای دیگر از جمله تصاویر بدست آمده از نسبت‌های طیفی استفاده شده است. ضمناً ترکیب رنگی $PC_2\left(\frac{4}{3},\frac{5}{7}\right)-5/4-1/7$ نیز برای جداسازی دولومیتها از آهکها پیشنهاد شده، که در آن $PC_2\left(\frac{4}{3},\frac{5}{7}\right)$ مؤلفه دوم از تبدیل مؤلفه‌های اصلی نسبتهای ۴/۳ و۵/۷ می‌باشد، این تصویر در شکل ۲ نشان داده شده‌است. در این تصویر دولومیتها با رنگ سبز از آهکهای با رنگ صورتی جدا شده‌اند[۲].



شکل ۳- تصویر ترکیب رنگی $PC_2\left(\frac{4}{3},\frac{5}{7}\right)-5/4-1/7$ داده‌های محدوده مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

در این مطالعات روشهای مختلفی جهت جداسازی دولومیتها از آهکها بکار گرفته شده است ولی هیچکدام از آنها دارای دقت و اعتبار روش PCA نمی‌باشند. با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان روش PCA را بعنوان کاراترین روش از روشهای سنجش از دور در به نقشه درآوردن دگرسانیها بکار گرفت. از آنجا که این روش دارای اساس ریاضی و محاسباتی دقیقی می‌باشد تحلیلهای مربوطه نیز دارای پایه و اساس دقیقی بوده و می‌توانند از اعتبار بالایی برخوردار می‌باشند. همچنین با توجه به نتایج مثبت مطالعات پیشنهاد می‌گردد در مناطقی که پوشیده از رسوبات کربناته آهکی و دولومیتی می‌باشد در صورتی که دولومیتها آلتره یا ماسه‌ای باشند، روش PCA می تواند بطور مؤثری برای جداسازی دولومیتها از دیگر واحدهای سنگی کربناته بکار گرفته شود.

منابع

[۱] Vincent, R. K., *Fundamentals of geological and environmental remote sensing* , Bowling Green state University, 1997.

[۲] Sheffield, C., *Selecting band combinations from multispectral data*, photogrametric Engineering and Remote sensing, Vol.51., No.6, 1985.

[۳] Loughlin, W. P., "*Principal Component analysis for alteration mapping*", Photogrametric Engineering & Remote Sensing, Vol. 57, No.9, pp. 1163-1169, 1991.

[۴] پل ام. میدز، ترجمه نجفی دیسقانی، *پردازش کامپیتوتری تصاویر سنجش از دور*، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها، ۱۳۷۷.

[۵] هاشمی تنگستانی، م.، کهنی‌پور،ف.، *مقایسه سه روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی در بارزسازی دگرسانی ذخایر مس پرفیری منطقه میدوک، استان کرمان*، فشرده مقاله‌های چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، تبریز، ۱۳۷۹.