

مقایسه نقشه‌های موجود زمین‌شناسی با نقشه حاصل از مطالعات دورسنجی (مطالعه موردی: حوزه ورتوان قزوین)

- ❖ جمال مصفايي*: استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
- ❖ محمدرضا اختصاصی: استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه یزد
- ❖ امین صالح پورجم: استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

شناخت واحدهای زمین‌شناسی، یکی از مطالعات پایه و اساسی در بسیاری از علوم مختلف از جمله منابع طبیعی قلمداد می‌شود. در حال حاضر در مطالعات تفصیلی اجرایی و حتی تحقیقاتی منابع طبیعی، استفاده از نقشه‌های تولید شده توسط سازمان زمین‌شناسی، اساس مطالعات زمین‌شناسی را تشکیل می‌دهد. از طرفی طی سال‌های اخیر، تکنولوژی سنجش از دور به‌عنوان یک ابزار جدید و کارآمد برای مطالعات زمین‌شناسی معرفی شده است که علاوه بر دقت مناسب، فواید دیگری از قبیل دسترسی به مناطق کوهستانی صعب‌العبور یا غیرقابل دسترس دارد. هدف از این تحقیق، مقایسه صحت نقشه‌های زمین‌شناسی موجود و نقشه‌های حاصل از مطالعات دورسنجی و پردازش تصاویر ETM+ ماهواره لندست نسبت به واقعیت‌های زمینی در حوزه آبخیز ورتوان قزوین است. بدین منظور پس از بررسی نقشه‌های موجود سازمان زمین‌شناسی، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی منطقه با استفاده از تکنیک‌های مختلف پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بارزسازی واحدهای سنگ‌شناسی از طریق ترکیبات مختلف رنگ‌مجازی (FCC)، تجزیه به مولفه‌های اصلی (PCA)، شاخص بهینه (OIF)، نسبت‌گیری طیفی (BR) شد که با توجه به تنوع سازندها و سنگ‌های مختلف در محدوده مطالعاتی، روش‌های رنگ‌مجازی و شاخص بهینه به ترتیب دارای بیشترین قابلیت برای تفکیک سازندها و سنگ‌ها بودند. ضریب کاپای معادل ۰/۳۹ بین نقشه حاصل از پردازش تصویری و نقشه زمین‌شناسی، گویای تطابق ضعیف بین دو نقشه است. بررسی صحت نقشه‌ها بر اساس واقعیت‌های زمینی، حاکی از صحت بیشتر نقشه پردازش تصویری (۰/۹۷/۵) نسبت به نقشه زمین‌شناسی موجود (۰/۵۴/۳) است.

واژه‌های کلیدی: نقشه زمین‌شناسی، نقشه پردازش تصویری، سنجش از دور، تصاویر لندست، حوزه ورتوان.

۱. مقدمه

اهمیت بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیکی به عنوان یکی از مطالعات پایه، باعث شده است که اکثر کشورها به منظور برنامه‌ریزی‌های عمرانی اقدام به مطالعه و تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی کنند به طوری که این مطالعات از اقدامات کلیدی در مراحل اولیه برنامه‌ریزی‌های عمرانی هر ناحیه محسوب شده و نقش عمده‌ای را در فازهای بعدی توسعه دارا می‌باشند [۱۳، ۱۵، ۲۲]. در مدیریت حوزه‌های آبخیز نیز مطالعات زمین‌شناسی نقش مهمی داشته و به منظور برآورد پتانسیل‌ها و قابلیت‌های منطقه، چگونگی بهره‌برداری منطقی از اراضی مختلف و منابع طبیعی موجود و در نتیجه برنامه‌ریزی صحیح ضروری به نظر می‌رسد [۱۴، ۱۶، ۱۷].

در حال حاضر بدون اینکه از صحت نقشه‌های زمین‌شناسی اطمینان حاصل شود، در اکثریت قریب به اتفاق مطالعات تفصیلی اجرایی ادارات منابع طبیعی توسط مهندسین مشاور و حتی در طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه‌ها و مراکز علمی، استفاده از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی اساس مطالعات زمین‌شناسی را تشکیل می‌دهد. در گذشته، نقشه‌های زمین‌شناسی از طریق تفسیر عکس‌های هوایی و کنترل زمینی تهیه می‌شدند. از آنجا که تفکیک واحدهای همگن زمین‌ساختی از روی ویژگی‌های عکس‌های هوایی از جمله رنگ سیاه و سفید و تن عکس‌ها و بعضاً الگوهای ایجاد شده صورت می‌گرفت، نقشه‌های حاصل می‌تواند از خطاهای تصویری و یا تفسیری زیادی برخوردار باشد و در حال حاضر، تبدیل نقشه‌های حاصل به نقشه‌های با مقیاس بزرگ‌تر همراه با خطای جابجایی مرزها است. از طرفی تهیه نقشه زمین‌شناسی برای مناطق صعب‌العبور همیشه به‌عنوان یک چالش بزرگ بود. یکی از فواید سنجش از دور، نمای سینوپتیکی است که فراهم می‌آورد و تصاویر ماهواره‌ای یک پرسپکتیو جامع و ناحیه‌ای را از عوارض مختلف

زمینی ارائه می‌دهند. امروزه تکنیک‌های سنجش از دور، دوره‌ جدیدی را در تمامی برنامه‌های تولید نقشه از جمله تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ایجاد کرده‌اند [۱۰]. استفاده از داده‌های دورسنجی، یکی از ابزارهای پیشرفته در مطالعات زمین‌شناسی است که طی سال‌های اخیر، به عنوان یک ابزار جدید و کارآمد در شناخت واحدهای مختلف زمین‌شناسی معرفی شده است که علاوه بر دقت مناسب فواید دیگری از قبیل دسترسی به مناطق کوهستانی صعب‌العبور یا غیرقابل دسترس را برای آن ذکر کرده‌اند. در مقایسه با روش‌های معمول تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی که هزینه به نسبت زیادی داشته و زمان‌بر هستند، تکنیک سنجش از دور، علاوه بر دقت مناسب، ارزان‌تر و سریع‌تر است. دسترسی به باندهای مختلف طیفی و قدرت بالای تفکیک مکانی به همراه قابلیت‌های پیشرفته تکنیک‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای در تولید تصاویر قابل تفسیر از جمله ترکیبات مختلف رنگ مجازی^۱، تجزیه به مؤلفه‌های اصلی^۲، شاخص بهینه^۳، نسبت‌گیری طیفی^۴ باعث افزایش بیش از پیش پتانسیل سنجش از دور در تهیه نقشه‌های دقیق زمین‌شناسی شده است [۲۵]. البته بعضی از این روش‌ها از جمله نسبت‌گیری طیفی و یا استفاده از شاخص‌ها در مناطقی که تنوع سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی زیاد و یا سطح منطقه زیاد باشد، از کارایی زیادی برخوردار نیستند [۲۴، ۲۵]. سیستم‌های ماهواره‌ای چندطیفی با هدف مطالعات منابع طبیعی و به‌خصوص پوشش گیاهی، زمین‌شناسی و بررسی‌های کانی‌شناسی ایجاد شده‌اند [۱، ۵، ۲۸]. مزایایی از قبیل وسعت زیاد تحت پوشش و دسترسی در بازه‌های طولانی زمانی، امکان تحلیل دینامیکی و مکانی را در سطوح وسیع‌تر نیز فراهم می‌آورد. بیشترین کاربرد سنجش از دور در علوم زمین شامل تشخیص ساختارهای زمین‌شناسی، تشخیص خاک‌ها و سنگ‌های مختلف و جستجوی منابع است [۱۲]. به‌دنبال راه‌اندازی ماهواره

³ Optimum Index Factor (OIF)

⁴ Band Ratio (BR)

¹ False Color Composite (FCC)

² Principal Component Analysis (PCA)

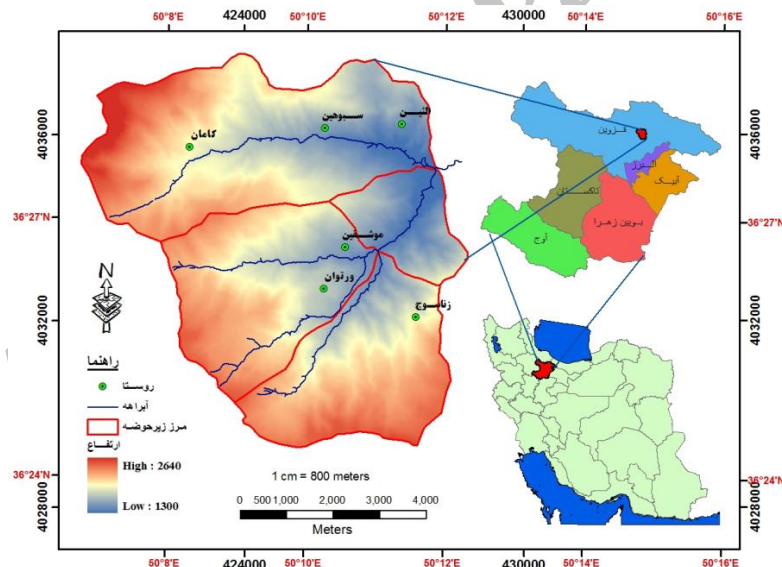
واقعیت‌های زمینی در مقایسه با نقشه‌های معمول توسط سازمان زمین‌شناسی است.

۲. روش تحقیق

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز ورتوان قزوین با مساحتی معادل ۴۸۱۱ هکتار، بین مختصات $36^{\circ} 24'$ تا $36^{\circ} 29'$ عرض شمالی و $50^{\circ} 7'$ تا $50^{\circ} 12'$ طول شرقی و در سی کیلومتری شمال شهر قزوین واقع شده است (شکل ۱). تیپ اراضی سطح حوزه عمدتاً کوهستانی بوده و ارتفاع حداقل این حوزه ۱۳۰۰ متر، ارتفاع حداکثر ۲۶۴۰ متر بالاتر از سطح دریای آزاد است. شیب متوسط حوزه بیست و دو درجه و جهت عمومی شیب، شمال شرقی است.

لندست در ۱۹۸۲، زمین‌شناسان به قدرت بالاتری از تفکیک مکانی (۳۰ متر)، و قدرت بالاتری از تفکیک طیفی نسبت به اسکنر MSS دست یافتند [۱]. در بسیاری از مطالعات زمین‌شناسی از داده‌های TM و ETM^+ برای تعیین واحدهای مختلف سنگ‌شناسی با استفاده از لایراتوار فراطیفی استفاده شده است [۱]. در مناطقی که سنگ بستر رخنمون دارد سنجش از دور چندطیفی، ابزار مناسبی برای تهیه نقشه سنگ‌شناسی است و ویژگی‌های طیفی باندهای TM برای تهیه نقشه سنگ‌شناسی بسیار مناسب است. برای مثال تحقیقات قبلی نشان داده‌اند که مناطق با تغییرات هیدروترمال با استفاده از نسبت طیفی باندهای ۵ و ۷ تصاویر TM قابل تشخیص است [۱، ۱۸، ۱۹، ۲۳]. هدف اصلی این تحقیق، تهیه نقشه زمین‌شناسی حوزه ورتوان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و ارزیابی صحت آن نسبت به



شکل ۱. نقشه موقعیت آبخیز ورتوان در استان قزوین

زمین‌شناسی ایران (NGDIR) دریافت و در محیط GIS رقومی و با مرز حوزه مطالعاتی برش داده شد. نقشه رقومی زمین‌شناسی منطقه نشان می‌دهد که سطح حوزه اغلب توسط سنگ‌های آذرین و رسوبی پوشیده شده است

۲،۲. بررسی و تهیه نقشه زمین‌شناسی محدوده

مطالعاتی با استفاده از نقشه‌های سازمان

ابتدا نقشه زمین‌شناسی قزوین با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ و شماره شیت ۶۰۶۲ با فرمت pdf از طریق سایت سازمان

ترکیب باندی ترکیبی است که بیشترین مقدار اطلاعات را داشته باشد و به عبارتی مجموع انحراف معیار در بین باندهای منتخب حداکثر بوده و اطلاعات تکراری باندهای مختلف حداقل باشد. از آنجاکه نسبت‌های طیفی کمتر از عوارض توپوگرافیکی و شرایط نور متأثر می‌شوند می‌توانند تفاوت‌های طیفی کانی‌ها را بهتر ارائه نمایند [۲، ۶، ۸، ۹، ۲۴، ۲۵] و لذا در این تحقیق با توجه به مرور منابع [۳، ۱۱، ۲۱]، معمول‌ترین نسبت‌های باندی در مطالعات زمین‌شناسی (۵/۷-۳/۱-۵/۷) [۳، ۳/۵-۳/۱-۵/۷]، (۳/۱-۴/۳-۳/۱-۵/۷) و (۵/۷-۴/۵-۳/۱) برای تولید تصاویر رنگ مجازی مورد ارزیابی قرار گرفت. تجزیه به مؤلفه‌های اصلی نیز تکنیک پرازشی است که باندهای حاصل دارای بیشترین اطلاعات هستند [۳، ۲۷، ۲۹] و در این تحقیق از این تکنیک نیز برای بارز سازی واحدهای زمین‌شناسی حوزه استفاده شد.

۴.۲. میزان تطابق نقشه‌ها

ضریب کاپا، معمول‌ترین آماره برای بررسی میزان تطابق دو نقشه است که با استفاده از فرمول کوهن محاسبه می‌شود [۴].

$$K = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad \text{فرمول ۱:}$$

در این فرمول P_o : دقت مشاهداتی و P_e : میزان احتمال تطابق است. ضریب کاپای برابر با یک نشانه تطابق کامل و مقدار کاپای برابر با صفر بیانگر عدم ارتباط بین دو نقشه است. در این تحقیق برای بررسی میزان تطابق بین دو نقشه زمین‌شناسی و نقشه حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای از شاخص کاپا استفاده شد.

۵.۲. ارزیابی صحت نقشه‌ها

برای ارزیابی صحت دو نقشه زمین‌شناسی و پردازش تصویری از مقایسه آن‌ها و واقعیت‌های زمینی و به کارگیری منطق بولین استفاده شد. بدین منظور ابتدا به روش سیستماتیک-تصادفی از واقعیت‌های زمین‌شناسی

(شکل سه). عمده سنگ‌های رسوبی حوزه ورتوان عبارتند از شیل سیاه با لایه‌های ذغال و بین‌لایه‌هایی از ماسه سنگ و سیلت‌سنگ (پالئوزوئیک)، تراس‌های جوان (کواترنری-سنوزوئیک)، آهک اوربیتولین‌دار (مزوزوئیک)، کنگلومرا و ماسه سنگ و سنگ آهک ماسه‌ای (پالئوژن-سنوزوئیک). اما بخش‌های زیادی از حوزه را نیز سنگ‌های آذرین تشکیل داده‌اند که به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: توف سنگی، توف سبز و آگلومراهای محلی (پالئوژن-سنوزوئیک)، آندزیت ارغوانی و تراکی آندزیت (ژوراسیک-مزوزوئیک).

۳.۲. تهیه نقشه جدید زمین‌شناسی با روش

دورسنجی

به دلیل تفکیک بالای طیفی و مکانی تصاویر ETM^+ ماهواره لندست هفت، عملیات سنجش از دور بر روی این تصاویر، با مشخصات $Path=165, Row=35$ مربوط به ماه آگوست سال ۲۰۱۰ انجام شد. پس از تصحیحات هندسی، سیستم تصویر UTM و سطح مبنای WGS84 برای آن‌ها در نظر گرفته شد و بعد تصاویر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰ و سایز سلول سی متر زمین‌مرجع و با مرز حوزه برش داده شد. به منظور بارزسازی تفاوت‌ها در بازتاب طیفی ناشی از واحدهای مختلف زمین‌شناسی، از روش‌های مختلف پردازش تصویری استفاده شد و به کمک اطلاعات نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی واحدهای همگن زمین‌ساختی تفکیک و کدگذاری گردید. پس از بررسی منابع [۶، ۷، ۲۰، ۲۹] پنج ترکیب باندی شامل ۷۴۲، ۴۵۷، ۵۴۱، ۷۵۱ و ۷۵۳ در محیط نرم‌افزار ILWIS 3.7 و به کارگیری رنگ‌های قرمز، سبز و آبی (RGB) برای باندهای مختلف تولید و ارزیابی شد. ترکیب باندی ۳۵۶ نیز به دلیل دارا بودن پائین‌ترین نرخ همبستگی در بین باندها ارزیابی شد. در واقع در مطالعات سنجش از دور، شاخص بهینه (OIF) یک مقدار آماری است که بیانگر بهترین ترکیب باندی در یک تصویر ماهواره‌ای است. بر اساس این شاخص بهترین

عبارتند از: آندزیت، تراس‌های جوان، توف، مادستون قرمز توفی، ماسه سنگ قرمز، آهک اوربیتولین‌دار، آهک شیلی، شیل سیاه با لایه‌های ذغال‌سنگ و بین‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ و سیلت‌سنگ (شکل ۴).

۱,۳. تطابق نقشه‌ها

بر اساس جدول ماتریس خطا، مقادیر دقت مشاهداتی و احتمال توافق به ترتیب برابر با ۰/۴۸ و ۰/۱۶ است و بنابراین ضریب کاپا با استفاده از فرمول معادل ۰/۳۹ محاسبه می‌شود که نشان‌دهنده تطابق کم بین دو نقشه زمین‌شناسی و نقشه حاصل از سنجش از دور است. در این جدول شماره‌های یک تا هشت به ترتیب عبارت از آندزیت، تراس‌های جوان، توف، ماسه‌سنگ قرمز، شیل سیاه با لایه‌های ذغال‌سنگ و بین‌لایه‌هایی از ماسه سنگ و سیلت‌سنگ، آهک اوربیتولین‌دار، آهک شیلی و مادستون قرمز توفی می‌باشند.

۲,۳. ارزیابی صحت نقشه‌ها

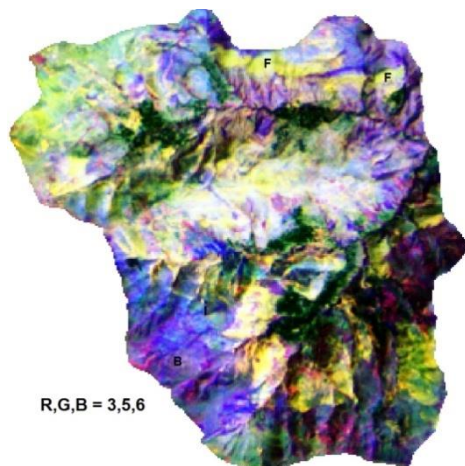
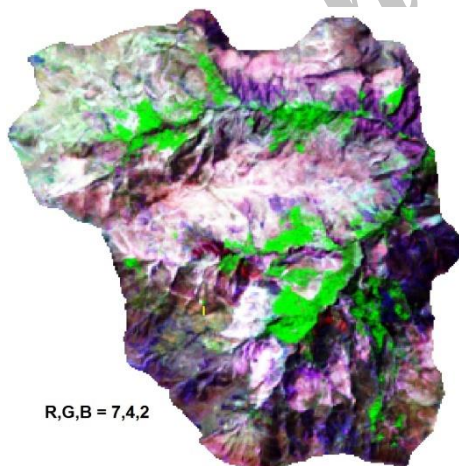
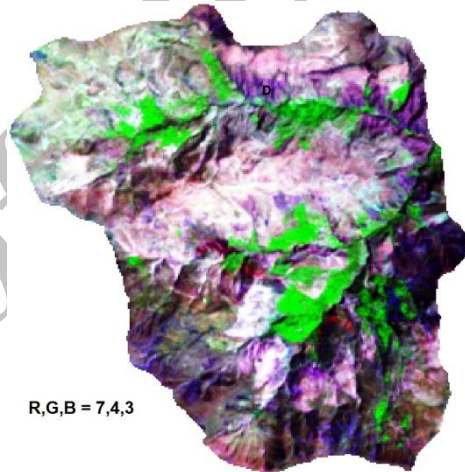
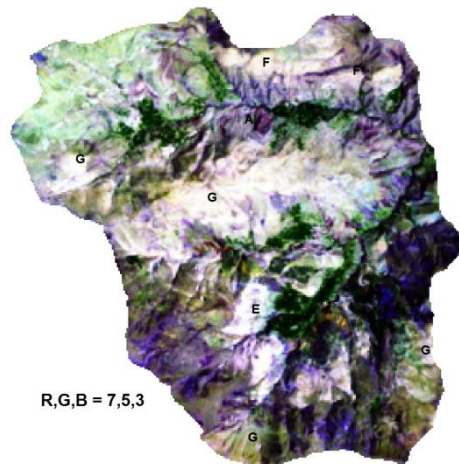
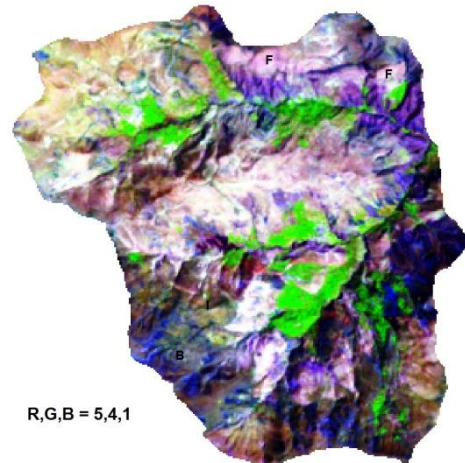
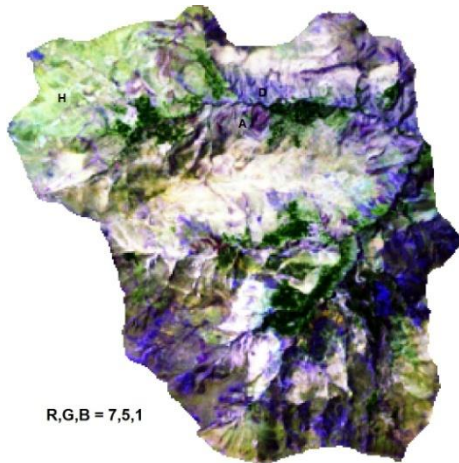
به‌طور کلی تعداد چهار نمونه از هشت واحد نقشه پردازش تصویری و تعداد سی و پنج نمونه از هفت واحد نقشه زمین‌شناسی جمع‌آوری و شناسایی شد (شکل ۳ و ۴). از چهار نمونه نقشه پردازش تصویری تعداد سی و نه نمونه معادل ۹۷/۵٪ نمونه‌ها مطابق با واحد نقشه بودند ولی از سی و پنج نمونه نقشه زمین‌شناسی، تنها نوزده نمونه معادل ۵۴/۳٪ نمونه‌ها با واحد نقشه تطبیق داشتند و شانزده نمونه سنگ جزء واحدهای دیگر نقشه شناسایی شدند. این نتایج نشان‌دهنده دقت و صحت بالاتر نقشه حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نسبت به نقشه زمین‌شناسی است.

منطقه نمونه‌گیری شد و از هر یک از واحدهای دو نقشه، تعداد پنج نمونه سنگ به‌صورت تصادفی جمع‌آوری و شناسایی گردید. در صورت توافق نمونه سنگ با واحد نقشه به آن عدد یک و در صورت عدم توافق عدد صفر برای آن نمونه در نظر گرفته شد. در نهایت نقشه‌ای که مجموع اعداد بزرگتری داشته باشد تطابق بیشتری با واقعیت‌های زمینی داشته و از صحت بالاتری برخوردار خواهد بود.

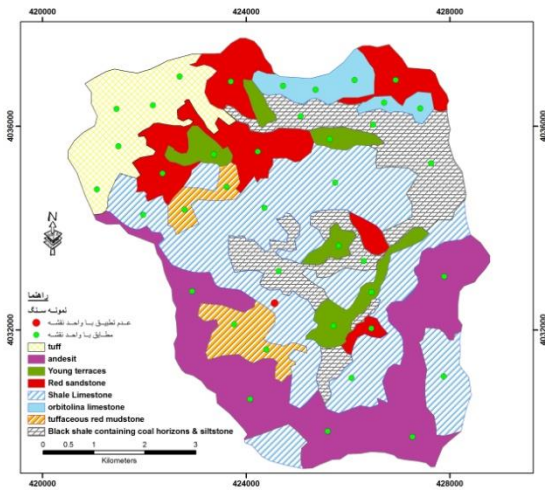
۳. نتایج

بارزسازی شیل‌های سیاه با لایه‌های ذغال‌سنگ و بین‌لایه‌هایی از ماسه سنگ و سیلت سنگ با استفاده از ترکیبات رنگ‌مجازی ۷۵۱ و ۷۴۳ بهتر صورت می‌پذیرد که در این ترکیبات، این واحد به ترتیب با رنگ آبی تیره و بنفش مشخص می‌گردد. ترکیب ۵۴۱ برای بارزسازی آهک اوربیتولین‌دار (واحدهای به رنگ صورتی) و آندزیت‌ها (آبی‌رنگ) مناسب‌تر است. مادستون قرمز توفی را با ترکیب ۷۴۲ بهتر می‌توان تشخیص داد (سبز یشمی). ترکیب ۷۵۳ نیز برای تشخیص آهک و آهک‌های شیلی مناسب است (بخش‌های سفیدرنگ). بر اساس شاخص OIF، ترکیب بانندی ۳۵۶ بهترین ترکیب بانندی است که ۵۴/۷٪ اطلاعات باندها را داشته و برای جداسازی آندزیت‌ها (قسمت‌های آبی‌رنگ) مناسب است (شکل ۲). تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و هیچ یک از نسبت‌های طیفی تولید شده نیز بارزسازی مناسبی از هیچ یک از واحدهای زمین‌شناسی ایجاد نمی‌کنند.

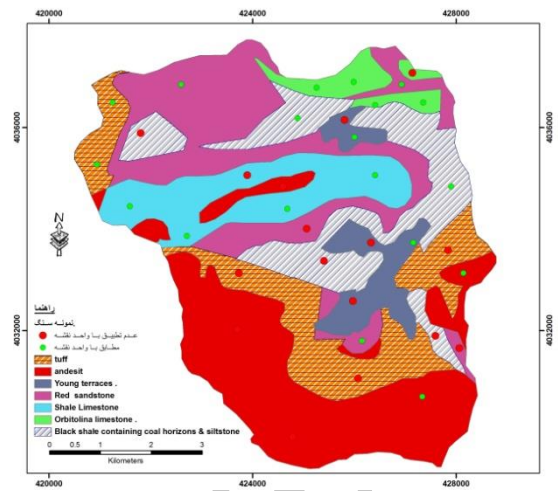
در نهایت هشت واحد سنگ‌شناسی در حوزه ورتوان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای حاصل شد که



شکل ۲. نمونه‌هایی از ترکیبات رنگ مجازی (RGB) برای بارزسازی واحدهای سنگ‌شناسی



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی به روش پردازش تصویر ETM+ ماهواره لندست



شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی معمول به روش تفسیر عکس‌های هوایی، اقتباس شده از سازمان زمین‌شناسی

جدول ۱. ماتریس خطا (ستون‌ها: واحدهای نقشه پردازش تصویری، ردیف‌ها: واحدهای نقشه زمین‌شناسی)

طبقات	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	مجموع
۱	۸۱۲/۲	۰/۵	۶/۳	۱/۸	۴/۵	۰	۳۱۰/۸	۱۴۸	۱۲۸۳/۱
۲	۲۱/۷	۱۳۷/۷	۰	۱۴/۹	۶۶	۰	۵۳/۶	۰	۲۹۳/۹
۳	۱۳۱/۶	۷	۱۲۳/۹	۵/۳	۸۰/۸	۰	۳۶۵/۴	۱۵	۷۲۹
۴	۳/۱	۹۸/۴	۲۴۱/۲	۳۵۱/۹	۱۰۷/۶	۱۶/۳	۲۰۰	۱/۵	۱۰۲۰
۵	۲۱/۷	۳۵/۶	۴۹	۸۶/۸	۴۰۰/۷	۴۰/۶	۱۲۰/۴	۰	۷۵۴/۸
۶	۰	۰	۰	۵۱/۶	۰/۸	۱۲۰/۲	۰	۰	۱۷۲/۶
۷	۱۲	۰	۱۴/۴	۶۵	۹/۹	۰	۳۹۲/۵	۶۴	۵۵۷/۸
۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
مجموع	۱۰۰۱/۳	۲۷۹/۲	۴۳۴/۸	۵۷۷/۳	۶۷۰/۳	۱۷۷/۱	۱۴۴۲/۷	۲۲۸/۵	۴۸۱۱/۲

سنگ‌شناسی با ترکیب خاصی بهتر صورت می‌گیرد و لذا باید انواع ترکیبات رنگ‌مجازی را برای بارزسازی تمامی واحدها مورد بررسی قرار داد که تحقیقات گذشته نیز نشان داده‌اند که بارزسازی واحدهای مختلف توسط ترکیبات رنگ‌مجازی متنوعی انجام شده است [۱، ۲، ۳، ۸، ۱۸]. بر اساس شاخص OIF، ترکیب باندی ۳۵۶ بهترین ترکیب باندی است که ۵۴/۷ درصد اطلاعات باندها را داشته و برای جداسازی آندزیت‌ها مناسب است.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان صحت نقشه زمین‌شناسی موجود حوزه ورتوان استان قزوین و نقشه حاصل از پردازش‌های مختلف بر روی تصاویر ETM+ ماهواره لندست هفت مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت. تحلیل ترکیبات رنگ‌مجازی برای بارزسازی واحدهای مختلف سنگ‌شناسی نشان داد که بارزسازی هر واحد

و مکانی) و قابلیت‌های پیشرفته تکنیک سنجش از دور در پردازش‌های مختلف بر روی تصاویر ماهواره‌ای نسبت داد که تحقیقات قبلی نیز بر این‌گونه توانایی‌های سنجش از دور اشاره کرده‌اند [۲۶، ۲۷]. از سوی دیگر صحت کم نقشه زمین‌شناسی حوزه ورتوان به احتمال فراوان به دلیل تنوع به نسبت زیاد زمین‌شناسی منطقه و کوهستانی و صعب‌العبور بودن بسیاری از نقاط این حوزه و در نتیجه کافی نبودن بازدهی‌های صحرایی به دلیل هزینه بالای این روش است. در نهایت توصیه می‌شود قبل از مطالعات اجرایی و به‌خصوص تحقیقاتی در مناطق کوهستانی و صعب‌العبور مشابه با آبخیز ورتوان، به دلیل صحت به نسبت پایین نقشه‌های زمین‌شناسی موجود، اقدام به تهیه نقشه زمین‌شناسی با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای گردد.

همچنین تجزیه به مؤلفه‌های اصلی و هیچ کدام از نسبت‌های طیفی تولید شده نیز بارسازی مناسبی از هیچ یک از واحدهای زمین‌شناسی ایجاد نکردند که علت این موضوع احتمالاً به دلیل تنوع ساختار زمین‌شناسی حوزه ورتوان است که سابقینز هم در تحقیقات خود به کارآیی اندک تکنیک نسبت‌گیری طیفی در جدا سازی واحدهای سنگی در مناطق با تنوع سنگ‌شناسی زیاد اشاره کرده است [۲۴، ۲۵]. نتایج این تحقیق حاکی از تطابق کم این دو نقشه و صحت و دقت بالای نقشه پردازش تصویری است که دقت بالای نقشه‌های زمین‌شناسی حاصل از پردازش‌های سنجش از دور در تحقیقات گذشته نیز مورد تأیید قرار گرفته است [۱، ۲، ۸، ۹، ۱۱، ۱۲، ۲۰، ۲۷]. دقت و صحت بالای نقشه پردازش تصویری را می‌توان به ویژگی‌های مناسب تصاویر ETM+ ماهواره لندست هفت (قدرت بالای تفکیک طیفی

References

- [1] Abrams, M.J. (1984). Landsat 4, Thematic Mapper and Thematic Mapper Simulator data for a Porphyry Copper Deposit. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 50, 1171-1173.
- [2] Al Rawashdeh, S., Saleh, B. and Hamzah, M. (2007). The use of remote sensing technology in geological investigation and mineral detection in El Azraq-Jordan. *Cybergeo-European Journal of Geography*, 358, 1-22.
- [3] Aydal, D., Arda, E. and Dumanlilar, O. (2007). Application of the Crosta technique for alteration mapping of granitoidic rocks using ETM+ data: case study from eastern Tauride belt (SE Turkey). *International Journal of Remote Sensing*, 28, 3895-3913.
- [4] Cohen, J. (1960). A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational & Psychological Measurement*, 20, 37-46.
- [5] Crippen, R.E. and Blom, R.G. (2001). Unveiling the lithology of vegetated terrains in remotely sensed imagery. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(8), 935-946.
- [6] Dehnavi, A.G., Sarikhani, R. and Nagaraju, D. (2010). Image processing and analysis of mapping alteration zones in environmental research, east of Kurdistan, Iran. *World Applied Sciences Journal*, 11, 278-283.
- [7] Deller, M.E. (2006). Facies discrimination in laterites using landsat thematic mapper, ASTER and ALI data- examples from Eritrea and Arabia. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 2389-2409.
- [8] Dogan, H.M. (2008). Applications of remote sensing and geographic information systems to assess ferrous minerals and iron oxide of Tokat province in Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 29, 221-233.
- [9] Dogan, H.M. [2009]. Mineral composite assessment of Kelkit river basin in Turkey by means of remotesensing. *Journal of Earth System Science*, 118, 701-710.

- [10] Farina, P., Catani, F., Colombo, D., Fumagalli, A., Kukavicic, M., Marks, F. and Moretti, S. (2005). Remote sensing: a tool for landslide investigations at a basin scale. *Geophysical Research Abstracts*, 7, 10157-10168.
- [11] Kaufmann, H. (1988). Mineral exploration along the aqaba-levant structure by use of TM-data. Concepts, processing and results. *International Journal of Remote Sensing*, 9, 1639-1658.
- [12] Kruse, F.A. and Dietz, J.B. (1991). Integration of diverse remote sensing data sets for geologic mapping and resource exploration. *Earth and Atmospheric Remote Sensing*, 1492, 326-337.
- [13] Mosaffaie, J. (2015). Comparison of two methods of regional flood frequency analysis by using L-moments. *Water Resources*. 42 (3): 313-321.
- [14] Mosaffaie, J. (2016). Application of artificial neural network, multiple-regression and index-flood techniques in regional flood frequency estimation. *International Journal of Water*. 10 (4): 328-342.
- [15] Mosaffaie, J. Akhzari, D., Rashvand, S., Ataei, J. (2016). Regional flood frequency analysis using multiple regression method (case study: hydrometric stations of Qazvin province). *Journal of range and watershed management* 68 (4) 821-833.
- [16] Mosaffaie, J., Ekhtesasi, M. R., Dastorani, M. T., Azimzadeh, H. R., Zare Chahuki, M. A. (2015). Temporal and spatial variation of the water erosion rate. *Arabian Journal of Geosciences*. 8 (8): 5971-5979. DOI: 10.1007/s12517-014-1628-z.
- [17] Mosaffaie, J., Ownegh, M., Mesdaghi, M., Shariat Jafari, M. (2009). Comparing the efficiency of statistical and empirical landslide hazard zonation models in Alamout watershed. *Journal of water and soil conservation* 16 (4) 43-61.
- [18] Podwysoki, M.H., Segal, D.B. and Abrams, M.J. (1983). Use of multi spectral scanner images for assessment of hydrothermal alteration in the Marysvale, Utah, mining area. *Economic Geology*, 78, 675-687.
- [19] Prost, G. (1980) Alteration mapping with airborne multi-spectral scanners. *Economic Geology*, 75, 894-906.
- [20] Qaid, A.M. and Basavarajappa, H.T. (2008). Application of optimum index factor technique to landsat-7 data for geological mapping of north east of Hajjah, Yemen. *American Eurasian Journal of Scientific Research*, 3, 84-91.
- [21] Ramadan, T.M. and Kotny, A. (2004). Mineralogical and structural characterization of alteration zones detected by orbital remote sensing at Shalatein District, SE Desert, Egypt. *Journal of African Earth Sciences*, 40, 89-99.
- [22] Rashvand, S., Mosaffaie, J., Darvish, M., Raffei Emam, A. (2013). Investigation on potential of desertification in terms of decay of vegetation. Case study: rude shoor, Qazvin. *Iranian Journal of Range and Desert Research* 20 (1), 38-49.
- [23] Rowan, L.C. and Kahle, A.B. (1982). Evaluations of 0.46-2.36 micrometer multi-spectral scanners images of the east tinto mining district, Utah, for mapping hydro-thermally altered rocks. *Economic Geology*, 77, 441-452.
- [24] Sabins, f. F. (1996). *Remote sensing principles and interpretation*. 3ed edition, university of california, los angeles.
- [25] Sabins, F. (1999). *Remote sensing for mineral exploration*. *Ore Geology Reviews*, 14, 157- 183.
- [26] Tavassoli, A. avd Lotfi, M. (2008). Remote sensing studies in ore explorations at Abbas abad area of Semnan province north east or Iran. *Journal of the Earth*, 3(1), 63-79.
- [27] Ventisette, C. D., Garfagnoli, F., Ciampalini, A., Antonielli, B. and Moretti, S. (2012). Remote sensing techniques to map geologic unit in arid environment: the example of southern flank of the Tindouf basin (Western Sahara). 4th earsel workshop on remote sensing and geology 88 mykonos, Greece, pp. 148- 156.
- [28] Yousif, M.S.M. and Shedid, G.A. (1999). Remote sensing signature of some selected basement rock units from the central eastern desert of Egypt. *Journal of Remote Sensing & space Science*, 1, 132-141.
- [29] Zumsprekel, H. and Prinz, T. (2000). Computer-enhanced multispectral remote sensing data: a useful tool for the geological mapping of archean terrains in semiarid environments. *Computer & Geosciences*, 26, 87-100.

Archive of SID