

شناسایی لند فرم ژئومورفولوژیک - سنگ چینه‌ای گنبد‌های نمکی هرمز بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺

علی مهرابی

استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

محسن پور خسروانی*

استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲۶

چکیده

گنبد‌های نمکی از لند فرم‌های جالب ژئومورفولوژی و در واقع ساختارهای گنبدی شکل زیرسطحی متشکل از نمک و سایر رسوب‌های تبخیری می‌باشند که بر روی زمین ظاهر شده‌اند. در مناطق جنوبی ایران گنبد‌های نمکی تحت عنوان واحد سنگ‌چینه‌ای هرمز، رخنمون فراوانی دارد. هدف از این پژوهش، با توجه به گزارش‌های متفاوتی از تعداد گنبد‌های نمکی رخنمون یافته در پهنه زاگرس، شناسایی دقیق این لند فرم ژئومورفولوژیکی و نهایتاً تهیه نقشه پراکنش آن‌ها بر پایه تفسیر تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ می‌باشد. برای این منظور بر روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه با استفاده از نرم‌افزارهای دورسنجی، پردازش‌های مناسب جهت بارزسازی توده‌های نمکی سازند هرمز انجام گرفت و در نهایت با توجه به نتایج به دست آمده از تحلیل‌های نظیر تقسیم باندی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، استفاده از ترکیب کاذب رنگی به صورت (PC1, PC2, PC3) و رده‌بندی بیشترین شباهت (MLC) پهنه‌های نمکی منطقه بارز سازی شد. بر این اساس تعداد ۱۲۳ گنبد نمکی در منطقه شناسایی و صحت کار نیز با انجام بازدیدهای صحرائی تأیید شد.

واژگان کلیدی: ژئومورفولوژی، گنبد‌های نمکی، پردازش تصویر، تحلیل مؤلفه‌های اصلی، زاگرس.

مقدمه

گنبد‌های نمکی یکی از لند فرم‌های ژئومورفیک مؤثر بر منابع طبیعی در مناطق مختلف می‌باشند، از نظر ژئومورفولوژیکی گنبد‌های نمکی عوارض گنبدی شکل منظم و نامنظمی به وجود آورده‌اند که در بسیاری از نقاط ایران گسترش دارند، مهم‌ترین این گنبدها متعلق به سری هرمز واقع در جنوب ایران است. در جنوب خاوری زاگرس، به‌ویژه در حدفاصل میان گسل کازرون در باختر و گسل میناب در خاور (حوضه فارس)، سنگ‌های پرکامبرین پسین رخساره

کولابی - تبخیری دارند که نخستین بار توسط تاورنیه^۱ (۱۶۴۲: ۲۳) مطالعه شده است. بر اساس شواهد موجود به نظر می‌رسد که در پی فازهای کششی رخداد کوهزایی کاتانگایی در نیمه جنوب خاوری زاگرس، حوضه‌های تبخیری تشکیل شده و رسوب‌های کولابی به همراه روانه‌های آذرین مربوط به فاز گرانیته‌زایی کاتانگایی در آن انباشته شده است. سری هرمز در حوضه‌های بسیار کم‌عمق ولی در ارتباط با دریا‌های آزاد، از پرکامبرین پسین تا کامبرین پیشین بر روی سپر دشتگون شده زاگرس نهشته شده است. این سری نمکی همچنین نشان می‌دهد که این خشکی‌ها در ناحیه اقلیمی گرمی قرار داشته‌اند (بین ۱۰ تا ۴۰ درجه) و گسل اصلی امروزی زاگرس، احتمالاً محل گسل‌های عادی کنترل‌کننده رسوب‌گذاری را نشان می‌دهد. سری هرمز به لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی شامل سنگ نمک (به رنگ‌های گوناگون)، انیدریت، ژیپس، سنگ‌آهک سیاه‌رنگ، دولومیت بودار چرتی، ماسه‌سنگ سُرخ، شیل رنگارنگ، سنگ‌های آذرین (درونی - بیرونی) و کانی‌های آهن و آپاتیت‌دار می‌باشد (مطیعی، ۱۳۷۲: ۷۸).

با توجه به گستردگی پراکنش گنبد‌های نمکی در کشورمان ایران و به‌خصوص در ناحیه زاگرس، مطالعه هر چه بیشتر این گنبد‌ها اطلاعات ذی‌قیمتی را برای ما به ارمغان می‌آورد. امروزه با پیشرفت علوم زمین و ورود هر چه بیشتر تکنولوژی‌های پیشرفته نظیر ماهواره‌ها، تصاویر ماهواره‌ای رقومی، نرم‌افزارهای تجزیه و تحلیل جغرافیایی، مطالعات زمین‌شناسی نیز وجهه جدیدی به خود گرفته و می‌توان از این تکنولوژی‌ها در این عرصه سود جست. در زمینه استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در بارز سازی نواحی شور و نمکی کارهای مختلفی انجام گرفته که از جمله می‌توان به پژوهش‌های، گوئس و هرینگ^۲ (۱۹۸۹: ۱۳۶)، گوئس و همکاران^۳ (۱۹۸۵)، هانت و همکاران^۴ (۱۹۷۲: ۱۲۱)، دهان و تیلور^۵ (۲۰۰۳: ۷۷۵)، بن دور^۶ (۲۰۰۲: ۱۷۳)، لوپز و همکاران (۲۰۱۲: ۶۱۵) و المالکی و همکاران (۲۰۱۷: ۹۰۰) اشاره نمود. همچنین پورکاسب و همکاران (۱۳۹۱: ۸۳) واحدهای سنگ‌شناختی گنبد نمکی جهانی را با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بارز سازی کرده و واحدهای نمکی را مشخص کردند. گیوئی و همکاران (۱۳۹۳: ۶۰۳) با استفاده از پردازش تصاویر ASTER شوری خاک را در دشت مروست استان یزد مورد بررسی قرار دادند، هاتفی اردکانی و همکاران (۱۳۹۵: ۱۲۳) با استفاده از تصاویر ETM نقشه شوری خاک در دشت سمنان را تهیه نمودند. همچنین عظیمی نجارکلایی (۱۳۹۶: ۳۳) در پژوهشی دقت طبقه‌بندی سری زمانی تصاویر لندست در پایش تغییرات کاربری اراضی را مقایسه نمودند. آرین (۲۰۱۲: ۹) با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای گنبد‌های نمکی حوزه ایران مرکزی را شناسایی و به نقشه در آورد.

در رابطه با تعداد گنبد‌های نمکی رخنمون یافته در محدوده زاگرس گزارش‌های متفاوتی ارائه شده است (احمدزاده و همکاران، ۱۳۶۹: ۱؛ جهانی و همکاران، ۲۰۰۷: ۲۸۷؛ خدابخش نژاد و آرین، ۲۰۱۶: ۳۶۷) در این مطالعات به تعداد ۱۰۰

¹ Tavernier

² Goets and Herring

³ Goets et al

⁴ Hunt et al

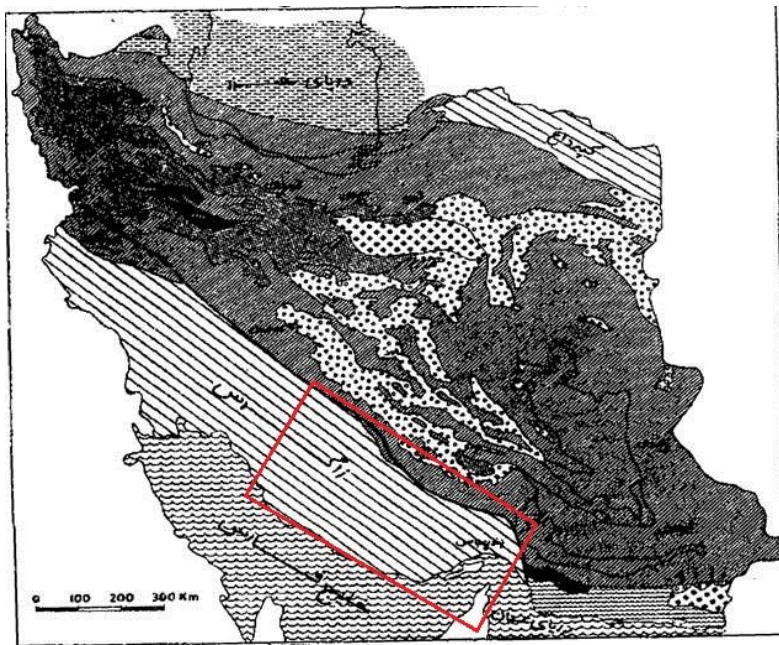
⁵ Dehaan and Taylor

⁶ Ben-Dor

تا ۱۱۵ و حتی ۱۲۰ گنبد نمکی اشاره شده است؛ بنابراین لزوم مطالعه‌ای ویژه بر روی گنبد‌های نمکی جنوب ایران در جهت شناسایی و موقعیت سنجی دقیق آن‌ها امری اجتناب ناپذیر می‌نماید که این پژوهش در همین راستا و با این هدف انجام پذیرفته است. با توجه به وجود سنگ نمک در ترکیب گنبد‌های نمکی می‌توان از روش‌های بکار رفته در پردازش تصاویر ماهواره‌ای جهت بارز سازی مناطق شور و نمکی استفاده نمود و گنبد‌های نمکی رخنمون یافته را مشخص کرد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه شامل بخش‌های وسیعی از پهنه ساختاری زاگرس ما بین عرض جغرافیایی $26^{\circ} 30'$ تا $29^{\circ} 30'$ شمالی و طول جغرافیایی $51^{\circ} 30'$ تا 57° شرقی می‌باشد منطقه مورد مطالعه بخش‌های زیادی از استان‌های هرمزگان، فارس و بوشهر را شامل می‌شود. مساحت محدوده مورد مطالعه ۱۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌ها و روش‌ها

اطلاعات با ارزشی که از تصاویر ماهواره‌ای در کمترین زمان ممکن نسبت به دیگر روش‌های اخذ اطلاعات جغرافیایی و زمین‌شناسی حاصل می‌شود، اهمیت استفاده از این روش در علوم محیطی را بیش از پیش آشکار ساخته است. به‌منظور شناسایی واحدهای نمکی موجود در منطقه از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ به تاریخ ۲۴ اکتبر ۲۰۰۲ استفاده شد. سنجنده

نقشه‌بردار موضوعی پیشرفته^۷ آخرین سنجنده قرار گرفته بر روی ماهواره لندست ۷ است. این سنجنده دارای ۸ باند طیفی که قابلیت برداشت اطلاعات در طول‌موج‌های نزدیک مادون‌قرمز^۸ و امواج کوتاه مادون‌قرمز^۹ را دارد. قدرت تفکیک مکانی این ماهواره در محدوده ۳۰ متر برای باندهای مرئی و مادون‌قرمز و ۶۰ متر برای باند مادون‌قرمز حرارتی و ۱۵ متر برای باند پانکروماتیک است. در این پژوهش از دو تکنیک سنجش از دوری به نام‌های تکنیک و روش تقسیم باندی و روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی^{۱۰} جهت استخراج و شناسایی واحد ژئومورفولوژیک نمکی هرمز استفاده گردید.

روش تقسیم باندی برای بارز سازی عوارض خاص در داده‌های چند طیفی مناسب است. از روش یاد شده برای مطالعات ژئومورفولوژی، کاهش اثرات روشنایی خورشید و بارز سازی اطلاعات طیفی در تصاویر استفاده می‌شود (گوپتا، ۲۰۰۳: ۲۲۴). در این پژوهش به‌منظور شناسایی مناطق نمکی از روش تقسیم باندی در نرم‌افزار ENVI از روش خایر (۲۰۰۳) استفاده شد، در این روش از باند ۵ و ۷ سنجنده ETM⁺ بر طبق رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{Band 5} - \text{Band 7} / \text{Band 5} + \text{Band 7}$$

تحلیل مؤلفه اصلی^{۱۱} از جمله روش‌های بارز سازی تصاویر است که از آن جهت نمایش حداکثر تفکیک‌پذیری طیفی بین n باند طیفی استفاده می‌شود. این روش، n مؤلفه اصلی یا بردارهایی در فضای n بعدی که در امتداد و جهت‌ها بیشترین واریانس باقی‌مانده آرایش یافته‌اند را ایجاد می‌نماید. اولین مؤلفه اصلی، برداری است که در جهت بیشترین واریانس پیکسل‌های تصویر قرار دارد و دومین مؤلفه اصلی که در فضای n بعدی بر مؤلفه اصلی اول عمود می‌باشد، برداری است که بیشترین واریانس باقی‌مانده را که پس از اعمال اولین مؤلفه اصلی بر جای مانده است، به خود اختصاص می‌دهد. هر یک از مؤلفه‌های اصلی بعدی بر مؤلفه‌های دیگر عمود می‌باشند و بیشترین واریانس باقی‌مانده را که با افزایش مرتبه مؤلفه اصلی کاهش می‌یابد، می‌پذیرند (وینسنت، ۱۹۹۷: ۳۴).

رده‌بندی بیشترین شباهت^{۱۲}

الگوریتم بیشترین شباهت یکی از انواع رده‌بندی‌های آماری است که تأکید آن بر توزیع نرمال داده‌ها در هر رده است. این الگوریتم احتمال تعلق یک پیکسل به یک رده خاص را محاسبه می‌نماید. هر پیکسل به رده‌ای نسبت داده می‌شود که دارای بالاترین احتمال است. اگر بالاترین احتمال از استان‌های که قرار داده شده کوچک‌تر باشد، پیکسل در هیچ رده‌ای قرار نمی‌گردد (ریچارد، ۱۹۹۹: ۵۶). مناطق آموزشی برای ورود به این الگوریتم از دو راه انتخاب می‌شوند، روش اول: تهیه مناطق آموزشی از تمامی واحدهای سنگ‌شناختی و روش دوم: تهیه مناطق آموزشی تنها از واحد لیتولوژی خاص و مدنظر.

⁷ ETM⁺

⁸ VNIR

⁹ SWIR

¹⁰ PCA

¹¹ Principal Components Analysis

¹² Maximum Likelihood Classification

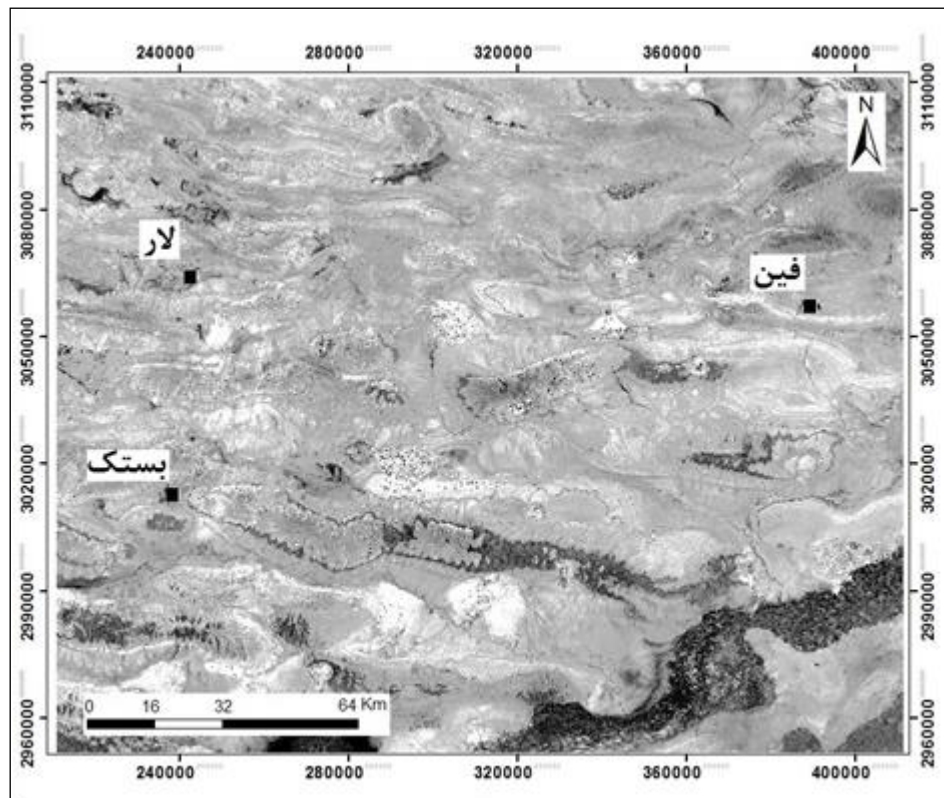
پیش پردازش داده‌ها

به منظور دریافت اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای لازم است پیش از استفاده از آن‌ها پیش پردازش‌های رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر خام صورت گیرد. به منظور استفاده صحیح از داده‌ها، تصاویر با استفاده از تصویری از منطقه که دارای مختصات صحیح بود، با روش تصحیح هندسی تصویر به تصویر، زمین مرجع شدند.

در مرحله پیش پردازش داده‌ها از کسر اثر تیرگی^{۱۳} که در اینجا مقادیر کمینه هر باند تصویر در محاسبات در نظر گرفته شد، استفاده گردید این روش اثر پراکنش جوی را حذف می‌نماید. افزون بر این، از روش میانگین بازتابش داخلی^{۱۴} نیز استفاده شد. در این روش میانگین طیف تصویر، محاسبه و به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود. سپس میانگین طیف به دست آمده بر طیف پیکسل‌های باندها تقسیم می‌شود (کروز و همکاران، ۱۹۸۵: ۲۴).

یافته‌ها

با اعمال تقسیم باندی مورد نظر بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه، مناطق نمکی به صورت پیکسل‌های روشن بارز سازی شدند (شکل ۲).



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: تصویر حاصل از اعمال تقسیم باندی بر روی تصویر ماهواره‌ای در بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه

¹³ Dark subtract

¹⁴ Internal Average Relative Reflectance

آمار تحلیل مؤلفه اصلی، به منظور تمایز واحدهای سنگ‌شناسی مختلف، انتخاب بهترین مؤلفه‌های اصلی دارای بیشترین اطلاعات و ایجاد ترکیب رنگی جهت انتخاب مناطق آموزشی، استخراج گردید. جدول ۱ مقادیر ویژه^{۱۵} یا واریانس^{۱۶} را برای ۶ باند سنجنده ETM⁺ در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به آمار استخراج شده سه مؤلفه اصلی ۹۸/۳٪ واریانس داده‌های تصویر را تشکیل می‌دهند و دیگر مؤلفه‌ها تنها ۱/۷٪ اطلاعات موجود در تصویر را به خود اختصاص می‌دهند.

جدول ۱: آمار تحلیل مؤلفه اصلی باندهای ETM⁺ در محدوده‌های مرئی، منطقه مورد مطالعه، فرسوخ موج کوتاه و فرسوخ نزدیک

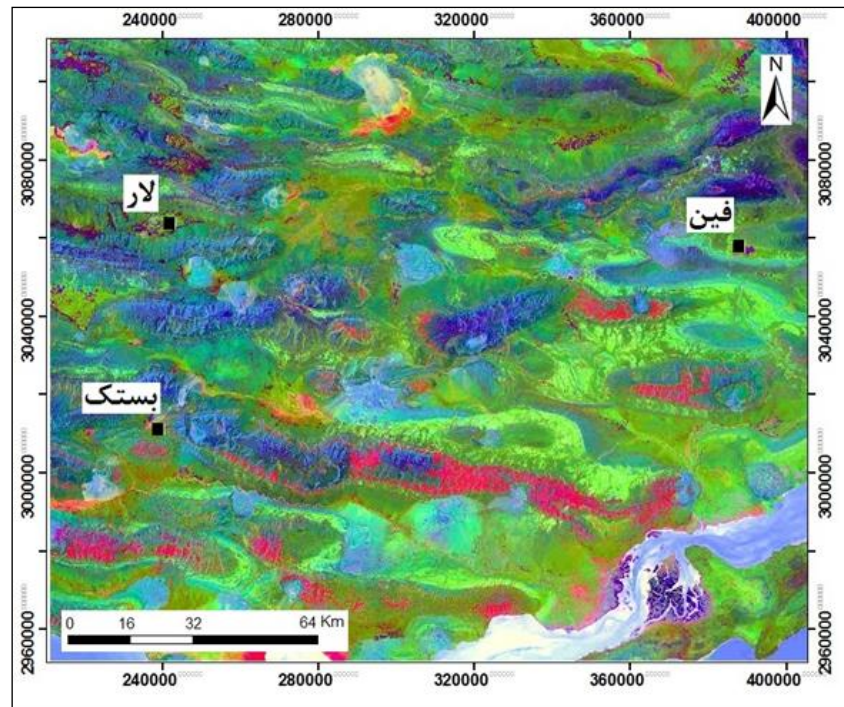
مقادیر ویژه	ETM6	ETM5	ETM4	ETM3	ETM2	ETM1	باندهای ورودی
۷۷/۹۳	-۰/۱۹	-۰/۴۸	-۰/۱۹	-۰/۵۶	-۰/۴۱	-۰/۴۳	PC1
۱۶/۸۱	-۰/۹۲	-۰/۱۸	-۰/۰۳	-۰/۱۱	-۰/۱۹	-۰/۲۵	PC2
۳/۵۹	-۰/۳۳	-۰/۷۹	-۰/۰۳	-۰/۰۱	-۰/۲۹	-۰/۴۰	PC3
۱/۳۰	-۰/۰۱	-۰/۱۹	-۰/۸۷	-۰/۲۴	-۰/۱۶	-۰/۳۲	PC4
-۰/۳۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۰۱	-۰/۱۸	-۰/۸۱	-۰/۵۴	PC5
-۰/۰۶	-۰/۰۱	-۰/۲۵	-۰/۴۳	-۰/۷۵	-۰/۰۹	-۰/۴۱	PC6

مأخذ: نگارندگان

با توجه به واریانس و واریانس تجمعی کل، سه مؤلفه اصلی اول انتخاب و بقیه مؤلفه‌ها حذف گردیده و از آن‌ها جهت ساخت ترکیب‌های رنگی در مراحل بعد استفاده شد. شکل ۳ ترکیب کاذب رنگی به صورت (PC1, PC2, PC3) از منطقه را نمایش می‌دهد، در این تصویر گنبد‌های نمکی به رنگ آبی روشن بارز سازی شده‌اند.

¹⁵ Eigenvalues

¹⁶ Variance



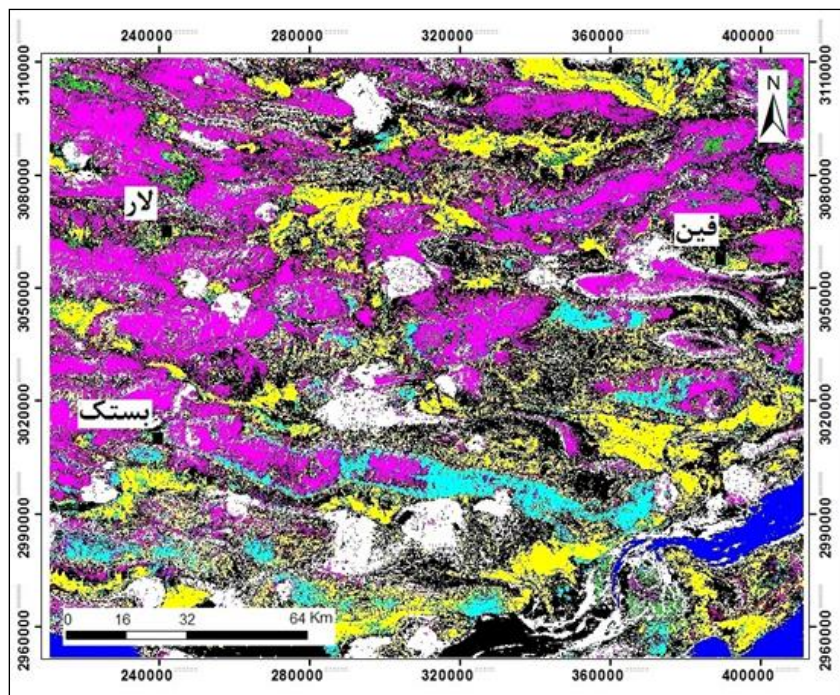
مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: ترکیب کاذب رنگی به صورت (PC1, PC2, PC3) از منطقه مورد مطالعه

به منظور بررسی پراکندگی واحدهای سنگ‌شناختی مختلف در رسوبات مجاور و تفکیک آن‌ها در رسوب‌های کواترنر، مناطق آموزشی ویژه از تمام واحدهای سنگ‌شناختی موجود در منطقه تهیه شد. در این روش شباهت پیکسل‌های رسوب‌های مجاور با پیکسل‌های واحدهای سنگ‌شناختی مورد ارزیابی قرار گرفت.

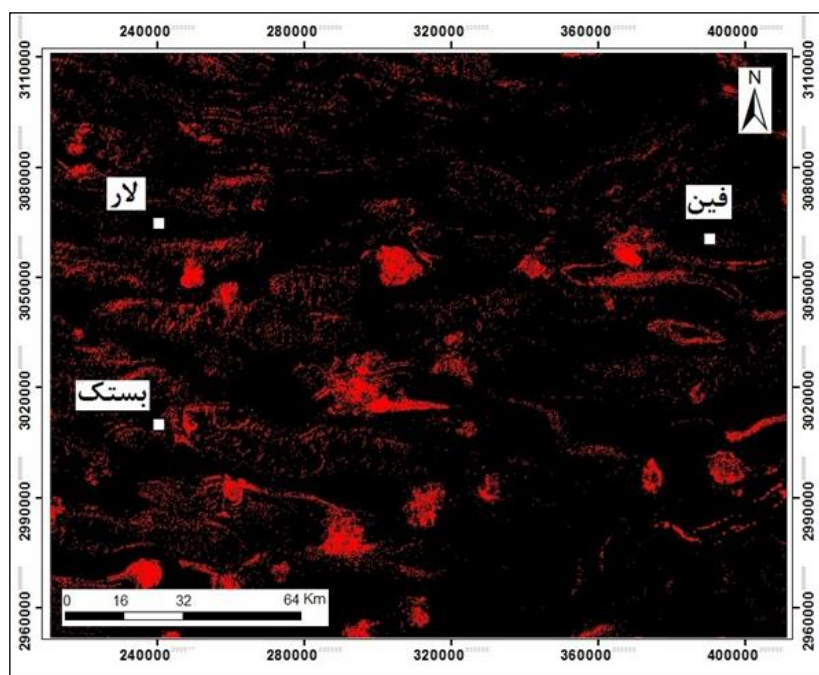
همچنین به منظور بررسی شباهت پیکسل‌های موجود در تصویر به سری نمکی هرمز و حذف اثرات دیگر سازندها، بر اساس روش دوم در رده‌بندی بیشترین شباهت، تنها از سری نمکی هرمز، منطقه آموزشی تهیه شد. در این روش به منظور حذف اثر دیگر سازندها بالاترین حد آستانه انتخاب گردید. در این مطالعه با استفاده از ترکیب کاذب رنگی به صورت (PC1, PC2, PC3) حاصله از سه مؤلفه اصلی منطقه آموزشی جهت رده‌بندی تصویر انتخاب و در الگوریتم حداکثر شباهت^{۱۷} بکار گرفته شدند.

جهت به نقشه در آوردن و تعیین مکان گنبد‌های نمکی موجود در منطقه از طریق الگوریتم بیشترین شباهت دو تصویر رده‌بندی شده ایجاد گردید. نتایج حاصل از رده‌بندی‌ها در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: شناسایی گنبد‌های نمکی به‌طور نمونه در بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه به روش اول



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: شناسایی گنبد‌های نمکی به‌طور نمونه در بخش جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه به روش دوم

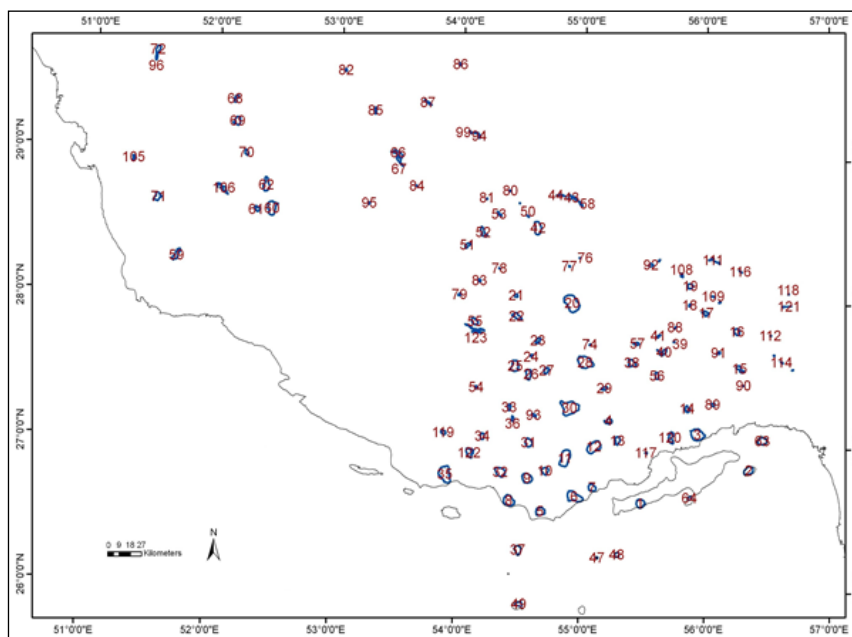
بحث

استفاده از آنالیز تقسیم باندی، به دلیل رفتار متفاوت نمودار بازتابی سطوح مختلف و ثبت این انعکاسات توسط سنجنده، همواره می‌تواند در شناسایی پدیده‌ها سودمند باشد. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود اعمال این تکنیک باعث

بارز سازی توده‌ها و سطوح نمکی به رنگ سفید می‌شود. ولیکن کاربرد تحلیل مؤلفه‌های اصلی در این پژوهش، همان‌طور که در شکل ۳ نیز مشخص است، کارایی بهتری در شناسایی سطوح نمکی دارد. نتایج به دست آمده از هر دو روش ذکر شده کمک بسیاری در طبقه‌بندی و جدایش گنبد‌های نمکی منطقه دارد، به‌منظور اجرای الگوریتم طبقه‌بندی با استفاده از روش اول، هفت منطقه آموزشی انتخاب و وارد (با حد آستانه ۹۰٪) الگوریتم گردید. در این روش نحوه رده‌بندی پیکسل رسوب‌های و خاک‌های مجاور، تعیین شباهت پیکسلی آن‌ها به هر یک از واحدهای سنگ‌شناختی منطقه، از تمام واحدها و مزارع کشاورزی، منطقه آموزشی تهیه گردید. در تصویر رده‌بندی (شکل ۴) هریک از واحدها، به‌صورت رنگی مجزا دیده می‌شوند. در این تصویر گنبد‌های نمکی و مناطق متأثر از شوری به رنگ سفید دیده می‌شود. پیکسل‌های صورتی رنگ واحدهای سنگ‌شناسی آهک، مارن و پیکسل‌های آبی رنگ واحدهای آهکی، مارنی نمک‌دار را نشان می‌دهند.

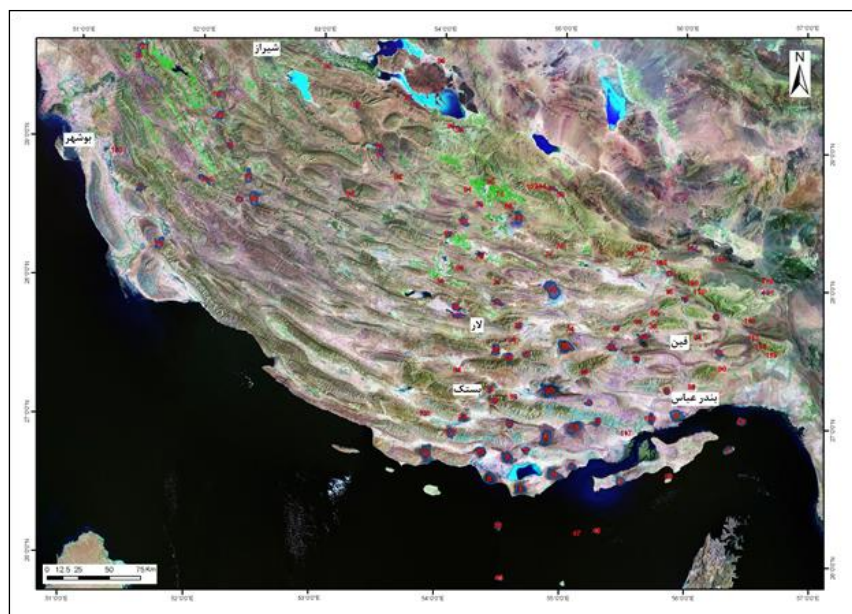
در روش دوم جهت از بین بردن اثر سایر سازندهای موجود در منطقه و بررسی نحوه پراکنش و گسترش گنبد‌های نمکی، تنها منطقه آموزشی بر گرفته از گنبد‌های نمکی وارد الگوریتم بیشترین شباهت گردید و به‌منظور حذف اثر سازندهای دیگر، بالاترین حد آستانه (۹۹٪) به‌منظور رده‌بندی، مشابه‌ترین پیکسل‌ها به پیکسل‌های گنبد‌های نمکی برای اجرای الگوریتم انتخاب شد. شکل (۵) گنبد‌های نمکی و همچنین برخی نواحی متأثر را با پیکسل‌هایی با قرمز رنگ نشان می‌دهد. مقایسه بصری تصاویر حاصل از هر دو روش نشان می‌دهد که روش دوم به‌طور نسبی عملکردی بهتر از روش اول دارد و در این روش گنبد‌های نمکی بهتر طبقه‌بندی می‌شوند.

در نهایت تمامی گنبد‌های نمکی موجود در منطقه مورد مطالعه با روش‌های فوق مورد شناسایی و بعد از انجام بازدید میدانی صحت آن مورد تأیید قرار گرفته و به‌صورت یک نقشه مجزا ترسیم گردید (شکل ۶). از آنجایی تعدادی از این گنبد‌ها برای اولین بار شناسایی گردید برای نام‌گذاری آن از شماره‌گذاری واژه گنبد نمکی^{۱۸} استفاده شد. شکل ۷ موقعیت تمامی گنبد‌های نمکی را بر روی تصویر ماهواره‌ای نمایش می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶: نقشه پراکنش گنبد‌های نمکی منطقه مورد مطالعه



مأخذ: نگارندگان

شکل ۷: موقعیت گنبد‌های نمکی بر روی تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه

نتیجه‌گیری

بر اساس پردازش‌های مختلف بر روی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۲۳ گنبد نمکی مورد شناسایی قرار گرفت. بر این اساس حوزه فعالیت و حضور گنبد‌های نمکی را می‌توان به سه بخش تقسیم کرد ۱- بخش شرقی زاگرس، در این بخش تعداد ۱۰۱ گنبد که غالباً در استان‌های هرمزگان و فارس قرار گرفته، رخنمون یافته است ۲- بخش مرکزی

زاگرس، در این بخش تعداد ۱۰ گنبد که غالباً در استان فارس قرار گرفته، رخنمون یافته و ۳- بخش غربی زاگرس، در این بخش تعداد ۱۲ گنبد که غالباً در استان بوشهر قرار گرفته، رخنمون دارد. مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعات انجام گرفته در مناطق دیگر (آرین ۲۰۱۲: ۹؛ لویز و همکاران ۲۰۱۲: ۶۱۵ و المالکی و همکاران ۲۰۱۷: ۹۰۰) مؤید کارایی و سودمند بودن روش‌های آنالیز سنجش از دوری از جمله روش ترکیب رنگی کاذب و رده‌بندی بیشترین شباهت در شناسایی لایه‌ها و مناطق شور و در نتیجه گنبد‌های نمکی، می‌باشد.

منابع

- ۱- احمدزاده هروی، محمد. علی هوشمندزاده و محمدحسین نبوی. (۱۳۶۹): مفاهیم جدیدی از چینه‌شناسی سازند هرمز و مسئله دیاپیریزم در گنبد‌های نمکی جنوب ایران، مجموعه مقالات سمپوزیوم دیاپیریزم با نگرش ویژه به ایران، وزارت معادن و فلزات، جلد اول. تهران.
- ۲- پورکاسب، هوشنگ. کاظم دمیری و کاظم رنگزن و سعیده سعیدی. (۱۳۹۱): بارز سازی واحدهای سنگ‌شناختی گنبد نمکی جهانی (فیروزآباد)، با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره اول، جلد ۵. تهران.
- ۳- عظیمی نجارکلاهی، احمد. علی‌اکبر جمالی و سیدزین العابدین حسینی. (۱۳۹۶): مقایسه‌ی دقت طبقه‌بندی سری زمانی تصاویر لندست در پایش تغییرات کاربری اراضی، فصلنامه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، سال هشتم، شماره دوم. بوشهر.
- ۴- گیوئی اشرف، زهرا. محمدعلی حکیم زاده و محمد زارع و زهره ابراهیمی و کاظم دشتکیان. (۱۳۹۳): پایش شوری خاک با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER برای ارزیابی بیابان‌زایی در دشت مروست، استان یزد، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۶۷، شماره چهارم. تهران.
- ۵- مطیعی، همایون. (۱۳۷۲): چینه‌شناسی زاگرس، طرح تدوین کتاب زمین‌شناسی ایران. جلد اول. تهران، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ۶- هاتفی اردکانی، امیرحسین. مصطفی کریمی و محمدرضا اختصاصی و عباس پایدار. (۱۳۹۵): ارزیابی روش‌های مدل‌سازی و طبقه‌بندی نظارت شده در تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از تصاویر ETM و ASTER، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره پنجم، جلد ۲۳. گرگان.

- 7- Almaleki, K.A. Bantan, R.A. Hasham, I.H. Oumar, A. Moustafa, A. (2017): Improving Geological Mapping of The Farasan Islands Using Remote Sensing and Ground-Truth Data, Journal of Maps, 13:2, 900-908.
- 8- Arian, M. (2012): Clustering of Diapered Provinces in The Central Iran Basin, Carbonates Evaporites. 27:9-18.
- 9- Ben-Dor, E. (2002); Quantitative Remote Sensing of Soil Properties. Advanced in Agronomy, 75:173-243.
- 10- Dehann R. Taylor G.R. (2003); Imaged-Derived Spectral end Members As Indicators of Salinization, Int. J. Remote Sensing, Vol. 24, no. 4, 20, 775-794
- 11- Geots, A, F. Vane, G. Soloman, J.E. Rock, B.N. (1985): Imaging Spectrometry for Earth Remote Sensing. Science, 228, 1147.
- 12- Geots, A.F.H. Herring, M. (1989): The High Resolution Imaging Spectrometer (HIRIS) for EOS. IEEE Trans. Geo. Rem. 27,136-144.
- 13- Gupta, R. P. (2003): Remote Sensing Geology, Second Edition, Springer Verlag, 655.

- 14- Hunt, G. R. Salisbury, J.W. & Lenah Off, C. J. (1972): Visible and Near-Infrared Spectra of Minerals and Rocks. V. Halides, Phosphates, Arsenates, Vanadate's and Borates. *Modern Geology*, 3, 121-132.
- 15- Jahani, S. Callot, J. P. Lamotte, D. Letouzey J. Leturmy, P. (2007): The Salt Diapers of The Eastern Fars Province (Zagros, Iran): A Brief Outline of Their Past and Present. Springer, 287-306.
- 16- Khaier, F. (2003): Soil Salinity Detection Using Satellite Remote Sensing, *Geo Information Science and Earth Observation*. International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, p: 1- 70.
- 17- Khodabakhsh Nezhad, A. Arian, M. (2016): Salt Tectonics in The Southern Iran. *International Journal of Geosciences*, 7, 367-377.
- 18- Kruse, F. A. Raines, G. I. and Watson, K. (1985): Analytical Techniques for Extracting Geologic Information from Multichannel Airborne Spectroradiometer and Airborne Imaging Spectrometer Data. In *Proceedings of The 4th Thematic Conference on Remote Sensing of the Environment, Remote Sensing for Exploration Geology*, Sanfransisco, California, 1-4 April, pp. 309-324.
- 19- Lopes, F.C. Pereira, A. J. Mantas, V.M. (2012): Mapping of Salt Structures and Related Fault Lineaments Based on Remote Sensing and Gravimetric Data: The Case of The Monte Real salt wall onshore west-central Portugal, *AAPG Bulletin*, v. 96, no. 4, pp. 615-634.
- 20- Richards, J. A. (1999): *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240
- 21- Tavernier, J.B. (1642): *Le Six Voyages De Jean Baptiste Tavernier en Turquie, en Perse, Et Aux Indes*. Pt. 1, livre 5. Paris. (N. V.)
- 22- Vincent, R. K. (1997): *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*, Prentice Hall, 366 Pp.