



شناسایی گنبد های نمکی منطقه راور، استان کرمان با استفاده از روش پلاریمتری راداری تصاویر Palsar و تحلیل تصاویر چندطیفی سنتینل-۲ و استر

علی مهرابی، صادق کریمی، فاطمه نقدی

دریافت: ۳۱ فروردین ۱۳۹۹ / پذیرش: ۱۳ خرداد ۱۳۹۹
دسترسی اینترنتی: ۱۵ تیر ۱۳۹۹

چکیده

به طوری که تنها به وجود چندین گنبد در بخش شمال و شرق راور اشاره شده است، بدون اینکه حتی موقعیت آن‌ها بر روی نقشه‌ای مشخص شده باشد. بنابراین ضرورت مطالعه بیشتر این منطقه مشخص می‌شود.

هدف اصلی این تحقیق، شناسایی گنبد های نمکی رخنمون یافته در محدوده شهرستان راور، استان کرمان با استفاده از روش های نوین سنجش از دور و استفاده از تصاویر راداری و چندطیفی است.

مواد و روش‌ها روش‌های مختلفی برای پردازش تصاویر چندطیفی وجود دارد، که از مهمترین آن‌ها می‌توان به روش تحلیل مولفه‌های اصلی و ترکیب رنگی کاذب اشاره کرد که در ادامه به نحوه استفاده از این روش‌ها در پژوهش حاضر اشاره می‌شود. برای تهیه ترکیب رنگی کاذب از باندهای حرارتی سنجنده Aster استفاده شد، به طوری که با قرار دادن باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، کانی‌های مذکور بارسازی شدند. مطالعات انجام گرفته در زمینه استفاده از تکنیک تحلیل مولفه‌های اصلی برای تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ در شناسایی شوری خاک و سنگ، نشان می‌دهد که ترکیب رنگی کاذب PC7، PC6 و PC2 به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی بدین منظور بسیار مناسب است، که در این پژوهش نیز به همین صورت عمل شد.

پیشینه و هدف گنبد های نمکی یکی از جالب‌ترین پدیده‌های ژئومورفیک است که علاوه بر جاذبه‌های گردشگری، دارای منابع معدنی مختلف بوده و می‌تواند در مواردی نقش یک عامل ذخیره کننده نفتی و تله نفتی عمل کند. شناسایی آن‌ها بسیار با اهمیت است. کشور ایران از نظر نهشته‌های تبخیری بسیار غنی است و همچنین فراوانی منحصراً فردی از گنبد های نمکی رخنمون شده را نشان می‌دهد. بیشترین گنبد های نمک شناخته شده در جنوب زاگرس و ناحیه خلیج فارس پراکنده‌اند. ولی در مناطق دیگر ایران نیز گزارش شده‌اند، از جمله کویر بزرگ، گرمسار، قم و منطقه راور. تاکنون بر روی گنبد های نمکی منطقه راور مطالعه ویژه‌ای صورت نگرفته است.

علی مهرابی^۱ (✉)، صادق کریمی^۱، فاطمه نقدی^۲

۱. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مخاطرات محیطی، گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: Mehrabi@uk.ac.ir

با انجام تکنیک پلاریمتری راداری و اعمال شاخص CPR تصاویر مربوطه تهیه شد. از آنجایی که قبلاً نیز اشاره شد رنج داده‌های مربوط به تصویر CPR ارتباط تنگاتنگی با نوع و رفتار طیفی سطوح مختلف دارد، به منظور تحلیل بهتر تصاویر رنج داده‌ها بین عدد صفر و ۱ نرمال‌سازی شد. هر چه اعداد مذکور به عدد یک نزدیک‌تر شوند، زبری ناشی از فرسایش‌پذیری سطوح بیشتر خواهد بود. در نتیجه مناطقی که در تصویر به رنگ قرمز درآمدند قاعداً بسیار فرسایش‌پذیر هستند.

نتیجه‌گیری نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از روش پلاریمتری راداری می‌توان کانی‌های تبخیری و گنبد‌های نمکی را شناسایی کرد. در این تحقیق با اعمال شاخص CPR، گنبد‌های نمکی با رنگ قرمز بارزسازی شدند. علاوه بر آن با توجه به رفتار طیفی ویژه کانی‌های انیدریت و ژپس در محدوده طیف حرارتی، با ترکیب رنگی باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ تصاویر ASTER گنبد‌های نمکی به رنگ روشن مشخص شدند. همچنین با استفاده از سه مؤلفه اصلی ۲، ۶ و ۷ تهیه شده از تصاویر سنتینل ۲، واحدهای نمک‌دار موجود در منطقه مورد مطالعه مورد شناسایی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده تعداد ۲۷ گنبدنمکی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد، که به مکانیزم و ساز و کار ساختاری معمول برای ایجاد گنبد‌های نمکی هم‌خوانی خوبی دارند، علاوه بر اینکه با انجام بازبازرسی‌های میدانی صحت نتایج به اثبات رسید.

واژه‌های کلیدی: گنبد نمکی، پلاریمتری راداری، تصاویر سنتینل-۲، تصاویر استر، شهرستان راور کرمان

نتایج و بحث با انجام تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر چند طیفی سنتینل ۲، تحلیل مولفه‌های اصلی بر روی آن صورت پذیرفت که در نتیجه آن، تصویر مربوطه به ۱۲ مولفه تقسیم شد. با استفاده از سه مولفه اصلی ۲، ۶ و ۷ اقدام به تهیه ترکیب رنگی کاذب گردید. نتایج نشان می‌دهد که واحدهای سنگی مختلف با رنگ‌های متفاوتی بارزسازی شده‌اند. در این بین با توجه به مطالعات قبلی و با بررسی رنگ‌های مختلف و مقایسه و تطبیق آن با نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که رنگ صورتی روشن نشانگر واحدهای نمک‌دار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که این موضوع با انجام مطالعات میدانی به اثبات رسید. قابل ذکر است که محدوده‌های صورتی رنگ علاوه بر تعیین گنبد‌های نمکی، نمک‌های ثانویه ناشی از هوازدگی و فرسایش این گنبد‌ها را نیز نشان می‌دهد. از آنجایی که ترکیب گنبد‌های نمکی رخنمون یافته در حوزه نمکی راور متفاوت هستند، به طوری که در یکسری از این گنبد‌ها کانی‌های نمکی و پلی‌هالیت غالب بوده و در بعضی دیگر کانی‌های سولفات به مانند ژپس و کانی‌های کربناته مانند انیدریت کانی غالب را تشکیل می‌دهند، بر حسب ویژگی‌ها و رفتار طیفی کانی‌های غالب هر گروه می‌توان از تصاویر مختلف ماهواره‌ای جهت بارزسازی آن‌ها استفاده کرد. بر این اساس از تصاویر Aster نیز استفاده شد، بنابراین با توجه به رفتار طیفی ویژه کانی‌های انیدریت و ژپس در محدوده طیف حرارتی، می‌توان با قرار دادن باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، ترکیب رنگی ویژه‌ای جهت شناخت گنبد‌های نمکی ایجاد کرد. همانطور که در نتایج مشخص است گنبد‌های نمکی دارای کانی غالب ژپس و انیدریت با رنگ سفید روشن مشخص شده‌اند.

مقدمه

گنبد‌های نمکی یکی از جالب‌ترین پدیده‌های ژئومورفیک است که علاوه بر جاذبه‌های گردشگری، دارای منابع معدنی مختلف بوده و می‌تواند در مواردی نقش یک عامل ذخیره کننده نفتی و تله نفتی عمل کند (۲). شناسایی آن‌ها بسیار با اهمیت است. کشور ایران از نظر نهشته‌های تبخیری بسیار غنی است و همچنین فراوانی منحصربه‌فردی از گنبد‌های نمکی رخنمون شده را نشان می‌دهد. بیشترین گنبد‌های نمک شناخته‌شده در جنوب زاگرس و ناحیه خلیج فارس پراکنده‌اند (۱۷). ولی در مناطق دیگر ایران نیز گزارش شده‌اند، از جمله کویر بزرگ، گرمسار، قم و منطقه راور (۲). تاکنون بر روی گنبد‌های نمکی منطقه راور مطالعه ویژه‌ای صورت نگرفته است به طوری که تنها به وجود چندین گنبد در بخش شمال و شرق راور اشاره شده است، بدون اینکه حتی موقعیت آن‌ها بر روی نقشه‌ای مشخص شده باشد. بنابراین ضرورت مطالعه بیشتر این منطقه مشخص می‌شود.

به‌طور کلی گنبد‌های نمکی ساختمان‌های زمین‌شناسی گنبدی شکلی هستند که هسته مرکزی آن‌ها از سنگ‌های تبخیری تشکیل شده است. همواره دو عامل را فاکتور اصلی در تشکیل گنبد‌های نمکی می‌دانند. تکنونیک منطقه که عامل اصلی حرکت نمک است و سبک بودن نمک و تبخیری‌ها به علت وزن مخصوص کمتر نمک از دیگر سنگ‌ها و تمایل حرکت آن برخلاف نیروی ثقل که بر اثر این اختلاف وزن مخصوص پیش می‌آید. بر روی چگونگی عملکرد و شواهد روی زمین دلایل مختلفی آورده می‌شود گروهی ناپایداری ثقلی (سبک بودن نمک) را عامل اصلی و عده‌ای فقط عامل کوهزایی و تکنونیک را مؤثر می‌دانند دسته سومی هر دو را باهم باعث به وجود آمدن دیاپیر می‌دانند. علاوه بر دو عامل فوق عوامل دیگری که تا اندازه‌ای با دو عامل اصلی ذکر شده در ارتباط هستند می‌توانند مؤثر باشد از جمله وزن، فشار، وزسیکوزیته، زمان و بالاخره ضخامت را می‌توان نام برد. ساختمان‌های نمکی ممکن است به صورت گنبد‌های نمکی، بالش‌های نمکی، برجستگی‌های تیغه مانند و استوک‌های نمکی

باشد. بنابراین شکل گنبد نمکی متغیر است. دیواره بسیاری از آن‌ها دارای شیب زیاد در حدود ۸۰ تا ۹۰ درجه به طرف خارج است. گنبد‌های نمکی متقارن، کمیاب و اغلب گنبد‌ها نامتقارن و شیب دیواره‌ها در جهت مختلف متفاوت است (۲).

امروزه به منظور بررسی و شناسایی گنبد‌های نمکی با توجه به ویژگی‌های طیفی کانی‌های تبخیری آن، پردازش تصاویر ماهواره‌ای بسیار مناسب و کاربردی است. تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام گرفته است. شایان و همکاران (۲۳) با پردازش تصاویر ETM^+ به بررسی گنبد نمکی کرسیا دشت داراب پرداخته و باعث شناسایی پدیده‌های ژئومورفولوژیکی مرتبط با تحول این گنبد شده‌اند. پورکاسب و همکاران (۲۱) واحدهای سنگ‌شناختی گنبد نمکی جهانی را با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی بارزسازی کرده و واحدهای نمکی را مشخص نمودند.

طیبی و همکاران (۲۵) با استفاده از تصاویر ASTER و مدل شبکه عصبی، گنبد‌های نمکی قرار گرفته در محدوده جنوب شرقی شیراز را آشکارسازی کردند. مارتین و همکاران (۱۶) ایالت دیاپیری موروکو را با استفاده از سنجش از دور مورد بررسی قرار دادند.

سعیدیان و همکاران (۲۲) جهت بارزسازی گنبد‌های نمکی جنوب غربی ساوه از پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER استفاده کردند، ایشان در این راستا از تکنیک‌های نقشه‌برداری زاویه طیفی (SAM) و ترکیب رنگی کاذب (FCC) استفاده کردند.

مهرابی و پورخسروانی (۱۷) با استفاده از تحلیل‌های نظیر تقسیم بانندی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) تصاویر ETM^+ ، گنبد‌های نمکی رخنمون یافته ناحیه زاگرس را مورد شناسایی قرار دادند، ایشان تعداد ۱۲۳ گنبد نمکی را در منطقه شناسایی کردند. همان‌طور که اشاره شد تمامی مطالعات نام‌برده از تصاویر ماهواره‌ای نوری و چندطیفی در راستای شناسایی گنبد‌های نمکی استفاده کرده‌اند. با وجود اینکه امروزه تصویربرداری راداری SAR بیش از پیش روجه پیشرفت بوده و کاربردهای آن نیز به‌ویژه در مطالعات جغرافیایی، منابع طبیعی

نیمه‌خشک قرار گرفته و حداکثر درجه حرارت در تابستان حدود ۴۲ درجه سانتی‌گراد بالای صفر و در زمستان به ۱۰ درجه زیر صفر می‌رسد (۱). به لحاظ تقسیمات سیاسی تقریباً تمامی گستره شهرستان راور را شامل می‌شود.

پهنه مورد مطالعه به لحاظ ساختاری در حوزه ایران مرکزی قرار دارد. این منطقه در دو ورقه زمین‌شناسی لکرکوه و راور قرار گرفته است. بیشتر سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در منطقه شامل سازند دسو با ترکیب ژئوس، دولومیت، آهک و کانی‌های تبخیری، سازند بیدو با ترکیب ماسه‌سنگ، شیل و مارن‌های ژئوس دار، سری راور با آمیزه‌ای از ماسه‌سنگ سرخ‌رنگ، سنگ‌های آتشفشانی بازیک، سنگ‌آهک‌های تیره و سنگ‌های تبخیری، است (شکل ۲).

در حوزه راور، رسوب‌گذاری دوره‌ای و طولانی‌مدت تبخیری‌ها در تمام طول فائوزوئیک انجام گرفته است. نمک و ژئوس در وندین ظاهر شده و در کامبرین زیرین، دونین، ژوراسیک بالایی، کرتاسه زیرین و در اواخر ترشیاری نیز تکرار می‌شود (۲). رسوبات آواری و رسوبات غیر تبخیری از قبیل آهک‌ها یا رسوبات ژوراسیک به همراه طبقات زغال در حوزه راور همه از نوع دریایی کم‌عمق یا رسوبات خشکی هستند و البته آثاری از فعالیت‌های آتشفشانی نیز در کامبرین زیرین مشاهده شده است (۲).

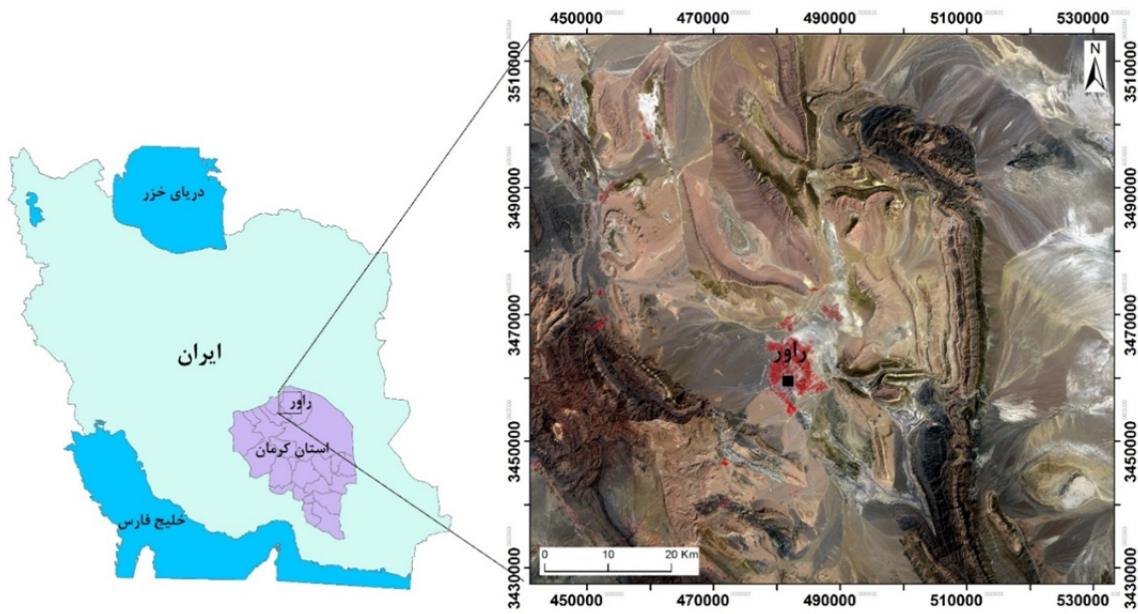
و زمین‌شناسی رو به گسترش است (۴، ۸، ۱۵، ۱۸، ۲۷ و ۲۸). در زمینه استفاده از این تصاویر در حوزه شناخت گنبد‌های نمکی به‌ندرت مطالعه‌ای صورت پذیرفته است. به‌طوری‌که تنها می‌توان به مطالعه هرینگتون و همکاران (۱۲) اشاره نمود. ایشان با استفاده از تکنیک پلاریمتری راداری گنبد‌های نمکی جزیره اکسل هیبرگ کانادا را مورد شناسایی قرار داده و نتایج کار خود را با استفاده از پردازش تصاویر چند طیفی مورد تأیید قرار داده‌اند.

از آنجایی‌که در شمال استان کرمان و در محدوده شهرستان راور یکی از حوزه‌های تبخیری ایران واقع شده است و با توجه به گزارش‌هایی مبنی بر وجود گنبد‌های نمکی در آن منطقه، بر آن شدیم تا با استفاده از روش‌های نوین سنجش‌ازدور و استفاده از تصاویر راداری و چندطیفی به شناسایی گنبد‌های نمکی رخنمون‌یافته در منطقه پردازیم.

روش تحقیق

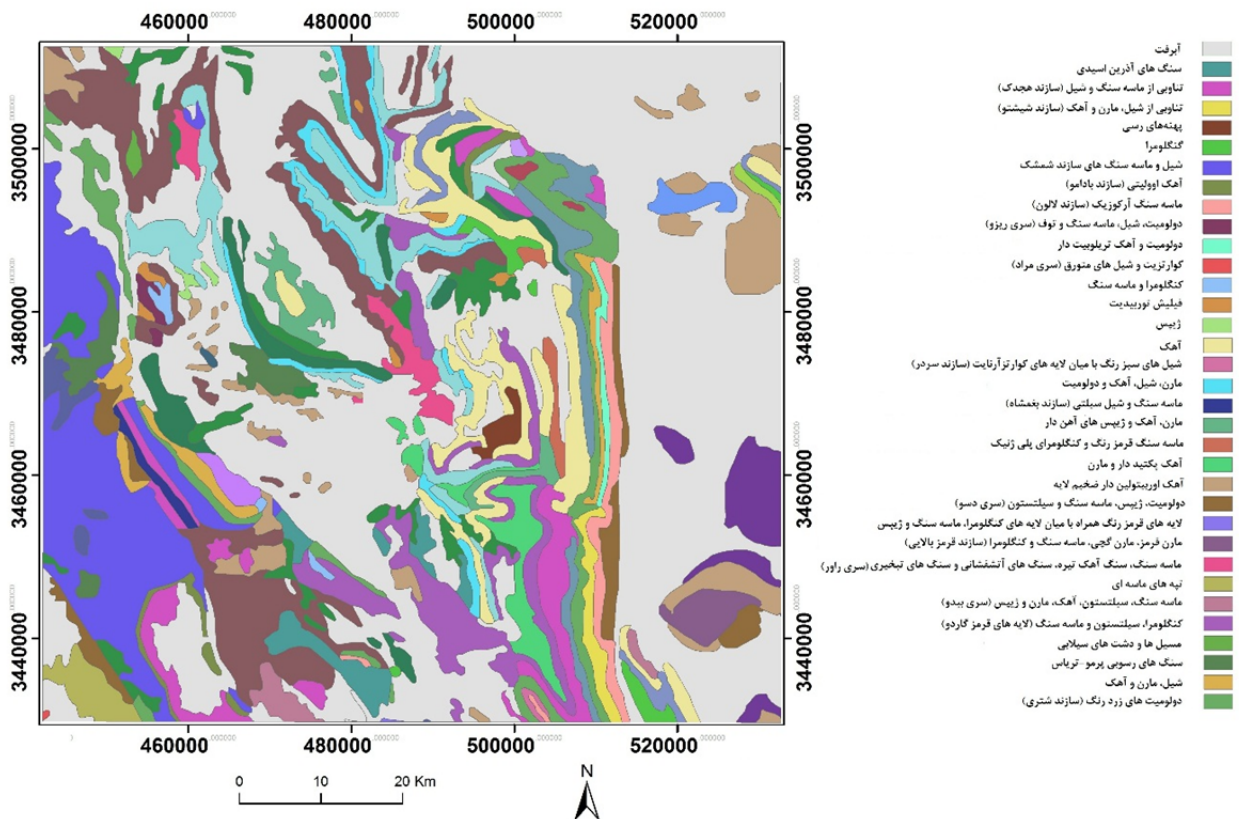
منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در شمال استان کرمان بین و در مختصات جغرافیایی $20^{\circ} 56'$ تا $20^{\circ} 57'$ طول شرقی و $31^{\circ} 01'$ تا $31^{\circ} 45'$ عرض شمالی در حاشیه کویر لوت قرار دارد (شکل ۱). مساحت محدوده مورد مطالعه در حدود ۷۶۵۰ کیلومتر مربع است. از نظر اقلیمی در منطقه خشک و



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

Fig 1. Study area



شکل ۲. نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

Fig 2. Geological map of the study area

داده‌های مورد استفاده

در این تحقیق از ترکیبی از مجموعه داده‌های ماهواره‌های راداری، چند طیفی و مطالعات میدانی، جهت نیل به اهداف مورد نظر استفاده شده است. در این راستا از سه سری تصویر ماهواره‌ای شامل یک سین تصویر راداری مربوط به سنجنده Palsar، ماهواره Alos سازمان فضایی ژاپن از نوع مد FBS با پلاریزاسیون VH، HV، HH، VV که مربوط به سال ۲۰۱۱ است، علاوه بر آن از یک سین تصویر چند طیفی مربوط به

سنجنده Sentinel-2 و ۳ سین تصویر چند طیفی مربوط به سنجنده Aster، هر دو نوع تصویر مربوط به سال ۲۰۱۹، در این تحقیق استفاده شد. تحلیل‌های انجام گرفته با استفاده از نرم‌افزارهای SNAP 6 و ENVI انجام گرفت. همچنین مدل ارتفاع رقومی استفاده شده در این تحقیق از نوع مدل رقومی ارتفاعی SRTM ۳۰ متری است. جدول ۱ مشخصات تصاویر چند طیفی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مشخصات داده‌های مورد استفاده در تحقیق

Table 1. Overview of images used in research

رزولوشن (متر) Resolution	تعداد باند Band Numbers	مدار Orbit	تاریخ Date	نوع تصاویر Images Type
۱۰	-	۸۵	۲۰۱۱/۷/۲۳	Palsar تصاویر راداری Radar Images
۶۰، ۲۰، ۱۰	۱۲	۶۳	۲۰۱۹/۶/۱۷	Sentinel 2 تصاویر چند طیفی
۹۰، ۳۰، ۱۵	۱۴	۱۱۲	۲۰۱۹/۶/۲۵	Aster Multi Spectral Images

موج با پلاریزاسیون افقی به یک هدف برخورد می‌کند، می‌تواند در هر دو پلاریزاسیون افقی و عمودی پس پراکنش کند (۷). در مورد انتشار موج با پلاریزاسیون عمودی نیز به همین ترتیب است. بنابراین خواص پس پراکنش یک هدف توسط ماتریس پراکنش S از رابطه ۱ تعیین نمود.

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \quad [1]$$

علاوه بر آن می‌توان با استفاده از ماتریس تغییرات پایه پلاریمتری [U] (رابطه ۲)، ماتریس پراکنش را به ماتریس پراکنش پلاریمتری دایره‌ای [S_{cir}] (رابطه ۳) تبدیل کرد.

$$[U] = [U_{(\phi)}][U_{(\tau)}][U_{(\alpha)}] \quad [2]$$

$$= \begin{bmatrix} \cos \phi & -\sin \phi \\ \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \tau & i \sin \tau \\ i \sin \tau & \cos \tau \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{+i\alpha} & 0 \\ 0 & e^{-i\alpha} \end{bmatrix}$$

$$[S_{cir}] = [U]^T [S] [U] = \begin{bmatrix} S_{RR} & S_{RL} \\ S_{LR} & S_{LL} \end{bmatrix} \quad [3]$$

در این رابطه‌ها؛ α فاز مطلق و S_{cir} همان ماتریس

با توجه به استفاده از دو نوع تصویر راداری و نوری در این پژوهش، از دو روش پلاریمتری راداری و روش پردازش چند طیفی در این تحقیق استفاده شده است.

پردازش تصاویر راداری

جهت تحلیل تصاویر راداری از تکنیک پلاریمتری راداری استفاده شد. در ادامه ضمن اشاره‌ای کوتاه به اصول این روش، به نحوه استفاده از آن در این تحقیق اشاره می‌شود. پلاریزاسیون یکی از ویژگی‌های مهم موج الکترومغناطیس به حساب می‌آید. پلاریزاسیون به نظم و ترتیب مؤلفه‌های میدان الکتریکی و مغناطیسی موج، در صفحه‌ای عمود بر جهت انتشار، بستگی دارد. مبنای کار داده‌های پلاریمتری راداری بر اساس دریافت داده از سطح زمین با استفاده از ارسال امواج الکترومغناطیس با قطبش قائم (V) و افقی (H) و دریافت آن است. این نوع داده به کاربر اجازه شناسایی کلاس‌های مختلف را با آنالیز چندقطبی ضرایب بازپراکنش می‌دهد. وقتی یک

استفاده از روش PCA است. معمولاً در استفاده از PCA، برای بازسازی تصاویر، از داده‌های تمامی باندهای تصویر موردنظر استفاده می‌شود. بدین صورت که ابتدا، در یک سیستم مختصات متشکل از دو باند تصویر، پراکنش دوبعدی مقادیر پیکسل‌های تصویر به صورت نمودار شاخص همبستگی ترسیم می‌شود. بعداً آن، محور مختصات موجود باید به محل میانگین‌ها در نمودار اولیه انتقال یابد. در واقع هدف این است که چرخش محور اولیه به نحوی صورت گیرد که درجه روشنایی اولیه بر روی مجموعه محورها و مختصات جدید منتقل شوند. سیستم مختصات جدید می‌تواند حول مبدأ جدید و به اندازه زاویه θ بچرخد، به طوری که اولین محور با حداکثر میزان واریانس (در نمودار پراکنش نقاط)، منطبق شود. حال این محور جدید مؤلفه اصلی اول ($PC_1 = \lambda_1$)، نامیده می‌شود. دومین مؤلفه ($PC_2 = \lambda_2$)، عمود بر PC_1 است. بدین ترتیب واریانس مؤلفه‌های بعدی کاهش می‌یابد. در روش PCA، دستیابی به شاخص‌های مستقل (غیر همبسته) بسیار مفید است. زیرا عدم همبستگی نشان می‌دهد شاخص‌ها، جنبه‌های متفاوتی از داده‌ها را در خود جای داده‌اند. برای اینکه داده‌های موجود روی محورهای اولیه، به محورهای PC_1 و PC_2 تبدیل شود، به ضرایب تبدیلی نیاز است تا بتوان آن را در یک مدل خطی به کاربرد. بنابراین با ایجاد مجموعه داده‌های جدید، ضرایب تبدیل جدید نیز حاصل می‌شود. بدین منظور از رابطه ۵ استفاده می‌شود. در این راستا ابتدا بر اساس تعداد باندهای موجود یک ماتریس وزنی تعریف شده و سپس با استفاده از فرمول مذکور، مؤلفه‌های اصلی به دست می‌آید (۱۱).

$$PC_k = \sum_{i=1}^n W_{i,k} \times DN_i \quad [5]$$

در این رابطه؛ $W_{i,k}$ وزن باند i در مؤلفه k ام (بردار ویژه)، DN_i درجه روشنایی باند i ام و n تعداد باندهای تصویر ماهواره‌ای است. مطالعات انجام گرفته در زمینه استفاده از تکنیک تحلیل مؤلفه‌های اصلی برای تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ در شناسایی شوری خاک و سنگ (۱۰ و ۲۴) نشان می‌دهد که ترکیب رنگی کاذب PC_7 ، PC_6 و PC_2 به ترتیب

پراکنش پلاریمتری دایره‌ای برای زاویه 45° درجه و τ زاویه بیضوی (Ellipticity angle) نام دارد. و در نهایت با استفاده از اجزای ماتریس پراکنش پلاریمتری دایره‌ای و به وسیله ابزار تقسیم باندی در نرم افزار SNAP بر اساس رابطه ۴، تصویر موسوم به نسبت پلاریمتری دایره‌ای (Circular Polarization Ratio; CPR) تهیه می‌شود (۱۲).

$$CPR = \frac{\langle |S_{RR}|^2 \rangle}{\langle |S_{RL}|^2 \rangle} \quad [4]$$

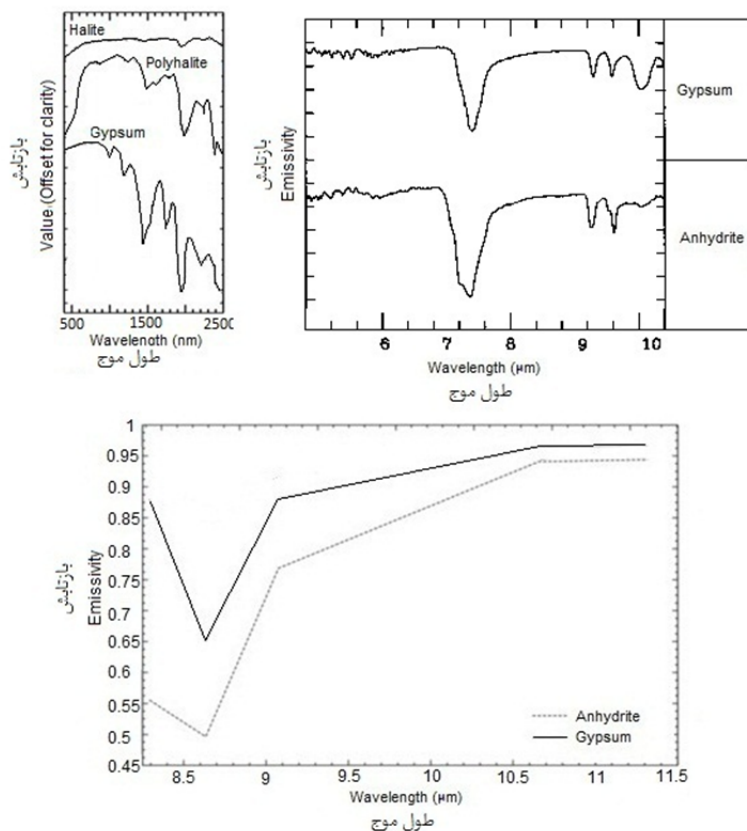
به منظور کاهش خطای اسپکل بر روی تصویر CPR عملیات چند منظر سازی (Multilooking) انجام گرفت. تفسیر رنج داده‌های مربوط به تصویر CPR به این صورت است که ارزش‌های بین ۰/۵ و ۱ نشانگر سطوح نسبتاً زبر، ارزش‌های کمتر از ۰/۵ نشانگر سطوح صاف و ارزش‌های بیشتر از ۱ مربوط به سطوح سنگی فرسایش پذیر است که نوع پراکنش موج آن‌ها از نوع Double bounce است (۶). از آنجایی که یکی از ویژگی‌های بارز گنبد‌های نمکی در مقایسه با دیگر لیتولوژی‌ها، قابلیت هوازگی و فرسایش پذیری بالا این ساختارها است (۱۲ و ۱۳)، در نتیجه آن باعث می‌شود که این سطوح در مواجهه با امواج راداری، حکم سطوح زبر داشته باشند و نوع پراکنش امواج نیز متفاوت خواهد بود. بنابراین با بررسی امواج برگشتی راداری در پلاریزاسیون‌های مختلف و استفاده از روابط خاص می‌توان گنبد‌های نمکی را مشخص کرد. بدین منظور تصاویر راداری Palsar که از نوع چهار پلاریزاسیون هستند (HH، VV، VH و HV) مورد استفاده قرار گرفت.

پردازش تصاویر چند طیفی

روش‌های مختلفی برای پردازش تصاویر چندطیفی وجود دارد، که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی و ترکیب رنگی کاذب اشاره کرد که در ادامه ضمن تعریف روش‌های مذکور به نحوه استفاده از این روش‌ها در پژوهش حاضر اشاره می‌شود. یکی از تکنیک‌های پردازشی مؤثر در زمینه استخراج اطلاعات نادر تصاویر ماهواره‌ای،

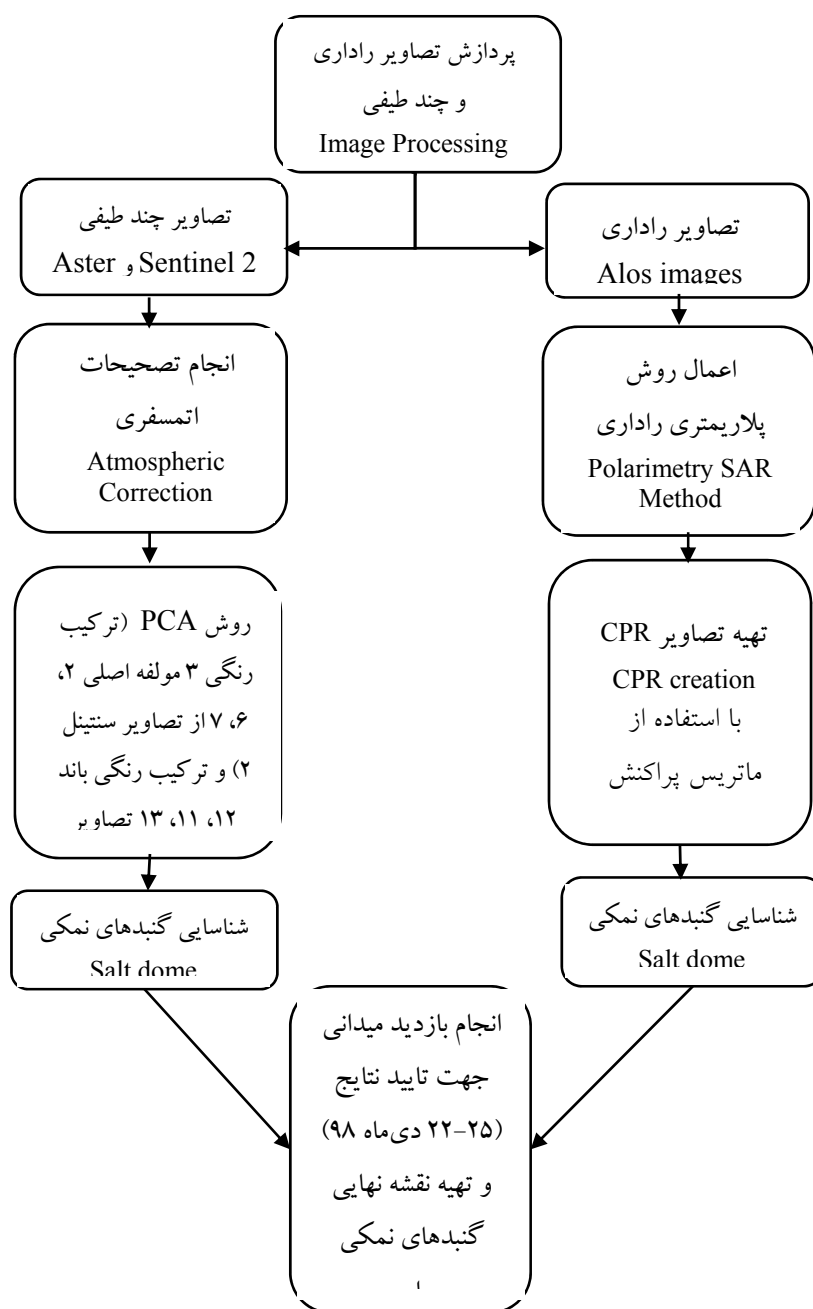
و ۱۳ به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، کانی‌های مذکور بارزسازی می‌شوند (۵). از آنجایی که ترکیب گنبد‌های نمکی رخنمون یافته در حوزه نمکی راور متفاوت هستند، به طوری که در یکسری از این گنبد‌ها کانی‌های نمکی و پلی‌هالیت غالب بوده و در بعضی دیگر کانی‌های سولفات به مانند ژپس و کانی‌های کربناته مانند انیدریت کانی غالب را تشکیل می‌دهند، برحسب ویژگی‌ها و رفتار طیفی کانی‌های غالب هر گروه می‌توان از تصاویر مختلف ماهواره‌ای جهت بارزسازی آن‌ها استفاده کرد. بر این اساس از تصاویر Aster نیز استفاده شد، بنابراین با توجه به رفتار طیفی ویژه کانی‌های انیدریت و ژپس (شکل ۳) در محدوده طیف حرارتی، می‌توان با قرار دادن باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، ترکیب رنگی ویژه‌ای جهت شناخت گنبد‌های نمکی ایجاد کرد.

در کانال‌های قرمز، سبز و آبی بدین منظور بسیار مناسب است (۳ و ۱۴). از آنجایی که کانی‌های حاوی عناصر کلسیم و سولفات نظیر ژپس و انیدریت و کانی‌های نمکی نظیر هالیت و پلی‌هالیت از عناصر اصلی تشکیل‌دهنده گنبد‌های نمکی هستند، مطالعه نمودار انعکاس طیفی این کانی‌ها (شکل ۳) که نشانگر رفتار آن کانی در بازتاب طیف الکترومغناطیس است، می‌تواند جهت شناسایی آن‌ها استفاده شود. معمولاً در محدوده‌های طول موجی خاصی کانی‌ها رفتار طیفی متفاوتی نشان می‌دهند که در آن بخش‌ها نمودار طیفی آن‌ها از یکدیگر بیشترین فاصله را می‌گیرد، در نتیجه می‌توان با استفاده از آن باندها، کانی‌های مختلف را شناسایی کرد. علاوه بر این کانی‌های سولفات و کربناته در طول موج ۸/۶ میکرومتر نیز دارای جذب شدیدی می‌باشند، می‌توان از باندهای حرارتی سنجنده Aster نیز استفاده کرد، به طوری که با قرار دادن باندهای ۱۲، ۱۱



شکل ۳. نمودار طیفی کانی‌های موجود در گنبد‌های نمکی در طول موج‌های مختلف (۹)

Fig 3. Spectral diagram of salt domes minerals in different wavelength (9)

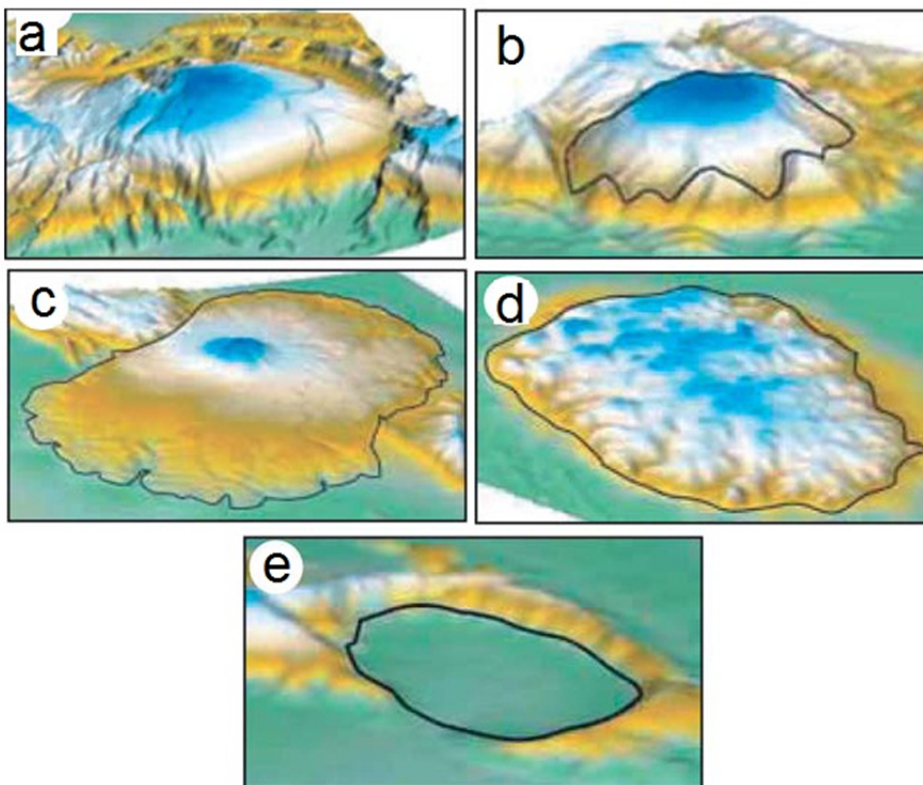


شکل ۴. فلوجارت روش تحقیق

Fig 4. The flowchart of research method

درحالی که از مرحله c به بعد نرخ فرسایش از رشد پیشی گرفته و گنبد نمکی شکل تقریباً مسطحی به خود می گیرد، به طوری که در مرحله آخر دیگر اثری از خود گنبد نمکی در سطح نیست و تنها دهانه خالی آن برجای می ماند.

مراحل تکامل یک گنبد نمکی در شکل ۵ مشخص شده است، همان طور که در این شکل دیده می شود در مرحله a و b گنبد ها کاملاً فعال و نرخ رشد بیشتر از نرخ فرسایش است در نتیجه گنبد ساختار کاملاً برآمده و مرتفع را تشکیل می دهد.



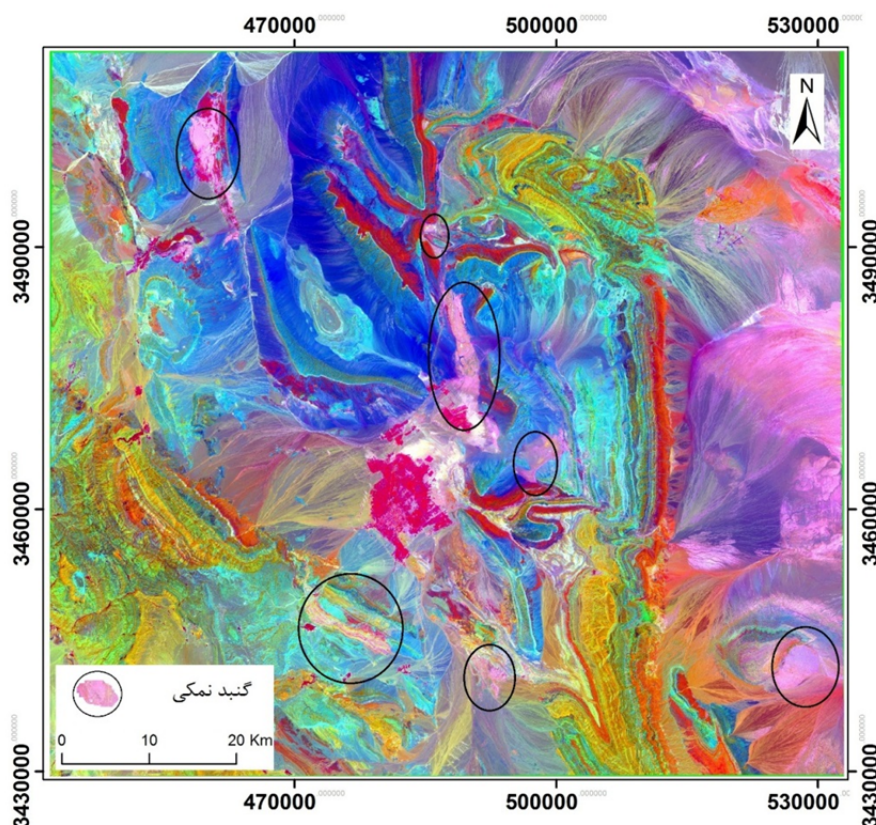
شکل ۵. روند تکامل گنبد‌های نمکی (۲۰)

Fig 5. The evolution of salt domes (20)

نتایج و بحث

مختلف و مقایسه و تطبیق آن با نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، مشخص شد که رنگ صورتی روشن نشانگر واحدهای نمک‌دار در منطقه مورد مطالعه است که این موضوع با انجام مطالعات میدانی به اثبات رسید. قابل ذکر است که محدوده‌های صورتی‌رنگ علاوه بر تعیین گنبد‌های نمکی، نمک‌های ثانویه ناشی از هوازدگی و فرسایش این گنبد‌ها را نیز نشان می‌دهد. در شکل ۶ گنبد‌های نمکی با دایره مشخص شده‌اند.

با انجام تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر چند طیفی ستینل-۲، تحلیل مؤلفه‌های اصلی بر روی آن صورت پذیرفت که در نتیجه آن، تصویر مربوطه به ۱۲ مؤلفه تقسیم شد. با استفاده از سه مؤلفه اصلی ۲، ۶ و ۷ اقدام به تهیه ترکیب رنگی کاذب گردید نتیجه کار در شکل ۴ قابل مشاهده است، همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود واحدهای سنگی مختلف بارنگ‌های متفاوتی بارسازی شده‌اند. در این بین با توجه به مطالعات قبلی (۱۹ و ۲۶) و با بررسی رنگ‌های



شکل ۶. ترکیب رنگی کاذب حاصل از PC2، PC6 و PC7 در این تصویر واحدهای نمک‌دار و سطوح نمکی ثانویه به رنگ صورتی روشن آشکار شده‌اند.

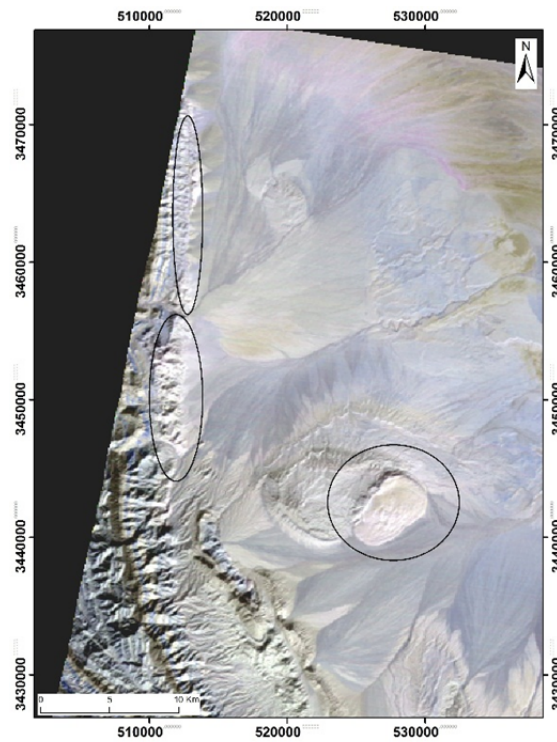
Fig 6. False color combinations from PC2, PC6 and PC7, in this image, the salt units and the secondary salt surfaces are light pink

یک نزدیک‌تر شوند، زبری ناشی از فرسایش‌پذیری سطوح بیشتر خواهد بود. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود رنگ‌های قرمز و آبی دو حد انتهایی و مربوط به ارزش‌های یک و صفر هستند. در نتیجه مناطقی که در تصویر به رنگ قرمز درآمده‌اند قاعدتاً بسیار فرسایش پذیر هستند، با مقایسه این تصویر با شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود که محدوده‌های قرمز رنگ دقیقاً منطبق بر گنبد‌های نمکی شناخته‌شده از طریق تصاویر چند طیفی، هستند. در نتیجه می‌توان از این طریق نیز گنبد‌های نمکی را شناسایی کرد. قابل ذکر است که یکی از گنبد‌های نمکی تنها از همین روش مورد شناسایی قرار گرفت. در نهایت با تلفیق تمامی روش‌های ذکر شده اقدام به ترسیم محدوده گنبد‌های نمکی در منطقه مورد مطالعه در محیط GIS گردید. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود تعداد ۲۷

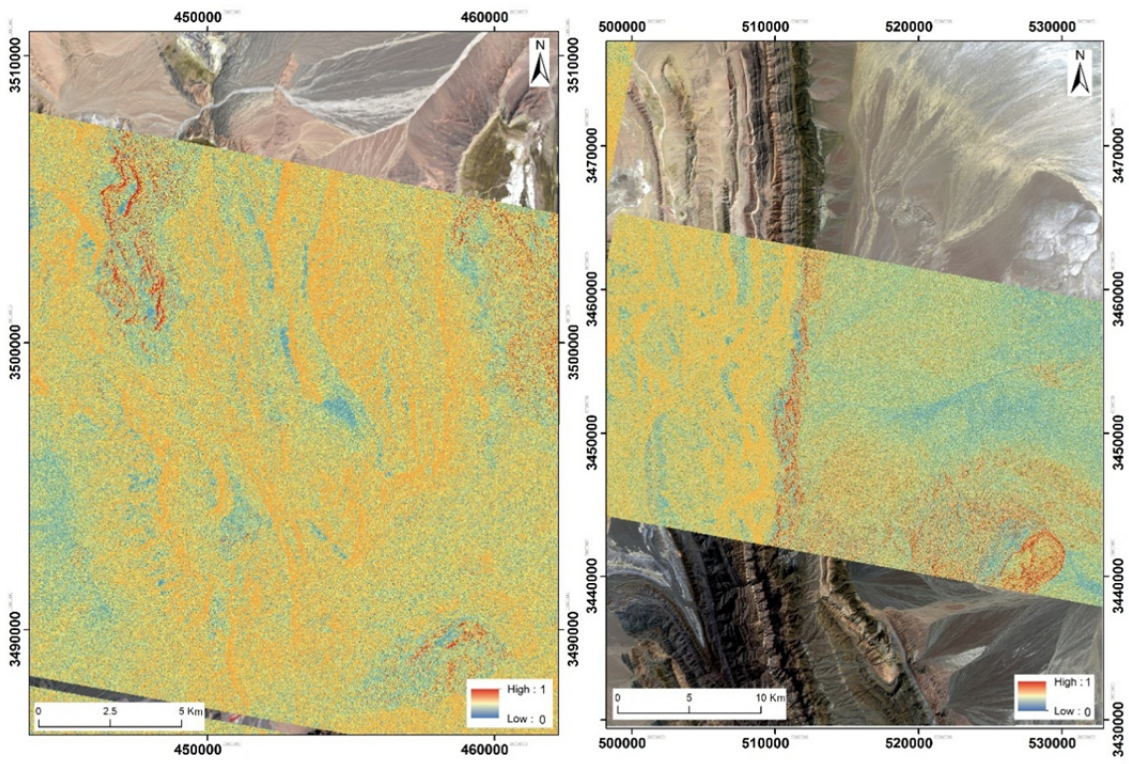
با قرار دادن باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ تصاویر Aster به ترتیب در کانال‌های قرمز، سبز و آبی، ترکیب رنگی ویژه‌ای جهت شناخت گنبد‌های نمکی ایجاد شد. شکل ۷ ترکیب رنگی مذکور را نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است گنبد‌های نمکی دارای کانی غالب ژپس و انیدریت با رنگ سفید روشن مشخص شده‌اند. علاوه بر تصاویر چند طیفی در این پژوهش جهت شناسایی بهتر گنبد‌های نمکی از تصاویر راداری Palsar استفاده شد، با انجام تکنیک پلاریمتری راداری و اعمال شاخص CPR تصاویر مربوطه تهیه شد (شکل ۸). از آنجایی که قبلاً نیز اشاره شد رنج داده‌های مربوط به تصویر CPR ارتباط تنگاتنگی با نوع و رفتار طیفی سطوح مختلف دارد، به منظور تحلیل بهتر تصاویر رنج داده‌ها بین عدد صفر و ۱ نرمال‌سازی شد. هر چه اعداد مذکور به عدد

شکل بسیاری از این توده‌های نمکی کاملاً گنبدی شکل نیستند و بیشتر دارای کشیدگی بوده و یا حتی در بعضی از آن‌ها برآمدگی زیادی دیده نمی‌شود، برای تحلیل این موارد باید به مبحث تکامل گنبد‌های نمکی در طول ظهور تا گسترش و پیشرفت آن‌ها توجه کرد. همان‌طور که در شکل ۵ مشخص است ۵ مرحله تکامل برای یک گنبد نمکی متصور می‌شوند، در مرحله a و b گنبد‌ها کاملاً فعال و نرخ رشد بیشتر از نرخ فرسایش است. در این مرحله معمولاً یک گنبد ساختار کاملاً برآمده و مرتفع را تشکیل می‌دهد. ولی از مرحله c به بعد نرخ فرسایش از رشد پیشی گرفته و در نتیجه شکل تقریباً مسطحی به خود می‌گیرد، به طوری که در مرحله آخر دیگر اثری از خود گنبد نمکی در سطح نبوده و تنها دهانه خالی آن مشاهده می‌شود. گنبد‌های نمکی شناسایی شده در این تحقیق نیز علی‌رغم اینکه تمامی مراحل روند تکاملی را نشان می‌دهند ولیکن بیشتر گنبد‌ها در مراحل آخر تکامل خود قرار دارند. به طور مثال همان‌طور که در شکل ۱۱ مشخص است، گنبد‌های نمکی شماره ۱۱ در مرحله b، شماره ۱ در مرحله c، شماره ۲۴ در مرحله d و گنبد نمکی شماره ۱۹ در مرحله e قرار دارد.

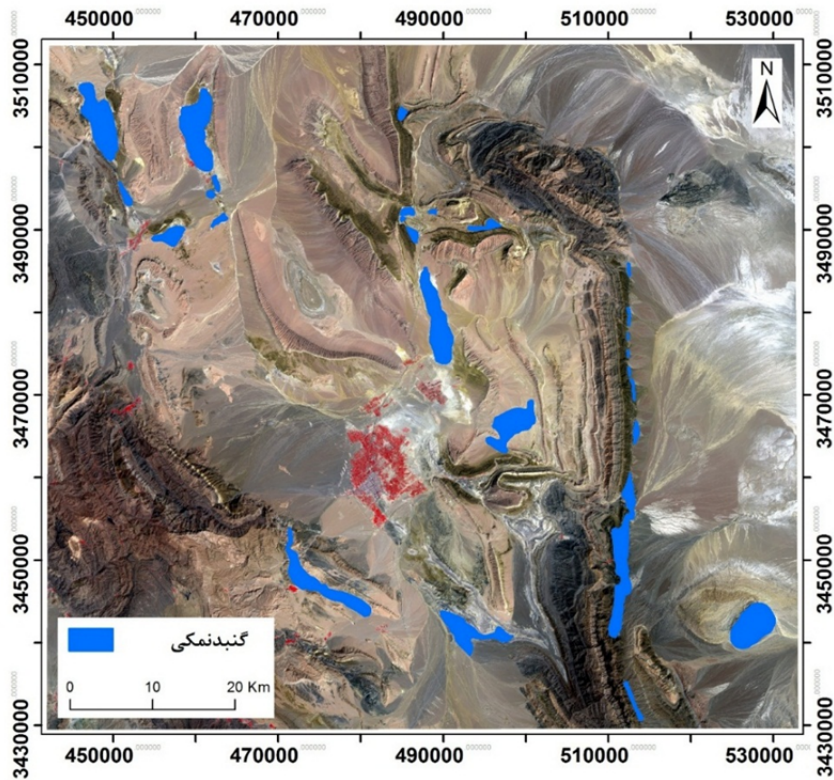
گنبد نمکی در کل محدوده مورد مطالعه شناسایی شد. جهت بررسی صحت نتایج به دست آمده از پردازش تصاویری ماهواره‌ای مختلف، بازدید صحرایی انجام گرفت، و بدین صورت صحت نتایج تأیید شد. شکل ۱۰ تعدادی از تصاویر مربوط به گنبد‌های بازدید شده را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی‌های زمین‌شناسی نشان می‌دهد که لیتولوژی گنبد‌ها اکثراً ترکیبی از میان لایه‌های نمک، ژپس، دولومیت، انیدریت، مارن و تکه‌های آهک است. یکی دیگر از پدیده‌های موجود در این گنبد‌ها وجود شورابه‌ها و چشمه‌های نمکی است که نمونه آن در شکل شماره ۱۰ دیده می‌شود. با توجه به موقعیت گنبد‌های نمکی در ارتباط با سازندهای زمین‌شناسی موجود در منطقه که با مشاهده و مقایسه شکل ۹ و شکل ۲، این مسئله روشن می‌شود که همه گنبد‌های نمکی در سازندهایی رخنمون دارند که به لحاظ جایگاه زمین‌شناسی درست است، زیرا بر اساس مطالعات زمین‌شناسی گذشته (۲) وجود گنبد‌های نمکی و به طور کلی سازندهای تبخیری یکی از ویژگی‌های بارز این سازندها است، که نتایج به دست آمده از این تحقیق نیز مؤید این مطلب است. نکته دیگری که از شکل برون‌زدهای نمکی ترسیم شده قابل برداشت است، این است که



شکل ۷. ترکیب رنگی حاصل از باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ سنجنده Aster، در این تصویر گنبدهای نمکی به رنگ روشن بارز شده‌اند.
 Fig 7. Color combination of bands 12, 11 and 13 Aster sensor, in this image, the salt domes are brightly colored



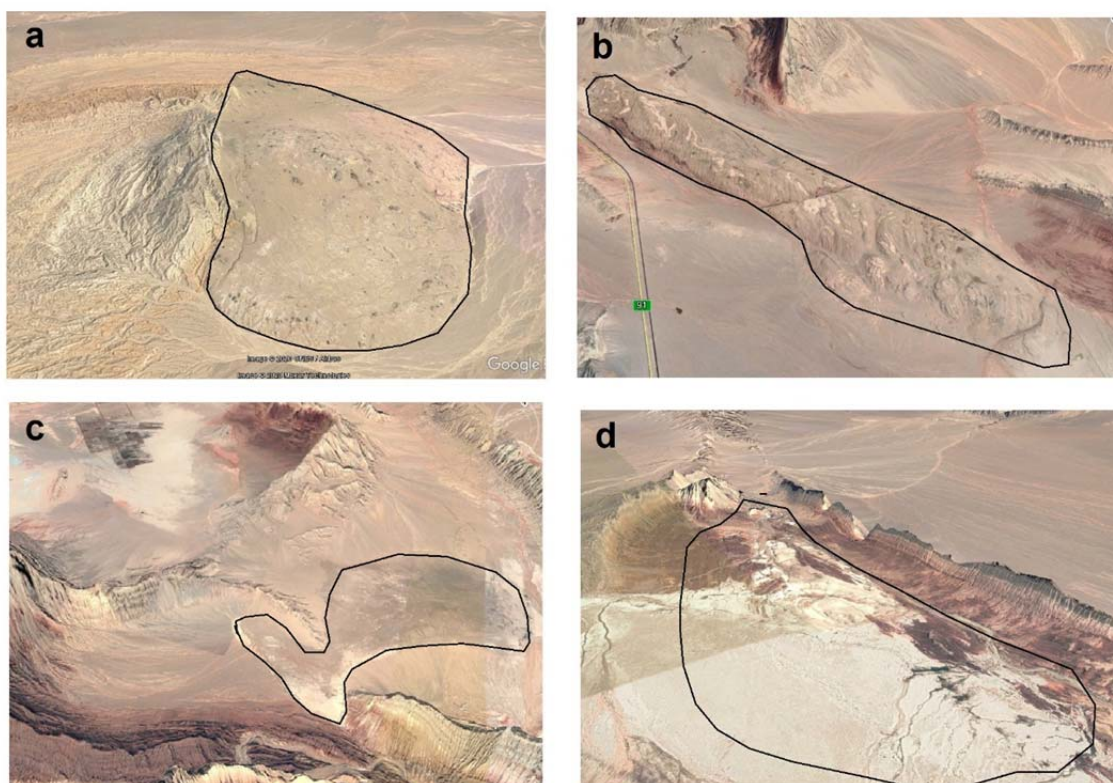
شکل ۸. تصویر CPR ناشی از داده‌های راداری Palsar، گنبدهای نمکی در این تصاویر به رنگ قرمز مشاهده می‌شوند.
 Fig 8. CPR image from Palsar radar data, the salt domes are shown in red in these images



شکل ۹. موقعیت گنبد‌های نمکی شناسایی شده در منطقه مورد مطالعه
Fig 9. The situation of salt domes identified in the study area



شکل ۱۰. عکس‌های میدانی مربوط به گنبد‌های نمکی شناخته شده منطقه راور
Fig 10. Field photographs of detected salt domes in the Ravar region



شکل ۱۱. موقعیت بعضی از گنبد‌های نمکی شناسایی شده بر روی تصاویر Google earth، a: گنبد نمکی شماره ۱۱، b: گنبد نمکی شماره ۱، c: گنبد نمکی شماره ۱۹ و d: گنبد نمکی شماره ۲۴

Fig 11. The Location of some salt domes identified on Google Earth images, a: salt dome number 11, b: salt dome number 1, c: salt dome number 19 and d: salt dome number 24

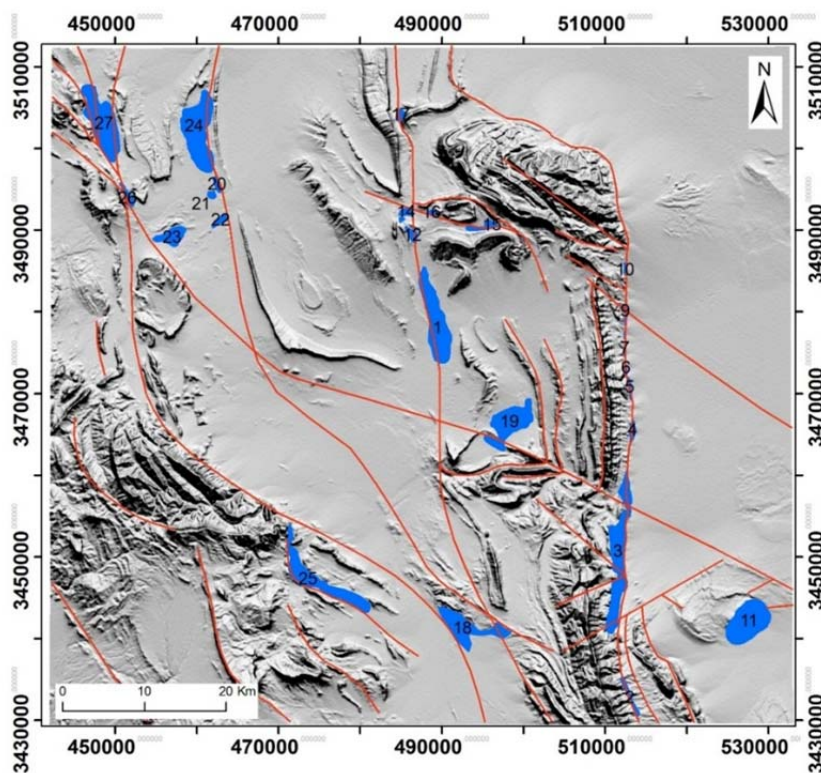
منطقه راور با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و کمک از نقشه‌های زمین‌شناسی استخراج شد. شکل ۱۲ موقعیت گسل‌های اصلی و محل گنبد‌های نمکی را نشان می‌دهد، همان‌طور که در این شکل نیز به خوبی مشخص می‌شود تقریباً تمامی گنبد‌های نمکی شناسایی شده در امتداد گسل‌ها قرار دارند. و این موضوع به خوبی دلیل کشیدگی آن‌ها را به تصویر می‌کشد. همچنین، بررسی نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه (شکل ۲) نشان می‌دهد که گنبد‌های نمکی شناخته شده اکثراً در سازندهای راور، بیدو و دسو واقع شده‌اند و این موضوع کاملاً با مطالعات زمین‌شناسی انجام گرفته در زمینه نوع لیتولوژی سازندهای مذکور تطابقت دارد (۲).

نتایج به دست آمده از این تحقیق با یافته‌های تقدسی و همکاران (۲۴) در زمینه استفاده از تصاویر سنتینل-۲ جهت بارزسازی توده‌های نمکی هم‌خوانی و مطابقت دارد،

یکی از ویژگی‌های خاص گنبد‌های نمکی رخنمون یافته منطقه راور، آن‌طور که در شکل ۹ نیز قابل مشاهده است کشیدگی اکثر گنبد‌ها است. به منظور تحلیل این وضعیت بایستی به مکانیزم حرکت نمک و رخنمون یافتن آن در سطح زمین اشاره کرد، به طوری که بر اساس مطالعات انجام گرفته (۲۰) لایه‌های نمکی درون زمین به دلیل ویسکوزیته کمتر نسبت به سنگ‌های اطراف به سمت بالا حرکت می‌کنند، علاوه بر آن این نفوذ معمولاً در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌های زمین رخ می‌دهد. حال اگر هر کدام از این عوامل در یک منطقه‌ای غالب باشد حرکت نمک تحت کنترل آن قرار می‌گیرد، وضعیت تکتونیکی منطقه راور بسیار ویژه و خاص است به طوری که منطقه مورد مطالعه مابین گسل‌های بزرگی چون گسل لکرکوه در شرق، گسل‌های راور در بخش مرکزی و گسل کوهبنان در غرب قرار دارد. نقشه گسل‌های اصلی موجود در

توده‌های نمکی شباهت زیادی به نتایج حاصل از پژوهش سعیدیان و همکاران (۲۲) دارد. ایشان از ترکیب رنگی کاذب ۱۲، ۱۱ و ۱۳ تصاویر استر در جهت بارزسازی گنبد‌های نمکی استفاده کرده‌اند. بنابراین با توجه به یافته‌های پژوهشگران مختلف، می‌توان چنین برداشت کرد که پردازش تصاویر ماهواره‌ای مختلف در زمینه مطالعه توده‌های نمکی و به‌طورکلی شوری خاک، بسیار مؤثر و راه‌گشا است.

به‌طوری‌که ایشان نیز از ترکیب رنگی مؤلفه‌های اصلی در این راستا استفاده کرده‌اند. همچنین هرینگتون و همکاران (۱۲) با استفاده از روش پلاریمتری راداری گنبد‌های نمکی جزیره اکسل هیلبرگ کانادا را بارزسازی کردند، در پژوهش ایشان نیز، توده‌های نمکی با رنگ قرمز مشخص شده‌اند. بنابراین می‌توان روش پلاریمتری راداری را همواره در مطالعه گنبد‌های نمکی استفاده کرد. علاوه بر این یافته‌های به‌دست‌آمده از این تحقیق در زمینه نوع ترکیب رنگی تصاویر استر جهت بارزسازی



شکل ۱۲. موقعیت گنبد‌های نمکی منطقه نسبت به گسل‌های اصلی

Fig 12. The position of the salt domes in the region relative to the main faults

از روش پلاریمتری راداری می‌توان کانی‌های تبخیری و گنبد‌های نمکی را شناسایی کرد. در این تحقیق با اعمال شاخص CPR، گنبد‌های نمکی با رنگ قرمز بارزسازی می‌شوند. علاوه بر آن با توجه به رفتار طیفی ویژه کانی‌های انیدریت و ژیبس در محدوده طیف حرارتی، با ترکیب رنگی باندهای ۱۲، ۱۱ و ۱۳ تصاویر ASTER گنبد‌های نمکی به رنگ روشن مشخص شدند. همچنین با استفاده از سه مؤلفه

نتیجه‌گیری

گنبد‌های نمکی نقش ویژه‌ای در مطالعات زیست‌محیطی مناطق دارند، شناسایی آن‌ها می‌تواند در جهت شناسایی معادن ویژه، حوزه‌های نفتی جدید و جلوگیری از افت کیفی منابع آب زیرزمینی کمک‌کننده باشد. استفاده از تکنیک‌ها و روش‌های نوین سنجش‌ازدور در این زمینه بسیار راه‌گشا است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده

- radar (SAR) application for geological mapping and resource exploration in the Canadian Arctic. London, Canada: University of Western Ontario. Available from: <https://ir.lib.uwo.ca/etd/5133>.
8. Collingwood A, Treitz P, Charbonneau F. 2014. Surface roughness estimation from RADARSAT-2 data in a High Arctic environment. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27: 70–80. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2013.08.010>.
 9. Dehaan R, Taylor G. 2003. Image-derived spectral endmembers as indicators of salinisation. *International Journal of Remote Sensing*, 24(4): 775-794. [doi:https://doi.org/10.1080/01431160110107635](https://doi.org/10.1080/01431160110107635).
 10. Gorji T, Sertel E, Tanik A. 2017. Monitoring soil salinity via remote sensing technology under data scarce conditions: A case study from Turkey. *Ecological Indicators*, 74: 384–391. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.11.043>.
 11. Gupta RP. 2017. *Remote sensing geology*. Springer, 428 p.
 12. Harrington E, Shaposhnikova M, Neish C, Tornabene L, Tornabene L, Osinski G, Choe B, Zanetti M. 2019. A Polarimetric SAR and Multispectral Remote Sensing Approach for Mapping Salt Diapirs: Axel Heiberg Island, NU, Canada, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 45(1): 54-72, <https://doi.org/10.1080/07038992.2019.1610656>.
 13. Jahani S, de Lamotte DF, Letouzey J. 2009. Salt Activity and Halokinesis in the Zagros Fold-thrust Belt and Persian Gulf (Iran). In: Shiraz 2009-1st EAGE International Petroleum Conference and Exhibition. European Association of Geoscientists & Engineers, pp cp-125-00012, <https://doi.org/00010.03997/02214-04609.20145862>.
 14. Khaier F. 2003. Soil salinity detection using satellite remote sensing. In: ITC, International Institute for Geo-information Science and Earth Observation, 1-70. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1193>.
 15. Maleki M, Tavakkoli Sabour S M, Zeaieanfirouzabadi P, Raeisi M. 2018. Comparison of optic and radar data for terrain feature extraction, *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(2): 93-107. (In Persian)
 16. Martín-Martín J, Vergés J, Saura E, Moragas M, Messager G, Baqués V, Razin P, Grélaud C, Malaval M, Joussiaume R. 2017. Diapiric growth within an Early Jurassic rift basin: The Tazoult salt wall (central High Atlas, Morocco). *Tectonics*, 36(1): 2-32. [doi:https://doi.org/10.1002/2016TC004300](https://doi.org/10.1002/2016TC004300).
 17. Mehrabi A, Pourkhosravani M. 2018. اصلی ۲، ۶ و ۷ تهیه شده از تصاویر سنتینل-۲، واحدهای نمکدار موجود در منطقه مورد مطالعه مورد شناسایی قرار گرفتند. بر اساس نتایج به دست آمده تعداد ۲۷ گنبدنمکی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد، که به مکانیزم و ساز و کار ساختاری معمول برای ایجاد گنبدنمکی همخوانی خوبی دارند، علاوه بر اینکه با انجام بازبینی‌های میدانی صحت نتایج به اثبات رسید. در نهایت، آنچه نتایج پردازش تصاویر مختلف ماهواره‌ای در این پژوهش نشان داد این است که همواره ترکیب و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای مختلف با ویژگی‌های طیفی متفاوت بهتر می‌توان پدیده‌ها را مورد بررسی قرار داد، زیرا از این طریق جنبه‌های متفاوت یک پدیده مورد کنکاش قرار می‌گیرد. به طوری که در این تحقیق نیز ویژگی فرسایش پذیری و طیفی کانی‌های مختلف موجود در گنبدنمکی با استفاده از روش‌ها و تصاویر ماهواره‌ای مختلف مورد بررسی قرار گرفت.

References

1. Abdolahi M, Qishlaqi A, Abasnejad A. 2015. Environmental hydro geochemistry of groundwater resources of the Ravar plain, Northern Kerman province, Iran. *Journal of Environmental Studies*, 41(1): 81-95. (In Persian)
2. Aghanabati S A. 2003. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran. 583p. (In Persian)
3. Alexakis D, Daliakopoulos I, Panagea I, Tsanis I. 2018. Assessing soil salinity using WorldView-2 multispectral images in Timpaki, Crete, Greece. *Geocarto International*, 33(4): 321-338. [doi:https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1250826](https://doi.org/10.1080/10106049.2016.1250826).
4. Almodaresi SA, Hatami J, Sarkargar A. 2016. Calculating the physical properties of snow, using differential radar interferometry and TerraSAR-X and MODIS images, *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(2): 59-76. (In Persian)
5. Asfaw E, Suryabagavan KV, Argaw M. 2016. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: The case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 7(18): 213-228. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2016.05.003>.
6. Campbell B A. 2002. *Radar remote sensing of planetary surfaces*. Cambridge, UK: Cambridge University Press Location, 354p.
7. Choe B. 2017. *Polarimetric synthetic aperture*

18. Identification of the geomorphological landscape of Hormoz salt domes based on the interpretation of satellite images. *Journal of Natural Geography*, 11(42): 113-124. (In Persian)
19. Mehrabi A. 2018. Identification of the new and active buried salt dome evidences in the Zagros region using interferometry method of SENTINEL-1 and ASAR radar images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(4): 90-101. (In Persian)
20. Morshed MM, Islam MT, Jamil R. 2016. Soil salinity detection from satellite image analysis: an integrated approach of salinity indices and field data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(2): 119. doi:10.1007/s10661-015-5045-x.
21. Motamedi H, Sepehr M, Sherkati S, Pourkermani M. 2011. Multi-phase Hormuz salt diapirism in the southern Zagros, SW Iran. *Journal of Petroleum Geology*, 34(1): 29-43. doi:https://doi.org/10.1111/j.1747-5457.2011.00491.x.
22. Pourkaseb H, Demiri K, Rangzan K, Saiedi S. 2013. The Jahani salt dome lithographic unit's enhancement (Firoozabad), using the principle components analysis, *Journal of Economic Geology*, 1(5): 83-92. (In Persian)
23. Saiedian R, Honarmand M, Hasanzadeh R, Hosseinjanizadeh M. 2017. The enhancement of the southwest of Saveh Salt domes using ASTER images, 10th National Geological Conference of Payame Noor University, Tabriz, 23-35. (In Persian)
24. Shayan S, Zare G, Sharifikia M, Amiri S. 2012. Identification and analysis of geomorphological forms related to the evolution of salt domes (Case study: Karsia Salt Dome - Darab Plain), *Quantitative Geomorphological Research*, 1(2): 73-86. (In Persian)
25. Taghadosi MM, Hasanlou M, Eftekhari K. 2019. Retrieval of soil salinity from Sentinel-2 multispectral imagery. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1): 138-154. doi:https://doi.org/10.1080/22797254.2019.1571870.
26. Tayebi MH, Tangestani MH, Roosta H. 2013. Mapping salt diapirs and salt diapir-affected areas using MLP neural network model and ASTER data. *International journal of digital earth*, 6(2): 143-157. doi:https://doi.org/10.1080/17538947.2011.606336
27. Van der Meer FD, van der Werff HMA, van Ruitenbeek FJA, Hecker CA, Bakker WH, Noomen MF, van der Meijde M, Carranza EJM, Smeth JBd, Woldai T. 2012. Multi- and hyperspectral geologic remote sensing: A review. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 14(1): 112-128. doi:https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.08.002.
28. Yellala A, Kumar V, Høgda KA. 2019. Bara Shigri and Chhota Shigri glacier velocity estimation in western Himalaya using Sentinel-1 SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(15): 5861-5874. doi:https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1584685.
29. Zarekamali M, Almodaresi S A, Naghdi K. 2017. Comparing the magnitude of the earth's vertical relocation using the SBAS algorithm in X and C radar bands (Case study: Tehran lands), *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 8(3): 104-120. (In Persian)



Identification of salt domes in Ravar region, Kerman province by using the radar Polarimetry technique of Palsar images and analyzing Sentinel-2 and Aster multispectral images

Ali Mehrabi, Sadegh Karimi, Fatemeh Naghdi

Received: 19 April 2020/ Accepted: 2 June 2020

Available online 5 July 2020

Abstract

Background and Objective In addition to tourist attractions, salt domes are one of the most interesting geomorphic phenomena having different mineral resources and can in some cases act as an oil reservoir and oil trap. It is very important to identify them. Iran is very rich in evaporative deposits and also shows a unique abundance of emerged/outcropped salt domes. Most of the known salt domes are distributed in the south of Zagros and the Persian Gulf region. But they have also been reported in the other parts of Iran, including the Great Desert, Garmsar, Qom and the Ravar region. So far, no special study has been done on the salt domes of the Ravar region, so that only a few domes in the northern and eastern parts of Ravar have been mentioned, without specifying their location on the map. Therefore, the necessity for further study of this area is specified.

The main purpose of this study is to identify the salt domes found/outcropped in the area of Ravar city, Kerman province, by using new remote sensing methods and using radar and multispectral images.

Materials and Methods There are several ways to process multi-dimensional images that the analysis of the principle components and the false color combination are the most important ones. We will explain how these methods have been used in the present study. Aster thermal sensor bands were used to produce the false color combination, so that the mentioned minerals were exposed/highlighted by placing the 12, 11 and 13 bands in the red, green and blue channels respectively. Studies on the use of the main components analysis technique for Sentinel 2 satellite images to detect soil and rock salinity show that the false color combinations of PC7, PC6 and PC2, in red, green and green channels respectively is very suitable for this purpose. This is done in the same way in this study.

Results and Discussion By performing atmospheric corrections on the multi-spectral images of Sentinel 2, the analysis of the main components was performed on it, as a result of which, the corresponding image was divided into 12 components. Using the three main components 2, 6 and 7, a false color combination was prepared. The results show that the different stone units are highlighted with different colors. Meanwhile, according to previous studies and by examining different colors and comparing and matching it with the geological map of the study area, it was specified that the light pink color indicates the salt units in the study area, This has been proven by field studies.

A. Mehrabi¹, S. Karimi¹, F. Naghdi²

1. Assistant Professor, Faculty of Geography and Urban Planning, Department of Literature and Humanities Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
2. MSc Student of Environmental Hazard, Faculty of Geography and Urban Planning, Department of Literature and Humanities Science, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
e-mail: Mehrabi@uk.ac.ir

It is noteworthy that in addition to determining the salt domes, the pink areas also show the secondary salts caused by weathering and erosion of these domes. Since the composition of the salt domes displayed in the Ravar salt basin varies so that some of these domes are dominated by salt minerals and polyalite, and others by sulfate minerals such as gypsum and Carbonate minerals such as anhydrite form the dominant mineral, different satellite images can be used to highlight the dominant minerals of each group in terms of their characteristics and spectral behavior. Thus Aster images were also used. Therefore, according to the specific spectral behavior of anhydrite and gypsum minerals in the thermal spectrum range, special color combinations can be combined to recognize salt domes by placing bands 12, 11 and 13 in the red, green and blue channels, respectively.

As shown in this result, the salt domes having the dominant gypsum and anhydrite mineral are marked by light white. By performing the radar polarimetry technique and applying the CPR index, the relevant images were prepared. As mentioned earlier, CPR image suffering is closely related to the type and spectral behavior of different levels, In order to better analyze the images, the data suffering were normalized between 0 and 1.

The closer these numbers are to the number one, the greater the roughness is due to surface erosion. As a result, the areas that are red in the image are usually very eroded.

Conclusion The results of this study show that evaporative minerals and salt domes can be identified by using radar polarimetry method. In this study, with the application of CPR index, salt domes with red color were highlighted. In addition, due to the specific spectral behavior of the anhydrite and gypsum minerals in the thermal spectrum range, with the color combination of bands 12, 11 and 13, ASTER images of light-colored salt domes were identified. Also, the existing salt units in the study area were identified by using the three main components 2, 6 and 7 prepared from Sentinel 2 images,. Based on the obtained results, 27 salt domes were identified in the study area, which are in good agreement with the usual structural mechanism of salt domes creation. In addition, the accuracy of the results were confirmed by field survey.

Keywords Salt Dome, Polarimetric SAR, Sentinel-2 images, Aster images, Ravar province of Kerman