

## توانمندی سنجش از دور در پایش برونزدهای گنبدهای نمکی قشم با تصاویر و رلدیو-۳ و سنتینل-۲ مدل CNN

ناهید اکبرزاده الله لو

۱. کارشناسی ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه تبریز، استان آذربایجان شرقی، ایران.

### چکیده

گنبد نمکی نمکدان قشم یک پدیده نایاب در جزیره قشم در جنوب ایران است که به طور خاص به بررسی پایش برونزدهای گنبد نمکی با توانمندی سنجش از دور از تصاویر ماهواره ای و رلدیو-۳ و سنتینل-۲ و مدل CNN پرداخته شده است. ماهواره و رلدیو-۳ (WV-۳) (در حال حاضر بالاترین وضوح مکانی، طیفی و پرتوی را در میان ماهواره های موجود دارد و می تواند داده های باکیفیتی در ناحیه مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) تولید کند. مدل های تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) با استفاده از زیرسیستم های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) و مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) داده های WV-۳ اعمال شدند. علاوه بر این، روش زاویه طیفی و ابزار شاخص طیفی نرم افزار ENVI ۵.۶ برای استخراج اطلاعات دگرسانی مرتبط به کار گرفته شد. یافته های تحقیق نشان می دهند که این برونزدها نمایی از دریاچه ها و برکه های نمکی جهت استحصال و صادرات از اهمیت ویژه ای برخوردار می باشند. تصاویر و رلدیو با رزولوشن مکانی بسیار بالا و ترکیب باندی تحلیل مؤلفه های اصلی PCA که تحلیل و پایش را بر روی تصاویر ماهواره ای دقیق تر نموده است با باند مرئی IR، مادون قرمز نزدیک VNIR، و امواج کوتاه مادون قرمز SWIR تبدیل صورت گرفت. در این پژوهش، پردازش تصویر ماهواره ای و رلدیو-۳ (Worldview-۳) (با پیش پردازش کالیبراسیون رادیومتری، تصحیح اتمسفری مدل FLAASH، نمونه برداری مجدد و استک کردن باند SWIR با باند VNIR (از ۷.۵ متر به ۲ متر) (سنتینل-۲ با نمونه برداری مجدد به ۲ متر تبدیل گردید) انجام شد. نقشه برونزدهای گنبد نمکی تهیه گردید و برای حذف نویز از فیلتر میانه Median استفاده شد. ارزیابی کمی دقت طبقه بندی تصویر پردازش شده مدل با استفاده از مدل CNN انجام گرفت و ضریب کاپای ۰.۸۹ محاسبه گردید که نشان دهنده دقت بسیار بالای طبقه بندی است. همچنین، استفاده از تصاویر سنتینل-۲ در شناسایی دقیق مکان های اولیه گنبدهای نمکی نقش بسزایی داشت. توانمندی سنجش از دور با تصاویر ماهواره ای و رلدیو-۳ و روش های پیشرفته پردازشی باعث ارتقاء قابل توجه طبقه بندی و مدیریت این برونزدهای نمکی شده است. افزون بر این، نتایج این پژوهش می تواند زمینه ساز تحقیقات بیشتر در زمینه استفاده پایدار از منابع معدنی و بهبود روش های سنجش از دور در نواحی دیگر با شرایط مشابه باشد. این تحقیق، تلفیق موفقیت آمیز فناوری های پیشرفته را با روش های کلاسیک برای دستیابی به دستاوردهای علمی و کاربردی جدید به طرز چشمگیری به نمایش گذاشته است.

کلمات کلیدی: WorldView-۳، تجزیه مؤلفه اصلی (PCA)، باز نمونه برداری، SWIR، باند، فیلتر میانی، مدل CNN



## مقدمه

## مقدمه

گنبدهای نمکی به عنوان یکی از شگفتی های طبیعی و زمین شناسی، نقشی حائز اهمیت در مطالعه تاریخچه زمین شناسی و فرآیندهای زمین ساختی دارند. این ساختارها که عموماً در مناطق خشک و نیمه خشک یافت می شوند، حاصل پدیده های زمین شناسی مانند دیاپیریسم هستند که نتایج آن به صورت برجستگی های نمکی بر سطح زمین ظاهر می گردند. ایران با داشتن گنبدهای نمکی متعدد، به یکی از نقاط مطالعاتی برجسته جهان در این زمینه تبدیل شده است. در این میان، گنبد نمکی نمکدان قشم به دلیل ویژگی های منحصر به فرد زمین شناسی و زیبایی های طبیعی خود، فرصت فوق العاده ای برای مطالعه و توسعه روش های پیشرفته سنجش از دور فراهم کرده است. حضور در یک محیط جزیره ای ویژه و برخورداری از ویژگی های خاص طبیعی، اهمیت این گنبد نمکی را دو چندان می کند.

جزیره قشم، بزرگ ترین جزیره در خلیج فارس، با دارا بودن متنوع ترین زیست گاه ها و مناطق ژئومورفولوژیک، مکانی ایده آل برای انجام تحقیقات پیشرفته در زمین شناسی و محیط زیست می باشد. گنبد نمکی نمکدان، توده ای عظیم و تقریباً دایره ای شکل با ساختاری پیچیده است که توسط رتبه های بلندی از سنگ های نمکی و حوضچه های نمکی احاطه شده است. این منطقه که توسط کوه های آهکی و رسوبی بسیار متنوع احاطه شده، به دلیل داشتن بیشترین سهم ذخایر نمک بسیار خالص و بلورین در جنوب غربی خود، به عنوان یکی از منابع اقتصادی مهم نیز شناخته می شود.

اقلیم گرمسیری جزیره، که با تابش شدید خورشیدی و رطوبت نسبی بالا در طول سال همراه است، محیطی مناسبی برای بررسی تأثیرات آب و هوایی بر روی فرسایش و تغییرات طبیعی نمک فراهم کرده است. بارش های محدود و دمای بالا، باعث تقویت فرآیندهای تبخیری می شود که در نهایت به تشکیل گنبدهای نمکی و غارهای پیچیده نمکی منجر می شود. این شرایط باعث می شوند تا مهاجمین جوی از جمله رطوبت و بادهای شدید در طول سال تأثیر بسزایی بر دگرگونی سطحی و ساختاری این گنبدها داشته باشند.

فناوری سنجش از دور به دلیل توانایی های برتر خود در جمع آوری داده های مکانی و طیفی با دقت بالا، به عنوان ابزاری کلیدی در مدیریت و حفاظت پایدار از محیط زیست طبیعی و منابع معدنی معرفی شده است. در این پژوهش، از تصاویر ماهواره ای با وضوح بسیار بالای وِردوئو-۳ و سنتینل-۲ استفاده شده است. این تصاویر به دلیل کیفیت بالای خود و توانایی در تفکیک دقیق باندهای طیفی، امکان پایش و پایش دقیق تغییرات فیزیکی و شیمیایی گنبدهای نمکی را فراهم می آورند. مدل های تحلیل مؤلفه اصلی (PCA) و شبکه های عصبی کانولوشن (CNN) به کار گرفته شدند تا دقت نقشه برداری و شناسایی مکانی گنبدها و عناصر مرتبط با آن ها افزایش یابد.

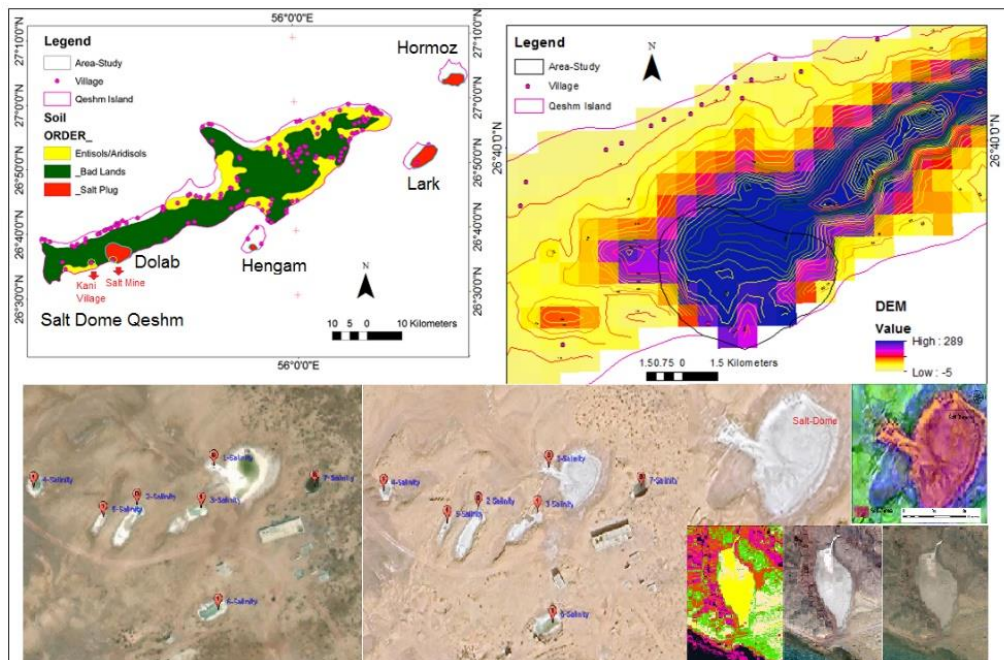
در این پروژه، پیش پردازش های متعددی از جمله کالبراسیون رادیومتریک و تصحیح جوی بر روی داده ها انجام شد تا اطمینان حاصل شود که تحلیل ها و نتایج استخراج شده به دقیق ترین شکل ممکن انجام می گیرد. این پژوهش، ضمن ارائه نتایج مهم در ارتباط با تغییرات ساختاری و زمانی گنبدهای نمکی، راهکاری موثر برای مدیریت موثرتر این منابع



طبیعی و ارزشمند ارائه می دهد. از این رو، می توان این پژوهش را نه تنها به عنوان ابزاری برای مطالعه علمی، بلکه به عنوان یک روش پایدار در حفاظت و بهره برداری بهینه از منابع زمینی و معدنی قلمداد کرد.

### معرفی محدوده مورد مطالعه:

موقعیت جغرافیایی گنبد نمکی قشم دهستان دولاب کوه گنبد نمکی نمکدان و کوه ساحلی گنبد نمکی نمکدان



شکل ۱. ۲-Sentinel-۳-WV

گنبد نمکی قشم در موقعیت جغرافیایی  $29^{\circ}50'N$ ,  $37^{\circ}26'E$  در استان هرمزگان و جزیره قشم واقع است. گنبد قشم در ۱۱۰ کیلومتری جنوب باختری جزیره قشم واقع است. گنبد نمکی نمکدان، تنها گنبد نمکی در جزیره قشم است که از میان دماغه جنوب تا تاقدیس سلخ و دماغه شمال غربی تا تاقدیس باسعیدو بالا آمده است. در نقشه تقریباً دایره ای شکل و  $5/6 \times 7$  کیلومتر است. بام گنبدی دارای توپوگرافی نامنظم است. دیواره آن پرشیب است. غار نمکدان قشم طولانی ترین غار نمکی جهان است و به عنوان یکی از ظرفیت های گردشگری قشم در منطقه ژئوپارک، با مساحت میانگین ۱۵۶۵ کیلومتر مربع تخمین زده می شود. مرتفع ترین نقطه نزدیک به ۱۳۰ کیلومتر و عرض آن حداکثر ۳۰ کیلومتر است. در حالیکه عرض متوسط آن برابر ۱۰ کیلومتر است.

اقلیم منطقه مورد مطالعه برونزدهای گنبدهای نمکی جزیره قشم:



اقلیم جزیره قشم و منطقه مورد مطالعه گنبد نمکی قشم از نوع اقلیم گرمسیری (بر اساس طبقه بندی اقلیمی کوپن، ولادیمیر و رودولف گایگر، ۱۹۳۶) است. ویژگی اقلیم گرمسیری دمای همیشگی بالا در سطح دریا و ارتفاعات کم است. در تمامی ۱۲ ماه سال، میانگین دمای هوا ۱۸ درجه سانتی گراد یا بالاتر است.

## آب و هوا

این در حالی است که رطوبت نسبی هوا در قشم بالاست. فشار هوا در قشم بین ۱۰۱۵ تا ۱۰۱۸ میلی بار جیوه است که در تابستان به دلیل گرمای زیاد، فشار هوا به کمتر از ۱۰۰۰ میلی بار می رسد. در جزیره قشم حداکثر و حداقل دمای مطلق ۴۶ و ۱۶ درجه سانتی گراد به ثبت رسیده است میانگین بارش سالانه جزیره قشم ۱۸۳/۲ میلیمتر و میزان بارش ۱۲۶ میلی متر در یک روز است. قشم میانگین ۱۱ روز بارندگی در سال دارد. گنبد نمکی نمکدان، تنها گنبد نمکی در جزیره قشم است که از میان دماغه جنوب، تا قدیس سلخ و دماغه شمال غربی تا قدیس باسعیدو بالا آمده است و در نقشه تقریباً دایره ای شکل است. بام گنبندی دارای توپوگرافی نامنظم است و دیواره آن بسیار پرشیب می باشد. در بخش جنوبی گنبد نمکی نمکدان، غارهای نمکی بسیار زیبا و شگفت انگیزی وجود دارد که ارتفاع تا ۲۰ متر نیز اندازه گیری شده است. سقف غار بوسیله قندیل های فراوان پوشیده شده است که با گذشت زمان در اثر نفوذ آب تغییر شکل می دهند. از میان غارهای نمکی زیبا و عجیب، آب زیر زمینی دائمی نیز جریان دارد که در تمام طول سال جاری است و در دامنه کوه به صورت چشمه نمکی است که منظره بسیار دیدنی را ایجاد می کند.

چشمه های دامنه کوه نمکدان پهنه های پوشیده از رسوب نمک در کوه نمکدان دارای توده های بسیار بزرگ و گسترده نمک با کمیت بالا با کیفیت و خلوص نسبتاً مناسب است و از نظر اقتصادی در تأمین نمک خوراکی، نمک طبی و حتی تأمین بخشی از مشتقات مورد نیاز در ترکیباتی از پتروشیمی اهمیت دارد. از جمله معادن عمده جزیره قشم، نمکدان است که به صورت تپه نمکی مدور (مخروطی) و به قطر قاعده ۷ کیلومتر در ارتفاع ۲۳۷ متر از سطح دریا قرار دارد. این منبع دارای بهترین نمک است که ذخائر آن ۴۲۰ هزار تن برآورد شده است.

گنبد نمکی قشم در موقعیت جغرافیایی  $26^{\circ}37'N$   $55^{\circ}29'E$  در استان هرمزگان و جزیره قشم واقع است. گنبد قشم در ۱۱۰ کیلومتری جنوب باختری جزیره قشم قرار گرفته است. طبقات هم جوار آن را آهک های سفید رنگی تشکیل داده است که به نئوژن و سازند گچساران تعلق دارند و حرکات قائم گنبد نمکی موجب تغییر وضعیت لایه بندی اولیه گشته و طبقات بلافصل خود را برگردانده است. سنگ نمک در بخش جنوبی گنبد گسترش چشمگیری دارد و شامل تناوبی از نمک، اولیژیست، خاک سرخ و دیگر قطعات با ساخت برگه ای است. سطح نمک اغلب به پوشش نازکی از گل اخرا آغشته است و اختلاط نمک در همه جا یکسان نیست و در بخش جنوب باختری گنبد، نمک تقریباً خالص و بلورین به فراوانی یافت می گردد.

گنبد نمکی نمکدان، تنها گنبد نمکی در جزیره قشم است که از میان دماغه جنوب، تا قدیس سلخ و دماغه شمال غربی تا قدیس باسعیدو بالا آمده است و در نقشه تقریباً دایره ای شکل و به قطر  $7 \times 6/5$  کیلومتر است. بام گنبندی دارای توپوگرافی نامنظم است و دیواره آن بسیار پرشیب می باشد. در بخش جنوبی گنبد نمکی نمکدان، غارهای نمکی



(Salt Caves) بسیار زیبا و شگفت انگیزی وجود دارد که ارتفاع تا ۲۰ متر نیز اندازه گیری شده است. سقف غار بوسیله قندیل‌های فراوان پوشیده شده است که با گذشت زمان در اثر نفوذ آب تغییر شکل می دهند. از میان غارهای نمکی زیبا و عجیب، آب زیر زمینی دائمی نیز جریان دارد که در تمام طول سال جاری است و در دامنه کوه به صورت چشمه نمکی است که منظره بسیار زیبا و دیدنی را ایجاد می کند.

از نظر اقتصادی نمک های بلورین که به "نمک نر" موسوم هستند با خلوص بالا، حالت بلوری و ذخیره زیاد در جنوب باختری گنبد وجود دارد و آثار کار قدیمی بر روی آنها دیده می شود. آب های شور که از گنبد خارج می شود نیز پس از تبخیر، نمک خود را باقی می گذارند. این نمک که به "نمک ماده" معروف است نیز از خلوص بالایی برخوردار است. نمکی که بدین صورت تشکیل می گردد، قابل استخراج و ارائه به بازار است. گنبد نمکی نوعی گنبد ساختاری است که هنگام نفوذ نمک (یا سایر کانی‌های تبخیری) در سنگ‌های پوشاننده در فرایندی به نام دیاپیرسم شکل می یرد. گنبدهای نمکی می‌توانند ساختارهای سطحی و زیر سطحی منحصر بفردی داشته باشند.

#### زمین‌شناسی گنبد نمکی قشم منطقه مورد مطالعه (دهستان دولاب)

از نظر چینه‌شناسی، حوضه‌های نمکی به صورت دوره‌ای از پروتروزوئیک تا نئوژن توسعه می‌یابند. تشکیل گنبدنمکی با رسوب نمک در یک حوضچه محدود آغاز می‌شود. در این حوضه‌ها میزان خروج آب از ورودی بیشتر است. به طور دقیق‌تر، حوضه آب را از طریق تبخیر از دست می‌دهد و در نتیجه بارش و رسوب نمک ایجاد می‌شود. در حالی که سرعت ته‌نشینی نمک به طور قابل توجهی بزرگتر از میزان رسوب مواد آوری است، مشخص شده است که یک رویداد تبخیر به ندرت برای تولید مقادیر زیادی نمک مورد نیاز برای تشکیل دیاپیرهای نمکی کافی است.

طول بلندترین گنبد نمکی در قشم ۶ کیلومتر و ۴۳۰ متر است. غار نمکی و گنبد نمکی قشم یکی از بهترین جاذبه‌های طبیعی قشم است و طولانی‌ترین غار نمکی ایران در ۱۰ کیلومتری شمال روستای کانی واقع شده است. همچنین، کوه نمکی جزیره قشم در استان هرمزگان ایران بلندترین کوه این جزایر است. ارتفاع آن ۲۴۳ متر از سطح دریا است. بر اساس برآورد متخصصین، کوه نمکدان ۵۷۵ سال قدمت دارد. تشکیل کوه نمکدان و غار نمکی قشم به صورت لایه نازکی از نمک در لایه‌های زیرین خلیج فارس و سطح سنگی و خاکی خود جزیره است که به مرور به سطح جزیره آمده و باعث ایجاد این کوه نمکی زیبا شده است.

دلیل تشکیل گنبد نمکی و کوه‌های نمکی، اقلیم است که چنین کوه‌های طبیعی در مناطق گرم و خشک با بارش کم تشکیل می‌شود. کوه نمکی قشم برای مردم محلی به عنوان "گنبد نمک" شناخته شده است. بزرگ‌ترین غار این کوه دارای عرض متوسط ۵ متر و سالن ورودی با طول ۶۸۰ متر است. ماده اصلی کوه نمک و غارهای نمکی جزیره قشم، سنگ‌های آذرین و ترشحات آن‌ها با آب نمکین است.

#### روش تحقیق:

مراحل پردازش تصاویر ماهواره‌ای ۳-WorldView:



۱. پیش پردازش تصاویر ماهواره ای WorldView-۳: پس از دانلود و خرید تصویر ماهواره ای، منطقه مورد مطالعه برش داده می شود و تصحیح رادیومتریک و جوی بر روی آن انجام می شود تا برای تحلیل مولفه های اصلی آماده شود. قبل از این مرحله، نمونه گیری و دسته بندی تصویر ماهواره ای WV-۳ به ۲ متر انجام می شود تا با تصویر ماهواره ای WV-۳ هماهنگ شود و به مرحله مولفه اصلی برسد.
۲. تبدیل به PCA (تحلیل مؤلفه های اصلی): تحلیل مؤلفه های اصلی که به بررسی داده های WV-۳ با رویکرد طیف بازتاب اندازه گیری شده، روش PCA و روش شبکه های عصبی CNN می پردازد. (De Benedetto و همکاران، ۲۰۱۳). نظارت بر برون زدگی های گنبد نمکی در منطقه مورد مطالعه قشم، کوه دولاب، کوه نمکی، و نمکدان انجام گرفت. داده ها به صورت سیستماتیک با مختصات UTM آماده و جغرافیایی شده اند.
۳. کالیبراسیون رادیومتریک: با اعداد دیجیتال پیکسل (DN) سطح داده های ۱۶ بیتی، داده های سطح مشهود به داده های اشعه بالای اتمسفر تبدیل می شود (Zhang و همکاران، ۲۰۰۸؛ Chen و همکاران، ۲۰۱۴).
۴. فیلتر میانه: به منظور حذف نویز استفاده شد. این فیلتر با قرار گرفتن بر روی پیکسل های تصویر، همه مقادیر تصویر را به ترتیب صعودی مرتب کرده و میانگین آن ها را محاسبه می کند. سپس نتیجه به پیکسل مرکزی در تصویر خروجی اختصاص داده می شود (سید باقر فاطمی، یوسف رضایی، مبانی سنجش از دور). این فیلتر معمولاً به دلیل اینکه هیچ عدد جدیدی تولید نمی کند و کمتر به خطاهای بزرگ حساس است، بر فیلتر میانگین ترجیح داده می شود. علاوه بر این، فیلتر میانه عموماً لبه ها را بهتر حفظ می کند.

پردازش داده های WorldView-۳: پیش پردازش و پردازش:

داده های WorldView-۳ استفاده شده در مطالعه از نوع سطح A۲ بود که از شرکت سیوی و یوردیو تکنولوژی (پکن) تهیه شد. داده های PAN و VNIR در WorldView-۳ که بالاترین وضوح مکانی، طیفی و پرتوی را در میان ماهواره های موجود دارند، مورد استفاده قرار گرفت. مدل های تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) و شاخص شوری، با استفاده از زیرسیستم های مرئی و مادون قرمز نزدیک (VNIR) و مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) داده های WV-۳ اعمال شدند. علاوه بر این، روش زاویه طیفی و ابزار شاخص طیفی نرم افزار ENVI۵٫۶ برای استخراج اطلاعات دگرسانی مرتبط به کار گرفته شد.

پیش پردازش و پردازش WV-۳:

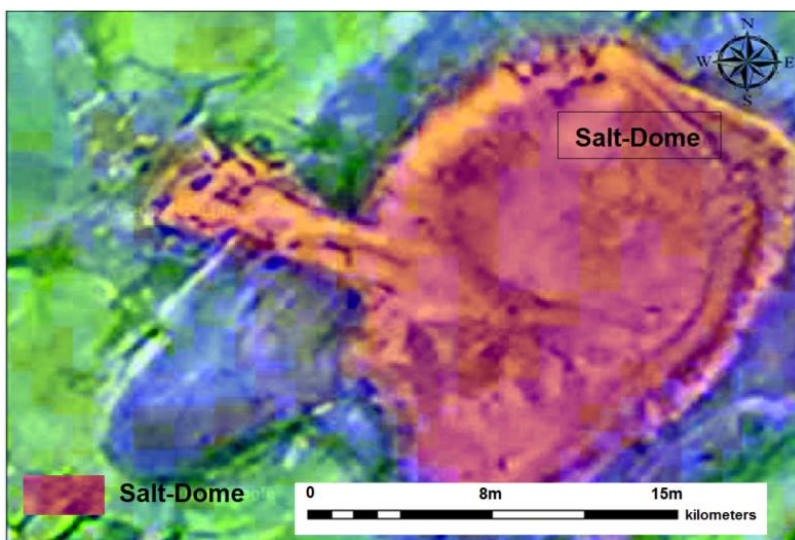
۱. کالیبراسیون رادیومتریک: اعداد دیجیتال پیکسل (DN) تصویر اصلی ۱۶ بیتی هستند. برای تبدیل داده های سطح مشاهده شده به تشعشع فیزیکی که در بالای اتمسفر است، از فرمول زیر استفاده شد:

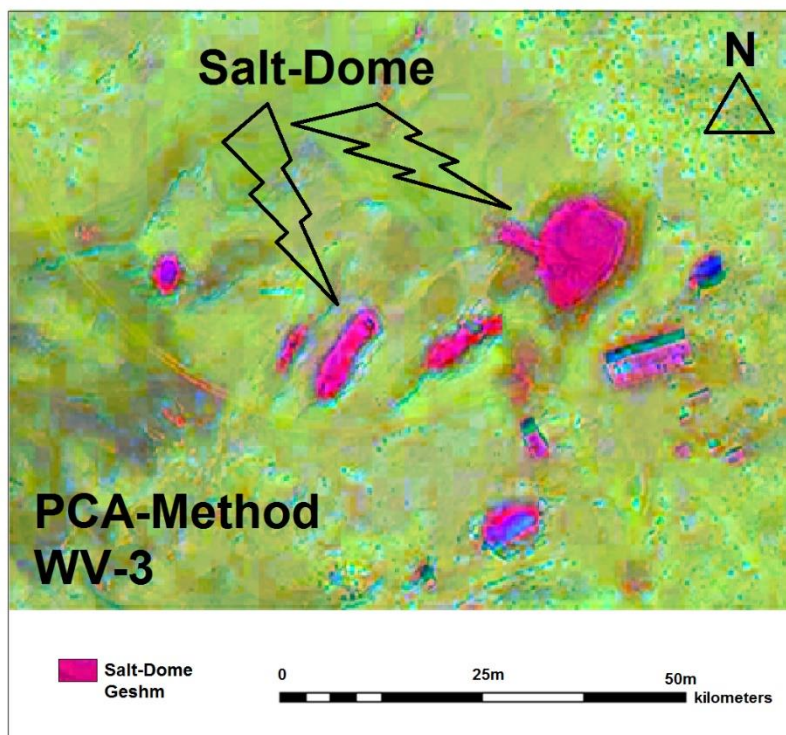
$$L = \frac{DN \times \text{absCalFactor}}{\Delta\lambda}$$

۲. تصحیح جوی: به طور کلی، سنسور تشعشعات دریافت شده تحت تأثیر تضعیف جوی قرار می گیرد. برای حذف تأثیر اتمسفر در تصویر، تصحیح جوی ضروری است. در این مقاله، مدل تصحیح جوی FLAASH از نرم افزار ENVI۵٫۶ استفاده شد (LUO و همکاران، ۲۰۰۹).



۳. بازنمونه‌گیری و دسته‌بندی داده‌ها: برای کاربردهای بعدی، باندهای SWIR با وضوح فضایی ۷.۵ متری باید به ۲۰ متر بازنمونه‌گیری و با باندهای VNIR به یک فایل تبدیل شوند تا همه ۱۶ باند دارای اندازه پیکسل ۲ متر  $\times$  ۲ متر باشند.
۴. PCA (تحلیل مؤلفه‌های اصلی): تصاویر چندطیفی را به تصاویر مؤلفه‌های اصلی تبدیل می‌کند. این فرآیند به تمرکز حداکثر اطلاعات مفید روی تعداد کمتری از مؤلفه‌های اصلی و کاهش افزونگی بین باندها و ابعاد داده‌ها کمک می‌کند.
۵. بر اساس ویژگی‌های جذب طیفی تغییر یافته، این مطالعه باندهای مناسب ۳-WV را برای پردازش PCA انتخاب می‌کند تا اطلاعات تغییرات زیر را استخراج کند:

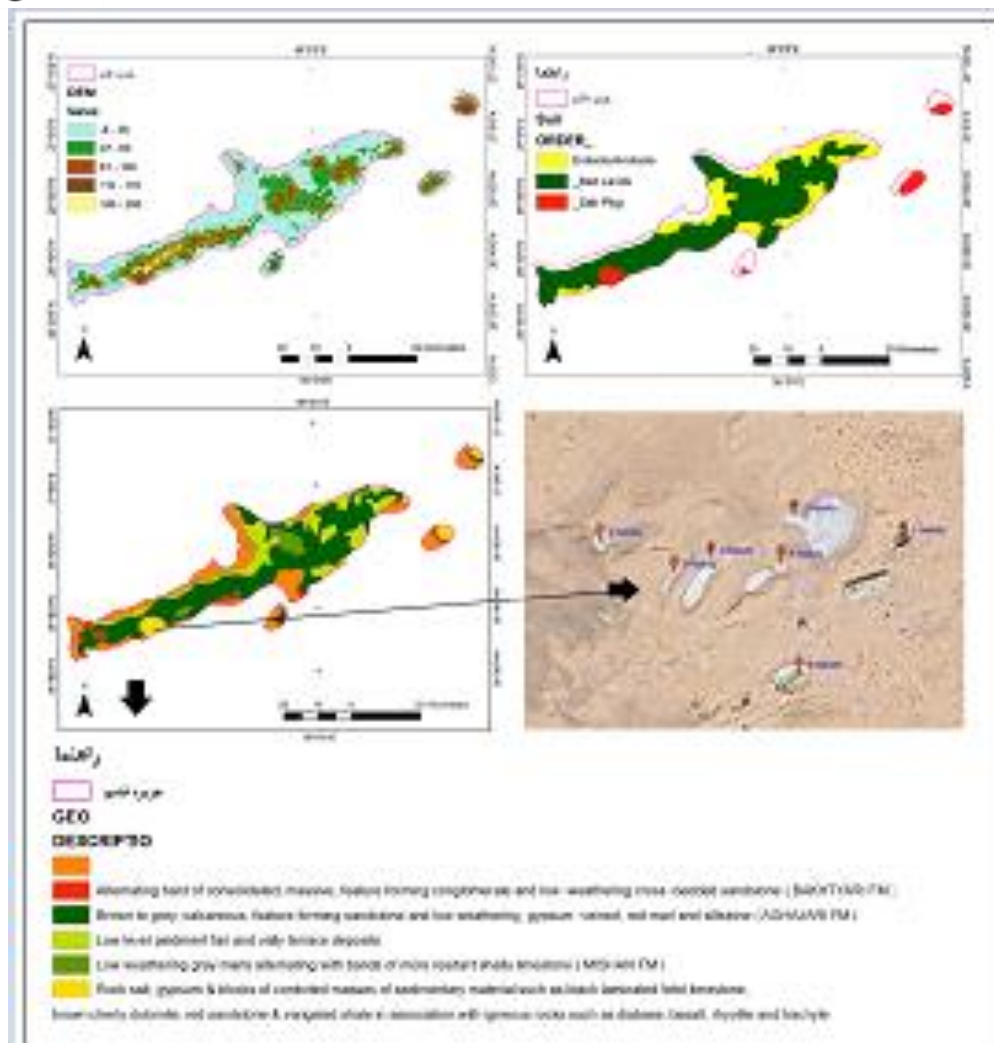




شکل ۲. روش PCA

موقعیت منطقه مورد مطالعه در شکل زیر آمده است:





شکل ۳. موقعیت حوضچه های نمکی گنبد نمکی قشم

مزیت های ماهواره ۳-WORLDVIEW:

- بالاترین وضوح تصویری تا به امروز
- بیشترین تعداد باندهای طیفی
- ظرفیت جمع آوری داده بسیار بالا
- بهترین دقت مکانی

ماهواره ۳-WORLDVIEW پیشرفته ترین ماهواره وضوح بالای جهان از لحاظ فناوری است. این ماهواره تصاویری با وضوح ۳۱ سانتی متر (تک باند پانکروماتیک)، ۱.۲۴ متر (چندطیفی)، ۳.۷ متر (مادون قرمز کوتاه موج، SWIR) و ۳۰



متر (CAVIS) جمع آوری می کند. در وضوح حداکثری ۳۱ سانتی متر، تصاویر این ماهواره به دلیل برتری سیستم های اپتیکی و تولیدی، با شفافیتی مشابه داده های هوایی ۲۰ تا ۲۵ سانتی متر رقابت می کند.

ماهواره ۳-WORLDVIEW یک باند پانکروماتیک رزولوشن بالا و ۸ باند چندطیفی ارائه می دهد که برای تحلیل های بصری، شاخص شوری و شناسایی گنبدهای نمکی ایده آل هستند.

## داده های سنجش از دور:

داده های ۳-WORLDVIEW: ماهواره WV-۳ که در تاریخ ۱۳ فوریه ۲۰۲۳ پرتاب شد، اولین ماهواره تجاری با وضوح مکانی بسیار بالا است که توسط DigitalGlobe بهره برداری می شود. این ماهواره دارای چندین محموله (multi-payload) و وضوح فوق طیفی (۱۶ باند طیفی) است. این فناوری جدید، تعادلی میان اطلاعات مکانی و طیفی ارائه می دهد و طیف الکترومغناطیسی را در طول موج های مرئی، نزدیک به مادون قرمز (VNIR) و مادون قرمز کوتاه موج (SWIR) ثبت می کند. ماهواره WV-۳ در ارتفاع ۶۱۷ کیلومتری از سطح زمین و در مداری خورشیدآهنگ (sun-synchronous orbit) فعالیت می کند و توانایی عکسبرداری چندخطی (multi-swath) زیر زوایای مختلف برای تصویربرداری استریو را ارائه می دهد. عرض باند این ماهواره ۱۳.۱ کیلومتر است و وضوح زمینی آن در وضعیت عمود (nadir) برابر ۳۱ سانتی متر است.

### پیش پردازش WV-۳:

برای تحلیل دقیق تصاویر این ماهواره، نیاز است که اصلاحاتی برای انحراف حسگر، کالیبراسیون رادیومتریک و اثرات جوی صورت گیرد. تصویر WV-۳ برای اثرات جوی با استفاده از کد انتقال تابشی تغییر یافته کانادا (CAM<sup>o</sup>S)، ساخته شده توسط تیلت و سانتر [۸] اصلاح گردید. این کد، سیگنالی که در رأس جو دریافت می شود (که از یک سطح بازتاب کننده تابش خورشید و آسمان دریافتی در سطح دریا ناشی می شود) را شبیه سازی می کند. همچنین ویژگی هایی نظیر ارتفاع زمین، ارتفاع حسگر، مدل های جوی و آتروسول، و پاسخ های طیفی مربوط به فیلترهای هر باند نیز در این تبدیل در نظر گرفته می شود. تنظیمات مربوط به انحراف کالیبراسیون رادیومتریک حسگر از مقادیر دامنه های دینامیک کالیبراسیون پسین (gain و offset) و تابش طیفی خورشیدی خارج از جو که DigitalGlobe ارائه داده است استفاده کرد. برای حفظ یکپارچگی رادیومتریک تصویر، اصلاحات جوی و کالیبراسیون حسگر طی یک مرحله با هم ترکیب شدند.

داده های استفاده شده در مقاله (۳-WORLDVIEW):

ترکیب باندهایی که در آشکارسازی تضادها و ویژگی هایی که با روش های دیگر قابل مشاهده نبودند، کارآمدترین ترکیب بودند:

RGB ۷-۶-۵ (NIR), RE, RED)



باندهای WORLDVIEW-۳ برای پردازش گنبد نمکی جزیره قشم:

Spectral range name	Spectral Band
Panchromatic Band(۱)	۴۵۰-۸۰۰ nm
Coastal Blue	۴۰۰-۴۵۰ nm
Blue	۴۵۰-۵۱۰ nm
Green	۵۱۰-۵۸۰ nm
Yellow	۵۸۵-۶۳۵ nm
Red	۶۳۰-۶۹۰ nm
Red-edge	۷۰۵-۷۴۵ nm
Near-IR <sup>۱</sup>	۷۷۰-۸۹۵ nm
Near-IR <sup>۲</sup>	۸۶۰-۱۰۴۰ nm
SWIR-۱	۱۱۹۵-۱۲۲۵ nm
SWIR-۲	۱۵۵۰-۱۵۹۰ nm
SWIR-۳	۱۶۴۰-۱۶۸۰ nm
SWIR-۴	۱۷۱۰-۱۷۵۰ nm
SWIR-۵	۲۱۴۵-۲۱۸۵ nm
SWIR-۶	۲۱۸۵-۲۲۲۵ nm
SWIR-۷	۲۲۳۵-۲۲۸۵ nm
SWIR-۸	۲۲۹۵-۲۳۶۵ nm

### مواد و روش ها:

تصویری که در این تحقیق استفاده شد، در تاریخ ۱۳ فوریه ۲۰۲۳ با استفاده از شازده باند چندطیفی (شامل VNIR و SWIR) و یک باند پانکروماتیک به دست آمد. برای تحلیل دقیق، اصلاحاتی برای انحراف کالیبراسیون رادیومتریک حسگر و اثرات جوی بر روی تصویر WV-۳ اعمال شده است. برای تنظیم انحراف کالیبراسیون رادیومتریک حسگر، از دامنه های دینامیک پس از کالیبراسیون (شامل بهره و افسست) و مقادیر تابش طیفی خورشیدی خارج از جو ارائه شده توسط DigitalGlobe استفاده شد

در مقابل، حسگرهای پیشرفته چندطیفی و فوق طیفی داده هایی را از باندهای متنوع، تا صدها حسگر طیفی بسیار باریک در بخش های مختلف طیف الکترومغناطیسی جمع آوری می کنند. به طور مثال، حسگر ماهواره WorldView-۳



تصاویر را با وضوح ۰.۳۱ متر (پانکروماتیک) و وضوح ۱.۲۴ متر در هشت باند مرئی و نزدیک به مادون قرمز، و وضوح ۳.۷ متر در هشت باند مادون قرمز کوتاه موج جمع آوری می کند.

وضوح رادیومتریکی توانایی حسگر در تمایز بین اشیاء دیده شده در قسمت مشابهی از طیف الکترومغناطیسی را توصیف می کند. این اصطلاح به تعداد مقادیر داده ممکن در هر باند مرتبط است. هر چه تصویر بیتی بیشتری داشته باشد، تفاوت های بیشتری بین اشیاء را می توان تشخیص داد و اندازه گیری کرد. برای مثال، باند مادون قرمز کوتاه موج در ماهواره Landsat-۸ به طور معمول داده ۱۲ بیتی است، در حالی که باند مادون قرمز کوتاه موج در WorldView-۳ داده ۱۴ بیتی است؛ بنابراین، داده های WV-۳ دارای وضوح رادیومتریکی بالاتری هستند

ایجاد ویژگی:

باند پانکروماتیک و تمام هشت باند طیفی به عنوان ویژگی ها به طور مستقل و نیز شاخص های طیفی تفاضل نرمال شده (NDSI) محاسبه شده برای هر ترکیب از باندهای چندطیفی استفاده شدند [۳] که در نتیجه آن ۲۸ شاخص اضافی ایجاد شد.

علاوه بر این، ویژگی های بافت هارلیک [۷] برای باندهای پانکروماتیک و چندطیفی با استفاده از افزونه استخراج بافت هارلیک از کتابخانه Orfeo Toolbox (OTB، متن باز [۷]) که از طریق QGIS در دسترس است، محاسبه شد. انتخاب مجموعه بافت ساده به شکل نشان داده شده در جدول ۲ انتخاب شد و حداقل و حداکثر تصویر برای هر باند به طور جداگانه بسته به مقادیر شدت باند تنظیم شد. دانش کارشناسی برای انتخاب دستی سایر تنظیمات (مانند مرحله محاسبه، شعاع، افست، تعداد قسمت های هیستوگرام) برای تولید ویژگی های بافتی قابل تشخیص به کار گرفته شد (جدول ۱<sup>ا</sup>، ضمیمه A).

$$NDSI = \frac{R_i - R_j}{R_i + R_j}$$

– (R): بازتاب طیفی

– (i): طول موج [IDB] (SWIR<sup>۳</sup>) [۱۶۴۰-۱۶۸۰nm]

– (j): طول موج [IDB] (SWIR<sup>۵</sup>) [۲۱۴۵-۲۱۸۵nm]

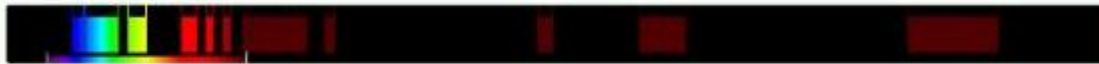
حسگرها و مشاهده باندهای حسگر:

Nr.	Name	Spectral Range	Bands	Specific Formula
۱	WorldView-۳	۴۰۰-۲۳۶۵	۲۹	$\frac{SWIR3 - SWIR5}{SWIR3 + SWIR5}$



۲	Sentinel-2A	۴۳۳-۲۲۸۰	۱۳	$\frac{B11 - B12}{B11 + B12}$
---	-------------	----------	----	-------------------------------

Sentinel-2A



WorldView-3



## یافته ها

تصاویر ماهواره سنتینل-۲ به دلیل تفکیک مکانی بالا از قابلیت بالایی برای تهیه نقشه موقعیت گنبدهای نمکی قشم بود. استفاده از فناوری سنجنش از دور ضمن سرعت بخشیدن به اخذ اطلاعات منطقه‌ای، تأثیر به سزایی در کاهش هزینه‌ها و زمان خواهد داشت. ماهواره سنتینل-۲ از تفکیک مکانی ۱۰ متر برای موقعیت اولیه گنبدهای نمکی استفاده شد. تشخیص و تغییرات عوارض، وضوح مقیاس بزرگنمایی، قدرت تفکیک مکانی، فضائی بالا از خصوصیات تصاویر سنتینل-۲ می‌باشد.

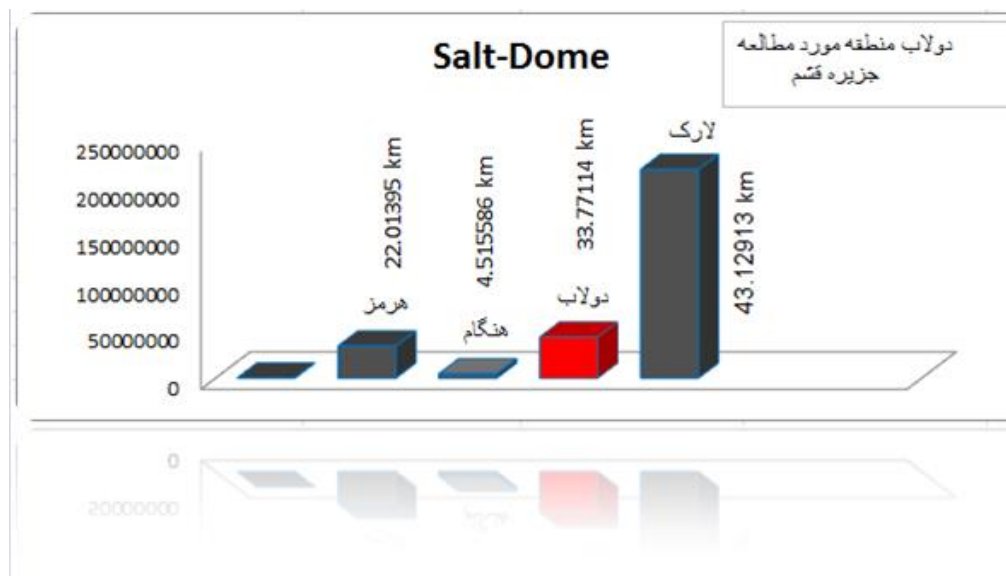
بعد از نمونه برداری مجدد تصویر ماهواره‌ای Sentinel-2 (که تصویر ماهواره سنتینل-۲ با پیکسل سایز ۱۰ متری همه باندها (باندهای ۲۰ متری و ۳۰ متری) تبدیل به باند با پیکسل سایز ۱۰ متری شدند). آنگاه باندهای تصویر ماهواره ورلدویو-۳ برای باندهای SWIR با رزولوشن خاص با روش نمونه‌برداری مجدد پیکسل سایز از ۵/۷ متر به ۲/۰ متر تقلیل یافته تا پردازش Stacking تصاویر انجام پذیرد. باند با رزولوشن تغییر یافته SWIR با باند VNIR استک گردید. با روش PCA برونزدهای گنبد نمکی شناسایی شدند و با روش طبقه‌بندی CNN کلاس‌بندی طبقات شوری پدیدار گردید. نکته و مزیت تصویر ورلدویو-۳ در شناسایی گنبد نمکی وجود باند فروسرخ نزدیک VNIR و باند امواج کوتاه مادون قرمز SWIR هست. اطلاعات طیفی این تصاویر در پایش گنبدهای نمکی مفید واقع گردید. هیستوگرام تصاویر قبل از پردازش روش PCA و بعد از روش PCA نشان داد که با جمع‌آوری اطلاعات طیفی در یک تصویر و حذف عوامل تکراری در وضوح تصویر و آشکارسازی گنبدهای نمکی تأثیر بسزایی در پردازش تصاویر ماهواره‌ای دربرداشته است.

سپس عمل پردازش PCA بر روی تصویر اعمال شد. تمام این مراحل پردازش در ENVI۵٫۶ انجام گرفت. گنبدهای نمکی منطقه مورد مطالعه قشم (دهستان دولاب) با برونزدهای حوضچه‌های نمک در دو بخش کوه گنبدنمکی با ارتفاع ..... استخراج گردید. که ارتفاع نقاط این برونزدهای گنبدهای نمکی با ۷ نقطه Salinity با مختصات طول و عرض جغرافیایی شناسایی شدند. یک حوضچه بزرگ گنبد نمکی ساحلی در بخش غربی (دهستان دولاب) با مختصات جغرافیایی شناسایی گردید. پیش‌پردازش (تصحیح رادیومتریکی، تصحیح اتمسفری TOA و تصویر رنگی کاذب RGB) تصویر ماهواره‌ای ورلدویو-۳ نقش بسیار مهمی در کلاس‌بندی طبقات شوری این گنبد نمکی ایفا نمود. به طوری که



قبل از پیش پردازش بخش فوقانی تصویر حوضچه گنبد نمکی را نمایان کرده بود. بدین لحاظ بعد از اعمال پیش-پردازش تصویر ماهواره ای ورلدویو-۳ تمام نقاط حوضچه برونزد گنبد نمکی با وضوح کامل نمایان شد. که در یافته های تحقیق تصویر ماهواره ای در ۳ شکل به تصویر کشیده شده است. جهت تشخیص ارتفاع نقاط استخراج شده لازم بود تا لایه ارتفاعی در روی تصویر ورلدویو-۳ افزوده گردد. در جدول (۱) نقاط گنبدنمکی با ارتفاع آن ها آورده شده است.

بازنمونه گیری و انباشت داده ها: برای کاربردهای بعدی، باندهای SWIR با وضوح مکانی ۷.۵ متر باید به وضوح ۲۰ متر بازنمونه گیری شوند و همراه با باندهای VNIR در یک فایل تجمیع شوند، به طوری که هر ۱۶ باند دارای اندازه پیکسل یکسان ۲ متر × ۲ متر از باندهای VNIR باشند.



شکل ۴. گنبد نمکی در جزیره قشم

Area-Island	Order	Salt Dome(km)	Area-Soil
Hormoz	Salt Dome	۲۲.۰۱۳۹۵	۲۲۰۱۳۹۵۰
Larck	Salt Dome	۴۳.۱۲۹۱۳	۴۳۱۲۹۱۳۰
Dolab	Salt Dome	۳۳.۷۷۱۱۴	۳۳۷۷۱۱۴۰
Hengam	Salt Dome	۴.۵۱۵۵۸۶	۴۵۱۵۵۸۶

Area(km)

در بخش منطقه مورد مطالعه یک معدن گوگرد با مختصات جغرافیایی "۲۶°۳۸'۱۴،۳۸۵۴" N و "۴۰°۳۲'۴۰،۳۲۵۴" E در دهستان دولاب در داخل کوه گنبد نمکی قشم با برونزدهای نمکی قابل دید می باشند. برونزدهای حوضچه های گنبد نمکی در داخل کوه نمکدان قشم در جنوب بخش های شرق و غرب بخش دهستان دولاب یافت شد. از لحاظ استحصال



و صادراتی دارای ارزش اقتصادی می باشند. در حال حاضر در بخش شرقی دهستان دولا ب در منطقه کوه گنبد نمکی با ۷ بخش نمک شناسایی شده نمایان می باشد.

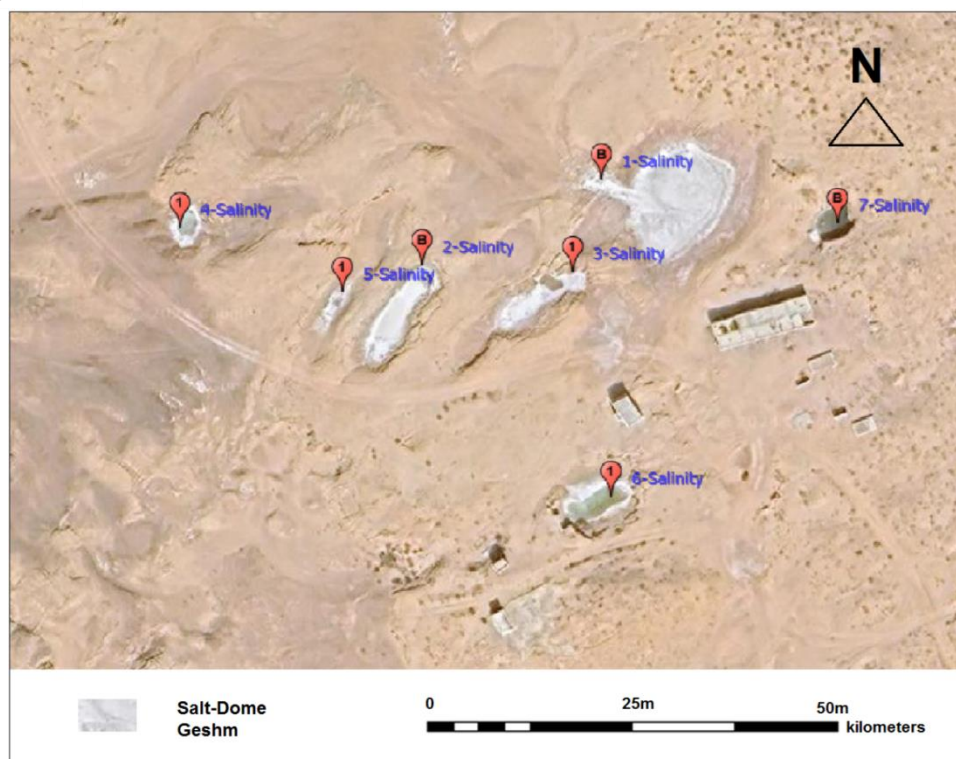
1-Salinity; 2-Salinity; 3-Salinity; 4-Salinity; 5-Salinity; 6-Salinity; 7-Salinity	
Found 7 items	
<a href="#">1-Salinity</a>	1/24/2024 0:36:09 Latitude N26°36'19.7440" Longitude E55°31'02.1290"
<a href="#">2-Salinity</a>	1/24/2024 0:39:16 Latitude N26°36'19.0924" Longitude E55°31'00.6907"
<a href="#">3-Salinity</a>	1/24/2024 0:41:01 Latitude N26°36'19.0406" Longitude E55°31'01.8977"
<a href="#">4-Salinity</a>	1/24/2024 0:41:46 Latitude N26°36'19.3773" Longitude E55°30'58.7498"
<a href="#">5-Salinity</a>	1/24/2024 0:42:35 Latitude N26°36'18.8852" Longitude E55°31'00.0534"
<a href="#">6-Salinity</a>	1/24/2024 0:44:21 Latitude N26°36'17.3225" Longitude E55°31'02.2067"
<a href="#">7-Salinity</a>	1/24/2024 0:47:41 Latitude N26°36'19.4075" Longitude E55°31'04.0172"

شکل ۵. مختصات طول و عرض جغرافیایی حوضچه های گنبد نمکی قشم (دهستان دولا ب) Salinity-۷

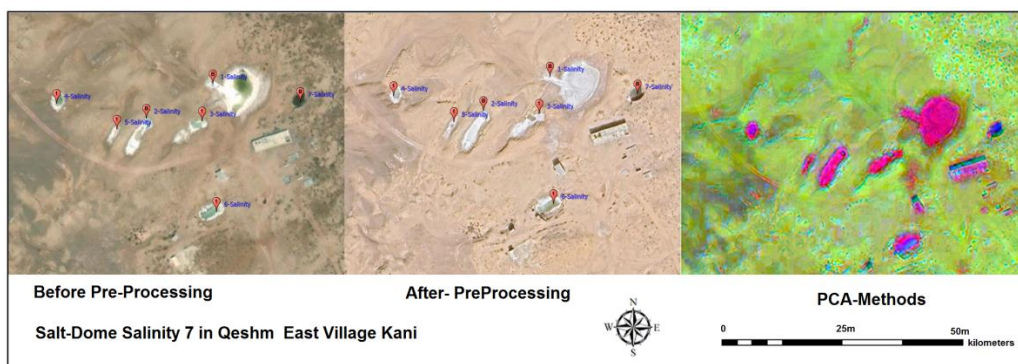
مساحت هر کدام از Salinity ۷ در جدول (۱) آورده شده است. که Salinity-۱ با بالاترین مساحت شوری و Salinity-۵ با کمترین مساحت شوری شناخته شد. هم اکنون در این جزیره استحصال این نمک با صرفه اقتصادی و صادرات در حال عملکرد می باشد. در مورد یافته های تحقیق می توان گفت با روش و متد PCA امکان طبقه بندی با روش CNN<sup>۱</sup> میسر گردید. توانمندی سنجش از دور نیز وضوح بالای تصاویر ماهواره ای و رل دیو-۳ در هر چه وضوح بالای آشکارسازی این برونزدهای گنبد نمکی قشم دهستان دولا ب کوه نمکدان در دو بخش منطقه مورد مطالعه، قابل تحسین بوده و در آخر با تلفیق نقشه ارتفاعی متد سنجش از دور در بیان ارتفاعی این گنبدهای نمکی قشم توانست بخش های ارتفاعی گنبدها را نمایان ساخته تا در سهولت استخراج نمک این برونزدها حوضچه های نمک نقش بزرگی را ایفا نمایند.

<sup>۱</sup> CNN(Classification Neural Net)





شکل ۶. موقعیت مکانی ۷-Salinity قبل از پردازش Method-PCA



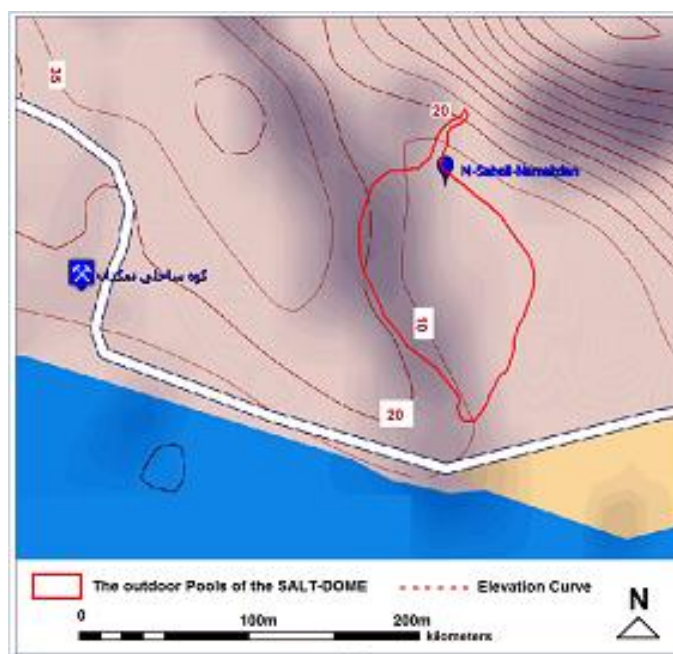
شکل ۷. قبل و بعد از پیش پردازش

پس از پردازش متد PCA حوضچه های گنبد نمکی این برونزدها را با مقادیر ارتفاعی جهت یافتن عمق این گنبد نمکی ها در روی نقشه اعمال نمودیم.





حوضچه های روباز گنبد نمکی<sup>۲</sup> نمکدان به همراه منحنی ارتفاعی در شکل زیر آمده است.

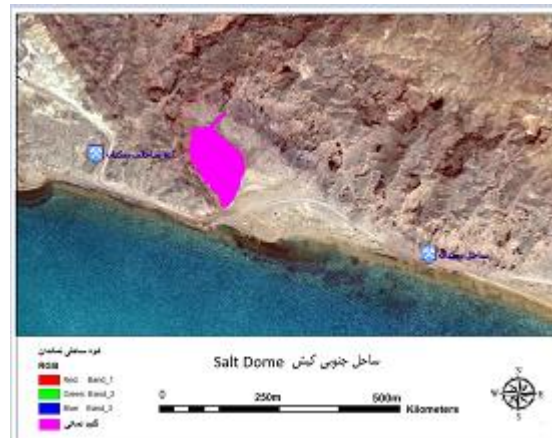


شکل ۸. حوضچه روباز گنبد نمکی با منحنی ارتفاعی

<sup>۲</sup> The outdoor Pools of Salt\_Dome

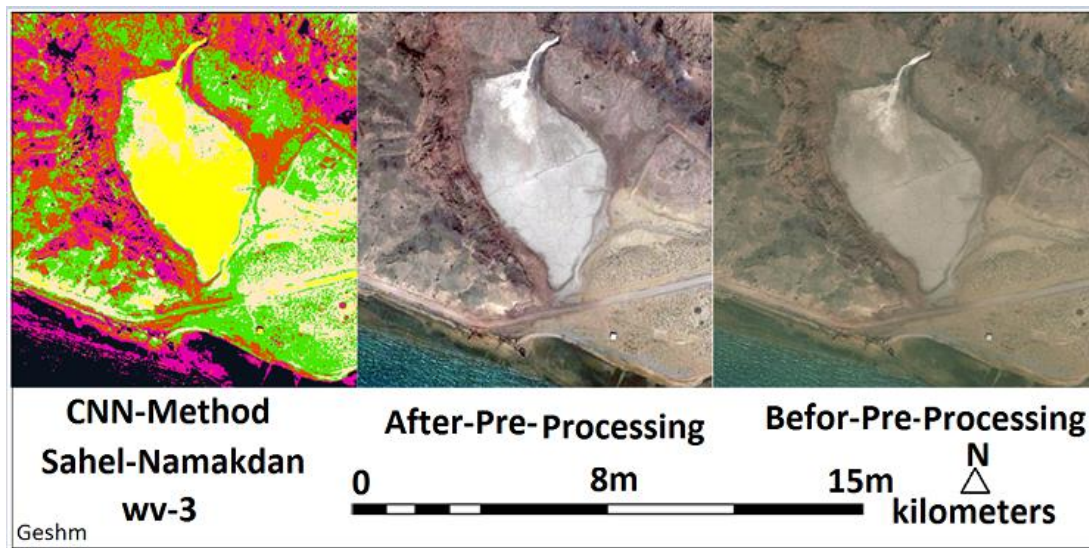


گنبد نمکی ساحلی کوه ساحلی نمکدان در ارتفاع ۱۰ تا ۲۰ متری از سطح دریا واقع گردیده است. با توجه به طبقه بندی CNN این گنبد نمکی مشخص گردید که در ارتفاع ۱۰ متری این حوضچه نمکی کوه ساحلی نمکی دارای شوری بیشتری نسبت به ارتفاع ۲۰ متری این حوضچه می باشد.



شکل ۹. گنبد نمکی ساحلی کوه ساحلی نمکدان

بعد از شناسایی برونزدهای گنبد نمکی کوه ساحلی نمکدان طبقه بندی با روش CNN صورت گرفت و همزمان با تلفیق نقشه ارتفاعی در دو بخش ۱۰ متری و ۲۰ متری حوضچه برونزدهای نمکی قشم دهستان دولاب شوری این برونزد نمکی کلاس بندی گردید.



شکل ۱۰. CNN-Method Sahel - Namakdan-WV-۳

بعد و قبل از پیش پردازش



## نتیجه گیری

پژوهش حاضر با تمرکز بر توانمندی های سنجش از دور در پایش و تحلیل برونزدهای گنبد نمکی جزیره قشم، به ویژه استفاده از تصاویر ماهواره های پیشرفته همچون وِرلدویو-۳ و سنتینل-۲، توانایی و ظرفیت های بالای این فناوری را در توسعه دانش زمین شناسی، مدیریت منابع طبیعی و بهره برداری از معادن نمکی نشان داد. گنبد نمکی نمکدان، به عنوان یکی از مهم ترین و شاخص ترین جلوه های زمین شناختی در منطقه، به دلیل دارا بودن مقادیر بالای نمک بلورین با خلوص زیاد و ویژگی های منحصر به فرد زمین شناسی، نه تنها از جنبه های زیست محیطی و علمی حائز اهمیت است، بلکه از منظر اقتصادی نیز در برنامه ریزی های ملی، منطقه ای و بین المللی مورد توجه است.

یکی از بزرگ ترین دستاوردهای این پژوهش تأکید بر قابلیت های تصاویر وِرلدویو-۳ است که به دلیل وضوح رادیومتریک بالا (۱۴ بیت)، قدرت تحلیل داده های چندطیفی در باندهای SWIR و VNIR، و توان نمونه برداری مجدد پیکسل ها با دقت بالا، امکان شناسایی بهتر برونزدهای گنبد نمکی و ارائه نقشه های دقیق تر نمکی فراهم کرد. همچنین، داده های ماهواره ای سنتینل-۲ با تفکیک مکانی و زمانی بالای خود، به ویژه در شناسایی موقعیت اولیه گنبدهای نمکی و تغییرات ناشی از فرایندهای زمین ساختی، توانسته است به عنوان مکملی ایده آل در تحلیل های چندمقیاسی سنجش از دور به کار گرفته شود.

استفاده از روش های پیشرفته مانند تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA)، پیش پردازش های رادیومتریکی و اتمسفری، و ترکیب داده ها برای تطبیق دقیق تر تصاویر SWIR و VNIR در مقیاس پیکسل های ۲×۲ متر، تأثیر بسیاری در افزایش دقت دسته بندی داده ها و کاهش نویزهای مرتبط با آن داشته است. همچنین، مدل شبکه عصبی کانولوشنی (CNN) در این پژوهش به عنوان ابزاری قوی در دسته بندی و کلاسه بندی شوری برونزدها به کار برده شد که دقت مطلوبی را با ضریب کاپای ۰.۸۹ ارائه داده است. این روش به صورت کمی امکان تعیین محدوده های مختلف شوری را با وضوح پذیری عالی مهیا ساخت.

در این زمینه، یافته های تحقیق حاکی از آن است که با پردازش پیشرفته تصاویر، می توان شواهد برجسته ای از توزیع برونزدهای نمکی، موقعیت و مساحت پهنه ها، درجه شفافیت نمک ها و عمق ذخایر استحصال نمک به دست آورد. نقشه های استخراجی از تحقیق، نه تنها ساختارهای فوقانی گنبدهای نمکی را به تصویر کشید، بلکه نقاط جغرافیایی کلیدی در مناطق دهستان دولاب و نمکدان را با دقت بالا شناسایی نمود. همچنین این پژوهش نشان داد که برونزدهای شوری در ارتفاع بالاتر کمتر بوده و حوضچه های نمکی واقع در ارتفاع پایین تر، از میزان شوری بیشتری برخوردار هستند؛ که این نکته برای استحصال علمی و اقتصادی نمک بسیار مهم است.

از جمله مهم ترین مزایای فناوری سنجش از دور، کاهش هزینه ها، افزایش دقت و سرعت در جمع آوری و تحلیل داده ها برای پایش گسترده مناطق وسیع و صعب العبور است. این امر در بررسی گنبدهای نمکی قشم نیز نقش پررنگی ایفا کرد به طوریکه تصاویر پردازش شده توانستند با حذف نویزها و عوامل افزونه، پتانسیل هایی گسترده تر را برای شناسایی دقیق تر منابع طبیعی و بهره برداری از آنها فراهم کنند. این قابلیت ها می توانند در مدیریت پایدار منابع معدنی و محیط زیست منطقه نیز مفید باشند و زمینه ساز تصمیم گیری های مؤثرتری در کنار بهره برداری اقتصادی پایدار گردند.



کاربردها و پیشنهادات به صورت زیر است:

۱. کاربرد در حوزه های تجاری و صادراتی: بر اساس یافته های پژوهش، ذخایر نمکی جزیره قشم به دلیل خلوص بالا می توانند به عنوان منبعی مناسب برای تامین نمک خوراکی، صنعتی و سایر مشتقات شیمیایی به کار گرفته شوند. صادرات این محصولات می تواند نه تنها به عنوان محرکی برای اقتصاد محلی بلکه به عنوان یک پتانسیل بین المللی مطرح باشد.
  ۲. توسعه پایدار اکوسیستمی: بررسی تأثیرات برونزدهای نمکی بر اکوسیستم های اطراف آنها از طریق ترکیب لایه های جغرافیایی ارتفاع و داده های آب و هوایی، می تواند به کاهش اثرات زیست محیطی استخراج کمک کند.
  ۳. ارتقای مدل های تحلیلی: استفاده از مدل های پردازش تصویر پیشرفته تر مانند یادگیری عمیق و بهبود روش های کلاسه بندی طیفی، می تواند در بهبود نتایج پژوهش های مشابه در آینده مؤثر باشد.
- در جمع بندی می توان گفت که این تحقیق، با استفاده از دو تکنیک مدرن سنجش از دور، فرصتی را برای بهبود فرایندهای اکتشاف و استحصال منابع نمکی فراهم آورد. این تحقیق نشان داد که بهره گیری از داده های چندطیفی با وضوح بالا و روش های تحلیلی مدرن، می تواند اطلاعات مفیدی درباره ساختار و ابعاد ذخایر گنبد نمکی قشم ارائه دهد. این پژوهش، راهی را برای افزایش بهره وری در استحصال و مدیریت منابع طبیعی باز می کند و می تواند الهام بخش مطالعات آتی در حوزه های مختلف مدیریت منابع طبیعی و تحلیل زمین شناختی باشد.

## منابع

- [۱]. Zhang, H. et al. "Soil Salinity Using Saturated Paste and ۱:۱ Soil to Water Extracts". Soil Science Society of America Journal, ۶۹, ۱۱۴۶-۱۱۵۱, ۲۰۰۵.
- [۲]. Bannari, A.M.A. Mohamed and D.R. Peddle; Biophysiological spectral indices retrieval and statistical analysis for red palm weevil stress attack prediction using Worldview-۳ data ;Conference Paper . July ۲۰۱۶; DOI: ۱۰.۱۱۰۹/IGRSS.۲۰۱۶.۷۷۲۹۹۰۸
- [۳]. Damian Schulze-Brüninghoff , Michael Wachendorf and Thomas Astor; Potentials and Limitations of WorldView-۳ Data for the Detection of Invasive Lupinus polyphyllus Lindl. in Semi-Natural Grasslands.
- [۴]. Kang Kian Hong Sales Engineering, APAC [Kian.kang@digitalglobe.com](mailto:Kian.kang@digitalglobe.com); DigitalGlobe; ۱.analyzing\_the\_invisible\_spectrum\_with\_constellation-۶۶۶-۳۷۵۳ (۲)
- [۵]. Nijat Kasim, Tashpolat Tiyp, Abdugheni Abliz, Ilyas Nurmemet, Rukeya Sawut, and Balati Maihemuti; Mapping and Modeling of Soil Salinity Using WorldView-۳ Data and EM۳۸-KM۳ in an Arid Region of the Keriya River, China.
- [۶]. Odeh. I.O.A., and A. Onus, ۲۰۰۸. Spatial analysis of soil salinity and soil structural stability in a semiarid region of New South Wales, Australia, Environmental Management, ۴۲(۲):۲۶۵-۲۷۸.
- [۷]. Haralick, R.M.; Shanmugam, K.; Dinstein, I. Textural Features for Image Classification. IEEE Trans. Syst. Man. Cybern. ۱۹۷۳, SMC-۳, ۶۱۰-۶۲۱. [CrossRef]



- [۸]. Teillet, P.M. and Santer, R.P. "Terrain Elevation and SensorAltitude Dependence in Semi-Analytical Atmospheric Code". Canadian J. of Remote Sensing, vol. ۱۷, no. ۱, p. ۳۶-۴۴, ۱۹۹۱.
- [۹]. Alexakis, D.D. et al. "Assessing soil salinity using WorldView-۲ multispectral images in Timpaki, Crete, Greece". GeocartoInternational, DOI: ۱۰,۱۰۸۰/۱۰۱۰۶۰۴۹,۲۰۱۶,۱۲۵۰۸۲۶.
- [۱۰]. Soil Survey Staff (۲۰۱۴) Keys to soil taxonomy. Twelfth edition. USDANRCSpublication, Washington, D.C. (USA), ۳۷۹ pages.
- [۱۱]. DigitalGlobe "Core Imagery Product Guide v۲,۰", ۶۷ pages, ۲۰۱۴.
- [۱۲]. Kuester, M.A., Ochoa, M., and ۱۳ others. "Absolute RadiometricCalibration of the DigitalGlobe Fleet and updates on the newWorldView-۳ Sensor Suite". JACIE Civil Commercial ImageryEvaluation Workshop, Tampa, FL, USA, May ۵-۷, ۲۰۱۵.
- [۱۳]. Nawar, S., H. Buddenbaum, and J. Hill, ۲۰۱۵. Estimation of soilsalinity using three quantitative methods based on visible andnear-infrared reflectance spectroscopy: A case study from Egypt, Arabian Journal of Geosciences, ۸(۷):۱-۱۴.
- [۱۴]. Sidike, A., S. Zhao, and Y. Wen, ۲۰۱۴. Estimating soil salinityin Pingluo County of China using QuickBird data and soilreflectance spectra, International Journal of Applied EarthObservation & Geoinformation, ۲۶(۲):۱۵۶-۱۷۵.
- [۱۵]. Fidahussein, M, J. Friedlin, and S. Grannis S. ۲۰۰۴. Comparisonland-cover of classification methods in the Brazilian AmazonBasin[J], Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, ۷۰(۶):۷۲۳-۷۳۲.
- [۱۶]. Yaqin Sun, Shufang Tian, Baogang Di; Extracting mineral alteration information using WorldView-۳ d, ۲۲ March ۲۰۱۶journal homepage: [www.elsevier.com/locate/gsf](http://www.elsevier.com/locate/gsf)
- [۱۷]. Alexakis, D.D. et al. "Assessing soil salinity using WorldView-۲ multispectral images in Timpaki, Crete, Greece". GeocartoInternational, DOI: ۱۰,۱۰۸۰/۱۰۱۰۶۰۴۹,۲۰۱۶,۱۲۵۰۸۲۶.
- [۱۸]. Farifteh, J., J., F.V.D Van, and E.J.M. Carranza, ۲۰۰۷. Similaritymeasures for spectral discrimination of salt-affected soils, International Journal of Remote Sensing, ۲۸(۲۳):۵۲۷۳-۵۲۹۳.
- [۱۹]. The alteration information extracted by the aforementionedmethods agrees well and suggests that the PCA models andmineral indices proposed in this study are reliable to a certainextent, setting the foundation for subsequent alteration extractionover large areas using WorldView-۳ data.
- [۲۰]. Divan Vermeulen,a Adriaan van Niekerk, Evaluation of a WorldView-۲ image for soil salinity monitoring in amoderately affected irrigated area.
- [۲۱]. Zheng Huang, and Shuhab Khan, PSHouston, Texas area Geomorphology: Investigating Surfaces Above Salt Domes Using GIS and Remote Sensing.
- [۲۲]. Hu/fmen, A. C. eI al.. ۲۰۰۴. Sell Dill:>iIS in the Gul' Coast. U.S. Geological Surley, OS-g.). version ۱,۰.
- [۲۳]. A. Bannari, A.M.A. MohamedandD.R. Peddle, BIOPHYSIOLOGICALSPECTRALINDICES□RETRIEVALANDSTATISTICALANALYSISFOR□RE DPALMWEEVILSTRESSATTACKPREDICTIONUSINGWORLDVIEW۳DATA.
- [۲۴]. A. Bannari, S.A. Shahid, A. El-Battay, A. Alshankiti, N.A. Hameid and F. Tashtoush, POTENTIAL OF WORLDVIEW-۳ FOR SOIL SALINITY MODELING ANDMAPPING IN AN ARID ENVIRONMENT.
- [۲۵]. Alexakis, D.D. et al. "Assessing soil salinity using WorldView-۲ multispectral images in Timpaki, Crete, Greece". GeocartoInternational, DOI: ۱۰,۱۰۸۰/۱۰۱۰۶۰۴۹,۲۰۱۶,۱۲۵۰۸۲۶.



- [۲۶]. John Rogan and Jennifer Miller, Integrating GIS and Remotely Sensed Data for Mapping Forest Disturbance and Change
- [۲۷]. Smedema, L.K. "Salinity control in irrigated land: Use of remote sensing techniques in irrigation and drainage". Proc. of the expert consultation, session ۳- Drainage and salinity monitoring and control. Montpellier, France, ۲-۴ November ۱۹۹۳. FAO, Water Reports ۴, pp. ۱۴۱-۱۵۰, ۱۹۹۵.
- [۲۸]. Kuester, M.A. et al. "Absolute Radiometric Calibration of the DigitalGlobe Fleet and updates on the new WorldView-۲ Sensor Suite". JACIE Civil Commercial Imagery Evaluation Workshop, Tampa, FL, USA, May ۵-۷, ۲۰۱۵.
- [۲۹]. Soil Survey Staff (۲۰۱۴) Keys to soil taxonomy. Twelfth edition. USDA NRCS publication, Washington, D.C. (USA), ۳۷۹ pages.
- [۳۰]. Seyed Mohammad Bolouki, Hamid Reza Ramazi, Abbas Maghsoudi, Amin Beiranvand Pour and Ghahraman Sohrabi; A Remote Sensing-Based Application of Bayesian Networks for Epithermal Gold Potential Mapping in Ahar-Arasbaran Area, NW Iran.
- [۳۱]. Habes Ghrefat, Ahmed Hakami, Elkhedr Ibrahim, Saad Mogren, Saleh Qaysi, Kamal Abdelrahman and Faisal K. Zaidi; Damage Assessment of a Salt Dome in Jizan, Southwestern Saudi Arabia, Using High Spatial Resolution Remote Sensing Data.
- [۳۲]. Pankratz, H. G., Sultan, M., Abdelmohsen, K., Sauck, W. A., Alsefry, S., Alharbi, H., et al. (۲۰۲۱). Use of Geophysical and Radar Interferometric Techniques to Monitor Land Deformation Associated with the Jazan Salt Diapir, Jazan City, Saudi Arabia. *Surv. Geophys.* ۴۲, ۱۷۷-۲۰۰. doi: ۱۰.۱۰۰۷/s۱۰۷۱۲-۰۲۰-۰۹۶۲ Shayan, S.,
- [۳۳]. Zare, GH.R., ۲۰۱۱, Salt domes in Iran, *Journal of Geography*, Vol. ۲۵, NO. ۳, P. ۱۸-۲۵-۳