



سنجش از دور & GIS ایران



سنجش از دور و GIS ایران / سال هفتم، شماره یکم، بهار ۱۳۹۴
Iranian Remote Sensing & GIS / Vol.7, No. 1, Spring 2015

۹۵-۱۱۵

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER

امیرحسین هاتفی اردکانی^۱، مصطفی کریمی احمدآباد^{۲*}، سعید خدائیان^۳، سعید قره‌چلو^۴

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان
۲. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
۳. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه شهید بهشتی
۴. استادیار دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۵/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۷/۲۲

چکیده

تولید و به‌دست‌آوردن آمار و اطلاعات دقیق و واقعی از منابع معدنی دغدغه همیشگی مدیران است. برای تولید این نوع آمار و اطلاعات روش‌های گوناگونی وجود دارد که از جمله می‌توان به روش‌های سنتی همراه با پیمایش‌های زمینی و روش‌های پیشرفته سنجش از دور اشاره کرد. سنجش و تولید اطلاعات با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های دورکاوی، به‌ویژه در مناطق کویری و بیابانی به‌دلیل شرایط نامساعد آنها، افق جدیدی را به‌رومی مدیران گشوده که راهکاری است برای غلبه بر مشکلات روش‌های مرسوم سنتی. هدف پژوهش حاضر ارزیابی تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در تهیه نقشه املاح تبخیری در منطقه شرقی دشت سمنان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ASTER است. برای این منظور ابتدا نمونه‌برداری به‌روش تصادفی منظم از منطقه انجام شد و سپس پردازش‌هایی از قبیل بسط تصویر، ایجاد تصاویر رنگی کاذب، تجزیه مؤلفه‌های اصلی، تبدیل تسلدکپ، ادغام و نسبت‌گیری طیفی روی تصاویر صورت گرفت. مقادیر گچ، نمک و سولفات سدیم و منیزیم خاک با ارزش طیفی استخراج‌شده از باندهای اصلی و فرعی تلاقی داده شدند و روابط همبستگی و رگرسیونی بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج تحقیق نشان دادند که باندهای حرارتی PCA9، PCA10، PCA12 می‌توانند در تفکیک املاح گچ، هالیت و سولفات مفید باشند. در نهایت، از طریق طبقه‌بندی حداکثر احتمال روی باندهای مذکور، نقشه‌های گچ، هالیت و سولفات محدوده مطالعاتی با صحت کل به ترتیب ۷۳/۳۳، ۶۶/۶۷، ۶۶/۶۷ درصد و با ضریب کاپای به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۵۳ و ۰/۵۵ تهیه شدند.

کلیدواژه‌ها: املاح تبخیری، گچ، نمک، سولفات، سنجش از دور.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان وصال شیرازی، نبش کوچه آذین، پلاک ۱، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران. تلفن: ۰۹۳۵۴۴۸۳۹۱۲

۱- مقدمه

با ارتقای روزافزون دانش بشری، اهمیت توسعه پایدار و تکیه‌نداشتن به منابع فناپذیر بیش از پیش آشکار شده است. یکی از مسیرهای رسیدن به این هدف، استفاده بهینه از منابع زمینی است. یکی از مهم‌ترین منابع زمینی کشور ایران، سازندها و نهشته‌های تبخیری - به خصوص در مناطق مرکزی- است که هم از جنبه اقتصادی و هم به دلیل تأثیرگذاری جدی آن بر معضل بیابان‌زایی دارای اهمیت فراوان است. شناسایی و تشخیص نوع این نهشته‌ها در گام نخست می‌تواند در مدیریت بهره‌برداری از آنها مؤثر باشد. در خصوص اهمیت این نهشته‌ها از نظر ارتباطشان با پدیده بیابان‌زایی می‌توان به این مطلب اشاره کرد که محمدی و کاظمی (۱۳۹۱) یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ایجاد بیابان‌های دشت شوقان در استان خراسان شمالی را وجود سازندهای مارنی و تبخیری در ارتفاعات جنوبی و جنوب‌غربی این ناحیه می‌دانند. فیض‌نیا (۱۳۷۸) مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شوری و تخریب آب رودخانه‌های حوضه مرکزی ایران را وجود مارن‌های تبخیری، گنبد‌های نمکی و معادن گچ و نمک در این نواحی می‌داند.

املاح نهشته‌های تبخیری مصارف گوناگونی دارند که با شناسایی آنها می‌توان به ثروت درخور توجهی دست یافت. صرف‌نظر از مصارف املاح گچ و نمک، سولفات‌ها به‌ویژه سولفات سدیم کاربرد فراوانی در تولید مواد شوینده دارند. بنابراین با وجود وسعت بیابان‌های حاصل از سازندهای شور و تبخیری در ایران که خسروشاهی و همکاران (۱۳۹۰) آن را ۲۰۸۰۴۱ کیلومترمربع تخمین زده‌اند و سهم استان سمنان از این مقدار ۴۳۴۲۹ کیلومترمربع است، شناسایی و تهیه نقشه‌ای از چگونگی وجود آنها در مناطق بیابانی می‌تواند زمینه را برای بهره‌برداری از آنها و تحقق توسعه پایدار میسر سازد. اکتشاف منابع زمینی از طریق پیمایش‌های صحرائی همراه با آنالیزهای آزمایشگاهی، ضمن وقت‌گیری، هزینه‌های زیادی دارد که اغلب

باعث مختل‌شدن روند تحقیقات پروژه‌های منابع زمینی می‌شود. تکنیک‌های سنجش از دور ابزارهای نوینی هستند که امروزه دستیابی و استخراج اطلاعات را برای مدیریت منابع زمینی و توسعه پایدار میسر می‌سازند. تکنیک‌های سنجش از دور نقش مهمی در نقشه‌برداری (Farina et al., 2005) و توانایی زیادی در ارائه دقیق کانی‌شناسی، شیمی و مورفولوژی سطحی زمین دارند (Zhang & Pazner, 2007). زمین‌شناسان، داده‌های سنجش از دور را از همان ابتدای ظهور برای نقشه‌برداری منطقه‌ای، تفسیر ساختاری و اکتشاف سنگ‌های معدنی به کار گرفتند (Van der Meer et al., 2012). دسترسی نسبتاً آسان داده‌های ماهواره‌ای چندطیفی و فراطیفی، فرصت‌های جدیدی را برای نقشه‌برداری منطقه‌ای کانی‌شناسی، زمین‌شناسی ساختاری و انواع سنگ‌ها ایجاد کرده است (Kodikara et al., 2011; Greg Vaughan et al., 2005; Van der Meer et al., 2012; Hewson et al., 2005).

تجزیه و تحلیل داده‌های ASTER به‌علت برخورداری از قدرت تفکیک مکانی و طیفی، در شناسایی و اکتشاف مواد معدنی مفیدتر است (Bedini, 2011). داده‌های سنجنده ASTER، ابزارهای قدرتمندی در نقشه‌برداری زمین‌شناسی به‌شمار می‌آیند که مجموعه جدیدی از اطلاعات بازتاب از سنگ‌ها را فراهم می‌کنند و می‌توانند برای تفکیک سازندها و تشکیلات زمین‌شناسی مورد استفاده زمین‌شناسان قرار گیرند (Gomez et al., 2005). داده‌های ASTER اطلاعات تکمیلی را برای نقشه‌برداری سنگ‌شناسی فراهم کرده‌اند (Rowan & Mars, 2003). نتایج تحقیقات متین‌فر و همکاران (۱۳۸۵) نشان می‌دهند که خاک‌های با پوسته‌های نمکی و پوشیده از نمک، گچ و ماسه را می‌توان با باندهای محدوده مرئی و مادون‌قرمز نزدیک تفکیک کرد. قدسی و شهرکی (۱۳۹۰)، ۲۱ زون املاح تبخیری را در گستره استان سیستان و بلوچستان برپایه پردازش تصاویر ماهواره‌ای شناسایی کردند. نتایج تحقیقات

تخریبی، مارن‌های ماسه‌ای و مارن‌های گچ‌دار، سازند قرمز بالایی با تناوبی از مارن‌های گچ‌دار و ماسه سنگ‌آهکی و رسوبات کواترنری. شکل ۱ پهنه مورد مطالعه را که منطقه‌ای معدنی واقع در ۳۵ کیلومتری جنوب‌شرق سمنان با نوع سازندهای مذکور است، نشان می‌دهد.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

در پژوهش حاضر از این داده‌ها استفاده شده است: تصاویر سنجنده ASTER متعلق به ماهواره TERRA ثبت‌شده در تاریخ ۲۴ اکتبر ۲۰۰۳؛ نقشه‌های توپوگرافی رقومی ۱:۲۵۰۰۰ سازمان نقشه‌برداری کشور با سیستم مختصات UTM شامل شیت‌های 6761-3NE, 6761-3NW, 6761-3SE, 6761-3SW به‌منظور انجام تصحیحات هندسی داده‌های ماهواره‌ای؛ نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور شیت سمنان؛ و دستگاه GPS گارمین مدل Etrex30 با دقت مسطحاتی ۳ تا ۵ متر برای تعیین مختصات نقاط نمونه‌برداری. داده‌های ماهواره‌ای ASTER در سطوح گوناگون کالیبره می‌شوند، که نوع B1 استفاده‌شده در پژوهش حاضر دارای تصحیحات اتمسفری است. تصاویر ASTER، محدوده طیفی مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه و مادون قرمز حرارتی را در ۱۴ کانال طیفی با قدرت تفکیک طیفی، مکانی و رادیومتری بالا پوشش می‌دهند (Zhang et al., 2007; Abrams & Hook, 2001; Yamaguchi et al., 1998). در این مطالعه، به‌منظور انجام کارهای پردازش تصویر و GIS، از نرم‌افزارهای ERDAS AMAGINE9.2، ENV17.4 و ARCGIS9.3 و برای آنالیز و مقایسه‌های آماری از نرم‌افزارهای Excel2010 و SPSS16 استفاده شد.

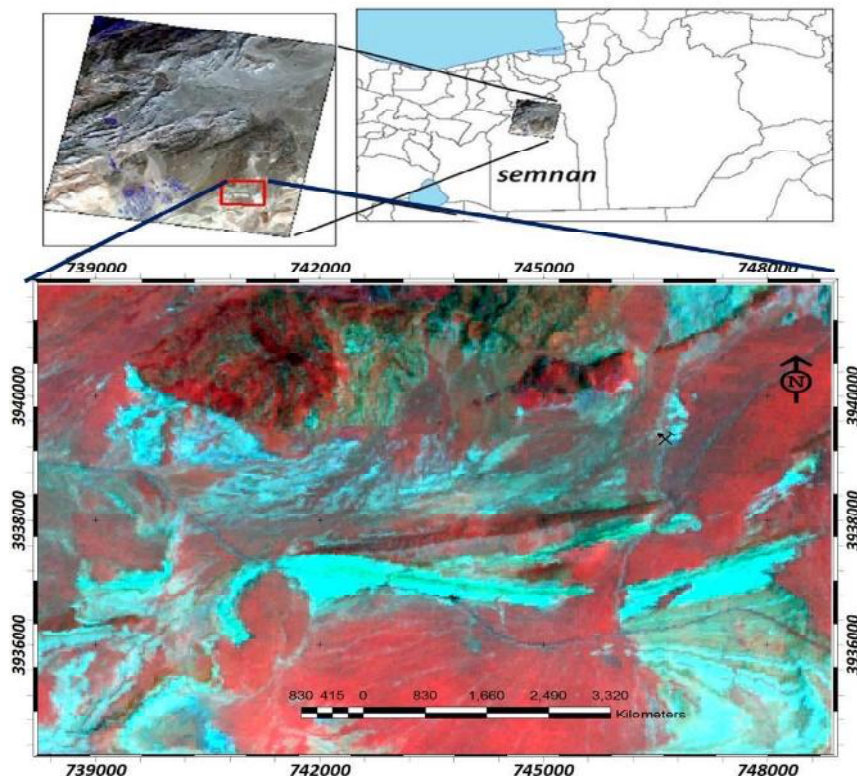
خدادادی و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که باند حرارتی ETM^+ و تکنیک تبدیل تسلدکپ، دقت طبقه‌بندی خاک‌های شور و سدیمی را در دشت قزوین افزایش داده است. نایج نوری (۱۳۸۰)، امکان تفکیک زمین‌های شور و گچی منطقه دشت کاشان را با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM بررسی کرد. نتایج تحقیق وی نشان دادند که باندهای TM1، TM5، TM6 با مقادیر EC سطحی و باندهای TM7، TM3، TM6، TM5 با تغییرات گچ سطحی ارتباط دارند. کروستا و مور^۱ (۱۹۸۹) بیان کردند که باندهای ۷، ۵ و ۴ لندست بهترین ترکیبات برای شناسایی نهشته‌های گچ در جنوب شرقی اسپانیا هستند. گوسنس و ون‌رانست^۲ (۱۹۹۸) گزارش کردند که تصاویر ماهواره لندست برای جداکردن خاک‌های گچی از خاک‌های شور بسیار مفیدند. کواک^۳ (۲۰۰۵) با استفاده از تصاویر ASTER و ETM^+ ، به کمک تکنیک‌های تبدیل بروی^۴ و تحلیل مؤلفه‌های اصلی، افق‌های گچی حوضه سیواس واقع در ترکیه را شناسایی کرد. غالب مطالعات مربوط به جداسازی خاک‌های شور و گچی از خاک‌های غیرشور از طریق تصاویر لندست انجام شده و مطالعات چندانی در عرصه شناسایی املاح و سازندهای تبخیری با داده ماهواره‌ای ASTER به‌منظور تفکیک آنها صورت نگرفته است. به همین دلیل، پژوهش حاضر با هدف شناسایی و تهیه نقشه نهشته‌های تبخیری گچ، نمک و سولفات‌ها در بخشی از بیابان‌های جنوب‌شرقی دشت سمنان انجام شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی، محدوده‌ای است به‌وسعت ۸۰۰۰ هکتار واقع در حاشیه شمال‌شرقی کویر بزرگ که از نظر چینه‌شناسی شامل اینهاست: سازند کرج با سنگ‌های آندزیتی و توف، سازند فجن با آهک کنگلومرایی، سازند مارن دوزهیر، سازند قم با رخساره‌هایی شامل آهک

1. Crosta & Moore
2. Goossens & Van Ranst
3. Kavak
4. Brovey Transformation



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مشخص گردید، سپس با مراجعه به منطقه کوشش شد در تمام واحدهای زمین‌شناسی منطقه نمونه‌برداری به عمل آید. طی عملیات صحرایی، درصد پوشش سنگ و سنگریزه، نوع کاربری زمین، واحد سنگ‌شناسی، و تیپ و رخساره منطقه یادداشت شدند. سرانجام ۸۲ نمونه خاک انتخاب شدند، که ۵۲ نمونه برای مدل‌سازی و ۳۰ نمونه آن برای اعتبارسنجی مدل‌ها بود. به‌منظور دستیابی به دقت بیشتر، نمونه‌برداری از خاک با انتخاب ۸ مکان از مرکز هر نقطه به‌فاصله ۳۰ متر و با زاویه ۴۵ درجه در عمق ۰ تا ۱۰ سانتی‌متر انجام گرفت (نائیج نوری، ۱۳۸۰). نمونه‌ها به آزمایشگاه شرکت معدنی املاح ایران منتقل و پس از خشک‌شدن در هوای آزاد از غربال دو

۲-۳- آماده‌سازی و پردازش‌های اولیه تصویر

ابتدا تصویر ماهواره‌ای با استفاده از نقاط کنترل زمینی برداشت شده با GPS، به‌روش نزدیک‌ترین همسایه مورد تصحیحات هندسی قرار گرفت. به‌منظور تشخیص بهتر عوارض، از بهترین تصاویر رنگی کاذب به‌روش فاکتور شاخص مطلوب^۱ (OIF) و روش بسط تصاویر در حالت تعدیل هیستوگرام استفاده شد.

۲-۴- برداشت اطلاعات میدانی

کوشش شد مراجعه‌های میدانی برای تهیه نمونه‌های صحرایی زمانی انجام شوند که با تاریخ ثبت داده‌های ماهواره‌ای یکسان باشند؛ بدین منظور نمونه‌برداری‌های صحرایی در آبان‌ماه سال ۱۳۸۸ انجام شدند. در پژوهش حاضر از روش نمونه‌برداری تصادفی منظم به‌منظور انجام عملیات صحرایی استفاده شد. ابتدا موقعیت تعداد زیادی نقاط نمونه‌برداری روی تصویر

1. Optimum Index Factor

نظارت شده و به کمک نقاط نمونه برداری، اقدام به تهیه نقشه‌های املاح گردید. پس از تهیه نقشه‌ها، ارزیابی صحت طبقه بندی به منظور برآورد صحت و سطح اطمینان نتایج انجام گرفت (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵). سپس به منظور افزایش کیفیت و صحت طبقه بندی یا آماده سازی نتایج برای نزدیک شدن به شکل نهایی، پس پردازش‌های طبقه بندی روی نتایج طبقه بندی اعمال شدند (فاطمی و رضایی، ۱۳۸۵). نمای کلی مراحل انجام شده در پژوهش حاضر در شکل ۲ نشان داده شده است.

با استفاده از روابط آماری ۱ و ۲، مقادیر میانگین قدرمطلق خطا^۱ (MAE)، ریشه میانگین مجذور خطا^۲ (RMSE)، و ضریب همبستگی (R)، و با ۳۰ نمونه شاهد، میزان صحت مدل‌ها محاسبه شد. ارزیابی صحت نتایج طبقه بندی حداکثر احتمال با محاسبه ماتریس خطا صورت می‌گیرد و معمولی‌ترین عوامل برآورد صحت شامل صحت کلی، صحت تولیدکننده، صحت کاربر و ضریب کاپا هستند (Lu et al., 2004).

رابطه (۱)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z_{xi} - Z_{xi}^*|$$

رابطه (۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Z_{xi} - Z_{xi}^*]^2}$$

که در آنها، Z_{xi} : مقادیر واقعی، Z_{xi}^* : مقادیر تخمینی، RMSE: انحراف معیار خطا، MAE: میانگین خطا، و n : تعداد نمونه‌هاست.

میلی متری عبور داده شدند. از نمونه‌های خاک، گل اشباع تهیه و سپس با عصاره گیری از آن، غلظت یون کلر به روش موهر، غلظت کلسیم و منیزیم به روش کمپلکسومتری و غلظت سدیم و پتاسیم به روش فتمومتری (Richards, 1954) و میزان گچ به روش استون (Nelson & Sommers, 1982) اندازه گیری شدند.

۲-۵- پردازش اطلاعات زمینی و ماهواره‌ای

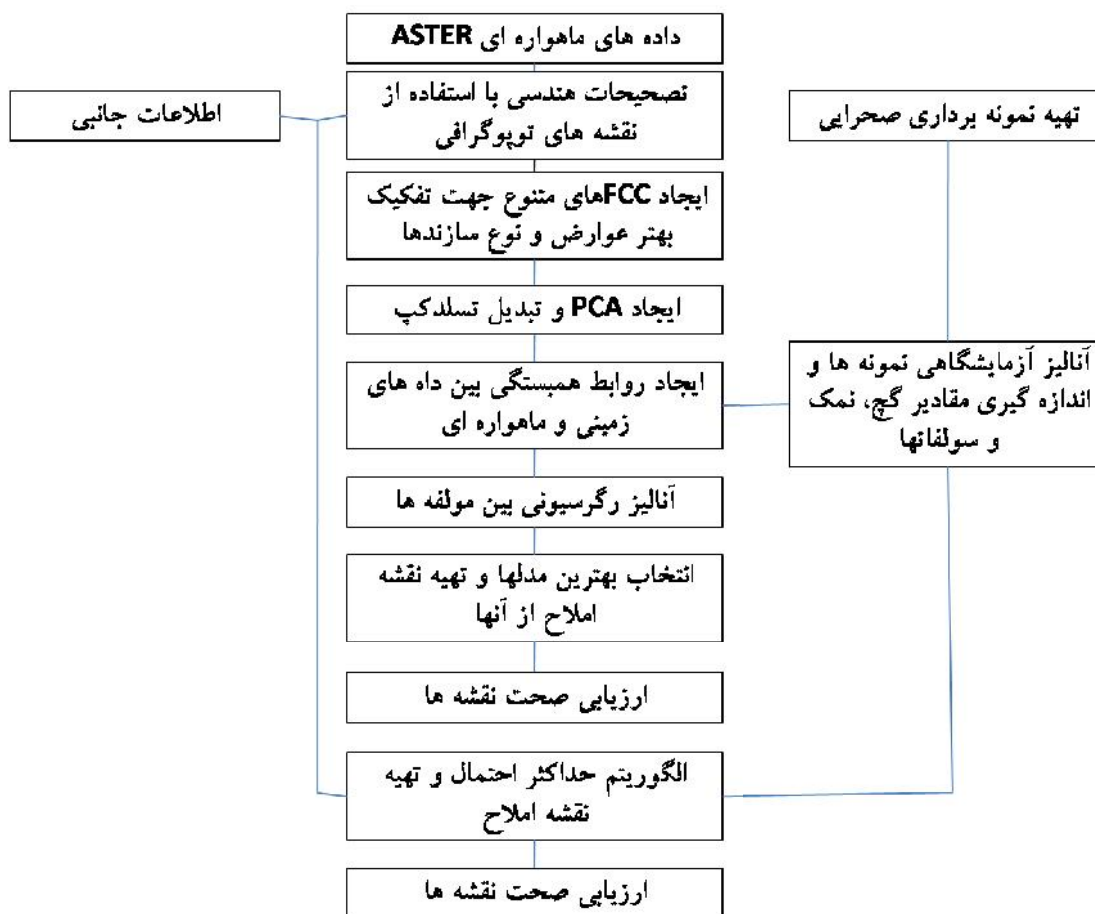
علاوه بر باندهای اصلی تصویر با روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی، تبدیل تسلدکپ و نسبت گیری طیفی، باندهای فرعی نیز ایجاد شدند و میانگین اعداد ۹ پیکسل در هر نقطه به عنوان مقدار عددی داده‌های ماهواره‌ای برای هریک از باندهای اصلی و فرعی متناظر با داده‌های زمینی منظور در نظر گرفته شد.

به منظور آنالیز رگرسیونی بین مؤلفه‌ها، ابتدا ماتریس همبستگی بین تمامی مؤلفه‌های زمینی و ماهواره‌ای برقرار شد. با مشخص شدن نحوه همبستگی بین مقادیر هریک از مؤلفه‌ها با مقادیر ارزش طیفی متناظر با آنها در تمامی باندها، از باندهایی که همبستگی‌شان بالاتر از مؤلفه‌های زمینی بود به منظور اقدام به ایجاد مدل‌های مناسب با استفاده از روش‌های رگرسیونی چندمتغیره استفاده گردید. سپس مدل‌هایی که دارای ضریب همبستگی، ضریب تبیین (R^2) و ضریب تعیین تعدیل شده بالاتری بودند، انتخاب شدند.

برای تهیه نقشه املاح باید روابط رگرسیونی بین آن دسته از داده‌های زمینی و ماهواره‌ای که همبستگی بالاتری دارند برقرار شود. این کار به روش حذف پس‌رو به کمک شش باند (band9, band10, band12, pca9, pca10, pca12) انجام شد و برای هریک از املاح مدل‌های مختلفی ارائه گردید. معیار انتخاب بهترین مدل برای هریک از املاح، مدل دارای همبستگی بالاتر، مقدار F بزرگ‌تر، و معنادار بودن ضرایب هریک از مؤلفه‌های تشکیل دهنده در آن مدل است.

با استفاده از روش‌های آماری طبقه بندی

1. Mean Absolute Error
2. Root Mean Square Error



شکل ۲. روند کلی مراحل تحقیق

۳- نتایج و بحث

تصحیحات هندسی با دقت ۰/۴۵ پیکسل روی تصویر انجام شدند. جدول ۱ میزان ضریب شاخص مطلوبیت را برای تعدادی از FCC های ایجاد شده نشان می دهد، که براساس واریانس و همبستگی بین باندهای مختلف و از نسبت مجموع انحراف معیارهای سه باند $(\sum_{z=1}^3 SD_z)$ بر مجموع قدرمطلق ضرایب همبستگی بین دو باند از همان سه باند $(\sum_{z=1}^3 |CC_z|)$ به دست می آید (علوی پناه، ۱۳۸۵). به علت دارا بودن بیشترین اطلاعات می توان ترکیب سه باندهای را که بالاترین OIF را داشته باشند، برای ایجاد FCC انتخاب کرد (علوی پناه، ۱۳۸۵). در میان FCC های ایجاد شده، FCC612 به دلیل بزرگ تر بودن ضریب شاخص، به عنوان بهترین ترکیب

رنگی شناخته شد.

جدول ۲ باندهای اصلی و فرعی به کاررفته در این تحقیق را نشان می دهد. پیش از ایجاد روابط آماری، نرمال بودن مؤلفه های زمینی با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف (حبیبی، ۱۳۸۶) بررسی شدند، که نتایج آن در جدول ۳ آمده است. تشکیل روابط همبستگی بین داده های زمینی و داده های ماهواره ای طبق جدول ۴ نشان داد که داده های ماهواره ای band9, band10, band12, pca9, pca10, pca12 تقریباً با ضرایب هریک از املاح ارتباط معناداری در سطح متوسط دارند و ضرایب همبستگی برای بقیه باندها خیلی ضعیف است.

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER

جدول ۱. ضریب شاخص مطلوبیت برای FCC‌های گوناگون

| شماره | FCC | $\sum_{j=1}^3 CC_j $ | OIF | شماره | FCC | $\sum_{j=1}^3 SD_i$ | OIF | شماره |
|-------|-------|-----------------------|-------|-------|-------|---------------------|-------|-------|
| ۱ | ۷.۵۰۳ | ۳۴.۵۶ | ۱۳.۸۲ | ۱۰ | ۶.۱۰۴ | ۴۴.۲۵ | ۲.۲۸۳ | ۱۹.۳۸ |
| ۲ | ۹.۲۰۳ | ۴۵.۸۴ | ۱۹.۲۲ | ۱۱ | ۶.۲۰۳ | ۴۷.۳۰ | ۲.۴۷۸ | ۱۹.۰۸ |
| ۳ | ۷.۳۰۲ | ۴۶.۵۶ | ۱۸.۷۲ | ۱۲ | ۵.۳۰۱ | ۴۴.۶۰ | ۲.۴۰۵ | ۱۸.۵۴ |
| ۴ | ۷.۱۰۲ | ۵۳.۳۳ | ۲۲.۶۶ | ۱۳ | ۵.۶۰۲ | ۴۳.۳۹ | ۲.۴۵۸ | ۱۷.۶۵ |
| ۵ | ۸.۳۰۲ | ۴۷.۳۸ | ۱۹.۱۶ | ۱۴ | ۵.۱۰۶ | ۴۲.۰۷ | ۲.۳۶۱ | ۱۷.۸۱ |
| ۶ | ۸.۵۰۱ | ۴۲.۱۵ | ۱۸.۳۹ | ۱۵ | ۵.۸۰۶ | ۳۲.۸۵ | ۲.۸۶۶ | ۱۱.۴۶ |
| ۷ | ۹.۴۰۳ | ۳۶.۰۲ | ۱۵.۶۱ | ۱۶ | ۷.۳۰۶ | ۳۶.۰۲ | ۲.۴۸۶ | ۱۴.۴۸ |
| ۸ | ۹.۵۰۲ | ۴۱.۰۲ | ۱۷.۰۲ | ۱۷ | ۲.۸۰۵ | ۴۳.۳۹ | ۲.۴۵۸ | ۱۷.۶۵ |
| ۹ | ۹.۵۰۳ | ۳۳.۰۴ | ۱۳.۶۵ | ۱۸ | ۲.۱۰۶ | ۵۴.۰۷ | ۲.۳۶۶ | ۲۳.۱۵ |

جدول ۲. باندهای اصلی و فرعی استفاده‌شده در پژوهش حاضر

| ردیف | نحوه تهیه باندها | باندهای اصلی و فرعی |
|------|-------------------------------------|---------------------------|
| 1 | باندهای اصلی | Band1, Band2, ..., Band14 |
| 2 | تجزیه مؤلفه‌های اصلی | PCA1, PCA2, ..., PCA14 |
| 3 | مؤلفه روشنایی حاصل از تبدیل تسلدکپ | Brightness1 |
| 4 | مؤلفه نمناکی حاصل از تبدیل تسلدکپ | Wetness1 |
| 5 | مؤلفه سبزی‌نگی حاصل از تبدیل تسلدکپ | Greenness1 |

جدول ۳. خصوصیات آماری هریک از مؤلفه‌ها برحسب میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم خاک

| | N | Mean | Std. Deviation | Minimum | Maximum | Kolmogorov-Smirnov Z | Sig. Asymp. (2-tailed) |
|--------|----|-------|----------------|---------|---------|----------------------|------------------------|
| CaSo4 | 82 | 32.78 | 27.77 | 7.91 | 158.14 | 5.50 | .000 |
| NaCl | 82 | 32.53 | 27.93 | 4.07 | 143.97 | 4.24 | .004 |
| Na2So4 | 82 | 3.22 | 2.07 | .00 | 26.45 | 5.84 | .002 |
| MgSo4 | 82 | 2.26 | 1.25 | .00 | 17.89 | 5.97 | .000 |
| Ca | 82 | 44.17 | 32.72 | 12.00 | 167.50 | 4.97 | .001 |
| Cl | 82 | 41.23 | 33.10 | 5.64 | 129.76 | 3.18 | .000 |

جدول ۴. ضرایب همبستگی پیرسون متغیرهای مورد بررسی

| Cl | Ca | Mgso ₄ | Na ₂ SO ₄ | NaCl | CaSO ₄ .2H ₂ O | |
|-------|-------|-------------------|---------------------------------|-------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| ۰/۲۸ | ۰/۶۳ | ۰/۴۴ | ۰/۵۸ | ۰/۱۱ | ۱ | CaSO ₄ .2H ₂ O |
| ۰/۹۱ | ۰/۳۴ | ۰/۱۴ | ۰/۱۱ | ۱ | ۰/۴۱ | NaCl |
| ۰ | ۰/۲۴ | ۰/۸۳ | ۱ | ۰/۱۱ | ۰/۵۸ | Na ₂ SO ₄ |
| ۰/۰۷ | ۰/۱۸ | ۱ | ۰/۸۳ | ۰/۱۴ | ۰/۴۴ | Mgso ₄ |
| ۰/۳۲ | ۱ | ۰/۱۸ | ۰/۲۴ | ۰/۳۴ | ۰/۶۳ | Ca |
| ۱ | ۰/۳۲ | ۰/۰۷ | ۰ | ۰/۹۱ | ۰/۲۸ | Cl |
| ۰/۲۱ | -۰/۴۷ | -۰/۴۰ | ۰/۵۳ | ۰/۵۱ | ۰/۴۱ | Band9 |
| ۰/۴۹ | ۰/۴۸ | ۰/۳۷ | ۰/۳۵ | ۰/۴۵ | ۰/۵۲ | Band10 |
| ۰/۲۷ | -۰/۰۷ | -۰/۱۸ | -۰/۲۷ | ۰/۳۶ | ۰/۴۷ | Band12 |
| -۰/۵۱ | -۰/۰۵ | -۰/۳۰ | -۰/۲۲ | -۰/۳۳ | -۰/۲۶ | Pca9 |
| -۰/۰۵ | -۰/۱۲ | -۰/۴۰ | -۰/۵۵ | -۰/۱۵ | -۰/۳۷ | Pca10 |
| -۰/۲۶ | -۰/۰۹ | -۰/۳۱ | -۰/۲۵ | -۰/۲۲ | -۰/۲۳ | Pca11 |

جدول ۵. ضرایب تشخیص همبستگی مدل‌های گچ

| Std. Error of the Estimate | Adjusted R Square | R Square | R | Model |
|----------------------------|-------------------|----------|-------|-------|
| ۳۲/۹۲۳۳۷ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲۹ | ۰/۳۵۹ | ۱ |
| ۳۲/۵۷۱۶۴ | ۰/۳۴ | ۰/۱۲۸ | ۰/۳۵۸ | ۲ |
| ۳۲/۳۱۵۲۵ | ۰/۴۹ | ۰/۱۲۴ | ۰/۳۵۱ | ۳ |
| ۳۲/۳۱۷۶۸ | ۰/۴۹ | ۰/۱۰۵ | ۰/۳۲۳ | ۴ |
| ۳۲/۴۶۹۴۵ | ۰/۴۰ | ۰/۰۷۷ | ۰/۲۷۸ | ۵ |
| ۳۲/۷۱۴۶۶ | ۰/۲۵ | ۰/۰۴۴ | ۰/۲۱۰ | ۶ |

برای سولفات سدیم Na₂SO₄ شش مدل ایجاد شد. نتایج حاصل از ایجاد روابط رگرسیونی بین مؤلفه Na₂SO₄ و باندها در جدول‌های ۶ و ۷ و نتایج مربوط به آزمون معنادار بودن بهترین مدل در جدول ۸ آمده است. برای سولفات منیزیم (MgSO₄) هم شش مدل ایجاد شد و نتایج حاصل از ایجاد روابط رگرسیونی بین مؤلفه MgSO₄ و باندها در جدول‌های ۹ و ۱۰ و نتایج مربوط به آزمون معنادار بودن بهترین مدل در جدول ۱۱ آمده است.

نتایج حاصل از بررسی روابط رگرسیونی مربوط به هر یک از املاح نشان دادند که برای گچ و هالیت به ترتیب ۶ و ۵ مدل تشکیل شد ولی این مدل‌ها در نگاه اول همبستگی کمی داشتند (جدول ۵). نتایج تجزیه واریانس و روابط رگرسیونی بین آنها نشان می‌دهند که هیچ‌یک از این مدل‌ها در سطح حداقل ۵ درصد نیز معنادار نیستند، از این رو نمی‌توان برای گچ و هالیت مدلی را ایجاد کرد.

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER

جدول ۶. ضرایب تشخیص همبستگی مدل‌های سولفات سدیم

| Model | R | R Square | Adjusted R Square | Std. Error of the Estimate |
|-------|-------|----------|-------------------|----------------------------|
| ۱ | ۰/۴۸۳ | ۰/۲۳۳ | ۰/۱۳۱ | ۵/۰۴۴۵۵ |
| ۲ | ۰/۴۸۳ | ۰/۲۳۳ | ۰/۱۵۰ | ۴/۹۹۱۱۳ |
| ۳ | ۰/۴۸۱ | ۰/۲۳۱ | ۰/۱۶۶ | ۴/۹۴۳۱۵ |
| ۴ | ۰/۴۸۱ | ۰/۲۳۱ | ۰/۱۸۳ | ۴/۸۹۱۶۸ |
| ۵ | ۰/۴۶۵ | ۰/۲۱۶ | ۰/۱۸۴ | ۴/۸۸۹۲۶ |
| ۶ | ۰/۴۴۵ | ۰/۱۹۸ | ۰/۱۸۲ | ۴/۸۹۴۴۶ |

جدول ۷. تجزیه واریانس مدل‌های سولفات سدیم

| Model | Sum of Squares | Df | Mean Square | F | Sig. |
|------------|----------------|----|-------------|--------|-------------------|
| Regression | 348.717 | 6 | 58.119 | 2.284 | .052 ^a |
| Residual | 1145.135 | 45 | 25.447 | | |
| Total | 1493.852 | 51 | | | |
| Regression | 347.930 | 5 | 69.586 | 2.793 | .028 ^b |
| Residual | 1145.922 | 46 | 24.911 | | |
| Total | 1493.852 | 51 | | | |
| Regression | 345.418 | 4 | 86.355 | 3.534 | .013 ^c |
| Residual | 1148.434 | 47 | 24.435 | | |
| Total | 1493.852 | 51 | | | |
| Regression | 345.285 | 3 | 115.095 | 4.810 | .005 ^d |
| Residual | 1148.568 | 48 | 23.928 | | |
| Total | 1493.852 | 51 | | | |
| Regression | 322.514 | 2 | 161.257 | 6.746 | .003 ^e |
| Residual | 1171.338 | 49 | 23.905 | | |
| Total | 1493.852 | 51 | | | |
| Regression | 296.068 | 1 | 296.068 | 12.359 | .001 ^f |
| Residual | 1197.785 | 50 | 23.956 | | |
| Total | 1493.852 | 51 | | | |

جدول ۸. ضرایب رابطه رگرسیونی و آزمون معناداربودن مدل‌های سولفات سدیم

| Sig. | T | Standardized Coefficients | | Unstandardized Coefficients | | Model |
|------|--------|---------------------------|--|-----------------------------|--------|------------|
| | | Beta | | Std. Error | B | |
| .425 | .805 | | | 34.069 | 27.426 | (Constant) |
| .861 | -.176 | -.025 | | .113 | -.020 | band9 |
| .778 | .283 | .164 | | .104 | .029 | band10 |
| .775 | -.288 | -.167 | | .087 | -.025 | band12 |
| .394 | -.862 | -.121 | | .020 | -.018 | pca9 |
| .006 | -2.894 | -.414 | | .035 | -.101 | pca10 |
| .365 | -.915 | -.140 | | .039 | -.036 | pca12 |
| .431 | .795 | | | 33.201 | 26.391 | (Constant) |
| .752 | .318 | .180 | | .102 | .032 | band10 |
| .746 | -.326 | -.184 | | .085 | -.028 | band12 |
| .323 | -.998 | -.129 | | .019 | -.019 | pca9 |
| .005 | -2.923 | -.412 | | .034 | -.101 | pca10 |
| .319 | -1.007 | -.147 | | .037 | -.038 | pca12 |
| .367 | .911 | | | 31.848 | 29.013 | (Constant) |
| .941 | -.074 | -.010 | | .020 | -.001 | band12 |
| .315 | -1.016 | -.130 | | .019 | -.019 | pca9 |
| .005 | -2.937 | -.409 | | .034 | -.100 | pca10 |
| .339 | -.966 | -.130 | | .034 | -.033 | pca12 |
| .000 | 4.004 | | | 6.671 | 26.709 | (Constant) |
| .311 | -1.024 | -.130 | | .018 | -.019 | pca9 |
| .003 | -3.122 | -.412 | | .032 | -.101 | pca10 |
| .334 | -.976 | -.129 | | .034 | -.033 | pca12 |
| .000 | 4.069 | | | 5.758 | 23.428 | (Constant) |
| .298 | -1.052 | -.133 | | .018 | -.019 | pca9 |
| .001 | -3.543 | -.448 | | .031 | -.110 | pca10 |
| .000 | 4.117 | | | 4.928 | 20.287 | (Constant) |
| .001 | -3.516 | -.445 | | .031 | -.109 | pca10 |

جدول ۹. ضرایب تشخیص همبستگی مدل‌های سولفات منیزیم

| Std. Error of the Estimate | Adjusted R Square | R Square | R | Model |
|----------------------------|-------------------|----------|-------------------|-------|
| 2.76714 | .127 | .230 | .480 ^a | 1 |
| 2.73691 | .146 | .230 | .480 ^b | 2 |
| 2.70854 | .164 | .229 | .479 ^c | 3 |
| 2.70242 | .168 | .217 | .465 ^d | 4 |
| 2.69725 | .171 | .203 | .451 ^e | 5 |
| 2.74243 | .143 | .160 | .400 ^f | 6 |

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER

جدول ۱۰. تجزیه واریانس مدل‌های سولفات منیزیم

| Sig. | F | Mean Square | Df | Sum of Squares | Model | |
|-------------------|-------|-------------|----|----------------|------------|---|
| .056 ^a | 2.240 | 17.151 | 6 | 102.903 | Regression | |
| | | 7.657 | 45 | 344.567 | Residual | 1 |
| | | | 51 | 447.470 | Total | |
| .030 ^b | 2.747 | 20.580 | 5 | 102.899 | Regression | |
| | | 7.491 | 46 | 344.571 | Residual | 2 |
| | | | 51 | 447.470 | Total | |
| .014 ^c | 3.499 | 25.667 | 4 | 102.668 | Regression | |
| | | 7.336 | 47 | 344.802 | Residual | 3 |
| | | | 51 | 447.470 | Total | |
| .008 ^d | 4.424 | 32.308 | 3 | 96.923 | Regression | |
| | | 7.303 | 48 | 350.547 | Residual | 4 |
| | | | 51 | 447.470 | Total | |
| .004 ^e | 6.253 | 45.493 | 2 | 90.987 | Regression | |
| | | 7.275 | 49 | 356.483 | Residual | 5 |
| | | | 51 | 447.470 | Total | |
| .003 ^f | 9.497 | 71.424 | 1 | 71.424 | Regression | |
| | | 7.521 | 50 | 376.046 | Residual | 6 |
| | | | 51 | 447.470 | Total | |

جدول ۱۱. ضرایب رابطه رگرسیونی و آزمون معنادار بودن مدل‌های سولفات منیزیم

| Sig. | T | Standardized Coefficients | | Unstandardized Coefficients | | Model |
|------|--------|---------------------------|--|-----------------------------|--------|------------|
| | | Beta | | Std. Error | B | |
| .100 | 1.678 | | | 18.688 | 31.356 | (Constant) |
| .868 | .167 | .024 | | .062 | .010 | band9 |
| .804 | -.250 | -.145 | | .057 | -.014 | band10 |
| .981 | .024 | .014 | | .048 | .001 | band12 |
| .389 | -.869 | -.122 | | .011 | -.010 | pca9 |
| .043 | -2.084 | -.299 | | .019 | -.040 | pca10 |
| .149 | -1.470 | -.225 | | .021 | -.031 | pca12 |

جدول ۱۱. ضرایب رابطه رگرسیونی و آزمون معناداربودن مدل‌های سولفات منیزیم

| Sig. | T | Standardized Coefficients | | Unstandardized Coefficients | | Model |
|------|--------|---------------------------|--|-----------------------------|--------|------------|
| | | Beta | | Std. Error | B | |
| .096 | 1.697 | | | 18.466 | 31.336 | (Constant) |
| .861 | .176 | .025 | | .061 | .011 | band9 |
| .339 | -.966 | -.131 | | .013 | -.013 | band10 |
| .382 | -.882 | -.122 | | .011 | -.010 | pca9 |
| .041 | -2.107 | -.299 | | .019 | -.040 | pca10 |
| .109 | -1.635 | -.226 | | .019 | -.032 | pca12 |
| .083 | 1.770 | | | 18.015 | 31.880 | (Constant) |
| .337 | -.970 | -.130 | | .013 | -.013 | band10 |
| .381 | -.885 | -.114 | | .010 | -.009 | pca9 |
| .036 | -2.160 | -.302 | | .019 | -.040 | pca10 |
| .105 | -1.653 | -.221 | | .019 | -.031 | pca12 |
| .106 | 1.647 | | | 17.714 | 29.177 | (Constant) |
| .372 | -.902 | -.121 | | .013 | -.012 | band10 |
| .036 | -2.161 | -.301 | | .019 | -.040 | pca10 |
| .100 | -1.679 | -.224 | | .019 | -.031 | pca12 |
| .000 | 4.070 | | | 3.314 | 13.489 | (Constant) |
| .014 | -2.544 | -.338 | | .018 | -.045 | pca10 |
| .107 | -1.640 | -.218 | | .019 | -.031 | pca12 |
| .000 | 3.757 | | | 2.761 | 10.374 | (Constant) |
| .003 | -3.082 | -.400 | | .017 | -.053 | pca10 |

۳۰ نمونه شاهد، عملیات اعتبارسنجی مدل‌ها آغاز شد. مقادیر MAE و RMSE و ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و تخمینی سولفات سدیم و منیزیم محاسبه شدند (جدول ۱۲ و شکل‌های ۳ و ۴). با استفاده از مدل‌های ارائه شده، نقشه‌های سولفات سدیم و منیزیم منطقه ترسیم شدند (شکل ۵). به دلیل مقادیر کم سولفات‌ها در نمونه‌های آزمایشگاهی، نقشه منطقه به دو کلاس بدون سولفات و سولفات کم طبقه‌بندی شد. نتایج میانگین مربعات خطا و ارتباط ضرایب همبستگی بین مقادیر واقعی و تخمینی سولفات‌ها نشان می‌دهند که دقت این نقشه‌ها بسیار پایین است.

براساس جدول‌های ۶، ۷ و ۸، بهترین مدل برای تعیین سولفات سدیم در منطقه مطالعاتی برابر است با: رابطه (۳)

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 = (20/287) - 0/109 \text{ pca10}$$

میزان سولفات سدیم برحسب

میلی‌اکی‌والان برلیتر و pca10: باند فرعی ۱۰

براساس جدول‌های ۹، ۱۰ و ۱۱ بهترین مدل برای تعیین سولفات منیزیم در منطقه مطالعاتی برابر است با:

$$\text{MgSO}_4 = (10.374) - 0.053 \text{ pca10} \quad (۴)$$

میزان سولفات منیزیم برحسب

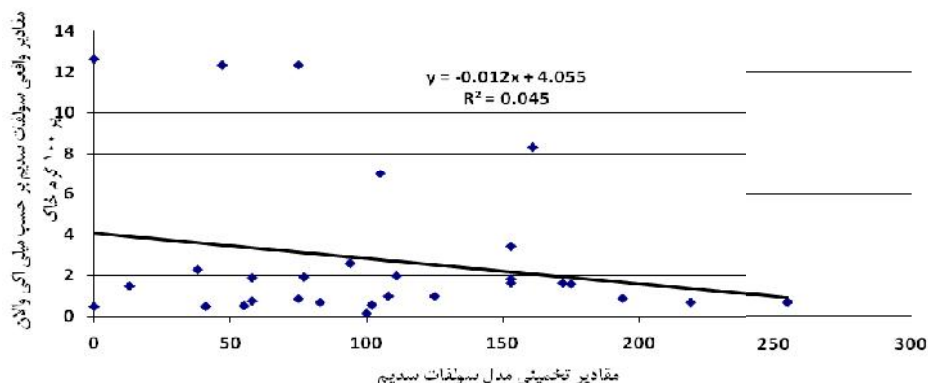
میلی‌اکی‌والان برلیتر و pca10: باند فرعی ۱۰

پس از تعیین مدل، با استفاده از نتایج آزمایشگاهی

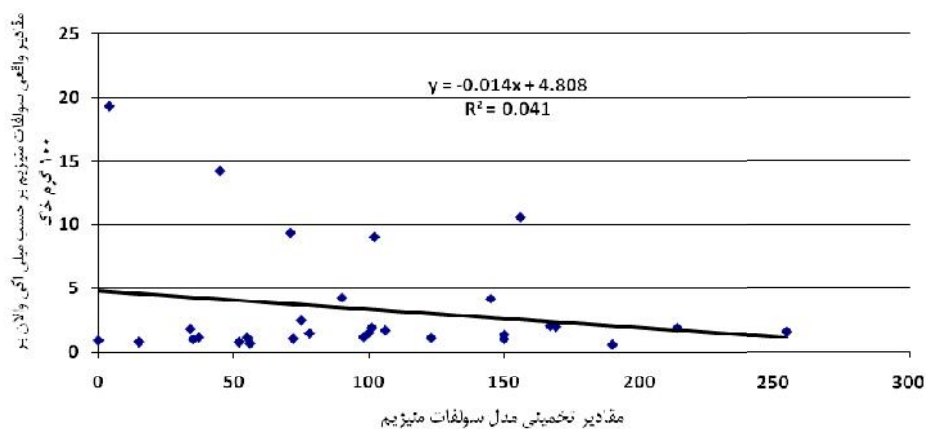
تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER

جدول ۱۲. مقادیر آماری مربوط به اعتبارسنجی بهترین مدل‌ها با استفاده از ۳۰ نمونه شاهد

| پارامتر | MAE | RMS E | R |
|-----------------------------|-------|-------|------|
| مدل برآوردشده سولفات سدیم | 94.78 | 113.9 | 2.03 |
| مدل برآوردشده سولفات منیزیم | 98.56 | 117.5 | 2.13 |



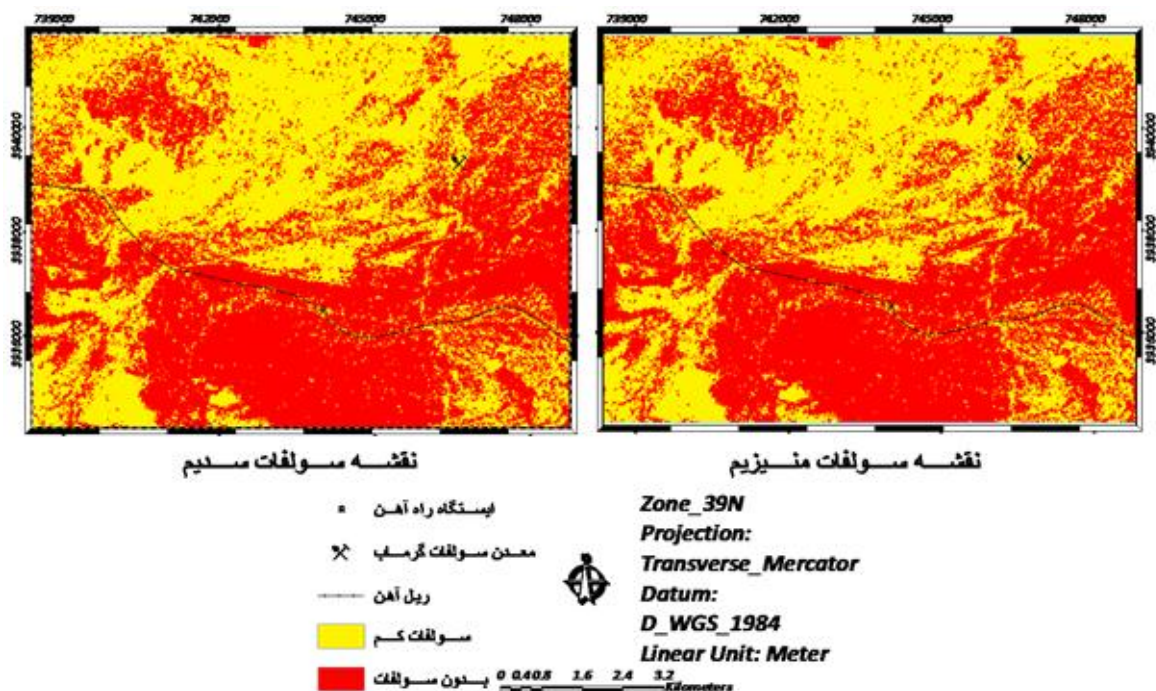
شکل ۳. نمودار همبستگی مقادیر واقعی و تخمینی سولفات سدیم



شکل ۴. نمودار همبستگی مقادیر واقعی و تخمینی سولفات منیزیم

همان‌طور که در شکل ۵ دیده می‌شود، دو نقشه سولفات (منیزیم و سدیم) تفاوت‌های جزئی باهم دارند، چراکه در تمام نقاط نمونه‌برداری شده در سطح منطقه هر جا اثری از سولفات سدیم یافت شد، مقدار ناچیزی اختلاف سولفات منیزیم نیز وجود داشت. در نهایت برای تهیه نقشه از این املاح در محدوده مطالعه‌شده، از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده گردید.

نتایج به‌دست‌آمده و همچنین نقشه تهیه‌شده از روش مدل‌سازی برای سولفات‌ها (شکل ۵) نشان از دقت ناکافی این روش در تهیه نقشه‌ها دارند. طبق این نقشه نیمی از منطقه دارای سولفات ناچیز است، که در واقعیت فقط نقاط محدودی از نمونه‌ها دارای سولفات بودند به‌همین دلیل نقشه‌های تهیه‌شده نتوانستند نتیجه خوبی به‌دست دهند.



شکل ۵. نقشه سولفات‌ها به روش مدل‌سازی

و کل) و صحت کلی طبقه‌بندی با میزان ضریب کاپای مربوط به هریک از کلاس‌های هریک از املاح و ضریب کاپای کل محاسبه گردید (جداول ۱۳ و ۱۴). به‌طور کلی آگاهی از صحت نتایج طبقه‌بندی، میزان احتمال درستی اطلاعات را بیان می‌کند (Wright et al., 1998).

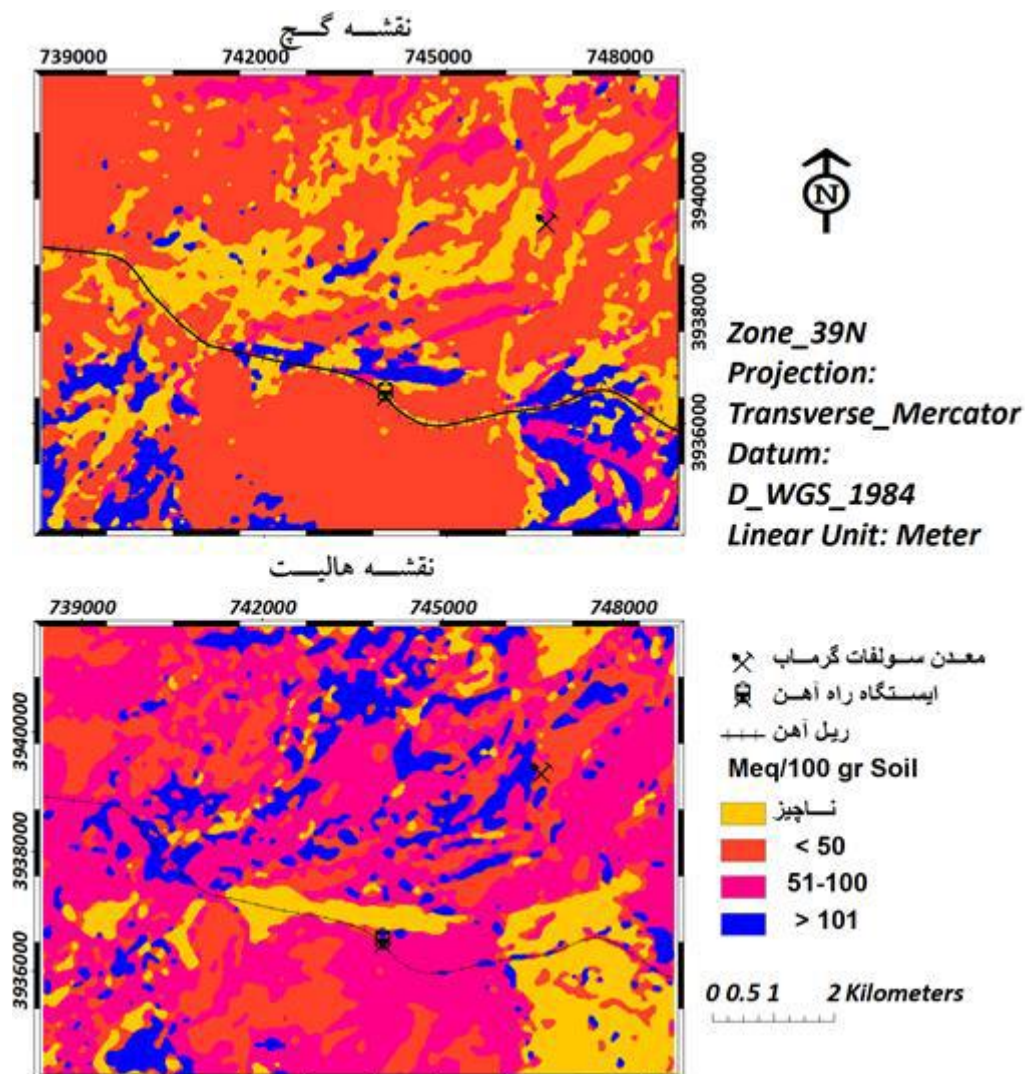
با توجه به اینکه پراکنندگی یکنواختی از سولفات در منطقه وجود ندارد و فقط تعداد محدودی از نقاط نمونه‌برداری دارای سولفات هستند، نمی‌توان با این نتایج نقشه سولفات منطقه را براساس روش حداکثر احتمال تهیه کرد. بنابراین همان‌طور که شکل ۷ نشان می‌دهد، از محدوده معدن که در چند نقطه به‌صورت روباز است و نیز آن تعداد از نقاط نمونه‌برداری که حاوی سولفات‌اند، به‌عنوان نقاط تعلیمی استفاده شد.

الگوریتم مورد استفاده در پژوهش حاضر، روش حداکثر احتمال بود، که هنوز هم یکی از رایج‌ترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر است (گودرزی مهر و همکاران، ۱۳۹۱)، که در آن از قاعده تصمیم‌بیز (BDR) برای محاسبه احتمال استفاده می‌شود (Oommen, 2008). مزیت اصلی الگوریتم حداکثر احتمال این است که تغییرات موجود در هر کلاس را با استفاده از ماتریس کوواریانس برای طبقه‌بندی پیکسل مورد نظر لحاظ می‌کند (Murai, 1996). براساس ارزش‌های مختلف، ۵۲ نقطه نمونه‌برداری به‌عنوان نمونه‌های تعلیمی این روش در منطقه مورد استفاده قرار گرفت و تصویر طبقه‌بندی‌شده‌ای از املاح تیخی‌ری تهیه گردید (شکل ۶). سپس با اعمال فیلتر ۳*۳ نتایج طبقه‌بندی پس‌پردازش شدند.

براساس ماتریس خطا و با استفاده از ۳۲ نقطه تعلیمی شاهد به‌روش پیکسل‌به‌پیکسل، صحت هریک از کلاس‌های املاح مختلف (صحت کاربر، تولیدکننده

1. Bayesian Decision Rule

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER



شکل ۶. نقشه هالیت و گج منطقه به‌روش حداکثر احتمال

جدول ۱۳. ارزیابی صحت نقشه گج با ماتریس خطا به‌روش حداکثر احتمال

| نام کلاس | مجموع کلاس | مجموع طبقه‌بندی | تعداد صحیح | صحت تولیدکننده (درصد) | صحت کاربر (درصد) |
|--------------------|---------------|-----------------|--------------------|-----------------------|------------------------|
| کلاس گج ناچیز | 5 | 4 | 2 | 40 | 50 |
| کلاس کمتر از ۵۰ | 13 | 13 | 10 | 92.76 | 92.76 |
| کلاس بین ۵۱ تا ۱۰۰ | 7 | 9 | 6 | 71.85 | 67.66 |
| کلاس بیشتر از ۱۰۱ | 5 | 4 | 4 | 80 | 100 |
| کل | 30 | 30 | 22 | | |
| | | | | صحت کل = ۷۳/۳۳٪ | ضریب کاپای کل = ۰/۶۱۷۸ |
| نام کلاس | کلاس گج ناچیز | کلاس کمتر از ۵۰ | کلاس بین ۵۱ تا ۱۰۰ | کلاس بیشتر از ۱۰۱ | |
| Kappa | 0.4 | 0.5928 | 0.5652 | 1 | |

جدول ۱۴. صحت نقشه‌های ترماتریس خطا به روش حداکثر احتمال (مقدار برحسب میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم)

| صحت کاربر (درصد) | صحت تولیدکننده (درصد) | تعداد صحیح | مجموع طبقه‌بندی | مجموع کلاس | نام کلاس |
|---------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------|-------------------|
| 75 | 50 | 3 | 4 | 6 | کلاس نمک ناچیز |
| 75 | 60 | 6 | 8 | 10 | کلاس کمتر از ۵۰ |
| 54.61 | 80 | 8 | 13 | 10 | کلاس بین ۵۱-۱۰۰ |
| 60 | 75 | 3 | 5 | 4 | کلاس بیشتر از ۱۰۱ |
| | | 20 | 30 | 30 | کل |

صحت کل = ۶۶/۶۷٪ ضریب کاپای کل = ۵۳/۵۶٪

| کلاس بیشتر از ۱۰۱ | کلاس بین ۵۱-۱۰۰ | کلاس کمتر از ۵۰ | کلاس نمک ناچیز | نام کلاس |
|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|----------|
| 0.5385 | 0.4231 | 0.625 | 0.6875 | Kappa |

مرئی و مادون قرمز نزدیک باشد. مارتینز مانتویا^۲ و دیگران (۲۰۱۰) زمین‌های گچی دو منطقه جداگانه با طبقه‌بندی نظارت‌شده را تفکیک کردند. آنها بیان کردند که سهم باندهای مادون قرمز متوسط و حرارتی در جداکردن زمین‌های گچی در منطقه سدال مکزیک بیشتر بوده ولی باند مادون قرمز حرارتی در طبقه‌بندی زمین‌های گچی منطقه بوجارالوز اسپانیا تأثیر چندانی نداشته است. بریانت^۳ (۱۹۹۶) عقیده دارد که باند حرارتی (TM6, ETM⁺6) برای تفکیک خاک‌های گچی مفید نیست. نائیج نوری (۱۳۸۰) نقشه زمین‌های شور و گچی منطقه دشت کاشان را با الگوریتم حداکثر احتمال با صحت کلی به ترتیب ۷۷/۲۷ و ۵۸/۱۶ درصد تهیه کرد. فتاحی و همکاران (۱۳۸۶) بالاترین دقت به دست آمده میان سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین، و جعبه‌ای برای تهیه نقشه کاربری زمین‌های دشت قم را مربوط به روش حداکثر احتمال و با دقت کلی ۷۱/۹۵ درصد و ضریب کاپای ۰/۶۷ گزارش کردند.

برای اینکه روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال به خوبی عمل کند، از برخی واحدهای زمین‌شناسی به عنوان نقاط تعلیمی استفاده شد و در نهایت نقشه سولفات منطقه تهیه گردید (شکل ۸) و مورد ارزیابی صحت قرار گرفت (جدول ۱۵). براساس جداول ۱۳، ۱۴ و ۱۵، با استفاده از روش حداکثر احتمال، نقشه گچ، هالیت و سولفات منطقه مورد مطالعه با صحت مناسبی طبقه‌بندی شد.

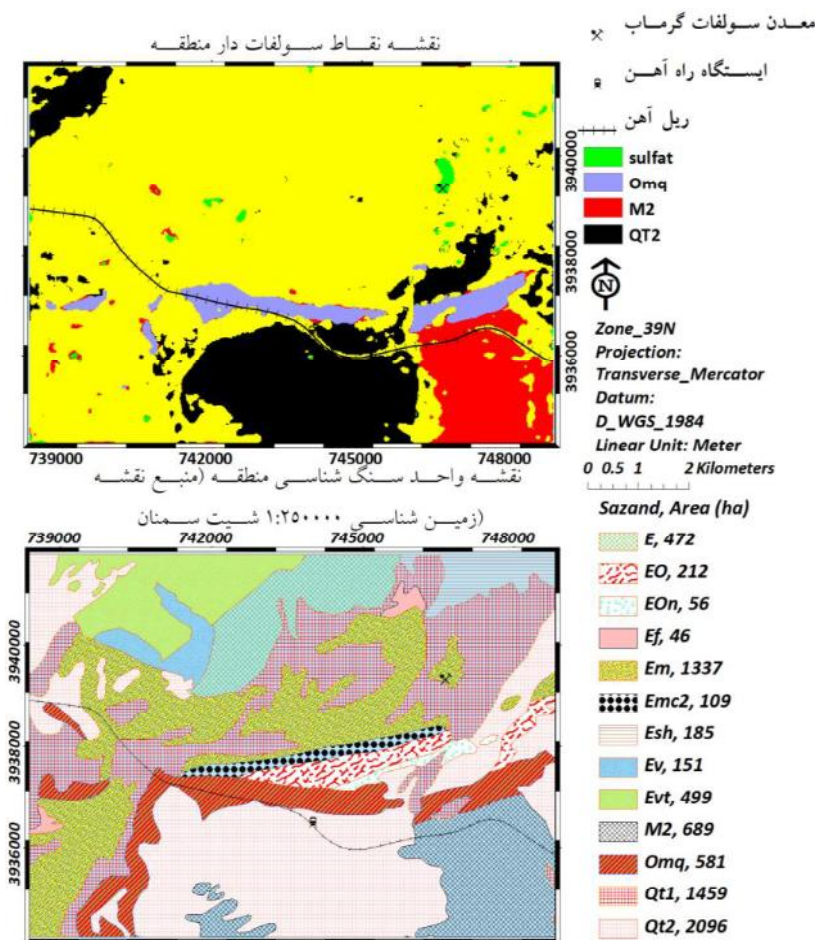
نتایج تحقیق نشان از اهمیت داشتن نقش باندهای حرارتی در تعیین املاح گچی و دیگر تبخیری‌ها دارند. نقش این باندها در تفکیک املاح گچی و دیگر تبخیری‌ها قبلاً نیز در یافته‌های دیگران به اثبات رسیده است. همان‌طور که گوسنس و ون‌رانست (۱۹۹۸) تأکید کردند، باند حرارتی TM6 نقش مهمی در جداکردن خاک‌های گچی از خاک‌های شور دارد. همچنین طبق یافته‌های کراولی^۱ (۱۹۹۳) در تشخیص مواد معدنی تبخیری پلایاها مانند انیدریت، گلوبریت و تناردیت (از کانسارهای اصلی سولفات سدیم)، اطلاعات داده‌های سنجش از دور حرارتی می‌تواند مکملی برای داده‌های

1. Crowley
2. Martinez-Montoya
3. Bryant

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER



شکل ۷. تصویر معدن سولفات گرماب
منبع: نویسندگان



شکل ۸. نقشه سولفات منطقه به روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال (بالا) و واحدهای سنگ‌شناسی (پایین)

جدول ۱۵. صحت نقشه سولفات-ماتریس خطا به روش حداکثر احتمال (مقدار برحسب میلی‌اکی‌والان بر ۱۰۰ گرم)

| نام کلاس | مجموع کلاس | مجموع طبقه‌بندی | تعداد صحیح | صحت تولیدکننده (درصد) | صحت کاربر (درصد) |
|---|------------|-----------------|------------|-----------------------|------------------|
| M2 | 9 | 4 | 4 | 44.44 | 100 |
| Qt2 | 8 | 14 | 7 | 5.87 | 50 |
| Qm2 | 8 | 7 | 5 | 5.62 | 80 |
| سولفات | 5 | 5 | 4 | 80 | 80 |
| کل | 30 | 30 | 20 | | |
| صحت کل = ۶۶/۶۷٪ ضریب کاپای کل = ۰/۵۵۲۹ | | | | | |
| نام کلاس | M2 | Qt2 | Qm2 | سولفات | |
| Kappa | 1 | 3182.0 | 6104.0 | 76.0 | |

۴- نتیجه‌گیری

زمینی هم‌خوانی بالایی دارد. از آنجا که در استخراج این املاح با استفاده از داده‌های سنجش از دور، به تصویر هم‌زمان با تاریخ نمونه‌برداری نیاز است و از طرفی تهیه تصویر محدوده مطالعاتی مربوط به زمان نمونه‌برداری امکان‌پذیر نبود، مدل مناسبی برای استخراج این املاح به دست نیامد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از تصاویر ماهواره‌ای که به‌روزند و تفاوت زمانی کمتری با زمان نمونه‌برداری مانند ETM و IRS دارند، استفاده شود تا مدل مناسبی برای تفکیک نهشته‌های مناطق بیابانی به دست آید. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های طبقه‌بندی به‌روش شبکه عصبی و SVM استفاده کرد و از طریق مقایسه بین آنها بهترین روش را برای طبقه‌بندی این نهشته‌ها برگزید.

۵- سپاس‌گزاری

از شرکت معدنی املاح ایران، به‌نماینده‌ی آقایان مهندس علی‌اکبر ساداتی و مهندس سیدطاهر احمدی نژاد و همکار ارجمندشان جناب آقای مهندس محسن مرادی که زمینه لازم را برای انجام این پژوهش فراهم آوردند، کمال تشکر و سپاس‌گزاری به‌عمل می‌آید.

در پژوهش حاضر از داده‌های چندطیفی ASTER و نقشه واقعیت زمینی بر مبنای نتایج نمونه‌های گرفته‌شده از منطقه، برای شناسایی نهشته‌های تبخیری استفاده شد. نتایج تحقیق نشان دادند که باندهای ۹، ۱۰ و ۱۲ و همچنین PCA9، PCA10 و PCA12، که از محدوده طیف حرارتی‌اند، در تفکیک این املاح اهمیت دارند. به‌منظور استخراج این املاح از الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال استفاده شد. این عمل به‌وسیله باندهای ۹، ۱۰ و ۱۲ و نقاط تعلیمی صورت گرفت و نقشه‌های گچ، هالیت و سولفات منطقه با صحت کل به ترتیب ۷۳/۳۳، ۶۶/۶۷، ۶۶/۶۷ درصد و با ضریب کاپای به ترتیب ۰/۶۱، ۰/۵۳ و ۰/۵۵ تهیه شدند. با نگاهی به وضعیت زمین‌شناسی منطقه درمی‌یابیم که در نواحی‌ای که سازندهای گچی یافت می‌شوند، کلاس‌های طبقه‌بندی‌شده با روش حداکثر احتمال، بیشترین صحت را دارند. طبق شکل ۵، کلاس گچ با میزان بیشتر از ۱۰۱ میلی‌اکی‌والان درست منطبق است با سازند گچی m2 که از کنگلومرا و مارن‌های گچ‌دار منطقه است، و در همین منطقه هالیت کمترین مقدار را دارد. بر اساس شکل ۷ نیز سولفات منطقه فقط در محدوده معدنی سولفات گرماب و در اندک نقاط دیگری دیده می‌شود، که با نقشه واقعیت

تهیه نقشه نهشته‌های مناطق بیابانی با استفاده از داده‌های چندطیفی ASTER

۶- منابع

- قدسی، م.ر.، شهرکی ن.، ۱۳۹۰، شناسایی محدوده‌های امیدبخش پلایاها و املاح تبخیری با کمک تکنیک‌های سنجنش از دور در استان سیستان و بلوچستان، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال چهارم، شماره اول، صص. ۴۵-۵۰.
- گودرزی‌مهر، س.، عباسپور، ر.ع.، احدنژاد، و.، خاکباز، ب.، ۱۳۹۱، مقایسه روش ماشین‌بردار پشتیبان با روش‌های حداکثر احتمال و شبکه عصبی برای تفکیک واحدهای سنگ‌شناسی، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، سال ششم، شماره بیست‌ودوم، صص. ۹۲-۷۵.
- متین‌فر، ح.، علوی‌پناه، س.ک.، سرمیدیان، ف.، ۱۳۸۵، مطالعه تفکیک‌پذیری خاک‌های مناطق خشک با استفاده از داده‌های سنجنده ASTER (مطالعه موردی استان اصفهان)، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، شماره ۵، صص. ۸۰-۶۷.
- محمدی، ا.، کاظمی، غ.، ۱۳۹۱، عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی و شوری آب در حوضه آبریز شوقان، فصلنامه جغرافیای طبیعی لار، سال پنجم، شماره ۱۵، صص. ۸۵-۹۶.
- نایب‌نوری، ر.، ۱۳۸۰، بررسی امکان تفکیک اراضی شور و گچی منطقه دشت کاشان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TM، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی-بیابان‌زدایی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، گروه بیابان‌زدایی، ۱۰۹ صفحه.
- Abrams, M. & Hook, S., 2001, **ASTER Users Handbook (Version 2)**, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, CA, USA.
- Bedini, E., 2011, **Mineral Mapping in the Kap Simpson Complex**, Central East Greenland, Using HyMap and ASTER remote sensing data. *Advances in Space Research* Vol. 47, Issue 1, PP. 60-73.
- حبیبی، آ.، ۱۳۸۶، آموزش کاربردی نرم‌افزار SPSS، انتشارات نشر پارس مدیر.
- خدادادی، م.، عسکری، م.ص.، سرمیدیان، ف.، حیدری، ا.، رفاهی، ح.ع.، نوروزی، ع.ا.، متین‌فر، ح.ر.، ۱۳۸۷، تهیه نقشه خاک‌های تحت تأثیر شوری و قلیائیت با استفاده از داده‌های سنجنده ETM⁺ در بخشی از دشت قزوین، پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، شماره ۸۰، صص. ۹۰-۷۷.
- خسروشاهی، م.، محمودی، ف.، کاشکی، م.ت.، ۱۳۹۰، محدوده‌های بیابانی ایران با تأکید بر نقش عوامل زمین‌شناختی مؤثر در تشکیل آنها، فصلنامه علوم زمین، سال بیستم، شماره ۸۰، صص. ۲۲-۱۵.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، شیت‌های سمنان.
- سازمان نقشه‌برداری کشور، نقشه‌های توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ شیت‌های 6761-3NE, 6761-3NW, 6761-3SE, 6761-3SW.
- علوی‌پناه، س.ک.، ۱۳۸۵، کاربرد سنجنش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۴۸۷ صفحه.
- فاطمی، ب.، رضایی، ی.، ۱۳۸۵، مبانی سنجنش از دور، انتشارات آزاده، چاپ اول، مروی.
- فتاحی، م.م.، نوروزی، ع.ا.، آبکار، ا.ا.، خلخالی، س.ع.، ۱۳۸۶، مقایسه روش‌های طبقه‌بندی و تهیه نقشه استفاده از اراضی (Landuse) مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۶، صص. ۱۳۵-۱۲۲.
- فیض‌نیا، س.، ۱۳۷۸، بررسی عوامل زمین‌شناسی در بیابانی شدن غرب حوضه مرکزی (قم-کاشان)، مؤسسه

- Bryant, R.G., 1996, **Validated Linear Mixture Modeling of Landsat TM Data for Mapping Evaporate Minerals on a Playa Surface: Methods and applications**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 17, Issue 2, PP. 315-330.
- Crosta, A. & Moore, JMCM, 1989, **Enhancement of Landsat Thematic Mapper Imagery for Residual Soil Mapping in SW Minas Gerais State**, Brazil, A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain, In Proceedings of the 7th ERIM Thematic Conference: Remote Sensing for Exploration Geology, PP. 1173-1187.
- Crowley, J.K., 1993, **Mapping Playa Evaporate Minerals with AVIRIS Data: A first report from death valley, California**, Remote Sensing of Environment, Vol. 44, Issues 2-3, PP. 337-356.
- Farina, P., Catani, F., Colombo, D., Fumagalli, A., Kukavacic, M., Marks, F. & Moretti, S., 2005, **Remote Sensing: A tool for landslide investigations at a basin scale**, Geophysical Research Abstracts, Vol. 7, PP. 10157-10168.
- Gerg Vaughan, R., Hook, S.J., Calvin, M. & Taranik, V., 2005, **Surface Mineral Mapping at Steamboat Springs, Nevada, USA**, with multi-wavelength thermal infrared images, Remote Sensing of Environment, 99 (1-2), PP. 140-158.
- Gomez, C., Delacourt, C., Allemand, P., Ledru, P. & Wackerle, R., 2005, **Using ASTER Remote Sensing Data Set for Geological Mapping, in Namibia**, Physics and Chemistry of the Earth 30, PP. 97-108.
- Goossens, R. & Van Ranst, E., 1998, **The Use of Remote Sensing to Map Gypsiferous Soils in the I. Smailia Province-Egypt**, Geoderma 87, PP. 47-56.
- Hewson, R.D., Cudahy, T.J., Mizuhiko, S., Ueda, K. & Mauger, A.J., 2005, **Seamless Geological Map Generation Using ASTER in the Broken Hill-Curnamona province of Australia**, Remote Sensing of Environment, 99 (1-2), PP. 159-172.
- Kavak, K.S., 2005, **Recognition of Gypsum Geohorizons in the Sivas Basin (Turkey) Using ASTER and Landsat ETM⁺ Images**, International Journal of Remote Sensing, Vol. 26, No. 20, PP. 4583-4596.
- Kodikara, G.R.L., Woldai, T., van Ruitenbeek, F.J.A., Kuria, Z., van der Meer, F. & Shepherd, K.D., van Hummel, G.J., 2011, **Hyperspectral Remote Sensing of Evaporate Minerals and Associated Sediments in Lake Magadi Area, Kenya**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 14, PP. 22-32.
- Lu, D., Mausel, P., Brondi'zio, E. & Moran, E., 2004, **Change Detection Techniques**, INT. J. Remote Sensing 20, Vol. 25, No. 12, PP. 2365-2407.
- Martinez-Montoya, J.F., Herrero, J. & Casterad, M.A., 2010, **Mapping Categories of Gypseous Lands in Mexico and Spain Using Landsat Imagery**, Journal of Arid Environments, 74, PP. 978-986
- Murai, S., 1996, **Remote Sensing Note**, Japan Association of Remote Sensing.
- Nelson, W. & Sommers, L., 1982, **Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter**, PP. 535-581. In: Page, AL, Keeny, DR, (eds). Methods of Soil Analysis, Part 2, Chemical and microbiological properties, Second edition, America Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, WI.
- Oommen, T., 2008, **An Objective Analysis of Support Vector Machine based Classification for Remote Sensing**, Mathematical Geosciences, 40, PP. 409-424.

- Richards, L.A., 1954, **Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils**, Agric, Handbook 60, USDA, Washington DC.
- Rowan, L.C. & Mars, J.C., 2003, **Lithologic Mapping in the Mountain Pass, California Area Using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) Data**, Remote Sensing of Environment, 84, PP. 350–366.
- Van der Meer, F.D., van der Werff, H.M.D., van Ruitenbeek, F.J.A., Hecker, C.A., Bakker, W.H., Noomen, M.F., van der Meijde, M. & Carranza E.J.M., 2012, **Multi and Hyperspectral Geologic Remote Sensing: A review**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 14, PP. 112–128.
- Wright, G.G. & Morrice, J.G., 1997, **Landsat TM Spectral Information to Enhance the Landcover of Scotland**, 1998 Dataest, Int, J. Remote Sensing, Vol. 18, No. 18, PP. 3834
- Yamaguchi, Y., Kahle, A.B., Tsu, H., Kawakami, T. & Pniel, M., 1998, **Overview of Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER)**, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 36 (4), PP. 1062–1071.
- Yarbrough, L.D., Easson, G. & Kuszmaul, J.S., 2005, **Using At-Sensor Radiance and Reflectance Tasseled Cap Transforms Applied to Change Detection for the ASTER Sensor**, Presented at IEEE Third International Workshop on the Analysis of Multi-temporal Remote Sensing Images, Beau Rivage, Biloxi, Mississippi, USA, 5p.
- Zhang, X., Pazner, M. & Duke, N., 2007, **Lithologic and Mineral Information Extraction for Gold Exploration Using ASTER Data in the South Chocolate Mountains (California)**, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 62, PP. 271–282.
- Zhang, X. & Pazner, M., 2007, **Comparison of Lithologic Mapping with ASTER, Hyperion, and ETM Data in the Southeastern Chocolate Mountains, USA**, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol. 73, No. 5, PP. 555–561.