



نقشه برداری و آشکارسازی خاک‌های آلوده معدن گل‌گهر با استفاده از تصاویر لندست در بازه زمانی ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۴

محبوبه طیبی^{۱*}، مهدی نادری^۲ و جهانگرد محمدی^۳

۱، ۲ و ۳- دانشجوی دکتری، دانشیار و استاد گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

*Email: mahtayebi@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش از تصاویر سری زمانی لندست بین سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۴ برای نشان دادن نحوه پراکندگی آلودگی حاصل از معدن سنگ آهن گل‌گهر در منطقه کفهمور استان کرمان استفاده شد. برای این منظور از داده‌های سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای لندست (MSS, TM, ETM+ and OLI) در سال‌های ۱۳۵۲، ۱۳۷۱، ۱۳۸۴، ۱۳۸۸، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ استفاده گردید. برای تصحیحات جوی از روش بازتاب نسبی متوسط داخلی و برای تصحیح خطاهای هندسی از روش زمین‌مرج استفاده گردید. برای هر ۶ تصویر ترکیب رنگی PC1، PC2 و PC3 ایجاد شد و نواحی آموزشی از محدوده معدن براساس PC1، PC2 و PC3 انتخاب گردید. برای شناسایی خاک‌های آلوده از نسبت الگوریتم MF/SAM استفاده گردید و در نهایت برای صحت‌سنجی نتایج به دست آمده از مشاهدات میدانی و نمونه‌برداری و تعیین غلظت آهن استفاده گردید. نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت‌های معدن‌کاوی منجر به افزایش آلودگی در طول زمان در منطقه شده است.

واژه‌های کلیدی: آشکارسازی، آلودگی خاک، داده‌های لندست، معدن سنگ آهن گل‌گهر.

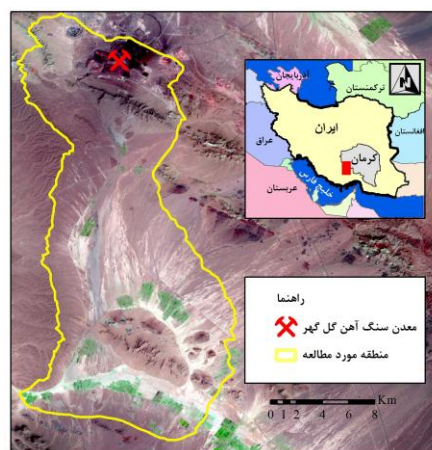
مقدمه

در دهه‌های اخیر توسعه صنعت و فعالیت‌هایی چون معدن‌کاوی، ذوب یون‌های فلزی و گازهای صنعتی منجر به افزایش سطوح فلزات در خاک گردیده است. اگر چه این عناصر برای موجودات زنده مورد نیاز می‌باشند اما تخلیه و رسوب آن‌ها به عنوان آلاینده‌های صنعتی می‌توانند اثر منفی بر رشد گیاه، و سلامتی انسان و حیوان داشته باشند (انجانیولو و همکاران، ۲۰۱۱). با توجه به این‌که روش‌های مرسوم براساس نمونه‌برداری نقطه‌ای و آنالیزهای شیمیایی زمان‌بر و پرهزینه می‌باشند (اسچوارتز و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین سنجش از دور می‌تواند به عنوان شیوه‌ای نوین برای تشخیص و نظارت خاک‌های آلوده مورد استفاده قرار گیرد. از مزایای سنجش از دور می‌توان امکان تهیه اطلاعات در مقیاس‌های مختلف، پوشش وسیع و ایجاد اطلاعات چند زمانه، مقرون به صرفه بودن و پتانسیل بالا در تعیین ویژگی‌های خاک را نام برد (ریچارد و جیا، ۲۰۰۶). بسیاری از پژوهشگران، تصاویر ماهواره‌ای را برای بررسی تغییرات زمانی و شناسایی پدیده‌های مختلف به دلیل قابلیت چند زمانه بودن، کارآمد و مفید می‌دانند (تاونسند و همکاران، ۲۰۰۹) و از این قابلیت برای بررسی تغییرات پوشش زمین بهره برده‌اند به عنوان مثال هاشمی‌تنگستانی و همکاران (۱۳۹۲) که از الگوریتم حداکثر احتمال و تصاویر لندست برای آشکارسازی تغییرات دریاچه بختگان در بازه زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶ استفاده نمودند. احمد زاده و همکاران (۲۰۱۵) از تصاویر لندست TM و الگوریتم حداکثر احتمال برای بررسی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۱۹۸۶ و ۲۰۱۰ در اردبیل استفاده کردند. اما در زمینه آلودگی خاک محققین از تصاویر ماهواره‌ای تنها براساس شناسایی خاک‌های آلوده به کمک داده‌های اسپکترورادیومتری بهره برده‌اند از جمله، مارتی‌سرایدهر و همکاران (۲۰۰۹) که از تصاویر لندست TM و داده‌های طیف‌سنجی و روش SMLR برای تخمین فلزات خاک استفاده کردند. بای و همکاران (۲۰۱۶) برای مطالعه شوری و قلیایی خاک از طیف‌سنجی و تصاویر لندست OLI و روش SMLR استفاده نمودند. به طوری که کمتر از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات و نحوه گسترش آلودگی در سال‌های مختلف استفاده شده است.

با توجه به اینکه تاکنون مطالعات مدونی در خصوص بررسی تغییرات و نحوه گسترش آلودگی با استفاده از تصاویر لندست در طی سال‌های مختلف در ناحیه معدنی سنگ آهن گل‌گهر صورت نگرفته است، این پژوهش با هدف نقشه‌برداری و آشکارسازی خاک‌های آلوده در ناحیه معدنی سنگ آهن گل‌گهر در طی سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۴ صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه با مساحت ۲۹۵۳۳ هکتار در ۶۰ کیلومتری جنوب غرب سیرجان در استان کرمان بین طول‌های جغرافیایی ۵۵°۱۵' تا ۵۵°۲۵' و عرض‌های جغرافیایی ۲۸°۵۱' تا ۲۹°۱۱' قرار گرفته است. به طوری که ناحیه معدنی سنگ آهن گل‌گهر در شمال آن واقع شده است (شکل ۱). این منطقه جز مناطق با آب و هوای خشک و بیابانی است که میانگین بارندگی سالانه آن ۱۷۲ میلی‌متر و حداقل و حداکثر درجه حرارت آن به ترتیب 12°C - و 42°C می‌باشد.



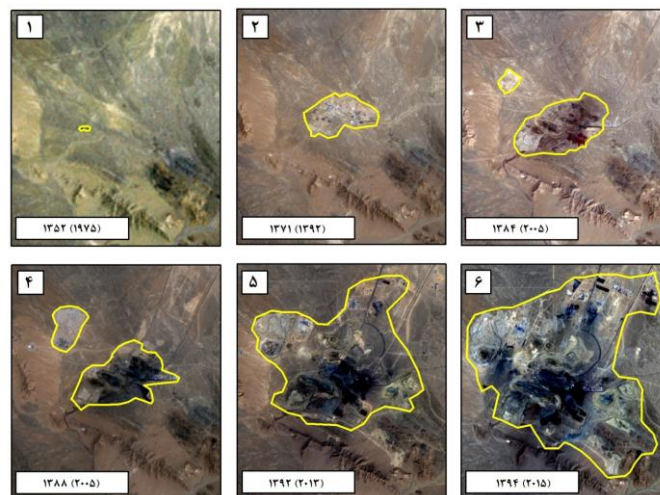
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در کشور و استان کرمان.

در این پژوهش از تصاویر سری زمانی لندست بین سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۴ برای نشان دادن نحوه پراکندگی آلودگی در منطقه استفاده شد. برای این منظور از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲ (MSS) مربوط به تاریخ ۲۸ می ۱۹۷۵ (۱۳۵۲)، لندست ۴ (TM) مربوط به تاریخ ۵ ژوئن ۱۹۹۲ (۱۳۷۱)، لندست ۷ (ETM) مربوط به تاریخ ۲۱ مارس ۲۰۰۵ (۱۳۸۴)، لندست ۵ (TM) مربوط به تاریخ ۱۱ می ۲۰۰۹ (۱۳۸۸)، لندست ۸ (OLI-TIRS) مربوط به تاریخ ۲۷ سپتامبر ۲۰۱۳ (۱۳۹۲) و لندست ۸ (OLI-TIRS) مربوط به تاریخ ۱۰ آوریل ۲۰۱۵ (۱۳۹۴) استفاده گردید. برای تصحیحات جوی از روش بازتاب نسبی متوسط داخلی (Internal Average Relative Reflectance, IARR) و برای تصحیح خطاهای هندسی از روش استفاده از نقاط زمینی استفاده گردید. در روش بازتاب نسبی متوسط داخلی، تصویر به کمک یک طیف میانگین تصویر کالیبره می‌شود. برای هر ۶ تصویر ترکیب رنگی PC1، PC2 و PC3 ایجاد شد و نواحی آموزشی از محدوده معدن براساس PC1، PC2 و PC3 انتخاب گردید. براساس میانگین پیکسل‌های نواحی آموزشی، میانگین طیف انتخاب شد و به عنوان طیف مرجع مورد استفاده قرار گرفت. سپس برای تهیه نقشه و شناسایی خاک‌های آلوده در مناطق مجاور و تحت تاثیر معدن آهن، بر روی هر ۶ تصویر لندست ۸، الگوریتم‌های نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) و پالایش تطبیقی (MF) انجام شد. در روش SAM زاویه بین طیف بازتابی مرجع (میانگین طیف نواحی آموزشی) و طیف بازتابیده از سطح پیکسل‌ها به عنوان معیار مشابهت در نظر گرفته می‌شود (کروز و همکاران، ۱۹۹۳). به طوری که در خروجی حاصل از روش SAM، پیکسل روشنتر معادل زاویه بزرگتر و نشان از اختلاف بیشتر طیف مورد مطالعه با طیف مرجع و پیکسل تیره‌تر معادل زاویه کوچکتر و نماد مشابهت بیشتر طیف پیکسل‌ها با نواحی آموزشی می‌باشد (ENVI 4.4, User Guid). روش MF یک تبدیل ریاضی از طیف تصویر است که برای تعیین نشان‌های طیفی موادی که به طور نسبی بخش کوچکی از زمینه طیف تصویر را می‌سازد استفاده می‌شود (ENVI 4.4, User Guid). در این

روش تصویری از فضایی n بعدی طیف بدست می‌آید که همه دامنه فراوانی طیف هدف را نشان می‌دهد در حالی که تغییرات زمینه را پنهان کرده است. به طوری که در این روش پاسخ طیفی هدف را از میان زمینه ناشناخته آشکار ساخته و فراوانی نسبی نقاط تعریف شده (نواحی آموزشی) را در تصویر خاکستری نشان می‌دهد (چن و رید، ۱۹۸۷). به منظور بالا بردن تفاوت طیفی بین الگوریتم‌های MF و SAM و از بین بردن خطا در هر الگوریتم از نسبت الگوریتم‌های MF و SAM (MF/SAM) استفاده گردید و در نهایت برای صحت‌سنجی نتایج به دست آمده از مشاهدات میدانی و نمونه‌برداری انجام شده در منطقه استفاده گردید. به طوری که ۲۵ نمونه خاک از عمق صفر تا ۱۰ سانتی‌متری از نقاط آلوده مشخص شده با استفاده از روش MF/SAM در منطقه و ۱۰۰ نمونه خاک از سایر نقاط برداشته شد. به منظور تعیین غلظت آهن، ابتدا نمونه‌های خاک هوا خشک و از الک ۲ میلی‌متری عبور داده شدند و پس از هضم نمونه‌های خاک با اسید نیتریک ۴ نرمال، غلظت آهن به روش اسپوزیتو و همکاران (۱۹۸۲) با استفاده از دستگاه جذب اتمی تعیین شد.

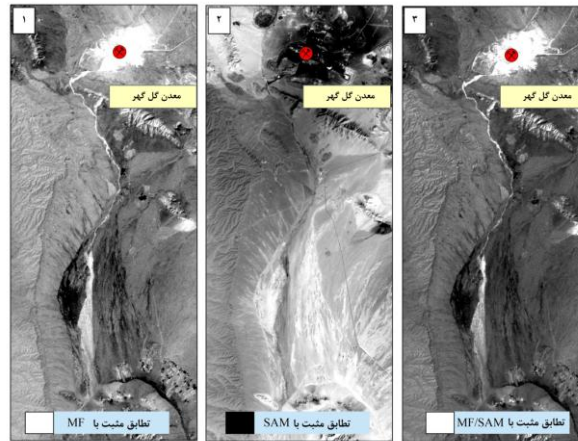
نتایج و بحث

شکل (۲) نحوه گسترش منطقه معدنکاوای سنگ آهن گل‌گهر را در سال‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در سال ۱۳۵۲ هیچ گونه اقدامات جدی صورت نگرفته و تنها دو تونل حفر شده از نیاکان در منطقه وجود دارد. با توجه به اینکه از سال ۱۳۶۷ معدن گل‌گهر به طور جدی کار خود را آغاز کرده است بنابراین از این سال به بعد منطقه معدنکاوای گسترش زیادی داشته است.



شکل ۲- نحوه گسترش معدن سنگ آهن گل‌گهر در طی سال‌های (۱) ۱۳۵۲، (۲) ۱۳۷۱، (۳) ۱۳۸۴، (۴) ۱۳۸۸، (۵) ۱۳۹۲ و (۶) ۱۳۹۴.

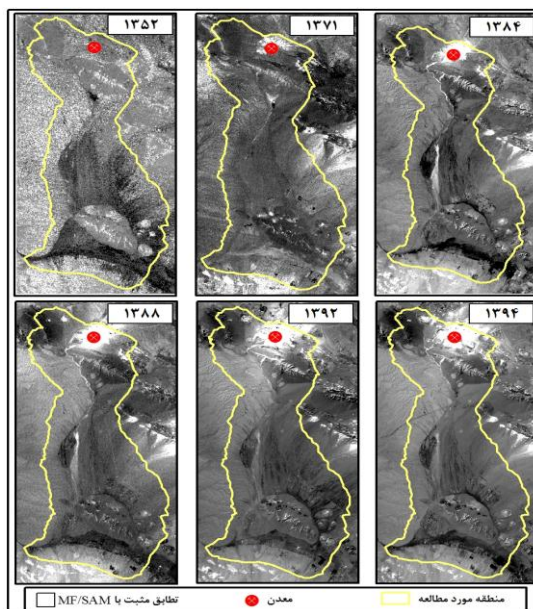
شکل (۳) نتایج الگوریتم‌های نقشه بردار زاویه طیفی (SAM)، پالایش تطبیقی (MF) و نسبت آن‌ها (MF/SAM) برای تصویر لندست ۷ مربوط به سال ۱۳۸۴ را نشان می‌دهد. در الگوریتم MF نقاط سفید رنگ نشان دهنده مقادیر بالاتر و تطابق بیشتر با نواحی آموزشی است (شکل ۳-۱). در حالی که در الگوریتم SAM نقاط سیاه رنگ نشان دهنده مقادیر پایین‌تر و تطابق بیشتر با نواحی آموزشی است (شکل ۳-۲) و برای نسبت آن‌ها (MF/SAM) نقاط سفید رنگ نشان دهنده تطابق مثبت (شکل ۳-۳) با نقاط آلوده است. تقسیم مقادیر یک پیکسل آلوده با مقادیر بالای MF بر مقادیر پایین SAM، مقادیر بالایی را حاصل می‌شود. بنابراین اگر الگوریتم MF مقادیر بالایی برای نقاط نادرست تخمین زده و الگوریتم SAM به صورت صحیح این نقاط را فاقد آلودگی با ارزش بالا تعیین کرده باشد. بنابراین تقسیم این مقادیر بالا برهم، مقادیر پایینی را می‌دهد (ENVI 4.4, User Guid).



شکل ۳- الگوریتم‌های پالایش تطبیقی (MF) (۱)، نقشه بردار زاویه طیفی (SAM) (۲) و نسبت آن‌ها (MF/SAM) (۳) برای سال ۱۳۸۴

شکل (۴) خروجی حاصل از الگوریتم نسبت MF/SAM برای هر ۶ تصویر در سال‌های مختلف را نشان می‌دهد. در تصویر لندست ۲ (MSS) مربوط به سال ۱۳۵۲ نقاط آموزشی از دو واحد کوچک کانسار آهن انتخاب گردید. نتایج نشان داد در این زمان هیچ گونه گرد و غبار، مواد زائد و آلودگی، محیط اطراف معدن را تحت تاثیر قرار نداده است و در منطقه خاک‌های آلوده انتقال نیافته است. این تصویر فاقد وضوح بالا و دارای نتایج دره‌می است که می‌توان علت آن را پایین بودن قدرت تفکیک مکانی (۷۹ متر) تصویر لندست MSS و همچنین کم بودن تعداد پیکسل‌های انتخاب شده از نواحی آموزشی دانست. نقشه خروجی از لندست ۴ (TM) مربوط به سال ۱۳۷۱ یعنی ۳ سال پس از شروع معدن‌کاوی، توسعه محدوده معدن و انتقال و پراکندگی آلودگی‌ها به اطراف را نشان می‌دهد. میزان آلودگی بین سال‌های ۱۳۵۲ و ۱۳۷۱ تنها ۰/۷۹ درصد افزایش یافته است. نتایج خروجی حاصل از الگوریتم نسبت MF/SAM مربوط به سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ توسعه بیشتر معدن و افزایش میزان آلودگی و زباله‌های معدنی در خاک‌های اطراف و در مسیر رودخانه را نشان می‌دهد. این میزان آلودگی در سال‌های ۱۳۸۴ و ۱۳۸۸ به ترتیب، ۲۷/۱۴ و ۲۷/۷۱ درصد نسبت به سال ۱۳۷۱ افزایش داشته است. نتایج تصاویر لندست ۸ مربوط به سال‌های ۱۳۹۲ و ۱۳۹۴ نیز تجمع آلودگی‌ها را در مسیر رودخانه به خوبی نشان می‌دهد. به طوریکه میزان آلودگی در سال ۲۰۱۳، ۱/۴۹ درصد نسبت به سال ۲۰۰۹ و در سال ۲۰۱۵، ۱/۲۷ درصد نسبت به سال ۲۰۱۳ افزایش داشته است. اما همانطور که در شکل مشاهده می‌شود روند افزایش آلودگی به علت مدیریت مواد زائد کاهش یافته است و بسیاری از نواحی توسط معدن سنگ آهن گل گهر شناسایی و آلودگی‌ها در مسیر رودخانه توسط بولدوزر لایروبی و پاکسازی شده است. بنابراین بیشترین توسعه معدن بین سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۸۴ روی داده است.

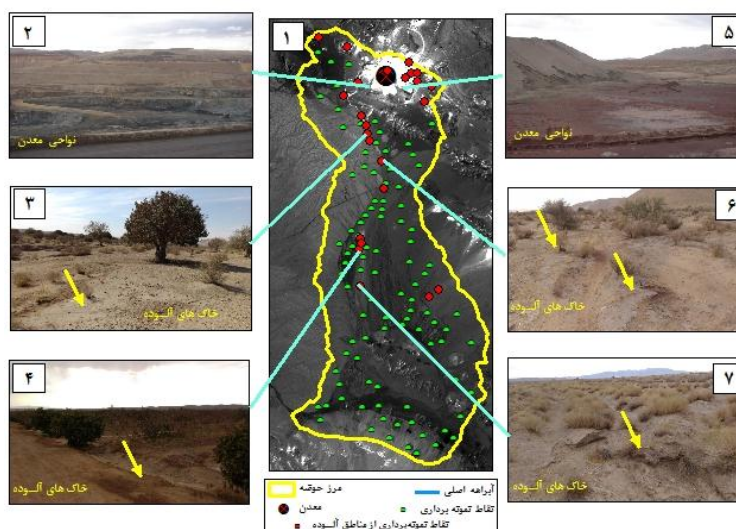
برای صحت سنجی نتایج به دست آمده مشاهدات میدانی و نمونه‌برداری در تاریخ ۲۰ و ۲۱ فروردین سال ۱۳۹۴ در منطقه صورت گرفت. نتایج مشاهدات میدانی (شکل ۵) نشان داد خاک‌ها و رسوبات آلوده در بستر و کناره رودخانه و در محدوده دشت تجمع یافته است. همچنین نتایج نمونه‌برداری نشان داد که بیشترین غلظت آهن در محدوده معدن و در مسیر آبراهه اصلی و در انتهای آن وجود دارد (جدول ۱). به طوری که میانگین غلظت آهن در خاک‌های نقاط آلوده مشخص شده با استفاده از روش MF/SAM (نمونه ۲۵) برابر با ۸۹۷۱۵/۶۷ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های سایر نقاط (۱۰۰ نمونه) برابر با ۹۲۶۶/۲۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم است. به طور کلی هرچند الگوریتم MF/SAM قادر به تعیین کمی غلظت عناصر سنگین نیست ولی این نتایج حاصل از داده‌های سری زمانی لندست می‌تواند ابزار مفیدی برای مطالعه خاک‌ها و رسوبات آلوده و نحوه توزیع‌اشان و همچنین روند آلوده شدن خاک‌ها در چند دهه اخیر باشد. هرچند در سال‌های اخیر پیشرفت‌های مهمی در زمینه مدیریت مواد زائد و زباله‌های معدنی و همچنین فعالیت‌های پاکسازی معدن صورت گرفته است اما نتایج این مطالعه نشان داد که فعالیت‌های معدن‌کاوی منجر به افزایش آلودگی در طول زمان در منطقه شده است. بنابراین داده‌های سری زمانی لندست می‌تواند برای شناسایی نواحی آلوده و کاهش اثرات زیست محیطی و فعالیت‌های پاکسازی مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۴- خروجی حاصل از الگوریتم نسبت MF/SAM مربوط به سال‌های ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۴

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت آهن در خاک‌های نقاط آلوده مشخص شده با استفاده از روش MF/SAM و در خاک‌های سایر نقاط

(mg/kg)					
نمونه	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف استاندارد	ضریب تغییرات
نمونه ۲۵	۳۲۱۷۵	۲۷۱۳۷۵	۸۹۷۱۵/۶۷	۷۰۲۳۱/۳۴	۷۸/۲۸
نمونه ۱۰۰	۴۴۳۶/۲۵	۱۳۵۵۰	۹۲۶۶/۲۱	۲۶۶۹/۴۷	۲۸/۸۰



شکل ۵- خروجی حاصل از الگوریتم نسبت MF/SAM برای تصویر لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۴ و نقاط نمونه برداری (۱)، مشاهدات میدانی از معدن رو باز سنگ آهن گل گهر (۲ و ۵) و مشاهدات خاک‌ها و رسوبات آلوده در منطقه (۳، ۴، ۶ و ۷).

منابع

هاشمی تنگستانی، م.، بیرانوند، س. و طیبی، م.ح. ۱۳۹۲. آشکارسازی تغییرات دریاچه بختگان در بازه زمانی ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۶. محیط‌شناسی، سال سی و نهم، صفحه‌های ۱۸۹-۱۹۹.



- Ahmadzadeh A., Motamedvaziri B. and Moeini A. 2015. Monitoring and Forecasting the land use Change using HEC-HMS model and Remote Sensing Techniques GIS (Case Study: Ardabil 1984-2024). *Biological Forum*, 7:63-68.
- Anjaneyulu E., Ramgopal M., Narasimha G. and Balaji M. 2011. Effect of Pig Iron Slag articles on Soil Physico-Chemical, Biological and Enzyme Activities. *Iranica Journal of Energy and Environment*, 2: 161-165.
- Bai L., Wang C., Zang S., Zhang Y., Hao Q. and Wu, Y. 2016. Remote Sensing of Soil Alkalinity and Salinity in the Wuyu'er-Shuangyang River Basin, Northeast China. *Remote Sensing*, 8: 1-16.
- Chen J.Y. and Reed I.S. 1987. A detection algorithm for optical targets in clutter: *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, AES-23, 1.
- Kruse F.A. and Lefkoff, A.B. 1993. Knowledge-based geologic mapping with imaging spectrometers: *Remote Sensing Reviews*, Special Issue on NASA Innovative Research Program (IRP) results, 8: 3 - 28.
- Maruthi Sridhar B.B., Vincent R.K., Witter J.D. and Spongberg A.J. 2009. Mapping the total phosphorus concentration of surface soils using LANDSAT TM data. *Science of the Total Environment*, 47: 2894-2899.
- Richards J.A. and Jia X. 2006. *Remote sensing digital image analysis*. Springer-Verlag, Berlin.
- Schwartz G. Eshel G. and Ben-Dor E. 2011. Reflectance spectroscopy as a tool for monitoring contaminated soils. In: s. Pascucci (Ed.), *Soil Contamination, InTechnology*, pp. 67-90.
- Sposito G.L., Lund J. and Chang A.C. 1982. Trace metal chemistry in arid-zone field soils amended with sewage sludge: I. Fractionation of Ni, Cu, Zn, Cd, and Pb in solid phases. *Soil Science Society of America Journal*, 46:260-265.
- Townsend P., Helmers D., Kingdon C., McNeil B., de Beurs K. and Eshleman, K. 2009. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the Central Appalachians detected using a 1976-2006 Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 113: 62-72.

Monitoring and Mapping contaminated soils of Gol-Gohar iron mine using Landsat data sets from 1975 to 2015

M. Tayebi^{1,*}, M. Naderi², J. Mohammadi³

1, 2, 3- PhD student, Associate Professor, and Professor, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Shahrekord University.

*Email: mahtayebi@yahoo.com

Abstract

This study explores the use of Landsat time series (1975–2015) for monitoring and mapping possible contaminated soils and sediments in the proximity of the Gol-Gohar iron mine, Kafemoor basin, South-West Kerman, Iran. The monitoring and mapping analysis was performed using Landsat data sets (MSS, TM, ETM+ and OLI), at different time periods (years 1975, 1992, 2005, 2009, 2013 and 2015). The satellite images were calibrated using Internal Average Relative Reflectance (IARR) method and training areas were selected and used based on the PC1, PC2, and PC3 color composite. The Matched filtering (MF)/Spectral Angle Mapper (SAM) ratio was implemented for mapping and discriminating contaminated soils by the iron mining. Field observations, soil sampling, chemical analysis of Fe concentration were used to validate the MF/SAM ratio mapping results. The mapping result extracted from the Landsat time series data sets showed that with further developing of mining area contaminants of mine were transported along the river and contaminated soil and sediments of the basin.

Keywords: Contaminated soil, Gol-Gohar iron mine, Landsat data sets, Monitoring