

رصد تغییرات تخریب اراضی منطقه اردستان استان اصفهان در سه دهه گذشته با استفاده از فناوری سنجش از دور

نفیسه یغمایان مهابادی^{*}، مهدی نادری خوراسگانی و جواد گیوی^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۲/۲۱)

چکیده

فناوری سنجش از دور به عنوان یک ابزار مناسب به منظور رصد زمانی برخی از پدیده‌های طبیعی به‌شمار می‌رود. در منطقه اردستان عوارض مختص مناطق خشک و بیابانی، از جمله پهنه‌های شنی (تپه‌های شنی و شنزارها)، دق‌های رسی، سنگفرش بیابانی و پوسته‌های نمکی مشاهده می‌شوند. این عوارض بیانگر تخریب اراضی منطقه در طی سالیان گذشته می‌باشند. بنابراین، به منظور بررسی روند تخریب اراضی منطقه در طی سه دهه گذشته، از چهار سری اطلاعات ماهواره‌ای Landsat TM، Landsat MSS، Landsat ETM+ و ماهواره هندی (IRS) به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ استفاده شد. تجزیه و تحلیل زمانی تصاویر نشان می‌دهد که طی ۳۲ سال از وسعت دق‌های رسی به صورت منظم کاسته شده است و در مقابل، به وسعت دق‌های با پوشش گیاهی افزوده شده است. در طی این مدت، اراضی سنگریزه‌دار ۱۳ درصد کاهش یافته است و وسعت پوسته‌های نمکی و رسوبات گچی، هر کدام ۲ درصد افزایش یافته‌اند. اراضی پف‌کرده تا سال ۲۰۰۱ روند افزایشی داشته‌اند و پس از آن به دلیل حرکت تپه‌های شنی به سمت شمال و شمال شرق منطقه و پوشیده شدن بخشی از این اراضی توسط شن‌های روان، وسعت آنها در سال ۲۰۰۸ کاهش یافته است. در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸، پهنه‌های شنی ۱۳ درصد کاهش یافته‌اند. نتایج، حاکی از آن هستند که تثبیت شن‌های روان و انجام اقدامات حفاظتی توانسته از سال ۱۹۹۰، روند بیابان‌زایی در منطقه را کنترل کند.

واژه‌های کلیدی: تغییرات تخریب اراضی، اردستان، Landsat MSS، Landsat ETM+، Landsat TM، IRS

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، استادیار و دانشیار خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yaghmaeian_na@yahoo.com

مقدمه

اراضی خشک حدود ۴۱ درصد از سطح زمین را پوشانده‌اند و ۳۷ درصد از جمعیت جهان را در خود جای داده‌اند. حدود ۷۰ درصد از اراضی خشک جهان تخریب شده‌اند و حداقل یک‌سوم بیابان‌های موجود، ساخته دست بشر هستند (۲۶). ۲۱ درصد مساحت کشور ایران را اراضی بیابانی تشکیل می‌دهند (۶). تخریب خاک و پوشش گیاهی در اراضی خشک، بیابان‌زایی (Desertification) نامیده می‌شود و می‌تواند خطر بزرگی برای تداوم زندگی بشر محسوب گردد. اراضی تخریب‌شده، اراضی هستند که نسبت به شرایط قبلی‌شان از نظر اقلیم، توپوگرافی، خصوصیات خاک و انتظارات مدیران اراضی دچار تغییر نامطلوب شده‌اند. کاهش پتانسیل تولید زمین نیز می‌تواند به معنای تخریب اراضی باشد (۲۴). شور شدن خاک نیز جزو مهم‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی است که به طور عهده در نواحی خشک و نیمه‌خشک اتفاق می‌افتد و باعث کاهش تولید زمین می‌شود (۱۴). اراضی خشک نسبت به تخریب، آسیب‌پذیری بالایی دارند که دلیل این موضوع استرس‌های اقلیمی و فشارهای ناشی از افزایش جمعیت می‌باشد. بنابراین، شناخت بهتر روابط بین تخریب اراضی و شرایط محیطی لازم به نظر می‌رسد (۱۵).

در راستای برنامه‌ریزی و بهره‌وری منابع، پایش تغییرات کاربری و پوشش اراضی نقش بسزایی ایفا می‌کند. برای این منظور، یکی از منابع اطلاعات که به‌طور مؤثر و مفید، قابل کاربرد در پایش (Monitoring) دقیق فرآیندها و به‌کارگیری مدیریت مناسب، برای تحلیل تغییرات اراضی می‌باشد، داده‌های سنجنش از دور هستند که در آشکارسازی تغییرات (Change detection) و تجزیه و تحلیل تغییرات زیست محیطی کارایی بالایی دارند (۱۰). آشکارسازی تغییرات فرآیندی است که امکان مشاهده و تشخیص تفاوت‌ها و اختلافات سری‌های زمانی پدیده‌ها، عارضه‌ها و الگوهای سطح زمین را فراهم می‌کند. داده‌های سنجنش از دور، به دلیل داشتن ویژگی‌هایی مانند به‌هنگام بودن، تکراری بودن، چندطیفی بودن، تنوع

رادیومتریک، توان تفکیک مکانی مناسب، فرمت رقومی و امکان پردازش کامپیوتری، از پتانسیل بالایی برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی محیط زیست برخوردار هستند (۲۱). نوع سنجنده، شرایط محیط زیست و پایش پردازش‌ها از جمله عوامل تأثیرگذار بر کیفیت نتایج به‌دست آمده از آشکارسازی تغییرات می‌باشند (۱۸). در روش شناسایی تغییرات بعد از طبقه‌بندی، دو تصویر مربوط به زمان‌های مختلف به طور مجزا طبقه‌بندی و کدگذاری می‌شوند. سپس سطح تغییرات، از مقایسه مستقیم در نتایج طبقه‌بندی به‌دست می‌آید. این روش راه میانبری برای مشکلات بررسی تغییرات مربوط به آنالیز تصاویر به‌دست آمده از زمان‌های متفاوت سال و یا سنجنده‌های مختلف است که از مزایای این روش محسوب می‌شود (۲۰).

پیرینس و همکاران به منظور شناسایی و نقشه‌برداری تخریب اراضی زیمباوه در یک دوره زمانی شش ساله از اطلاعات MODIS با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده کردند. آنها بیان کردند که علت تخریب اراضی، فاکتورهای محیطی طبیعی (مانند بارندگی و شرایط خاک) نیست؛ بلکه علت آن، کاربری نادرست اراضی توسط انسان است (۲۴). اکین و همکاران با استفاده از تصاویر AVIRIS و MSS، برداشت رسوبات بادی و انتقال ذرات گرد و غبار و شن را از مکانیزم‌های اصلی تخریب اراضی بیابان موجوا بیان کردند (۲۳). مامبو و آرچر به منظور شناسایی و نقشه‌برداری حساسیت اراضی به تخریب در حوضه آبخیز زیمباوه از فناوری سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند (۲۲). بانک اطلاعاتی در این مطالعه شامل تصاویر Landsat TM (۱۹۹۲) و Landsat ۲۰۰۲ و ETM⁺ بود. آنها منطقه مطالعاتی را از نظر حساسیت به تخریب در پنج سطح حساسیت قرار دادند (۲۲). وسل و همکاران کارایی فناوری سنجنش از دور را در رصد تخریب اراضی در مقیاس‌های زمانی و مکانی، بسیار بالا گزارش کردند (۲۷). چن و راثو به منظور پایش تخریب اراضی در شمال چین با استفاده از اطلاعات چند زمانه لندست ETM⁺ و TM در سال‌های ۱۹۸۸، ۱۹۹۶ و ۲۰۰۱ اقدام به تهیه نقشه‌های توزیع تخریب

می‌باشد. سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه را دشت دامنه‌ای (Piedmont plain) و اراضی پست تشکیل می‌دهد.

تشکیل بانک اطلاعات منطقه

به منظور بررسی تغییرات تخریب اراضی، بانک اطلاعات جغرافیایی منطقه مطالعاتی با استفاده از اطلاعات مکانی و توصیفی تشکیل شد. چهار سری داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده عبارت بودند از:

۱. اطلاعات ماهواره هندی IRS در چهار باند اخذ شده مربوط به ۲۷ می سال ۲۰۰۸ میلادی
۲. اطلاعات لندست ETM+ در هشت باند اخذ شده مربوط به ۷ جولای سال ۲۰۰۱ میلادی
۳. اطلاعات لندست TM در هفت باند اخذ شده مربوط به ۹ سپتامبر سال ۱۹۹۰ میلادی
۴. اطلاعات لندست MSS در چهار باند اخذ شده مربوط به ۲۰ می سال ۱۹۷۶ میلادی

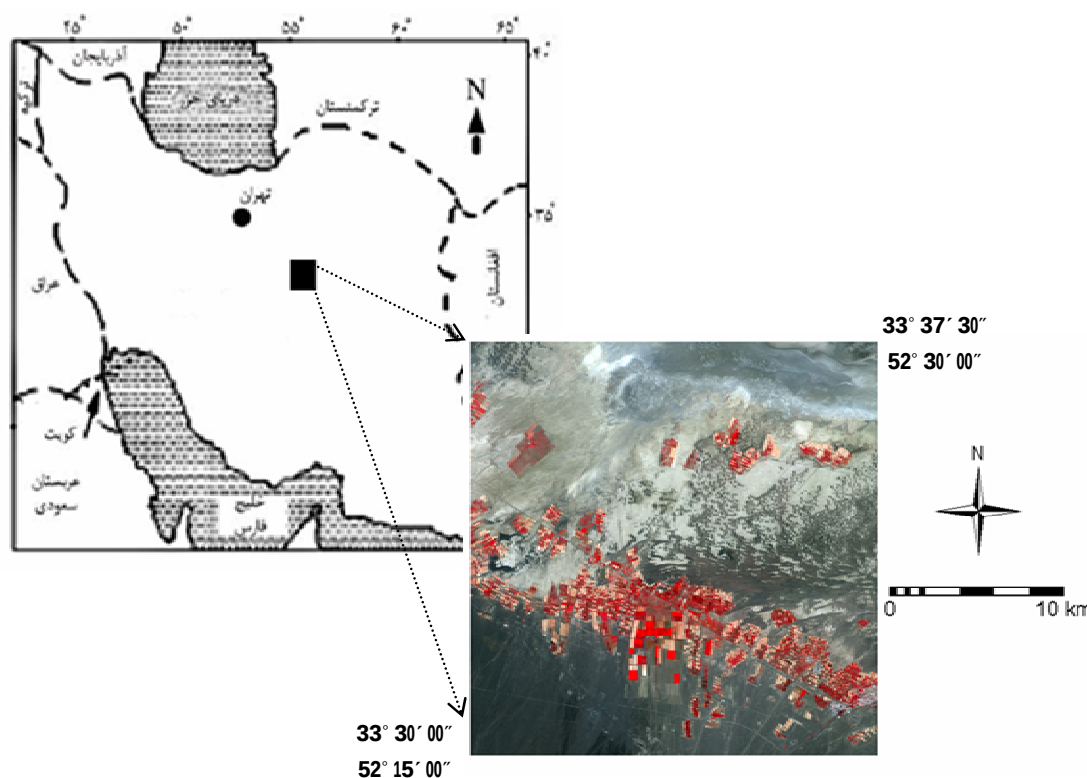
در این تحقیق به منظور آن‌که کمترین فاصله زمانی بین زمان برداشت تصاویر و اطلاعات خاک مد نظر قرارگیرد، از اطلاعات ماهواره هندی (IRS) استفاده شد. گزارش طرح مدیریت جنگل‌های دست کاشت اردستان که توسط اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان (۶) انجام شده است و شامل مطالعات خاک و منابع اراضی می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین گزارش خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی منطقه اردستان که توسط مؤسسه خاک‌شناسی اصفهان (۸) تهیه گردیده است، از دیگر مطالعات مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد. در این گزارش، نقشه خاک و شوری منطقه اردستان ارائه شده است. نقشه خاک منطقه، شامل هفت سری خاک به نام‌های کسوج، زفرقند، موغار، مصطفی‌آباد، اردستان، زواره و باد می‌باشد. به استثنای سری زفرقند که یک خاک اریدی‌سول است، بقیه سری‌ها در رده انتی‌سول قرار می‌گیرند. نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های "۱:۵۰۰۰۰" (۱۳۵۵) و "۱:۲۵۰۰۰" (۱۳۸۲) سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و عکس‌های هوایی

اراضی برای هر سه سال نمودند. ایشان از تفاوت بین نقشه‌های توزیعی، نقشه‌های تغییرات در فاصله سال‌های ۱۹۸۸ تا ۱۹۹۶ و ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۱ را تهیه نمودند و اظهار داشتند که تغییرات آب و هوایی و فعالیت‌های انسانی از عوامل مؤثر در تخریب اراضی منطقه مورد مطالعه هستند (۱۱). جبال‌های ضامن پایش تپه‌های شنی منطقه حسن‌آباد- جرقویه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های MSS، TM، ETM⁺ و LISS III به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۰، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۸ بیان کرد که تصاویر ماهواره‌ای، قابلیت بررسی جابجایی و تغییرات تپه‌های ماسه‌ای را دارا می‌باشند و از این تصاویر می‌توان در آشکارسازی تغییرات پوشش زمین استفاده نمود (۲). تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر اصفهان طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷ توسط سیفیان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات مورد بررسی قرار گرفت (۵). هدف از این مطالعه بررسی روند تخریب اراضی منطقه اردستان در سه دهه گذشته به کمک اطلاعات ماهواره‌ای موجود می‌باشد. هم‌چنین، تغییرات پوشش اراضی در هشت سال گذشته نیز بررسی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی به وسعت ۶۶۱۴۳ هکتار، بخشی از شهرستان اردستان در استان اصفهان می‌باشد. این منطقه، در محدوده عرض جغرافیایی "۳۰° ۳۰' ۳۰" تا "۳۳° ۳۰' ۳۰" شمالی و طول جغرافیایی "۵۲° ۱۵' ۵۲" تا "۵۲° ۳۰' ۵۲" شرقی واقع شده است (شکل ۱). اقلیم منطقه خشک با زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه ۱۲۵ میلی‌متر است. میانگین دمای سالانه ۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد، حداکثر دمای تابستانه، ۳۸/۹ درجه سانتی‌گراد و حداقل دما در زمستان ۲/۱- درجه سانتی‌گراد است. منطقه دارای توپوگرافی هموار تا نسبتاً ناهموار است و از کوه‌های با ارتفاع ۱۴۰۰ متر از سطح دریا تا تپه‌های شنی (Sand dunes) و اراضی پست (Low land) تشکیل شده است. شیب متوسط منطقه مطالعاتی ۱/۸ درصد



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی

روش کار

از طریق برداشت نقاط کنترل زمینی (Ground control points) مشترک بین نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و تصاویر ماهواره‌ای و هم‌چنین برداشت مختصات نقاط کنترل زمینی به کمک GPS طی کار میدانی، اقدام به تصحیح هندسی تصاویر در محیط نرم افزار ایلویس گردید. تعداد نقاط کنترل زمینی برای تصاویر IRS، ETM+، TM و MSS به ترتیب ۱۰، ۱۴، ۱۴ و ۱۰ نقطه بوده و خطای به دست آمده (RMSE) برای هرکدام از آنها به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۴۹، ۰/۳۸ و ۰/۴۹ پیکسل به دست آمد که مطلوب می‌باشد. در مرحله بعد با کمک نمونه‌برداری مجدد (Resampling) به روش نزدیک‌ترین همسایه (Nearest neighborhood) (این روش مانع از تغییر ارزش پیکسل‌های اولیه تصاویر می‌شود (۲۸))، تصاویر در جهت شمال توجیه و

"۱:۲۰۰۰۰" برای شناسایی مقدماتی منطقه مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که موقعیت جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری با استفاده از یک سامانه مکان‌یابی جهانی (Global Positioning System; GPS) تعیین شده و از نرم‌افزار ایلویس (ILWIS 3.4) جهت تفسیر و پردازش داده‌های ماهواره‌ای استفاده شد. دسته دیگر از اطلاعات مورد استفاده در این تحقیق، شامل اطلاعاتی است که از طریق بازدیدهای صحرایی، کسب اطلاع از واحد کشت صنعت چهارمیل اردستان، سازمان‌های کشاورزی و منابع طبیعی و ساکنین محلی منطقه به دست آمده است. قابل ذکر است که چون هدف از این مطالعه، بررسی روند تغییرات تخریب اراضی منطقه اردستان است، داده‌ها به گونه‌ای از میان تصاویر قابل دسترس انتخاب شدند که تقریباً تاریخ برداشت تصاویر، از نظر ماه به هم نزدیک باشند.

گردانده شدند. لازم به ذکر است که ابتدا تصویر IRS تصحیح گردید و سپس سه تصویر ETM^+ ، TM و MSS به تصویر IRS ثبت داده شدند. پس از زمین مرجع نمودن اطلاعات رقومی، به منظور انتخاب باندهای مناسب از روش فاکتور نمایی بهینه (Optimum index factor) و تجزیه اطلاعات به مؤلفه‌های اصلی استفاده شد (۱۲، ۱۳ و ۲۵). پس از انتخاب باندها، با توجه به اطلاعات قبلی و شناخت پدیده‌های موجود در داده‌های مورد استفاده، از روش طبقه‌بندی نظارت شده با روش بیشترین شباهت (Maximum liklihood) استفاده گردید. برای این منظور، نخست مختصات نقاط نمونه‌برداری شده روی تصویر IRS منتقل شد و با استفاده از این نقاط و یادداشت برداری‌هایی که در صحرا از کاربری‌های اطراف این نقاط انجام شده بود و همچنین نقشه‌های تهیه شده از طبقه‌بندی نظارت نشده که بیانگر خصوصیات طیفی سطح زمین با کاربری‌های معلوم است؛ روی تصویر، پلی گون‌های نمونه‌برداری به عنوان مناطق آموزشی (Training area) ایجاد گردید.

به منظور تهیه مناطق آموزشی بر روی تصاویر مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۰ و ۲۰۰۱، با توجه به این‌که اطلاعات زمینی مربوط به این سال‌ها در دسترس نبود، با تفسیر چشمی تصویر رنگی کاذب تهیه شده برای تصویر هر سنجنده و با استفاده از عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی موجود و سعی و خطا، نمونه‌هایی که معرف بازتاب کاربری و پوشش‌های موردنظر بودند، انتخاب گردیدند (۱ و ۴). سپس با معرفی نمونه‌های آموزشی به نرم‌افزار ایلویس، طبقه‌بندی تصاویر انجام شد. به منظور اطلاع از وضعیت طبقه‌بندی نمونه‌ها، از روش ماتریس خطا (Error matrix) استفاده شد. بدین منظور، با کمک نقشه‌های خاک، عکس‌های هوایی و نقشه‌های توپوگرافی موجود، به روش نمونه‌گیری تصادفی از نقاطی که با پیمایش میدانی، مختصات آنها به کمک GPS تعیین شده بود؛ گروهی دیگر از اطلاعات مکانی به‌دست آمد. این اطلاعات مکانی به منظور تعیین صحت طبقه‌بندی داده‌های رقومی مورد استفاده قرار گرفتند. به عبارتی، جمع‌آوری

داده‌های واقعیت زمینی هم برای کلاس‌های آموزشی و هم برای تأیید آنها ضروری است. برای محاسبه صحت طبقه‌بندی باید محل‌های مناسب برای آزمون و متفاوت از محل نمونه‌های آموزشی به کار گرفته شود و سپس تصاویر طبقه‌بندی شده با داده‌های واقعیت زمینی در یک ماتریس خطا مورد مقایسه قرار گیرند. با استفاده از این ماتریس، صحت تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده مشخص گردید. برای بررسی صحت طبقه‌بندی، علاوه بر محاسبه صحت کلی (Total accuracy)، شاخص کاپا (Kappa index) نیز محاسبه شد. در مرحله آخر، به منظور کاهش اطلاعات اضافی و با در نظر گرفتن ماهیت کلاس‌های طیفی، برخی آنها در یکدیگر ادغام شدند و کلاس‌های اطلاعاتی نقشه‌های اراضی مشخص گردیدند.

لازم به ذکر است چون تصاویر لندست MSS و TM به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۹۷۶ و ۱۹۹۰ می‌باشند؛ بنابراین، ماتریس خطا فقط برای نقشه‌های به‌دست آمده از تصاویر ETM^+ (۲۰۰۱) و IRS (۲۰۰۸) محاسبه گردید. چرا که تاریخ بازبینی‌های صحرایی، مربوط به سال‌های ۱۳۸۸ - ۱۳۸۷ (۲۰۰۹ - ۲۰۰۸) می‌باشد و تصویر مربوط به سال ۲۰۰۸ (IRS) نزدیک‌ترین تاریخ به زمان کنترل صحرایی است. همچنین برای داشتن کمترین فاصله زمانی بین زمان برداشت تصویر لندست ETM^+ و تاریخ مطالعات خاک، از مطالعات خاک و منابع اراضی که توسط اداره کل منابع طبیعی استان اصفهان (۶) انجام شده است؛ استفاده گردید. با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کافی از وضعیت گذشته منطقه، صحت نقشه‌های به‌دست آمده مربوط به سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۰ با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی منطقه، اطلاعات مردم محلی و تفسیر چشمی مورد بررسی قرار گرفت. مناطق آموزشی برای طبقه‌بندی طیفی - اطلاعاتی عبارت بودند از: دق رسی (Clay flat)، (CF)؛ سطوح صاف، بدون ساختمان و با پایداری بسیار سخت که در زیر آنها رس و سیلت با مقادیر متفاوت وجود دارد؛ دق رسی با پوشش گیاهی ۳۰-۱۰ درصد (CFP)؛ پهنه‌های شنی (شنزار و تپه‌های شنی) (SD)؛ پهنه‌های

شنی با پوشش گیاهی ۲۰-۱۰ درصد (SDP)؛ پهنه‌های شنی سنگریزه‌دار (SDG)؛ رسوبات گچی (LG)؛ رسوبات بادی همراه با بلورهای گچ (۳-۵٪ سانتی‌متر)؛ سنگفرش بیابانی (DP)؛ اراضی سنگلاخی (SL)؛ پوسته نمکی (Salt crust)، (SC)؛ اراضی پف‌کرده (Puffy ground)، (PG)؛ اراضی کشاورزی (Cr1) و اراضی آیش (Cr2).

نتایج و بحث

در این مطالعه، تمام باندهای Landsat MSS و ماهواره هندی IRS برای طبقه‌بندی مورد استفاده قرار گرفتند. اما در مورد Landsat TM و Landsat ETM+ با در نظر گرفتن فاکتور نمایی بهینه و تجزیه اطلاعات به مؤلفه‌های اصلی، باندهای ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ برای طبقه‌بندی انتخاب شدند. براتی و همکاران در بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه قلعه شاهرخ، باندهای ۳، ۴، ۵ و ۷ ماهواره‌های TM و ETM+ را به عنوان بهترین ترکیبات باندی معرفی کردند (۱). زاهدی‌فر و همکاران نشان دادند که از میان هفت باند TM، چهار باند ۳، ۴، ۵ و ۷ توانایی بیشتری در تفکیک بازتاب آموزشی، برای تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رودخانه بازفت دارند (۴). نادری و کریمی در سال ۱۳۸۷ برای بررسی تغییرات شوری و کاربری اراضی منطقه رودشت اصفهان از باندهای TM₃، TM₄، TM₅ و TM₆ استفاده کردند (۹). با بررسی جداول خطای مربوط به طبقه‌بندی اطلاعات IRS (جدول ۱) و ETM+ مشخص می‌شود که اطلاعات ETM+ در مقایسه با اطلاعات IRS از شاخص کاپا و صحت کلی بیشتری برخوردار است؛ به‌طوری‌که، صحت طبقه‌بندی و شاخص کاپا برای اطلاعات ETM+ به ترتیب ۹۸/۴ درصد و ۸۹/۰٪ و برای ماهواره IRS، ۸۷/۴ درصد و ۷۸/۰٪ به‌دست آمدند. در بسیاری از مطالعات انجام شده در تهیه نقشه کاربری اراضی (۱، ۱۶ و ۱۸) از روش بیشترین شباهت، به علت دقت مناسب استفاده شده است. صحت قابل قبول طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، طبق نظریات آندرسون، ۸۵ درصد می‌باشد (۱۸). بنابراین صحت

نقشه‌های حاصل از طبقه‌بندی اطلاعات IRS و ETM+ در حد قابل قبول است. لازم به ذکر است که در جدول خطا، خطای حذف (Omission error) و خطای کاری (Commission error) نیز مورد بررسی قرار گرفتند. خطای کاری نشان‌دهنده مساحت اراضی یک کلاس است که واقعاً به آن کلاس تعلق ندارد و خطای حذف، بیانگر میزان مساحت اراضی یک کلاس که جز کلاس‌های دیگر طبقه‌بندی شده‌اند، می‌باشد (۷). از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای IRS و ETM+ به روش طبقه‌بندی نظارت شده در تفکیک انواع پوشش و کاربری اراضی، نتایج مناسبی حاصل گردید و انواع پوشش اراضی به راحتی تفکیک شدند. ولی، در کنترل صحرایی مشخص شد که اراضی سنگلاخی در تصویر ماهواره‌ای IRS، به طور کامل تفکیک نشده‌اند؛ به‌طوری‌که، بسیاری از نقاطی که در بازدید صحرایی به عنوان سنگفرش بیابانی و پهنه‌های شنی سنگریزه‌دار تعیین شده‌اند، در روش طبقه‌بندی نظارت شده به عنوان اراضی سنگلاخی کلاس‌بندی شده‌اند و بالعکس (جدول ۱).

دلیل این مسأله می‌تواند حضور سنگ و سنگریزه کمتر در اراضی سنگریزه‌دار در مقایسه با اراضی سنگلاخی باشد. زاهدی‌فر و همکاران (۴) تداخل اراضی سنگلاخی با اراضی سنگریزه‌دار را در طبقه‌بندی نظارت شده به روش بیشترین شباهت، برای تصاویر TM گزارش کردند. از آنجایی‌که در برخی شرایط، پدیده‌های مختلف، بازتاب یکسانی از خود نشان می‌دهند؛ مثلاً بازتاب مقادیر زیاد سنگریزه و اراضی سنگلاخی بسیار به هم نزدیک می‌باشد؛ بنابراین، این مسأله می‌تواند به طور کلی از دلایل کاهش صحت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بوده و توجیهی برای صحت طبقه‌بندی و شاخص کاپای کمتر اطلاعات IRS در مقایسه با ETM+ باشد. البته وجود چنین مشکلاتی در رابطه با اطلاعات ماهواره‌ای در مقابل عیوب استفاده از عکس‌های هوایی و روش‌های سنتی تهیه نقشه کاربری اراضی نسبتاً ناچیز است. برای تعیین صحت نقشه‌های به‌دست آمده از تصاویر سنجنده‌های MSS و TM، به علت عدم وجود نقشه‌های بهنگام، از عکس‌های هوایی استفاده

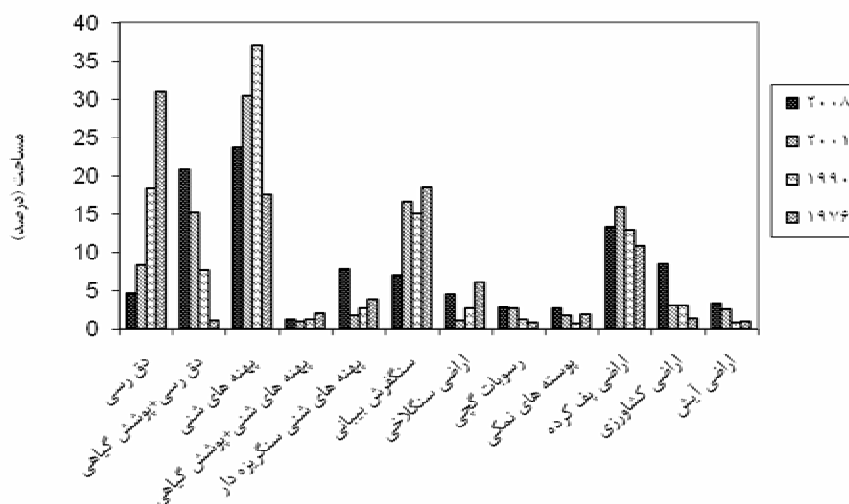
جدول ۱. ماتریس خطای طبقه بندی اطلاعات IRS

خطای	کلاس‌های مرجع														کلاس‌های طبقه‌بندی شده
	کار	جمع	SL	Cr2	Cr1	DP	PG	SC	SDG	SDP	SD	LG	CFP	CF	
	۰/۰۰۰	۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۶	CF
	۰/۰۰۰	۶۴	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۶۴	۰	CFP
	۰/۱۸۹	۵۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۳	۰	۱۰	LG
	۰/۰۰۰	۴۵	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۴۵	۰	۰	۰	SD
	۰/۰۰۰	۵۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۰	۰	۰	۰	۰	SDP
	۰/۰۰۰	۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۶	۰	۰	۰	۰	۰	SDG
	۰/۰۰۰	۷۳	۰	۰	۰	۰	۰	۷۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	SC
	۰/۱۴۸	۵۴	۰	۰	۰	۰	۴۶	۰	۰	۰	۸	۰	۰	۰	PG
	۰/۲۶۱	۶۹	۱۸	۰	۰	۵۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	DP
	۰/۰۰۰	۵۱	۰	۰	۵۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	Cr1
	۰/۰۰۰	۴۸	۰	۴۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	Cr2
	۰/۶۷۵	۷۷	۲۵	۰	۰	۲۲	۰	۰	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	SL
		۶۹۶	۴۳	۴۸	۵۱	۷۳	۴۶	۷۳	۸۶	۵۰	۵۳	۴۳	۶۴	۶۶	جمع
															خطای حذف
			۰/۴۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۳۴۹	۰/۰۰۰	۰/۱۵۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۱۵۱	

صحت کلی = ۸۷/۴ درصد

می‌دادند، در سال ۲۰۰۸، ۴/۷ درصد منطقه را تشکیل می‌دهند. در مقابل روند کاهشی وسعت دق‌های رسی در ۳۲ سال گذشته، می‌توان روند افزایشی منظم دق‌های رسی همراه با پوشش گیاهی را مشاهده نمود؛ به‌طوری‌که وسعت آنها از ۱/۰ درصد در سال ۱۹۷۶، به ۲۰/۸ درصد در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته است. به عبارتی، وسعت دق‌های رسی همراه با پوشش گیاهی در طی این سال‌ها ۱۹/۸ درصد افزایش یافته است. وسعت پهنه‌های شنی در فاصله سال‌های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۰، افزایش ۱۹/۴ درصدی داشته است و پس از آن از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ به طور منظمی کاهش یافته است. دلیل این امر می‌تواند آغاز عملیات تثبیت شن‌های روان از سال ۱۹۹۰ باشد (۶)؛ هم‌چنین، افزایش وسعت دق‌های رسی با پوشش گیاهی در

گردید. هم‌چنین نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیز تا حدودی به کنترل دقت نقشه‌ها کمک نمود. بنابراین، صحت این نقشه‌ها پایین‌تر از نقشه‌های حاصل از تصاویر IRS و ETM+ بوده است؛ اما با توجه به اطلاعات مردم محلی و تفسیر چشمی تصاویر، در حد قابل قبول می‌باشد. یوان و همکاران (۲۹) نیز در مطالعه خود گزارش کردند که در صورت در اختیار نداشتن اطلاعات کامل از وضعیت گذشته منطقه می‌توان تنها به یک ارزیابی کلی از دقت نقشه اکتفا کرد. روند تغییرات پوشش اراضی در فاصله سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ در شکل ۲ نشان می‌دهد که در فاصله این سال‌ها، وسعت دق‌های رسی با روند منظمی کاهش یافته است؛ به‌طوری‌که در سال ۱۹۷۶ دق‌های رسی که ۳۰/۹ درصد منطقه را تشکیل



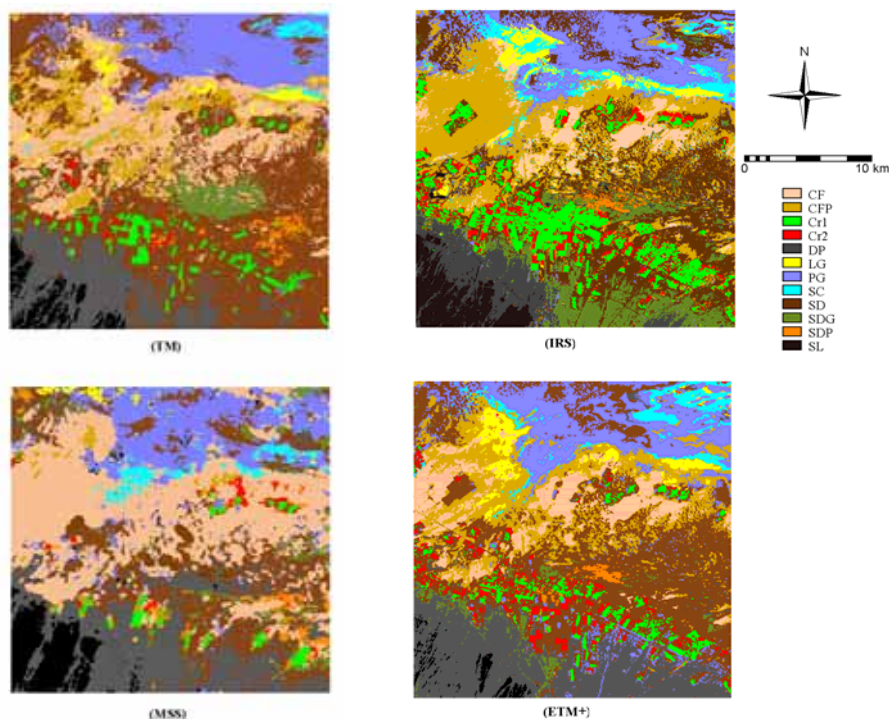
شکل ۲. مقایسه واحدهای کاربری اراضی در سالهای ۱۹۷۶ (MSS)، ۱۹۹۰ (TM)، ۲۰۰۱ (ETM+) و ۲۰۰۸ (IRS)

نمود. بدین ترتیب مجموع وسعت عوارض سنگریزه‌دار (اراضی سنگلاخی، پهنه‌های شنی سنگریزه‌دار و سنگفرش بیابانی) در سال‌های ۱۹۷۶، ۱۹۹۰، ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ به ترتیب ۲۸/۳، ۲۰/۳، ۱۹/۳ و ۱۵/۳ درصد است. رسوبات بادی گچی که در سال ۱۹۷۶، ۰/۸ درصد منطقه را تشکیل می‌دادند؛ در سال ۲۰۰۸، ۲/۷ درصد منطقه را شامل می‌شوند (شکل ۲) افزایش رسوبات بادی گچ‌دار در منطقه حاکی از آن است که بر خلاف آن‌که وسعت دق‌های رسی و پهنه‌های شنی که از عوارض ناشی از بیابان‌زایی هستند و در اثر اقدامات حفاظتی کاهش یافته‌اند؛ ولی منطقه همچنان در معرض خطر فرسایش بادی قرار دارد.

در نقشه پوشش اراضی سال ۱۹۷۶، پوسته‌های نمکی سفید رنگ که ۰/۵ درصد منطقه را تشکیل می‌دادند، در سال ۲۰۰۸ به میزان ۲/۶ درصد از منطقه را تحت پوشش قرار داده‌اند. در مورد اراضی پف‌کرده نیز روند افزایشی منظم در سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۱ مشاهده می‌شود، به‌طوری‌که وسعت این اراضی از ۱۰/۸ درصد در سال ۱۹۷۶ به ۱۵/۹ درصد در سال ۲۰۰۱ می‌رسد (شکل ۲). نتایج به‌دست آمده از لندست‌های MSS، TM و ETM+ روند افزایشی منظم پوسته‌های نمکی و اراضی پف‌کرده را نشان می‌دهند؛ ولی نتایج ماهواره هندی

فاصله این سال‌ها نیز مؤید این مطلب است. روند تغییرات واحد پهنه‌های شنی سنگریزه‌دار در شکل ۲ نشان می‌دهد که وسعت این عوارض از ۳/۸ درصد در سال ۱۹۷۶ با روند کاهشی منظم به ۱/۷ درصد در سال ۲۰۰۱ رسیده است و پس از آن به ۷/۸ درصد در سال ۲۰۰۸ افزایش یافته است. چنین روند مشابهی در مورد اراضی سنگلاخی نیز مشاهده می‌گردد؛ به‌طوری‌که در فاصله سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۱، ۵/۱ درصد کاهش یافته و سپس در سال ۲۰۰۸ به ۴/۵ درصد افزایش یافته است.

با توجه به نتایج ماتریس خطای طبقه‌بندی اطلاعات IRS (جدول ۱)، همان‌گونه که قبلاً بدان اشاره شد؛ مشخص گردید که این اطلاعات در تفکیک پهنه‌های شنی سنگریزه‌دار، اراضی سنگلاخی و سنگفرش بیابانی به دلیل شباهت بازتاب‌ها ضعف داشته و به خوبی نتوانسته‌اند این واحدها را از هم تفکیک نمایند. این مسأله می‌تواند توجیهی برای افزایش وسعت واحد اراضی سنگلاخی و پهنه‌های شنی سنگریزه‌دار و کاهش وسعت سنگفرش بیابانی در سال ۲۰۰۸ باشد. بنابراین، می‌توان به منظور بررسی روند تغییرات اراضی سنگریزه‌دار در طی ۳۲ سال گذشته، مجموع وسعت عوارض مذکور را با یکدیگر مقایسه



شکل ۳. نقشه‌های پوشش اراضی در سال‌های ۲۰۰۸ (IRS)، ۲۰۰۱ (ETM+)، ۱۹۹۰ (TM) و ۱۹۷۶ (MSS)

برداشت هر دوی آنها ماه می می‌باشد؛ مشخص می‌شود که وسعت اراضی کشاورزی از $\frac{1}{3}$ به $\frac{8}{4}$ درصد افزایش یافته است. به عبارتی، وسعت این اراضی در طی ۳۲ سال گذشته، $\frac{6}{5}$ برابر شده است (شکل ۲).

به منظور بررسی روند تغییرات اخیر کاربری اراضی در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸، نتایج طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره هندی و Landsat ETM+ در یک ماتریس مقایسه‌ای با هم مقایسه شدند (جدول ۲). در این ماتریس ستون‌ها، واحدهای کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی اطلاعات لندست ETM+ و ردیف‌ها، واحدهای کاربری حاصل از طبقه‌بندی اطلاعات ماهواره هندی را نشان می‌دهند. مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی کاربری اراضی Landsat ETM+ و ماهواره هندی بیانگر آن است که در فاصله سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸، $\frac{3}{6}$ (۳/۶) - $\frac{8}{3}$ (۸/۳) درصد از وسعت دق‌های رسی کاهش یافته و $\frac{5}{7}$ (۵/۷) - $\frac{20}{8}$ (۲۰/۸) درصد به وسعت دق‌های رسی همراه با پوشش گیاهی افزوده شده است. به‌طوری‌که ۲۸۸۶

در مورد اراضی پف‌کرده، کاهش $\frac{2}{7}$ درصدی در هشت سال گذشته را نشان می‌دهد. بررسی نقشه‌های طبقه‌بندی مربوط به سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸ (شکل ۳) نشان می‌دهد که حرکت شن‌های روان به سمت شمال و شمال شرق منطقه مورد مطالعه می‌باشد. به عبارتی، جهت باد فرساینده منطقه، جنوب غرب و جنوب می‌باشد. خلیفه و همکاران در شناسایی منشأ تپه‌های شنی منطقه اردستان، جهت بادهای فرساینده منطقه اردستان را غرب، جنوب و جنوب غرب گزارش کردند (۳).

بنابراین، به علت پیشروی شن‌های روان به سمت شمال و شمال شرق منطقه که محل استقرار اراضی پف‌کرده است؛ در سال ۲۰۰۸ قسمتی از اراضی پف‌کرده، احتمالاً توسط شن‌های روان پوشیده شده‌اند و در نتیجه سنجنده ماهواره IRS نتوانسته اطلاعات این اراضی را برداشت نماید. تبدیل $\frac{2442}{6}$ (۲۴۴۲/۶) هکتار از اراضی پف‌کرده در سال ۲۰۰۱ به پهنه‌های شنی در سال ۲۰۰۸ (جدول ۲)، پیشروی شن‌های روان را در منطقه تأیید می‌کند. از مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی سال‌های ۱۹۷۶ و ۲۰۰۸ که زمان

جدول ۲. مقایسه کاربری ارضی سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸

ETM ⁺ IRS	C.F	C.F+P	L+G	S.D	S.D+P	S.D+G	S.C	P.G	D.P	Cr.1	Cr.2	S.L	%
C.F	۲۳۰۹۲	۶۴۸۳	۴۳۲۲	۲۶۵	۰	۲	۲۵	۴۹	۳	۲	۰	۰	۴/۷
C.F+P	۳۲۰۶۶	۷۴۹۸۷	۷۳۱۷	۲۶۴۹۴	۳۳	۱۸۰	۲۴۸۱	۷۴	۴۰۴	۲۰۸	۶۷۶	۰	۲۰/۸
L+G	۲۰۲۱	۳۷۴۳	۵۵۶۹	۳۳۱	۲	۲	۳۸۵	۸۷۳۷	۳۳	۲۸	۱۱۵	۰	۲/۷
S.D	۸۸۰	۷۱۰۹	۱۵۵	۱۱۱۰۷۳	۹۵۳	۱۶۴۵	۲۶۴۰	۲۷۱۴۰	۱۷۴۱۹	۱۷۸۸	۲۶۵۷	۱۰	۲۳/۷
S.D+P	۲	۳۵	۱	۵۶۱۲	۱۸۹۹	۱۳۷	۰	۲۶۲	۲۲۵	۳۸۵	۴۱۱	۰	۱/۰
S.D+G	۲	۱۲۰	۱۳	۱۶۷۸۲	۶۳۰	۵۲۲۲	۲۰	۱۷۵۹	۳۲۳۳۰	۱۲۱	۳۸۳	۶	۷/۸
S.C	۹۳۴	۷۸۴۲	۱۲۰۲	۱۶۵	۰	۰	۲۰۹۵	۶۵۹۱	۰	۰	۲۶	۰	۲/۶
P.G	۵۱۷	۱۰۴۴۵	۳۲۷	۱۷۳۸۲	۷	۳۲۳	۴۵۴۲	۶۱۸۵۹	۲۰۷۴	۱۲	۱۸۹	۳	۱۳/۳
D.P	۴	۴۲	۰	۲۶۲۰	۴۴	۴۹۵۶	۶	۵۴۹	۴۲۳۷۶	۱۳	۶۲	۴۰۰	۶/۹
Cr.1	۵۶۴	۲۳۷	۵۴	۲۹۶۹۵	۲۴۴۲	۶۵	۱۴۲	۱۷۱۵	۶۰۰	۱۷۶۳۸	۸۸۱۷	۶	۸/۴
Cr.2	۸۸۱	۴۲۸	۲۱۷	۱۳۱۱۱	۴۱۱	۱۱۶	۱۹	۷۸۰	۵۷۴	۲۴۴۹	۵۵۳۵	۳	۳/۶
S.L	۰	۰	۰	۲۸۹	۴	۱۳۳	۰	۱	۲۵۶۰۳	۰	۰	۴۹۸۷	۴/۵
%	۸/۳	۱۵/۱	۲/۶	۳۰/۵	۰/۹	۱/۷	۱/۷	۱۶/۰	۱۶/۵	۳/۱	۲/۶	۱/۰	۱۰۰

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این تحقیق مشخص می‌شود که طی سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۸، منطقه با دو مسئله شوری و فرسایش بادی که از عوامل مؤثر در بیابان‌زایی هستند، مواجه بوده است. از آن جایی که اقدامات حفاظتی در راستای جلوگیری از گسترش فرسایش بادی در منطقه از سال ۱۹۹۰ آغاز شده است، بنابراین مقایسه روند تخریب و بهبود اراضی در فاصله سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ نشان می‌دهد که طی ۱۸ سال گذشته، وسعت پهنه‌های شنی (شامل شنزارها و تپه‌های شنی) ۱۳/۳ درصد کاهش یافته است. به عبارتی، سالانه ۴۸۴۸۵ هکتار از اراضی از نظر فرسایش بادی به شرایط مطلوب‌تری می‌رسند. از سوی دیگر، پوسه‌های نمکی که در سال ۱۹۹۰، ۲/۶ درصد از منطقه را تشکیل می‌دادند، در سال ۲۰۰۸، ۲/۶

هکتار از اراضی که در سال ۲۰۰۱ در کلاس دق رسی بودند، در سال ۲۰۰۸ به دق‌های رسی با پوشش گیاهی تبدیل شده‌اند. دلیل این امر اقدامات بیابان‌زدایی، شامل نهال‌کاری در دق‌های رسی منطقه می‌باشد (۶). ۱۷۱ هکتار از اراضی که در سال ۲۰۰۱ جز پهنه‌های شنی به همراه پوشش گیاهی بوده‌اند، در سال ۲۰۰۸ در همان وضعیت باقی مانده‌اند. اما ۵۰۵ هکتار از اراضی که در سال ۲۰۰۱ جزو پهنه‌های شنی بوده‌اند، در سال ۲۰۰۸ نهال‌کاری و تثبیت شده‌اند. نتایج جدول ۲ نیز نشان می‌دهد که ۲۴۴۲/۶ هکتار از اراضی که در سال ۲۰۰۱ جزو اراضی پف‌کرده طبقه‌بندی شده‌اند، در سال ۲۰۰۸ در کلاس پهنه‌های شنی قرار گرفته‌اند. این مسئله می‌تواند توجیهی برای کاهش ۲/۷ درصدی وسعت اراضی پف‌کرده در سال ۲۰۰۸ باشد.

طبیعی ذکر شده، فقر پوشش گیاهی و حرکت شن‌های روان در منطقه موجب شده تا اراضی منطقه اردستان در معرض تخریب قرار گیرند و در صورت عدم برنامه ریزی و مدیریت صحیح به منظور جلوگیری از ادامه این فرآیند، در آینده نه چندان دور، شاهد تخریب قابل توجهی در منابع خاک منطقه خواهیم بود. نتایج حاصل هرچند توانایی اطلاعات ماهواره‌ای را در تفکیک و طبقه‌بندی عوارض مناطق خشک و بیابانی نشان می‌دهند، اما اطلاعات لندست ETM+ در مقایسه با اطلاعات ماهواره هندی، به دلیل داشتن کمترین خطا در تفکیک اراضی سنگریزه‌دار که در مناطق بیابانی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند، نتایج دقیق‌تری را در این تحقیق به دست داده است.

سپاسگزاری

ضمن تشکر از سازمان فضایی ایران و سازمان نقشه‌برداری کشور برای در اختیار نهادن تصاویر ماهواره‌ای از داوران محترمی که زحمت ارزیابی مقاله را در راستای ارتقای کیفیت آن بر عهده داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

درصد از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. به بیان دیگر، ۱/۸ درصد از اراضی تخریب شده‌اند. هم‌چنین، وسعت دق‌های رسی در فاصله این سال‌ها، ۱۳/۶ درصد کاهش یافته است. نتایج، حاکی از آن است که در طی ۱۸ سال، ۲۶/۹ درصد از اراضی که معادل ۱۷۸۰۶ هکتار می‌باشد، بیابان‌زدایی شده‌اند و در مقابل، ۱/۸۵ درصد اراضی، معادل ۱۲۲۴ هکتار، از نظر شوری در شرایط نامطلوب‌تری قرار گرفته‌اند. در نتیجه، روند خالص بهبود اراضی، ۲۵/۰۷ درصد می‌باشد. از این مقدار، تنها ۷/۹ درصد آن به اراضی کشاورزی (شامل اراضی زیر کشت و آیش) اختصاص یافته است که در مقابل هزینه‌هایی که برای کنترل فرسایش بادی و تثبیت شن‌های روان انجام شده است، بسیار اندک می‌باشد.

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، کمبود نزولات آسمانی، بالا بودن میزان تبخیر از سطح خاک و سازندهای زمین‌شناسی منطقه باعث می‌شوند که پتانسیل شور شدن اراضی منطقه مورد مطالعه بالا باشد. از سوی دیگر عوامل انسانی مانند گسترش اراضی کشاورزی، افزایش تعداد چاه‌ها و عدم رعایت اصول فنی در بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی باعث تشدید شوری اراضی می‌شود (۱۷). علاوه بر عوامل انسانی و عوامل

منابع مورد استفاده

۱. براتی قهفرخی، س.، س. سلطانی کوپایی، س. ج. خواجه‌الدین. و ب. رایگانی. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی در زیر حوزه قلعه شاهرخ با استفاده از سنجش از دور. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۴۷(۱): ۳۴۹-۳۶۵.
۲. جبالی، ع. ۱۳۸۸. پایش حرکت تپه‌های شنی منطقه حسن آباد- جرقویه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۳. خلیفه، ا. م. ر. کاویانپور، م. پاکپور و س. وفایی. ۱۳۸۶. روش پردازش تصاویر ماهواره و تحلیل باد در شناسایی منابع تپه‌های ماسه‌ای (منطقه اردستان). فصلنامه تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۱۴(۲): ۲۰۴-۲۲۱.
۴. زاهدی‌فر، ن. س. ج. خواجه‌الدین. و ا. جلالیان. ۱۳۸۳. کاربرد داده‌های رقومی سنجنده TM در تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز رودخانه بافت. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۸(۲): ۹۱-۱۰۶.
۵. سیفیان، ع. ۱۳۸۸. بررسی تغییرات کاربری اراضی محدوده شهر اصفهان با استفاده از تکنیک آشکارسازی برداری تغییرات طی سال‌های ۱۳۶۶ تا ۱۳۷۷. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۳(۴۹): ۱۵۳-۱۶۴.

۶. شرکت مهندسين مشاور پويا سبز سپاهان، ۱۳۸۴. طرح مدیریت جنگل‌های دست کاشت شهرستان اردستان. جلد اول، سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، وزارت جهاد کشاورزی، ۳۲۵ صفحه.
۷. علوی پناه، س. ک. و م. مسعودی. ۱۳۷۵. تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از داده‌های رقومی ماهواره‌ای لندست TM و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مطالعه موردی منطقه موک استان فارس. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۷(۱): ۷۵-۷۶.
۸. مؤسسه خاک‌شناسی ایران، ۱۳۷۴. مطالعات اجمالی خاک‌شناسی و طبقه‌بندی اراضی مناطق اردستان، نطنز و کاشان استان اصفهان. نشریه شماره ۹۴۹، ۱۵۳ صفحه.
۹. نادری خوراسگانی، م. و ا. کریمی. ۱۳۸۷. بررسی تغییرات شوری و کاربری اراضی رودشت در دشت اصفهان با استفاده از اطلاعات ماهواره‌های لندست TM و MSS. مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی) ۲۲(۲): ۵۰-۶۰.
10. Ben-Dor, E., S. Chabrillat, J. A. M. Dematte, G. R. Taylor, J. Hill, M.L. Whiting and S. Sommer. 2009. Using imaging spectroscopy to study soil properties. *Remote Sens. Environ.* 113: 538-555.
11. Chen, S. and P. Rao. 2008. Land degradation monitoring using multi-temporal Landsat TM/ETM data in a transition zone between grassland and cropland of northeast China. *Intl. J. Remote Sens.* 29(7): 2055-2073.
12. Chavez, P. S., G. L. Berlin and L. B. Sowers. 1982. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *J. Appl. Photographic Eng.* 8: 23-30.
13. Chavez, P. S., J. C. Guptill and J. A. Bowell. 1984. Image Processing Techniques for Thematic Mapper Data. *American Society of Photogrametry and Remote Sensing*, pp. 728-752.
14. Farifteh, J., A. Farshad and R.J. George. 2006. Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modeling, and geophysics. *Geoderma* 130: 191-206.
15. García, M., C. Oyonarte, L. Villagarcía, S. Contreras, F. Domingo and J. Puigdefábregas. 2008. *Remote Sens. Environ.* 112: 3720-3736.
16. Gomasasca, M.A. 1993. One century of land use changes in the metropolitan area of Milan (Italy). *Intl. J. Remote Sens.* 14(2): 211-223.
17. Guarnieri, A., A. Fabbri and G. Molari. 2005. Influence of sodicity and salinity on the mechanical properties of two Italian soils. *Biosys. Eng.* 91(2): 239-243.
18. Jensen, J. R. 2005. *Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective*. Upper Saddle River. Prentice & Hall Pub., USA.
19. Langford, M. 1997. Land cover mapping in a topical hillside in environment a case study in the Cauca region of Colombia. *Intl J. Remote Sens.*, 18(6): 1289- 1306.
20. Lunetta, R. S. and D. C. Elvidge. 1999. *Remote sensing change detection (Environmental Monitoring Methods and Applications)*, Taylor & Fromcis Ltd.
21. Lu, D., P. Mausel, E. Brondiziro and E. Moran. 2004. Chang detection techniques. *Intl. J. Remote Sens.* 25: 2365-2407.
22. Mambo, J. and E. Archer. 2007. Assessment of land degradation in the save catchment of Zimbabwe. *Area* 39: 380-391.
23. Okin, G. S., B. Murray and W. H. Schlesinger. 2001. Degradation of sandy arid shurbland environments: observations, process modeling, and management implications. *J. Arid Environ.* 47: 123-144.
24. Prince, S. D., I. Becker-Reshef and K. Rishmavi. 2009. Detection and mapping of long-term land degradation using local net production scaling: Application to Zimbabwe. *Remote Sens. Environ.* 113: 1046-1057.
25. Ramadan, T. M. and A. Kontny. 2004. Mineralogical and structural characterization of alteration zones detected by orbital remote sensing at Shalatein District, SE Desert, Egypt. *J. Afr. Earth Sci.* 40(1-2): 89-99.
26. Safriel, U. and Z. Adeel. 2005. *Dryland systems. Ecosystems and human well-being: Current state and trends*. Island Press., Washington DC. pp. 984.
27. Wessels, K.J., S. D. Prince, P. E. Frost and D. V. Zyl. 2004. Assessing the effects of human-induced land degradation in the former homelands of northern South Africa. *Remote Sens. Environ.* 91: 47-67.
28. Yang, X. and C. P. Lo. 2002. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *Intl. J. Remote Sens.* 23 (9): 1775-1798.
29. Yuan, F., K.E. Sawya, B.C. Loeffelholz and M.E. Bauer. 2005. Land cover classification and change analysis of the twin cities (Minnesota) metropolitan area by multi temporal land sat remote sensing. *Remote Sens. Environ.* 98: 317-328.