

پایش مزارع دارای بقایای سوخته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

محمدعلی رستمی^{۱*} و هوشنگ افضل‌گروه^۲

۱ و ۲ به ترتیب: استادیار؛ و پژوهشگر بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرمان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱۴

چکیده

مدیریت بقایای گیاهی در سطح مزارع اهمیت بالایی دارد. حفظ و مدیریت صحیح بقایای گیاهی موجب اصلاح ساختمان خاک، حفظ رطوبت، و کاهش فرسایش خاک می‌شود در حالی که سوزاندن بقایای گیاهی به از دست رفتن مواد آلی، افزایش فرسایش، و تبخیر رطوبت می‌انجامد. وضع قوانین تشویقی برای اجرای کشاورزی حفاظتی و قوانین تنبیهی برای سوزاندن بقایای گیاهی در کشور، راهکاری است که سازمان‌های اجرایی آن را آغاز کرده‌اند اما به‌علت مشکل شناسایی مزارعی که در آنها بقایای گیاهی سوزانده می‌شود، این راهکار متوقف گردید. این تحقیق به منظور یافتن روشی دقیق، سریع، و ارزان برای پایش مزارعی است که در آنها بقایای گیاهی آتش زده می‌شود تا بتوان به‌سادگی مزارع را شناسایی و قوانین تنبیهی یا سیاست‌های پیشگیرانه را اعمال کرد. در این پژوهش با استفاده از سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقه‌بندی نظارت‌نشده، و تشخیص تغییرات، توانایی تصویرهای سنجنده لندست ۸ برای تعیین محل و مساحت مزارعی که بقایای گیاهی در آنها آتش زده شده‌اند، ارزیابی شده است. برای اجرای این پژوهش و ارزیابی نتایج به‌دست آمده، ۱۲۰ مزرعه در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده از تعیین محل و تخمین مساحت مزارع آزمایشی در تصویرهای ماهواره‌ای با داده‌های میدانی مقایسه شد. به‌علت تغییرات پی‌درپی شرایط سطحی مزارع آزمایشی، در فاصله زمانی بین دو تصویربرداری سنجنده لندست، روش تشخیص تغییرات نتوانست مزارعی که بقایای گیاهی در آنها آتش زده می‌شود را به‌دقت پایش کند. شناسایی و تخمین مساحت مزارع سوخته با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده دقت بالایی دارد (صحت کلی طبقه‌بندی ۹۶/۶ درصد، ضریب کاپا ۰/۹۳ و ضریب تبیین ۰/۹۲). بنابراین، بر اساس نتایج پژوهش، روش طبقه‌بندی نظارت‌شده برای پایش مزارع سوخته و تعیین مساحت آنها پیشنهاد و فناوری آن ارائه شد.

واژه‌های کلیدی

بقایای گیاهی، تشخیص تغییرات، سنجنش از دور، طبقه‌بندی نظارت‌شده

مقدمه

حفاظتی را عملی می‌کنند، به‌ازای هر هکتار زمین یارانه نقدی و یارانه خرید ماشین و برای سوزاندن بقایای گیاهی جرائمی در نظر گرفته شده است. اجرای این قوانین به شیوه مرسوم امکان‌پذیر نیست و بنابراین لازم است با استفاده از فناوری‌های پیشرفته راهکاری دقیق، سریع و ارزان برای پایش مزارعی پیشنهاد شود که در آنها بقایای گیاهی را می‌سوزانند.

با توجه به مزایای خاک‌ورزی حفاظتی و زیان‌های ناشی از سوزاندن بقایای گیاهی، در سال‌های اخیر ترویج و آموزش خاک‌ورزی حفاظتی و حفظ بقایای گیاهی در مزرعه و تأمین ماشین‌ها و ابزار مورد نیاز آن در دستور کار سیاست‌گذاران بخش کشاورزی قرار گرفته است. در این راستا برای کشاورزانی که در مزارع خود برنامه خاک‌ورزی

در هند مقدار زیادی بقایای گیاهی پس از برداشت برنج و گندم در مزارع بر جای می‌ماند. هیچ‌گونه اطلاعات و آماری نیز درباره سوزاندن بقایای گیاهی در دسترس دولت نیست. در یک پژوهش، روش و نتیجه اندازه‌گیری مساحت نواحی که در آنها بقایای برنج و گندم آتش زده شده‌اند در سه ایالت با استفاده از تصاویر دو سنجنده هندی IRS-P6AwiFS و ISS-III بررسی و گزارش گردید. در این تحقیق، در فصل رشد، سطوحی با جی‌پی‌اس اندازه‌گیری شد که در آینده بعد از برداشت محصول، بقایای گیاهی آتش زده می‌شد. بعد از زمین مرجع کردن تصاویرهای ماهواره‌ای شاخص NDVI^۳ برای جداسازی مزارع از سایر نواحی مانند رودخانه، جنگل و ساختمان‌ها تولید گردید. فایل وکتوری برای این نواحی غیر کشاورزی تشکیل و در فرآیند طبقه‌بندی با یک ماسک^۴ از تصاویرهای مورد بررسی حذف شد و فقط تصاویرهای نواحی کشاورزی برای سایر پردازش‌ها باقی ماند. مساحت این نواحی محاسبه گردید. داده‌ها با روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده دسته‌بندی شدند. دقت کلی طبقه‌بندی ۹۰ درصد بود (Yadav et al., 2014).

در یک پژوهش به‌منظور پایش بقایای گیاهی آتش زده شده در مزارع، از تصاویر سنجنده لندست ETM+ و برای برداشت مشخصه طیفی^۵ بقایا، قبل و بعد از سوختن، از یک دستگاه اسپکترومتر استفاده شد. از تصاویرهای قبل و بعد از سوزاندن بقایای گیاهی برای جداسازی این نواحی استفاده و منطقه مورد مطالعه نیز با نرم‌افزار Erdas Imaging طبقه‌بندی شد (Sateesh et al., 2014).

در یک مطالعه، توانایی تصاویرهای سنجنده WorldView-2 برای تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک، شدت خاک‌ورزی، و پایش مزارع آتش زده شده با استفاده از شاخص‌های طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی ارزیابی شد. نتایج تحقیق نشان داد که با

هرگونه تلاش برای کم کردن شدت عملیات خاک‌ورزی، کاستن از عمق شخم یا سست کردن خاک را بدون برگرداندن آن، خاک‌ورزی حفاظتی می‌گویند. یکی از الزامات خاک‌ورزی حفاظتی، حفظ بقایای گیاهی محصول برداشت شده (حداقل ۳۰ درصد) در سطح خاک است. حفظ بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث حفظ رطوبت خاک، جلوگیری از شستشوی ذرات خاک (به‌ویژه در اراضی شیب‌دار) بر اثر ضربات باران، و کاهش فرسایش بادی می‌گردد. کاهش شدت برهم زدن خاک در روش خاک‌ورزی حفاظتی از خرد شدن و جابه‌جایی زیاد ذرات خاک و پودر شدن آن جلوگیری و ساختمان خاک را حفظ می‌کند (Godwin, 1990).

سنجش از دور، فناوری کسب اطلاعات در مورد پدیده‌ها از فاصله دور و بدون تماس با آنهاست که از سکوهایی مانند ماهواره‌ها، هواپیما، و پهپادها استفاده می‌شود. این فناوری به‌خوبی محدودیت‌های انسان را جبران می‌کند و جمع‌آوری اطلاعات را در مناطقی ممکن می‌سازد که انسان به‌دلیل گستردگی مناطق، هزینه‌های بالا، بُعد مسافت و خطرهای بالقوه نمی‌تواند به‌طور مستقیم شناسایی کند (Darvishsefat et al., 2014).

در آمریکا سوزاندن بقایا، برای آماده‌سازی سریع مزارع برای کشت بعد، رایج است. از این رو به‌منظور شناسایی مزارعی که در آنها بقایای گیاهی آتش زده می‌شود و نیز به‌منظور اعمال قوانین نظارتی، در یک پژوهش، امکان استفاده از روش ترکیبی را برای تخمین میزان آتش زدن بقایا بررسی کردند. برای این کار استفاده از شاخص طیفی ماهواره‌ای NBR^۱ مناسب تشخیص داده شد. نتایج پژوهش، همبستگی‌ای قوی ($R^2 = 0.92$) بین داده‌های سنجنده استر^۲ و اندازه‌گیری‌های زمینی را نشان داد (McCarty et al., 2007).

1- Normalized Burn Ratio Spectral Index
3- Normalized Difference Vegetation Index
5- Spectral Signature

2- ASTER
4- Mask

شهرهای نزدیک به مزارع است؛ سوزاندن بقایای گیاهی حوادث سوختگی را افزایش می‌دهد.

در یک پژوهش، توانایی تصویرهای سنجنده MODIS برای پایش مزارعی که در آنها بقایای گیاهی پس از برداشت محصول گندم آتش زده شده بود با استفاده از شاخص‌های طیفی ارزیابی شد. بدین منظور همبستگی داده‌های زمینی با شاخص‌های طیفی بررسی گردید. این کار با دو روش رگرسیون خطی و شبکه عصبی مصنوعی به‌انجام رسید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که با استفاده از تصویرهای سنجنده MODIS می‌توان به کمک شبکه عصبی مصنوعی محل مزرعه سوخته را شناسایی کرد ولی روش رگرسیون خطی نتایج قابل قبولی نداشت (Rostami et al., 2014).

در کشور ما برای پایش مزارعی که در آنها بقایای گیاهی آتش زده می‌شوند روشی مبتنی بر استفاده از فناوری سنجش از دور وجود ندارد، در این پژوهش توانایی تصویرهای سنجنده لندست ۸، به‌منظور معرفی یک روش سریع، دقیق و ارزان برای تعیین محل و مساحت مزارع سوخته، با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقه‌بندی نظارت‌نشده، و تشخیص تغییرات^۳ ارزیابی شد، تا بتوان به‌سادگی مزارع را شناسایی کرد و مقررات و مدیریت لازم را در پیشگیری این پدیده غیرعلمی به‌کار گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در مزارع گندم شهرستان ارزوئیه واقع در ۱۸۰ کیلومتری جنوب کرمان و ۱۰۴۴ متر ارتفاع از سطح دریا اجرا شد (28° 27' 29.07" N, 56° 21' 46.23" E) (شکل ۱). این شهرستان از مراکز عمده تولید گندم و ذرت در استان کرمان است.

استفاده از تصویرهای سنجنده WorldView-2 می‌تواند سطح مزارع سوخته را تعیین کرد. شاخص VARI شاخص تمایز برای مزارعی که در آنها بقایای گیاهی آتش زده شده است، در تصویرهای سنجنده WorldView-2 انتخاب و معرفی شد (Rostami, 2013).

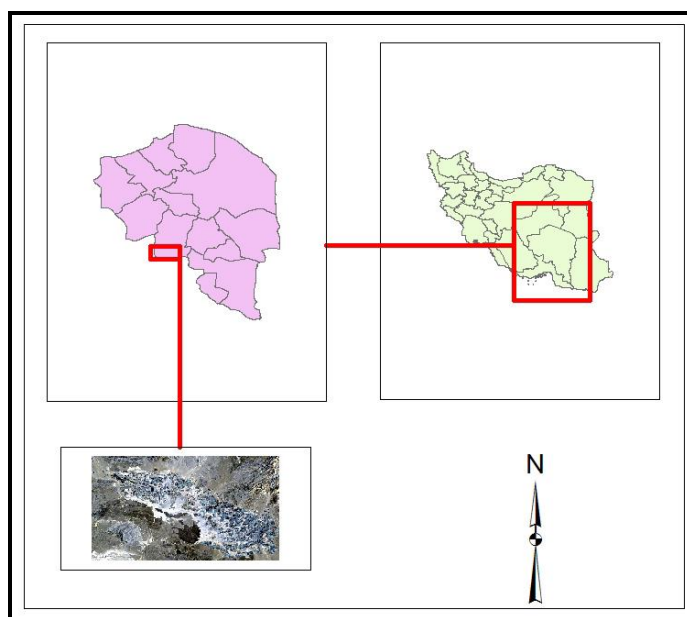
در یک تحقیق در مزارع ذرت و گندم، توانایی تصویرهای سنجنده لندست ۸ برای پایش مزارعی که در آنها بقایای گیاهی آتش زده شده با استفاده از آنالیز جداسازی طیفی خطی ارزیابی شد. بدین منظور چهار وضعیت سطح خاک شامل زمین خاکورزی نشده، زمین با بقایای گیاهی، زمین با پوشش گیاهی سبز و زمین با بقایای گیاهی سوزانده شده در نظر گرفته شد. سطح مزارع سوخته که با آنالیز جداسازی طیفی خطی تخمین زده شده بود، همبستگی مناسبی ($R^2=0/89$) با داده‌هایی داشت که از روش زمینی به‌دست آمده بود (Alinaghizadeh et al., 2016).

برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی در تصویرهای ماهواره‌ای، از معیارهای ارزیابی ماتریس خطا^۱ و ضریب کاپا^۲ استفاده می‌شود. در ماتریس خطا عنصرهای قطری بیانگر تعداد پیکسل‌هایی هستند که به‌طور صحیح طبقه‌بندی شده‌اند و در مقابل، المان‌های غیر قطری بیانگر پیکسل‌هایی هستند که به‌طور صحیح طبقه‌بندی نشده‌اند (Lillesand et al., 2014; Zeinali et al, 2016). ضریب کاپا تشریح‌کننده میزان تطابق بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است (Richards, 1999).

نتایج تحقیقات نشان داده است که بقایای محصولات زراعی را معمولاً کشاورزان از مزرعه بیرون می‌برند یا می‌سوزانند. به‌طور کلی سوزاندن بقایای گیاهی حاصلخیزی و مواد آلی خاک را کاهش می‌دهد و یکی از منابع مهم آلودگی هوا، تنگی نفس و سرفه کردن افراد در روستاها و

1- Confusion Matrix
3- Change Detection

2- Kappa Coefficient



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی، کرمان، ارزوئیه

دلیل استفاده از تصویرهای این سنجنده، در دسترس بودن و رایگان بودن آنها، تحت پوشش قرار دادن کل کشور، و تفکیک پذیری مکانی مناسب آن برای پایش مزارع کشاورزی است. تصویرهای سنجنده لندست بزرگ‌ترین مجموعه داده‌های سنجنده از دور زمین است که به‌طور مستمر جمع‌آوری شده است. چهار دهه از تصویرهای این سنجنده منبعی منحصر به فرد برای پایش مزارع کشاورزی است. این سنجنده برای اهدافی مانند مدیریت زمین و آب، اکتشاف نفت و معدن، پیش‌بینی عملکرد کشاورزی، تعیین آلودگی‌ها، تشخیص تغییرات در سطح زمین و نقشه‌برداری، طراحی و در مدار قرار گرفته است (Anon, 2017). نتایج پژوهش‌های متعدد مناسب بودن تصویرهای سنجنده لندست را برای پایش عملیات گوناگون کشاورزی به اثبات رسانده‌اند. در یک پژوهش به منظور شناسایی و تفکیک اراضی زیر کشت محصولات مختلف و تهیه نقشه انواع محصولات منطقه‌ای در اطراف مشهد از تصویرهای لندست (ETM+) استفاده شد. برای طبقه‌بندی تصویر، از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل حداکثر احتمال و شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده، ضریب کاپا و صحت کلی برای

در این پژوهش از ۱۰ تصویر سنجنده لندست ۸ استفاده شد؛ این تصویرها در تاریخ‌های ۹۳/۱۰/۲۳، ۹۳/۱۱/۲۵، ۹۳/۱۲/۱۱، ۹۴/۱/۳۱، ۹۴/۲/۱۵، ۹۴/۲/۳۱، ۹۴/۳/۱۶، ۹۴/۴/۱، ۹۴/۴/۱۷ و ۹۴/۵/۲ از منطقه برداشت شده بودند. از تصویرهای مربوط به زمستان ۹۳ برای استخراج داده‌های مزارع در سه حالت با پوشش سبز و از تصویرهای مربوط به بهار و تابستان برای استخراج داده‌هایی با پوشش بقایای گیاهی، بدون پوشش، و مزارع سوخته استفاده شد. این تصویرها کلیه مزارع آزمایشی را در برمی‌گیرد و در سه فرمت پانکروماتیک^۱ با قدرت تفکیک زمینی ۱۵ متر، چند طیفی با قدرت تفکیک ۳۰ متر، و حرارتی با قدرت تفکیک ۱۰۰ متر از وبگاه اینترنتی این سنجنده اخذ گردید؛ سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۲ تصحیحات اولیه رادیومتری و هندسی تصویرها را به عهده داشته است (Anon, 2015). اطلاعات و نمایی از تصویرهای گرفته شده با این سنجنده، بعد از برداشت، در وبگاه این سازمان قرار دارد و با دادن مختصات جغرافیایی منطقه مورد نظر، قابل دستیابی هستند. در این پژوهش برای طبقه‌بندی از ترکیب باندهای ۷-۱ تصویرهای سنجنده استفاده شد.

1- Panchromatic

2- U.S. Geological Survey (USGS)

بالایی دارند (Alipour et al., 2014). محدوده طیفی تصویرهای سنجنده لندست ۸ در جدول ۱ آورده شده است. برای اینکه تصویرها و رویداد آتش زدن مزارع، از نظر زمانی به هم نزدیک باشند، از اولین تصویر بعد از آتش زدن استفاده شد.

روش حداکثر احتمال به ترتیب ۸۲ و ۸۵ درصد و برای شبکه عصبی به ترتیب ۸۴ و ۸۷ درصد برآورد شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که تصویرهای ماهواره‌ای مورد استفاده برای تفکیک سریع اراضی زراعی، تهیه نقشه انواع محصولات در منطقه، و تعیین سطح زیر کشت با دقت نسبتاً مناسب در مقیاس منطقه‌ای قابلیت

جدول ۱- محدوده طیفی باندهای تصاویر لندست ۸ (USGS, 2015)

مشخصه باند (میکرومتر)	پهنای باند (میکرومتر)	تفکیک پذیری (متر)
۱ (ساحلی) (۰/۴۴۳)	۰/۴۳۳-۰/۴۵۳	۳۰
۲ (آبی) (۰/۴۸۲۵)	۰/۴۵۰-۰/۵۱۵	۳۰
۳ (سبز) (۰/۵۶۲۵)	۰/۵۲۵-۰/۶۰۰	۳۰
۴ (قرمز) (۰/۶۵۵)	۰/۶۳۰-۰/۶۸۰	۳۰
۵ (مادون قرمز نزدیک) (۰/۸۶۵)	۰/۸۴۵-۰/۸۸۵	۳۰
۶ (مادون قرمز موج کوتاه ۱) (۱/۶۱۰)	۱/۵۶۰-۱/۶۶۰	۶۰
۷ (مادون قرمز موج کوتاه ۲) (۲/۲۰۰)	۲/۱۰۰-۲/۳۰۰	۳۰
۸ (تک طیفی) (۰/۵۹۰)	۰/۵۰۰-۰/۶۸۰	۱۵
۹ (ابر) (۱/۳۷۵)	۱/۳۶۰-۱/۳۹۰	۳۰
۱۰ (مادون قرمز حرارتی ۱) (۱۰/۹۰)	۱۰/۶-۱۱/۲	۱۰۰
۱۱ (مادون قرمز حرارتی ۲) (۱۲/۰۰)	۱۱/۵-۱۲/۵	۱۰۰

رادئومتریک ابتدا داده‌های خام پیکسل‌ها (داده‌های دیجیتالی) به تابندگی^۴ تبدیل و پس از آن با تصحیح اتمسفری، داده‌های تابندگی به بازتاب طیفی سطحی^۵ تبدیل شد. در این فرایند، هم خطاهای اتمسفری تصحیح شد و هم داده دیجیتالی خام به بازتاب طیفی سطحی تبدیل گردید که قابلیت لازم را برای محاسبه شاخص‌های طیفی، استفاده در طبقه‌بندی، و سایر پردازش‌ها دارد.

تصویرهای سنجنده‌هایی که در سال‌های اخیر در مدار قرار گرفته‌اند همگی تصحیح هندسی و زمین مرجع می‌شوند. همان‌گونه که اشاره شد سازمان زمین‌شناسی آمریکا تصحیح هندسی و زمین مرجع‌سازی تصویرهای مورد استفاده در این پژوهش را به‌عهده داشته است

در کلیه مراحل پیش‌پردازش و پردازش‌های لازم روی تصویرها، نرم‌افزار ENVI 5.1 و ArcGIS 10.1 به کار گرفته شد، از جمله برای کنترل زمین مرجع‌سازی^۱ تصویرها، تبدیل داده‌های دیجیتالی^۲ پیکسل‌ها به بازتاب طیفی^۳ و استخراج داده‌های طیفی در تصویرهای مورد مطالعه.

در سنجنده‌هایی که قدرت تفکیک مکانی بالایی دارند مانند تصویرهای سنجنده‌های IKONOS و Quick Bird تصحیحات هندسی اهمیت بالاتری دارد اما در سنجنده‌هایی مانند لندست ۸، با قدرت تفکیک مکانی بیش از ۱۰ متر، تصحیحات رادئومتریک با اهمیت‌تر است. به‌همین علت ابتدا تصحیحات رادئومتری تصویرهای مورد استفاده در این پژوهش با دقت اجرا شد. برای تصحیحات

1- Georeferencing

3- Reflectance

5- Surface Reflectance

2- Digital Number (DN)

4- Radiance

و برای اعتبارسنجی نتایج نیز ۶۰ مزرعه و به‌طور کلی ۱۲۰ مزرعه بود. مختصات مکانی مزارع آزمایشی با یک دستگاه جی‌پی‌اس ثبت و با استفاده از این مختصات، به کمک نرم‌افزار ArcGis 10.1، نقشه مزارع آزمایشی رسم و مساحت آنها محاسبه شد. با انطباق نقشه‌ها بر تصویرهای ماهواره‌ای، محل مزارع آزمایشی در این تصویرها تعیین گردید.

روش طبقه‌بندی نظارت‌شده

طبقه‌بندی نظارت‌شده با بازدیدهای میدانی متعدد و به روش حداکثر احتمال^۱ دنبال شد. در این روش، میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می‌شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی استفاده می‌شود. به بیان دیگر، برای بررسی نحوه توزیع ارزش‌های طیفی و احتمال آماری، ارتباط یک پیکسل با یکی از گروه‌های نمونه، از ماتریس واریانس و بردار میانگین استفاده می‌شود که خود، واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی را تعریف می‌کنند. این روش از سایر روش‌های موجود برای طبقه‌بندی دقیق‌تر است (Zobeiry & Majd, 2014). به این منظور برای هر یک از پوشش‌های چهارگانه سطح مزارع آزمایشی، پلات‌های تعلیمی شناسایی و با جی‌پی‌اس گارمین^۲ مختصات آنها یادداشت گردید. سپس این پلات‌ها در تصویرهای سنجنده لندست به‌عنوان ROI^۳ به نرم‌افزار معرفی گردید. برای فرآیند طبقه‌بندی مزارع آزمایشی از پلات‌های تعلیمی استفاده شد و مساحت آن دسته از مزارعی تعیین گردید که مزارع سوخته با طبقه‌بندی نظارت‌شده معرفی شده بودند.

به این ترتیب پس از تعیین مساحت هر یک از مزارعی که در طبقه‌بندی کنترل شده به‌عنوان مزارع سوخته معرفی شدند، دو سری داده نظیر- یعنی سطح سوختگی که در تصویر ماهواره‌ای و با استفاده از طبقه‌بندی کنترل

اما برای کنترل زمین مرجع‌سازی، تصویرها در این تحقیق به‌کمک نقاط کنترل زمینی و معادلات نمونه‌گیری مجدد تصحیح شدند. برای تصحیح هندسی تصویرها از ۲۰ نقطه کنترل زمینی و نیز از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شد. برای تبدیل مختصات، به علت نبودن اعوجاج در تصویرها از تابع درجه اول و برای نمونه‌گیری مجدد ارزش پیکسل‌های تصویر تصحیح نشده از روش نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. میزان خطای زمین مرجع‌سازی تصویرهای مورد استفاده در این پژوهش با استفاده از نقاط کنترل زمینی بین ۰/۴ تا ۰/۴۸ پیکسل برآورد گردید.

در خلال این پژوهش، مزارع موجود در منطقه مورد مطالعه چهار نوع پوشش سطحی داشته است: خاک (مزرعه بدون پوشش)، بقایای گیاهی (بقایای برجامانده پس از برداشت محصول)، گیاه سبز و خاکستر (بقایای محصول آتش زده شده). در این پژوهش برای تفکیک مزارعی که در آنها بقایای گیاهی آتش زده شده بود از سایر مزارع، از سه روش استفاده شد:

۱. روش طبقه‌بندی نظارت‌شده
۲. روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده
۳. روش تشخیص تغییرات

در این پژوهش، ۱۲ مزرعه با بقایای گیاهی آتش زده شده، ۱۲ مزرعه سبز، ۱۲ مزرعه با پوشش بقایای گیاهی و ۱۲ مزرعه بدون پوشش (خاک) یعنی ۱۲ تکرار و چهار نوع پوشش سطحی در نظر گرفته شد. مساحت مزارع آزمایشی بین ۲/۲ تا ۷/۶ هکتار و رطوبت خاک در مزارع سبز ۱۴-۱۲ درصد و در مزارع با پوشش بقایای گیاهی، بدون پوشش و مزارع سوخته ۱۰-۸ درصد بود. برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، ۱۲ مزرعه سوخته، ۹ مزرعه سبز، ۱۸ مزرعه با پوشش بقایا و ۲۱ مزرعه دیگر بدون بقایای گیاهی در نظر گرفته شد، بنابراین تعداد مزارع آزمایشی برای اجرای این پژوهش ۶۰

1- Maximum Likelihood

2- GARMIN GPS

3- Region of Interest

شدید رنگ سطح خاک پس از آتش زدن بقایای گیاهی و همچنین تغییر جنس پوشش (از بقایای گیاهی به خاکستر)، تصویرهای قبل از سوختگی و بعد از آن، از طریق تفاضل مورد مقایسه طیفی قرار گرفت. بدین صورت تغییرات ایجاد شده در سطح تصویر آشکار و سطح و محل آتش سوزی تعیین شد.

معیارهای ارزیابی دقت طبقه‌بندی: برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی در تصویرهای ماهواره‌ای نیز از معیارهای ارزیابی ماتریس خطا و ضریب کاپا استفاده و از بین سه روش مورد مطالعه بهترین روش برای پایش مزارع آتش زده شده معرفی شد. برای این کار روشی معرفی شد که نتایج به دست آمده از آن به نتایج اندازه‌گیری‌های میدانی نزدیک تر بود.

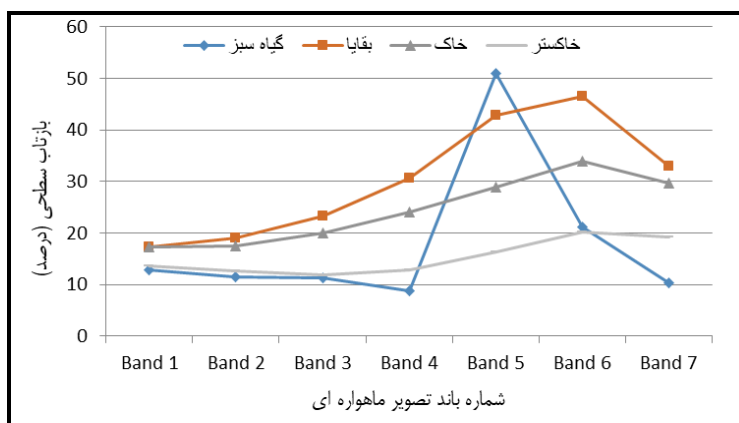
نتایج و بحث

شکل ۲، منحنی پاسخ طیفی چهار عارضه سطح مزارع آزمایشی شامل خاک، گیاه سبز، بقایای گیاهی و خاکستر را نشان می‌دهد که از تصویر لندست ۸ به منظور بررسی رفتار طیفی عوارض استخراج شده است.

شده تعیین شده و سطح سوختگی واقعی در زمین که به صورت میدانی با استفاده از GPS و رسم نقشه توسط ArcGIS برداشت شده بود- وجود داشت. همبستگی این داده‌های نظیر بررسی و دقت تخمین سطح سوختگی تعیین گردید. سرانجام سطح سوختگی در زمین با یک منحنی رگرسیون خطی به صورت تابعی از سطح سوختگی در تصویر ماهواره‌ای بیان شد.

روش طبقه‌بندی نظارت نشده: طبقه‌بندی نظارت نشده با الگوریتم خوشه‌بندی K-Mean اجرا گردید. به این منظور فرایند طبقه‌بندی مزارع آزمایشی با ۴ کلاس، به علت وجود چهار نوع پوشش سطحی در مزارع آزمایشی، اجرا و مساحت مزارعی تعیین شد که مزارع سوخته با طبقه‌بندی نظارت نشده معرفی شدند. به این ترتیب پس از تعیین مساحت هر یک از مزارعی که در طبقه‌بندی کنترل نشده به عنوان مزارع سوخته معرفی شدند، مانند روش قبل، سطح سوختگی در زمین با یک منحنی رگرسیون خطی به صورت تابعی از سطح سوختگی در تصویر ماهواره‌ای بیان شد.

روش تشخیص تغییرات: در این پژوهش به علت تغییرات



شکل ۲- نمودار پاسخ طیفی

کمی با هم دارند؛ اما در باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز طول موج کوتاه (باند ۵ و ۶) تباین بین طیف بازتاب یافته از این چهار عارضه بیشتر است. در این محدوده،

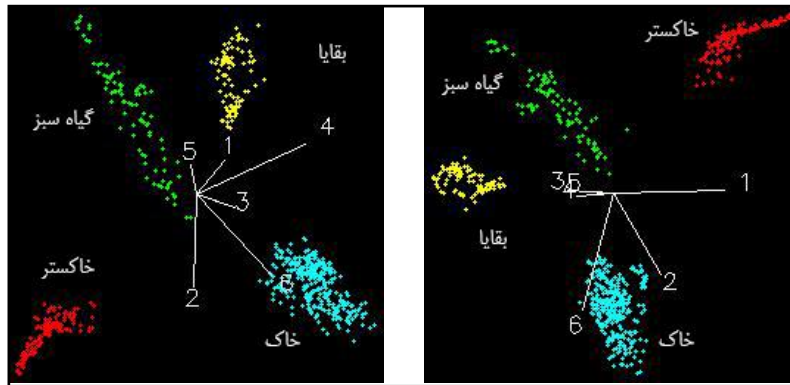
در شکل ۲ مشاهده می‌شود که طیف بازتاب یافته از چهار عارضه در باندهای ساحلی، آبی، سبز و قرمز تصویر (باند ۱ تا ۴ و ۷) تقریباً بر هم منطبق‌اند یا تفاوت بازتاب

تمایز قائل شد و بدین صورت محل و مساحت مزارعی را تعیین کرد که در آنها بقایای گیاهی آتش زده شده است. در نمودار واکنش طیفی (شکل ۲) مشاهده می‌شود که گیاه سبز به علت جذب نور توسط کلروفیل، کمترین بازتاب را دارد و از این رو نمودار واکنش طیفی گیاه سبز پایین‌تر از سایر نمودارها قرار دارد. در محدوده مادون قرمز نزدیک (۷۰۰ تا ۳۱۰۰ نانومتر)، مقدار جذب و عبور کاهش و در نتیجه میزان انعکاس به شکلی قابل توجه افزایش پیدا می‌کند. این اتفاق در نمودار طیفی خاک، بقایای گیاهی، خاکستر و گیاه سبز از باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) به بعد افتاده است. همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود میزان بازتاب در باند ۵ برای گیاه سبز به یک‌باره افزایش یافته است. دلیل این موضوع واکنش کلروفیل در طول موج مادون قرمز نزدیک است (Bannari *et al.*, 2006; Pacheco & McNairn, 2010; Pacheco & McNairn, 2011).

شکل ۳ نحوه خوشه‌بندی نمونه‌های تعلیمی را نشان می‌دهد که به صورت میدانی تعیین محل شده‌اند و برای طبقه‌بندی نظارت‌شده به نرم‌افزار تعلیم داده شده است. نتایج به دست آمده از بررسی شکل ۳ نشان می‌دهد که چهار عارضه سطح مزارع آزمایشی شامل خاک، گیاه سبز، بقایای گیاهی و خاکستر به‌طور واضح از یکدیگر جدا هستند و بنابراین جداسازی این عوارض و به‌ویژه مزارعی که بقایای گیاهی در آنها آتش زده شده بود به راحتی امکان‌پذیر است، زیرا خوشه خاکستر با فاصله‌ای زیاد از سایر عوارض مجزا است اگرچه خوشه مربوط به گیاه سبز اندکی دارای تفرق است و احتمالاً جداسازی گیاه سبز از خاکستر اندکی دشوارتر خواهد بود.

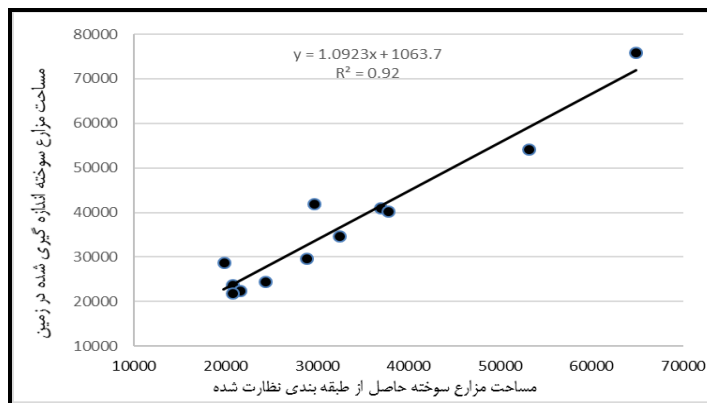
به‌ویژه تباین بین طیف بازتاب یافته از گیاه سبز با سه عارضه دیگر بسیار زیاد است و این طیف به علت بازتاب نور توسط کلروفیل گیاه سبز در محدوده مادون قرمز نزدیک، افزایش ناگهانی دارد که برای تمایز قائل شدن بین خاکستر با گیاه سبز بسیار مفید است. در یافته‌های مشابه، استفاده از باندهای مادون قرمز برای جداسازی بقایای گیاهی سوخته از بقایای گیاهی، خاک و گیاه سبز برای تصویرهای سایر ماهواره‌ها، حتی با قدرت تفکیک مکانی کمتر از تصویر مورد استفاده در این تحقیق گزارش شده است (Bannari *et al.*, 2006; Pacheco & McNairn, 2011; Pacheco & McNairn, 2010). همان‌گونه که در شکل ۲ مشاهده می‌شود پاسخ طیفی گیاه سبز و خاکستر در باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۶ و ۷ تصویر بسیار به هم نزدیک است (تفاوت بازتاب بین ۰ تا ۱۰ درصد) اما در باند ۵ (مادون قرمز نزدیک) تباین بسیار خوبی دارند (تفاوت بازتاب حدود ۴۰ درصد). نمودار مربوط به خاکستر با نمودار خاک و بقایای گیاهی تباین قابل قبولی دارد (تفاوت بازتاب بین ۱۰ تا ۴۰ درصد). به علت نزدیک بودن رفتار طیفی گیاه سبز و خاکستر بقایای گیاهی در ۶ باند از باندهای تصویر، تمایز قائل شدن بین مزارع سوخته و گیاه سبز دشوار است و اگر افزایش ناگهانی بازتاب گیاه سبز در محدوده مادون قرمز نبود شاید جداسازی هم ناممکن بود و از این رو، استفاده از باند مادون قرمز کمک زیادی به جداسازی این دو عارضه می‌کند؛ اما جداسازی این عارضه از خاک و بقایای گیاهی به راحتی امکان‌پذیر است. با توجه به تباین قابل توجه بازتاب گیاه سبز و خاکستر در باند ۵ می‌توان دریافت که در صورت به‌کارگیری صحیح روش‌های جداسازی طیف‌های تصویرهای ماهواره‌ای می‌توان بین خاکستر با عوارض موجود در سطح خاک، به‌ویژه گیاه سبز

پایش مزارع دارای بقایای سوخته با...



شکل ۳- خوشه‌بندی نمونه‌های تعلیمی

شکل ۴ همبستگی بین مساحت مزارع سوخته را (که با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، در تصویر ماهواره‌ای از سایر مزارع تفکیک شده‌اند) با مساحت مزارع سوخته در زمین (که به شیوه میدانی به کمک نرم‌افزار موجود در جی‌پی‌اس محاسبه شده است) نشان می‌دهد.



شکل ۴- نمودار همبستگی بین مساحت مزارع سوخته حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده و اندازه‌گیری میدانی

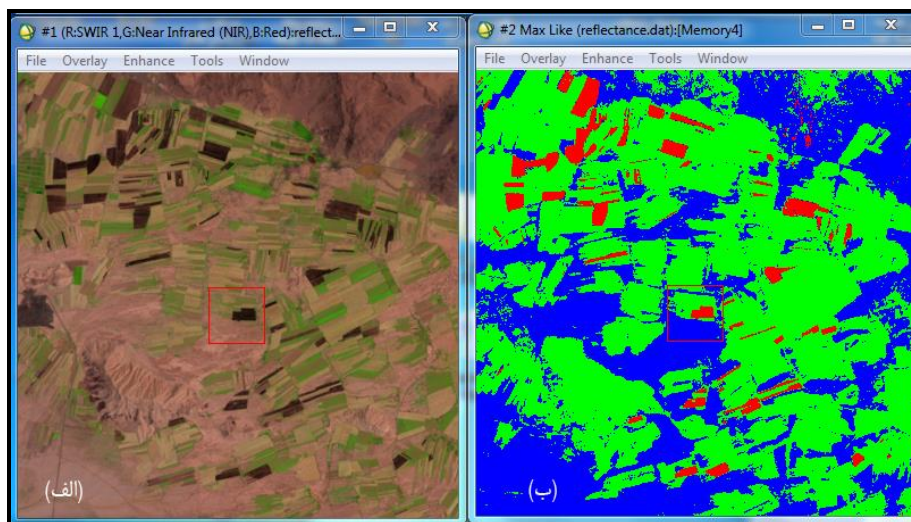
برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده، طبقه‌بندی و جداسازی ۶۰ مزرعه دیگر نیز انجام شد که مشتمل بودند بر ۱۲ مزرعه سوخته، ۹ مزرعه سبز، ۱۸ مزرعه با پوشش بقایای گیاهی و ۲۱ مزرعه بدون پوشش بقایای گیاهی. نتایج ماتریس خطا و ضریب کاپا در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این ماتریس، صحت کلی، ۹۶/۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۳ به‌دست آمده است.

جدول ۲- ماتریس خطا برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده

طبقه	خاکستر	گیاه سبز	بقایای گیاهی	خاک	جمع	صحت کاربر (درصد)
خاکستر	۱۲	۰	۰	۰	۱۲	۱۰۰
گیاه سبز	۰	۸	۰	۱	۹	۸۸/۹
بقایای گیاهی	۰	۰	۱۸	۰	۱۸	۱۰۰
خاک	۰	۱	۰	۲۰	۲۱	۹۵/۲
جمع	۱۲	۹	۱۸	۲۱	۶۰	
صحت تولیدکننده (درصد)	۱۰۰	۸۸/۹	۱۰۰	۹۵/۲		

صحت کلی ۹۶/۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۳

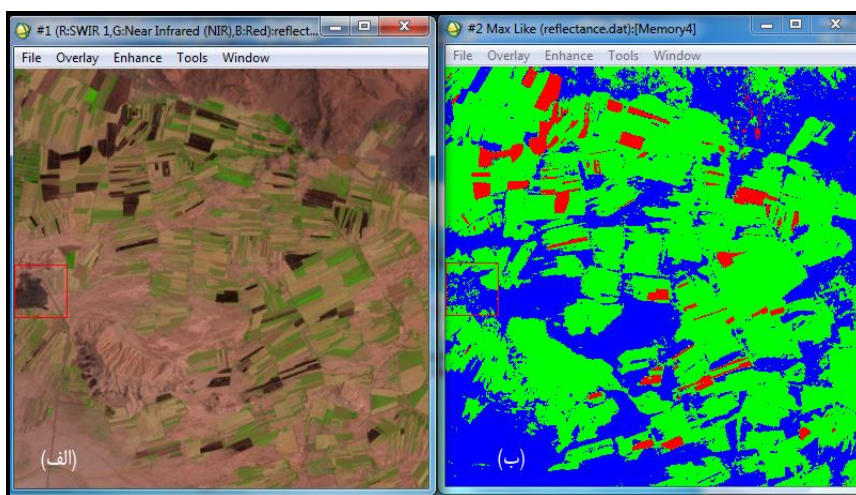
شکل ۵، تصویر سنجنده لندست ۸ را از مزارع آزمایشی در یک بلوک، قبل و بعد از طبقه‌بندی نظارت‌شده، نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که طبقه‌بندی به‌خوبی اجرا شده است و مزارع سوخته با دقت بالایی از سایر مزارع تفکیک شده‌اند.



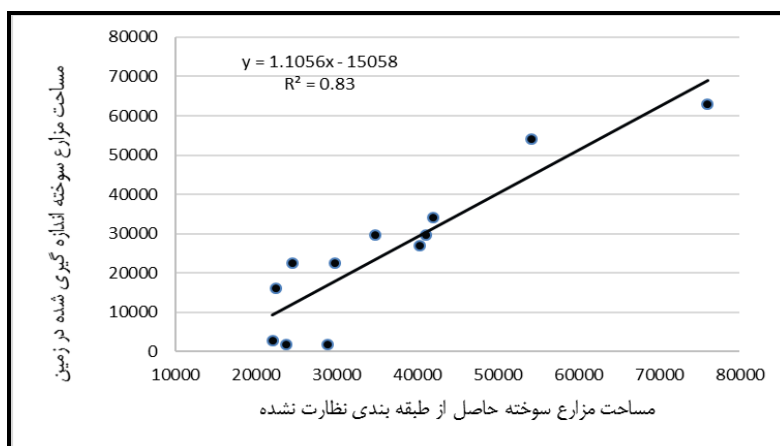
شکل ۵- تفکیک مزارع آزمایشی با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در تصویر لندست-۸ (الف- قبل از طبقه‌بندی و ب- بعد از طبقه‌بندی)

در شکل ۶، یک مزرعه با لکه تیره در داخل کادر نشان داده شده است که این تیرگی، بر اساس مشاهدات میدانی، ناشی از سوختگی بقایای محصول نیست؛ با طبقه‌بندی نظارت‌شده و جداسازی مزارع سوخته به کمک آن مشاهده می‌شود که این لکه در زمهره مزارع سوخته قرار نگرفته است.

شکل ۷، همبستگی مساحت مزارع سوخته را (که با روش طبقه‌بندی نظارت‌نشده، در تصویر ماهواره‌ای، از سایر مزارع تفکیک شدند) با مساحت مزارع سوخته در زمین (که به‌شیوه میدانی محاسبه شده است) نشان می‌دهد.



شکل ۶- تفکیک مزارع آزمایشی با روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در تصویر لندست-۸ (الف- قبل از طبقه‌بندی و ب- بعد از طبقه‌بندی)



شکل ۷- نمودار همبستگی مساحت مزارع سوخته حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌نشده و اندازه‌گیری شده میدانی

برای اعتبارسنجی نتایج به‌دست‌آمده از این روش نیز مجدداً طبقه‌بندی و جداسازی همان ۶۰ مزرعه انجام شد که برای اعتبارسنجی نتایج در نظر گرفته شده بود. نتایج ماتریس خطا و ضریب کاپا در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس نتایج این ماتریس، صحت کلی ۷۱/۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۱ به‌دست آمده است.

جدول ۳- ماتریس خطا برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌نشده

طبقه	خاکستر	گیاه سبز	بقایا	خاک	جمع	صحت کاربر (درصد)
خاکستر	۹	۳	۰	۰	۱۲	۷۵
گیاه سبز	۲	۶	۰	۱	۹	۶۶/۷
بقایا	۰	۰	۱۳	۵	۱۸	۷۲/۲
خاک	۰	۰	۶	۱۵	۲۱	۷۱/۴
جمع	۱۱	۹	۱۹	۲۱	۶۰	
صحت تولیدکننده (درصد)	۸۱/۸	۶۶/۷	۶۸/۴	۷۱/۴		

صحت کلی ۷۱/۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۶۱

روش برای ردیابی آتش‌سوزی فعال یا خاکستر به‌جا مانده از آن در جنگل‌ها مفید باشد که وسعتشان زیاد است و پوشش بخشی بزرگ از تصویر در سراسر سال چندان دستخوش تغییرات نمی‌شود؛ دقت این روش برای مزارعی پایین است که در فاصله‌های زمانی کوتاه انواع فعالیت‌ها در آنها باعث بروز تغییرات در سطح زمین می‌شود.

نتیجه‌گیری

وضع قوانین تشویقی برای اجرای کشاورزی حفاظتی و

نتایج به‌دست آمده از روش تشخیص تغییرات (مقایسه تصویرها) نشان می‌دهد که تغییرات یادشده قابل ردیابی هستند اما به‌علت اینکه در فاصله زمانی بین دو تصویربرداری، در برخی مزارع دیگر تغییراتی مانند شخم‌زدن، برداشت محصول، زرد شدن رنگ محصول، کشت و سایر فعالیت‌های کشاورزی ادامه داشته است که باعث ایجاد تغییراتی در سطح زمین می‌شود تغییرات ردیابی شده فقط مختص سوزاندن بقایای گیاهی نبود و نمی‌توان دقیقاً محل سوختگی و مساحت آن را با این روش در مزارع تعیین کرد. به نظر می‌رسد استفاده از این

مناسبی (صحت کلی ۹۶/۶ درصد و ضریب کاپا ۰/۹۳) تعیین کرد. به علت تغییرات پی‌درپی شرایط سطحی مزارع آزمایشی، در فاصله زمانی بین دو تصویربرداری سنجنده لندست، مانند شخم زدن، کاشت و سبز شدن محصول کاشته شده، با روش تشخیص تغییرات نمی‌توان مزارعی را به خوبی پایش کرد که بقایای گیاهی در آنها آتش زده می‌شود زیرا به غیر از سوزاندن بقایای گیاهی تغییرات دیگری نیز پایش و ثبت می‌شود و از این رو جداسازی آنها دشوار است. بنابراین به نظر می‌رسد روش تشخیص تغییرات برای پایش آتش‌سوزی در جنگل‌ها و منابع طبیعی مفید باشد که در فاصله زمانی دو تصویربرداری تغییرات قابل توجه دیگری در عارضه‌ها به وجود نمی‌آید. اگرچه طبقه‌بندی نظارت نشده برای پایش مزارع سوخته روش برتر تشخیص داده نشد ولی اگر هیچ‌گونه شناختی از منطقه مورد بررسی وجود نداشته باشد این روش نیز می‌تواند با صحت کلی ۷۱/۶ درصد مزارع سوخته را جداسازی کند.

وضع قوانین تنبیهی برای سوزاندن بقایای گیاهی در کشور راهکاری است که سازمان‌های اجرایی آغاز کرده‌اند اما این راهکار به علت مشکل شناسایی این مزارع متوقف شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که برای تعیین محل و مساحت مزارعی که بقایای گیاهی در آنها آتش زده شده است تصویرهای سنجنده لندست ۸ توانایی لازم را دارند. خلاصه نتایج به دست آمده از این پژوهش در جدول ۴ آورده شده است. این جدول نشان می‌دهد که از بین سه روش مورد بررسی (یعنی طبقه‌بندی نظارت شده، طبقه‌بندی نظارت نشده و روش تشخیص تغییرات)، روش طبقه‌بندی نظارت شده برای تعیین محل و تخمین مساحت مزارع سوخته مناسب است زیرا تطبیق نتایج ماهواره‌ای با نتایج میدانی در آن بالاست. بدین صورت می‌توان با ورود نمونه‌های تعلیمی یا با استفاده از کتابخانه طیفی، عوارض مختلف موجود در سطح خاک را برای نرم‌افزار ENVI معرفی و پس از طبقه‌بندی نظارت شده، محل و همچنین مساحت مزارع سوخته را با دقت بسیار

جدول ۴- خلاصه نتایج حاصل از پژوهش

نتایج	طبقه‌بندی نظارت شده	طبقه‌بندی نظارت نشده
صحت کلی (درصد)	۹۶/۶	۷۱/۶
ضریب کاپا	۰/۹۳	۰/۶۱
ضریب تبیین	۰/۹۲	۰/۸۳

مراجع

- Alinaghizadeh, F., Doulati, M., Rostami, M. A., Boroumand, N. and Zeiaaddini, A. 2016. Remote sensing of burned residues in fields using linear spectral unmixing analysis. The 10th National Congress on Biosystems Engineering. University of Ferdousi, Mashhad. Iran. (in Persian)
- Alipour, F., Aghkhani, M., Abasspour-Fard, M. and Sepehr, A. 2014. Demarcation and estimation of agricultural lands using etm+ imagery data (case study: Astan Ghods Razavi great farm). J. Agric. Mach. 4(2): 244-254. (in Persian)
- Anon. 2015. Landsat 8 Data Products. Available at: <http://landsat.usgs.gov>.
- Anon. 2017. Landsat Project Description. <https://landsat.usgs.gov>.

- Bannari, A., A. Pacheco, K. Staenz, H. McNairn, and K. Omari. 2006. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. *Remote Sensing of Environment* 104: 447-459.
- Darvishsefat, A. A., Pir-Bavaghar, M. and Rajab-Pourrahmati, M. 2014. *Remote Sensing for GIS Managers*. University of Tehran Pub. (in Persian)
- Godwin, R. J. 1990. *Tillage for Crop Production in Areas of Low Rainfall*. Food and Agriculture Organization of the United Nation. ISBN-10: 9251025428.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W. and Chipman, J. 2014. *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- McCarty, J. L., Justice, C. O. and Korontzi, S. 2007. Agricultural burning in the southeastern United States detected by Modis. *Remote Sens. Environ.* 108, 151-62.
- Pacheco, A. and McNairn, H. 2010. Evaluating multispectral remote sensing and spectral unmixing analysis for crop residue mapping. *Remote Sens. Environ.* 114, 2219-2228.
- Pacheco, A. and McNairn, H. 2011. Mapping Crop Residue Cover over Regional Agricultural Landscapes in Canada. Available at: <http://www.isprs.org>.
- Richards, J. A. 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis*. Springer.
- Rostami, M. A. 2013. Development of a comprehensive monitoring system in conservation tillage practices using remote sensing technology. Ph. D. Thesis. Faculty of Agriculture. Shiraz University, Shiraz, Iran. (in Persian)
- Rostami, M. A., Raoufat, M. H. and Afzaligorouh, H. 2014. Establishing a system for monitoring the burning of plant remains in the fields using the Remote Sensing technology. 1st National Conference on Sustainable Management of Soil and Environmental Resources. Sep. 10-11. Shahid Bahonar University, Kerman, Iran. (in Persian)
- Sateesh, K., Singh, R. P., Prasad, A. R. and Kumar, D. A. 2014. Extraction of crop residue burnt field and its impact on soil fertility (case study of Central Madhya Pradesh, India). *Int. J. Sci. Res. Agr. Sci.* 1(8): 156-164.
- Yadav, M., Sharma, M. P., Prawasi, R., Khichi, R., Kumar, P., Mandal, V. P., Salim, A. and Hooda, R. S. 2014. Estimation of wheat/rice residue burning areas in major districts of Haryana, India, using remote sensing data. *J. Indian Soc. Remote Sensing*, 42(2): 343-352.
- Zeinali, M., Jaafarzadeh, A., Shahbazi, F., Oustan, S. and Valizadeh-Kamran, K. 2016. Soil salinity surface assessment by pixel base method based on TM landsat (case study: in the lands of east of Khoy). *Geogr. Data.* 25(99): 127-139. (in Persian)
- Zobeiry, M. and Majd, A. R. 2014. *An Introduction to Remote Sensing Technology and its Application in Natural Resources*. Tehran University Pub. (in Persian)



Monitoring of Farm with Burned Residues using Satellite Images

M. A. Rostami* and H. Afzali-Gorouh

* Corresponding Author: Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Resource Research and Education Center, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Kerman, Iran. Email: marostami1351@gmail.com

Received: 1 May 2017, Accepted: 5 December 2017

Crop residue management is very important in farmlands. Conservation and proper management of residues, improves soil structure, retain moisture and reduces soil erosion. Whereas, crop residue burning converts organic material into ash, increases soil erosion and moisture loss from feild. The aim of present study was to research for accurate, fast and inexpensive methods for monitoring farms where crop residues are burned. keeping this in view, the potential of Landsat 8 sensor local data for monitoring residue burning was evaluated, using three classification methods including; supervised classification, unsupervised classification and detection of changes. Total number of 120 farms with 4 different surface coverage namely: plant residue, soil, green plant and residue ash were considered. Burned field's location and their area were determined through satellite image with tree methods and their results were compared with field results. The results showed that due to successive changes in surface conditions of experimental farms, between two satellite imagery, such as tillage, seed planting and planted crop emergence, the satellite imagery could not be monitor the burned farms appropriately. Location and estimation of burned farm area by supervised classification was done with high accuracy. Overall classification accuracy of supervised classification method was 96.6, kappa coefficient was 0.93 and R2 was 0.92. Although by the unsupervised classification method some burned farms were separated, but overall classification accuracy and kappa coefficient of this method was low (71.6 and 0.61 respectively). Finally and based on the results it can be suggested that, supervised classification was chosen for farms remote sensing, where crop residues are burned.

Keywords: Change Detection, Crop Residue, Landsat 8 Sensor, Supervised Classification, Unsupervised Classification