

پایش درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی با بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور

محمدعلی رستمی* و محمدحسین رئوفت**

* نگارنده مسئول: کرمان، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان، ص. پ. ۵۳۸-۷۶۱۷۵، تلفن: ۰۳۴)۳۲۱۱۲۳۹۱، پیام‌نگار: marostamy@yahoo.com
** به‌ترتیب استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان؛ و استاد گروه مکانیک ماشین‌های کشاورزی دانشگاه شیراز
تاریخ دریافت: ۹۲/۱/۱؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۱۸

چکیده

در این مطالعه، برای تخمین دو معیار مهم ارزیابی کیفی خاک‌ورزی حفاظتی، یکی درصد پوشش بقایای گیاهی و دیگری شدت خاک‌ورزی، از فناوری سنجش از دور استفاده شده است. توانایی داده‌های تصویر چندطیفی سنجنده WorldView-2 با استفاده از یازده شاخص طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی ارزیابی شد. بدین منظور در مزارع گندم منطقه مرودشت در استان فارس، پس از برداشت ۱۲۰ پلات آزمایشی در نظر گرفته شد. در این پلات‌ها درصد پوشش بقایای گیاهی سطح خاک با روش خط مورب اندازه‌گیری و ثبت شد. داده‌های ماهواره‌ای از تصویر سنجنده WorldView-2 استخراج و همبستگی درصد پوشش بقایای گیاهی در زمین، با داده‌های تصاویر ماهواره‌ای بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک با شاخص‌های IPVI، RVI 1 و GNDVI همبستگی بالایی دارد ($R^2 = 0.84 - 0.85$). درصد پوشش بقایای گیاهی در تصویر ماهواره‌ای، که با آنالیز جداسازی طیفی خطی تخمین زده شده بود، با داده‌های به‌دست آمده از روش خط مورب، که در پلات‌های آزمایشی اندازه‌گیری شدند، همبستگی مناسبی دارد ($R^2 = 0.76$). برای پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در مزارع مورد مطالعه، دو شاخص طیفی IPVI و RVI 1 انتخاب شدند که بالاترین همبستگی با درصد پوشش بقایای گیاهی را در سطح خاک نشان دادند. دقت طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی به کمک این دو شاخص در شرایط مختلف ۱۰۰ - ۸۳ درصد است.

واژه‌های کلیدی

آنالیز جداسازی طیفی، تصاویر چندطیفی، خاک‌ورزی حفاظتی، شاخص‌های طیفی، ماهواره

مقدمه

محصول قبلی (حداقل ۳۰ درصد) در سطح یا نزدیک سطح خاک باقی می‌ماند. حفظ بقایای گیاهی در سطح یا نزدیک سطح خاک در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی باعث حفظ رطوبت خاک، جلوگیری از شستشوی ذرات خاک بر اثر ضربات قطره‌های باران به‌ویژه در اراضی شیب‌دار، و کاهش فرسایش بادی می‌شود. کاهش شدت بر هم زدن خاک در روش خاک‌ورزی حفاظتی از خرد شدن و

گادوین (Godwin, 1990) هدف از خاک‌ورزی حفاظتی را کاهش شدت عملیات خاک‌ورزی و مدیریت بقایای گیاهی موجود در سطح خاک می‌داند. هرگونه تلاش برای کم کردن شدت عملیات خاک‌ورزی، کاستن از عمق شخم، یا سست کردن خاک (بدون برگرداندن آن) را خاک‌ورزی حفاظتی می‌گویند. در این روش، بقایای

نتایج پژوهش‌ها برای بررسی داده‌های سنجنش از دور تصاویر چندطیفی که به کمک هواپیما و سنجنده Quickbird برداشت شده بود نشان می‌دهد که یک رابطه‌ای خطی بین درصد بقایای گیاهی در سطح خاک و شاخص‌های طیفی، شامل باند مادون قرمز نزدیک^۱، وجود دارد (Sullivan *et al.*, 2007).

در یک پژوهش، چندین شاخص حاصل از تصاویر چندطیفی سنجنده ETM ماهواره Landsat و فراطیفی اسپکترومتر EO-1 برای تعیین شدت خاک‌ورزی، در سه سطح شامل خاک‌ورزی شدید، کم‌خاک‌ورزی و خاک‌ورزی حفاظتی محاسبه شدند. بر اساس اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، شدت خاک‌ورزی به کمک تصاویر ماهواره‌ای در ۶۶-۶۸ درصد از مزارع به صورت صحیح تعیین شد. صحت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در دو گروه خاک‌ورزی مرسوم و خاک‌ورزی حفاظتی به ۸۲-۸۰ درصد رسید (Daughtry *et al.*, 2006).

شاب و همکاران (Schaub *et al.*, 2007) به منظور بهبود طبقه‌بندی محصولات کشاورزی و شناسایی بقایای گیاهی سطح خاک از تصاویر سنجنده ASTER^۲ استفاده کردند که با تفکیک‌پذیری مکانی و طیفی متوسط، برای مطالعه زمینه‌های مختلف کشاورزی مناسب بود. این محققان دریافتند که باند ۵ و ۸ تصاویر این سنجنده به جذب طیف سلولز بافت‌های گیاهی حساس است. نتایج بررسی‌ها برای جداسازی محصولات یونجه، ذرت، سویا، گندم و جو نشان می‌دهد که در شرایط خاصی شاخص جذب سلولز لیگنین توانایی تخمین بقایای گیاهی را دارد. توما و همکاران (Thoma *et al.*, 2004) محاسبه پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک را برای پایش خاک‌ورزی حفاظتی، بررسی میزان کربن خاک و فرسایش مفید دانسته‌اند. نتایج بررسی این محققان در خصوص دقت تخمین پوشش بقایا به کمک تصاویر سنجنده Landsat نشان می‌دهد که بین پوشش بقایای سویا و

جابه‌جایی زیاد ذرات خاک و پودر شدن آن جلوگیری می‌کند و باعث حفظ ساختمان خاک نیز می‌شود. به نظر لوب و همکاران (Lobb *et al.*, 2007) اطلاعات خاک‌ورزی و پوشش گیاهی به سیاست‌گذاری‌های مرتبط با ابزار خاک‌ورزی، ارتقای روش‌های مدیریتی و پایش میزان موفقیت برنامه‌ها کمک می‌کند. این محققان تخمین پوشش بقایای گیاهی را عاملی مهم در تخمین میزان کربن و بهبود جذب این عنصر در خاک، از طریق بهبود روش‌های مدیریت خاک می‌دانند.

شلتون و جیسا (Shelton & Jasa, 2012) روش خط مورب^۱ را برای اندازه‌گیری درصد پوشش بقایای گیاهی سطح خاک معرفی کرده‌اند. این محققان استفاده از یک نخ دارای ۱۰۰ گره مشخص با فاصله‌های مساوی ۳۰ سانتی‌متر (یا یک فوت) را برای این کار توصیه می‌کنند. نخ را با زاویه ۴۵ درجه نسبت به ردیف‌های کشت روی سطح زمین قرار می‌دهند و دو سر آن را می‌کشند. از ۱۰۰ گره این نخ آن تعداد که زیر آن‌ها بقایای گیاهی قرار گرفته است برابر با درصد بقایای گیاهی موجود بر سطح خاک در نظر گرفته می‌شود. نخ اگر به ۵۰ فوت و به ازای هر فوت یک گره داشته باشد، تعداد گره‌های روی بقایای گیاهی را در عدد ۲ ضرب می‌کنند تا درصد بقایای گیاهی به دست آید.

سنجنش از دور عبارت است از علم، فن و هنر کسب اطلاعات درباره پدیده‌ها بدون تماس با آن‌ها؛ سنجنش از دور ما را به خوبی در جایگاهی فراتر از محدودیت‌های توانایی انسان قرار می‌دهد. این فناوری کمک می‌کند اطلاعات در مناطقی جمع‌آوری شود که انسان به دلیل هزینه زیاد، بعد مسافت و خطرناک بودن، نمی‌تواند به طور مستقیم آن‌ها را شناسایی کند. خاصیت تکرارپذیری اطلاعات ماهواره‌ای از ویژگی‌های مهم آن برای بررسی تغییرات پدیده‌های زمینی و کنترل آن‌ها می‌باشد (Darvishsefat *et al.*, 2005).

1- The Line Transect Method

2- Near- Infrared (NIR)

3- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection

به‌خود اختصاص می‌دهد. برخلاف شاخص‌ها، که معمولاً از اطلاعات طیفی دو باند تصویر استخراج می‌شوند، آنالیز جداسازی برای تعیین مقدار هر عارضه، نسبت به سایر عوارض موجود در سطح زمین (خاک، بقایای گیاهی و گیاه سبز)، از اطلاعات طیفی همه باندهای تصویر استفاده می‌کند (Adams *et al.*, 1995).

پژوهش‌های پاچکو و مکنایرن (Pacheco & MacNairn, 2010) نشان می‌دهد که آنالیز جداسازی طیفی خطی برای تعیین میزان پوشش سطحی بقایای گیاهی و تهیه نقشه پوشش بقایای گیاهی در سطح کمتر از یک پیکسل^۸ مناسب است. در این مطالعات، برای پیش‌بینی درصد بقایای گیاهی به کمک فناوری سنجش از دور، از تصاویر سنجنده‌های Landsat و SPOT به‌ترتیب با تفکیک مکانی ۳۰ و ۲۰ متر و از روش جداسازی طیفی استفاده شد. استخراج endmember یک مرحله تعیین‌کننده در موفقیت روش جداسازی طیفی بود که با روش دستی از تصاویر اجرا شد. هر جا یافتن endmember خالص امکان‌پذیر نشد، پیکسل‌هایی از خاک و بقایای گیاهی انتخاب شدند که دارای خلوص بیش از ۹۰ درصد بودند.

با ورود endmember خاک و بقایای گیاهی به مدل در نرم‌افزار، درصد بقایای محصولات دانه‌ریز با دقت تعیین شد. منحنی طیفی که برای بقایای گیاهی و خاک استخراج شد نشان داد که در طیف بازتاب یافته کمتر از ۶۰۰ نانومتر منحنی طیفی بقایا و خاک به هم نزدیک و بالای ۶۰۰ نانومتر از هم دور می‌شوند. روابط بین درصد بقایای گیاهی در زمین و مقادیر پیش‌بینی شده با روش جداسازی طیفی برای محصول ذرت دارای ضریب تبیین ۰/۹۸-۰/۸۱، برای محصول سویا دارای ضریب تبیین ۰/۶۷-۰/۴۷ و برای غلات دانه‌ریز

شاخص‌های محاسبه شده در باندهای ۱، ۳ و ۷ سنجنده و بین پوشش بقایای گیاهی ذرت و شاخص‌های محاسبه شده در باندهای ۴، ۵ و ۷ همبستگی وجود دارد. سه شاخص مورد استفاده در این مطالعات STI^۱، NDI^۲ و NDTI^۳ بودند. در ۳۰ تا ۶۰ درصد موارد، پوشش بقایای گیاهی از طریق این شاخص‌ها درست تخمین زده شد و دقت تخمین هنگامی افزایش یافت که طبقه‌بندی به دو گروه صفر تا ۳۰ و بیش از ۳۰ درصد محدود می‌شد. با توجه به نتایج این پژوهش، برای طبقه‌بندی خاک‌ورزی به دو گروه خاک‌ورزی مرسوم و حفاظتی، سنجش از دور با استفاده از تصاویر Landsat روشی موثر، اقتصادی و یکنواخت معرفی شد.

سربین و همکاران (Serbin *et al.*, 2009) شاخص جدیدی برای تصاویر سنجنده ASTER تعریف کرده‌اند که به منظور اندازه‌گیری پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک به کار می‌رود. این شاخص که در آن از داده‌های بازتاب در باندهای ۶ و ۷ تصاویر استفاده می‌شود در زمان و مکان‌های مختلف ارزیابی شد. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که شاخص SINDRI^۴ درصد بقایای گیاهی سطح خاک را در زمان و مکان‌های مختلف به‌طور موثر تخمین می‌زند. اگرچه شاخص CAI^۵ نتایج بهتری نسبت به شاخص SINDRI دارد اما این شاخص از شاخص‌های LCA^۶ و NDTI^۳ بهتر است. شاخص SINDRI هزینه کمتری نسبت به شاخص CAI دارد.

در کنار استفاده از شاخص‌های طیفی، فناوری‌های طبقه‌بندی طیفی مانند آنالیز جداسازی طیفی خطی^۷ (LSUA) راهکاری است برای تخمین درصد سطح عوارض مختلف در تصویر ماهواره‌ای. با استفاده از این آنالیز، که یک مدل فیزیکی است، می‌توان سطحی را تخمین زد که هر یک از عارضه‌های موجود در یک پیکسل از تصویر

1- Soil Tillage Index

3- Normalized Difference Tillage Index

5- Cellulose Absorption Index

7- Linear Spectral Unmixing Analysis (LSUA)

2- Normalized Difference Index

4- Shortwave Infrared Normalized Difference Residue Index

6- Lignin Cellulose Absorption Index

8- Sub-Pixel

دارای ضریب تبیین ۰/۷۴-۰/۴۳ بود.

استفاده برای تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی مانند ASTER, Landsat-7, SPOT-5 و LISS-III، از مدار خارج شده‌اند یا تصاویر جدید نمی‌فرستند و برخی دیگر دچار نقص فنی هستند و تصاویر ارسالی آنها در یک یا چند باند دچار اشکال شده است، بنابراین استفاده از سنجنده جدید مانند WorldView-2 که بتواند در دهه آینده نیاز کشور را برطرف کند ضروری است و به‌همین دلیل تصاویر ارسالی سنجنده یاد شده به‌منظور تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی، در مزارع بعد از برداشت گندم، مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

هدف از این پژوهش، تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی برای پایش وضعیت خاک‌ورزی حفاظتی و تعیین شدت خاک‌ورزی در مزارع گندم با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. آزمایش‌ها در مزارع گندم شهرستان مرودشت واقع در شمال شیراز با مختصات $29^{\circ} 49' 25/43''$ عرض شمالی و $45^{\circ} 45' 1/40''$ طول شرقی و در این شهرستان هر سال حدود ۶۰۰۰۰ هکتار گندم کشت می‌شود. این پژوهش در ۱۲۰ پلات آزمایشی اجرا شد که در مزارع گندم به وسعت ۲۵ کیلومتر مربع (حداقل سطح قابل سفارش تصاویر سنجنده) اجرا شد. به‌همین دلیل پلات‌های آزمایشی در یک تصویر با مساحت ۲۵ کیلومتر مربع در نظر گرفته شدند.

مزارع آزمایشی به گونه‌ای انتخاب شدند که در آن‌ها، پس از برداشت محصول گندم مدیریت متفاوت بقایای محصول و روش‌های متفاوت خاک‌ورزی وجود داشت، روش‌های خاک‌ورزی شامل موارد زیر بودند:

۱- زمین خاک‌ورزی شده با روش مرسوم (خاک‌ورز برگردان دار + دیسک)؛ ۲- زمین خاک‌ورزی شده با

با توجه به اینکه در کشور ما روش‌های مبتنی بر سنجش از دور برای پایش درصد پوشش بقایای گیاهی در مزارع ارائه نشده است، هدف از این تحقیق تعیین روابطی برای تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک و تعیین شدت خاک‌ورزی مزارع گندم، با استفاده از تصاویر سنجنده WorldView-2 است. با استفاده از نتایج این پژوهش بدون مراجعه به مزرعه می‌توان از طریق تصاویر این سنجنده وضعیت پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی را در مزارع مورد نظر بررسی کرد و داده‌های به‌دست آمده را در مطالعات علمی، برنامه‌ریزی اجرایی، پیش‌بینی شرایط در آینده، اعمال سیاست‌گذاری‌های ترویج کشاورزی، طراحی و تولید ابزار خاک‌ورزی، ارتقای روش‌های مدیریتی مفید و پایش میزان موفقیت برنامه‌های در دست اجرا به‌کار گرفت.

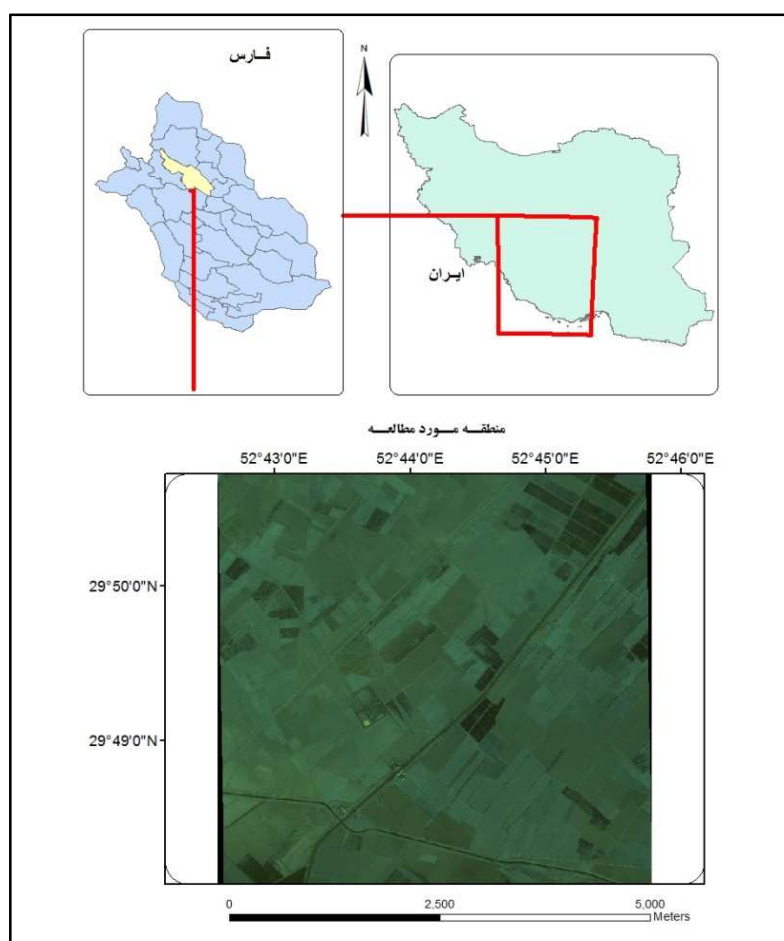
با توجه به اهمیت و مزایای متعدد خاک‌ورزی حفاظتی از جمله کاهش فرسایش خاک، حفظ رطوبت، کاهش مصرف انرژی، کاهش فشردگی خاک، حفظ و بهبود ساختمان خاک، حفظ و بهبود منابع آب و خاک، کاهش هزینه‌های کارگری و ماشین، کاهش زمان اجرای عملیات کشاورزی و افزایش ماده آلی خاک (Eck & Brown, 2011)، سازمان‌های دست‌اندرکار پشتیبانی از برنامه خاک‌ورزی حفاظتی را در سیاست‌های خود گنجانده‌اند که در این راستا پایش معیارهای خاک‌ورزی حفاظتی یعنی درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی با فناوری‌های جدید اهمیت ویژه‌ای دارد.

هم‌اکنون در کشور ما جوایز نقدی برای اجرای خاک‌ورزی حفاظتی و جرایم نقدی برای سوزاندن بقایای گیاهی در مزارع کشاورزی در نظر گرفته شده است و پایش مزارع به‌کمک سنجش از دور به کاهش هزینه‌ها، افزایش سرعت و اعمال این سیاست کمک شایان توجهی می‌کند. برخی از ماهواره‌های مورد

مختلف خاک‌ورزی یاد شده در آنها وجود داشته باشد و اساساً در نظر گرفتن روش‌های خاک‌ورزی مختلف برای وجود مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی و درصد پوشش بقایای گیاهی مختلفی در بین پلات‌ها بود. داده‌های ۶۹ پلات برای بررسی همبستگی درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک با داده‌های ماهواره‌ای مورد استفاده قرار گرفت و با داده‌های ۵۱ پلات دیگر نتایج به دست آمده ارزیابی شد. برای جلوگیری از تغییر شرایط مزارع آزمایشی در هنگام تصویربرداری با ماهواره، پوشش بقایای گیاهی در سطح پلات‌های آزمایشی در روز تصویربرداری با ماهواره و حداکثر ۳ روز بعد از آن اندازه‌گیری شد.

خاک‌ورز قلمی؛ ۳- زمین خاک‌ورزی شده با خاک‌ورز مرکب (چیزل + پکر)؛ ۴- زمین دیسک خورده؛ ۵- زمین بی‌خاک‌ورزی که بقایای گیاهی در آن دست نخورده باقی مانده بود؛ ۶- زمین بی‌خاک‌ورزی که بقایای گیاهی در آن با بیلر جمع‌آوری شده بود؛ ۷- زمین بی‌خاک‌ورزی که بقایای گیاهی در آن جمع‌آوری شده و مورد چرای گوسفندان قرار گرفته بود؛ و ۸- زمین خاک‌ورزی نشده و بدون بقایای گیاهی.

در ۱۲۰ موقعیت از مزارع آزمایشی پلات‌هایی در نظر گرفته شد و در هر پلات درصد پوشش بقایا با روش خط مورب اندازه‌گیری و به‌عنوان داده زمینی برای آن پلات ثبت شد. پلات‌ها به گونه‌ای انتخاب شدند که ۸ روش



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی، شیراز، مرودشت

WorldView-2 در جدول ۱ آورده شده است. تصحیحات هندسی دقیق با استفاده از تصویر پانکروماتیک، که دارای تفکیک مکانی ۰/۵ متر بوده و قبلا زمین مرجع شده بود، انجام شد.

پردازش تصویر از قبیل تبدیل داده‌های دیجیتالی^۱ پیکسل‌ها به بازتاب طیفی^۲ و تصحیحات هندسی (کنترل زمین مرجع‌سازی^۳ تصویر) با استفاده از نرم‌افزار ENVI نسخه ۸-۴ انجام شد.

برای انجام این پژوهش از تصویر ماهواره‌ای سنجنده WorldView-2 استفاده شد که در تاریخ بیستم تیرماه ۱۳۹۱ (۱۰ جولای ۲۰۱۲) از منطقه برداشت شده است. این تصویر با ابعاد ۵×۵ کیلومتر کلیه مزارع آزمایشی را در بر گرفته و با قدرت تفکیک مکانی ۲ متر، که شرکت Digital Globe تصحیحات رادیومتری و هندسی آن را به‌عهده داشته است، از فروشنده منطقه‌ای این شرکت خریداری شد. خصوصیات سنجنده و تصاویر

جدول ۱- خصوصیات سنجنده و ۴ باند استاندارد تصاویر WorldView-2 (Anon, 2012)

باند‌های سنجنده	طول موج (نانومتر)
پانکروماتیک	۴۵۰-۸۰۰
آبی	۴۵۰-۵۱۰
سبز	۵۱۰-۵۸۰
قرمز	۶۳۰-۶۹۰
مادون قرمز نزدیک	۷۷۰-۸۹۵

متفاوت در یک پیکسل از تصویر جای می‌گیرند. در یک پیکسل از تصویر، برای جداسازی طیف‌های خالص از یکدیگر، مدل‌هایی پیشنهاد شده است که باید طیف‌های خالص سازنده مخلوط را برای آن‌ها معرفی کرد. آنالیز جداسازی طیفی خطی یکی از بهترین مدل‌هاست (Singer & McCord, 1979). تنها شرط استفاده از آنالیز جداسازی طیفی خطی این است که تعداد endmember باید برابر یا کمتر از تعداد باندهای تصویر باشد. endmember را می‌توان از یک پیکسل تنها، متوسط تعداد زیادی پیکسل یا کتابخانه طیفی استخراج کرد (Boardman, 1993; Dennison & Roberts, 2003).

در این پژوهش علاوه بر شاخص‌های طیفی، داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی نیز، در تصویر ماهواره‌ای، برای کلیه پلات‌های آزمایشی استخراج شدند. این داده‌ها در واقع درصد پوشش بقایای گیاهی در پلات‌های آزمایشی بودند که توسط الگوریتم آنالیز جداسازی طیفی خطی در تصویر ماهواره‌ای تخمین زده شدند.

برای استخراج داده‌های نظیر در تصاویر ماهواره‌ای، محل اندازه‌گیری‌های زمینی، که مختصات آنها با دستگاه جی‌پی‌اس ثبت شده بود، در تصویر ماهواره‌ای مشخص شد. برای پلات‌های آزمایشی دو دسته داده ماهواره‌ای از تصویر WorldView-2 استخراج یا محاسبه شدند، یکی شاخص‌های طیفی و دیگری آنالیز جداسازی طیفی خطی. شاخص‌های طیفی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. این شاخص‌ها از بین شاخص‌هایی انتخاب شدند که در تحقیقات گذشته برای جداسازی پوشش و بقایای گیاهی از سایر عوارض در سطح خاک به‌کار رفته‌اند، در این مطالعه دو شاخص جدید نیز تعریف شد.

آنالیز جداسازی طیفی خطی، انتخاب و استخراج endmember

در طبیعت به‌ندرت سطوحی یافت می‌شوند که از یک ماده ساخته شده باشند. مخلوط طیفی زمانی به‌وجود می‌آید که مواد با خصوصیات طیفی

1- Digital Number (DN)
3- Georeferencing

2- Reflectance

جدول ۲- اطلاعات شاخص‌های طیفی مختلف مورد استفاده در این مطالعه

منبع	رابطه ریاضی	شاخص
(Yang <i>et al.</i> , 2008)	$(G-R)/(G+R)$	¹ MPRI
(Yang <i>et al.</i> , 2006)	$(NIR-B)/(NIR+B)$	² BNDVI
(Gitelson <i>et al.</i> , 1996)	$(NIR-G)/(NIR+G)$	³ GNDVI
(Jordan, 1969)	NIR/R	⁴ RVI1
(Jordan, 1969)	G/R	⁵ RVI2
(Jordan, 1969)	G/B	⁶ RVI3
(Crippen, 1990)	$NIR/(NIR+R)$	⁷ IPVI
(Roujean & Breon, 1995)	NIR-Red	⁸ DVI
(Kaufman & Tanre, 1992)	$(G-R)/(G+R-B)$	⁹ VARI
در این مطالعه معرفی شد	$(G-B)/(G+B)$	¹⁰ GRCI
در این مطالعه معرفی شد	$(R-B)/(R+B)$	¹¹ BRCI

همبستگی گشتاوری پیرسون^{۱۲} بیان گردید. طبقه‌بندی مزارع از نظر شدت خاک‌ورزی مرکز اطلاعات فناوری حفاظتی^{۱۳}، خاک‌ورزی حفاظتی را روشی تعریف کرده است که در آن بیش از ۳۰ درصد سطح خاک از بقایای گیاهی پوشیده شده است. این میزان در کم خاک‌ورزی ۳۰-۱۵ و در خاک‌ورزی شدید یا مرسوم کم‌تر از ۱۵ درصد بیان شده است (Anon, 2004). در این تحقیق پوشش بقایای گیاهی به میزان ۳۰-۶۰ درصد خاک‌ورزی حفاظتی و بیش از ۶۰ درصد بی‌خاک‌ورزی تعریف شده است (Daughtry *et al.*, 2006). برای طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی با استفاده از دو شاخص که با درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک بالاترین همبستگی را داشتند، نموداری برآزش شد که به کمک آن می‌توان شدت خاک‌ورزی را در چهار سطح خاک‌ورزی شدید، کم‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حفاظتی و بی‌خاک‌ورزی تعیین کرد. دقت پیش‌بینی شدت

در این تحقیق برای استخراج endmember خاک و بقایای گیاهی، پلات‌های خالص شامل خاک بدون بقایای گیاهی و خاک با پوشش کامل بقایای گیاهی، در مزارع آزمایشی در نظر گرفته شد و مختصات جغرافیایی آن‌ها با دستگاه GPS ثبت گردید. داده پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای در برگزیده پلات‌های یاد شده، با نرم‌افزار ENVI استخراج شد و متوسط داده پیکسل‌ها برای رسم منحنی طیفی خاک و بقایای گیاهی و به‌عنوان endmember در آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد استفاده قرار گرفت. درصد بقایای گیاهی اندازه‌گیری شده در پلات‌های آزمایشی نیز که با روش خط مورب اندازه‌گیری شدند (داده‌های زمینی) به‌صورت تابعی از شاخص‌ها و داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی (داده‌های ماهواره‌ای) بیان شد. دقت این روابط و همبستگی درصد پوشش بقایای گیاهی در پلات‌های آزمایشی و داده‌های ماهواره‌ای با استفاده از ضریب

1- Modified Photochemical Reflectance Index
3- Green Normalized Difference Vegetation Index
5-Ratio Vegetation Index 2
7- Infrared Percentage Vegetation Index
9- Visible Atmospherically Resistant Index
11- Blue Residue Cover Index
13- Conservation Technology Information Center

2- Blue Normalized Difference Vegetation Index
4- Ratio Vegetation Index 1
6- Ratio Vegetation Index 3
8- Difference Vegetation Index
10- Green Residue Cover Index
12- Pearson Product Moment Correlation Coefficient (R^2)

سبز تصویر فاصله بسیار کمی با هم دارند، اما در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تباین بین طیف بازتاب یافته از خاک و بقایای گیاهی زیاد است. پاچکو و مکنایرن (Pacheco & McNairn, 2011) و بناری و همکاران (Bannari *et al.*, 2006)، یافته‌های مشابه با تصاویر سنجنده‌های SPOT، AWiFS و IKONOS گزارش داده‌اند.

نتایج شکل ۲ نشانگر آن است که بقایای گیاهی در باندهای قرمز و به‌ویژه باند مادون قرمز نزدیک، نسبت به خاک، بازتاب بیشتری دارند. با توجه به این یافته می‌توان دریافت که با استفاده صحیح از آنالیز جداسازی طیفی خطی و انتخاب یا تعریف شاخص‌های طیفی مناسب در باندهای قرمز و به‌ویژه در باند مادون قرمز نزدیک تصویر، می‌توان بین خاک و بقایای گیاهی موجود در سطح خاک تمایز قابل شد.

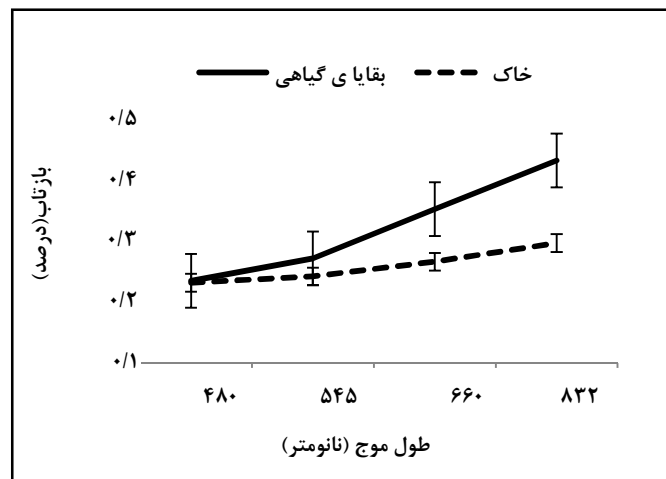
خاک‌ورزی با این نمودار در ۵۱ پلات آزمایش و نتایج به‌دست آمده بررسی شد.

نتایج و بحث

با توجه به اندازه‌گیری درصد پوشش بقایای گیاهی در پلات‌های آزمایشی با یک روش (روش خط مورب) و محاسبه دو گروه داده ماهواره‌ای (شاخص‌های طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی)، دو دسته معادله همبستگی بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای استخراج شد. داده‌ها به‌صورت زیر ارزیابی شد.

بررسی همبستگی داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی با درصد پوشش بقایای گیاهی در زمین (روش خط مورب)

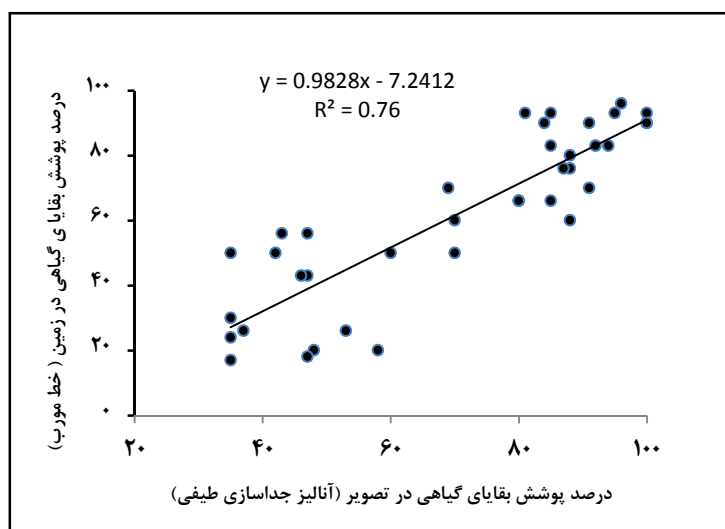
منحنی پاسخ طیفی^۱ خاک و بقایای گندم از تصویر WorldView-2 استخراج شد (شکل ۲). در شکل ۲، طیف بازتاب یافته از خاک و بقایای گیاهی در باند آبی و



شکل ۲- منحنی پاسخ طیفی بقایای گیاهی و خاک (تصویر سنجنده WorldView-2)

همبستگی بین این داده‌ها ۰/۷۶ به‌دست آمد. بنابراین آنالیز جداسازی طیفی خطی می‌تواند درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح زمین را با تخمین مناسب تعیین کند.

رابطه بین داده‌های آنالیز جداسازی طیفی خطی و درصد پوشش بقایای گیاهی در پلات‌های آزمایشی، که با روش خط مورب اندازه‌گیری شدند در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به نتایج این شکل،



شکل ۳- رابطه بین درصد پوشش بقایای گیاهی در زمین (روش خط مورب) و تصاویر ماهواره‌ای (آنالیز جداسازی طیفی خطی)

شامل باند آبی هستند موثر نیست. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد که شاخص‌هایی که فرمول آن‌ها شامل باند سبز است (جدول ۲) با درصد پوشش بقایای گیاهی دارای همبستگی کمتر از ۰/۷ هستند که دلیل آن نزدیک بودن بازتاب خاک و بقایا در باند سبز است. به‌علت تباین کم بین بازتاب دو عارضه یاد شده، تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی با شاخص‌های شامل باند سبز نتایج یاد شده را در بردارد. بالاترین تباین بین بازتاب خاک و بقایای گیاهی در باند مادون قرمز نزدیک و پس از آن باند قرمز به‌دست آمد (شکل ۲)، بنابراین شاخص‌های IPVI و RVII که با داده‌های این دو باند محاسبه شده و به‌دست آمده‌اند به‌خوبی بین خاک و بقایای گیاهی تمایز قایل شده و بهترین تخمین را از درصد پوشش بقایای گیاهی داشته‌اند.

بررسی همبستگی شاخص‌های طیفی با درصد

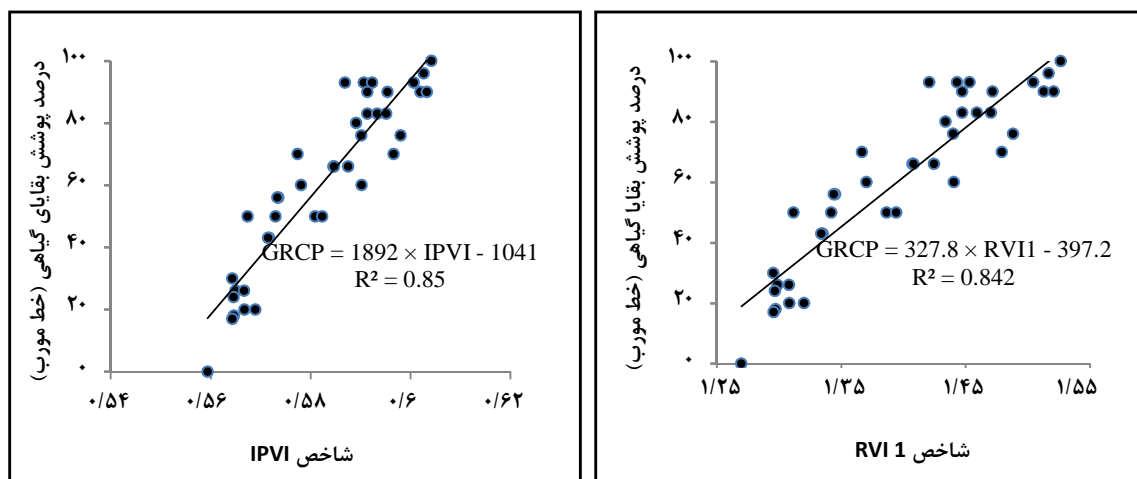
پوشش بقایای گیاهی روش خط مورب

میزان همبستگی شاخص‌های طیفی با درصد پوشش بقایای گیاهی در مزارع آزمایشی که به‌روش خط مورب اندازه‌گیری شدند بررسی شد. نتایج به‌دست آمده از این بررسی در جدول ۳ و شکل ۴ نشان می‌دهد که درصد پوشش بقایای گیاهی در زمین با سه شاخص GNDVI، IPVI و IVI با R^2 به‌ترتیب ۰/۸۴، ۰/۸۴ و ۰/۸۵ دارای بالاترین همبستگی است. نتایج جدول ۳ نشان می‌دهد تمام شاخص‌هایی که در فرمول آن‌ها داده‌های باند آبی وجود دارد (جدول ۲) همبستگی مناسبی با درصد پوشش بقایای گیاهی ندارند، زیرا خاک و بقایای گیاهی در باند آبی دارای بازتاب تقریباً برابری هستند (شکل ۲). بنابراین، جداسازی این دو عارضه به‌کمک شاخص‌هایی که

جدول ۳- رابطه بین شاخص‌های طیفی و درصد پوشش بقایای زمین (روش خط مورب)

شاخص	معادله رگرسیون خطی	R ²
GRCI	$GRCP = ۸۶۴/۸ \times RCI - ۱۵۹/۱$	۰/۴۳
RVI 3	$GRCP = ۲۳۹ \times RVI3 - ۳۴۶/۵$	۰/۴۴
BRCI	$GRCP = ۵۶۸ \times BRCI + ۲۲۴/۳$	۰/۶۳
DVI	$GRCP = ۰/۷۶ \times DVI - ۲۵/۲۵$	۰/۷۲
BNDVI	$GRCP = ۴۹۴/۸ \times BNDVI - ۲۴۳/۳$	۰/۷۵
RVI 2	$GRCP = -۷۲۲/۱ \times RVI2 + ۴۶۸$	۰/۷۷
VARI	$GRCP = -۹۰۰/۵ \times VARI - ۱۹۰/۷$	۰/۷۷
MPRI	$GRCP = ۹۰۰/۵ \times MPRI - ۱۹۰/۷$	۰/۷۷
GNDVI	$GRCP = ۵۴۹/۷ \times GNDVI - ۱۷۲/۲$	۰/۸۴
RVI1	$GRCP = ۳۲۷/۸ \times RVI1 - ۳۹۷/۲$	۰/۸۴
IPVI	$GRCP = ۱۸۹۲ \times IPVI - ۱۰۴۱$	۰/۸۵

درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح زمین^۱



شکل ۴- رابطه بین شاخص‌های RVI1 و IPVI با درصد پوشش بقایای گیاهی روی زمین (به روش خط مورب)

است (شکل ۲). این یافته با نتایج پژوهش‌های پاچکو و مکنایرن (Pacheco & McNairn, 2011) و بناری و همکاران (Bannari et al., 2006) همخوانی دارد. در جدول ۵ میانگین‌های دو شاخص IPVI و RVI1 که دارای بالاترین همبستگی با درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک هستند، برای چهار گروه شدت خاک‌ورزی آورده شده است. نتایج جدول ۵ نشان می‌دهد که با کاهش شدت خاک‌ورزی، شاخص‌های IPVI و RVI1 افزایش

طبقه‌بندی مزارع از نظر شدت خاک‌ورزی نتایج تحقیق نشان می‌دهد که پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای که در برگیرنده مزارع آزمایشی با خاک‌ورزی حفاظتی یا بدون خاک‌ورزی هستند نسبت به مزارع با خاک‌ورزی کم و شدید، متوسط بازتاب بالاتری دارند (جدول ۴). بالاتر بودن بازتاب در پیکسل‌های تصاویر مربوط به این مزارع به علت وجود بقایای گیاهی بیشتر در سطح خاک، در مقایسه با دو روش خاک‌ورزی دیگر و بالاتر بودن بازتاب پوشش بقایای گیاهی نسبت به خاک

یافته‌اند. این افزایش به دلیل وجود بقایای گیاهی بیشتر، در سطح پلات‌های آزمایشی و در نتیجه افزایش بازتاب انرژی الکترومغناطیسی از سطح پلات‌ها است. بنابراین با استفاده از دو شاخص یاد شده می‌توان پلات‌های آزمایشی را از نظر شدت خاک‌ورزی تفکیک کرد.

جدول ۴- متوسط درصد بازتاب سطحی برای سطوح مختلف خاک‌ورزی

شدت خاک‌ورزی	باند آبی	باند سبز	باند قرمز	باند مادون قرمز نزدیک
بی‌خاک‌ورزی	۹/۲۰	۱۶/۱	۲۹/۸	۴۳/۴
خاک‌ورزی حفاظتی	۸/۸۱	۱۴/۷	۲۵/۷	۳۵/۱
خاک‌ورزی کم	۸/۱۳	۱۳/۵	۲۲/۶	۲۹/۴
خاک‌ورزی شدید	۷/۷۲	۱۲/۹	۲۱/۹	۲۸/۴

جدول ۵- مقایسه متوسط مقادیر شاخص‌های IPVI و RVI 1 در سطوح مختلف شدت خاک‌ورزی

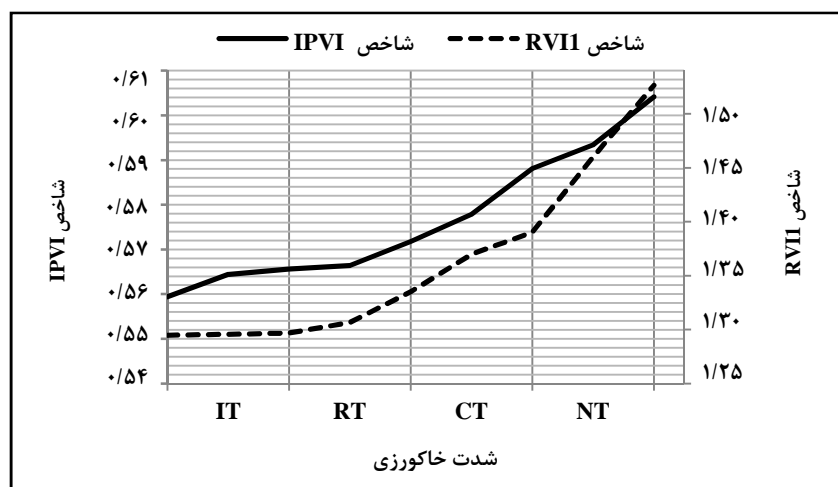
شدت خاک‌ورزی	متوسط RVI 1	متوسط IPVI
بی‌خاک‌ورزی	۱/۴۶۰	۰/۵۹۳
خاک‌ورزی حفاظتی	۱/۳۷۰	۰/۵۷۸
کم خاک‌ورزی	۱/۳۰۶	۰/۵۶۶
خاک‌ورزی شدید	۱/۲۹۵	۰/۵۶۴

اندازه‌گیری‌ها در سطح مزرعه است. دلیل پایین‌تر بودن دقت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در دو دسته خاک‌ورزی کم و شدید، احتمالاً کم بودن بقایای سطح خاک در این مزارع است. شکل ۵ بر اساس تفاوت بازتاب خاک و بقایای گیاهی در باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز تصاویر رسم شده است و چون در مزارع با شدت خاک‌ورزی شدید و کم مقدار بقایای گیاهی در سطح خاک کمتر از مقدار بقایای گیاهی در مزارع در دو دسته دیگر است بنابراین تمایز خاک با بقایای گیاهی که مقدارش کم است نیز سخت‌تر بوده است.

به‌منظور پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی مزارع با استفاده از داده‌های دو شاخص یاد شده، شکل ۵ برآزش شد. بدین ترتیب با در دست داشتن شاخص‌ها، که از تصویر WorldView-2 استخراج می‌شوند، بدون مراجعه به مزرعه می‌توان شدت خاک‌ورزی در مزرعه را تعیین کرد.

ارزیابی دقت طبقه‌بندی مزارع از نظر شدت خاک‌ورزی

نتایج ارزیابی دقت طبقه‌بندی مزارع آزمایشی از نظر شدت خاک‌ورزی در جدول ۶ نشان می‌دهد که دقت پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی به کمک شکل ۵، یعنی استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای، بسیار نزدیک به دقت



شکل ۵- طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی با استفاده از شاخص‌های IPVI و RVII
 (IT=خاک‌ورزی شدید، RT=کم‌خاک‌ورزی، CT=خاک‌ورزی حفاظتی، NT=بی‌خاک‌ورزی)

جدول ۶- ارزیابی دقت طبقه‌بندی شدت خاک‌ورزی

شدت خاک‌ورزی	بی‌خاک‌ورزی	خاک‌ورزی حفاظتی	خاک‌ورزی کم	خاک‌ورزی شدید
تعداد محل ارزیابی شده	۲۲	۱۳	۶	۱۰
تعداد نتیجه منطبق بر نتایج اندازه‌گیری در زمین	۲۱	۱۳	۵	۹
تعداد نتیجه غیر منطبق بر نتایج اندازه‌گیری در زمین	۱	---	۱	۱
دقت پیش‌بینی کلی (درصد)	۹۵	۱۰۰	۸۳	۹۰

نتیجه‌گیری

RVII همبستگی کمتری با درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک دارد. این نتیجه شاید به دلیل نقص در انتخاب endmember باشد زیرا کتابخانه طیفی endmember بهتر است با دستگاه اسپکتروفتومتر تشکیل شود و انتخاب endmember بر اساس آن باشد که در این پژوهش دستگاه یاد شده در دسترس نبود. همچنین endmember تعیین شده برای خاک به دلیل تغییر شرایط سطح خاک پس از خاک‌ورزی در همه شرایط پاسخگو نیست. در باندهای آبی و سبز تصویر ماهواره‌ای تفاوت بین بازتاب طیفی بقایا و خاک ناچیز است، شاخص‌هایی که شامل باندهای آبی و سبز تصویر ماهواره‌ای بودند، نتوانستند بین خاک و بقایای گیاهی تمایز قایل شوند و با داده‌های روش خط مورب که در سطح پلات‌های آزمایشی

نتایج نشان می‌دهد که بقایای گیاهی محصول گندم در گستره مورد مطالعه (۸۹۵-۴۵۰ نانومتر)، در مقایسه با خاک، دارای بازتاب طیفی بالاتری نسبت به خاک است. تباین بین بازتاب طیفی بقایای گیاهی و خاک، به‌ویژه در باند مادون قرمز نزدیک، قابل توجه است. با توجه به این یافته می‌توان دریافت که در صورت استفاده صحیح از آنالیز جداسازی طیفی خطی و انتخاب یا تعریف شاخص‌های طیفی مناسب در باندهای قرمز، و به‌ویژه باند مادون قرمز نزدیک تصویر سنجنده WorldView-2، می‌توان بین خاک و بقایای گیاهی موجود در سطح خاک تمایز قایل شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روش آنالیز جداسازی طیفی خطی نسبت به دو شاخص IPVI و

به‌دست آمده بود همبستگی مناسبی نداشتند. درصد پوشش بقایای گیاهی سطحی که با آنالیز جداسازی طیفی خطی تخمین زده شده‌اند با درصد پوشش بقایای گیاهی که در سطح خاک با روش خط مورب اندازه‌گیری شده‌اند همبستگی ۰/۷۶ را نشان می‌دهد. درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک که با روش خط مورب اندازه‌گیری شده است همچنین با دو شاخص طیفی RVII و IPVI همبستگی بین ۰/۸ تا ۰/۸۵ را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج به‌دست آمده دو شاخص RVII و IPVI برای پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در مزارع انتخاب و یک منحنی برای پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی استخراج شد. دقت کلی پیش‌بینی شدت خاک‌ورزی در پلات‌های آزمایشی ۱۰۰-۸۳ درصد است.

مراجع

- Adams, J. B., Sabol, D. E., Kapos, V., Filho, R. A., Roberts, D. A. and Smith, M. O. 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sens. Environ.* 52, 137-154.
- Anon. 2004. National Survey of Conservation Tillage Practices. Conservation Technology Information Center. West Lafayette. Available at <http://www.ctic.purdue.edu>.
- Anon. 2012. Basic Satellite Imagery. Available at <http://digitalglobe.com>. Available at <http://ianrpubs.unl.edu>.
- Bannari, A., Pacheco, A., Staenz, K., McNairn, H. and Omari, K. 2006. Estimating and mapping crop residues cover on agricultural lands using hyperspectral and IKONOS data. *Remote Sens. Environ.* 104, 447-459.
- Boardman, J. W. 1993. Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: in Summaries. Fourth JPL Airborne Geoscience Workshop. JPL Pub. 1, 11-14.
- Crippen, R. E. 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sens. Environ.* 34, 71-73.
- Darvishsefat, A. A., Pir Bavaghar, M. and Rajab-Pourrahmati, M. 2005. Remote Sensing for GIS Managers. University of Tehran Press. (in Farsi)
- Daughtry, C. S. T., Doraiswamy, P. C., Hunt, E. R., Stern, A. J., McMurtrey, J. E. and Prueger, J. H. 2006. Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. *Soil Till. Res.* 91, 101-108.
- Dennison, P. E. and Roberts, D. A. 2003. The effects of vegetation phenology on endmember selection and species mapping in Southern California Chaparral. *Remote Sens. Environ.* 87, 295-309.
- Eck, K. J. and Brown, D. E. 2011. Estimating Corn and Soybean Residue Cover. Available at <http://www.extension.purdue.edu>.

- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J. and Merzlyak, M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOSMODIS. *Remote Sens. Environ.* 58, 289-298.
- Godwin, R. J. 1990. Tillage for Crop Production in Areas of Low Rainfall. Food and Agriculture Organization of the United Nation. ISBN-10: 9251025428
- Jordan, C. F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. *Ecology.* 50, 663-666.
- Kaufman, Y. J. and Tanre, D. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE. T. Geosci. Remote Sens.* 30, 261-270.
- Lobb, D. A., Huffman, E. and Reicosky, C. 2007. Importance of information on tillage practices in the modeling of environmental processes and in the use of environmental indicators. *J. Environ. Manage.* 82, 377-387.
- 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. International Symposium on Remote Sensing of Environment. April 10-15. Sydney, Australia,
- Roujean, J. L. and Breon, F. M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sens. Environ.* 51(3): 375-384.
- Schaub, D., French, N. H. F., Brooks, C. and Powell, R. 2007. Using ASTER data to detect crop residue and to improve crop classification. ASPRS Annual Conference. May 7-11. Tampa. Florida.
- Serbin, G., Daughtry, C. S. T., Hunt, E. R., Brown, D. J. and McCarty, G. W. 2009. Effect of soil spectral properties on remote sensing of crop residue cover. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 73, 1545-1558.
- Shelton, D. P. and Jasa, P. J. 2012. Estimating of Percent Residue Cover Using the Line Transect method. Institute of Agriculture and Natural Resources. University of Nebraska Lincoln Extension.
- Singer, R. B. and McCord, T. B. 1979. Mars: Large scale mixing of bright and dark materials and implications for analysis of spectral reflectance. *Lunar Planet Sci.* 10, 1825-1848.
- Sullivan, D. G., Fulmer, J. L., Strickland, T. C., Masters, M. and Yao, H. 2007. Field scale evaluation of crop residue cover distribution using airborne and satellite remote sensing. Proceedings of the Georgia Water Resources Conference. March 27-29. University of Georgia.
- Thoma, D., Gupta, S. C. and Bauer, M. E. 2004. Evaluation of optical remote sensing models for crop residue cover assessment. *J. Soil Water Conserv. Soc.* 59(5): 224-233.

پایش درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی...

Yang, C., Everitt, J. H. and Bradford, J. M. 2006. Comparison of QuickBird satellite imagery and airborne imagery for mapping grain sorghum yield patterns. *Precision Agric.* 7, 33-44.

Yang, Z., Willis, P. and Mueller, R. 2008. Impact of band ratio enhanced a WIFS image to crop classification accuracy. *Proceeding of the PECORA 17: The Future of Land Imaging Going Operational.* Nov. 18-20. Denver, Colorado,

Use of Remote Sensing to Monitor Crop Residue Coverage and Tillage Intensity

M. A. Rostami* and M. H. Raoufat

*Corresponding author: Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agriculture and Natural Resources Research Center, P. O. Box: 76175538, Kerman, Iran. Email: marostamy@yahoo.com

Received: 21 January 2014, Accepted: 9 August 2014

Satellite imagery was used as a rapid and spatially explicit method to delineate crop residue cover and to estimate the use and intensity of conservation tillage. The potential of multispectral high-spatial resolution of WorldView-2 local data was evaluated using 11 satellite spectral indices and linear spectral unmixing analysis (LSUA). Experimental plots were examined; residue cover was measured at each location using the line transect method and recorded as ground control. The output of the indices and LSUA were individually correlated to the control and R^2 was calculated. Results indicate that crop residue cover was related to IPVI, RVI1 and GNDVI spectral indices and satisfactory correlations were established (.084 - 0.85). The crop residue cover estimated using LSUA correlated with the ground residue data (0.76). The infrared percentage vegetation index (IPVI) and ratio vegetation index (RVI) had maximum R^2 values and were considered appropriate for classification of tillage intensity. Classification accuracy of the IPVI and RVI indices under different conditions varied from 83% to 100%, indicating they were in good agreement with ground measurement, observations and field records.

Keywords: Conservation Tillage, Multispectral Imagery, Satellite, Spectral Indices, Spectral Unmixing Analysis