



تخمین ضوابط خاک‌ورزی حفاظتی با بهره‌گیری از فناوری سنجش از دور

محمدعلی رستمی^{۱*} و محمدحسین رثوفت^۲

۱- عضو هیات علمی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی کرمان

marostamy@yahoo.com

۲- استاد بخش مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه شیراز

چکیده

روش های مرسوم برای تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی و شدت خاک‌ورزی خسته کننده و وقت گیر بوده و در سطح وسیع قابل استفاده نیستند. این تحقیق به منظور بررسی و یافتن یک روش دقیق و سریع برای پایش مدیریت بقایا و شدت خاک‌ورزی انجام شد. در این مطالعه فن آوری تصاویر ماهواره ای به عنوان یک راهکار سریع و آسان برای تخمین درصد پوشش بقایا در سطح خاک و پایشگر خاک‌ورزی حفاظتی و شدت خاک‌ورزی مورد استفاده قرار گرفت. از این رو توانایی داده های تصویر چند طیفی سنجنده WorldView-2 با استفاده از تعداد یازده شاخص طیفی و آنالیز جداسازی طیفی خطی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور در ۹۰ موقعیت از مزارع آزمایشی درصد پوشش بقایای سطح خاک با روش پردازش تصویر اندازه گیری و ثبت شد. داده های نظیر ماهواره ای از تصویر سنجنده WorldView-2 استخراج شده و همبستگی درصد پوشش بقایا در زمین، با داده های تصاویر ماهواره ای بررسی شد. نتایج نشان داد که درصد پوشش بقایا در سطح خاک با شاخص های IPVI، RVI1، RVI2 و GNDVI همبستگی مناسبی دارند ($R^2 = 0.73-0.83$). درصد پوشش بقایا در سطح خاک که با آنالیز جداسازی طیفی خطی تخمین زده شده بود، با داده های به دست آمده از عکس های زمینی همبستگی مناسبی داشت ($R^2 = 0.77$). دو شاخص طیفی IPVI و RVI1 که دارای بالاترین همبستگی با درصد پوشش بقایا در سطح خاک بودند برای پایش بین شدت خاک‌ورزی در مزارع مورد مطالعه انتخاب شدند. نتایج نشان داد که دقت طبقه بندی شدت خاک‌ورزی به کمک این دو شاخص در شرایط مختلف ۷۸ - ۱۰۰ درصد بود.

واژه های کلیدی: آنالیز جداسازی طیفی خطی، تصاویر چند طیفی، تصاویر ماهواره ای، خاک‌ورزی حفاظتی، شاخص های طیفی.

مقدمه

در دست داشتن اطلاعات مربوط به شدت خاک‌ورزی و پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک در اعمال سیاست گذاری های مربوط به ترویج کشاورزی، طراحی و تولید ابزار خاک‌ورزی و ارتقای روش های مدیریتی و نظارتی سودمند است. تخمین پوشش بقایا همچنین یک عامل مهم در تخمین جذب کربن توسط خاک، از طریق بهبود روش های مدیریت خاک می باشد (Lobbet)



al., 2007). برای اجرای دقیق برنامه های علمی و اجرایی و پیشبینی شرایط در آینده، برنامه ریزی و ارزیابی آثار آن ها در کشاورزی حفاظتی یک روش دقیق، موثر و سریع برای پایش مدیریت بقایا و شدت خاک‌ورزی در زمین های زراعی لازم است. روش های مرسوم برای بررسی میزان پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک و شدت خاک‌ورزی در زمین های زراعی مانند روش‌توزین بقایا، مقایسه تصاویر و خط مورب بسیار وقت گیر، هزینه بر و مشقت آور بوده و در سطح وسیع کارایی ندارند.

سنجش از دور علم، فن و هنر کسب اطلاعات در مورد پدیده ها بدون تماس با آن ها بوده و ما را به خوبی در جایگاهی فراتر از محدودیت های توانایی انسان قرار می دهد. این فناوری جمع آوری اطلاعات در مناطقی را فراهم می کند که به دلیل هزینه زیاد، بعد مسافت و خطرناک بودن، انسان نمی تواند به طور مستقیم آن ها را شناسایی کند. خاصیت تکرار پذیری اطلاعات ماهواره ای از ویژگی های مهم این اطلاعات برای بررسی تغییرات پدیده های زمینی و کنترل آن هاست (Darvishsefat et al., 2005).

در کنار استفاده از شاخص های طیفی، فن آوری های طبقه بندی طیفی مانند آنالیز جداسازی طیفی خطی^۱ یک راهکار برای تخمین درصد سطحی عوارض مختلف موجود در یک تصویر ماهواره ای است. به طور کلی با استفاده از این آنالیز، که یک مدل فیزیکی است، می توان میزان سطحی که هر یک از عارضه های موجود در یک پیکسل از تصویر به خود اختصاص داده اند را تخمین زد. برخلاف شاخص ها که معمولاً از اطلاعات طیفی دو باند تصویر استخراج می شوند، آنالیز جداسازی از اطلاعات طیفی همه باند های تصویر برای تعیین مقدار یک عارضه نسبت به سایر عارضه های موجود در سطح زمین (خاک، بقایای گیاهی و گیاه سبز) استفاده می کند (Adams et al., 1995).

نتایج پژوهش های انجام شده برای بررسی داده های سنجش از دور تصاویر چند طیفی، که به کمک هواپیما و سنجنده Quickbird برداشت شده بود نشان داد که یک رابطه خطی بین درصد بقایای گیاهی در سطح خاک و شاخص هایی که شامل باند مادون قرمز نزدیک (NIR) بودند وجود دارد (Sullivan et al., 2007).

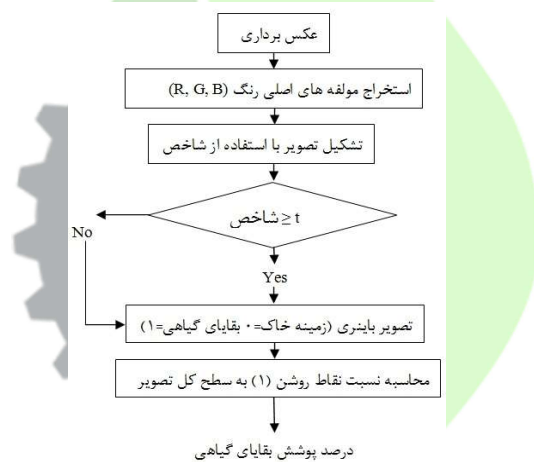
در یک پژوهش برای اندازه گیری درصد پوشش بقایای سطح خاک بر اساس روش پردازش تصاویر، معیار جدید معرفی شد. این معیار که در واقع استفاده از شاخص های طیفی بود می تواند به دور از خطاهای انسانی برای تخمین درصد بقایای سطح زمین استفاده شود. در این روش ابتدا از ارتفاع ۲/۵ متری به وسیله یک دوربین عکاسی دیجیتال، عکس هایی از سطح زمین و بقایای تهیه شد. عکس ها با الگوریتمهای طراحی شده در نرم افزار MATLAB پردازش شدند. نتایج نشان داد که در مورد بقایای ذرت و کلزا معیار انتخاب شده یعنی دو شاخص $(R-G)/(R+G)$ و $2G-R-B$ می توانند شاخص مناسبی جهت تخمین وزنی بقایا باشند (Jafari et al., 2010).

با توجه به اینکه در کشور ما روش های مبتنی بر استفاده از سنجش از دور برای پایش خاک‌ورزی حفاظتی ارائه نشده است، هدف از این تحقیق تعیین روابطی برای پایش خاک‌ورزی حفاظتی به کمک تخمین درصد پوشش بقایا در سطح خاک و تعیین شدت خاک‌ورزی مزارع گندم با استفاده از تصاویر سنجنده WorldView-2 بود.

1- Linear Spectral Unmixing Analysis (LSUA)

مواد و روش ها

این پژوهش به منظور پایش خاک‌ورزی حفاظتی (از طریق تخمین درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح خاک) و تعیین شدت خاک‌ورزی با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده WorldView-2 انجام شد. بدین منظور در ۹۰ موقعیت از مزارع آزمایشی پلات هایی در نظر گرفته شده و در هر پلات چند عکس توسط یک دوربین عکاسی دیجیتالی معمولی از سطح مزرعه برداشت شد. درصد پوشش بقایای سطح خاک در هر عکس با روش پردازش تصویر اندازه گیری و متوسط درصد پوشش بقایا در همه تصاویر به عنوان درصد پوشش بقایا در آن پلات ثبت شد. شکل ۱ مراحل مختلف این روش را نشان می دهد. سپس همبستگی درصد پوشش بقایا در پلات های آزمایشی با داده های تصاویر ماهواره ای شامل شاخص های طیفی و داده های آنالیز جداسازی طیفی خطی بررسی شد. در صورت وجود همبستگی مناسب درصد بقایای گیاهی در سطح مزرعه به صورت تابعی از شاخص های یاد شده یا داده های آنالیز جداسازی طیفی خطی بیان شد.



شکل ۱- جدا سازی بقایا و خاک با روش پردازش تصویر

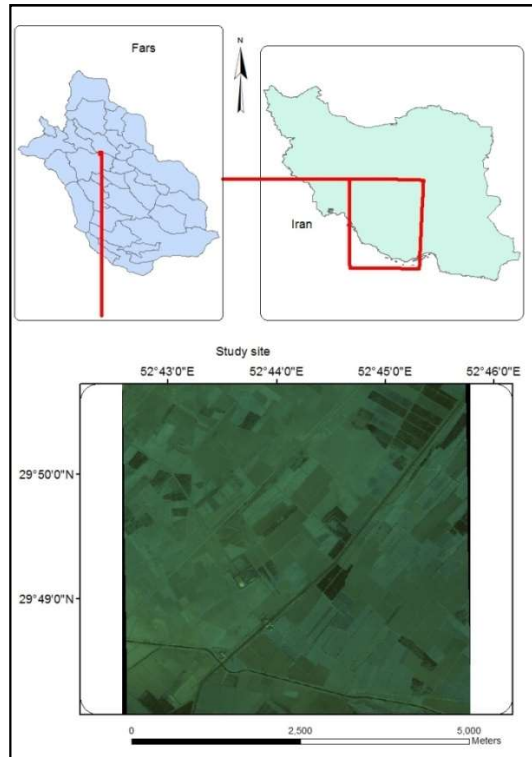
برای تعیین شدت خاک‌ورزی از شاخص هایی که بالاترین همبستگی را با درصد پوشش بقایا در سطح خاک داشتند استفاده شد. برای این کار نموداری ترسیم گردید که با استفاده از آن، بدون مراجعه به مزرعه و تنها با محاسبه شاخص های طیفی از تصاویر ماهواره ای، می توان شدت خاک‌ورزی را در مزارع تعیین نمود. این کار به روش زیر انجام گردید:

خصوصیات محل آزمایش

آزمایش ها در مزارع گندم به مساحت ۲۵ کیلومتر مربع در شهرستان مرودشت واقع در شمال شیراز انجام شد. شکل ۲ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می دهد. در تحقیق حاضر مزارع آزمایشی به گونه ای انتخاب شدند که در آن ها، پس از برداشت



محصول گندم، مدیریت متفاوت بقایای محصول و خاک‌ورزی اجرا شده بود، بدین صورت در مزارع انتخاب شده درصد پوشش بقایا و روش های مختلف خاک‌ورزی وجود داشت.



شکل ۲- موقعیت منطقه مطالعاتی، شیراز، مرودشت

اندازه گیری درصد پوشش بقایا در پلات های آزمایشی

اندازه گیری درصد پوشش بقایای گیاهی در سطح مزارع آزمایشی در ۹۰ موقعیت انجام شد. ابتدا عکس هایی از چند نقطه از هر پلات در ارتفاع ثابت ۲ متر توسط یک دوربین دیجیتالی از نوع Canon IXUS 960IS برداشته شده و با فرمت JPEG ذخیره شدند. کیفیت تصاویر این دوربین ۱۲/۱ مگاپیکسل بود (جدول ۱). مشخصات جغرافیایی پلات آزمایشی توسط یک دستگاه GPS با دقت ۲ متر ثبت گردید. هر عکس تقریباً یک قاب $1/5 \times 1/5$ متری از زمین را پوشش می دهد که این قاب برای پردازش انتخاب شد.

جدول ۱- مشخصات دوربین دیجیتالی (Canon IXUS 960IS)

اندازه تصویر	عکسبرداری پیوسته	سرعت	بزرگنمایی	فاصله کانونی	پیکسل	نوع
Max (4000×3000)	Approx. 1.5	1/60-1/1600	Optical (3.7x)	7.7-28.5 mm	12.1M	1/1.7"
Min(320×240)	shots/sec	sec	Digital (4x)			CCD



برای پردازش تصاویر از نرم افزار MATLAB نسخه ۷ و نوار ابزار پردازش تصویر نسخه ۶ و برای جداسازی بقایا از خاک در تصاویر از شاخص های طیفی استفاده شد (Jafari et al., 2010). پس از اعمال شاخص، تصاویر ۸ بیتی با استفاده از روش اوتسو^۱ به تصاویر باینری تبدیل شدند. در انتها درصد پوشش بقایای گیاهی در ۹۰ موقعیت یاد شده از تقسیم سطح بقایای جدا شده از خاک بر مساحت کل عکس محاسبه شده (شکل ۱) و متوسط درصد پوشش بقایای کلیه تصاویر برداشته شده در هر پلات به عنوان درصد پوشش بقایا در آن پلات ثبت گردید. برای جلوگیری از تغییر شرایط مزارع آزمایشی در هنگام تصویر برداری توسط ماهواره، عکس برداری با دوربین عکاسی دیجیتالی از سطح پلات ها در زمانی نزدیک به زمان تصویر برداری توسط ماهواره انجام شد.

محاسبه داده های ماهواره ای

برای انجام این پژوهش از تصویر ماهواره ای سنجنده WorldView-2 استفاده شد (جدول ۲). تصویر ماهواره ای مورد استفاده در این پژوهش در تاریخ بیستم تیرماه ۱۳۹۱ (۱۰ جولای ۲۰۱۲) از منطقه برداشت شد. این تصویر با ابعاد ۵×۵ کیلومتر کلیه مزارع آزمایشی را در بر گرفته و در دو فرمت تک طیفی با قدرت تفکیک زمینی ۰/۵ متر و چند طیفی با قدرت تفکیک ۲ متر، که توسط شرکت DigitalGlobe تصحیحات رادیومتری و هندسی آن انجام شده بود، از این شرکت خریداری گردید.

جدول ۲- خصوصیات سنجنده و ۴ باند استاندارد تصاویر WorldView-2 (DigitalGlobeInc, 2012)

باند های سنجنده	طول موج (نانومتر)	خصوصیات سنجنده	
Panchromatic	450 - 800 nm	Launch Date	October 8, 2009
Blue	450 - 510 nm	Orbit Altitude	770 km
Green	510 - 580 nm	Mission Life	10-12 years
Red	630 - 690 nm	Period	100 min
Near Infrared	770 - 895 nm	Dynamic Range	11-bits per pixel

برای استخراج داده های نظیر در تصاویر ماهواره ای، پس از کنترل زمین مرجع سازی^۲ تصویر که توسط شرکت دیجیتال گلوب انجام شده بود، محل اندازه گیری های زمینی که مختصات آن ها توسط یک دستگاه GPS ثبت شده بود در تصویر ماهواره ای مشخص گردید. داده های بازتاب پیکسل هایی از تصویر که در بر گیرنده پلات های آزمایشی بودند استخراج شدند، بنابراین داده برداری در تصویر و زمین از نظر مکانی منطبق بر یکدیگر بود. شاخص های طیفی مورد مطالعه و داده های آنالیز جدا سازی طیفی خطی با استفاده از نرم افزار ENVI از تصویر WorldView-2 استخراج یا محاسبه شدند. شاخص های طیفی مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۳ معرفی شده اند.

1- Otsu algorithm
2- Georeferencing



جدول ۳- اطلاعات شاخص های طیفی مختلف مورد استفاده در این مطالعه

شاخص	تعریف	مرجع
MPRI (Modified photochemical reflectance index)	$(G-R)/(G+R)$	Yang <i>et al.</i> (2008)
BNDVI (Blue normalized difference vegetation index)	$(NIR-B)/(NIR+B)$	Yang <i>et al.</i> (2006)
GNDVI (Green normalized difference vegetation index)	$(NIR-G)/(NIR+G)$	Gitelson <i>et al.</i> (1996)
RV11 (Ratio vegetation index 1)	NIR/R	Jordan (1969)
RV12 (Ratio vegetation index 2)	G/R	Jordan (1969)
RV13 (Ratio vegetation index 3)	G/B	Jordan (1969)
IPVI (Infrared percentage vegetation index)	$NIR/(NIR+R)$	Crippen (1990)
DVI (Difference vegetation index)	NIR-Red	Roujean and Breon (1995)
VARI (Visible atmospherically resistant index)	$(G-R)/(G+R-B)$	Kaufman and Tanre (1992)
GRCI (Green residue cover index)	$(G-B)/(G+B)$	This study
BRCI (Blue residue cover index)	$(R-B)/(R+B)$	This study

در ادامه درصد بقایای اندازه گیری شده در پلات های آزمایشی به صورت تابعی از شاخص ها و داده های آنالیز جداسازی طیفی خطی بیان شد. دقت این روابط همبستگی درصد پوشش بقایا در پلات های آزمایشی و داده های ماهواره ای با استفاده از ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون^۱ (R^2) بیان گردید.

طبقه بندی شدت خاک‌ورزی

مرکز اطلاعات فن آوری حفاظتی^۲، خاک‌ورزی حفاظتی را روشی تعریف نموده است که در آن بیش از ۳۰ درصد سطح خاک از بقایا پوشیده شده است. این میزان در کم خاک‌ورزی ۳۰ - ۱۵ و در خاک‌ورزی شدید یا مرسوم کمتر از ۱۵ درصد بیان شده است (CTIC, 2004). در این تحقیق پوشش بقایا به میزان ۳۰-۶۰ درصد خاک‌ورزی حفاظتی و بیش از ۶۰ درصد بی خاک‌ورزی تعریف شد (Daughtry *et al.*, 2006). برای طبقه بندی شدت خاک‌ورزی با استفاده از دو شاخص که بالاترین همبستگی را با درصد پوشش بقایا در سطح خاک داشتند نموداری برازش گردید که به کمک آنمی توان شدت خاک‌ورزی را در چهار سطح خاک‌ورزی شدید، کم خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حفاظتی و بی خاک‌ورزی در مزارع تعیین نمود. دقت پیش بینی شدت خاک‌ورزی توسط این نمودار در ۳۶ پلات آزمایش شده و نتایج حاصله بررسی گردید.

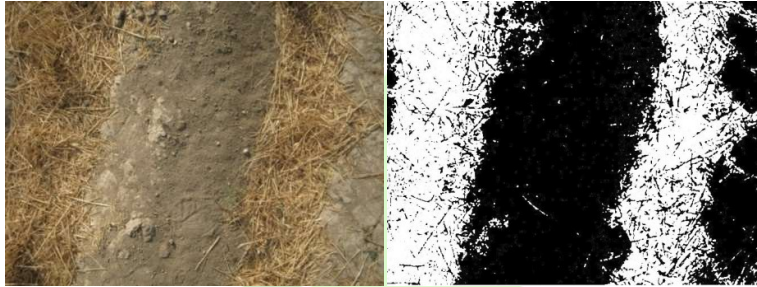
1- Pearson product moment correlation coefficient (R^2)

2- Conservation Technology Information Center



نتایج و بحث

پس از تعیین درصد پوشش بقایا در پلات های آزمایشی توسط عکس های دیجیتالی که با استفاده از روش پردازش تصویر انجام شد (شکل ۳)، همبستگی داده های به دست آمده از این عکس ها (داده های زمینی) و داده های ماهواره ای بررسی و درصد پوشش بقایا در سطح مزرعه به صورت تابعی از داده های تصاویر ماهواره ای ارائه گردید. با توجه به روش تحقیق مراحل ارزیابی داده ها به صورت زیر انجام شد.



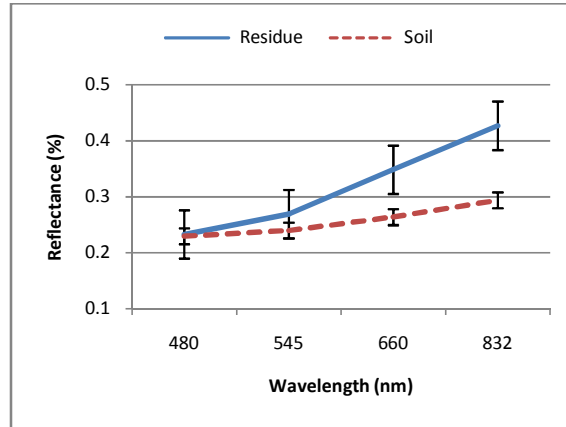
شکل ۳- جداسازی بقایا و خاک (روش پردازش تصویر)

بررسی همبستگی داده های آنالیز جدا سازی طیفی خطی با درصد پوشش بقایا در زمین (روش پردازش تصویر)

برای شرایط این تحقیق که در مزارع گندم مدتی بعد از برداشت محصول انجام شد در سطح مزارع آزمایشی دو عارضه مختلف یعنی خاک و بقایا وجود داشت. این دو عارضه باید در تصویر ماهواره ای از یکدیگر جدا و نسبت سطحی هریک تعیین می شد. بدین منظور برای هریک از دو عارضه یاد شده منحنی بازتاب طیفی^۱ از تصویر 2-WorldView استخراج گردید (شکل ۴). در شکل ۴ طیف بازتاب یافته از خاک و بقایا در باند آبی و سبز تصویر فاصله بسیار کمی باهم دارند، اما در باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک تباین بین طیف بازتاب یافته از خاک و بقایا زیاد می باشد. یافته های مشابهی توسط Pacheco and McNairn (2011) و Bannari et al. (2006) برای تصاویر سایر ماهواره ها گزارش شده است.

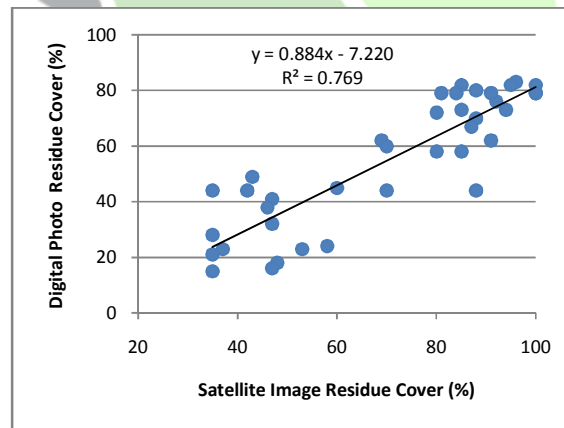
نتایج شکل ۴ نشانگر آن است که بقایای گیاهی در باند های قرمز و به ویژه باند مادون قرمز نزدیک نسبت به خاک بازتاب بیشتری دارند. باتوجه به این یافته می توان دریافت که در صورت استفاده صحیح از آنالیز جدا سازی طیفی خطی و انتخاب یا تعریف شاخص های طیفی مناسب در باندهای قرمز و به ویژه باند مادون قرمز نزدیک تصویر می توان بین خاک و بقایای گیاهی موجود در سطح خاک تمایز قایل شد.

1- Spectral reflectance curve



شکل ۴- منحنی پاسخ طیفی بقایا و خاک (تصویر سنجنده WorldView-2)

به کمک آنالیز جداسازی طیفی خطی، درصد پوشش بقایا در کلیه پلات های آزمایشی (در تصویر ماهواره ای) محاسبه و همبستگی درصد پوشش بقایا که توسط عکس های دیجیتالی محاسبه شده بود با این داده ها بررسی گردید. درصد پوشش بقایا در زمین که با روش پردازش تصویر محاسبه شده بود با یک منحنی رگرسیون خطی به صورت تابعی از درصد پوشش بقایا در تصویر ماهواره ای بیان شد ($R^2 = 0.77$) (شکل ۵).



شکل ۵- رابطه بین درصد پوشش بقایا در زمین (روش پردازش تصویر دیجیتالی) و تصاویر ماهواره ای

بررسی همبستگی شاخص های طیفی ماهواره ای با درصد پوشش بقایا در زمین (روش پردازش تصویر)

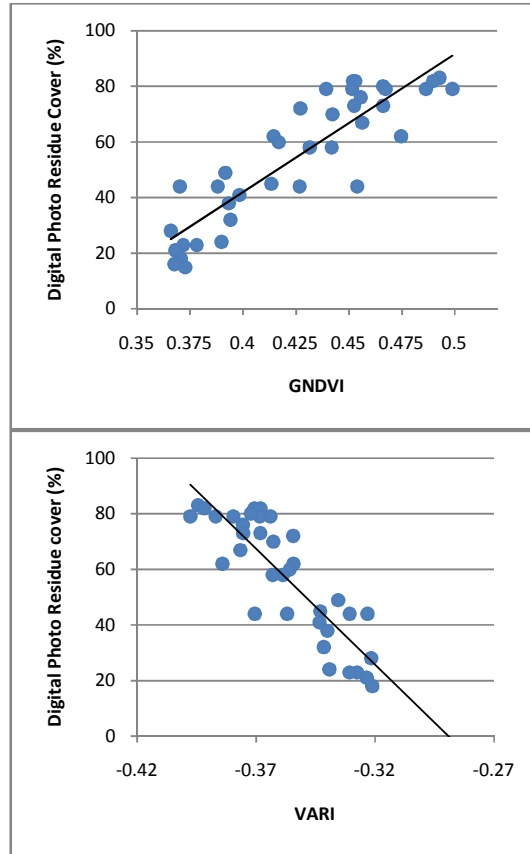


میزان همبستگی شاخص های طیفی با درصد پوشش بقایا در مزارع آزمایشی که به وسیله پردازش تصاویر دیجیتالی محاسبه شدند بررسی شد (جدول ۴، شکل ۶ و ۷). نتایج نشان داد که درصد پوشش بقایا در زمین با دو شاخص IPVI و RVI1 با R^2 به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۸۲ دارای بالاترین همبستگی می‌باشد. نتایج جدول ۴ نشان می‌دهد تمام شاخص هایی که در فرمول آن ها داده های باند آبی وجود دارد (جدول ۳) همبستگی مناسبی با درصد پوشش بقایا نداشته اند، زیرا خاک و بقایای گیاهی در باند آبی دارای بازتاب تقریباً برابری هستند (شکل ۴). بنابراین جداسازی این دو عارضه به کمک شاخص هایی که شامل باند آبی هستند راه به جایی نمی‌برد.

جدول ۴- رابطه بین شاخص های طیفی و درصد پوشش بقایا در زمین تخمین زده شده به روش پردازش تصاویر دیجیتالی

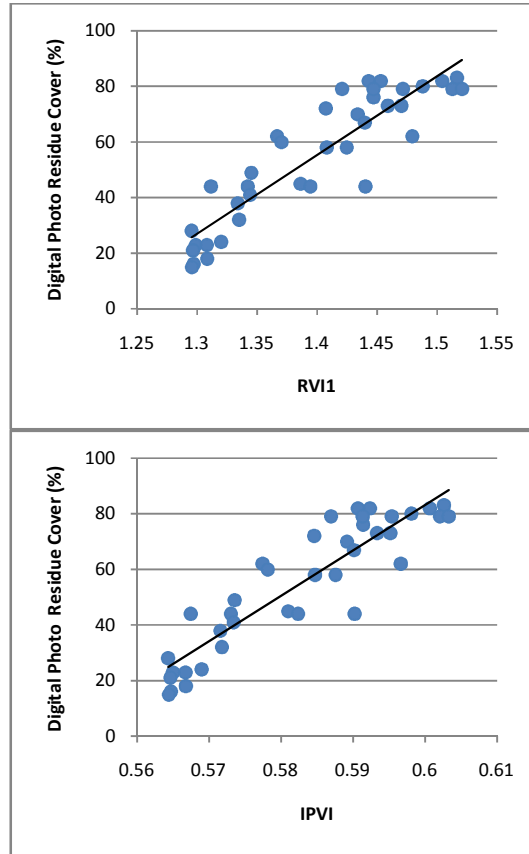
شاخص	معادله رگرسیون خطی	R^2
RVI3	$DPRCP = 209.7 \times RVI3 - 303.9$	0.31
GRCI	$DPRCP = 790.3 \times GRCI - 152.0$	0.31
BRCI	$DPRCP = 583.0 \times BRCI - 239.8$	0.57
DVI	$DPRCP = 0.065 \times DVI - 19.11$	0.69
BNDVI	$DPRCP = 479.4 \times BNDVI - 241.3$	0.70
MPRI	$DPRCP = 864.4 \times MPRI - 188.2$	0.73
VARI	$DPRCP = -864.4 \times VARI - 188.2$	0.73
RVI2	$DPRCP = -713.4 \times RVI2 + 455.4$	0.73
GNDVI	$DPRCP = 495.4 \times GNDVI - 156.2$	0.79
RVI1	$DPRCP = 282.8 \times RVI1 - 340.6$	0.82
IPVI	$DPRCP = 1632 \times IPVI - 896.4$	0.83

DPRCP = Digital Photo Residue Cover Percent



شکل ۶- رابطه بین شاخص های طیفی VARI و GNDVI با درصد پوشش بقایا در زمین

نتایج شکل ۶ نشان می دهد شاخص های VARI و GNDVI که فرمول آن ها شامل باندهای سبز و قرمز می باشد (جدول ۳) با درصد پوشش بقایای گیاهی دارای همبستگی متوسط هستند. این نتیجه به خاطر نزدیک بودن بازتاب خاک و بقایا در باند سبز می باشد. به علت تباین کم بین بازتاب دو عارضه یاد شده تخمین درصد پوشش بقایا با شاخص های شامل باند سبز نتایج متوسطی در بردارد. بالاترین تباین بین بازتاب خاک و بقایا در باندمادون قرمز نزدیک و پس از آن باند قرمز می باشد (شکل ۴)، بنابراین شاخص های IPVI و RVII که با داده های این دو باند محاسبه می شوند (جدول ۳) به خوبی بین خاک و بقایا تمایز قابل شده و بهترین تخمین را از درصد پوشش بقایای گیاهی داشته اند (شکل ۷).



شکل ۷- رابطه بین شاخص های طیفی IPVI و RVI1 با درصد پوشش بقایا در زمین

همانگونه که از شکل ۷ مشاهده می شود وقتی درصد پوشش بقایا افزایش می یابد مقدار شاخص های IPVI و RVI1 نیز افزایش می یابد. این نتیجه در شکل ۸ به صورت دیداری قابل مشاهده است. مقدار این دو شاخص برای شکل ۸-a (پوشش کم بقایا) به ترتیب ۰/۵۵۲ و ۱/۲۳۵، برای شکل ۸-b (پوشش متوسط بقایا) ۰/۵۶۷ و ۱/۳۱۲ و برای شکل ۸-c (پوشش کامل بقایا) ۰/۵۷۹ و ۱/۳۷۸ بوده است.



شکل ۸- تصاویری از سطح مزارع آزمایشی با پوشش کم (a)، متوسط (b) و کامل (c)



طبقه بندی شدت خاک‌ورزی

نتایج تحقیق نشان می‌دهد پیکسل‌های تصویر ماهواره ای که در بر گیرنده مزارع آزمایشی با خاک‌ورزی حفاظتی یا بدون خاک‌ورزی هستند دارای متوسط بازتاب بالاتری نسبت به مزارع با خاک‌ورزی کم و شدید بوده اند (جدول ۵). بالاتر بودن بازتاب در پیکسل‌های تصاویر مربوط به این مزارع به علت وجود بقایای بیشتر در سطح خاک در مقایسه با دو روش دیگر خاک‌ورزی می‌باشد، زیرا همانگونه که از نتایج شکل ۴ مشاهده می‌شود بازتاب پیکسل‌هایی از تصویر که شامل بقایای گیاهی هستند بیش از بازتاب پیکسل‌های شامل خاک می‌باشد. این یافته با نتایج پژوهش‌های (Stoner *et al.* و Van Deventer *et al.* (1997) و (1980) همراستا می‌باشد.

جدول ۵- متوسط درصد بازتاب سطحی برای هر گروه از شدت خاک‌ورزی

شدت خاک‌ورزی	باند آبی	باند سبز	باند قرمز	باند مادون قرمز نزدیک
بی خاک‌ورزی	۰/۰۹۲	۰/۱۶۱	۰/۲۹۸	۰/۴۳۵
خاک‌ورزی حفاظتی	۰/۰۹۰	۰/۱۵۲	۰/۲۶۶	۰/۳۶۵
خاک‌ورزی کم	۰/۰۸۲	۰/۱۳۷	۰/۲۲۹	۰/۲۹۸
خاک‌ورزی شدید	۰/۰۷۷	۰/۱۳۰	۰/۲۱۹	۰/۲۸۴

در جدول ۶ مقایسه میانگین‌های دو شاخص IPVI و RVII که دارای بالاترین همبستگی با درصد پوشش بقایا در سطح خاک هستند برای چهار گروه شدت خاک‌ورزی آورده شده است. نتایج مقایسه میانگین شاخص‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه ای دانکن در سطح احتمال ۵٪ نشان می‌دهد که بین میانگین این شاخص‌ها در چهار گروه از شدت خاک‌ورزی اختلاف معنی‌دار وجود دارد. وجود همین اختلاف معنی‌دار بین داده‌های شاخص‌ها در مزارع با شدت خاک‌ورزی مختلف باعث می‌گردد که بتوان شدت خاک‌ورزی هر مزرعه را در تصویر WorldView-2 با استفاده از شاخص‌های IPVI و RVII تعیین کرد.

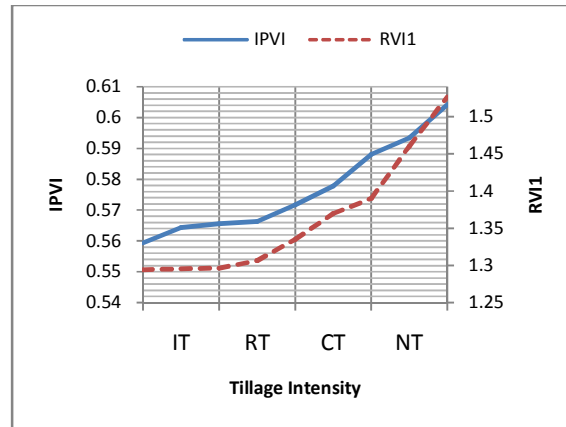
جدول ۶- مقایسه متوسط مقادیر شاخص‌های IPVI و RVII در چهار گروه شدت خاک‌ورزی

شدت خاک‌ورزی	متوسط RVII	متوسط IPVI
بی خاک‌ورزی	۱/۴۶۰۰۸۹ a*	۰/۵۹۳۴۰۶ e
خاک‌ورزی حفاظتی	۱/۳۶۹۶۲۳ b	۰/۵۷۷۸۷۸ f
کم خاک‌ورزی	۱/۳۰۶۴۲۳ c	۰/۵۶۶۴۰۶ g
خاک‌ورزی شدید	۱/۲۹۵۵۵۲ d	۰/۵۶۴۳۷۵ h

* حروف متفاوت در ستون مشابه نشان دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ می‌باشد



برای این کار شکل ۹ به منظور پیش بینی شدت خاک‌ورزی مزارع با استفاده از داده های دو شاخص یاد شده برازش شد. بدین ترتیب با در دست داشتن شاخص ها، که از تصویر WorldView-2 استخراج می شوند بدون مراجعه به مزرعه می توان شدت خاک‌ورزی در مزرعه را تعیین کرد.



شکل ۹- طبقه بندی شدت خاک‌ورزی با استفاده از شاخص های IPVI و RV11

ارزیابی دقت طبقه بندی شدت خاک‌ورزی

برای ارزیابی دقت پیش بینی شدت خاک‌ورزی با استفاده از شکل ۹، درصد پوشش بقایای گیاهی در ۳۶ نقطه از مزارع آزمایشی با استفاده از عکس های دیجیتالی معمولی و پردازش تصاویر اندازه گیری و نتایج حاصله با داده های نظیر آن ها که توسط شکل ۹ پیش‌بینی شده است مقایسه گردید (جدول ۷). نتایج جدول ۷ نشان می دهد که دقت پیش بینی شدت خاک‌ورزی به کمک شکل ۹، یعنی استفاده از شاخص های ماهواره ای، بسیار نزدیک به اندازه گیری ها در سطح مزرعه می باشد.

جدول ۷- ارزیابی دقت طبقه بندی شدت خاک‌ورزی

شدت خاک‌ورزی	بی خاک‌ورزی	خاک‌ورزی حفاظتی	خاک‌ورزی کم	خاک‌ورزی شدید
تعداد محل ارزیابی شده	۹	۹	۹	۹
تعداد نتیجه منطبق بر نتایج اندازه‌گیر بر زمین	۹	۹	۷	۸
تعداد نتیجه غیر منطبق بر نتایج اندازه‌گیر بر زمین	---	---	۱	---
طبقه بندی مرزی	---	---	۱	۱
دقت پیش‌بینی واقعی (%) (بدون نتایج مرزی)	۱۰۰	۱۰۰	۷۸	۸۹
دقت پیش‌بینی کلی (%) (با نتایج مرزی)	۱۰۰	۱۰۰	۸۹	۱۰۰

نتیجه گیری

نتایج نشان می دهد که درصد پوشش بقایای سطحی که توسط آنالیز جداسازی خطی تخمین زده شده است همبستگی بالایی با درصد پوشش بقایا که در سطح خاک با روش عکس دیجیتالی اندازه گیری شده است دارد ($R^2=0.77$). درصد پوشش بقایا در سطح خاک که با عکس دیجیتالی محاسبه شده بود همچنین با دو شاخص طیفی ماهواره ای RV11 و IPVI همبستگی بالایی داشت ($R^2= 0.82$ and 0.83). با توجه به نتایج حاصله دو شاخص یاد شده برای پیشبینی شدت خاک‌ورزی در مزارع انتخاب شده و یک منحنی برای پیشبینی شدت خاک‌ورزی استخراج گردید. دقت کلی پیش بینی شدت خاک‌ورزی در پلات های آزمایشی ۷۸-۱۰۰ درصد بود.

منابع

1. Adams, J. B., D. E. Sabol, V. Kapos, R. A. Filho, D. A. Roberts, and M. O. Smith. 1995. Classification of multispectral images based on fractions of endmembers: Application to land-cover change in the Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment* 52: 137-154.
2. 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.
3. Boardman, J. W. 1993. Automated spectral unmixing of AVIRIS data using convex geometry concepts: in Summaries, Fourth JPL Airborne Geoscience Workshop, JPL Publication 93-26, 1: 11-14.
4. Crippen, R. E. 1990. Calculating the vegetation index faster. *Remote Sensing of Environment* 34: 71-73.
5. CTIC. 2004. National Survey of Conservation Tillage Practices. Conservation Technology Information Center, West Lafayette, IN. Available from <http://www.ctic.purdue.edu/CTIC/CRM.html>. Accessed 14 July 2012.
6. Darvishsefat, A. A., M. PirBavaghar, and M. Rajab-Pourrahmati. 2005. Remote Sens for GIS Managers. University of Tehran Press//3269. (InFarsi).
7. Dennison, P. E., and D. A. Roberts. 2003. The effects of vegetation phenology on endmember selection and species mapping in Southern California Chaparral. *Remote Sensing of Environment* 87: 295-309.
8. DigitalGlobe, Inc. 2012. Basic satellite imagery. Available from <http://digitalglobe.com>. Accessed 15 July 2012.
9. Daughtry, C. S. T., P. C Doraiswamy, E. R. Hunt, A. J. Stern, J. E. McMurtrey, and J. H. Prueger. 2006. Remote sensing of crop residue cover and soil tillage intensity. *Soil and Tillage Research* 91: 101-108.
10. ENVI Tutorials. 1997. Better Solutions Consulting Limited Liability Company, Lafayette, Colorado, USA.
11. Gelder, B. K., A. L. Kaleita, and R. M. Cruse. 2009. Estimating mean field residue cover on midwesternsoils using satellite imager . *Agronomy Jurnal* 101: 635-643.
12. Gitelson, A. A., Y. J. Kaufman, andM. N. Merzlyak. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOSMODIS. *Remote Sensing of Environment* 58: 289-298.
13. Jafari, A., V. Asadi, R. Rasekhi, and M. Moradi. 2010. Precise measurement of residue cover by means of image processing techniques. *International Conference on Agricultural Engineering 2010*. Clermont-Ferrand, France.
14. Jordan, C.F. 1969. Derivation of leaf area index from quality measurements of light on the forest floor. *Ecology*50: 663-666.
15. Kaufman, Y. J., andD. Tanre. 1992. Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 30: 261-270.



16. Lobb, D. A., E. Huffman and C. Reicosky. 2007. Importance of information on tillage practices in the modeling of environmental processes and in the use of environmental indicators. *Journal of Environmental Management* 82: 377-387.
17. Pacheco, A., and H. McNairn. 2010. Evaluating multispectral remote sensing and spectral unmixing analysis for crop residue mapping. *Remote Sensing of Environment* 114: 2219-2228.
18. Pacheco, A., and H. McNairn. 2011. Mapping crop residue cover over regional agricultural landscapes in Canada. Available from <http://www.isprs.org/proceedings/2011/isrse-34/211104015Final00921.pdf>. Accessed 19 september 2012.
19. Roujean, J. L., and F. M. Breon. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance easurements. *Remote Sensing of Environment* 51(3): 375-384.
20. Singer, R. B., and T. B. McCord. 1979. Mars: Large scale mixing of bright and dark materials and implications for analysis of spectral reflectance. *Lunar Planet Science* 10: 1825-1848.
21. Stoner, E. R., M. F. Baumgartner, R. A. Weismiller, L. L. Biehl, and B. F. Robinson. 1980. Extension of laboratory measured soil spectra to field conditions. *Soil Science Society of America Journal* 44: 572-574.
22. Sullivan¹, D. G., J. L. Fulmer¹, T.C. Strickland¹, M. Masters, and H. Yao. 2007. Field scale evaluation of crop residue cover distribution using airborne and satellite remote sensing. *Proceedings of the Georgia Water Resources Conference, held March 27-29, at the University of Georgia.*
23. VAN Deventer, A. P., A. D. Ward, P. H. Gowda, and J. G. Lyon. 1997. Using Thematic Mapper data to identify contrasting soil plains and tillage practices. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63: 87-93.
24. Yang, Z., P. Willis, and R. Mueller. 2008. Impact of band ratio enhanced a WIFS image to crop classification accuracy. *Pecora 17. The Future of Land Imaging... Going Operational*, Denver, Colorado, November 18 - 20.
25. Yang, C., J. H. Everitt, and J. M. Bradford. 2006. Comparison of QuickBird satellite imagery and airborne imagery for mapping grain sorghum yield patterns. *Precision Agriculture* 7: 33-44.

Estimation of conservation tillage criteria by remote sensing technology

Mohammad Ali Rostami^{1*} and Mohammad Hossein Raoufat²

- 1- Faculty member, Agricultural Engineering Research Department, Kerman Agricultural and Natural Resource Research Center marostamy@yahoo.com
- 2- Professor, Mechanics of Farm Machinery Department, Shiraz University.

Abstract

Local information about tillage intensity and ground residue cover is useful for policies in agricultural extension, tillage implement design and upgrading management methods. Current methods for assessing crop residue cover and tillage intensity such as residue weighting, line-transect and photo comparison are tedious and time-consuming. Present study was devoted to search for accurate methods for monitoring residue management and tillage practices. The satellite imagery technique was used as a rapid and spatially explicit method for delineating crop residue cover and as an estimator of conservation tillage adoption and intensity. With this vision, the potential of multispectral high-spatial resolution WorldView-2 local data was evaluated using a total of eleven satellite spectral indices and Linear Spectral Unmixing Analysis (LSUA). A total of ninety locations were considered and for each location residue cover was measured by the image processing method and recorded as ground control. The output of indices and LSUA method were individually correlated to the control and relevant R^2 was calculated. Results indicated that crop residue cover was related to IPVI, RV11, RV12 and GNDVI spectral indices and satisfactory correlations were established (0.73 - 0.83). The crop residue cover estimated from the LSUA approach was found to be correlated with the ground residue data (0.77). Two effective indices named as Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI) and Ratio Vegetation Index (RVI) with a maximum R^2 were considered for classification of tillage intensity. Results indicated that classification accuracy with IPVI and RVI indices in different conditions varied from 78-100 percent and therefore in good agreement with ground measurement, observations and field records.

Key words: conservation tillage, line-transect method, multispectral, Linear Spectral Unmixing Analysis, satellite imagery, spectral indices.