



تخمین شاخص سبزینگی گندم با استفاده از ماهواره لندست و حسگر گرین سیکر (مطالعه موردی مزرعه گندم شمالغرب همدان)

حسنا محمدی منور^۱، مهرا نه خدامرادپور^۱، ابراهیم زینتی^۲

^۱ هیات علمی، دانشگاه بوعلی سینا؛ mkhodamorad@gmail.com, hosna.mohamadi@basu.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه بوعلی سینا؛ zinatimomtaz@gmail.com

چکیده

این پژوهش حسگرهای از راه دور در اندازه‌گیری شاخص‌های سبزینگی گیاه را بمنظور تخمین میزان کود نیتروژن مورد نیاز گندم ارزیابی می‌کند. مطالعات بر روی مزارع گندم شمالغرب استان همدان انجام شد. گندم زمستانه در طول دوره رشد مورد بررسی قرار گرفت. ماهواره لندست ۸ و سنسور غیرتماسی گرین سیکر (GS) برای پایش هر ۱۶ روز برگ گندم بکار رفت و شاخص‌های NDVI، CI و SAVI از آن استخراج شد. روش‌های رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) و حداقل مربعات (PLSR) برای آنالیز تصاویر ماهواره‌ای و مقایسه با روش دستی بکار رفت. نتایج نشان داد NDVI بدست آمده از گرین سیکر (NDVI-GS) با ضریب تبیین ۰/۶۲ ($R^2=0.62$) توسط مدل SVR دارای دقت بالاتری نسبت به مدل PLSR ($R^2=0.55$) می‌باشد. نتایج مشابهی برای NDVI محاسبه شده از طیف بازتابی از ماهواره لندست ۸ (NDVI-L8) مشاهده شد. عبارات دیگر همبستگی قابل قبولی میان NDVI-GS و NDVI-L8 بدست آمد. همچنین SAVI نسبت به CI همبستگی بیشتری با NDVI ($cor_{L8}=0.83>0.71$, $cor_{GS}=0.74>0.69$) نشان داد. از طرف دیگر بکمک جدول GS و میزان کود مصرفی در سال پیش، میزان کود نیتروژن (N) مطابق نیاز مزرعه پیش بینی شد تا از اثرات زیانبار مصرف بی‌رویه N بکاهد.

کلمات کلیدی: گرین سیکر، ماهواره لندست، کود نیتروژن، گندم

Estimation Vegetation Index on wheat using Landsat and Greenseeker Sensors: A case study in western Hamadan province

Hosna Mohamadi Monavar¹, Mehraneh Khodamoradpour, Ebrahim Zinati³

¹Faculty of Biosystem Engineering, Bu ali Sina University; Email:hosna.mohamadi@basu.ac.ir

²Faculty of Water-Resource Engineering, Bu ali Sina University; Email:hosna.mohamadi@basu.ac.ir

³Ms. Student, Biosystem Engineering, Bu ali Sina University

ABSTRACT

This paper presents the evaluation of remote sensors which are measured VI of soil and plant to estimate nitrogen (N) fertilizer requirement of wheat. The experiments were carried out on wheat field in the north west of Hamadan province, Iran. Winter wheat was studied during growing seasons (winter to summer). The newly launched Landsat 8 sensor and an active canopy sensor, GreenSeeker (GS) were provided continuous leaves observations with 16-day interval. Visible-NIR (VNIR) spectroscopy was also used as an alternative rapid method to predict NDVI, CI and SAVI. At the last support vector regression, (SVR) and partial least square regression (PLSR) were applied to assess indices derived from satellite imagery. The results showed that SVR modeling of NDVI obtained from GreenSeeker (NDVI-GS) performed well with 0.62 coefficient of determination (R^2) in comparison with PLSR model ($R^2=0.55$). The same results were achieved for NDVI obtained from Landsat 8 (NDVI-L8). On the other hand, NDVI-L8 correlated well with NDVI-GS. SAVI also showed more correlation to NDVI ($cor_{L8}=0.83$, $cor_{GS}=0.74$) in comparison to CI ($cor_{L8}=0.71$, $cor_{GS}=0.69$). Through estimation of N fertilizer with GS table and due to the data from the previous year, the N fertilizer



was applied according to specific need of the filed that expect less environmental pollution.

Keywords: *GreenSeeker, Landsat 8, N fertilizer, Wheat.*

مقدمه

پایش گیاهان یک روش خلاقانه مدیریت کود در مزرعه است که به ارزیابی سبزیگی گندم می انجامد. از آنجا که اقتصاد ایران بر پایه کشاورزی استوار است بر سبزیگی و کمیت گیاهان از الویت ها است. از طرف دیگر کاربرد سنسورهای از راه دور نیتروژن را متناسب با نیاز گیاه نشان می دهد و سبب حفاظت از محیط زیست می گردد (Samborski et al., 2016; Cao et al., 2015). بمنظور بررسی شاخص های گیاه تعداد زیادهای شاخص سبزیگی وجود دارند که از میزان بازتاب طول موج های ویژه ای قابل محاسبه می باشند. شاخص سبزیگی تفاضل نرمال شده (NDVI) از متداولترین شاخص ها می باشد که بصورت بازتاب انرژی جذب شده فتوسنتزی به درصد پوشش سبز گیاه تعریف می شود (Tucker, 1979). میزان تجمع نیتروژن در گندم شاخص سبزیگی گیاه را تغییر می دهد (Bao et al., 2008; Wang et al., 2011) که بر اساس آن میزان جذب نیتروژن در برگ قابل مدلسازی می باشد (Wang et al., 2012; Wang et al., 2017). از آنجا که NDVI با میزان سبزیگی و در نتیجه کیفیت گیاه رابطه مستقیم دارد بطور گسترده در مورد انواع کشت ها بکار می رود (Cheret & Denux, 2011; Im, et al., 2012; Li et al., 2013; Meng et al., 2013; Ozdemir, 2014; Yuan et al., 2014). حسگرهای بسیاری با عملکرد و پاسخ فرکانسی متفاوت در انواع محدوده های طیفی با دقت مناسب موجود هستند. گرین سیکر حسگر غیر تماسی کانوپی از سال ۲۰۱۳ بصورت تجاری وارد بازار شد و کاربرد ماهواره ها نیز در سنجش سبزیگی و اندازه گیری میزان بازتاب گیاهان مورد استفاده بوده است (Huang et al., 2015; Van Leeuwen et al. 2006; Hadjimitsis et al., 2010). از آنجا که گرین سیکر قابلیت اندازه گیری NDVI را دارد می توان سبزیگی گیاه و میزان نیتروژن مورد نیاز را از روی آن تخمین زد. محدوده محاسبات NDVI در حسگر گرین سیکر مانند معادله (۱) قابل محاسبه می باشد (Dempewdf et al., 2014; Liaqat et al., 2017).

$$NDVI = (NIR_{770} - Red_{660}) / (NIR_{770} + Red_{660}) \quad (1)$$

که در آن NIR_{770} و NIR_{660} به ترتیب بازتاب را در ناحیه فرورسرخ نزدیک و قرمز را نشان می دهند. کاربرد GS در سنجش میزان کود سیب زمینی (Wu et al., 2007)، گندم (Cao et al., 2015; Campillo et al., 2009; Santillano-Cázares et al., 2013)، برنج (Yao et al., 2014) و ذرت (Scharf et al., 2014; Ma et al., 2014; Sharma et al., 2015) گزارش شده است. نحوه محاسبه NDVI از نظر محدوده طیفی در انواع حسگرها متفاوت است (Teillet and Ren 2008). به همین دلیل برای افزودن دقت اندازه گیری از حسگر برخط دیگری استفاده می شود که همزمان میزان NDVI را بسنجد. ماهواره هایی مانند مودیس (Feng et al., 2012; Ju et al., 2012; Maieresperger et al., 2013)، هوانجینگ (HJ) (Wang et al., 2017) و کوئیک برد (Wu et al., 2007) بعنوان حسگر تایید کننده در اکثر پژوهش ها بکار رفته اند.

این مقاله به بررسی میزان NDVI، شاخص تعدیل شده خاک (SAVI) و شاخص کلروفیل (CI) استخراج شده از بازتاب طیفی ماهواره لندست ۸ پرداخت. لندست ۸ (L8) آخرین ماهواره خانواده لندست است که در سال ۲۰۱۳ پرتاب شد و داده های آن قابل دسترس عموم می باشد (Ke et al., 2015). در این پژوهش از GS بعنوان حسگر زمینی همراه ماهواره لندست ۸ استفاده شد تا میزان شاخص های سبزیگی گندم در طول رشد در باندهای مشابه محاسبه گردد. هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد GS و L8 برای تعیین کیفیت گندم در دوره رشد و میزان کود مورد نیاز آن می باشد. علاوه بر این دو حسگر، از طیف سنج محدوده مرئی و فرورسرخ نزدیک (VNIR) برای اندازه گیری شاخص های NDVI، SAVI، CI و بمنظور مقایسه استفاده شد. در نهایت قابلیت دو مدل SVR و PLSR در تخمین دقت همبستگی بررسی گردید.

^۱ Remote sensors

^۲ Online

^۳ MODIS

^۴ HuanJing

^۵ QuickBird

^۶ Soil Adjusted Vegetation Index

^۷ Chlorophyll Index



مزرعه مورد مطالعه

گندم زمستانه در استان همدان اغلب در شهرستان بهار که در شمال غربی (با طول جغرافیایی $48^{\circ}45'$ و عرض جغرافیایی $34^{\circ}96'$) استان واقع شده است، کشت می شود. محدوده دما در شهرستان بهار بین 20° - درجه در زمستان تا 38° درجه در روزهای گرم تابستان گزارش شده است. بمنظور بررسی سنسورهای مورد مطالعه، سه فصل رشد گندم از زمستان تا تابستان مورد پایش قرار گرفت. مزرعه مورد مطالعه با تناوب زراعی سویا، جو و گندم بعنوان کشت های اصلی دارای مساحت هشت هکتار بود. شرایط آب و هوایی در شهرستان بهار سرد و با وزش باد می باشد که متوسط بارش 755mm در سال که بیشتر آن در فصل پاییز (43% کل بارش سالانه) گزارش شده است. زمان کاشت و برداشت این گندم به ترتیب در اواخر آبان یا اوایل آذر و انتهای مرداد ماه می باشد. مزرعه به قسمتهایی با مساحت 30 مترمربع تقسیم شد و اندازه گیری با GS از هر قسمت صورت گرفت همچنین تصویربرداری L8 از اواسط اسفند آغاز شد.

داده برداری از حسگرها

تصویربرداری عملگر زمینی (OLI) و حسگر گرمایی فروسرخ (TIRS) بر روی ماهواره L8 نصب شده اند و قابلیت اندازه گیری کلروفیل را بصورت پیوسته دارند. ماهواره لندست 8 هر 16 روز از منطقه عبور می کند و تصاویر آن از انتهای زمستان تا زمان برداشت همزمان با رشد برگ گندم و تغییر رنگ آن ثبت گردید. برای حذف اثرات اتمسفری مانند ابر و یا مه از تصحیح اتمسفری FLAASH در نرم افزار ENVI (ورژن 5) استفاده شد. میزان NDVI از تصویر رادیومتریک ماهواره محاسبه می شود (معادله 2).

$$(Band\ 4 - Band\ 3)/(Band\ 4 + Band\ 3)$$

(2)

که در آن Band3 و Band4 به ترتیب به محدوده قرمز و فرورسرخ نزدیک اشاره دارند.

اندازه گیری NDVI توسط GS دقیقاً در روزهای تصویربرداری ماهواره ای و نزدیک به رشد فیزیولوژیک گندم انجام شد. از طرف دیگر اندازه گیری نزدیک به زمان کود دهی و آبیاری دوم و سوم مزرعه صورت گرفت. کود اوره با 47% نیتروژن برای تامین N مورد نیاز گندم هر ساله انتخاب می شود. از طرف دیگر بازتاب سبزیگی کانوپی توسط حسگر GS (Trimble Navigation Limited, USA) بمنظور پیش بینی کود مورد نیاز گندم اندازه گیری شد. در طول رشد از برگ برخی بوته ها نمونه برداری شد تا در آزمایشگاه مورد طیف سنجی (Avente, Netherland) قرار بگیرد و دقت شاخص های اندازه گیری شده، تایید گردد.

آنالیز داده ها

تمامی محاسبات همبستگی NDVI بدست آمده از سه روش ماهواره، حسگر GS و طیف سنجی توسط نرم افزار RStudio (ورژن 3.4.1، امریکا، 2017) انجام شد. شاخص های ضریب تبیین (R^2) و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) معیار ارزیابی دقت پیش بینی بود. مدل ها با بالاترین R^2 و کمترین RMSE بعنوان مدل های معتبر شناخته شدند. مدل رگرسیونی PLS زمانی که تعداد متغیرها زیاد است و یا متغیرها همبستگی دارند میزان خطای آموزش را می کاهش دهد. از طرف دیگر SVR بمنظور افزایش عملکرد، میزان خطای تعمیم را کاهش می دهد. قابلیت انواع مدل های SVR با انتخاب هسته های متفاوت افزوده می گردد (Wang et al., 2017) که در این پژوهش از هسته خطی و تابع پایه شعاعی (RBF) استفاده شد. بمنظور کاهش خطای رگرسیون و پرهیز از بیش برازش اعتبارسنجی به روش متقاطع صورت گرفت.

نتایج و بحث

تغییرات شاخص سبزیگی

در روزهای ابتدای رشد که برگ ها کم پشت و کوچک بودند بررسی آنها با طیف سنج صورت گرفت زیرا کانوپی انبوهی تشکیل نشد که قابلیت استفاده از GS و L8 فراهم گردد. با رشد گندم از اواخر زمستان داده های ماهواره و گرین سیکر نیز افزوده شد. تغییرات میانگین و انحراف معیار

¹ Operational Land Imager

² Thermal Infrared Sensor

³ Coefficient of Determination

⁴ Root Mean Square Error

⁵ Kernel

⁶ Linear Kernel

⁷ Radial Basic Function

⁸ Cross Validation



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



اندازه گیری NDVI، SAVI و CI در جدول (۱) نشان داده شده است. همانطور که انتظار می رود میزان سبزینگی با افزایش رشد برگ زیاد می شود. نتیجه معکوسی برای تجمع نیتروژن در برگ بدست آمد (Cao et al., 2015). بمنظور یافتن رابطه NDVI با محتوای کلروفیل برگ و مواد مغذی خاک به ترتیب CI (Gitelson et al., 2005) و SAVI (Fu et al., 2014) از طیف بازتابی L8 و طیف سنج بدست آمد (معادله ۳ و ۴).

$$CI = \frac{NIR}{G} - 1 \quad (3)$$

$$SAVI = \frac{(1 + L)(NIR - R)}{NIR + R + L} \quad (4)$$

که در آن G و R به ترتیب باند سبز و قرمز را نشان می دهند. در طیف بازتابی L=0.5 سبب حداقل شدن تغییرات درخشندگی خاک می شود و نیاز به کالیبراسیون برای انواع خاک ها را به حداقل می رساند (Huete, 1988).

جدول ۱. مقادیر میانگین و انحراف معیار NDVI

Table 1. Mean and SD of NDVI

	GS		L8		VNIR	
	mean	SD	mean	SD	mean	SD
Winter	na	na	0.11	0.02	0.26	0.15
Spring	0.59	0.43	0.43	0.17	0.58	0.33
Summer	0.71	0.58	0.54	0.06	0.73	0.28

na: not available

تغییرات شاخص ها در دوره رویشی و زایشی گندم بررسی شد (شکل ۱). حداکثر مقدار NDVI همزمان با حداکثر سبزینگی و انبوه شدن کانوپی است و با رشد دانه مقدار آن روند نزولی دارد. مقدار CI در برخی روزها کاهش نشان می دهد که به تغییرات طیف بازتابی سبز بستگی دارد که در NDVI و SAVI تأثیری ندارد. از آنجا که بازتاب باند سبز به شدت نور دابسته است با کاهش رنگدانه برگ، نیتروژن را از برگ به دانه انتقال می دهد (Din et al., 2017). ماتریس همبستگی شاخص های اندازه گیری شده در جدول (۲) نشان داده شده است. همبستگی بالایی بین NDVI و SAVI دیده می شود (Liaquat et al., 2017). همچنین NDVI در تمامی مراحل رشد نسبت به دو فاکتور دیگر با میزان کود نیتروژن همبسته تر است.

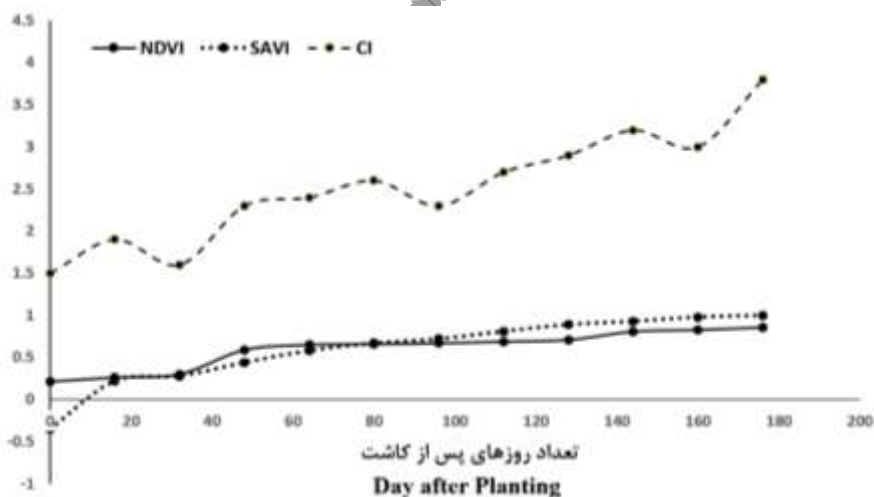


Figure 1. NDVI, SAVI & CI variation in vegetative and reproductive stages of winter wheat using Landsat 8

شکل ۱. تغییرات NDVI، SAVI، CI در دوره رشد رویشی و زایشی گندم زمستانه با استفاده از ماهواره لندست ۸



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



انجمن مهندسی ماشین‌های کشاورزی و مکانیزاسیون ایران



Buali Sina University

جدول ۲. ماتریس همبستگی شاخص‌ها در دوران رشد گندم (Feekes)

Table 2. Correlation coefficients of measured indices during some Feekes stages of wheat

		NDVI	SAVI	CI
Feekes 5	Fertilizer rate	0.28*	0.22 ^{ns}	0.15 ^{ns}
	NDVI		0.66*	0.64*
	SAVI			0.39 ^{ns}
Feekes 7	Fertilizer rate	0.44*	0.29 ^{ns}	0.27 ^{ns}
	NDVI		0.83*	0.61*
	SAVI			0.29 ^{ns}
Feekes 9	Fertilizer rate	0.59**	0.28*	0.22*
	NDVI		0.95**	0.78*
	SAVI			0.55*

ns: nonsignificant, *, **, representing correlation coefficient significant at $P \leq 0.05$ and $P \leq 0.01$, respectively.

مقایسه مدل‌های رگرسیونی

عملکرد دو مدل PLSR و SVR با استفاده از مجموعه داده‌های کالیبراسیون و اعتبارسنجی بررسی شد. مدل SVR با هسته RBF بیشترین مقدار R^2 را نشان داد. در حالیکه عملکرد SVR خطی (SVR_{linear}) شبیه مدل PLSR بود و با افزایش دوره رشد دقت مدل افزوده شد. جدول (۳) دقت و خطای مدل‌های رگرسیونی را در مقایسه NDVI بدست آمده از طیف ماهواره لندست ۸ و گرین سیکر را نشان می‌دهد. پیش‌بینی مقدار GS-NDVI دقت بیشتری نسبت به L8-NDVI نشان داد که انحراف بیشتری نسبت به مقدار پیش‌بینی شده، داشت. برتری SVR_{RBF} ثابت بودن دقت مدل در دوره رشد با سبزیگی متفاوت برگ می‌باشد.

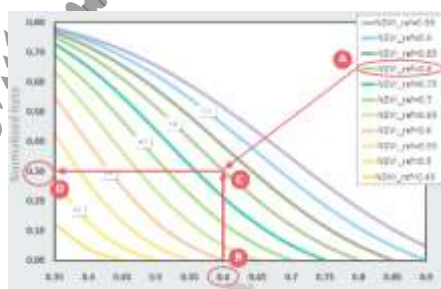
جدول ۳. دقت مدل‌های SVR و PLSR در پیش‌بینی NDVI

Table 3. Accuracy of SVR and PLSR models between measured NDVI

	SVR _{RBF}		SVR _{linear}		PLSR	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Feekes 5-7						
NDVI-GS	0.72	0.19	0.61	0.19	0.58	0.29
NDVI-L8						
Feekes 8-10						
NDVI-GS	0.76	0.21	0.64	0.32	0.63	0.45
NDVI-L8						

پیش‌بینی کود نیتروژن

یکی از کاربردهای مهم GS تخمین میزان کود نیتروژن مورد نیاز گندم است. به همین منظور یک منطقه پریش از مزرعه بعنوان مرجع انتخاب می‌شود و سایر نقاط نسبت به مرجع سنجیده می‌شود، سپس با استفاده از نمودار نرخ نرمال شده کود ازت که برای برخی محصولات از جمله گندم استخراج شده است، میزان کود و عملکرد مزرعه تخمین زده شد (شکل ۲). میزان عملکرد سال گذشته مزرعه در نظر گرفته می‌شود. با این روش میزان کود مورد نیاز مزرعه مورد مطالعه ۲۵۴ تن در هکتار پیش‌بینی شد که نسبت به سال گذشته (300 ton/ha) ۱۸٪ کاهش نشان داد. با استفاده از NDVI یا نرخ بازتاب نور از برگ گندم می‌توان مانع از مصرف بی‌رویه نیتروژن گردید. عبارت دیگر NDVI شاخص مناسبی برای پیش‌بینی کود نیتروژن گندم در دوره رشد است (Huang et al., 2015).



Crop	%N	lb/ha	Maximum yield [bu/ac]													
			15	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275		
Spring wheat	2.45	60		66.8	134	200	267	334	401	468						
Winter wheat	2.81	60	37.6	62.7	125	188	251	314	376	439						
Dryland corn	1.31	56				99.3	132	165	198	232	265	298	331			
Irrigated corn	1.25	56					127	159	191	223	255	286	318	350		
Barley	1.70	48	22.3	37.1	74.2	111	148	185	223	260						
Triticale	2.10	54	30.9	51.5	103	155	206	258	309	361						
Sorghum	1.34	56				102	136	171	205	239	273	307				
Carola	3.10	50	42.3	70.5	141	211	282									

Fig 2. Fertilizer graph (left) and crop table of maximum yield (right)

شکل ۲. نمودار کود (سمت چپ) و جدول حداکثر عملکرد محصول (سمت راست)



نتیجه گیری

بررسی شرایط رشد گندم توسط GS و L8 بررسی گردید. طیف سنجی VNIR نیز عملکرد این دو روش را ارزیابی نمود. از میان شاخص‌های مورد بررسی، NDVI در هر سه حسگر همبستگی بیشتری با سبزیگی گندم و میزان کود مورد نیاز آن در دوره رشد نشان داد. ماهواره لندست 8 و حسگر دستی گرین سیکر عملکرد مشابهی در پیش بینی سلامت گندم داشتند. از طرف دیگر با دانستن نیاز کودی گیاه و مزرعه از تجمع ازت در گیاه جلوگیری شد که به سلامت بیشتر محصول کمک نمود.

منابع

- Bao, Y.S., Liu, L.Y., Wang, J.H. (2008). Estimating biophysical and biochemical parameters and yield of winter wheat based on landsat TM images. *IEEE Geosci. Remote Sensing Series*. 2: 789–792.
- Cao, Q., Miao, Y., Feng, G., Gao, X., Li, F., Liu, B., Yue, S., Cheng, S., Ustin, S.L., Khosla, R. (2015). Active canopy sensing of winter wheat nitrogen status: An evaluation of two sensor systems. *Computers and Electronics in Agriculture*, 112: 54-67.
- Campillo, R. Jobet, C, Undurraga P. (2009). Effect of nitrogen on productivity, grain quality, and optimal nitrogen rates in winter wheat cv. Kumpa-Inia in Andisols of Southern Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70(1): 122-131.
- Cheret, V., & J. Denux. (2011). Analysis of MODIS NDVI time series to calculate indicators of Mediterranean forest fire susceptibility. *GIScience and Remote Sensing* 48: 171–194.
- Dempewolf, J., Adusei, B., Becker-Reshef, I., Hansen, M., Potapov, P., Khan, A., Barker, B. (2014). Wheat yield forecasting for Punjab Province from vegetation index with time series and historic crop statistics. *Remote Sensing* 6: 9653–9675.
- Din, M., Zheng, W., Rashid, M., Wang, S., and Shi, Z. (2017). Evaluating hyperspectral vegetation indices for estimation of leaf area index of *Oryza sativa* L. at diverse phenological stages. *Front Plant Science* 8: 820.
- Feng, M., C. Huang, S. Channan, E. F. Vermote, J. G. Masek, and J. R. Townshend. (2012). Quality assessment of Landsat surface reflectance products using MODIS data. *Computers & Geosciences* 38(1): 9–22.
- Fu, Y., Yang, G., Wang, J., Song, X., Feng, H. (2014). Winter wheat biomass estimation based on spectral indices, band depth analysis and partial least squares regression using hyperspectral measurements. *Computers and Electronics in Agriculture* 100: 51–59.
- Gitelson, A.A., Vina, A., Ciganda, V., Rundquist, D.C., Arkebauer, T.J. (2005). Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops. *Geophysical Research Letters* 32(8): 403-408.
- GreenSeeker® System Datasheet, 2013. Trimble Navigation Limited.
- Hadjimitsis, D. G., G. Papadavid, A. Agapiou, K. Themistocleous, M. G. Hadjimitsis, and A. Retalis. (2010). Atmospheric correction for satellite remotely sensed data intended for agricultural applications: Impact on vegetation indices. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 10(1): 89–95.
- Huang, S., Miao, Y., Zhao, G., Yuan, F., Ma, X. (2015). Satellite remote sensing-based in-season diagnosis of rice nitrogen status in Northeast China, *Remote Sensing*, 7:10646-10667.
- Huete, A.R., (1988) A soil-adjusted vegetation index (SAVI) *Remote Sensing of Environment*, 25(3), 259-309.
- Im, J., Z. Lu, J. Rhee, and L. J. Quackenbush. (2012). Impervious surface quantification using a synthesis of artificial immune networks and decision/regression trees from multi-sensor data. *Remote Sensing of Environment* 117: 102–113.
- Ju, J., Roy, D., Vermote, E., Masek, J., & Kovalsky, V. (2012). Continental-scale validation of MODIS-based and LEDAPS Landsat ETM+ atmospheric correction methods. *Remote Sensing of Environment*, 122, 175–184.
- Ke, Y., J. Im, J. Lee, H. Gong, and Y. Ryu. (2015). Characteristics of Landsat 8 OLI-derived NDVI by comparison with multiple satellite sensors and in-situ observations. *Remote Sensing of Environment* 164: 298–313.
- Large, E.C. (1954). Growth stages in cereals illustration of the Feekes scale. *Plant Pathology* 3: 128–129.
- Liaquat, M.U., Cheema, M.J.M., Huang, W., Mahmood, T., Zaman, M., Mohsin-Khan, M. (2017). Evaluation of Modis and Landsat multiband vegetation indices used for wheat yield estimation in irrigated Indus Basin. *Computer and Electronics in Agriculture*, 138: 39-47.
- Li, M., Im, J., & Beier, C. (2013). Machine learning approaches for forest classification and change analysis using multi-temporal Landsat TM images over Huntington Wildlife Forest. *GIScience and Remote Sensing* 50: 361–384.
- Ma, B.L., Wu, T.Y., Shang, J. (2014). On-farm comparison of variable rates of nitrogen with uniform application to maize on canopy reflectance, soil nitrate, and grain yield. *Plant Nutrient Soil Science* 177: 216–226.
- Maiersperger, T. K., P. L. Scaramuzza, L. Leigh, S. Shrestha, K. P. Gallo, and C. B. Jenkerson. (2013). Characterizing LEDAPS surface reflectance products by comparisons with AERONET, field spectrometer, and MODIS data. *Remote Sensing of Environment* 136: 1–13.
- Meng, Q., W. Cooke, and J. Rodgers. (2013). Derivation of 16-day time-series NDVI data for environmental studies using a data assimilation approach. *GIScience and Remote Sensing* 50: 500–514.
- Olf, H.W. (2009). *Improved precision of arable nitrogen applications: requirements, technologies and implementation*. The International Fertilizer Society, Proceeding 662, p 35.



یازدهمین کنگره ملی مهندسی مکانیک بیوسیستم و مکانیزاسیون ایران



- Ozdemir, I. (2014). Linear transformation to minimize the effects of variability in understory to estimate percent tree canopy cover using RapidEye data. *GIScience and Remote Sensing*, 51, 288–300.
- Santillano-Cázares, J., López-López, A., Ortiz-Monasterio, I., Raun, W.R. (2013). Usode sensores ópticos para la fertilización de trigo (*Triticum aestivum* L.). Use of optical sensor technology for the fertilization of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Terra Latinoamericana* 31: 95–103.
- Samborski S.M. Gozdowski D., Stepien M., Walsh, O.S., Leszczynska, E. (2016). On farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat. *European J Agronomy* 74: 56–67.
- Scharf, P.C., Shannon, D.K., Palm, H.L., Sudduth, K.A., Drummond, S.T., Kitchen, N.R., Mueller, L.J., Hubbard, V.C., Oliveira, L.F. (2011). Sensor-based nitrogen applications out-performed producer-chosen rates for corn in on-farm demonstrations. *Agronomy* 103: 1683–1691.
- Sharma, L. K., H. Bu, A. Denton, and D. W. Franzen. (2015). Active-Optical Sensors Using Red NDVI Compared to Red Edge NDVI for Prediction of Corn Grain Yield in North Dakota USA. *Sensors* 15: 27832-27853.
- Teillet, P., and X. Ren. (2008). Spectral band difference effects on vegetation indices derived from multiple satellite sensor data. *Canadian Journal of Remote Sensing* 34: 159–173.
- Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing Environment* 8: 127–150.
- Van Leeuwen, W.J., Orr, B.J., Marsh, S.E., & Herrmann, S.M. (2006). Multi-sensor NDVI data continuity: Uncertainties and implications for vegetation monitoring applications. *Remote Sensing of Environment* 100(1): 67–81.
- Wang, L., Zhou, X., Zhu, X., Guo, W. (2017). Estimation of leaf nitrogen concentration in wheat using the MK-SVR algorithm and satellite remote sensing data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 140: 327-337.
- Wang, W., Yao, X., Yao, X.F., Tian, Y.C., Liu, X.J., Ni, J., Cao, W.X., Zhu, Y. (2012). Estimating leaf nitrogen concentration with three-band vegetation indices in rice and wheat. *Field Crop Resource* 129: 90–98.
- Wang, L.G., Wang, B.Z., Feng, W., Zheng, T., Feng, X., Zheng, G.Q. (2011). Comparative analysis of monitoring winter wheat nitrogen with SPOT-5 and HJ image. *Triticeae Crops* 31: 331–336.
- Wu, J., Wang, D., Bauer, M.E. (2007). Assessing broadband vegetation indices and QuickBird data in estimating leaf area index of corn and potato canopies. *Field Crops Resors* 102: 33–42.
- Yao, Y.; Miao, Y.; Cao, Q.; Wang, H.; Gnyp, M.L.; Bareth, G.; Khosla, R.; Yang, W.; Liu, F.; Liu, C. (2014). In-season estimation of rice nitrogen status with an active crop canopy sensor. *IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sensing* 7, 4403–4413.
- Yuan, F., C. Wang, and M. Mitchell. (2014). Spatial patterns of land surface phenology relative to monthly climate variations: US Great Plains. *GIScience and Remote Sensing* 51: 30–50.