

مقایسه شاخص پوشش گیاهی نرمال سیب‌زمینی بین سبزینه‌سنج و ماهواره لندست

حسنى محمدى منور^{*۱}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۶/۱۳

چکیده

تغییرات زیاد میزان نیتروژن خاک مزارع کاربرد مفید کود ازت را محدود می‌کند. مدیریت خلاقانه کود باید به گونه‌ای باشد تا از اثرات مخرب کوددهی زیاد جلوگیری کند و همچنین بتواند بازدهی مزرعه را افزایش دهد. استفاده کمتر یا بیشتر از ازت بر روی کیفیت غده سیب‌زمینی مؤثر است. هدف استفاده از حسگر سبزینه‌سنج (GS) و تصاویر ماهواره‌ای در یک مزرعه تجاری سیب‌زمینی رقم مارفونا واقع در شهرستان بهار استان همدان، قابلیت به کارگیری این حسگرها و امکان جایگزینی آن نسبت به روش‌های متداول بود و همچنین با استفاده از طیف‌سنجی برگ، میزان شاخص پوشش گیاهی نرمال (NDVI) مطابق طول موج حسگر GS محاسبه شد. اندازه‌گیری با سبزینه‌سنج هر هشت روز در هر متر مربع ثبت گردید. در طول دوره رشد تا برداشت دوبار از تصاویر ماهواره لندست ۸ (OLI) استفاده شد. ضریب تبیین عملکرد فصلی (INSEY) و داده‌های هواشناسی با مقدار NDVI بررسی شده در مدل رگرسیونی بردار پشتیبان (SVR) به ترتیب ۰/۹۴۷ و ۰/۹۶۴ توسط سبزینه‌سنج و ۰/۹۴۷ و ۰/۹۹۷ توسط تصویر لندست پیش‌بینی گردید. نتایج نشان داد که NDVI محاسبه شده توسط GS (۰/۹۴) با دقت بیشتری نسبت به تصاویر OLI (۰/۸۱) توسط طیف‌سنجی تأیید شد که علت آن را می‌توان به تغییرات جوی مربوط دانست. لذا سبزینه‌سنج به‌طور دقیق و مؤثر می‌تواند در مزارع برای مدیریت کود ازت به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره‌ای، سبزینه‌سنج، شاخص پوشش گیاهی نرمال

مقدمه

به‌منظور افزایش محصول، غده‌های سیب‌زمینی باید شکل و اندازه یکنواخت داشته باشند و آسیب‌های ظاهری و داخلی آنها به حداقل برسد که با مدیریت مصرف بهینه کود ازت، قابل دستیابی است (Stark and Brown, 2003). تکنولوژی‌های نوین اخیر (حسگرهای نوری و از راه دور) عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی را افزایش داده‌اند. میزان کلروفیل به موارد مختلفی وابسته است که در این میان تغییرات ازت برگ‌ها تعیین‌کننده هستند. حسگر سبزینه‌سنج (Greenseeker, Trimble Industry, USA) زردی برگ را به‌عنوان کمبود ازت تفسیر می‌کند و سپس مقدار کود مناسب را با توجه به مقدار NDVI پیشنهاد می‌نماید. تحقیقات بسیاری در استفاده از این حسگر در گیاهان گندم، برنج، جو، ذرت و سیب‌زمینی انجام شده است (Raun et al., 2002; Tremblay et al., 2011; Samborski et al., 2016). در میان شاخص‌های مختلف گیاهی، NDVI بیشتر برای پایش سبزیگی در بسیاری از تحقیقات پیشین به‌کار رفته است (Cheret and Denux, 2011; Im et al., 2012; Meng et al., 2013; Yuan et al., 2014). این شاخص از بازتاب در باند قرمز و فرورسرخ محاسبه می‌شود (رابطه ۱). در باند قرمز جذب کلروفیل و در باند فرورسرخ بازتابش سبزیگی رخ می‌دهد که می‌تواند میزان تجمع ازت در گیاه را پیش‌بینی کند. با توجه به اینکه NDVI بر روی

مدیریت مزرعه بخشی از کشاورزی دقیق است که می‌تواند تأثیر محیطی و اقتصادی مثبتی بر روی کیفیت تولید گیاهان در مزرعه داشته باشد. پیشگر لحظه‌ای عملکرد سیب‌زمینی نمونه‌ای از کاربرد کشاورزی دقیق می‌باشد (MohammadZamani et al., 2014). تصمیم درباره میزان کود ازت مورد نیاز بستگی به فاکتورهای خاک، شرایط اقلیمی و الگوی رشد گیاه دارد. مقدار بهینه ازت از یک مزرعه به مزرعه دیگر در طول یک مزرعه متفاوت است (Kitchen et al., 2010). تفاوت در محتوای نیتروژن گیاه در طول سال‌های کشت معمولاً به علت تغییرات اقلیمی می‌باشد در حالی که تفاوت در محتوای نیتروژن گیاه در یک مزرعه را به تفاوت در شرایط خاک مربوط دانسته‌اند (Olf, 2009). به علت تغییرات در متغیرهای خاک که سبب توزیع نایکنواخت مواد معدنی و کمبود نیتروژن می‌گردند کوددهی ازت انجام می‌شود (Schepers and Shanahan, 2009).

۱- استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

*- نویسنده مسئول: (Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

DOI: 10.22067/jam.v8i2.64486

بیشترین تأثیر را روی خصوصیات کیفی محصول دارد، هدف از این تحقیق بررسی دقت عملکرد سبزینه‌سنج در تشخیص NDVI در طول دوره رشد سیب‌زمینی و یافتن رابطه آن با مقدار اندازه‌گیری شده در تصویر حسگر OLI است.

مواد و روش‌ها

مزرعه مورد مطالعه

مزرعه تجاری سیب‌زمینی رقم مارفونا به وسعت سه هکتار در شهرستان بهار استان همدان به‌ترتیب با طول و عرض جغرافیایی $48^{\circ}45'$ شرقی و $95^{\circ}34'$ شمالی واقع است. سیب‌زمینی در روزهای ابتدای اسفند ۹۴ کشت شد و بعد از رشد اولین برگ‌ها در کل مزرعه، آزمایش آغاز گردید. زمین در طول زمستان به‌صورت آیش رها شده بود و پیش از کاشت، خاک سطحی توسط دیسک زیر و رو شد. برخی فاکتورهای خاک در آزمایشگاه خاکشناسی دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی استخراج (جدول ۱) و بافت خاک در ۷۵ سانتی‌متر سطحی لومی شنی گزارش شد. نمونه‌برداری از برگ سیب‌زمینی در هر متر مربع با سبزینه‌سنج انجام شد. سبزینه‌سنج در فاصله ۶۰ سانتی‌متری بالای گیاه قرار گرفت و میانگین سه بار داده‌برداری معرف NDVI گیاه بود. هر هشت روز یکبار اندازه‌گیری از کل مزرعه انجام شد. با توجه با اینکه ماهواره لندست ۸ هر ۱۶ روز داده‌برداری می‌کند دو تصویر همزمان با داده سبزینه‌سنج در دوره خاکدهی پای بوته^۵ و وقتی بوته به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری رسید، برداشت شد. جدول ۲ تاریخ برداشت تصاویر و داده‌های NDVI را نشان می‌دهد. در زمان کاشت همراه با آبیاری کود مرغی خشک با محتوی ۴/۵٪ ازت در بخشی از خاک (ضلع جنوب غربی مزرعه) که کمبود نیتروژن داشت، توزیع گردید. به این ترتیب NDVI اندازه‌گیری شده توسط GS در کل مزرعه یکنواخت شد.

تغییرات جوی

استان همدان منطقه‌ای مرتفع و کوهستانی است و دشتهای وسیع منطقه شرقی و شمال شرقی استان را در مسیر بادهای شدید قرار می‌دهد. به گزارش ایستگاه سینوپتیک بهار حداکثر مطلق درجه حرارت هوا ۳۶/۸ و حداقل مطلق آن ۲۹/۶- و متوسط حرارت آن $9/6^{\circ}\text{C}$ است. در این استان ۱۰۰-۱۴۳ روز یخبندان است که در زمستان و گاهی فروردین است. جدول ۳ داده‌های هواشناسی (حداکثر و حداقل دما، سرعت وزش باد و بارندگی ماهانه) منطقه را نشان می‌دهد که ایستگاه هواشناسی آن در فاصله ۴/۵ کیلومتری مزرعه مورد مطالعه قرار دارد. از آنجا که تغییرات جوی از عوامل مؤثر بر

فاکتورهای بسیاری مانند تجمع بیومس، رشد گیاه، خواص فیزیکی- شیمیایی و بیولوژیکی خاک مؤثر است پس می‌توان GS را ابزاری مناسب برای پایش تمامی این فاکتورها در نظر گرفت. از طرف دیگر چون دقت GS تحت تأثیر میزان نور، تغییرات دما یا وزش باد قرار نمی‌گیرد NDVI خوانده شده کاملاً قابل اعتماد است. این شاخص به‌طور غیرمستقیم با سلامت خاک رابطه دارد زیرا تجمع زیست‌توده، استرس‌های ناشی از کمبود مواد مغذی و بیماری‌های گیاهی را بازتاب می‌دهد. به همین علت GS را وسیله اندازه‌گیری غیرمستقیم فاکتورهایی pH, EC, N, P, K و OC می‌دانند.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

که در آن NIR و Red به‌ترتیب بازتاب طول موج فرورسرخ نزدیک و قرمز هستند.

در دهه‌های اخیر افزایش تعداد حسگرهای ماهواره‌ای فرصت مناسبی را برای استخراج NDVI در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف و همچنین کاربرد همزمان چندین ماهواره فراهم می‌سازد (Hong et al., 2009; Ke et al., 2015). اگرچه مشکلاتی هم در استفاده همزمان از چند حسگر ماهواره‌ای وجود دارد که به علت تفاوت در شرایط جوی زمان پیمایش، باندهای طیفی، عملکرد سامانه و زمان تصویربرداری به‌وجود می‌آیند (Hadjimitsis et al., 2010). تفاوت در طول موج طیفی ماهواره‌ها به تنهایی سبب ۱۰٪ تفاوت در NDVI می‌شود (Teillet and Ren, 2008). این بی‌ثباتی سبب عدم اعتماد به پاسخ‌های حسگرهای ماهواره‌ای می‌گردد. لذا پژوهش‌های پیشین با مقایسه همزمان چند ماهواره صحت این موضوع و دقت NDVI مشاهده شده را بررسی نمودند (Feng et al., 2012; Maier-sperger et al., 2013; Ke et al., 2015). ماهواره لندست ۸ آخرین ماهواره خانواده لندست است و در فوریه ۲۰۱۳ پرتاب شده است. به این ماهواره دو حسگر تصویرساز زمین عملیاتی^۱ (OLI) و حسگر فرورسرخ گرمایی^۲ (TIRS) و دو باند طیفی جدید (باند مرئی آبی عمیق^۳ در ۴۵۰-۴۳۰ nm و باند فرورسرخ کوتاه^۴ در ۱۳۹۰-۱۳۶۰ nm) اضافه شده است که توان عملیاتی و دقت آن را نسبت به سایر ماهواره‌های این خانواده می‌افزاید. تصاویر چندطیفی ماهواره‌ها در تخمین پوشش بقایای گیاهی و شدت خاکورزی با دقت بالایی بسیار نزدیک به مشاهدات زمینی می‌باشند (Rostami et al., 2014). Li و همکاران (۲۰۱۴) شاخص سبزینه‌سنج را در تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ (OLI) و لندست ۷ (ETM+) مقایسه کردند و به پایداری بالایی ($R^2 > 0.99$) رسیدند. از آنجا که وضعیت نیتروژن

- 1- Operational Land Imager
- 2- Thermal Infrared Sensor
- 3- Deep Blue Visible Band
- 4- Shortwave Infrared Band

تبدیل انرژی، حرکت و تبادل گازها به طور قابل ملاحظه ای به وسیله NDVI مشخص می شود که به طور معمول برای کنترل فرآیند رشد گیاه به کار می رود.

عملکرد محصول می باشد با مدل رگرسیونی آنها میزان NDVI پیش بینی گردید. شاخص NDVI کلید ورودی در مدل های زیست محیطی به دلیل ارتباط آن با فتوسنتز، تعرق، چرخه تعامل کربن و مواد مغذی و بارندگی است (Deng et al., 2006). جذب تابش،

جدول ۱- برخی خواص شیمیایی خاک

Table 1- Some chemical properties of soil

فاکتورهای خاک Soil features	کربن آلی (%) Organic carbon	نیتروژن (mg.kg ⁻¹) Nitrogen	پتاسیم (mg.kg ⁻¹) Potassium	فسفر (mg.kg ⁻¹) Phosphor
متوسط ۱۵ نمونه تصادفی Average of 15 random samples	1.2	0.14	23.5	1.5

جدول ۲- تاریخ اندازه گیری توسط OLI و GS

Table 2- Measurement Dates by GS and OLI

مراحل رشد Growth Stage	کاشت Planting	جوانه زدن Emergence	خاکدهی پایه بوته Post-Hilling	ساقه به ارتفاع ۳۰ سانتی متر 30cm stem height	ساقه به ارتفاع ۵۰ سانتی متر 50cm stem height		
تاریخ رشد Growth date	2017.02.25	2017.05.02	2017.05.31	2017.06.16	2017.07.06		
زمان داده برداری Measurement Dates	GS	2017.05.07	2017.05.15	2017.05.23	2017.05.31	2017.06.08	2017.06.16
	OLI	-	-	-	2017.05.31	-	2017.06.16

جدول ۳- داده های هواشناسی ایستگاه بهار در ماه های رشد

Table 3- Meteorological data in the growth months of Bahar station

	فروردین March-April	اردیبهشت April-may	خرداد May-June	تیر June-July
دمای کمینه T-min	-4.9	-0.7	3.5	3.11
دمای بیشینه T-max	8.18	9.30	3.33	7.38
دمای متوسط T-Average	3.8	1.15	7.18	2.25
رطوبت نسبی Relative humidity	60	54	33	26
بارش ماهانه Precipitation (mm)	3.96	6.20	8.10	0.0
سرعت وزش باد Wind velocity (m s ⁻¹)	15	11	10	15

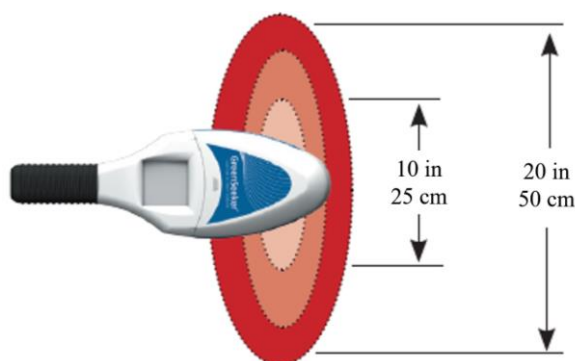
به صورت متناوب در طول زمان های مختلف ساطع می گردد. دیود قرمز و سپس فرورسرخ هر کدام به مدت یک میلی ثانیه در فرکانس ۴۰۰۰ هرتز پالس می دهند. هر دیود ۴۰ پالس پی در پی، پیش از توقف ساطع می کند. منطقه اندازه گیری با ۶۰ سانتی متر قطر در حالی که دستگاه عمود بر زمین قرار گرفته، روشن می شود. همچنین

سبزینه سنج و اسپکترومتر

سبزینه سنج ابزاری دقیق برای اندازه گیری غیرمخرب و سریع شاخص پوشش گیاهی در طول دوره رشد و مدیریت مصرف کود نیتروژن است. محدوده اندازه گیری سبزینه سنج ۱۵±۶۶۰ nm در باند قرمز و ۱۵±۷۷۰ nm در باند فرورسرخ می باشد. نور از دیودها

بین رفتن گیاه و خسارت به کشاورز می‌گردد. از طرف دیگر آگاهی از میزان شرایط خاک ضروری است تا بتوان قبل از کاشت آماده‌سازی زمین را انجام داد. برای آسان نمودن سنجش عامل‌های سیب‌زمینی، برگ در دو زمان از دوره رشد (سه برگی و حجیم شدن غده) توسط طیف‌سنج (AvaSpec-ULS 2048-UV-VIS) بررسی و NDVI از طیف استخراج گردید.

این حسگر به دلیل متوسط‌گیری از امواج برگشتی از یک سطح بیضی (شکل ۱) با مقدار تراکم بوته در واحد سطح هم رابطه مستقیم داشته و با تغییرات حجم سبزیگی این شاخص نیز تغییر می‌کند. از آنجا که بسیاری از زمین‌های کشاورزی دور از شهرها واقع هستند و امکان بررسی آزمایشگاهی برای تشخیص NDVI در هر مرحله از رشد گیاه وجود ندارد، لذا کشاورزان به‌طور معمول چندین بار کوددهی را انجام می‌دهند که اثرات آن در گیاه باقی می‌ماند یا در حالت بارزتر سبب از



شکل ۱- سطح اندازه‌گیری شده به‌وسیله حسگر GreenSeeker (وقتی در ارتفاع ۶۰ cm و ۱۲۰ cm بالای گیاه قرار می‌گیرد به‌ترتیب بیضی‌هایی به قطر ۲۵ cm و ۵۰ cm را پوشش می‌دهد)

Fig.1. The field of view that measured by GreenSeeker sensor (approximately cover 25cm and 50cm oval diameter wide at 60cm and 120cm above the ground, respectively)

آمریکا^۲ برای انجام تصحیحات اتمسفری در دسترس می‌باشد. به‌طور کلی دو عامل مهم در اتمسفر بر روی تصاویر اثر می‌گذارد: خطای جذب و خطای پخش که دو روش تصحیح اتمسفری مطلق و نسبی برای اصلاح آن‌ها وجود دارد. داده‌های ماهواره‌ای را نیز می‌توان به یکی از روش‌های استفاده از نقاط کنترل زمینی، استفاده از پارامترهای مداری ماهواره‌ای و همبستگی مورد تصحیح هندسی قرار داد و با یک مینا مطابقت داد. مینا می‌تواند یک تصویر و یا یک نقشه باشد. در صورتی که مینا یک تصویر باشد، تصحیح از نوع تصویر به تصویر و اگر مینا نقشه باشد، تصحیح از نوع تصویر به نقشه خواهد بود. از طرف دیگر روش‌های تصحیح اتمسفری برای رهایی از اثرات تابش و اثرات جوی به‌کار رفت تا دقت NDVI استخراج شده از تصاویر افزایش یابد. تصحیح اتمسفری به روش کسر شی^۳ تیره^۳ (Chavez, 1988) و الگوریتم^۴ FLAASH بر روی تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. پس از تصحیح رادیومتری تصویر لندست شاخص پوشش گیاهی توسط رابطه (۲) محاسبه گردید.

تصحیح تصاویر ماهواره لندست

داده‌های حاصل از سنجنده‌های ماهواره‌ای که به زمین مخابره می‌شوند و به‌عنوان داده‌های خام معروف هستند دارای خطاهای زیادی می‌باشند. این خطاها می‌توانند ناشی از سکو (تغییر ارتفاع مدار و عدم تعادل)، سنجنده (پدیده پانوراما، نابرابری ضرایب تنظیم آشکارسازها) و محیط (کرویت و پستی و بلندی‌های زمین، چرخش زمین، اثرات اتمسفر) باشند. هرچند که تصاویر ماهواره‌ای پس از دریافت از ماهواره در ایستگاه‌های گیرنده زمینی مورد تصحیحات اولیه (سامانه‌ای) قرار می‌گیرند، اما همچنان دارای خطاهایی نظیر خطای جابه‌جایی ناشی از پستی و بلندی هستند، ضمن آنکه فاقد مختصات نیز می‌باشند و هیچ‌گونه تصحیح هندسی بر روی عکس‌های هوایی انجام نمی‌گیرد لذا هر نوع داده‌ها قبل از اینکه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند، باید مورد تصحیحات هندسی تکمیلی قرار گیرند و به لحاظ مختصات با یک مینای استاندارد که معمولاً نقشه‌های توپوگرافی در نظر گرفته می‌شوند، مطابقت داده شوند. اعداد دیجیتال تصاویر بر اساس ضرایب کالیبراسیون و معادلات اصلاح استاندارد، به بازتاب سطح اتمسفری^۱ تبدیل می‌شوند. همچنین سیستم پردازش تطبیقی اختلال سازمان زمین‌شناسی

2- U.S. Geological Survey (USGS)

3- Dark Object Subtraction (DOS)

4- Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Hyper Cubes

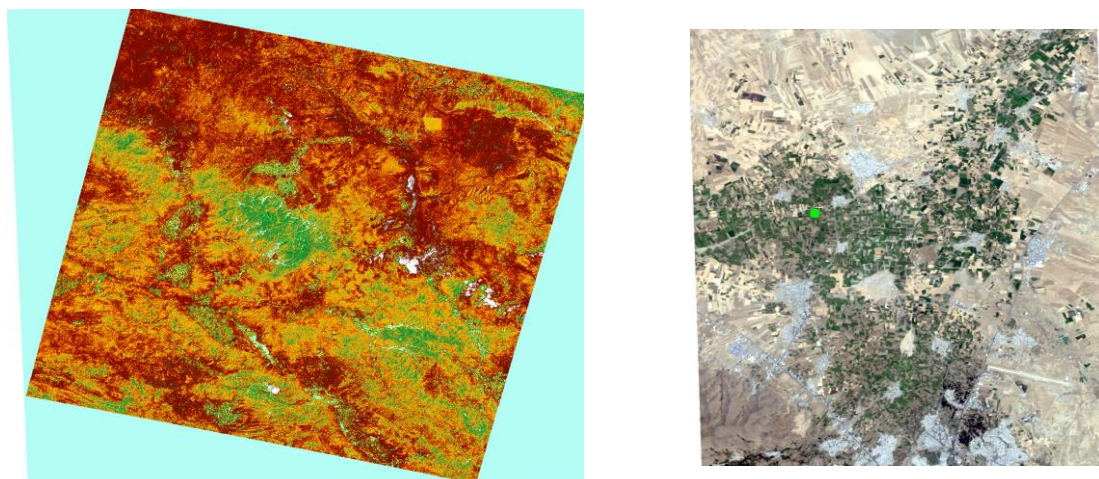
1- Top of Atmosphere (TOA)

قرمز و فرورسرخ می باشند. تصویر اولیه منطقه و تصویر تصحیح شده آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$\frac{\text{Band 4} - \text{Band 3}}{\text{Band 4} + \text{Band 3}}$$

(۲)

که در آن Band 3 و Band 4 به ترتیب باند ۳ و باند ۴ محدوده



شکل ۲- تصویر اولیه منطقه (سمت چپ) و تصویر تصحیح شده (سمت راست) توسط ماهواره لندست ۸ در تاریخ ۹۵/۰۳/۲۶ (نقطه سبز رنگ روی تصویر سمت راست منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد)

Fig. 2. The primary (left) and processed (right) image of Landsat 8 in 15.06.2016

توجه پذیر بود. انتخاب هسته های^۳ مناسب برای ماشین بردار پشتیبان، منجر به برتری آن نسبت به سایر رویکردهای مبتنی بر تصمیم گیری خطی شده است. در توسعه این مدل، حالت ϵ -SVR با هسته پایه شعاعی^۴ استفاده شد. اعتبارسنجی متقاطع یگانه^۵ و خطای حداقل مربعات^۶ به ترتیب برای ارزیابی دقت و خطای مدل های رگرسیون به کار رفت. آنالیزها در نرم افزار Matlab 2011 انجام گردید.

نتایج و بحث

مقایسه دو سیستم مورد مطالعه ماهواره لندست ۸ و سبزینه سنج برای پایش NDVI به طور مستقیم جواب های نزدیکی ارائه نمی دهد لذا از برآورد عملکرد فصلی^۷ استفاده شد (Sharma et al., 2015). با تقسیم عدد NDVI بر تعداد روزهای پس از کاشت^۸، مقدار بیومس بازای روزها تخمین زده می شود. شاخص INSEY مناسب پیش بینی عملکرد بالقوه محصول می باشد. منظور از عملکرد بالقوه برآورد بهینه محصول می باشد وقتی دیگر نیازی به افزودن کود ازت نباشد. شکل ۳ مقدار محاسبه شده INSEY را توسط GS در روزهای پس از

مدل سازی رگرسیونی

تحلیل داده ها با روش های مختلف رگرسیونی مولفه اصلی^۱ و بردار پشتیبان^۲ انجام شد. PCR رگرسیون چند متغیره کاهش ابعاد داده، با استفاده از حداقل تعداد بردار عمود بر هم می باشد. این روش ترکیبی از آنالیز مولفه اصلی (PCA) و رگرسیون غیرخطی (MLR) است. در مرحله PCA به منظور حذف نویز، بردار ویژه ورودی ها که معرف پراکندگی داده ها است محاسبه می شود و در نهایت متغیر پاسخ (خروجی) بر اساس روش حداقل مربعات خطا تخمین زده می شود. هنگامی که در متغیرهای ورودی همبستگی مشاهده می شود روش PCR نسبت به PLS ارجحیت دارد زیرا به علت تعامد بردارهای ویژه اثر همبستگی حذف و مدل MLR پایدارتر خواهد بود. از آنجا که معمولاً بین داده های سینوپتیک وابستگی وجود دارد مدل PCR قابل اعتماد بود. در سال های اخیر یکی از تکنیک های جدید داده کاوی با نام رگرسیون بردار پشتیبان (SVR) کاربرد موفقیت آمیزی در مسائل پیش بینی سری های زمانی داشته است (Durbha et al., 2007; Gavier-Pizarro et al., 2012). در رگرسیون بردار پشتیبان تعداد داده بر روی نتایج آزمون تأییری نخواهد داشت (Breteron and Lloyd, 2010) و از آنجا که بررسی دوره رشد سبب زمینی مارفونا در زمان کوتاه برگردمی (چهار ماه) آن صورت گرفته نتایج SVR

3- Kernels

4- Radial Basic Function (RBF)

5- LOOCV

6- RMSE

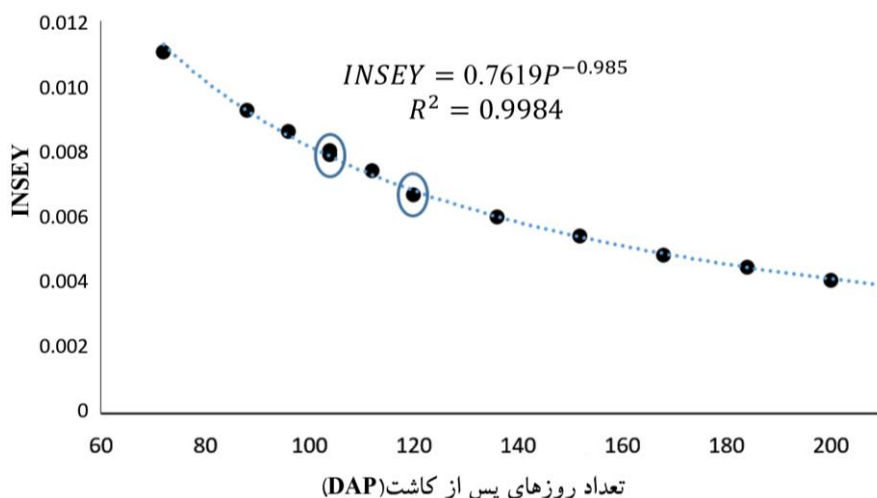
7- In-Season Estimation of Yield (INSEY)

8- Day After Planting (DAP)

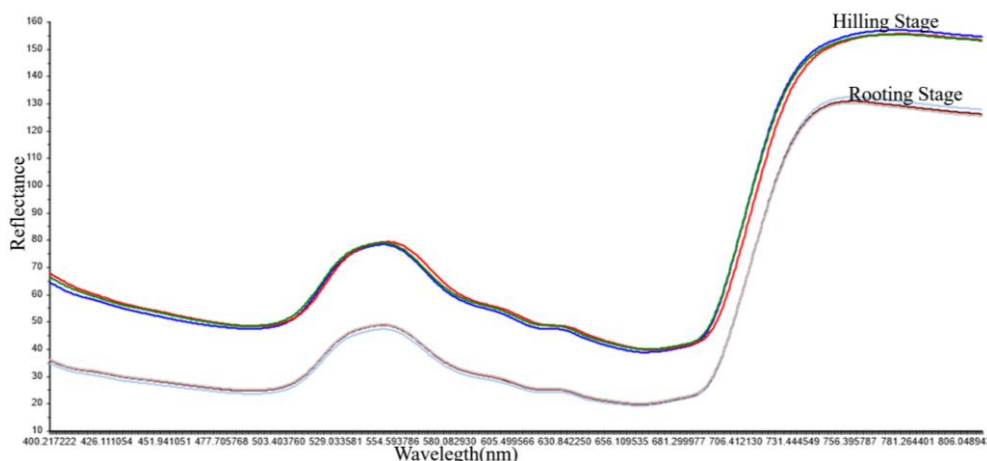
1- Principal Component Regression (PCR)

2- Support Vector Regression (SVR)

کاشت نشان می‌دهد. دو نقطه‌ای که در شکل مرزبندی شده‌اند زمان اندازه‌گیری توسط OLI را نیز نشان می‌دهند.



شکل ۳- مقدار محاسبه شده INSEY در روزهای پس از کاشت
Fig. 3. Calculated INSEY versus days after planting (DAP)



شکل ۴- طیف برگ سیب‌زمینی مارفونا در زمان ریشه‌دهی و حجیم شدن غده
Fig. 4. Spectra of Marfona potato in rooting and hilling stages

جدول ۴- ارزیابی دقت و خطای مدل رگرسیونی NDVI-GS

Table 4- Evaluation accuracy and error of NDVI-GS regression model

داده‌های ورودی Input data	مدل‌های رگرسیونی Regression models	کالیبراسیون Calibration		اعتبارسنجی Validation	
		R ²	RMSE _c	R ²	RMSE _p
		داده‌های هواشناسی	PCR	0.991	0.013
	SVR	0.964	0.064	0.621	0.151
INSEY	MLR	0.911	0.014	0.911	0.010
	SVR	0.947	0.041	0.994	0.181

مشابهی را در طی دوره رشد ذرت نشان داد (Sharma *et al.*, 2015). با توجه به NDVI قرائت شده از GS، در زمان خاکدهی پای بوته (رشد اولیه غده ها) و حجیم شده غده‌ها همزمان با بارندگی و یا آبیاری، کود اوره با غلظت ۳۳٪ و ۱۶٪ ازت در سطح مزرعه به صورت

با گذشت زمان میزان INSEY با تابع توانی کاهش می‌یابد. محاسبه INSEY بر حسب NDVI طیف قرمز و لبه قرمز^۱ نیز توابع

1- Red-Edge

تصاویر ماهواره‌های مختلف، دقت لندست ۸ را پس از تصحیحات تأیید نمود (Ke et al., 2015). به منظور کاهش تعداد داده، متوسط آن در هر ۱۰۰۰ متر مربع محاسبه گردید و مطابق جدول ۲ در هر تاریخ ۳۰ داده به دست آمد.

محلول در ۱۰۰۰ لیتر آب پاشش شد. همچنین کاربرد GS و به دست آوردن NDVI گندم (Samborski et al., 2016) و ذرت (Roberts et al., 2009) در دوره رشد به مدیریت نیتروژن مورد نیاز گیاه کمک بسیاری نمود. نتایج این تحقیق استفاده از نسل جدید ماهواره‌ها را در کشاورزی دقیق توجیه می‌کند. مقایسه NDVI استخراج شده از

جدول ۵- ارزیابی دقت و خطای مدل رگرسیونی NDVI-OLI

Table 5- Evaluation accuracy and error of NDVI-OLI regression model

داده‌های ورودی Input data	مدل‌های رگرسیونی Regression Models	کالیبراسیون Calibration		اعتبارسنجی Validation	
		R ²	RMSE _c	R ²	RMSE _p
داده‌های هواشناسی	PCR	0.991	0.003	0.788	0.109
	SVR	0.997	0.023	0.610	0.195
INSEY	MLR	0.965	0.009	0.965	0.006
	SVR	0.947	0.042	0.994	0.182

جدول ۶- مدل رگرسیونی بردار پشتیبان GS و OLI با داده‌های طیف‌سنجی

Table 6- SVR model of NDVI and spectroscopic data

مراحل رشد Growing stage	NDVI-GS		NDVI-OLI	
	R ²	RMSE	R ²	RMSE
Rooting	0.93	0.11	0.79	0.32
Hilling	0.94	0.09	0.80	0.32
Posthilling	0.95	0.08	0.83	0.37

۷۷۰-۸۶۰ nm در فروسرخ را ثبت و NDVI معادل حسگر GS و OLI محاسبه گردید. به این ترتیب صحت اندازه‌گیری NDVI توسط سبزینه سنج و ماهواره لندست تأیید گردید (جدول ۶). به طور متوسط طیف‌سنجی دقت بیشتری در پیش‌بینی NDVI-GS (R²=0.94) نسبت به NDVI-OLI (R²=0.81) نشان می‌دهد. طیف برگ سبب زمینی مارفونا در زمان ریشه‌دهی و حجیم شدن غده در شکل ۴ آمده است. همانطور که دیده می‌شود شکل طیف در هر دو یکسان است اما چگالی آن به خصوص در باند قرمز و فروسرخ نزدیک افزایشی است. واضح است که با تکمیل دوره رشد و افزایش تعداد برگ‌ها میزان NDVI افزایش می‌یابد در صورتی که گیاه ازت لازم را دریافت کرده باشد.

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه تأییدی بر کاربرد مفید فناوری GS به عنوان روشی سریع و دقیق برای پیش‌بینی NDVI می‌باشد. استفاده از روش‌های مختلف رگرسیونی نتایج مشابهی در پی داشت اما در این میان تکنیک SVR مناسب‌ترین جواب را ارائه داد. گرچه پیش‌بینی NDVI نیازمند تیمارهای مختلف کوددهی است اما از آنجا که مزرعه پژوهشی نبود کشاورز ریسک تغییر کیفیت محصول نهایی را متقبل نشد. از طرف دیگر همواره افزایش دوره بررسی در سال‌های متمادی

از رگرسیون خطی اجزای اصلی^۱ و رگرسیون بردار پشتیبان^۲ با مقدار اپسیلون ۰/۲۵ (ε=0.25) برای استخراج روابط NDVI-GS^۳ و NDVI-OLI^۴ استفاده شد و ضریب تبیین برای هر سری داده ورودی، تخمین زده شد که در جدول ۴ و ۵ نتایج خلاصه گردید. کالیبراسیون و اعتبارسنجی به ترتیب توسط داده‌ها در تاریخ‌های مذکور در جدول ۲ و سه تاریخ متوالی آن (2017.06.24, 2017.06.30, 2017.07.07) صورت گرفت. همانطور که مشاهده می‌شود برای پیش‌بینی INSEY از روش MLR استفاده شده است زیرا روش PCR بر روی داده‌های حجیم جواب می‌دهد و زمانی که متغیر و پاسخ یک به یک هستند مدل قابل اعتمادی را پیش‌بینی نکرد، اما SVR در پیش‌بینی INSEY موفق عمل نمود. تصویر تصحیح شده مزرعه سبب زمینی برای استخراج NDVI (رابطه ۲) به کار رفت (شکل ۲ و جدول ۴). علاوه بر کاربرد ماهواره لندست ۸، طیف‌سنجی برگ‌های شاه‌پسند در محاسبه NDVI و میزان کلروفیل موفق عمل نموده است (Pastor-Guzman et al., 2015). همچنین با طیف‌سنجی در بازه طیفی ۳۰۰-۱۱۰۰ nm طول موج ۶۲۰-۶۸۰ nm در باند قرمز و

- 1- Principal Component Regression (PCR)
- 2- Support Vector Regression (SVR)
- 3- NDVI-GreenSeeker
- 4- NDVI- landsat8 OLI

کشت دقت مدل‌سازی را افزایش خواهد داد و می‌توان جدول راهنمای کوددهی مزرعه را استخراج نمود.

سپاسگزاری

نویسنده مقاله از همکاری آقایان احمدی و سپهر برای هماهنگی در یافتن مزرعه و همکاری در اندازه‌گیری‌ها قدردانی می‌نماید.

References

1. Brereton, R. G., and G. R. Lloyd. 2010. Support Vector Machines for classification and regression. *Analyst Journal* 135: 230-267.
2. Chavez, P. S. 1988. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. *Remote sensing of environment* 24 (3): 459-479.
3. Cheret, V., and J. Denux. 2011. Analysis of MODIS NDVI time series to calculate indicators of Mediterranean forest fire susceptibility. *GIScience and Remote Sensing* 48: 171-194.
4. Deng, F., J. M. Chen, S. Plummer, M. Chen, and J. Pisek. 2006. Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 44 (8): 2219.
5. Durbha, S. S., R. L. King, and N. H. Younan. 2007. Support vector machines regression for retrieval of leaf area index from multiangle imaging spectroradiometer. *Remote Sensing of Environment* 107 (1-2): 348-361.
6. 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.
7. Gavier-Pizarro, G. I., T. Kuemmerle, L. E. Hoyos, S. I. Stewart, C. D. Huebner, N. S. Keuler, and V. C. Radelof. 2012. Monitoring the invasion of an exotic tree (*Ligustrum lucidum*) from 1983 to 2006 with Landsat TM/ETM + satellite data and Support Vector Machines in Córdoba, Argentina. *Remote Sensing of Environment* 122: 134-145.
8. 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.
9. Hong, S. H., J. M. Hendrickx, and B. Borchers. 2009. Up-scaling of SEBAL derived evapotranspiration maps from Landsat (30 m) to MODIS (250 m) scale. *Hydrology* 370 (1): 122-138.
10. 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 multisensor data. *Remote Sensing of Environment* 117: 102-113.
11. 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.
12. Kitchen, N. R., K. A. Sudduth, S. T. Drummond, P. C. Scharf, H. L. Palm, D. F. Roberts, and E. D. Vories. 2010. Ground-based canopy reflectance sensing for variable-rate nitrogen corn fertilization. *Agronomy* 102: 71-84.
13. Li, P., L. Jiang, and Z. Feng. 2014. Cross-comparison of vegetation indices derived from Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) and Landsat-8 Operational Land Imager (OLI) sensors. *Remote Sensing* 6: 310-329.
14. 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.
15. 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.
16. MohammadZamani, D., A. Taghavi, M. Gholami-parshokouhi, and J. Massah. 2014. Design, implementation and evaluation of a monitoring system of potato yield. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (1): 50-56. (In Farsi).
17. Olf, H. W. 2009. Improved precision of arable nitrogen applications: requirements, technologies and implementation. *The International Fertiliser Society, Proceeding* 662: 35.

18. Pastor-Guzman, J., P. M. Atkinson, J. Dash, and R. Rioja-Nieto. 2015. Spatiotemporal Variation in Mangrove Chlorophyll Concentration Using Landsat 8. *Remote Sensing* 7: 14530-14558.
19. Raun, W. R., J. B. Solie, G. V. Johnson, M. L. Stone, R. W. Mullen, K. W. Freeman, W. E. Thomason, and E.V. Lukina. 2002. Improving nitrogen use efficiency in cereal grain production with optical sensing and variable rate application. *Agronomy* 94: 815-820.
20. Roberts, D. F., V. I. Adamchuk, J. F. Shanahan, R. B. Ferguson, and J. S. Schepers. 2009. Optimization of crop canopy sensor placement for measuring nitrogen status in corn. *Agronomy* 101: 140-149.
21. Rostami, M. A., M. H. Raofat, A. Jafari, M. Loghavi, M. Kasraee, and M. J. Nazem-Asadat. 2014. Monitoring of protection tillage and intensity of tillage using satellite and terrestrial images. *Journal of Agricultural Machinery* 4 (2): 255-265. (In Farsi).
22. Samborski, M., D. Gozdowski, M. Stepie'na, O. S. Walshc, and E. Leszczy'nska. 2016. On-farm evaluation of an active optical sensor performance for variable nitrogen application in winter wheat Stanisław. *Agronomy* 74: 56-67.
23. Schepers, J. S., and J. F. Shanahan. 2009. Managing nitrogen with active sensors. 13th Annual Symposium on Precision Agriculture in Australia.
24. 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.
25. Stark, J. C., and B. D. Brown. 2003. Nutrient Management. In L.D. Robertson and J.C. Stark (Eds) Idaho Spring Barley Production Guide. pp. 22-26.
26. 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.
27. Tremblay, N., E. Fallon, and N. Ziadi. 2011. Sensing of crop nitrogen status: Opportunities, tools, limitations, and supporting information requirements. *Horticulture Technology* 21: 274-281.
28. 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.

Comparison of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) of Potato from Greenseeker and Landsat Satellite

H. Mohamadi Monavar^{1*}

Received: 17-05-2017

Accepted: 04-09-2017

Introduction

Field management is a part of precision agriculture (PA) which has positive environmental and economic effects on quality of plant productions. Nitrogen needs of plant, depends on climate conditions and growing pattern. The optimum of nitrogen fertilizer is varied from fields to fields. Nitrogen management causes uniform shape and size of potatoes, on the other hand decreases the inward and outward damages (Stark and Brown, 2003). Between different herbal indices, NDVI is the most common for monitoring greenness of plants. NDVI was calculated from reflectance in red and NIR bands (equation 1). Greenseeker (GS) is a suitable optical sensor because it is not affected by light and temperature variation or wind intensity.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

In addition to GS, satellite image was used to evaluate the NDVI of studied potato field. Landsat 8 is the last satellite of this family with new sensors (operational land imager (OLI) and thermal infrared sensor (TIRs)) and additional spectral bands (deep blue invisible (430-450 nm) and shortwave infrared (1360-1390 nm). At the end, support vector regression (SVR) and principal component regression (PCR) or multi-linear regression (MLR) was applied to estimate RMSE and R^2 . The input of models was synoptic data, and NDVI extracted from GS or OLI.

Materials and Methods

The study was performed on marfona cultivar of potato field which located in Bahar city, Hamadan. The potato was planted early March and experiments were started after growing the first leaves. The soil texture in the experimented field was sandy loam soil to 75 cm depth. The territory (the southwest corner of the field) was fertigated by poultry manure with content 4.5% of N in order to put shortage of nitrogen down. Metrology station of Bahar city reported the maximum, minimum and average temperature, relative humidity, precipitation and wind velocity which were effective on NDVI variation. The GS was put at a height of 60 cm above the plant and the average of NDVI was obtained by three times measurement. This sensor has red and NIR diodes which reflect and absorb the spectra in 660 ± 15 nm and 770 ± 15 nm regions, respectively. GS and OLI were applied for measurement every 8 and 16 days, respectively. Satellite images were analyzed two times (30cm height of plant and hilling stage) during the growing. Although, climate changing were effective on NDVI then some image corrections were necessary. Geometric and atmospheric corrections were applied for removing the absorption and distribution error with dark object subtraction and FLAASH algorithm in ENVI 5.3 Software. In addition, GS is a nondestructive and contactless optic sensor which helps farmers to manage nitrogen because using laboratory method is not easy way for them. As well as, OLI provided accurate NDVI which support the accuracy of GS.

Results and Discussion

In order to correlate NDVI-GS and NDVI-OLI, the third parameter (INSEY) was explained. In season estimation of yield (INSEY) was estimated by dividing NDVI by days after planting (DAP). INSEY index is suitable to predict product potential performance. PCR and SVR methods in Matlab 2011b was used to calculated the relationship of INSEY and NDVI. Also, Red and NIR bands extracted from spectrometer (AvaSpec-ULS 2048- UV-VIS) in the 300-1100 nm region were used in order to support comparison of those sensors. Results showed that the reflectance spectra changed through the growing stage, which is logic because the size and number of leaves were increased and as a result the greenness was enhanced. NDVI calculated with spectra showed more accurate R^2 for NDVI-GS (0.94) than NDVI-OLI (0.81). In addition, correlation coefficients of the SVR model between INSEY and NDVI were predicted 0.947 and 0.947 for the GS and OLI,

1- Assistant Professor, Mechanics of Biosystem Engineering, Agriculture Department, BuAli Sina University
(*- Corresponding Author Email: hosna.mohamadi@basu.ac.ir)

respectively.

Conclusions

The result of the study confirmed the useful Greenseeker as an accurate and fast technology for prediction of NDVI. Among different regression methods, SVR showed the perfect results. Since the farm is a commercial one and not belong to the university, it would not possible to test different nitrogen fertilizer treatments. It is obvious that evaluation of field in different consecutive years helps us to codify manual fertilization.

Keywords: Greenseeker, Normalized difference vegetation index, Sattelite images

