

ارزیابی قابلیت داده های طیفی لندست هشت و طیف سنج آزمایشگاهی در پیش بینی عملکرد ذرت (مطالعه موردی: کشت و صنعت مغان)

Evaluation of Landsat 8 Spectral Data Capabilities and Laboratory Spectroradiometer for predicting corn yield (Case study: Moghan Agro-Industry)

وحید سروی^۱، حمیدرضا متین فر^{۲*}، اکبر سهرابی^۳، نیکروز باقری^۴

۱. دانشجوی دکتری علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان،
۲. دانشیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان، (نگارنده مسئول)
۳. استادیار گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه لرستان.
۴. استادیار پژوهش. موسسه تحقیقات فنی، مهندسی کشاورزی. سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج. ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۱۴ - شناسانه برنمود رقمی: 10.22092/aj.2020.125832.1393

چکیده

سروی، و.، متین فر، ح. ر.، سهرابی، ا.، باقری، ن. ارزیابی قابلیت داده های طیفی لندست هشت و طیف سنج آزمایشگاهی در پیش بینی عملکرد ذرت (مطالعه موردی: کشت و صنعت مغان)
نشریه پژوهش های کاربردی زراعی دوره ۳۳ - شماره ۳ - پایبند ۱۲۸ پاییز ۱۳۹۹ صفحه: ۱۳۴-۱۱۷
(مقاله علمی)

شاخص های طیفی پوشش گیاهی طیفی (SVIs) ترکیبی کمی از میزان جذب و پراکندگی طیفی گیاهان در محدوده های مختلف طیف الکترومغناطیسی می باشند و برای اندازه گیری ویژگی های یک محصول استفاده می شود. هدف از این تحقیق پیش بینی عملکرد ذرت مبتنی بر داده های طیفی می باشد. بدین منظور، تصاویر ماهواره ای Landsat-8 در طول چهار مرحله رشد ذرت تهیه گردید و همچنین همزمان با تاریخ تصویربرداری ماهواره لندست از منطقه مورد مطالعه، طیف سنجی نمونه های گیاهی با استفاده از طیف سنج ۳-Fdlei Espect انجام گرفت و شاخص های گیاهی: شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (NDVI)، شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده تغییر یافته (NDVIM) و شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (OSAVI) مبتنی بر داده های ماهواره ای و طیف سنج آزمایشگاهی محاسبه گردید. بررسی نتایج مدل سازی و شاخص های آماری رگرسیونی نشان می دهد که در هر دو حالت استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست هشت و طیف سنج آزمایشگاهی در مرحله ظهور گل نسبت به سایر مراحل نمونه برداری ضریب تبیین شاخصها برای محاسبه شاخص سطح برگ و عملکرد با میزان همبستگی ۴۵ الی ۲۷ درصد از قابلیت بیشتری برخوردار می باشد. از طرف دیگر بررسی شاخص های محاسبه شده از نتایج طیف سنجی و استفاده از داده های طیفی لندست ۸ و مقایسه بین این دو نشان میدهد که دو شاخص NDVI و SAVI با ضریب تبیین ۷۰ درصد بعنوان شاخص های موثر در محاسبه شاخص ها با استفاده از تصاویر ماهواره ای می باشند. درحالیکه شاخص های NDVIM و OSAVI به ترتیب با ضریب تبیین ۲۷ و ۹۶ درصد مناسب ترین شاخص برای محاسبه شاخص ها بر اساس نتایج طیف سنجی آزمایشگاهی می باشند.

واژه های کلیدی: شاخص سطح برگ، شاخص گیاهی، طیف سنج، عملکرد

آدرس پست الکترونیکی نگارنده مسئول: matinfar.h@lu.ac.ir

مقدمه :

طیفی (SVIs) ترکیبی کمی از میزان جذب و پراکندگی طیفی گیاهان در محدوده های مختلف طیف الکترومغناطیسی می باشند و برای اندازه گیری ویژگی های یک محصول استفاده می شود. SVI روش ساده ای را برای اندازه گیری پاسخ های طیفی گیاه در طول فصل ارائه می دهد که از تفاوت های اساسی بین خاک و گیاهان استفاده می کند و اغلب به عنوان یک نوع رابطه بین انرژی الکترو مغناطیس منعکس شده در طول موج های قرمز و مادون قرمز نزدیک (NIR) بیان می شود. گیاهان سبز سالم بازتاب نسبتاً کم در محدوده مرئی طیف الکترو مغناطیس (جذب بالای نور برای فتوسنتز) دارند، با این حال، بازتاب آن معمولاً در ناحیه مادون قرمز نزدیک (NIR) بالا است (Elhag, 2016).

پیشرفت در فن آوری سنجش از دور، استفاده از تصاویر چند طیفی را به عنوان یک ابزار موثر برای تعیین و نظارت بر شرایط پوشش گیاهی، استرس محصول و پیش بینی عملکرد محصول افزایش داد. (Liu & Kogan, 2014)، نشان دادند که داده های سنجش از دور شامل ویژگی های سطحی زمین، مکانی و زمانی، از جمله تاثیرات زیست محیطی بر رشد محصول را شامل می شود. مطالعات متعدد نشان داده اند که بین شاخص های پوشش گیاهی ارائه شده توسط فن آوری سنجش از دور و عملکرد محصول و زیست توده همبستگی مناسبی برقرار است ((Holzman et al., 2014; Bocco et al., 2014) یک تحقیق در مورد عملکرد محصول و در مقیاس منطقه ای، که تصاویر ماهواره ای با قدرت تفکیک مکانی پایین یا بالا را استفاده

دستیابی به حداکثر عملکرد محصول با کمترین مصرف نهاده ها، هدف نهایی در تلاش برای دستیابی به تولید اقتصادی و پایدار محصولات کشاورزی می باشد. تشخیص زودهنگام مشکلات مربوط به عملکرد محصول می تواند به کاهش میزان تلفات و دستیابی به عملکرد مناسب و سودآوری کمک کند. ذرت یکی از غلات مهم است و پس از گندم، بیشترین اراضی کشاورزی جهان به ذرت اختصاص دارد و میانگین تولید آن در سطح جهانی ۵/۴ تن در هکتار برای ذرت دانه ای و ۳۸ تن در هکتار برای ذرت علوفه ای است (Fao, 2017). بنابراین نیاز به افزایش عملکرد ژرمپلاس، حفاظت از محصولات بهتر و سیستم های کارآمد و کارآمدتر را نشان می دهد. پیش بینی عملکرد محصول ذرت قبل از دوره برداشت می تواند در تصمیم گیری قبل از برداشت و بازاریابی بسیار مفید باشد. مطالعات بسیاری نشان داد که عدم محاسبه عملکرد محصول می تواند منجر به ارزیابی نادرست در بازاریابی و سودآوری محصول شود. علاوه بر این، این روش ها به طور معمول بستگی به جمع آوری اطلاعات دقیق از محصول و عملکرد محصول دارد که یک فرایند پرهزینه و وقت گیر است (Anastasiou et al., 2000; Thenkabail et al., 2018). سنجش از دور (RS) و سیستم های موقعیت یابی جهانی (GPS) برای ارزیابی تنوع زمانی در پویایی محصول، از جمله عملکرد محصول و تنوع فضایی آن می تواند مورد استفاده قرار گیرد (Dadhwal & Ray, 2000). شاخص های پوشش گیاهی

زمینه نیز می توان به نتایج تحقیق در خصوص برآورد عملکرد گندم آبی در مزارع مشهد اشاره کرد، نتایج این مطالعه نشان داد که بالاترین همبستگی عملکرد با باند طیفی قرمز با ضریب تبیین ۰/۷۶ بود و شاخص های NDVI و SAVI همبستگی قابل قبولی با عملکرد نداشتند (Sanaeinejad et al., 2014). همچنین در مطالعه دیگری در استان گیلان در خصوص برآورد عملکرد برنج با استفاده از تصاویر لندست ۸ و شاخص های آماری، نتایج نشان داد استفاده از فناوری سنجش از راه دور و مدل *VSM* قابلیت بالایی در پیش بینی عملکرد محصول برنج با ضریب تبیین ۰/۸۰ دارد و می تواند هزینه مربوط به عملیات میدانی گسترده در برآورد عملکرد برنج را کاهش دهد (Sadooghi et al., 2016). نتایج مطالعه در خصوص برآورد عملکرد ذرت در مراحل مختلف رشد نشان داد که شاخص های PD311 و PD312 در مراحل ابتدائی رشد، شاخص های NIR و VI3 و NRVI برای مراحل میانی رشد و شاخص NIR برای مراحل پایانی رشد بیشترین قابلیت را در برآورد عملکرد ذرت داشتند (Varvani et al., 2018). علاوه بر ارائه ابزار پشتیبانی تصمیم و انتظارات درآمد، بازده عملکرد پیش بینی شده می تواند به عنوان پایگاه داده های مکانی برای اجرای سیستم های متغیر تکنولوژی (VRT) برای دستیابی به کاربرد دقیق ورودی های سطح زمین به منظور بهینه سازی تولید در سراسر کشور و جهان استفاده شود (Borgogno-Mondino et al., 2018). از این رو، این مطالعه به منظور فراهم آوردن ابزار پیش بینی اولیه عملکرد ذرت با استفاده از سنجش از دور

می کند، می تواند اطلاعات گسترده ای را در مورد شرایط پوشش گیاهی و محاسبه های عملکرد محصول ارائه کند. از این رو، تصمیم گیری در صادرات و واردات محصول در منطقه می تواند به روش مطمئن اجرا شود (Al-gaadi, 2016).

ارزیابی دقیق و به موقع عملکرد محصول یک فرایند ضروری برای اطمینان از کفایت عرضه مواد غذایی است. این روش به سیاستگذاران، سازمان های دولتی و کشاورزان اطلاعات لازم را برای مدیریت بهتر، برداشت، ذخیره سازی، واردات / صادرات، حمل و نقل و فعالیت های بازاریابی را فراهم می کند. (Behernes et al., 2006). تایج تحقیقات مختلف نشان داد که رابطه خوبی بین شاخص های گیاهی از جمله NDVI و SAVI با خصوصیات گیاه همچون شاخص سطح برگ، میزان کلروفیل و عملکرد گیاهان زراعی از جمله ذرت و برنج وجود دارد (Shi & Mo., 2011; Elnahry et al., 2011).

از طرف دیگر بسته به مکان و نوع محصول رفتار شاخص های گیاهی و ارتباط آنها با عملکرد گیاهان متفاوت می باشد. برای مثال نتایج یک مطالعه نشان داد که شاخص نسبت گیاهی در تخمین عملکرد گندم دوروم مناسب تر از شاخص گیاهی NDVI می باشد (Aparicio et al., 2000). در مطالعه دیگر نتایج نشان داد شاخص سبزینگی تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (GNDVI) نسبت به سایر شاخص های گیاهی از قابلیت بیشتری برای محاسبه عملکرد گیاه ذرت برخوردار است (Shanahan et al., 2001). از مطالعات داخلی انجام شده در این

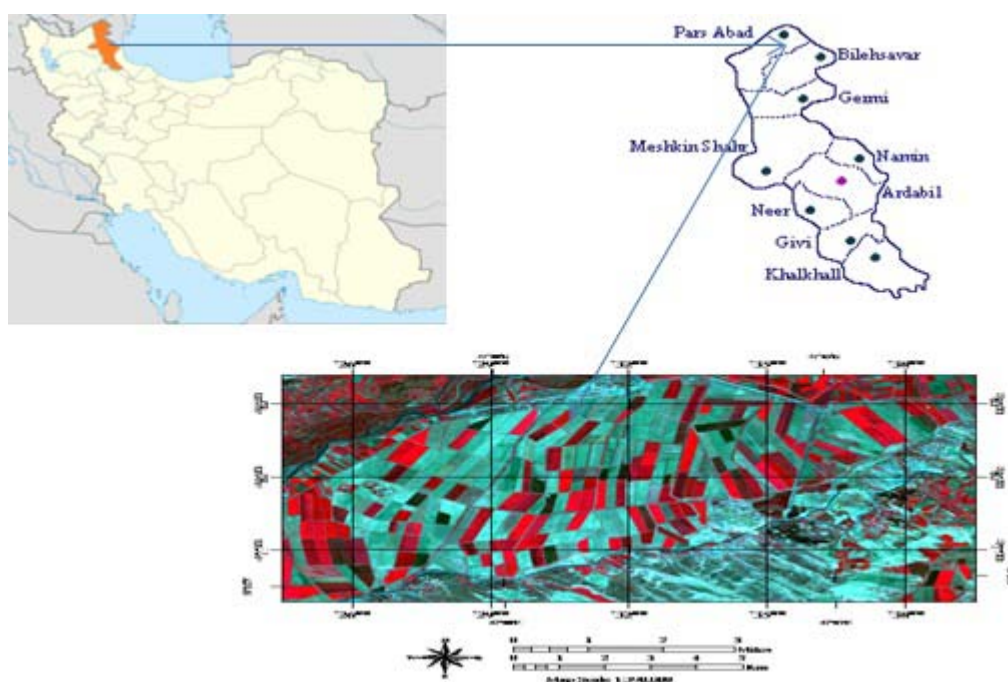
درجه و ۱۲ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است انجام شد (شکل ۱).

در این مطالعه بمنظور محاسبه عملکرد ذرت ۳۰، مزرعه ذرت در دشت مغان انتخاب شد. مساحت ۳۰ مزرعه انتخاب شده در مجموع ۷۸۴ هکتار بود که براساس مساحت هر مزرعه به قطعات ۵ هکتاری تفکیک و از هر کدام از قطعات بصورت تصادفی یک نقطه انتخاب و پس از ثبت موقعیت توسط دستگاه Gps هرگونه نمونه برداری و یا سنجش در آن نقاط ثبت شده انجام گرفت. سپس در مراحل انتخاب شده رشد فیزیولوژیکی گیاه شامل: مرحله چهار برگی، مرحله تمایز رشد، مرحله

ماهواره ای چندطیفی و طیف سنج آزمایشگاهی در یک مقیاس میدانی طراحی شده است. با این حال، اهداف مشخص این مطالعه (i) برای دستیابی به معادله تجربی برای پیش بینی اولیه عملکرد ذرت با استفاده از تصاویر ماهواره لندست هشت و طیف سنجی زمینی، (ii) تعیین مرحله رشد مناسب برای پیش بینی اولیه عملکرد ذرت، و (iii) طبقه بندی بازده های عملکردی به بخش های مجزا برای اجرای دقیق فعالیت های کشاورزی می باشد.

مواد و روش ها

این تحقیق در شرکت کشت، صنعت و دامپروری مغان واقع در شهرستان پارس آباد استان اردبیل با ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا، میانگین بارندگی ۲۷۱ میلی متر که بین ۳۹



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه (کشت و صنعت مغان)

Figure 1. Location of the studied area (Mogan cultivation and industry)

میکرومتر را تصحیح می کند. در این روش از فایل Meta Data برای تصحیح باندها استفاده شده که برای باندهای چندطیفی عملیات رادیانس و انعکاس انجام گرفته ولی برای باندهای حرارتی فقط عملیات رادیانس انجام شد (Johanson *et al.*, 2012).

بعد از انجام تصحیحات هندسی و رادیومتریکی، شاخص های زیر با استفاده از مقادیر باندهای مختلف در زمانهای مختلف تصویربرداری محاسبه شد: ۱- شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده $NDVI^3$ ، ۲- شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک ($SAVI^4$)، برای محاسبه شاخص SAVI برای مراحل رشد پوشش گیاهی کامل و قبل از برداشت میزان فاکتور L صفر و برای مراحل چهار برگی و هشت برگی این فاکتور ۰/۵ در نظر گرفته شد، ۳- شاخص گیاهی تفاضلی نرمال شده تغییر یافته ($MNDVI^5$) و ۴- شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (haiglas, 2003) ($OSAVI^6$).

طیفی سنجی آزمایشگاهی: دستگاه طیف سنج Field Spect-3 یک دستگاه اپتیکی است که بطور اختصاصی جهت استفاده در سنجش از دور میدانی و آزمایشگاهی کاربرد دارد و منحنی طیفی را در ناحیه مرئی-مادون قرمز نزدیک (VNIR) و مادون قرمز کوتاه (SWIR) اندازه گیری می کند. این دستگاه در دامنه طیفی ۲۵۰۰-۳۵۰۰ نانومتر با مدت زمان جمع آوری ۰/۱ ثانیه طیف بازتابی را اندازه گیری می کند.

۳: Normalized Difference Vegetation Index
 ۴: Soil Adjusted Vegetation Index
 ۵: Modified Normalized Difference Vegetation Index
 ۶: Optimized Soil Adjusted Vegetation Index

ظهور گل و مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی (Choukan, 2012) تصاویر ماهواره ای لندست ۸ منطقه مورد مطالعه (۱۶۸ Path, Row=33) از سایت (<http://earthexplorer.usgs.gov>) تهیه گردید (جدول ۱). این ماهواره^۱ (لندست هشت) در باندهای آبی، سبز، قرمز، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز میانی و حرارتی اطلاعات را جمع آوری می کند. این ماهواره در هر گذر نواری به عرض ۱۸۵ کیلومتر را پوشش می دهد و قدرت تفکیک مکانی در محدوده طیفی مرئی مادون قرمز انعکاسی ۳۰ متر و در محدوده مادون قرمز حرارتی ۱۰۰ متر می باشد.

پیش پردازش تصاویر شامل مراحل زیر انجام شد: ۱- تصحیح هندسی: منظور از تصحیح هندسی جبران انحراف هاست، به نحوی که شکل تصحیح شده قابلیت انطباق با نقشه را داشته باشد. این تصحیح طی دو مرحله زمین مرجع نمودن تصاویر و نمونه برداری مجدد برپایه انتخاب ۳۸ نقطه کنترل زمینی شامل نقاط مناسب و مشخص که مختصات آنها توسط GPS دوفرکانسه تهیه شده بود، انجام گردید.

۲- تصحیحات رادیومتریکی: این تصحیحات برای کاهش و یا حذف دو نوع خطای عمده اتمسفری و دستگاهی به کار میرود. برای تصحیحات اتمسفری از روش فلش^۲ استفاده گردید. فلش اولین ابزار تصحیح اتمسفری می باشد که طول موج قابل رویت و طول موج های مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک تا ۳

۱: Satellite

۲: FLAASH (Fast line-of-sight atmospheric Analysis of Hypercubes)

جدول ۱- تاریخ و زمان تصاویر ماهواره ای لندست هشت در مراحل مختلف رشد

Table 1. Date and time of images captured by Landsat 8 satellite at different growth stages

مرحله رشد Growth stage	تاریخ تصویربرداری Date of image capturing		نوع سنجنده Sensor type
	شمسی	میلادی	
مرحله چهاربرگی Four-leaf stage	2016/06/23	Gregorian calendar 1395/04/03	OLI
مرحله تمایز رشد Growth differentiation stage	2016/07/22	1395/05/02	OLI
مرحله ظهور گل Flower emergence stage	2016/09/07	1395/06/17	OLI
مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity stage	2016/10/17	1395/07/16	OLI

سفید استاندارد برای انجام کالیبراسیون در زیر دستگاه قرار گرفت. جهت استخراج اطلاعات از داده های طیفی برداشت شده، داده های خام باید به فرمت قابل روئت در کامپیوتر تبدیل شود. بدین منظور از نرم افزارهای جانبی Viewspec probe و SAMS استفاده شد، بدین صورت که Viewspec probe داده های خام را به داده های متنی با فرمت ASCII تبدیل می کند و توسط SAMS داده ها به صورت قابل استفاده برای نرم افزار Unscrambler X. Version 10.4 که یکی از نرم افزارهای کاربردی سنجش از دور است تبدیل شد (Analytical Spectral Devices Inc., 1997).

بمنظور استفاده از داده های طیفی برای محاسبه شاخصهای گیاهی پیش پردازشهای لازم شامل الف) حذف دو بخش نویزی ابتدا و انتهای طیف در محدوده ۳۵۰-۴۰۰ و ۲۴۵۰-۲۵۰۰ نانومتر و همچنین وقفه های موجود در محدوده ۹۰۰ و ۱۷۰۰ نانومتر حاصل از تغییر دتکتور، ب) میان گیری از پنج طیف ثبت شده برای هر نمونه، ج) تبدیل مقادیر انعکاس به جذب، د) استفاده از روش پیش پردازش فیلتر ساویتزکی (Savitzky) نرمال سازی با استفاده از روش مشتق اول به همراه ساویتزکی و گلای انجام شد (Fearn., 2000).

بعد از انجام پیش پردازشهای لازم مقادیر شاخص های گیاهی (جدول ۲) با استفاده از داده های طیفی حاصل از دستگاه طیف سنج آزمایشگاهی در مراحل مختلف رشد

کند. بمنظور طیف سنجی نمونه های گیاه، که در آزمایشگاه طیف سنجی دانشکده مهندسی نقشه برداری دانشگاه خواجه نصیر طوسی انجام گردید در ابتدا چند برگ از گیاه ذرت از هر مزرعه بصورت تصادفی انتخاب گردید و تا زمان انجام آنالیزهای طیف سنجی در دمای ۴ درجه سانتیگراد نگهداری شد. در مرحله بعد پس از انجام کالیبراسیون و آماده سازی دستگاه طیف سنج، نمونه ها در زیر دستگاه طیف سنج قرار گرفت و از هر نمونه پنج قرائت صورت گرفت. لازم به ذکر است پس از انجام هر پنج طیف سنجی نمونه های گیاهی صفحه

محاسبه گردید.

ضریب کارایی با استفاده از رابطه

$$EF = \frac{1/\tau(\theta)}{VAR(T)}$$

که در این رابطه کسر معادله برابر با حداقل واریانس محاسبه شده و مخرج واریانس واقعی بدست آمده هست، مورد ارزیابی قرار گرفت. بمنظور برقراری ارتباط بین شاخص های طیفی پیش بینی شده و شاخص سطح برگ اندازه گیری شده زمینی با استفاده از آماره ی آزمون $F = \frac{MSR}{MSE}$ که با توجه به جدول تحلیل واریانس که با استفاده نرم افزار SPSS بدست آمد، بهترین شاخص گیاهی برآورد شده با سطح معنی داری بالا براساس داده های طیفی تصویر ماهواره ای و طیف سنج آزمایشگاهی برای محاسبه شاخص سطح برگ تعیین گردید. همچنین رابطه بین شاخصهای گیاهی و عملکرد واقعی اندازه گیری شده برای تعیین بهترین شاخص برای پیش بینی عملکرد بررسی گردید (Martens & Naes, 1989). جهت اعتبارسنجی شاخص سطح برگ و عملکرد پیش بینی شده از اعتبارسنجی داخلی (cross validation) استفاده گردید، بدین صورت که نمونه ها بصورت تصادفی به دو مجموعه ۳۰ و ۷۰ درصدی تقسیم بندی گردیدند و گروه ۷۰ درصدی برای واسنجی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

۱) رابطه عملکرد و داده های طیفی

ماهواره ای

بررسی اولیه نمودارهای پراکنش مقادیر رقومی تصاویر ماهواره ای برای شاخصهای NDVI، SAVI، MNDVI و OSAVI در مقابل

اندازه گیری شاخص سطح برگ میدانی: شاخص سطح برگ توسط دستگاه (AccuPAR) اندازه گیری شد، بدین صورت که مقادیر تابش فعال فتوسنتزی (PAR) بالا و پایین گیاه با استفاده از دستگاه ACCUPAR با توجه به حساسیت این دستگاه به میزان نور دریافتی از خورشید در ساعاتی از روز که آسمان صاف و کاملاً آفتابی بود، اندازه گیری شد. در مرحله بعد میزان جزئی از تابش فعال فتوسنتزی جذب شده گیاه (APAR) با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید.

$$APAR = PAR \uparrow - PAR \downarrow \text{ معادله (۱)}$$

مقدار شاخص سطح برگ نیز با استفاده از معادله (۲) محاسبه گردید.

$$LAI = \frac{\left[\left(1 - \frac{1}{2k}\right)^{Fb-1} \right] \ln \frac{PAR \uparrow}{PAR \downarrow}}{A(1-0.47Fb)} \text{ معادله (۲)}$$

در این رابطه LAI شاخص سطح برگ، Fb کسر تشعشعی خورشید، k پارامتر رصد کننده تغییرات مکانی خورشید در آسمان و A قابلیت جذب برگ است. تمامی ضرایب مورد استفاده در این معادله به همراه ضریب پراکنش برگ^۶ (x) که برای محاسبه ضریب k لازم است براساس معادلات و اصول ذکر شده در AccuPAR PAR/LAI Ceptometer, Decagon (Devices, Inc. 2017) محاسبه گردید.

بعد از محاسبه شاخص های گیاهی تصاویر مراحل مختلف رشد، دقت محاسبه مدل با استفاده از ضریب تبیین R² و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE، شاخص EF به عنوان

۶ : leaf dispersion

جدول ۲- شاخص های گیاهی مورد استفاده در مطالعه

Table 2. Vegetation indices used in the study

شاخص گیاهی تناضلی نرمال شده Normalized difference vegetation Index (NDVI)	$NDVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R)}$	(Rouse <i>et al.</i> , 1974)
شاخص گیاهی تعدلی کینسه خاک Soil adjusted vegetation index (SAVI)	$SAVI = \frac{(NIR - R)}{(NIR + R + L)} (1 + L)$	(Huete, 1988)
شاخص گیاهی تناضلی نرمال شده تغییر یافته Modified normalized difference vegetation index (MNDVI)	$MNDVI = \frac{800 NM - 680N}{800 NM + 680 NM - 2445 NM}$	(Baret <i>et al.</i> , 1989)
شاخص گیاهی بهینه شده با اثر خاک Optimized soil adjusted vegetation index (OSAVI)	$OSAVI = (1 + Y) \frac{800 NM - 670 NM}{800 NM + 670 NM + Y}$	(Qi <i>et al.</i> , 1994)

شاخص سطح برگ اندازه گیری شده (LAI) وجود رابطه خطی بین این متغیرها را در مرحله ظهور گل و رسیدگی فیزیولوژیکی تایید کرد، در حالیکه در مرحله چهاربرگی و تمایز رشد این رابطه غیر معنی دار میباشد (جدول ۳).

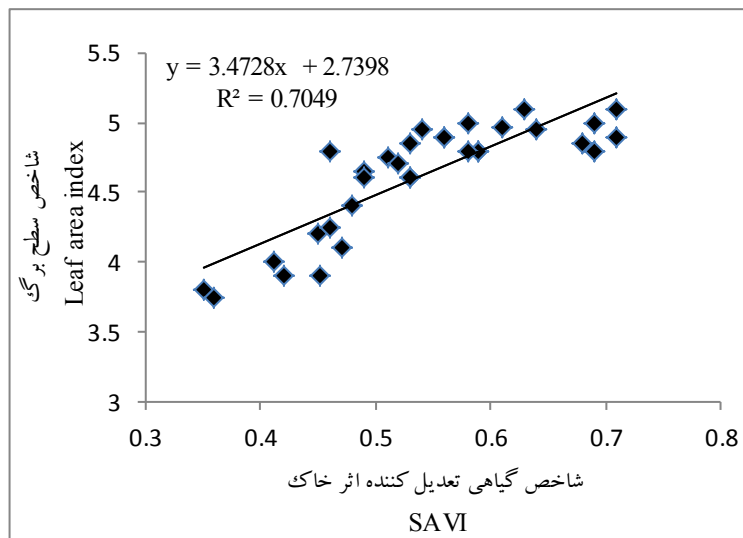
بررسی میزان همبستگی بین این شاخص ها و شاخص سطح برگ نشان میدهد که بیشترین

ضریب تبیین بین این متغیرها در مرحله ظهور گل است، در بین شاخص ها نیز بیشترین ضریب تبیین و کمترین مربعات خطا متعلق به رابطه بین شاخص SAVI و NDVI و شاخص سطح برگ است (شکل ۲)، زیرا در این مرحله رشد سطح زمین پوشیده از گیاه است و سطح لخت خاک مشاهده نمیشود. میزان فاکتور L در رابطه SAVI معادل صفر در نظر گرفته شد، بنابراین میزان این دو شاخص باهم برابر و میزان ضریب تبیین شاخص سطح برگ با این فاکتورها ۰/۷۰ و با ریشه میانگین مربعات خطای ۰/۱۳ و کارایی مدل ۰/۶۸ میباشد که در سطح پنج درصد معنی دار میباشد و بیشترین قابلیت را در محاسبه و پیش بینی عملکرد دارد.

شکل (۳) نیز بیانگر همبستگی بالای بین شاخص سطح برگ محاسباتی با شاخص سطح برگ زمینی در مرحله ظهور گل می باشد. با توجه به همبستگی بالا در مراحل بعدی جهت محاسبه عملکرد از شاخص سطح برگ منتج از شاخص های طیفی استفاده خواهد شد.

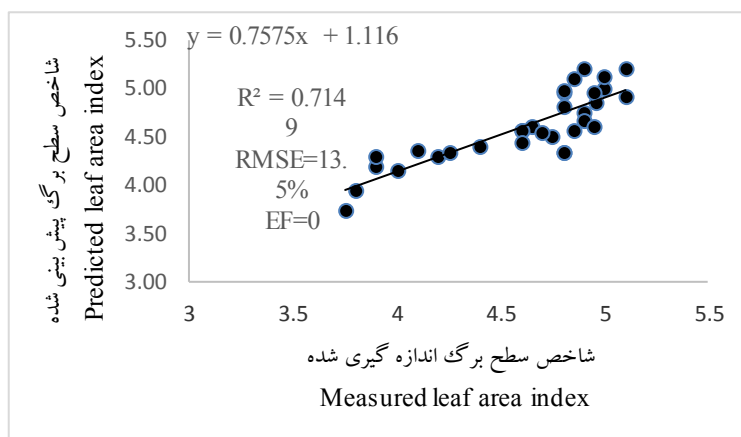
میزان همبستگی شاخص های گیاهی با شاخص سطح برگ در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی نیز معنی دار بوده و قابلیت پیش بینی سطح برگ را دارد. ولی میزان این همبستگی نسبت به مرحله ظهور گل پایین می باشد. در مرحله رشد رسیدگی فیزیولوژیکی بیشترین همبستگی شاخص سطح برگ با شاخص SAVI با میزان ۰/۵۰ و ریشه میانگین مربعات خطای ۱۴/۵ و کارایی مدل ۰/۵۵ میباشد (جدول ۳).

بعد از بررسی رابطه بین شاخص سطح برگ و شاخص های گیاهی و انتخاب بهترین مرحله



شکل ۲- همبستگی بین شاخص SAVI و شاخص سطح برگ (LAI) در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی

Figure 2. Correlation between SAVI index and leaf area index (LAI) at physiological maturity stage



شکل ۳- همبستگی بین شاخص سطح برگ اندازه گیری شده و پیش بینی شده در مرحله ظهور گل

Figure 3. Correlation between the measured and predicted leaf area index at flower emergence stage

لگاریتمی بین شاخص سطح برگ و میزان عملکرد مزارع مورد مطالعه رابطه خطی با ضریب تعیین ۰/۶۷، $RMSE=15.2\%$ و $EF=0.59$ بهترین رابطه برای محاسبه عملکرد ذرت دانه ای انتخاب گردید (شکل ۴). نتایج نشان می دهد بین عملکرد اندازه گیری شده و پیش بینی شده بر مبنای شاخص SAVI همبستگی بالایی (۰/۸۲) بر قرار است که موید قابلیت قابل قبول این

رشدی بمنظور محاسبه شاخص سطح برگ از روی شاخص های گیاهی، با توجه به میزان همبستگی این شاخصها بهترین شاخص برای محاسبه عملکرد انتخاب گردید. همانطور که اشاره شد میزان شاخص های SAVI و NDVI در این مرحله رشد باهم برابر بوده و بیشترین همبستگی را با شاخص سطح برگ داشتند. بعد از بررسی روابط خطی، تابعی و

جدول ۳- نتایج آماری رابطه شاخص های گلگی با شاخص های طیفی تصاویر ماهواره ای
Table 3. Statistical results of relationship between vegetation indices and spectral indices of satellite images

ردیف Number	مرحله رشد Growth stage	شاخصهای گیاهی Vegetative indices	ضریب تبیین (R ²)	خطای جذری میانگین مربعات RMSE	ضریب کارایی EF	F
1	مرحله چهاربرگی Four-leaf stage	NDVI	0.34	21	0.41	45.5 ^{ns}
		SAVI	0.28	23.2	0.34	48.6 ^{ns}
		MNDVI	0.31	20.8	0.38	47.5 ^{ns}
2	مرحله تمایز رشد Growth differentiation stage	OSAVI	0.27	19.4	0.32	44.3 ^{ns}
		NDVI	0.36	19	0.45	53.3 ^{ns}
		SAVI	0.38	18.5	0.47	54.6 ^{ns}
3	مرحله ظهور گل Flower emergence stage	MNDVI	0.37	17.4	0.42	50.9 ^{ns}
		OSAVI	0.32	16.9	0.39	51.7 ^{ns}
		NDVI	0.7	13	0.68	179 ^{**}
4	مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity stage	SAVI	0.7	13	0.68	121 ^{**}
		MNDVI	0.61	13.6	0.59	146 ^{**}
		OSAVI	0.63	13.4	0.57	118 ^{**}
		NDVI	0.48	15	0.53	62 [*]
		SAVI	0.5	14.5	0.55	68 [*]
		MNDVI	0.42	16.2	0.49	59 [*]
		OSAVI	0.43	15.9	0.5	61 [*]

شاخص در مرحله ظهور گل برای محاسبه عملکرد محصول ذرت میباشد(شکل ۵).

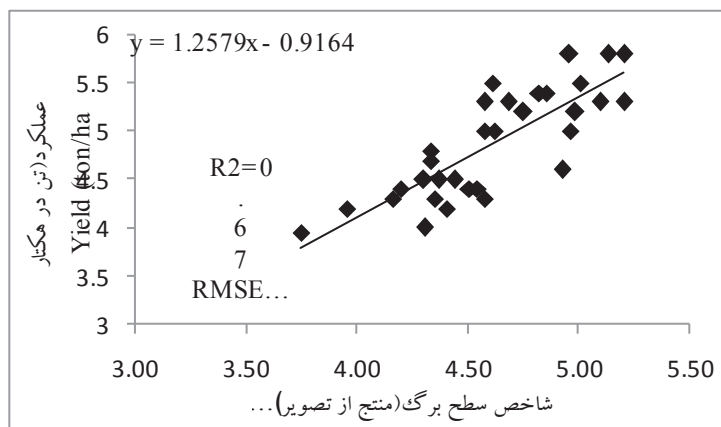
۲) رابطه عملکرد و طیف سنجی

آزمایشگاهی

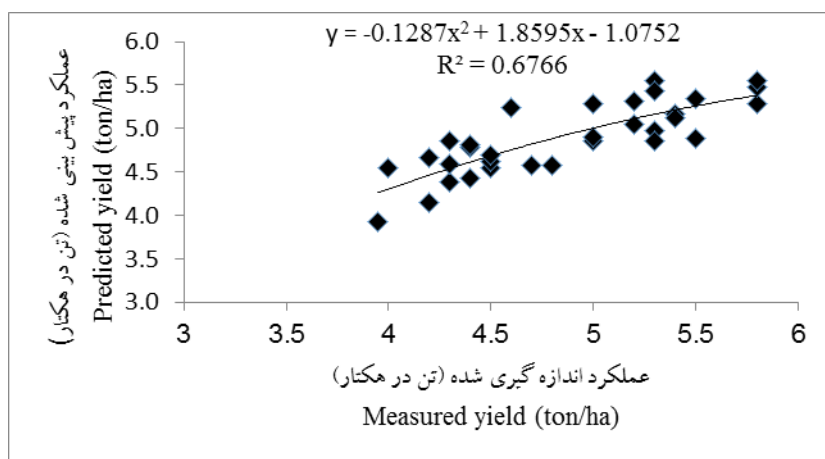
طیف سنجی گیاه ذرت با استفاده از طیف سنج فیلداسپک ۳ نشان داد که شاخص های گیاهی MNDVI و OSAVI بیشترین همبستگی را برای پیش بینی عملکرد نسبت به سایر شاخص هادارند، نتایج (جدول ۴) نشان داد که بهترین مرحله برای محاسبه عملکرد، مرحله

ظهور گل می باشد.

نتایج نشان می دهد که شاخص گیاهی MNDVI با ضریب تبیین ۰/۷۲ از کارایی بالایی برای محاسبه شاخص سطح برگ برخوردار می باشد، همچنین تخمین عملکرد مبتنی بر این شاخص با عملکرد اندازه گیری شده دارای همبستگی ۰/۸۲ می باشد، شکل های (۶ و ۷ و ۸). همانطور که از نتایج مشخص است، بیشترین همبستگی شاخص ها، شبیه استفاده از تصاویر ماهواره ای در مرحله ظهور گل می باشد جدول



شکل ۴- همبستگی بین شاخص سطح برگ (LAI) در مرحله ظهور گل و عملکرد ذرت
Figure 4. Correlation between leaf area index (LAI) at flower emergence stage and corn yield



شکل ۵- همبستگی بین عملکرد اندازه گیری شده و پیش بینی شده در مرحله ظهور گل
Figure 5. Correlation between measured and predicted yield at flower emergence stage

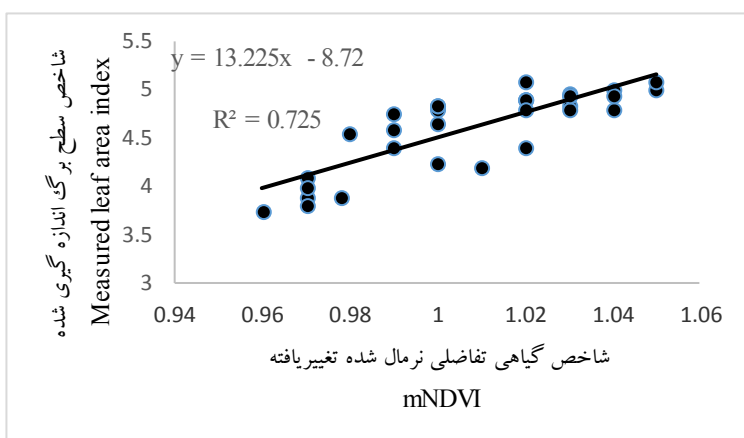
بین این دو ۰/۸۲ بوده و میتوان از شاخص سطح برگ برای پیش بینی میزان عملکرد با میزان $EF=0.59$ استفاده کرد (شکل ۸). از سوی دیگر میزان همبستگی شاخص OSAVI با شاخص سطح برگ ۰/۸۲ بوده که هرچند نسبت به شاخص MNDVI از همبستگی پائین تری برخوردار است ولی نسبت به سایر شاخص های محاسبه ی از طریق نتایج طیف سنجی از قابلیت بالایی برای محاسبه شاخص سطح برگ

(۴) ، در این مرحله با توجه به اینکه مصرف کود و سمی صورت نگرفته است، بنابراین عامل تاثیرگذار بیرونی در جذب و بازتاب طیف نوری وجود ندارد در نتیجه هرگونه تغییر در جذب و بازتاب طیف نوری ناشی از عوامل درون گیاهی می باشد که خود می تواند عامل مهمی در پیش بینی تغییرات گیاه باشد.

بررسی رابطه بین شاخص سطح برگ با میزان عملکرد نشان می دهد که میزان همبستگی

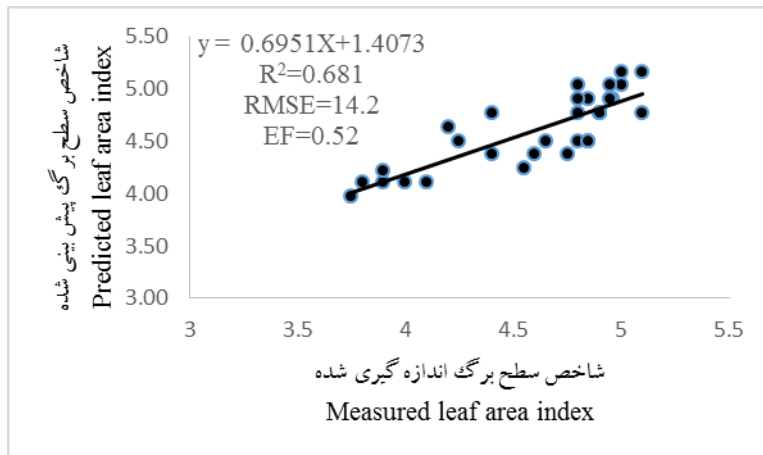
جدول ۴- ضریب تبیین بین شاخص های طیفی منتخب از تصاویر با شاخص سطح برگ

ردیف Number	مرحله رشد Growth stage	شاخص های گیاهی Vegetative indices	ضریب تبیین (R ²)	خطای جذر میانگین مربعات RMSE	ضریب کارایی EF	F
1	مرحله چهاربرگی Four-leaf stage	NDVI	0.29	22.3	.31	27.9 ^{ns}
		SAVI	0.26	23.4	0.29	31.3 ^{ns}
		MNDVI	0.38	19.5	0.39	36.5 ^{ns}
		OSAVI	0.31	20.6	0.37	38.9 ^{ns}
2	مرحله تمایز رشد Growth differentiation stage	NDVI	0.28	27.2	0.3	31.5 ^{ns}
		SAVI	0.3	25.9	0.32	31.7 ^{ns}
		MNDVI	0.39	19.8	0.42	34.5 ^{ns}
		OSAVI	0.38	18.8	0.4	36.8 ^{ns}
3	مرحله ظهور گل Flower emergence stage	NDVI	0.54	15.5	0.47	58*
		SAVI	0.53	14.6	0.46	56*
		MNDVI	0.72	12.8	0.69	82***
		OSAVI	0.69	13.2	0.66	74.5***
4	مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی Physiological maturity stage	NDVI	0.7	17.6	0.39	34.5 ^{ns}
		SAVI	0.34	18.3	0.41	36.9 ^{ns}
		MNDVI	0.29	22.3	.31	27.9 ^{ns}
		OSAVI	0.26	23.4	0.29	31.3 ^{ns}

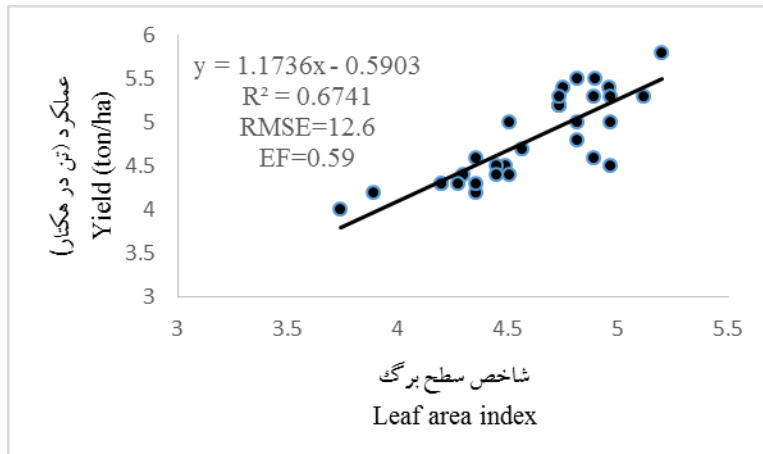


شکل ۶- همبستگی شاخص گیاهی MNDVI با شاخص سطح برگ

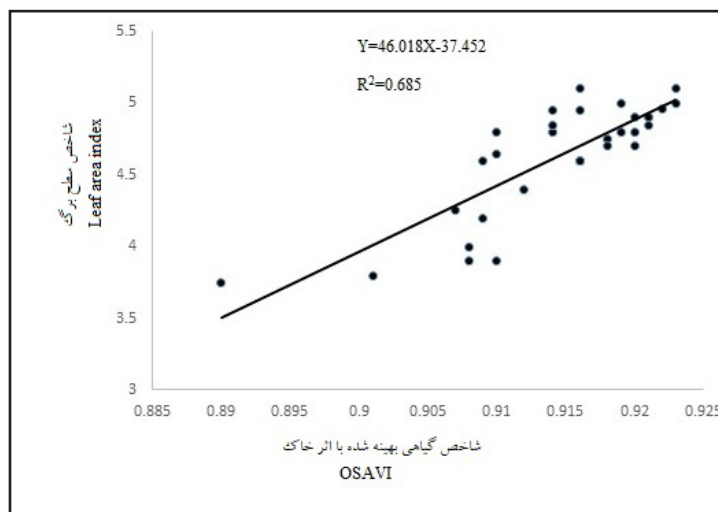
Figure 6. Correlation between vegetative index MNDVI and leaf area index



شکل ۷- همبستگی شاخص برگ اندازه گیری شده با پیش بینی شده بر پایه شاخص گیاهی MNDVI
 Figure 7. Correlation between measured and predicted leaf area index based on MNDVI vegetation index



شکل ۸- همبستگی شاخص سطح برگ پیش بینی شده مبتنی بر شاخص MNDVI با عملکرد
 Figure 8. Correlation between predicted leaf area index and yield based on MNDVI



شکل ۹- همبستگی شاخص گیاهی OSAVI با شاخص سطح برگ
 Figure 9. Correlation between OSAVI vegetation index and leaf area index

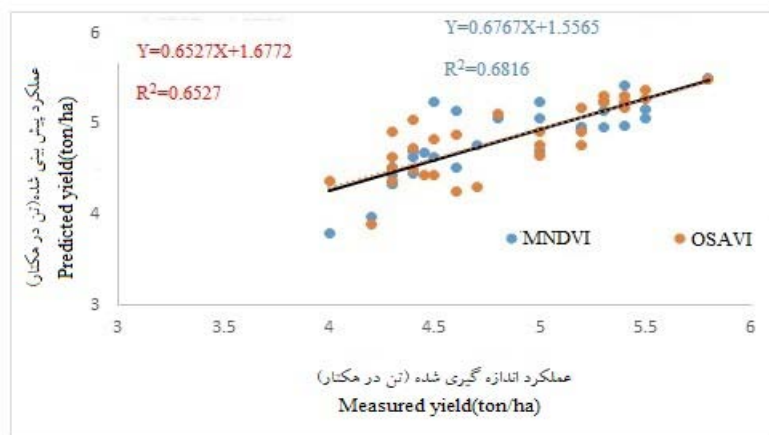
غلظت مواد بیوشیمیایی از جمله کلروفیل، کاروتنوئید، نیتروژن و میزان آب موجود در برگ می باشد که هر کدام از این عوامل دارای تاثیر ویژه ای بر بازتاب در برخی طول موج های خاص می باشند، به عنوان مثال طول موج بین ۶۵۰-۷۰۰ نانومتر نسبت به تغییرات کلروفیل بسیار حساس می باشد (Armenta et al., 2007) (Asner & martin, 2008). از طرف دیگر باتوجه به اینکه در مرحله چهارم برگگی و مرحله تمایز رشد برگها و اندازه گیاه کوچک بوده و برگها به میزان کافی پارانشیم، مزوفیل، بافت اسفنجی، روزنه های هوایی و بافت چوبی ندارند. بنابراین نمی توانند بخش اعظم نور مادون قرمز را منعکس کنند. بنابراین شاخص سطح برگ اندازه گیری شده و پیش بینی شده در این مراحل رشد پایین می باشد همین امر باعث می شود کارایی شاخصها در این مرحله رشد در پیش بینی شاخص های گیاهی و عملکرد گیاه پایین باشد. در حالی که در مرحله ظهور گل

برخوردار است (شکل ۹).

بررسی میزان عملکرد پیش بینی شده با عملکرد واقعی نیز نشان می دهد که براساس شاخص گیاهی MNDVI میزان ضریب تبیین ۰/۶۸ بوده در حالی که براساس شاخص گیاهی OSAVI این میزان ۰/۶۵ می باشد. بنابراین می توان نتیجه گرفت این شاخصها از قابلیت بالایی در محاسبه عملکرد محصول ذرت بمنظور استفاده از آن در برنامه ریزی های مصرف کود و نهاده ها استفاده کرد (شکل ۱۰).

بحث و نتیجه گیری

همانطور که از نتایج مشخص است در بین مراحل گیاهی، مرحله ظهور گل در هر دو حالت استفاده از تصاویر ماهواره ای و استفاده از طیف سنجی با طیف سنج آزمایشگاهی از بیشترین قابلیت در محاسبه عملکرد محصول ذرت برخوردار می باشد. مشخصه های طیفی گیاهان در طول موج های مختلف تحت تاثیر ساختار دورن سلولی و برون سلولی برگ،



شکل ۱۰- نمودار همبستگی بین عملکرد اندازه گیری شده و پیش بینی شده در مرحله ظهور گل

براساس شاخصهای MNDVI و OSAVI

Figure 10. Correlation between the measured and predicted yield at flower emergence stage based on MNDVI and OSAVI indices

mNDVI و oSAVI به ترتیب با ضریب تبیین ۷۲ و ۶۹ درصد مناسب ترین شاخص برای محاسبه شاخص سطح برگ و عملکرد براساس نتایج طیف سنجی آزمایشگاهی می باشند . شاید بتوان دلیل این امر را اینطور بیان کرد در استفاده از تصاویر ماهواره ای بیشتر تغییرات بازه طیفی با دقت بیشتری قابل استخراج است در حالیکه در استفاده از طیف سنج آزمایشگاهی می توان کوچکترین تغییرات در هر طیف و طول موج خاص را رهگیری کرد و از آنجا که شاخص های NDVI و SAVI تغییرات بازه طیفی را مدنظر می گیرند، بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره ای این شاخص ها از قابلیت بیشتر برخوردار بوده در حالیکه در شاخص های mNDVI و oSAVI طول موجهای خاص مورد بررسی قرار میگیرد و با توجه به اینکه طیف سنج آزمایشگاهی کوچکترین تغییرات در هر طول موج را نشان می دهد بنابراین این شاخص ها از قابلیت بیشتر برخوردار می باشند.

گیاه از شادابی کامل برخوردار است و در این مرحله رشد گیاه که بیشترین پوشش گیاهی را داریم بیشترین بازتاب طیف مادون قرمز نزدیک و کمترین بازتاب نور قرمز را شاهد باشیم، همین امر باعث شد تا بتوان رابطه معنی دار بین نتایج طیف سنجی گیاه با شاخص سطح برگ و عملکرد برقرار کرد، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیکی نیز برگ های گیاه نسبت به مرحله رشد ظهور گل در برخی قسمت ها خشک و حالت ترد خود را از دست داده اند همین امر باعث شده است که میزان بازتاب و جذب طیف ها دچار تغییرات شده و به همین دلیل نسبت به مرحله رشد قبلی قابلیت پیش بینی شاخص سطح برگ و عملکرد پایین بیاید. نتایج مطالعات نشان داد که شاخص های در مراحل رشد میانی که شامل مراحل رشد ظهور گل و کاکل می باشد از توانایی بالایی در پیش بینی عملکرد ذرت دارند (Varvani *et al.*, 2019). بررسی نتایج نشان می دهد که در هر دو حالت استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست هشت و طیف سنج آزمایشگاهی در مرحله ظهور گل نسبت به سایر مراحل نمونه برداری ضریب تبیین شاخص ها برای محاسبه شاخص سطح برگ و عملکرد با میزان همبستگی ۵۴ الی ۷۲ درصد از قابلیت بیشتری برخوردار می باشد. از طرف دیگر بررسی شاخص های محاسبه شده از نتایج طیف سنجی و استفاده از داده های طیفی لندست ۸ و مقایسه بین این دو نشان می دهد که دو شاخص NDVI و SAVI با ضریب تبیین ۷۰ درصد بعنوان شاخص های موثر در محاسبه شاخص سطح برگ و عملکرد با استفاده از تصاویر ماهواره ای می باشند در حالیکه شاخص های

References:

- Al-gaadi, K.H., Hassaballa, A., Tola, E., Kayad, A., Madugundu, R., Alblewi, B., and Assiri, F. 2016. Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. *Plosone Journal*, pp: 1-16.
- Analytical Spectral Devices Inc. 1997. *Field Spect™ User's guide*. Analytical Spectral Devices Inc., Boulder, CO.
- Anastasiou, E., Balafoutis, A., Darra, N., Psiroukis, V. 2018. Satellite and proximal sensing to estimate the yield and quality of table grapes. *Agriculture Journal*, 8: 94.
- Aparicio, N., Villegas, D., Casadesus, J., Araus, J.L., and Royo, C. 2000. Spectral vegetation indices as nondestructive tools for determining durum wheat yield. *Agronomy Journal*, 92(1). 83-91.
- Armenta, S., Garrigues, S., and Guardia, M. 2007. Partial least squares-near infrared determination of pesticides in commercial formulations. *Vibrational spectroscopy*, 44: 273-278.
- Asner, G.P., and Martin, R.E. 2008. Spectral and chemical analysis of tropical forests: scaling from leaf to canopy levels. *Remote sensing of Environment*, 112: 3958-3970.
- Behrens, T., Muller, J., and Diepenbrock, W. 2006. Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis. *Europa Journal of Agronomy*, 25:345-355.
- Bocco, M., Sayago, S., and Willington, E. 2014. Neural network and crop residue index multiband models for estimating crop residue cover from Landsat TM and ETM⁺ images. *International Journal of Remote Sensing*, 35(10). 3651-3663.
- Borgogno-Mondino, E., Lessio, A., Tarricone, L., Novello, V., and Palma, L.A. 2018. Comparison between multispectral aerial and satellite imagery in precision viticulture. *Precise Agriculture*, 19:195-217.
- Choukan, R. 2012. Maize and maize properties. Ministry of jihad-e-Agriculture, Agricultural research, education and extension Organization, *Seed and Plant Improvement Institute*.

- Dadhwall, V.K., and Ray, S.S. 2000. Crop assessment using remote sensing— Part II: Crop condition and yield assessment. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 2(1947). 55–67.
- Elhag, M. 2016. Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems (Saudi Arabia). *International Journal of Remote Sensing*, 14 (8).1495–1515.
- Haig L.A.S. 2003. *Crop yield estimation: Integrating RS, GIS, management and land factors. A case study of Birkoor and Kortigiri Mandals- Nizamabad district, India*. Thesis submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Geoinformation Science and Earth Observation; Sustainable Agriculture.
- Holzman, M.E., Rivas, R., and Piccolo, M.C. 2014. Estimating soil moisture and the relationship with crop yield using surface temperature and vegetation index. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28: 181-192.
- Johnson, B., Tateishi, R., and Kobayashi, T. 2012. Remote sensing of fractional green vegetation cover using spatially-interpolated endmembers. *Remote Sensing journal*, 4: 2619-2634
- Junges, A.H., Fontana, D.C., Anzanello, R., and Bremm, C. 2017. Normalized difference vegetation index obtained by ground-based remote sensing to characterize vine cycle in Rio Grande do Sul, Brazil. *Ciênc. Agrotecnology journal*, 41: 543–553.
- Martens, H., and Naes, T. 1989. *Multivariate calibration*. Second ed., John Wiley and Sons Ltd, Chichester, UK. 419 pages.
- Nahry, E.I., Ali, R.R., and Baroudy, A.A. 2011. An approach for precision farming under pivot irrigation system using remote sensing and GIS techniques. *Journal of Agricultural Water Management*, 98: 517- 531.
- Panda, S.S., Ames, D.P., Panigrahi, S. 2010. Application of vegetation indices for agricultural crop yield prediction using neural network techniques. *Remote Sensing Journal*, 2: 673–696.

- Prasad, A., Chai, L., Singh, R., and Kafatos, M. 2006. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(1). 26-33.
- Garrigues, N.V., Shabanovb, K., Swanson, J.T., Morisette, F., and Baret, R.B. 2008. Intercomparison and sensitivity analysis of leaf area index retrievals from LAI-2000, AccuPAR, and digital hemispherical photography over croplands, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148: 1193–1209.
- Sadooghi, L., Homae, M., Noroozi, A., and Asadi, S. 2016. Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province. *Cereal Research*, 6(3): 397-410.
- Sanaeinejad, H., Nassiri, M., Zare, H., Salehnia, N., and Ghaemi, M. 2014. Wheat yield estimation using landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Journal of Plant Production*, 20 (4). 43-63.
- Shanahan, J.F., Schepers, J.S., Francis, D.D., Varvel, G.E., Wilhelm, W.W., Tringe, J.M., Schlemmer, M.R., and Major, D.J. 2001. Use of remote-sensing imagery to estimate corn grain yield. *Agronomy journal*, 93: 583-589.
- Shi, H., and Mo, X. 2011. Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Journal of Ecological Modelling*, 2)22(:2530- 2541.
- Thenkabail, P.S., Smith, R.B., DePauw, E. 2000. Hyperspectral vegetation indices and their relationships with agricultural crop characteristics. *Remote Sensing Environment Journal*, 71: 158–182.
- Varvani, H., Bansoleh, B., and Sharifi, M.A. 2019. Evaluation of vegetation indices based on remote sensing at different growth stages for estimation *Corn biomass*. *Journal of Crop Production*, 11(3): 29-41.

Evaluation of Landsat 8 Spectral Data Capabilities and Laboratory Spectroradiometer for predicting corn yield (Case study: Moghan Agro-Industry)

Vahid Sarvi¹ , Hamid Reza Matinfar^{2*} , akbar sohrabi³, Nikrooz Bagheri⁴

1. PHD student, Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Iran.
2. Associated professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Iran., (Corresponding author)
3. Assistant professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Lorestan University, Iran.
4. Assistant professor. Agricultural Engineering Research Institute. Agricultural Education and Extension Organization. Karaj. Iran.

Received: April 2019 Accepted: May 2020 - DOI: 10.22092/aj.2020.125832.1393

Extended Abstract

Sarvi, V., Matinfar, H. R., Sohrabi, A., Bagheri, N., Evaluating the Landsat 8 Spectral Data Capabilities and Laboratory Spectroradiometer for predicting corn yield (Case study: Moghan Agro-Industry) **Applied Research in Field Crops Vol 33, No. 3, 2020 20-22: 117-134**(in Persian)

Introduction:

Monitoring the growth stages and yield of crops in agricultural areas is essential for food security and farmers' income forecasts. Progress in remote sensing has greatly contributed to the process of monitoring of various developmental stages of agricultural crops and the evaluation of their yield (Anastasiou *et al.*, 2018; Shi & Mo, 2011). Remote sensing (RS) and global positioning systems (GPS) can be used to evaluate the changes in crop dynamics, including its yield and spatial diversity (Dadhwall & Ray, 2000). Spectral vegetation indices (SVIs) are a combination of the spectral absorption and spatial distribution of plants in different electromagnetic spectral range and are used to measure the characteristics of a product. SVI provides a simple method for measuring spectral responses of plants throughout the season, which uses fundamental differences between soil and plants, and often as a kind of relationship is expressed between the energy of electromagnetism reflected in red and infrared wavelengths the red near (NIR). Green healthy plants exhibit relatively low reflections in the visible range of the electromagnetic spec-
Email address of the corresponding author: matinfar.h@lu.ac.ir

trum (high absorption of light for photosynthesis); however, its reflection is usually high in the near infrared region (Al-gaadiet *et al.*, 2016). Therefore, in this study, the remote sensing method spectrometric data were used to predict the yield of corn in the Moghan plant in northern Ardebil province.

Materials and Methods:

Landsat-8 satellite images were prepared during four growth stages of corn, and simultaneously at the dates when the satellite images of the study area were taken, spectroscopy of the plant samples was performed using the Field Espect-3 spectrometer. In this study, 30 corn fields were selected in the Moghan Plain to estimate the yield of corn. First, using the GPS device, the position of the farms was determined. Then, at different growth stages e.g. four-leaf stage, growth differentiation stage, flower emergence stage and physiological maturity, soil and plant samples were prepared according to standard methods and then the specimens were measured. Vegetation indices of NDVI, SAVI, MNDVI and OSAVI were calculated based on satellite data and laboratory spectrometers.

Results and Discussion:

The results in both cases- the use of Landsat 8 satellite images and laboratory spectrometer at flower emergence stage-showed that the correlations for coefficient of determination for leaf area index and yield were from 54% to 72%, which were more robust as compared to other growth stages. On the other hand, the evaluation of the indices obtained from the spectrophotometric results and the use of spectral data and the comparison between the two showed that the correlation for coefficient of determination for NDVI and SAVI was 70%, which were determined as effective indices for estimating leaf area index and yield using satellite imagery. While MNDVI and OSAVI indices were 72% and 69%, respectively, they were found to be the most suitable indicators for estimating leaf area index and yield based on the results of laboratory spectroscopy. Therefore, using satellite images, these indices are more likely to be present, while for MNDVI and OSAVI indices, particular wavelengths are studied, and given the fact that the laboratory spectrometer shows the slightest variations in each wavelength, these indicators can also be considered as robust.

Conclusion:

The results of the study showed that among the growth stages of the plant, flower emergence stage was the best for predicting the yield of the crop, and on the other hand, NDVI and SAVI indices resulting from Landsat 8's satellite imagery were found to be the most robust in predicting crop yield and MNDVI and OSAVI indices were found to be the best predictors of crop yield based on the results of spectral laboratory data.

Keywords: Leaf Area Index, Spectrometer, Vegetation Index, Yield.

References:

- Al-gaadi, K.H., Hassaballa, A., Tola, E., Kayad, A., Madugundu, R., Alblewi, B., and Assiri, F. 2016. Prediction of potato crop yield using precision agriculture techniques. *Plos one Journal*, pp:1-16.
- Anastasiou, E., Balafoutis, A., Darra, N., Psiroukis, V. 2018. Satellite and proximal sensing to estimate the yield and quality of table grapes. *Agriculture journal*, 8: 94-101.
- Dadhwall, V.K., Ray, S.S. 2000. Crop assessment using remote sensing—Part II: Crop condition and yield assessment. *Indian Journal of Agricultural Economics*, 2 (1947)-4, 55–67.