

مقاله علمی-پژوهشی

تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای براساس تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: اراضی کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول)

تهمینه دهقانی^۱، عبدالمجید لیاقت^{۲*}، هادی رضایی راد^۳، هدیه احمدپری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱

چکیده

یکی از مهم‌ترین ابزارهای برنامه‌ریزی مناسب برای تضمین امنیت غذایی و ارزیابی بازده اقتصادی محصولات زراعی، پیش‌بینی عملکرد محصولات زراعی قبل از برداشت آن‌ها است. این پژوهش با هدف برآورد و پیش‌بینی زود هنگام عملکرد ذرت دانه‌ای قبل از برداشت در سال زراعی ۹۶-۹۵ با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat 8 در بخشی از اراضی کشت و صنعت شهید بهشتی انجام شد. در این پژوهش از هشت شاخص طیفی شامل NDVI، TNDVI، GNDVI، SAVI، OSAVI، NDWI، MNDWI و NDMI استفاده شد. بین شاخص‌ها با داده‌های میدانی عملکرد با ۷۰٪ داده‌ها رابطه همبستگی برقرار شد. سپس این روابط با ۳۰٪ داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص MNDWI با ضریب تعیین ۳۰٪ و ۱۳٪ بالاترین همبستگی را با داده‌های میدانی به ترتیب در آذرماه و دی‌ماه داشت. ضریب تعیین و RMSE بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده عملکرد توسط این شاخص برای ماه‌های ذکر شده به ترتیب ۷۲٪، ۱/۷۱ تن در هکتار و ۴۸٪، ۱/۵۴ تن در هکتار به دست آمد. معادلات چند متغیره تولید شده برای هر دو تاریخ برداشت در دی‌ماه و آذرماه به ترتیب با ضریب تعیین و RMSE، ۳۱٪، ۰/۰۶ تن در هکتار و ۵۵٪، ۱/۱۹ تن در هکتار حاصل شد. طبق نتایج، استفاده از میانگین شاخص‌های MNDWI، SAVI و NDVI در روابط تولید شده خطاهای ناشی از تغییرات مکانی عملکرد در سطح مزرعه به حداقل می‌رسد و امکان پیش‌بینی مقدار متوسط عملکرد نهایی مزرعه قبل از برداشت محصول وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: پیش‌بینی عملکرد، سنجش از دور، شاخص‌های طیفی، رگرسیون.

۱- مقدمه

ارزیابی زود هنگام عملکرد محصول در مقیاس محلی، منطقه‌ای و ملی یک نیاز اصلی برای کاربران مختلف همچون برنامه‌ریزان کشاورزی، سیاست‌گذاران، شرکت‌های بیمه و محققان است (Dubey et al., 2018) تا بتوانند با نظارت بر رشد محصول و پیش‌بینی عملکرد آن تا حد ممکن به پایداری در تولید و در نتیجه امنیت غذایی و ارتقا بازده اقتصادی دست یابند (Gontia and Tiwari., 2011). سنجش از دور^۵ که علم استخراج اطلاعات از اجسام زمینی به صورت غیرمستقیم است، می‌تواند در رسیدن به این هدف مورد استفاده قرار گیرد (Dehghani et al., 2021). تکنیک‌های سنجش از دور این پتانسیل را دارند که اطلاعات مربوط به محصولات کشاورزی را به صورت کمی، لحظه‌ای و مهم‌تر از همه به صورت غیرمخرب در مناطق وسیع ارائه دهند (Jing-Feng et al., 2002). از دیگر کاربردهای مهم سنجش از دور در فعالیت‌های کشاورزی می‌توان به تعیین حدود پراکنش گیاهان زراعی و تخمین سطح زیر کشت آن‌ها، فاکتورهای مؤثر بر عملکرد و تخمین محصول اشاره کرد (کمالی و همکاران،

ذرت یکی از پنج غلات اصلی کشت شده در سراسر جهان به حساب می‌آید (Thudi et al., 2021). در بسیاری از نقاط جهان ذرت به عنوان غذای انسان و حیوانات استفاده می‌شود و ماده خام برای تولید سوخت‌های زیستی، ترکیبات شیمیایی و شبه پلاستیک‌ها می‌باشد (García-Lara and Serna-Saldivar., 2019). با توجه به افزایش جمعیت، افزایش بهره‌وری مصرف آب محصولات کشاورزی، به ویژه ذرت برای تضمین امنیت غذایی ضروری است (Parry and Hawkesford., 2010). به منظور دستیابی به این، مهم

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده کشاورزی و فناوری، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۲- استاد، دانشکده کشاورزی و فناوری، دانشگاه تهران، کرج، ایران

۳- دانش آموخته دکتری، دانشکده کشاورزی و فناوری، دانشگاه تهران، کرج،

ایران

۴- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی و فناوری، دانشگاه تهران،

پاکدشت، ایران

(*- نویسنده مسئول)

(Email: aliaghat@ut.ac.ir)

GNDVI و MSAVI^{۱۶} و عملکرد محصول گندم در مراحل مختلف رشد گیاه در سانلیورفا، ترکیه پرداختند. طبق نتایج این پژوهش بیشترین همبستگی در مرحله قبل از گلدهی برای NDVI، مرحله گلدهی برای MSAVI و GNDVI و مرحله پس از گلدهی برای SAVI مشاهده شد (Yunus and Polat, 2023). بای و همکاران مطالعه‌ای با هدف شناخت بهترین زمان فنولوژیکی میوه‌ی عناب و بهترین شاخص بین NDVI، SAVI، NDWI^{۱۷} و EVI جهت پیش‌بینی عملکرد محصول انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد میانگین شاخص NDVI با ضریب همبستگی ۰/۸۷٪ عملکرد بهتری در پیش‌بینی مقدار محصول دارد (Bai et al., 2019). نتایج پژوهش‌های زانلا و همکاران (۲۰۲۴)، عرب و همکاران (۲۰۲۱) و سلطانیان و همکاران (۱۳۹۹) نیز بر ضرورت استفاده از سنجش از دور در تخمین عملکرد تاکید نمودند (Arab et al., 2024؛ Zanella et al., 2024؛ al., 2021؛ سلطانیان و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج حاصل از بررسی پیشینه تحقیق در داخل و خارج کشور نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌ای توانایی مناسبی برای تخمین عملکرد محصولات زراعی در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای دارند لذا در این پژوهش تلاش شد تا کارایی شاخص‌های گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره Landsat 8 در پیش‌بینی میزان عملکرد ذرت دانه‌ای در بخشی از اراضی کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول مورد ارزیابی قرار گیرد. همچنین در این تحقیق روابطی تجربی بر مبنای شاخص‌های طیفی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، توسعه یافت و عملکرد آن‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

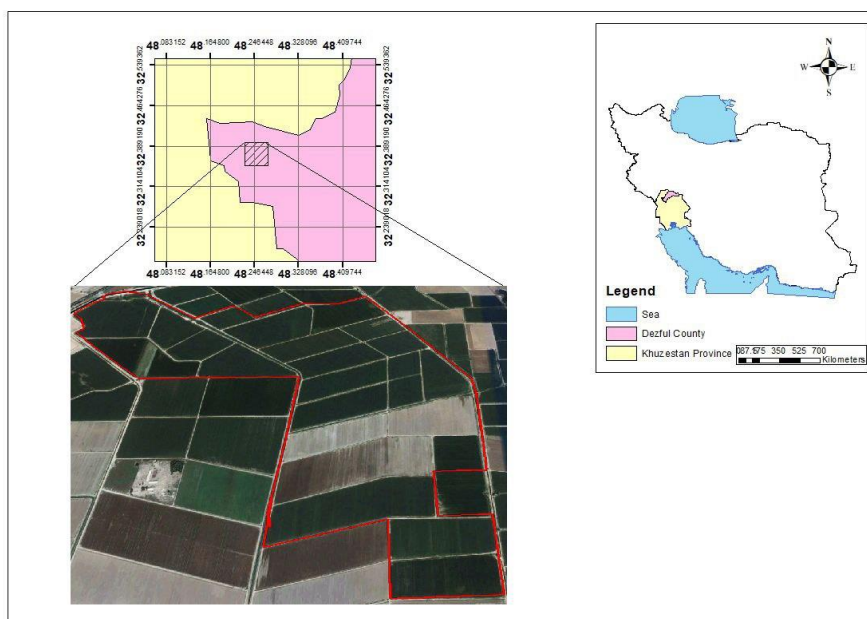
این پژوهش در مزارع کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول انجام شد. مزارع انتخابی در منطقه BC واقع در ۱۳ کیلومتری جنوب شهرستان اندیمشک که تحت کشت ذرت بودند، صورت پذیرفت. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. این منطقه از نظر مشخصات جغرافیایی در فاصله عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۶ دقیقه شرقی قرار دارد و دارای آب و هوای گرم و معتدل با میانگین بارش سالانه ۳۵۰ میلی‌متر و تغییرات درجه حرارت سالانه دما از ۵- تا ۴۹+ درجه سانتی‌گراد است (میراثی، ۱۳۹۸).

تاکنون مطالعات مختلفی جهت برآورد عملکرد محصولات زراعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در ایران و جهان انجام شده است. یاقوتی و همکاران (۱۳۹۷) رابطه‌ی رگرسیونی بین عملکرد ارقام محلی برنج و شاخص‌های NDVI^۱، SAVI^۳، DVI^۳ و RVI^۴ استخراج شده از ماهواره‌ی Landsat 7 در شهرستان شفت را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان داد که شاخص طیفی NDVI مناسب‌ترین شاخص برای برآورد عملکرد ارقام محلی و پرمحصول برنج در منطقه می‌باشد. کمالی و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی هشت شاخص اصلی گیاهی برای تهیه نقشه مطلوب عملکرد گندم در دشت مغان پرداختند و بیان کردند که شاخص NDVI با $R^2=0.71$ ، MAE^۵، RMSE^۶ و MBE^۷ به ترتیب برابر با ۶۳۷، ۷۹۷ و ۸۷ کیلوگرم در هکتار نسبت به دیگر شاخص‌های گیاهی از دقت بالاتری در تخمین عملکرد برخوردار است. گنجی خرم‌دل و خالقی (۱۳۹۹) در یک پژوهش رابطه‌ی بین پنج شاخص گیاهی (DVI، SAVI^۱، PD321^۹، NIR^۸، NDVI) و عملکرد ذرت علوفه‌ای در مراحل مختلف رشد در دشت فراهان مورد بررسی قرار دادند. مطابق نتایج بدست آمده در مرحله‌ی اولیه و نهایی رشد ضریب همبستگی شاخص NDVI و SAVI با عملکرد محصول به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۳ برآورد شد. نقش شاخص NDVI در تعیین عملکرد بسیار مورد توجه قرار گرفته است (غفریان مالگیری و همکاران، ۱۴۰۳؛ Parida and Newton et al., 2021؛ Ranjan, 2019؛ Abdi et al., 2022؛ Zsebó et al., 2024). دیسکرا و همکاران رابطه‌ی بین شاخص‌های EVI^{۱۰}، GI^{۱۰}، RVI^{۱۱}، SAVI^{۱۲}، CIG^{۱۲}، TVI^{۱۳}، GNDVI^{۱۴}، EVI^{۱۵} و NDVI و عملکرد گیاه پنبه در برزیل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق شاخص‌های EVI و TVI را با RMSE برابر با ۷۵۰ کیلوگرم در هکتار و ضریب تعیین ۰/۷۰٪ برای تخمین عملکرد این گیاه پیشنهاد داد (De Siqueira et al., 2024). یونس و پلوت به بررسی رگرسیون خطی بین شاخص‌های NDVI، SAVI،

- 1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
- 2- Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
- 3- Difference Vegetation Index (DVI)
- 4- Ratio Vegetation Index (RVI)
- 5- Mean Absolute Error (MAE)
- 6- Root Mean Square Error (RMSE)
- 7- Mean Bias Error (MBE)
- 8- (Near Infrared Ratio (NIR)
- 9- Potential Different (PD321)
- 10- Greenness Index (GI)
- 11- Chlorophyll Vegetation Index (CVI)
- 12- Chlorophyll Index – Green (CIG)
- 13- Transformed Vegetation Index (TVI)
- 14- Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)
- 15- Enhanced Vegetation Index (EVI)

16- Modified Soil Adjustment Vegetation Index (MSAVI)

17- Normalized Difference Water Index (NDWI)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

زراعی سال ۱۳۹۵ استفاده شد (جدول ۱). در انتخاب مزارع نمونه عوامل مختلفی از جمله: رعایت اصل انتخاب تصادفی، آیش نبودن مزرعه و استفاده از تجربیات زارعین مد نظر قرار گرفت.

داده‌های میدانی

در مطالعه‌ی حاضر از اطلاعات عملکرد ذرت دانه‌ای در ۱۹ قطعه زمین با مجموع مساحت ۲۹۵ هکتار در منطقه‌ی BC، در فصل

جدول ۱- مشخصات مزارع مورد مطالعه در کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول

تاریخ برداشت	متوسط عملکرد (تن بر هکتار)	سطح زیر کشت (هکتار)	کد مزرعه	ردیف
۹۵/۰۹/۲۰	۸/۰۹	۷/۵	w1-10-114	۱
۹۵/۱۰/۱۱	۹/۴۵	۱۴/۵	w1-10-117	۲
۹۵/۰۹/۰۷	۱۰/۱۰	۲۰	w1-10-118	۳
۹۵/۱۰/۱۸	۷/۲۸	۳۰	w1-11-121	۴
۹۵/۰۹/۱۶	۱۳/۱۴	۱۲/۸	w1-11-122	۵
۹۵/۰۹/۲۵	۹/۵۷	۲۱/۷	w1-11-123	۶
۹۵/۰۹/۲۶	۸/۳۳	۱۶/۲	w1-11-124	۷
۹۵/۰۹/۰۷	۸/۸۷	۷	W1-L13-251	۸
۹۵/۰۹/۰۶	۷/۱۷	۱۴	W1-L13-252	۹
۹۵/۰۹/۲۰	۱۰/۱۸	۱۳/۴	W1-L13-253	۱۰
۹۵/۰۹/۱۶	۱۰/۹۵	۸	W1-L13-254	۱۱
۹۵/۰۹/۱۷	۹/۰۸	۱۲/۲	W1-L13-255	۱۲
۹۵/۱۰/۰۳	۸	۱۳/۲	W1-L13-256	۱۳
۹۵/۱۰/۰۲	۵/۶۵	۱۴/۵	W1-L13-257	۱۴
۹۵/۱۰/۰۴	۵/۶۹	۱۸/۷	W1-L13-258	۱۵
۹۵/۰۹/۲۹	۱۲/۱۶	۲۰	W1-L13-264	۱۶
۹۵/۱۰/۰۷	۷/۷۹	۲۰/۸	W1-L13-265	۱۷
۹۵/۰۹/۲۷	۷/۱۶	۱۵/۱	W1-L13-271	۱۸
۹۵/۱۰/۰۴	۸/۶۷	۱۵/۳	W1-L13-274	۱۹

جدول ۲- مشخصات باندهای ماهواره لندست ۸ (Acharya and Yang, 2015)

سنسور لندست ۸	باند	نام باند	محدوده طول موج (میکرومتر)	تفکیک مکانی (متر)
	۱	ساحلی / آئروسول ^۱	۰/۴۳۳- ۰/۴۵۳	
	۲	آبی ^۲	۰/۴۵۰- ۰/۵۱۵	
	۳	سبز ^۳	۰/۵۲۵- ۰/۶۰۰	
	۴	قرمز ^۴	۰/۶۳۰- ۰/۶۸۰	۳۰
تصویربرداری زمین عملیاتی (OLI)	۵	مادون قرمز نزدیک ^۵	۰/۸۴۵- ۰/۸۸۵	
	۶	مادون قرمز با طول موج کوتاه ^۶	۱/۵۶۰- ۱/۶۶۰	
	۷	مادون قرمز با طول موج کوتاه ^۷	۲/۱۰۰- ۲/۳۰۰	
	۸	پانکروماتیک ^۸	۰/۵۰۰- ۰/۶۸۰	۱۵
	۹	سیروس ^۹	۱/۳۶۰- ۱/۳۹۰	۳۰
سنسور حرارتی مادون قرمز (TIRS)	۱۰	مادون قرمز با طول موج بلند ^{۱۰}	۱۰/۳۰- ۱۱/۳۰	۱۰۰
	۱۱	مادون قرمز با طول موج بلند ^{۱۱}	۱۱/۵۰- ۱۲/۵۰	

جدول ۳- اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش

اطلاعات تصویر ماهواره‌ای	تاریخ اخذ داده‌های ماهواره‌ای	تاریخ اخذ داده‌های میدانی
		۹۵/۰۹/۰۶
		۹۵/۰۹/۰۷
		۹۵/۰۹/۰۷
		۹۵/۰۹/۱۶
		۹۵/۰۹/۱۶
LC08_L2SP_166037_20161024_20200906_02_T1	۹۵/۰۸/۰۳	۹۵/۰۹/۱۷
		۹۵/۰۹/۲۰
		۹۵/۰۹/۲۰
		۹۵/۰۹/۲۵
		۹۵/۰۹/۲۶
		۹۵/۰۹/۲۷
		۹۵/۰۹/۲۹
		۹۵/۱۰/۰۲
		۹۵/۱۰/۰۳
		۹۵/۱۰/۰۴
LC08_L2SP_166037_20161125_20200906_02_T1	۹۵/۰۹/۰۵	۹۵/۱۰/۰۴
		۹۵/۱۰/۰۷
		۹۵/۱۰/۱۱
		۹۵/۱۰/۱۸

- 1- Coastal / Aerosol
- 2- Blue
- 3- Green
- 4- Red
- 5- Near Infrared (NIR)
- 6- Short Wave Infrared (SWIR) 1
- 7- Short Wave Infrared (SWIR) 2
- 8- Panchromatic
- 9- Cirrus
- 10- Long Wave Infrared (LWIR) 1
- 11- Long Wave Infrared (LWIR) 2

تهیه داده‌های ماهواره‌ای

یکی از بهترین منابع برای نقشه‌برداری و پایش پوشش زمین، ویژگی‌های بیوفیزیکی و ژئوفیزیکی سطح زمین در ۴۰ سال گذشته، داده‌های ماهواره‌ی Landsat از سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS^۱) است (Hansen and Loveland., 2012). دو حسگر اصلی Landsat 8، تصویربرداری زمین عملیاتی (OLI^۲) و سنسور حرارتی مادون قرمز (TIRS^۳) هستند (دهقانی و همکاران، ۱۴۰۲). تصویرگر زمین عملیاتی OLI، نه باند طیفی (باند ۱ تا ۹) را در وضوح ۱۵ و ۳۰ متر تولید می‌کند. این تصاویر می‌توانند انواع پوشش گیاهی و زیست‌توده را متمایز کنند. سنسور حرارتی مادون قرمز TIRS که انرژی حرارتی سطح زمین را اندازه‌گیری می‌کند، از دو باند حرارتی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر تشکیل شده است. در جدول (۲) اطلاعات باندهای ماهواره Landsat 8 ارائه شده است (Acharya and Yang., 2015). با توجه به هدف این پژوهش که تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای پیش از برداشت بود، تصویر ماهواره‌ای مربوط به ماهواره‌ی Landsat 8 سنجنده OLI کالکشن دو^۴ سطح دو^۵ (دارای تصحیحات اتمسفری و تصحیحات رادیومتریکی)، یک ماه قبل از برداشت محصول در شرایط بدون ابرناکی از وبسایت usgs.gov دریافت و بررسی شد. با توجه به اینکه تاریخ برداشت محصول در برخی از مزارع آذرمه و در برخی مزارع دی‌ماه بوده است دو تصویر ماهواره‌ای (یکی در آبان‌ماه و دیگری در آذرماه) تهیه شد. جدول (۳) اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش را نشان می‌دهد. به‌منظور انجام پردازش‌های ماهواره‌ای از نرم‌افزارهای ENVI 5/6 و ArcGIS 10/8 استفاده گردید.

شاخص‌های گیاهی

در روش مرسوم اندازه‌گیری عملکرد، به اندازه‌گیری‌های زیاد صحرایی نیاز است. همچنین داده‌های نهایی دیرتر از زمان معین به‌دست مدیران و برنامه‌ریزان خواهد رسید. از این رو می‌توان از داده‌های سنجش از دور به‌عنوان داده‌های جایگزین یا مکمل استفاده کرد (علی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸). استفاده از داده‌های سنجش از دور در تعیین عملکرد گیاهی موثر است (بادیه‌نشین و همکاران، ۱۳۹۳). برای پیش‌بینی عملکرد محصول با استفاده از این داده‌ها از مدل‌های رگرسیونی بین مقادیر یک شاخص و عملکرد، استفاده می‌شود (Mkhabela et al., 2011, Abdi et al., 2022).

گیاهی بر اساس ترکیبات ساده‌ای از باندهای مادون قرمز نزدیک و مرئی تعریف می‌شوند (سپهری و متقی، ۱۳۸۱). شاخص‌های گیاهی برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی و توانایی نظارت بر اثرات مدیریت و تغییرات محیطی ضروری هستند. با این حال، این شاخص‌ها به‌ندرت مورد آزمایش علمی قرار گرفته‌اند (Cousins and Lindborg, 2004). در این مطالعه هشت شاخص گیاهی به‌منظور تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفتند. انتخاب شاخص‌ها بر اساس تاثیر آن‌ها در تخمین عملکرد طبق مطالعات انجام شده، صورت گرفت (سلطانیان و همکاران ۱۳۹۹، Wang et al., 2016, Yue et al., 2017). بررسی رابطه‌ی بین شاخص‌های طیفی و عملکرد محصول در تاریخ‌های مورد نظر این امکان را ایجاد می‌کند که روابط مناسب برای تخمین میزان عملکرد این محصول در منطقه مورد مطالعه ارائه شود. در جدول (۴) نام شاخص‌ها و فرمول محاسبه‌ی آن‌ها ارائه شده است.

محدوده‌ی NDVI از ۱ تا -۱ متغیر است. مقادیر نزدیک به یک نمایانگر پوشش گیاهی بیشتر و مقادیر نزدیک به صفر پوشش گیاهی کمتر و مقادیر منفی پوشش مرطوب و آب را نمایش می‌دهد (Rouse et al., 1974). شاخص اصلاح شده‌ی NDVI است. باند سبز در معادله NDVI جایگزین باند قرمز شده است. هنگامی که شاخص سطح برگ دارای میانگین بالا است، GNDVI حساسیت بیشتری به غلظت‌های پایین کلروفیل دارد (Gitelson et al., 1996). رابطه بین مقدار زیست‌توده سبز یافت شده در هر پیکسل را نشان می‌دهد (Senseman et al., 1996). فرمول TNDVI همواره مقادیر مثبت دارد و واریانس نسبت‌ها متناسب با مقادیر میانگین هستند (Tucker, 1979). شاخص SAVI بر مبنای شاخص NDVI ایجاد شده است با این تفاوت که در آن از فاکتوری بنام L استفاده شده است که تصحیح‌کننده اثر پوشش پس‌زمینه بر روی تابش‌های تاج پوشش گیاهی است. با استفاده از این دو شاخص می‌توان به بررسی چرخه فنولوژی گیاهی پرداخت. L که در این الگوریتم به کار برده شده است تعدیل‌کننده اختلاف بین باند مادون قرمز نزدیک و باند قرمز است. در صورتی که پس‌زمینه پوشیده از گیاه باشد L به سمت صفر میل می‌کند و اگر پوشش پس‌زمینه از خاک لخت باشد به سمت یک میل می‌کند (Huete, 1988). شاخص OSAVI از بازتاب باند مادون قرمز نزدیک (NIR^۶) و قرمز (RED) به همراه یک ضریب اصلاحی بهینه شده استفاده می‌شود. مانند دیگر شاخص‌های تفاضل نرمال این شاخص از +۱ تا -۱ تغییر می‌کند و مقادیر بالای آن بیانگر پوشش گیاهی متراکم و سالم‌تر است (Rondeaux et al., 1996).

- 1- United States Geological Survey
- 2- Operational Land Imager (OLI)
- 3- Thermal Infrared Sensor
- 4- Collection 2
- 5- Level 2

6- Near infrared

جدول ۴- شاخص‌های گیاهی

مرجع	معادله	شاخص	ردیف
Rouse et al., 1974	$(NIR-RED) / (NIR+RED)$	NDVI ¹	۱
Gitelson et al., 1996	$(NIR-GREEN) / (NIR+GREEN)$	GNDVI ²	۲
Tucker., 1979	$\sqrt{(NDVI + 0.5)}$	TNDVI ³	۳
Huete., 1988	$[(NIR-RED) / (NIR+RED+L)] \times (1+L)$	SAVI ⁴	۴
Rondeaux et al., 1996	$(NIR-RED) / (NIR+RED+0.16)$	OSAVI ⁵	۵
Wilson and Sader., 2002	$(NIR-SWIR1) / (NIR+SWIR1)$	NDMI ⁶	۶
Gao., 1996	$(NIR-SWIR2) / (NIR+SWIR2)$	NDWI ⁷	۷
McFeeters., 1996	$(GREEN-SWIR1) / (GREEN+SWIR1)$	MNDWI ⁸	۸

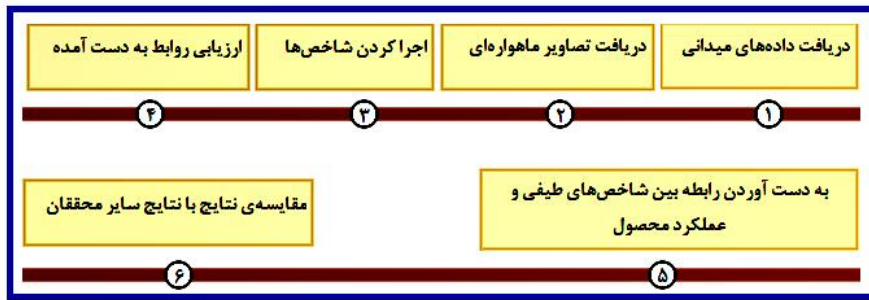
نزدیک با باند مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR-1) به دست می‌آید. رطوبت در گیاه جذب‌کننده امواج مادون قرمز طول موج کوتاه است. این شاخص بهبود یافته شاخص NDWI است (Xu, 2006).

روش پژوهش

در این پژوهش تلاش شد تا مقدار عملکرد محصول بر مبنای شاخص‌های گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روابط رگرسیونی خطی ساده و چند متغیره پیش‌بینی شود. بدین منظور داده‌ها در دو دسته ۷۰ و ۳۰ درصدی برای آموزش و آزمون تقسیم‌بندی شدند و روابطی رگرسیونی با استفاده از نرم افزار SPSS 27.0.1 بر مبنای داده‌های آموزش توسعه یافت. ارزیابی معادلات حاصل از رگرسیون خطی چندگانه با استفاده از شاخص عامل تورم واریانس VIF صورت گرفت. این شاخص که به منظور تشخیص وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل در رگرسیون خطی چندگانه استفاده می‌شود، در صورتی که مقداری بزرگ‌تر از ۱۰ داشته باشد نشان‌دهنده وجود هم‌خطی در معادله و اثرگذاری نتایج یک مشاهده بر نتایج مشاهدات دیگر است (Bowker and Lieberman., 1972)، آمینی و همکاران، (۱۳۹۸)، لذا مدل توسعه یافته با VIF بیش از ۱۰ از دقت پائینی برخوردار است (Belsley et al., 1980). پس از اطمینان از عدم وجود هم‌خطی در معادلات توسعه یافته، این روابط با استفاده از داده‌های آزمون ارزیابی شدند و دقت آن‌ها با استفاده از شاخص‌های آماری (بخش ۲-۶) بررسی شد. فلوچارت روند انجام پژوهش در شکل (۲) ارائه شده است.

شاخص NDMI برای شناسایی نواحی مرطوب و همچنین رطوبت موجود در گیاه استفاده می‌شود و از باندهای محدوده طول موج مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز با طول موج کوتاه (SWIR⁹) استفاده می‌کند (Wilson and Sader, 2002). بازتاب‌های مربوط به محتوای آب داخل پوشش گیاهی و ساختار اسفنجی مزوفیل در تاج پوشش گیاه را منعکس می‌کند در حالی که بازتاب NIR تحت تاثیر ساختمان داخلی و محتوی ماده خشک برگ قرار دارد و تحت تاثیر محتوی آب داخل برگ قرار نمی‌گیرد (Gao, 1996; Wilson and Sader, 2002). ترکیب این دو محدوده طیفی تغییرات ایجاد شده توسط ساختار داخلی برگ و نیز ماده خشک برگ را حذف کرده و صحت بازیابی محتوی آب داخل گیاه را بهبود می‌بخشد. شاخص NDWI یک شاخص آبی می‌باشد که توسط گائو برای تعیین محتوی آب پوشش گیاهی ارائه شد (Gao., 1996). محدوده‌ی آن بین -۱ تا +۱ است. این شاخص به محتوای آب تاج پوشش گیاهی حساس است و به‌عنوان یک شاخص مکمل برای NDVI در نظر گرفته می‌شود. شاخص MNDWI توسط مک‌فیترز ارائه شده است (McFeeters, 1996). با جای‌گذاری باند مادون قرمز

- 1- Normalized Differential Vegetation Index (NDVI)
- 2- Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)
- 3- Transformed Normalized Difference Vegetation Index (TNDVI)
- 4- Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
- 5- Optimized Soil- Adjusted Vegetation Index (OSAVI)
- 6- Normalized Difference Moisture Index (NDMI)
- 7- Normalized Difference Water Index (NDWI)
- 8- Modified Normalized Difference Water Index (MNDWI)
- 9- Short Wavelength Infrared (SWIR)
- 10- Canopy



شکل ۲- فلوجارت مراحل انجام تحقیق

معیارهای ارزیابی

در این پژوهش برای تشخیص مناسب‌ترین شاخص طیفی از آماره‌های میانگین خطای مطلق (MAE^1)، میانگین خطای اریب (MBE^2)، جذر میانگین مربعات خطا ($RMSE^3$)، جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده ($NRMSE^4$)، خطای استاندارد (SE^5)، ضریب همبستگی (r) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P - O|}{n} \quad (1)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (O - P)}{n} \quad (2)$$

$$R = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P - O)^2}{n}} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{O_{ave}} \quad (4)$$

$$SE = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (7)$$

MAE میانگین اندازه اشتباهات در مجموعه‌ای از پیش‌بینی‌ها، بدون در نظر گرفتن جهت آن‌ها است که برای ارزیابی اثربخشی یک مدل رگرسیون استفاده می‌شود (Dhakal, 2017). شاخص MAE به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود. شاخص MBE نشان‌دهنده میزان انحراف مدل به سمت بیش‌برآورد و یا کم‌برآورد نمودن می‌باشد (Pal, 2017). شاخص MBE به صورت رابطه ۲ تعریف می‌شود. $RMSE$

جذر میانگین مربعات خطا است. عموماً پذیرفته شده است که هر چه $RMSE$ کمتر باشد، عملکرد مدل بهتر است (بابایی و همکاران، ۲۰۱۹). در مطالعات ویلموت و متسورا گزارش شده که $RMSE$ یک معیار نامناسب برای ارزیابی عملکرد متوسط مدل است (Willmott and Matsuura, 2005). لذا مقدار $RMSE$ را به دامنه داده‌های متغیر وابسته تقسیم کرده و آن را $RMSE$ نرمال شده ($NRMSE$) می‌نامند (یوسفی‌نژاد عطاری و همکاران، ۱۳۹۹). $NRMSE$ زیر ۱۰ درصد نشان‌دهنده دقیق بودن مدل، ۲۰-۱۰ درصد مناسب بودن مدل، ۳۰-۲۰ درصد دقت متوسط و بیش از ۳۰ درصد نشانه ضعیف بودن مدل است (Mostafa et al., 2023). شاخص $RMSE$ و $NRMSE$ به صورت رابطه ۳ و ۴ تعریف می‌شود. در روابط فوق P مقدار پیش‌بینی شده، O مقدار مشاهده شده، O_{ave} میانگین داده‌های مشاهده شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد (احمدپری و همکاران، ۱۳۹۸). خطای استاندارد (SE) پراکندگی مقادیر تخمین زده شده از نمونه را حول مقدار واقعی که در جامعه یافت می‌شود اندازه‌گیری می‌کند (Lee et al., 2015). خطای استاندارد به صورت رابطه ۵ تعریف می‌شود. در رابطه ۵، S انحراف معیار نمونه و n تعداد کل نمونه می‌باشد. ضریب همبستگی شدت رابطه و همچنین نوع رابطه (مستقیم یا معکوس) را نشان می‌دهد. این ضریب بین ۱ تا -۱ است (احمدپری و همکاران، ۱۳۹۷). ضریب همبستگی پیرسون برای یک نمونه آماری با n زوج داده (X_i, Y_i) به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود. ضریب تعیین به صورت رابطه ۷ تعریف می‌شود. در رابطه ۶ و ۷، مقادیر X_i متغیر x در یک نمونه پیش‌بینی شده، Y_i مقادیر متغیر y در یک نمونه مشاهده شده، \bar{X} میانگین مقادیر متغیر X, \bar{Y} میانگین مقادیر متغیر Y, n تعداد داده‌ها می‌باشد (Adler and Parmryd, 2010).

نتایج و بحث

رگرسیون خطی ساده

روابط بین مقدار عملکرد محصول و شاخص‌های گیاهی با ۷۰

- 1- Mean Absolute Error (MAE)
- 2- Mean Bias Error (MBE)
- 3- Root Mean Square Error (RMSE)
- 4- Normalized Root Mean Square Error (NRMSE)
- 5- Standard Error (SE)

مزرعه و شرایط متفاوت حاکم بر ۱۹ قطعه اراضی مورد مطالعه دانست. از آنجایی که شاخص NDVI برای مطالعه تراکم پوشش گیاهی نیز به کار می‌رود (نورالدینی و بنیاد، ۱۳۹۶)، تفاوت مقدار متوسط این شاخص در مزارع مورد مطالعه دلالت بر تفاوت تراکم کشت در این منطقه دارد. نتایج مطالعه رجا و همکاران (۱۳۹۹) نیز بر تفاوت مدیریت مزارع موجود در منطقه مطالعاتی این پژوهش، تاکید می‌کند.

درصد داده‌ها از طریق برازش تعیین و بهترین معادله به‌دست آمد (جدول ۵). این معادلات جهت تخمین مقدار عملکرد پیش‌بینی شده با ۳۰٪ داده‌ها آزمایش شدند (جدول ۷). مقدار ضریب تعیین برای هر هشت شاخص در دو تاریخ برداشت بیانگر رابطه‌ی ضعیف شاخص‌ها با میزان عملکرد مشاهداتی است. این نتایج با نتایج مطالعه‌ی لویی و همکاران (۱۳۹۸) مطابقت دارد. علت پایین بودن ضریب تعیین شاخص‌های طیفی مورد بررسی با عملکرد مشاهداتی را می‌توان ناشی از تفاوت ارقام، تاریخ کشت، تراکم کشت، مدیریت آبیاری و مدیریت

جدول ۵- ارتباط بین شاخص‌های طیفی و عملکرد مشاهداتی (تن در هکتار) در دو تاریخ برداشت متفاوت

شاخص	رابطه استخراجی برای آذر ماه	ضریب تعیین آذر ماه	رابطه استخراجی برای دی ماه	ضریب تعیین دی ماه
NDVI	$y = -9/71.03x + 13/116$	۰/۰۵۹	$y = -12/069x + 11/112$	۰/۰۹۳
GNDVI	$y = -11/274x + 13/517$	۰/۰۴۷	$y = -17/282x + 12/43$	۰/۱۲
TNDVI	$y = -6/5545x + 14/438$	۰/۰۶۲	$y = -9/448x + 13/434$	۰/۱۱
SAVI	$y = -6/4737x + 13/116$	۰/۰۵۹	$y = -12/717x + 14/286$	۰/۱۲
OSAVI	$y = -8.371x + 13/116$	۰/۰۵۹	$y = -12/5.2x + 11/39$	۰/۱۱
NDMI	$y = -9.4516x + 11/473$	۰/۰۳۸	$y = -6/157x + 8/4636$	۰/۰۲۷
NDWI	$y = -13/482x + 13/632$	۰/۰۲۶	$y = -6/6034x + 9/1873$	۰/۰۴
MNDWI	$y = -152/48x + 15/598$	۰/۳۰	$y = 27/958x + 12/278$	۰/۱۳

جدول (۵) همچنین نشان داد که در تاریخ برداشت آذرماه و دی‌ماه بر اساس شاخص ارزیابی ضریب تعیین، همه شاخص‌های طیفی مورد بررسی فاقد ارتباط مناسب با عملکرد مشاهداتی هستند. تنها شاخص MNDWI نسبت به سایر شاخص‌ها در هر دو تاریخ برداشت ضریب تعیین بالاتری داشته است. نتایج این پژوهش بر اساس شاخص ارزیابی ضریب تعیین تاییدکننده نتایج مطالعات سینگلا و همکاران است. مطالعات سینگلا و همکاران نشان داد که مقدار عددی یک پارامتر طیفی و داده‌های یک تاریخ برای تخمین عملکرد قابل اعتماد کافی نیست و در صورت امکان نمونه‌برداری در مراحل مختلف رشد مانند جوانه‌زدن، به ساقه رفتن، تشکیل دانه، شیری شدن دانه و گلدهی و مقایسه روابط به‌دست آمده در هر مرحله بر مبنای شاخص‌های طیفی می‌توان نتایج دقیق‌تری ارائه داد (Singla et al., 2020). در این پژوهش روابط غیرخطی نیز برای ایجاد ارتباط بین شاخص‌های طیفی و عملکرد مشاهداتی در دو تاریخ برداشت متفاوت مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که روابط غیرخطی نیز عملکرد نامناسبی نسبت به روابط خطی دارند. نتایج این مطالعه با مطالعه لروکس و همکاران و هوانگ و همکاران مغایرت دارد. مطالعات لروکس و همکاران نشان داده است که یک مدل غیرخطی، بهتر از مدل خطی برای تخمین عملکرد ذرت عمل می‌کند (Leroux et al., 2019). هوانگ و همکاران نشان دادند که معادلات چندجمله‌ای درجه ۳ و معادلات نمایی بهتر از معادلات خطی در تخمین عملکرد سه محصول برنج، گندم و ذرت عمل می‌کنند (Huang et al., 2014). جدول (۶) معادلات بین عملکرد مشاهداتی و پیش‌بینی شده را برای دو تاریخ برداشت نشان می‌دهد.

جدول ۶- ارتباط بین عملکرد مشاهداتی و پیش‌بینی شده (تن در هکتار) با استفاده از شاخص‌های طیفی در دو تاریخ برداشت متفاوت

شاخص	رابطه استخراجی برای آذر ماه	ضریب تعیین آذر ماه	رابطه استخراجی برای دی ماه	ضریب تعیین دی ماه
NDVI	$y = -0/0634x - 9/1778$	۰/۵۴	$y = -0/0692x + 6/9846$	۰/۱۸
GNDVI	$y = -0/0737x - 9/1132$	۰/۵۰	$y = 0/1286x + 6/4$	۰/۳۶
TNDVI	$y = 0/0.797x + 9/0.334$	۰/۴۵	$y = 0/0.853x + 6/7612$	۰/۱۸
SAVI	$y = 0/0.071x + 9/1211$	۰/۴۴	$y = 0/1866x + 6/3393$	۰/۴۴
OSAVI	$y = 0/0.71x + 9/1212$	۰/۴۴	$y = -0/0832x + 6/7795$	۰/۱۸
NDMI	$y = -0/0495x + 9/2777$	۰/۴۳	$y = -0/0.712x + 8/2251$	۰/۴۱
NDWI	$y = -0/0812x + 9/0179$	۰/۴۱	$y = -0/0.665x + 8/1778$	۰/۲۶
MNDWI	$y = -0/2491x + 11/905$	۰/۴۸	$y = -0/2622x + 5/8171$	۰/۷۲

جدول 7- ارزیابی شاخص‌های طیفی جهت برآورد عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های آماری

ماه	شاخص	MAE (تن در هکتار)	MBE (تن در هکتار)	RMSE (تن در هکتار)	NRMSE	SE (تن در هکتار)	r
آذر	NDVI	۱/۵۴	-۰/۸۹	۱/۷۵	-۰/۱۶	-۰/۴۸	-۰/۷۵
	GNDVI	۱/۵۱	۰/۹۰	۱/۷۱	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۷۱
	TNDVI	۱/۵۲	-۰/۹۱	۱/۷۸	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۶۸
	SAVI	۱/۵۲	-۰/۹۲	۱/۷۳	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۷۳
	OSAVI	۱/۵۳	-۰/۹۲	۱/۷۳	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۶۸
	NDMI	۱/۵۴	-۰/۹	۱/۷۴	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۶۶
	NDWI	۱/۵۱	-۰/۹۱	۱/۷۱	-۰/۱۶	-۰/۴۵	-۰/۶۶
	MNDWI	۰/۳۷	-۱/۷۷	۲/۷۵	-۰/۲۵	-۰/۴۷	-۰/۶۹
	NDVI	۰/۸۶	-۰/۳۱	۱/۰۹	-۰/۱۴	-۰/۴۵	-۰/۷۴
	GNDVI	۰/۸۳	-۰/۳۴	۱/۰۴	-۰/۱۳	-۰/۴۵	-۰/۸۵
دی	TNDVI	۰/۹۱	-۰/۴۳	۱/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۴۷	-۰/۷۴
	SAVI	۰/۹۳	۰/۲۲	۱/۱۴	-۰/۱۵	-۰/۵۱	-۰/۸۰
	OSAVI	۰/۹۱	۰/۴۱	۱/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۴۶	-۰/۷۳
	NDMI	۱/۰۹	۰/۱۷	۱/۵۰	-۰/۲۰	-۰/۵۱	-۰/۵۸
	NDWI	۱/۲۵	۰/۱۸	۱/۵۴	-۰/۲۱	-۰/۵۱	-۰/۴۳
	MNDWI	۰/۸۱	۰/۲۷	۱/۰۵	-۰/۱۴	-۰/۵۱	-۰/۸۵

دی ماه است. برای این دو شاخص دقت مدل متوسط است. بیشترین مقدار خطای استاندارد مربوط به شاخص‌های SAVI, NDMI, NDWI و MNDWI در دی ماه است. نتایج جدول 7 نشان می‌دهد که میزان عملکرد تخمینی با میزان عملکرد مشاهداتی در شاخص NDVI (در هر دو تاریخ برداشت) اختلاف زیادی دارد. این نتیجه با نتایج برخی از مطالعات نظیر وروانی و همکاران، (۱۳۹۷)، رازبان، (۱۳۹۷) مطابقت و با نتایج برخی دیگر نظیر یاقوتی و همکاران، (۱۳۹۷)، کمالی و همکاران، (۱۳۹۷) و Mohioudin Gillani et al (2023) مغایرت دارد.

شاخص‌های طیفی برای مطالعه پوشش‌های گیاهی بر اساس رفتار طیفی گیاه طراحی می‌شوند. گیاهان در شرایط متفاوت از رفتار طیفی متفاوتی برخوردار هستند. نوع ترکیبات، ساختار درونی، میزان رطوبت گیاه و خاک مزرعه و کانی‌هایی موجود در خاک بر رفتار طیفی گیاه اثرگذار است. بنابراین در مزارع مختلف با کشت‌های متفاوت شاخص‌های برگزیده متمایز خواهد بود. با جایگذاری میانگین شاخص‌های مربوط به داده‌های صحت‌سنجی در معادلات ارائه شده در جدول (۵)، مقادیر میانگین عملکرد پیش‌بینی شده به-مقادیر میانگین عملکرد واقعی نزدیک‌تر و مقدار RMSE کم‌تر خواهد بود (جدول ۸).

مشاهده می‌شود که با جایگذاری مقدار میانگین شاخص‌ها دقت مدل افزایش می‌یابد. شاخص‌های NDVI و NDWI در آذر ماه با مقدار RMSE برابر با ۰/۰۱ بیشترین دقت را در برآورد مقدار میانگین عملکرد داشته‌اند. همچنین در برداشت دی ماه شاخص‌های

طبق جدول (۶) بیشترین ضریب تعیین در تاریخ برداشت دی ماه متعلق به شاخص MNDWI است که با نتایج مطالعات تووندورج و همکاران در زمینه تخمین عملکرد گندم بهاره در مغولستان با تصاویر ماهواره‌ای مودیس/ ترا^۱ مطابقت دارد (Tuvdendorj et al., 2019). در تاریخ برداشت آذرماه، شاخص‌های NDVI و GNDVI به ترتیب با ۰/۵۴ و ۰/۵۰ بیشترین ضریب تعیین را دارند که با نتایج مطالعات خسروی‌راد و همکاران (۱۳۹۸) هم‌خوانی دارد. با توجه به مقادیر گزارش شده در جدول (۵) همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد واقعی ضعیف می‌باشد در حالی که همبستگی بین داده‌های حاصل از پیش‌بینی بر اساس همین روابط با داده‌های میدانی (جدول 6) نسبتاً بهتر است. لذا در این‌گونه مطالعات نباید صرفاً بر ضریب تعیین شاخص گیاهی با عملکرد واقعی تمرکز کرد و نتایج حاصل از پیش‌بینی توسط معادلات ارائه شده نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. نتایج ارزیابی شاخص‌های طیفی جهت برآورد عملکرد ذرت دانه‌ای با استفاده از شاخص‌های آماری در جدول ۷ ارائه شده است.

نتایج نشان می‌دهد که در تاریخ برداشت آذرماه و دی ماه شاخص‌های GNDVI و NDWI و MNDWI و GNDVI کم‌ترین مقدار RMSE و MAE را داشته‌اند. مقادیر MBE نمایانگر کم برآورد بودن مدل در تمام شاخص‌های هر دوماه بجز ۵ شاخص SAVI, OSAVI, NDMI, NDWI و MNDWI در دی ماه است. مقادیر NRMSE حاکی از مناسب بودن مدل در تمام شاخص‌ها بجز شاخص MNDWI در برداشت آذرماه و شاخص NDWI در برداشت

اراضی آستان قدس رضوی با تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ نشان داده است که شاخص NDMI به دلیل استفاده از باندهای NIR و SWIR1 توانمندی خوبی در ارتباط با عملکرد میدانی ارائه نموده است.

GNDVI و TNDVI کمترین مقدار RMSE یعنی ۰/۵۶ را داشته‌اند. نتایج این مطالعه در مورد عملکرد مناسب شاخص NDMI در تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای با نتایج مطالعات رازبان (۱۳۹۷) مطابقت دارد. مطالعات رازبان (۱۳۹۷) در زمینه تخمین عملکرد گندم در بخشی از

جدول ۸- میانگین عملکرد نهایی و پیش‌بینی شده توسط تصاویر ماهواره لندست ۸

ماه	شاخص	معادله‌ی عملکرد	میانگین عملکرد تخمینی (تن در هکتار)	میانگین عملکرد مشاهداتی (تن در هکتار)	RMSE (تن در هکتار)
آذر	NDVI	$y = -9/71 \cdot 0.3 \overline{NDVI} + 13/116$	۹/۹۵	۱۰/۷۵	۰/۵۷
آذر	GNDVI	$y = -11/274 \overline{GNDVI} + 13/517$	۹/۹۶	۱۰/۷۵	۰/۵۶
آذر	MNDWI	$y = -152/48 \overline{MNDWI} + 15/598$	۹/۹۴	۱۰/۷۵	۰/۵۸
آذر	TNDVI	$y = -6/5545 \overline{TNDVI} + 14/438$	۹/۹۶	۱۰/۷۵	۰/۵۶
آذر	SAVI	$y = -6/4737 \overline{SAVI} + 13/116$	۹/۹۵	۱۰/۷۵	۰/۵۷
آذر	OSAVI	$y = -8/371 \overline{OSAVI} + 13/116$	۹/۹۵	۱۰/۷۵	۰/۵۷
آذر	NDMI	$y = -9/4516 \overline{NDMI} + 11/473$	۹/۹۱	۱۰/۷۵	۰/۶۰
آذر	NDWI	$y = -13/482 \overline{NDWI} + 13/632$	۹/۹۰	۱۰/۷۵	۰/۶۱
دی	NDVI	$y = -12/069 \overline{NDVI} + 11/112$	۷/۷۹	۷/۵۲	۰/۱۹
دی	GNDVI	$y = -17/282 \overline{GNDVI} + 12/43$	۷/۷۴	۷/۵۲	۰/۱۶
دی	MNDWI	$y = 27/958 \overline{MNDWI} + 12/278$	۷/۶۹	۷/۵۲	۰/۱۲
دی	TNDVI	$y = -9/448 \overline{TNDVI} + 13/434$	۷/۵۸	۷/۵۲	۰/۰۵
دی	SAVI	$y = -12/777 \overline{SAVI} + 14/286$	۷/۶۸	۷/۵۲	۰/۱۱
دی	OSAVI	$y = -12/502 \overline{OSAVI} + 11/339$	۷/۶۱	۷/۵۲	۰/۰۶
دی	NDMI	$y = -6/157 \overline{NDMI} + 8/4636$	۷/۵۳	۷/۵۲	۰/۰۱
دی	NDWI	$y = -6/6034 \overline{NDWI} + 9/1873$	۷/۵۳	۷/۵۲	۰/۰۱

کار از مقدار یک پیکسل به سطح کل مزرعه تغییر کرده و تغییرات مکانی عملکرد در داخل مزرعه حائز اهمیت نمی‌باشد. مقدار میانگین که معرف شرایط کل مزرعه است در رابطه جای‌گذاری شده و باعث می‌شود مقدار تخمین زده شده به مقدار عملکرد واقعی مزرعه نزدیک‌تر شود. میانگین شاخص‌ها در سطح مزرعه روندهای گسترده‌تری را نشان می‌دهند و با وجود ضریب تعیین ضعیف با کاهش اختلال تغییرات فردی، پیش‌بینی عملکرد را بهبود می‌بخشند.

رگرسیون خطی چند متغیره

در مطالعه پیش‌رو عملکرد گیاه ذرت به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های گیاهی مستقل از یکدیگر به عنوان متغیرهای مستقل در دو تاریخ برداشت در نرم‌افزار SPSS وارد شدند. تولید معادله با ۷۰ درصد داده‌ها صورت گرفت و با ۳۰ درصد داده‌ها آزمون شد. جدول (۹) نتایج را نشان می‌دهد.

مقادیر نمایه عامل تورم بیانگر نبود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل می‌باشد. جدول (۱۰) میانگین عملکرد تخمینی، حاصل از جای‌گذاری مقادیر میانگین هریک از شاخص‌ها در معادلات استخراج‌شده از رگرسیون خطی چند متغیره را نشان می‌دهد.

در مطالعه‌ی پیش‌رو بر اهمیت شاخص‌های مبتنی بر اندازه‌گیری رطوبت گیاه تاکید شده است. دو شاخص NDMI و NDWI از طیف مادون قرمز با طول موج کوتاه به جای طیف قرمز استفاده کرده‌اند. از آنجایی که طول موج مادون قرمز قدرت نفوذ بیشتری نسبت به نور قرمز دارد، این دو شاخص نسبت به خصوصیات جذب آب گیاه سلولز، لیگنین و نشاسته حساس هستند (Gnyp et al., 2014). نتایج این مطالعه در مورد عملکرد مناسب شاخص OSAVI در تخمین عملکرد ذرت دانه‌ای با نتایج مطالعات سروی و همکاران (۱۳۹۹) مطابقت دارد. بررسی نتایج نشان می‌دهد تخمین مقدار میانگین عملکرد پیش‌بینی شده به میانگین عملکرد واقعی مزرعه نزدیک است. دلیل این امر وسعت منطقه مورد مطالعه (۲۹۵ هکتار) است. تغییرات مکانی عملکرد از یک نقطه به نقطه دیگر به دلایل تفاوت در مدیریت مزرعه به ویژه مدیریت آبیاری، تفاوت در تاریخ‌های کشت قطعات، تفاوت در ارقام کشت شده و تفاوت در شرایط حاکم بر قطعات زراعی، قابل توجه می‌باشد. این امر باعث می‌شود مقادیر شاخص‌های طیفی از یک پیکسل به پیکسل دیگر تغییرات قابل توجه‌ای داشته باشند و همبستگی بین شاخص‌ها و عملکرد کاهش یابد. با جای‌گذاری مقدار میانگین شاخص طیفی مزرعه در رابطه سطح

جدول ۹- معادلات استخراج شده از رگرسیون خطی چندمتغیره

ماه	معادله	متغیر	VIF	R ²
دی	$Y=2\tau/555+44/76MNDWI-23/92NDMI-9/49SAVI$	SAVI	4/894	0/31
		MNDWI	2/067	
		NDVI	3/258	
آذر	$Y=2\tau/708-222/011MNDWI-19/152NDVI$	MNDWI	1/32	0/55
		NDVI	1/822	

جدول ۱۰- میانگین عملکرد نهایی و پیش‌بینی شده توسط رگرسیون خطی چندگانه

MBE	RMSE (تن در هکتار)	میانگین عملکرد مشاهداتی (تن در هکتار)	میانگین عملکرد تخمینی (تن در هکتار)	معادله‌ی عملکرد
-0/84	1/19	9/06	10/75	$Y=2\tau/708-222/011MNDWI-19/152NDVI$
-0/04	0/06	7/51	7/42	$Y=2\tau/555+44/76MNDWI-23/92NDMI-9/49SAVI$

واردات غیرضروری جلوگیری کنند. تاثیر وسعت اراضی در میزان همبستگی شاخص‌ها با عملکرد قابل بررسی است. تخمین میزان عملکرد محصولات زراعی توسط این شاخص‌ها در اراضی با مدیریت یکپارچه توصیه می‌شود. تلفیق تصاویر اپتیکی با تصاویر راداری نیز می‌تواند نتایج جالب توجه‌ای را ارائه دهد. همچنین بررسی نتایج حاصل از مدل‌های هوش مصنوعی و بررسی تصاویر چند زمانه در شرایط این مطالعه و مقایسه آن با نتایج مطالعه پیش‌رو پیشنهاد می‌شود.

منابع

احمدپری، ه.، صفوی گردینی، م. و ابراهیمی، م. ۱۳۹۸. انتخاب روش مناسب برآورد تبخیر-تعرق مرجع در شرایط کمبود داده‌های هواشناسی (مطالعه موردی شهرستان خرم‌بید در استان فارس). مدیریت اراضی. ۷ (۲): ۲۳۰-۲۲۳.

احمدپری، ه.، هاشمی گرم‌دره، س.ا. و اسکافی نوغانی، م. ۱۳۹۷. بررسی تاثیر ماده آلی خاک روی واسنجی بلوک گچی برای اندازه‌گیری میزان رطوبت حجمی خاک. سامانه‌های سطوح آبگیر باران. ۶ (۱): ۲۰-۱۱.

امینی، م.، روزبه، م. و زمانی، ح. ۱۳۹۸. تحلیل رگرسیون پیشرفته با R، انتشارات علمی پارسیان، ۲۳۸ صفحه.

بادیه‌نشین، ع.، نوری، ح. وظیفه‌دوست، م. ۱۳۹۳. بهبود برآورد عملکرد محصول در مدل شبیه‌سازی SWAP با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای. تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۵ (۴): ۳۸۸-۳۷۹.

خسروی‌راد، م.، امید، م.، سرمیدیان، ف.، حسین‌پور، س. ۱۳۹۸. ارزیابی

در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود با جایگذاری مقدار میانگین هر یک از شاخص‌ها، مقدار میانگین عملکرد تخمینی به مقدار میانگین واقعی نزدیک خواهد بود. این مطالعه با نتایج مطالعه‌ی شرفی و همکاران (۱۴۰۱) مطابقت دارد. ایشان با در نظر گرفتن مقادیر میانگین متغیرها مناسب‌ترین رابطه را برای عملکرد هر محصول در اقلیم‌های متفاوت ارائه کردند. مقدار RMSE معادله‌ی ارائه شده در دی‌ماه و آذرماه به ترتیب ۱/۱۹ و ۰/۰۶ تن در هکتار است، که دقت بالای مدل در دی‌ماه را نشان می‌دهد. مقادیر MBE نشان‌دهنده کم‌برآورد بودن مدل می‌باشد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با استفاده از هشت شاخص طیفی و با بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، اقدام به تخمین عملکرد محصول ذرت دانه‌ای قبل از برداشت آن، برای بخشی از اراضی کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول در سال ۱۳۹۵ گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که علی‌رغم پایین بودن همبستگی‌های ایجاد شده به دلیل تغییرات مکانی شدید عملکرد در سطح مزرعه به دلیل تفاوت در تاریخ کشت قطعات، تفاوت در مدیریت زراعی قطعات به‌ویژه مدیریت آبیاری و تاثیرات توپوگرافی امکان برآورد محصول و پیش‌بینی متوسط عملکرد نهایی مزرعه حدود یک ماه قبل از برداشت محصول با استفاده از معادلات خطی تک متغیره و چند متغیره ارائه شده، وجود دارد. علت این مهم دقت بالای داده‌ی میدانی و استفاده از شاخص میانگین کل مزرعه در رابطه‌ی پیش‌بینی می‌باشد که خطاهای ناشی از تغییرات مکانی عملکرد در سطح مزرعه را به حداقل می‌رساند. بنابراین نتایج این پژوهش بیانگر این است که استفاده از شاخص‌های طیفی اطلاعات ارزشمندی جهت مدیریت بهتر محصولات زراعی ارائه می‌کند تا برنامه‌ریزان حوزه کشاورزی بتوانند از هدررفت منابع و

- کنز، افغانستان). نشریه جغرافیا و توسعه. ۲۲ (۷۴): ۲۱۸-۱۸۷.
- کمالی، ل.، کاویانی، ع.، نظری، ب. و لیاقت، ع. ۱۳۹۷. تخمین عملکرد محصول گندم با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: دشت مغان). تحقیقات آب و خاک ایران. ۴۹ (۵): ۱۰۳۱-۱۰۴۲.
- گنجی خرم دل، ن. و خالقی، غ. ۱۳۹۹. تخمین عملکرد و زیست توده ذرت علوفه ای در هر بازدید ماهواره ای در طی فصل رشد (مطالعه موردی: دشت فراهان). تولید فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۱۰ (۱): ۱۱۳-۱۱۳.
- لویمی، ن.، اکرم، ا.، باقری نیکروز. و حاجی احمد، ع. ۱۳۹۸. پیش بینی عملکرد کلزا در مراحل مختلف رشد به وسیله تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست. مهندسی بیوسیستم ایران (علوم کشاورزی ایران). ۵۰ (۱): ۱۱۳-۱۰۱.
- میرائی، ا. ۱۳۹۸. برآورد تولید محصول و نقشه عملکرد گندم در سیستم خاکورزی حفاظتی با استفاده از تصاویر ماهواره ای (مطالعه موردی: کشت و صنعت شهید بهشتی دزفول). رساله دکتری، تخصصی مهندسی مکانیزاسیون کشاورزی- کشاورزی دقیق، گروه مهندسی بیوسیستم دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- نورالدینی، س. ا. و بنیاد، ا. ۱۳۶۹. بررسی کارایی روش های تصحیح اثر اتمسفر در برآورد تراکم تاج پوشش جنگل های گیلان با استفاده از شاخص های گیاهی حاصل از لندست ۸. نشریه سنجش از دور و GIS ایران. ۹ (۱): ۹۳-۱۱۰.
- یاقوتی، ح.، پذیرا، ا.، امیری، ا. و مسیح آبادی، م. ح. ۱۳۹۷. کاربرد تصاویر ماهواره ای و فن آوری سنجش از دور برای تخمین عملکرد برنج. حفاظت منابع آب و خاک. ۷ (۳): ۶۹-۵۵.
- یوسفی نژاد عطاری، م.، حبیبی، ش. و درخشان، ع. ۱۳۹۹. بررسی نتایج پیش بینی کیفیت پساب تصفیه شده با شبکه عصبی و الگوریتم فراابتکاری (مطالعه موردی: کارخانه پگاه آذربایجان). آب و توسعه پایدار. ۷ (۳): ۷۲-۶۳.
- Abdi, A., Asadi Kapourchal, S, Vazifedoust, M. and Rezaei, M. 2022. A novel satellite-based methodology for retrieving specific leaf area of rice (Hashemi cultivar) at field scale. Environmental Engineering and Management Journal. 21(12): 2093-2102.
- Acharya, T. D. and Yang, I. 2015. Exploring Landsat 8. International Journal of IT, Engineering and Applied Sciences Research (IJIEASR). 4(4): 4-10.
- Adler, J. and Parmryd, I. 2010. Quantifying colocalization by correlation: The Pearson correlation coefficient is superior to the Mander's شاخص های سبزینگی در مدل سازی عملکرد نیشکر با تأکید بر الگوی رشد بر اساس پردازش تصاویر ماهواره ای مطالعه موردی: خوزستان کشت و صنعت امام خمینی (ره). تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۰ (۱۰): ۲۵۲۴-۲۵۱۱.
- دهقانی، ت.، احمدپری، ه. و امینی، ع. ۱۴۰۲. ارزیابی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره ای چند طیفی و شبکه عصبی مصنوعی. مدل سازی و مدیریت آب و خاک. ۳ (۲): ۳۵-۱۸.
- رازبان، آ. ۱۳۹۷. تخمین عملکرد گندم با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست-۸ و سنتینل-۲ (مطالعه موردی: مزرعه گندم آستان قدس رضوی). پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
- رجا، ا.، رضایی راد، ه. و ابراهیمیان، ح. ۱۳۹۹. ارزیابی مزرعه ای عملکرد آبیاری جویچه ای در مزارع ذرت و ارائه راهکارهای مدیریتی با استفاده از مدل WinSRFR (مطالعه موردی: دزفول). تحقیقات آب و خاک ایران. ۵۱ (۱۱): ۲۷۷۲-۲۷۶۱.
- سپهری، ع. و متقی، م. ر. ۱۳۸۱. کاربرد شاخص های گیاهی سنجنده تی.ام در برآورد درصد پوشش گیاهی مراتع حفاظت شده جهان نما-گرگان. منابع طبیعی ایران. ۵۵ (۲): ۲۷۱-۲۵۹.
- سروی، و.، متین فر، ح. ر.، سهرابی، ا. و باقری، ن. ۱۳۹۹. ارزیابی قابلیت داده های طیفی لندست ۸ و طیف سنج آزمایشگاهی در پیش بینی عملکرد ذرت (مطالعه موردی: کشت و صنعت مغان). پژوهش های کاربردی زراعی. ۳۳ (۳): ۱۳۷-۱۱۷.
- سلطانیان، م.، نادری خوراسگانی، م. و تدین، ع. ۱۳۹۹. برآورد زیست توده گندم زمستانه (*Triticum aestivum L.*) با استفاده از مدل های رگرسیون خطی چندگانه، شبکه عصبی مصنوعی و داده های سنجش از دور. مجله تولید گیاهان زراعی. ۱۳ (۳): ۱۷۹-۱۹۶.
- شرفی، س.، صادقی، س.، نحوی نیا، م. و عبداللهی پور، م. ۱۴۰۱. ارزیابی معادلات رگرسیونی چندمتغیره در تخمین عملکرد گندم و جو دیم در اقلیم های مختلف ایران. مدیریت آب و آبیاری. ۱۲ (۱): ۲۱۱-۲۰۱.
- علی زاده، پ.، کامکار، ب.، شتایی، ش. و کاظمی، ح. ۱۳۹۸. ارزیابی تغییرات عملکرد سویا با استفاده از شاخص های خشکسالی هواشناسی و ماهواره ای در غرب استان گلستان. تولید گیاهان زراعی. ۱۲ (۳): ۸۴-۶۹.
- غفاریان المیربی، ح.، صابری، م.، مظفری، غ. و عربی علی آباد، ف. ۱۴۰۳. شناسایی و برآورد عملکرد مزارع برنج با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تکنیک های سنجش از دور (مطالعه موردی: استان

- Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J. and Merzlyak, M. N. 1996. Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS-MODIS. *Remote sensing of Environment*. 58(3): 289-298.
- Gnyp, M. L., Bareth, G., Li, F., Lenz-Wiedemann, V. I., Koppe, W., Miao, Y. and Zhang, F. 2014. Development and implementation of a multiscale biomass model using hyperspectral vegetation indices for winter wheat in the North China Plain. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 33: 232-242.
- Gontia, N. K. and Tiwari, K. N. 2011. Yield estimation model and water productivity of wheat crop (*Triticum aestivum*) in an irrigation command using remote sensing and GIS. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 39: 27-37.
- Hansen, M. C. and Loveland, T. R. 2012. A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote sensing of Environment*. 122: 66-74.
- Huang, J., Wang, H., Dai, Q. and Han, D. 2014. Analysis of NDVI data for crop identification and yield estimation. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 7(11): 4374-4384.
- Huete, A. R. 1988. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*. 25(3): 295-309.
- Jing-Feng, H., Shu-chuan, T., Abou-Ismael, O. and Ren-chao, W. 2002. Rice yield estimation using remote sensing and simulation model. *Journal of Zhejiang University-SCIENCE A*. 3: 461-466.
- Lee, D. K., In, J. and Lee, S. 2015. Standard deviation and standard error of the mean. *Korean journal of anesthesiology*. 68(3): 220-223.
- Leroux, L., Castets, M., Baron, C., Escorihuela, M. J., Bégué, A. and Seen, D. L. 2019. Maize yield estimation in West Africa from crop process-induced combinations of multi-domain remote sensing indices. *European Journal of Agronomy*. 108(1): 11-26.
- McFeeters, S. K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*. 17(7): 1425-1432.
- Mkhabela, M. S., Bullock, P., Raj, S., Wang, S. and Yang, Y. 2011. Crop yield forecasting on the Canadian Prairies using MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 151(3): 385-393.
- Mohioudin Gillani, S. S., Tahir, M. N., Anwar, A., Ul Haq, S. I., Awais, M., Iqbal, M., Iqbal, j., Ahmed Malik, H., Naqvi, S.M.Z.A., Ullah, R. and Khan, M. A. 2023. Real Time Estimation of Wheat overlap coefficient. *Cytometry Part A*. 77(8): 733-742.
- Arab, S. T., Noguchi, R., Matsushita, S. and Ahamed, T. 2021. Prediction of grape yields from time-series vegetation indices using satellite remote sensing and a machine-learning approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 22: 100485.
- Babae, M., Shokat-Naghadeh, A., Ahmadpari, H. and Nabi-Jalali, M. 2019. Comparison of different methods with lysimeter measurements in estimation of rice evapotranspiration in Sari Region. *Revista Ingeniería UC*. 26(2): 175-184.
- Bai, T., Zhang, N., Mercatoris, B. and Chen, Y. 2019. Jujube yield prediction method combining Landsat 8 Vegetation Index and the phenological length. *Computers and electronics in agriculture*. 162: 1011-1027.
- Belsley D.A, Kuh E. and Welsch R.E. 1980. *Regression Diagnostics: Identifying Influential*
- Bowker, A.H., Lieberman, G.J. 1972. *Engineering Statistics*. Prentice- Hall.
- Cousins, S. A. and Lindborg, R. 2004. Assessing changes in plant distribution patterns—indicator species versus plant functional types. *Ecological indicators*. 4(1): 17-27.
- De Siqueira, D. A., Vaz, C. M., Silva, F. S., Ferreira, E. J., Speranza, E. A., Franchini, J. C. and das Chagas, S. 2024. Regional-Scale Cotton Yield Estimate in the Brazilian Cerrado Using Simple Linear Regression Models with Time-Series of Vegetation Indices from EOS-MODIS Satellite Data.
- Dehghani, T., Aghelmirzaei, F., Jahangiri, E., Ahmadpari, H. and Binesh, S. 2021. Study of changes in land use and land cover in and around the Chah Nimeh water reservoir in Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education (TURCOMAT)*. 12(13): 4520-4525.
- Dhokal, C. P. 2017. A naïve approach for comparing a forecast model. *International Journal of Thesis Projects and Dissertations (IJTPD)*. 5(1): 1-3.
- Dubey, S. K., Gavli, A. S., Yadav, S. K., Sehgal, S. and Ray, S. S. 2018. Remote sensing-based yield forecasting for sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) crop in India. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*. 46: 1823-1833.
- Gao, B. C. 1996. NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*. 58(3): 257-266.
- García-Lara, S., Serna-Saldivar, S. O. 2019. *Corn history and culture*. Corn: Chemistry and Technology, Woodhead Publishing and AACCI International Press, 1-18.

- plant breeding for sustainable agriculture. *Journal of Plant Physiology*. 257:1-18.
- Tucker, C. J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of Environment*. 8(2): 127-150.
- Tuvdendorj, B., Wu, B., Zeng, H., Batdelger, G. and Nanzad, L. 2019. Determination of appropriate remote sensing indices for spring wheat yield estimation in Mongolia. *Remote Sensing*. 11(21): 1-21.
- Wang Li'ai, W. L. A., Zhou XuDong, Z. X., Zhu XinKai, Z. X., Dong ZhaoDi, D. Z. and Guo WenShan, G. W. 2016. Estimation of biomass in wheat using random forest regression algorithm and remote sensing data.
- Willmott, C. J. and Matsuura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. *Climate research*. 30(1): 79-82.
- Wilson, E. H. and Sader, S. A. 2002. Detection of forest harvest type using multiple dates of Landsat TM imagery. *Remote Sensing of Environment*. 80(3): 385-396.
- Xu, H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*. 27(14): 3025-3033.
- Yue, J., Yang, G., Li, C., Li, Z., Wang, Y., Feng, H. and Xu, B. 2017. Estimation of winter wheat above-ground biomass using unmanned aerial vehicle-based snapshot hyperspectral sensor and crop height improved models. *Remote Sensing*. 9(7):708.
- Yunus, K. A. Y. A. and Polat, N. 2023. A linear approach for wheat yield prediction by using different spectral vegetation indices. *International Journal of Engineering and Geosciences*. 8(1): 52-62.
- Zanella, M. A., Martins, R. N., da Silva, F. M., Carvalho, L. C. C., de Carvalho Alves, M. and Rosas, J. T. F. 2024. Coffee yield prediction using high-resolution satellite imagery and crop nutritional status in Southeast Brazil. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*. 33: 101092.
- Zsebő, S., Bede, L., Kukorelli, G., Kulmány, I. M., Milics, G., Stencinger, D. and Kovács, A. J. 2024. Yield Prediction Using NDVI Values from GreenSeeker and MicaSense Cameras at Different Stages of Winter Wheat Phenology. *Drones*. 8(3): 88.
- Chlorophyll Content Retrieve from Landsat 8 Imagery Under Rainfed Condition. *Sarhad Journal of Agriculture*. 39(1): 147-155.
- Mostafa, M., Luo, W., Zou, J. and Salem, A. 2023. Optimizing Rice Irrigation Strategies to Maximize Water Productivity: A Simulation Study Using AquaCrop Model for the Yanyun Irrigation District, Yangzhou, China. *Earth*. 4(3): 445-460.
- Newton, I. H., Tariqul Islam, A. F. M., Saiful Islam, A. K. M., Tarekul Islam, G. M., Tahsin, A. and Razzaque, S. 2018. Yield prediction model for potato using landsat time series images driven vegetation indices. *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*. 1: 29-38.
- Pal, R. 2017. Predictive modeling of drug sensitivity. Chapter 4-Validation methodologies, Academic Press, 83-107.
- Parida, B. R. and Ranjan, A. K. 2019. Wheat acreage mapping and yield prediction using Landsat-8 OLI satellite data: a case study in Sahibganj Province, Jharkhand (India). *Remote Sensing in Earth Systems Sciences*. 2(2-3): 96-107.
- Parry, M. A. and Hawkesford, M. J. 2010. Food security: increasing yield and improving resource use efficiency. *Proceedings of the nutrition Society*. 69(4): 592-600.
- Rondeaux, G., Steven, M., Baret, F. 1996. Optimization of soil-adjusted vegetation indices. *Remote sensing of environment*. 55(2): 95-107.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. and Deering, D. W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite- 1 Symposium*. 351(1): 309-317.
- Senseman, G. M., Bagley, C. F. and Tweddale, S. A. 1996. Correlation of rangeland cover measures to satellite-imagery-derived vegetation indices. *Geocarto International*. 11(3): 29-38.
- Singla, S. K., Garg, R. D. and Dubey, O. P. 2020. Ensemble Machine Learning Methods to Estimate the Sugarcane Yield Based on Remote Sensing Information. *Revue d'Intelligence Artificielle*. 34(6): 731-743.
- Thudi, M., Palakurthi, R., Schnable, J. C., Chitkineni, A., Dreisigacker, S., Mace, E., Srivastava, R. K., Satyavathi, C.T., Odeny, D., Tiwari, V. K., Lam, H. M., Hong, Y. B., Singh, V. K., Li, G., Xu, Y., Chen, X., Kaila, S., Nguyen, H., Sivasankar, S., Jackson, S. and Varshney, R.K. 2021. Genomic resources in

Estimating Grain Corn Yield Based On Landsat 8 Satellite Images (Case study: agricultural and industrial lands of Shahid Beheshti, Dezful)

T.Dehghani¹, A.Liaghat^{*2}, H.Rezaei Rad³, H.Ahmadpari⁴

Received: May.06, 2024

Accepted: Jul.01, 2024

Abstract

One of the common methods to estimate the yield of crops before their harvest is the use of satellite images and remote sensing technology. One of the efficient methods extracted from remote sensing data to monitor crop yield is the use of spectral indices. This study was carried out to estimate maize yield before its harvest using Landsat 8 satellite images in a part of the lands of Shahid Beheshti agro-industry, Dezful. Eight spectral indices including NDVI, TNDVI, GNDVI, SAVI, OSAVI, NDWI, MNDWI, and NDMI were used in this study. A correlation relationship was formed between the indices and yield with 70% of the data. Then the relationships were evaluated with 30% of the data. MNDWI index had the highest correlation with the field data in December and January, respectively, with a coefficient of determination of 30% and 13%. R² and RMSE between the observed and predicted yield values by this index for the mentioned months were 72%, 1/71 tons per hectare, and 48%, 1/54 tons per hectare, respectively. Multivariable equations produced for both dates in January and December were obtained with R² and RMSE, 31%, 0/06 tons per hectare, and 55%, 1/19 tons per hectare, respectively. According to the results, by using the average MNDWI, SAVI, and NDVI indices in the produced relationships, the errors caused by the spatial changes of yield at the farm level are minimized, and it is possible to estimate the yield before harvest.

Keywords: Regression, Remote Sensing, Spectral Indices, Yield Prediction

1- PhD student, College of Agriculture and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor, College of Agriculture and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

3- PhD graduate, College of Agriculture and Technology, University of Tehran, Karaj, Iran

4- Master graduate, College of Agriculture and Technology, University of Tehran, Pakdasht, Iran

(*- Corresponding Author Email: aliaghat@ut.ac.ir)