

Wheat Yield Estimation by Satellite Imageries Landsat 8 (Case study: Moghan Plain)

LOGHMAN KAMALI^{1*}, ABBAS KAVIANI², BIJAN NAZARI³, ABDOLMAJID LIAGHAT⁴

1. Graduated M.Sc. of Irrigation and Drainage, Faculty of Engineering and technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
2. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran
4. Professor, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, Faculty of Agricultural Engineering and Technology, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(Received: July. 12, 2017- Revised: Feb. 5, 2018- Accepted: Feb. 25, 2018)

ABSTRACT

Remote sensing can be used to provide agricultural land use map and to estimate crop cultivated area and crop yield. The purpose of this study was to estimate wheat yield by satellite imageries in Moghan Agro-Industry which is one of the important centers of agricultural production in Iran. Wheat is one of the strategical crops. Field data were collected from Moghan Agro-Industry during 2013 to 2015. Landsat 8 images which were coincided to field observation were collected to determine eight vegetation indices. Landsat-8 with high spatial resolution and ease facility images has presented acceptable results. The obtained results showed that NDVI parameter with $R^2=0.71$ and RMSE, MAE and MBE equal to 797, 637 and 87 kg per hectare, respectively, has a higher precision for crop yield prediction as compared to other vegetation indexes. Thus, wheat yield could be predicted by Landsat 8 imageries before harvesting time in Moghan plain. This can help Moghan Agro-Industry, water resources, food providers, agricultural insurance, and transportation managers to manage their decisions before time is going.

Keywords: Yield estimation, Landsat 8, Wheat and Vegetation index.

تخمین عملکرد محصول گندم با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ (مطالعه موردی: دشت مغان)

لقمان کمالی^{۱*}، عباس کاویانی^۲، بیژن نظری^۳، عبدالمجید لیاقت^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۴. استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی،

دانشگاه تهران، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۴/۲۱ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۱۶ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۱۲/۱۶)

چکیده

از 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. در تحقیق حاضر به بررسی توانایی شاخص‌های طیفی در تخمین عملکرد محصول گندم در کشت و صنعت و دامپروری مغان به‌عنوان یکی از قطب‌های مهم تولید محصولات کشاورزی در کشور پرداخته شده است. گندم به‌عنوان محصول استراتژیک انتخاب شد. داده‌های میدانی اطلاعات عملکرد گندم در طول سه دوره زراعی سال‌های ۹۲ تا ۹۴ از کشت و صنعت و دامپروری مغان دریافت شد. تصاویری از ماهواره لندست ۸ که نزدیک‌ترین زمان به اخذ داده‌های میدانی را دارا بودند، اخذ گردید و جهت استخراج و تعیین شاخص‌های گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر این سنجنده به دلیل توان تفکیک زمینی بالا و سهولت دسترسی به تصاویر آن، نتایج کاربردی قابل قبولی را ارائه نمود. در این پژوهش هشت شاخص اصلی گیاهی برای تهیه نقشه مطلوب عملکرد گندم استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داده است که شاخص NDVI با $R^2=0.71$ و RMSE، MAE و MBE به ترتیب ۷۹۷، ۶۳۷ و ۸۷ کیلوگرم در هکتار نسبت به دیگر شاخص‌های گیاهی از دقت بالاتری در تخمین عملکرد برخوردار است. لذا امکان تخمین قابل قبول عملکرد گندم پیش از برداشت محصول، با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸ در دشت مغان وجود دارد و مدیران کشت و صنعت مغان و سیاست‌گذاران حوزه منابع آب، تأمین غذا، بیمه کشاورزی، حمل و نقل و اشتغال می‌توانند از این قابلیت بهره‌مند شوند.

واژه‌های کلیدی: تخمین عملکرد، شاخص‌های گیاهی، گندم، لندست ۸

مقدمه

گندم یکی از محصولات استراتژیک و اساسی کشورهای دنیا است و به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی قسمت اعظم پروتئین و کالری موردنیاز افراد جامعه به‌حساب می‌آید. این گیاه با تأمین بیش از ۴۰ درصد کالری و ۵۰ درصد پروتئین موردنیاز، در جیره غذایی جامعه ایرانی از اهمیت بسزایی برخوردار است. به همین دلیل تقریباً یک‌ششم از کل زمین‌های زراعی جهان تحت کشت گندم است (mohammadi et al, 2015).

با افزایش قیمت مواد غذایی در سال‌های اخیر تقاضای بین‌المللی برای پیش‌بینی دقیق‌تر و به‌موقع تولید محصول در مقیاس ملی و جهانی افزایش یافته است. چنین اطلاعاتی برای ایجاد برنامه‌ریزی آگاهانه در بخش کشاورزی در سطح ملی و بین‌المللی، تثبیت بازارها، افزایش دسترسی به بازار و جلوگیری

از کمبود مواد غذایی ضروری به نظر می‌رسد (Franch et al, 2015). مدل تجربی طیفی داده‌ها یک روش مهم در برآورد عملکرد محصول به شمار می‌آید. ساده و در دسترس بودن داده‌های موردنیاز در مقیاس منطقه‌ای و جهانی از جمله مزیت‌های این روش است. بر همین اساس مدل‌سازی تولید دارای روابط آماری بین متغیرهای طیفی و عملکرد محصول و یا عملکرد محصول و پارامترهای زیستی و فیزیکی قابل اندازه‌گیری است؛ که به‌شدت به میزان تاج پوشش گیاه و ساختار آن وابسته است. لذا با ویژگی‌های طیفی محصولات در ارتباط است (Aboelghar et al, 2011).

اطلاعات سنجش از دور یک روش مؤثر برای نظارت و پیش‌بینی عملکرد محصول در مقیاس‌های محلی و منطقه‌ای در نظر گرفته می‌شود (Aboelghar et al, 2011). همچنین با استفاده از فناوری سنجش از دور، می‌توان با هزینه و زمان کمتر، طیف وسیعی از پروژه‌ها را در سطح جهانی، منطقه‌ای،

جهت ارزیابی پتانسیل پیش‌بینی عملکرد گندم در مراکش انجام شد. در تحقیق مذکور از شاخص‌های NDVI، بارش و دما در تصاویر AVHRR استفاده شد. ارزیابی عملکرد گندم با خطای متغیر ۸۰-۷۶۲ کیلوگرم در هکتار، در استان‌های مختلف بدست آمد. با استفاده از شاخص NDVI و بارش عملکرد گندم در سوم آوریل، مقدار گندم با خطای ۷۳ کیلوگرم در هکتار پیش‌بینی شد. با این حال، با شروع دوره دوم ماه مارس (حداقل ۱ ماه قبل از برداشت)، خطای ۸۴ کیلوگرم در هکتار در پیش‌بینی‌ها مشاهده شد.

با توجه به تحقیقات گسترده‌ای که در دنیا برای تخمین مقدار تولید محصول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است؛ این تحقیق با هدف شناسایی کاراترین شاخص گیاهی برای تخمین عملکرد گندم با استفاده از سنجنده‌ای که در سال‌های اخیر و با قدرت تفکیک مکانی مناسب در اختیار است، انجام شده است. علاوه بر این تلاش شده است که طولانی‌ترین زمان ممکن پیش از برداشت را که امکان تخمین مناسب عملکرد محصول با استفاده از سنجنده OLI در محدوده مورد مطالعه در اختیار خواهد گذاشت؛ نیز تعیین شود.

مواد و روش‌ها

برای مطالعه‌ی حاضر از اطلاعات عملکرد گندم زمین‌های زراعی کشت و صنعت و دامپروری مغان واقع در شهرستان پارس‌آباد استان اردبیل (شکل ۱) و در طول فصل‌های زراعی سال‌های ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۴ استفاده شد.

منطقه مطالعاتی

دشت مغان سرزمین گسترده و دشت پهناوری است که از رسوبات رودخانه ارس تشکیل شده و مساحت تقریبی آن ۳۰۰ تا ۳۵۰ هزار هکتار است. از نظر مشخصات جغرافیایی در فاصله عرض جغرافیایی ۳۹ درجه و ۲۳ دقیقه تا ۴۲ درجه و ۳۹ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۲۵ دقیقه تا ۴۸ درجه ۲۳ دقیقه شرقی قرار داشته و ارتفاع آن از سطح دریا ۵۰ تا ۶۰۰ متر است. اقلیم آن با توجه به روش گوس، مدیترانه‌ای گرم و خشک و طبق روش پیشنهادی برای ایران نیمه مرطوب با تابستان‌های گرم بحری و زمستان‌های کمی سرد می‌باشد. متوسط بارندگی سالیانه آن ۲۷۵ میلی‌متر است که ۲۹ درصد آن در پاییز، ۲۹ درصد در زمستان، ۳۵ درصد در بهار و ۷ درصد باقیمانده در تابستان رخ می‌دهد. میانگین، حداکثر و حداقل دمای سالانه به ترتیب ۱۴/۶، ۲۷ و ۴ درجه سانتی‌گراد است. در سال ۱۳۴۵ با احداث سد و مهار آبهای سطحی، دشت لم‌یزرع مغان بارور گردید و بیشتر اراضی آن به زیرکشت برده شد. با

ملی، استانی و محلی به نتیجه رساند. علاوه بر این، قابلیت اخذ داده‌های ماهواره‌ای به فاصله زمانی چند ساعت تا چند روز در ماه یا سال، امکان مطالعه‌ی تغییرات و پایش پدیده‌های زمینی را به‌خوبی فراهم ساخته است. (Alavi-panah, 2008). در زمینه استفاده از سنجنش از دور در برآورد عملکرد مطالعات زیادی صورت گرفته است (Bao et al, 2009). در کشور چین به برآورد عملکرد گندم زمستانه با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و با قدرت تفکیک طیفی و مکانی متنوع پرداختند. آن‌ها گزارش کردند با برآورد ماده خشک گندم زمستانه در مراحل سبز شدن، پنجه‌زنی، ساقه‌دهی، گلدهی و پر شدن دانه می‌توان وضعیت رشد گیاه را بررسی نمود و برای این کار از پنج تصویر سنجنده لندست ۵ استفاده نمودند. سپس بر اساس تصاویر مادیس و لندست ۵ شاخص‌های طیفی مانند^۱NDVI،^۲RDVI،^۳EVI،^۴MSAVI و^۵NDWI را محاسبه کردند (Bao et al, 2009). در مطالعه‌های دیگر (Sawasawa, 2003) برای تخمین عملکرد برنج در ناحیه نظام‌آباد ایالت آندهارا، پردازش شاخص NDVI حاصل از تصاویر سنجنده IRS با هدف بررسی ارتباط شاخص NDVI و عملکرد برنج انجام شد. نتایج بیانگر همبستگی مثبت و معنی‌دار بین این شاخص و عملکرد محصول در سطح مزارع برنج بود (Aboelghar et al, 2011). تحقیق بر پایه اندازه‌گیری رگرسیون عملکرد داده‌های بدست آمده از ماهواره و شاخص سطح برگ انجام گرفت که در آن شش شاخص پوشش گیاهی NDVI،^۶SAVI،^۷GVI،^۸IPVI،^۹RVI و^{۱۰}DVI مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص سطح برگ (^{۱۱}LAI) نسبت به سایر شاخص‌ها؛ برتری نسبی داشته است و با استفاده از این مدل می‌توان یک ماه پیش از برداشت؛ عملکرد محصول را پیش‌بینی نمود (Ren et al, 2008). در پژوهشی مناسب بودن این روش با توجه به پیش‌بینی تولید برای تخمین عملکرد محصول بر پایه مدل MODIS-NDVI در مقیاس منطقه‌ای آزمایش شد. بر همین اساس پیش‌بینی محصول ۴۰ روز پیش از برداشت به خوبی انجام گرفت (Balaghi et al, 2008). تحقیقاتی

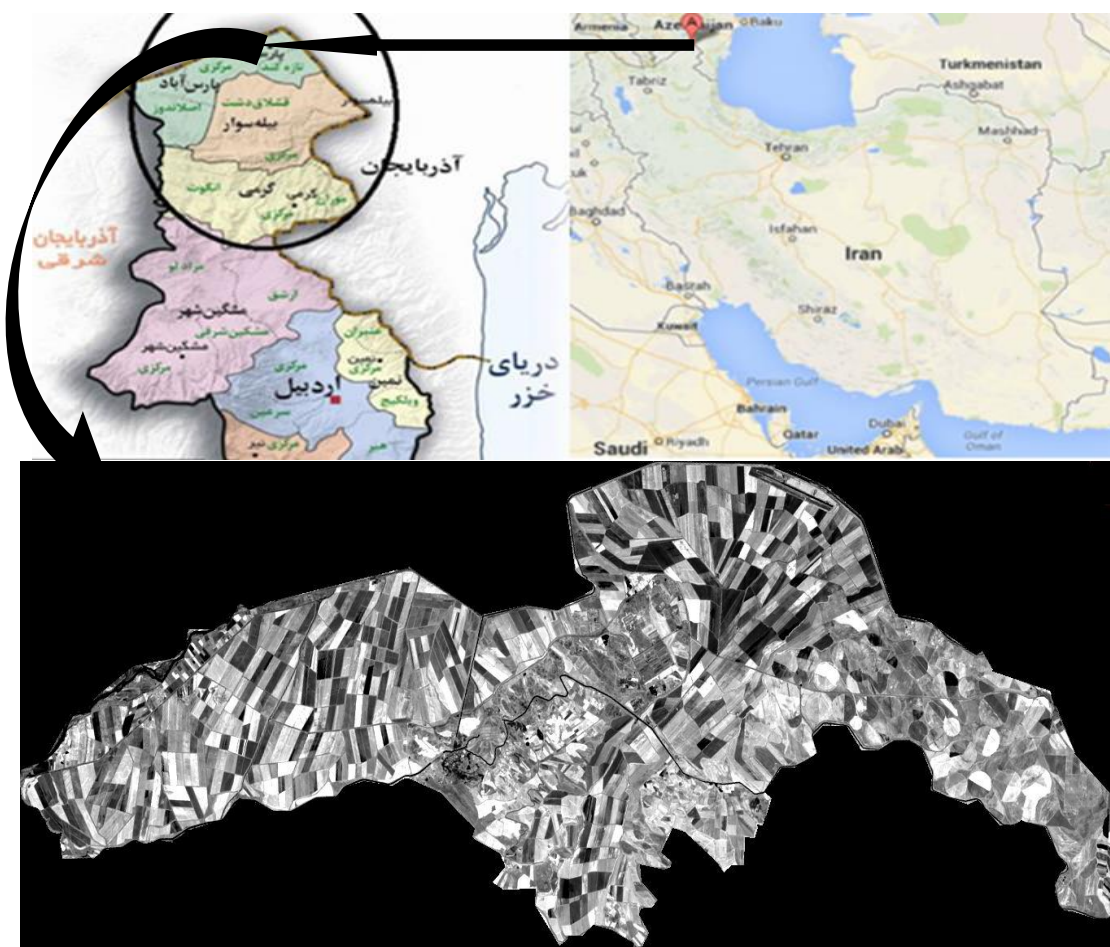
1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Renormalized Difference Vegetation Index
3. Enhanced Vegetation Index
4. Modified Soil Adjustment Vegetation Index
5. Normalized Difference Water Index
6. soil adjusted vegetation index
7. Greenness vegetation index
8. Infrared Percentage Vegetation Index
9. Ratio Vegetation Index
10. Difference Vegetation Index
11. Leaf Area Index

میان انواع محصولاتی که در منطقه مورد مطالعه کشت می‌شد، گندم انتخاب گردید. در این پژوهش برای بررسی تولید عملکرد گندم در کل منطقه ۱۰۳ قطعه زمین به مساحت ۲۳۷۴ هکتار انتخاب شده است که اطلاعات کلی این اراضی در جدول (۱) ارائه شده است. حدود ۱۵ درصد از اراضی تحت کشت آبی بوسیله سامانه آبیاری بارانی و ۸۵ درصد باقیمانده به روش سطحی آبیاری می‌شوند.

تأسیس شرکت کشت و صنعت و دامپروری مغان در سال ۱۳۵۳ در سطح ۶۳ هزار هکتار، این دشت به یکی از قطب‌های کشاورزی، دامپروری و صنعتی کشور تبدیل شد (Kanooni, 2005).

مدیریت زراعی

مجتمع زراعت مهم‌ترین و بزرگ‌ترین واحد تولیدی کشت و صنعت و دامپروری مغان می‌باشد که سالانه بیش از ۳۰۰ هزار تن انواع محصولات زراعی مانند گندم، جو، یونجه، کلزا، چغندر قند، ذرت (بذری، دانه‌ای و سیلویی) تولید می‌کند. از



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مدیریت زراعی گندم

محصول	نوع سیستم آبیاری	زمان کاشت	زمان برداشت	میانگین عملکرد
گندم	سطحی - بارانی	دهه آخر مهرماه	دهه آخر خردادماه	۵۳۰۰ (kg/ha)

خصوصیات سنجنده

ماهواره لندست ۸ (OLI) در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ عملیاتی شده است. این ماهواره محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) است. توان تفکیک مکانی تصاویر لندست ۳۰ متر بوده و عرض پوششی توسط هر تصویر ۱۸۵ کیلومتر است که با توان تفکیک زمانی ۱۶ روز

تصویربرداری می‌کند. در این پژوهش از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک و ۳ تصویر از سنجنده لندست ۸ که دارای ۷ باند کامل هستند کمک گرفته شد. هدف از این تحقیق تخمین عملکرد گندم پیش از برداشت است؛ لذا لازم است که تا حد امکان از زمان برداشت فاصله وجود داشته باشد. اما از آنجایی که تنها تصاویر بدون ابر قابل استفاده هستند و از سوی دیگر

شاخص‌های گیاهی از پرکاربردترین نمونه‌های محاسبات بانندی می‌باشند که به منظور محاسبه درصد پوشش گیاهی، بررسی انواع پوشش گیاهی، وضعیت سبزی‌نگی یک منطقه طی دوره‌های مختلف و غیره به کار برده می‌شوند (Fatemi and Rezaei, 2006). مقادیر این شاخص‌ها در موقعیت‌هایی که داده‌های زمینی وجود دارد؛ مورد مقایسه قرار گرفته و ارتباط بین آن‌ها با متغیرهای گیاهی بررسی شده است. بر اساس نتایج ارزیابی آماری به کمک آماره‌های ارائه شده در همین بخش، این شاخص‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و شاخص‌های مطلوب برای ادامه فرآیند انتخاب گردیدند. در نهایت، رابطه خطی بین مقادیر شاخص‌هایی که ارتباط معنی‌داری با متغیرهای گیاهی داشتند، بدست آمدند.

پوشش اندک گیاه بر روی زمین خطای تخمین و پیش‌بینی را بالا می‌برد؛ لذا تاریخ‌های ۱۷ ژوئن سال ۲۰۱۳، ۴ ژوئن سال ۲۰۱۴ و ۱۷ ژوئن سال ۲۰۱۵ انتخاب شدند و از لحاظ زمانی دارای نزدیک‌ترین زمان ممکن به برداشت محصول گندم و در شرایط بدون ابر بودند و با زمان انجام عملیات میدانی انطباق داشتند.

شاخص‌های گیاهی

در این مطالعه هشت شاخص گیاهی NDVI، SAVI، RVI، DVI، IPVI، TVI، MSAVI و LAI مورد ارزیابی قرار گرفتند (جدول ۲). برای محاسبه شاخص‌ها از نرم‌افزار ENVI ویرایش ۴/۲ استفاده شد.

جدول ۲. شاخص‌های مورد استفاده در مطالعه و روابط آنها (در این معادلات b_{nir} باند مادون قرمز نزدیک و b_{red} باند قرمز سنجنده است).

شاخص گیاهی	فرمول
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$(b_{nir} - b_{red}) / (b_{nir} + b_{red})$
soil adjusted vegetation index (SAVI)	$(b_{nir} - b_{red}) * (L+1) / (b_{nir} + b_{red})$
Ratio Vegetation Index (RVI)	(b_{nir} / b_{red})
Transformed Vegetation Index (TVI)	$\sqrt{(b_{nir} - b_{red}) / (b_{nir} + b_{red})} + 0.5$
Difference Vegetation Index (DVI)	$(b_{nir} - b_{red})$
Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)	$b_{nir} / (b_{nir} + b_{red})$
Modified Soil Adjustment Vegetation Index (MSAVI)	$(b_{nir} - b_{red}) * (L+1) / (b_{nir} + b_{red} + 1)$

b_{nir} : مقادیر باند مادون قرمز نزدیک حاصل از تصویر بازتابش
 b_{red} : مقادیر باند قرمز حاصل از تصویر بازتابش

روش تحقیق:

این تحقیق در دو بخش مجزا ارائه شده است. در بخش اول روابطی را که محققان مختلف از ارتباط بین عملکرد محصول شاخص‌های گیاهی ارائه نموده‌اند، معرفی و با استفاده از داده‌های میدانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در نهایت بهترین رابطه‌ای که امکان تخمین عملکرد محصول را با استفاده از تصاویر سنجنده OLI فراهم می‌آورد، معرفی خواهد شد.

در بخش دوم تلاش شده است تا با استفاده از ۷۰ درصد از داده‌های میدانی (اطلاعات ۷۰ قطعه با مساحتی بالغ بر ۱۵۸۶ هکتار) رابطه‌ای برای تخمین عملکرد گندم با شاخص‌های گیاهی فراهم شود و با ۳۰ درصد باقیمانده داده‌های میدانی (۳۳ قطعه با مساحتی بالغ بر ۷۸۸ هکتار) روابط تولید شده مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج حاصل از رابطه پیشنهادی این تحقیق با نتایج حاصل از ارزیابی روش‌های دیگر محققان مقایسه خواهد

شد. فلوجارت روند انجام تحقیق در شکل (۲) ارائه شده است. برای ارزیابی آماری نتایج حاصل از روش‌های پیشنهاد شده با داده‌های واقعی (میدانی) که از کشت و صنعت و دامپروری مغان دریافت شد از آماره‌های ضریب همبستگی (R^2)، جذر خطای میانگین مربعات ($RMSE^1$)، میانگین خطای مطلق (MAE^2) و خطای اریب میانگین (MBE^3) کمک گرفته شد.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_p - y_a)^2}{n} \right]^{1/2}$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |y_p - y_a|}{n}$$

$$MBA = \frac{\sum_{i=1}^n (y_p - y_a)}{n}$$

$$r = \frac{\sum (y_a - \bar{y}_a)(y_p - \bar{y}_p)}{\sqrt{\sum (y_a - \bar{y}_a)^2 \sum (y_p - \bar{y}_p)^2}}$$

در معادلات بالا Y_p عملکرد پیش‌بینی شده محصول، Y_a عملکرد واقعی محصول و n تعداد قطعات زمین‌های زراعی می‌باشد.



شکل ۲. روند انجام تحقیقات ارزیابی آماری:

نتایج و بحث

برای انجام این تحقیق به تصاویر بدون ابر از سنجنده لندست ۸ نیاز بود که به دلیل وضعیت آب و هوایی منطقه مورد مطالعه تعداد اینگونه تصاویر محدود بود. از سوی دیگر هدف از اینگونه تحقیقات تلاش برای رسیدن به تخمین‌های با دقت قابل قبول با فاصله زمانی زیاد نسبت به زمان برداشت محصول است که با نزدیک شدن به دوران ابتدایی رشد انتظار می‌رود که از دقت تخمین کاسته شود. در این تحقیق نیز تمامی تصاویر بدون ابری که از ابتدای رشد رویشی گندم بر روی زمین در دسترس بود استفاده شد و همان‌گونه که انتظار می‌رفت نتایج بسیار ضعیفی ارائه نمودند. لذا از ارائه نتایج آنها خودداری شده است و تنها از تصاویری که نتایج نسبتاً قابل قبولی را ارائه نموده‌اند برای ارزیابی‌های آماری و توسعه معادله تخمین عملکرد استفاده گردید.

تعیین رابطه عملکرد محصول و شاخص‌ها

این پژوهش دارای دو بخش مجزا می‌باشد. در بخش اول داده‌ها به دو گروه داده‌های مورد استفاده برای تخمین عملکرد و داده‌های مورد نیاز برای ارزیابی عملکرد تقسیم شدند. رابطه بین مقدار عملکرد محصول و شاخص‌های گیاهی از طریق برازش بهترین معادله به دست آمد و در نهایت از این معادله جهت

برای تشخیص مناسب‌ترین روش؛ میزان میانگین مطلق خطا MAE، میانگین اریب خطا MBE و ریشه دوم میانگین مربعات خطا RMSE در هر روش محاسبه و ارزیابی شدند. صحت مدل با MAE تعیین می‌شود که مقدار صفر آن نشان دهنده صحت ۱۰۰ درصد است و هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت مدل است. معیار ارزیابی MAE نیز بیانگر میانگین انحراف است. این معیار علاوه بر حساس بودن به علامت مثبت (بیش برآوردی مدل) و یا منفی (کم برآوردی مدل)، مقدار انحراف از مقادیر مشاهده شده را نیز نشان می‌دهد. پارامتر MBE برابر صفر نشان می‌دهد که برآورد مدل خوب بوده و در آن هیچگونه انحرافی وجود ندارد که بطور معمول هر قدر مقدار این دو معیار و همچنین ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر باشد صحت روش بیشتر است (Kazemi et al, 2012). همچنین برای بررسی معنی‌داری رابطه‌های بدست آمده و ارزیابی آن از نرم‌افزار spss استفاده گردید.

با استفاده از روش‌های آماری ذکر شده شاخص‌های گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفتند و در آخر بهترین شاخص گیاهی جهت تخمین عملکرد محصول گندم با اطلاعات بدست آمده از سنجش از دور انتخاب شد.

Darvish zadeh *et al.* (2011) شاخص DVI را که از باندهای قرمز و مادون قرمز دور بدست می آید به عنوان شاخص مطلوب جهت تخمین بیوماس گیاهی پیشنهاد کردند. (Sanaeinejad *et al.*, 2008)، (Liu *et al.*, 2007)، (Weiss *et al.*, 2004)، (Jiang *et al.*, 2005) و (Asrar *et al.*, 1984) نیز در مطالعات خود دقت بالای شاخص گیاهی NDVI جهت بررسی پوشش گیاهی را گزارش کردند.

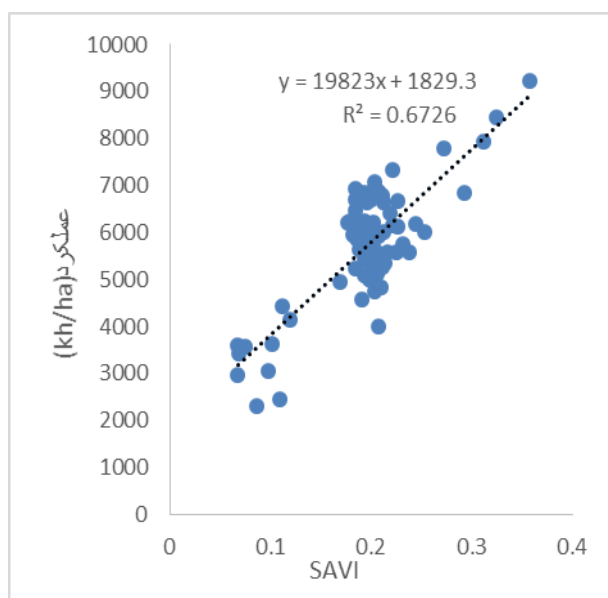
در مرحله دوم بعد از استخراج معادلات بین شاخص های گیاهی و عملکرد محصول گندم با ۷۰ درصد اطلاعات موجود، تخمین محصول با استفاده از ۳۰ درصد اطلاعات باقی مانده و رابطه بدست آمده صورت گرفت. نتایج ارزیابی آماری تخمین تولید محصول با استفاده از این روابط در شکل های (۱۱ تا ۱۸) و جدول (۳) ارائه شده است.

تخمین مقدار عملکرد استفاده شد. شکل های (۳ تا ۱۰) بیانگر نتایج حاصل از بررسی رابطه ی بین مقدار عملکرد محصول و مقادیر شاخص ها می باشد.

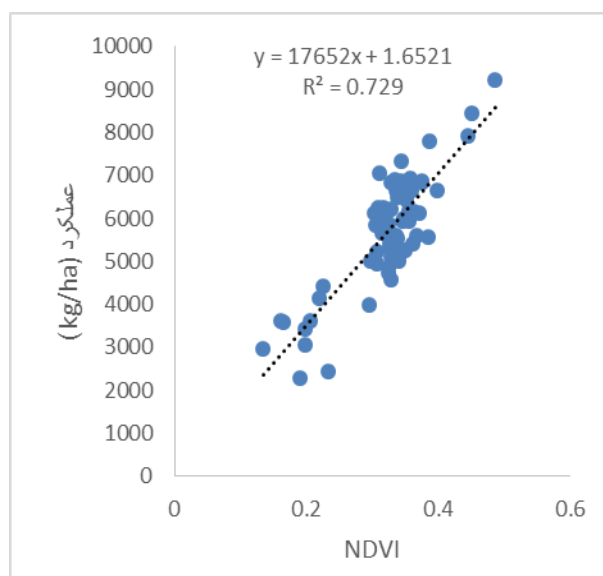
در بخش دوم معادلات توسعه داده شده توسط محققان دیگر برای تخمین مقدار تولید گندم مورد ارزیابی قرار می گیرد و بهترین معادله شناسایی می شود.

بهترین ارتباط بین شاخص های NDVI و SAVI و عملکرد گندم به ترتیب با R^2 برابر ۰/۷۲ و ۰/۶۷ به دست آمد و ضعیف ترین رابطه بین شاخص TVI و عملکرد گندم با R^2 برابر ۰/۰۲۳ می باشد.

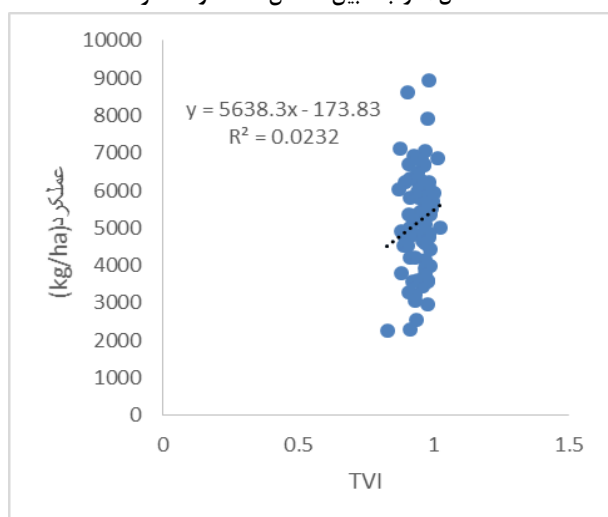
در تحقیقی (Sánchez *et al.*, 2006) مشاهده شد که شاخص های گیاهی NDVI و RVI بالاترین ضریب همبستگی را با زیست توده گیاهی، محتوای آب و ارتفاع گیاه ارائه دادند.



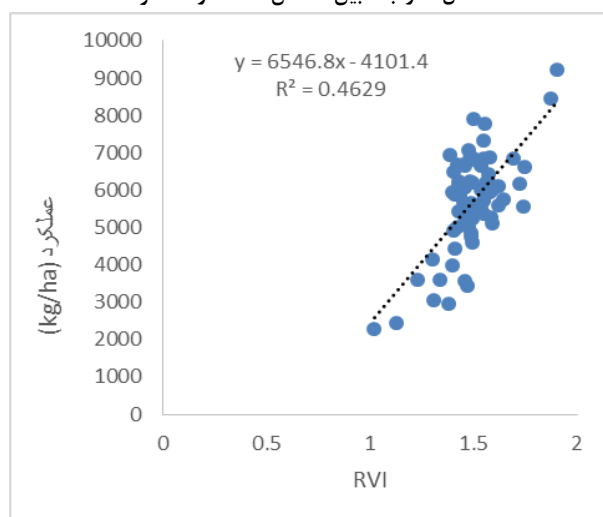
شکل ۴. ارتباط بین شاخص SAVI و عملکرد



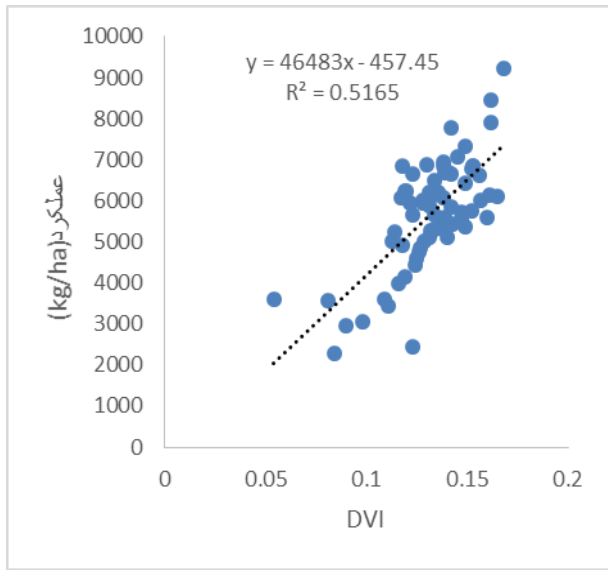
شکل ۳. ارتباط بین شاخص NDVI و عملکرد



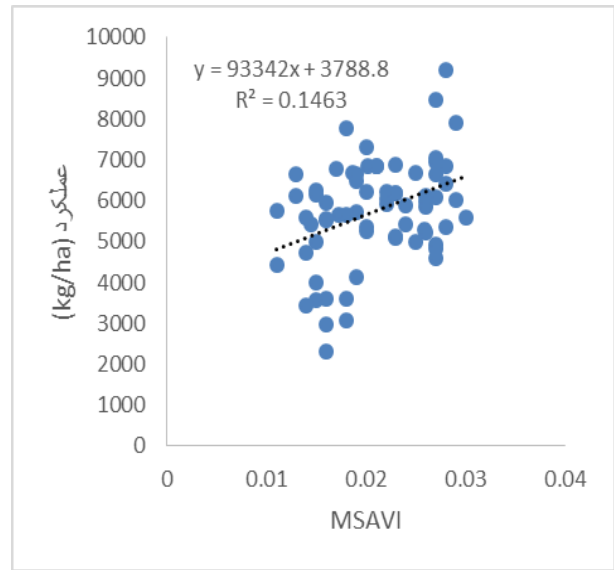
شکل ۶. ارتباط بین شاخص TVI و عملکرد



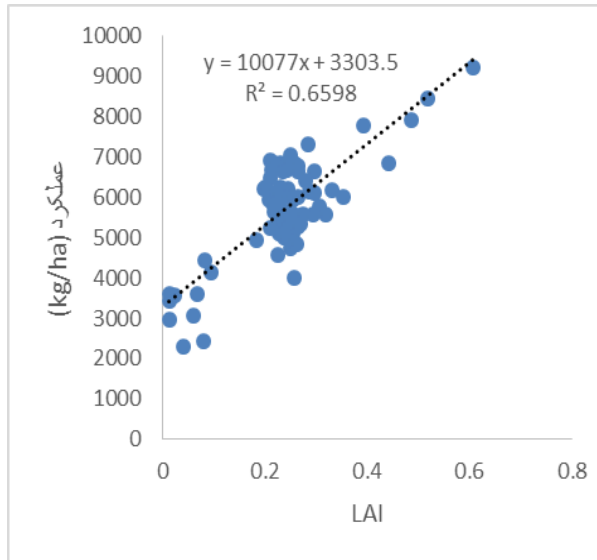
شکل ۵. ارتباط بین شاخص RVI و عملکرد



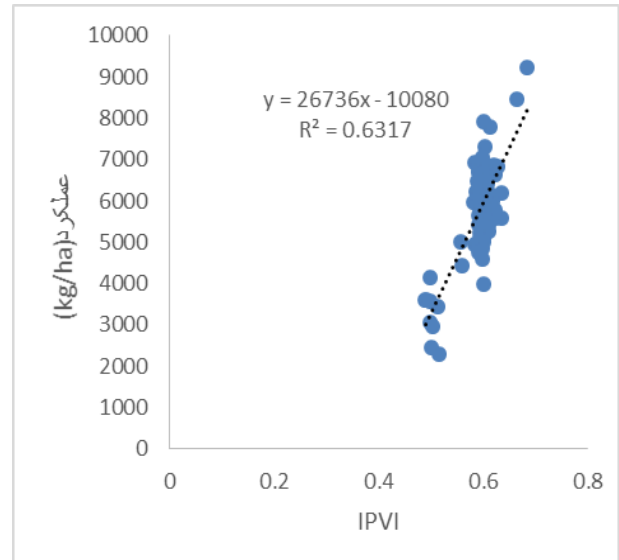
شکل ۸. ارتباط بین شاخص DVI و عملکرد



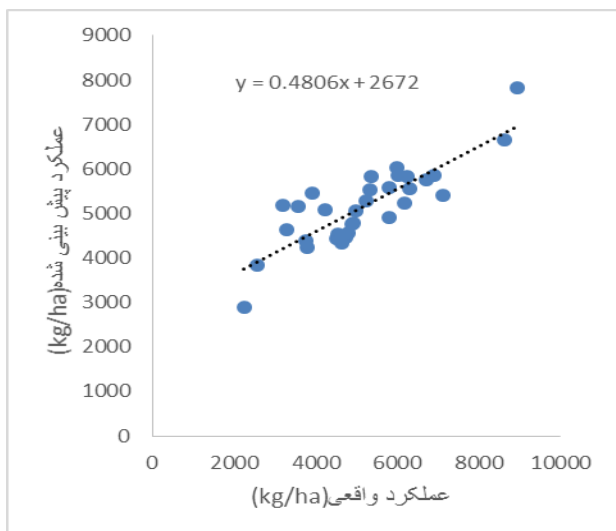
شکل ۷. ارتباط بین شاخص MSAVI و عملکرد



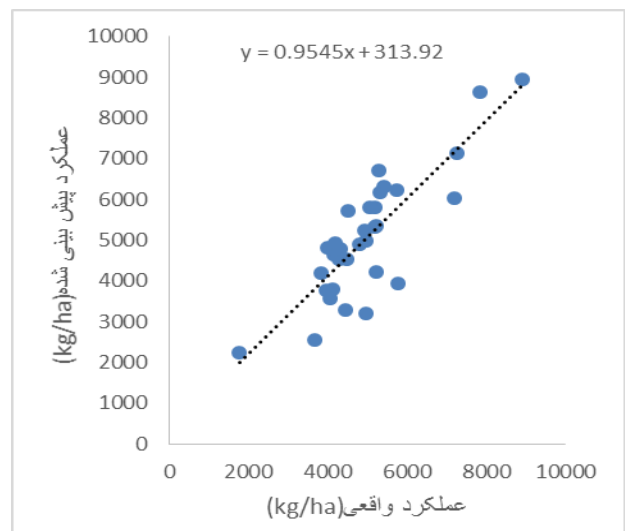
شکل ۱۰. ارتباط بین شاخص LAI و عملکرد



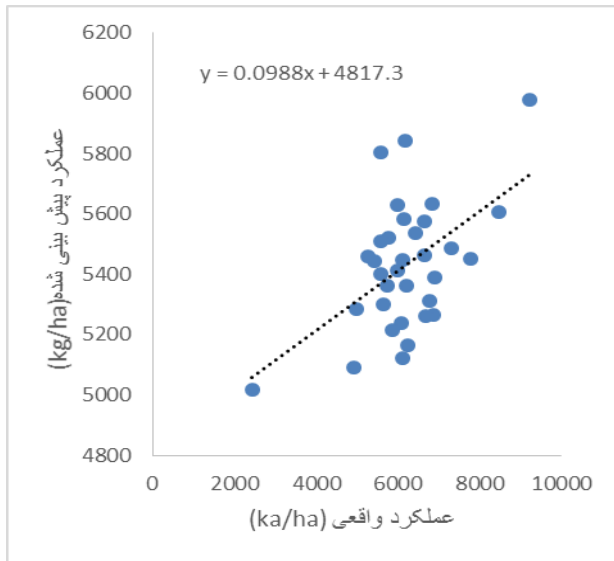
شکل ۹. ارتباط بین شاخص IPVI و عملکرد



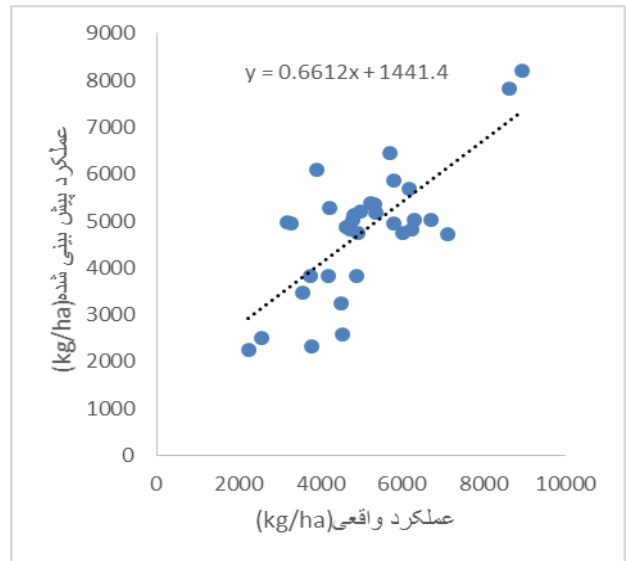
شکل ۱۲. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص SAVI



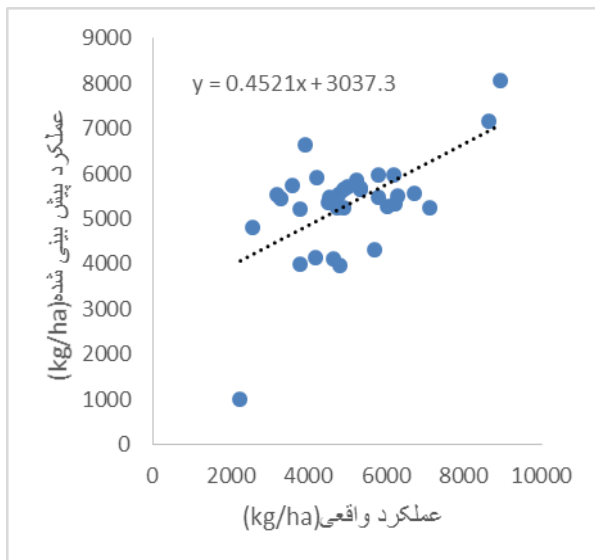
شکل ۱۱. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص NDVI



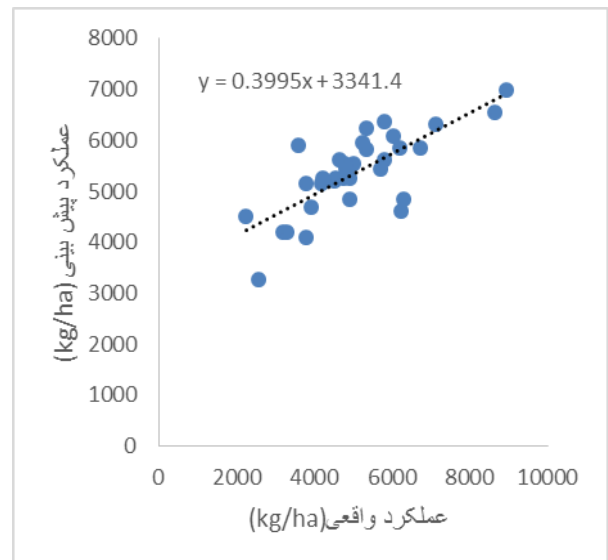
شکل ۱۴. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص TVI



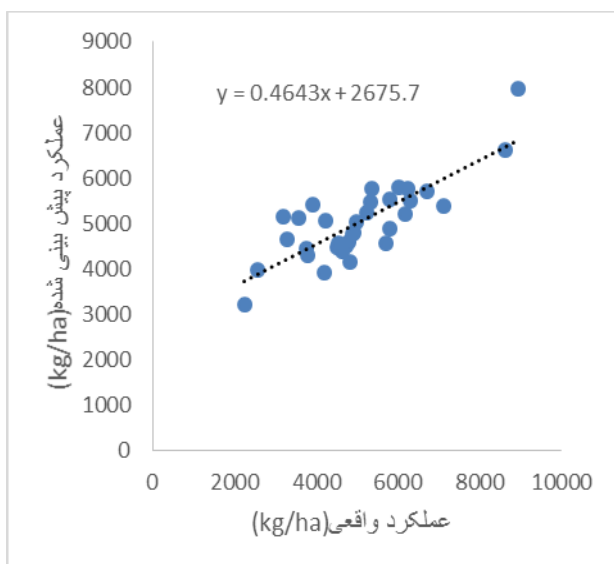
شکل ۱۳. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص RVI



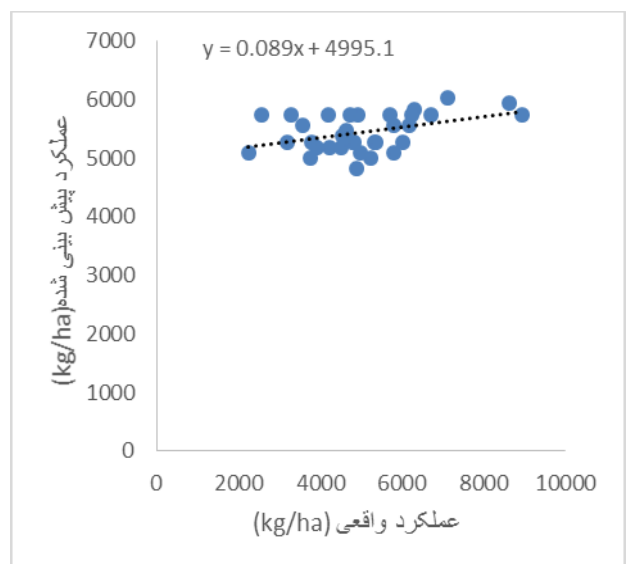
شکل ۱۶. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص IPVI



شکل ۱۵. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص DVI



شکل ۱۸. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص LAI



شکل ۱۷. عملکرد واقعی و پیش‌بینی شده با کمک شاخص MSAVI

جدول ۳. ارزیابی روش‌های مختلف در برآورد عملکرد گندم

شاخص	R ²	معنی‌داری میانگین	معنی‌داری واریانس	MBE (kg/ha)	MAE (kg/ha)	RMSE (kg/ha)	R ²
NDVI	۰/۷۱	۰/۲۵*	۰/۸۶*	-۸۷/۱۳	۶۳۷/۷۸	۷۹۷/۰۳۷	۰/۷۱
SAVI	۰/۷۰	۰/۰۳**	۷/۵۵ ^{ns}	-۱۱/۶۳	۶۸۲/۴۹	۹۰۶/۸۷	۰/۷۰
RVI	۰/۵۳	۰/۷۸*	۰/۶۰*	-۲۷۵/۲۵	۸۰۱/۳۹	۱۰۷۲/۲۲	۰/۵۳
TVI	۰/۲۷	۳/۸۳ ^{ns}	۱۶/۱۵ ^{ns}	-۷۶۶/۸۲	۹۷۶/۲۷	۱۲۷۶/۸۳	۰/۲۷
DVI	۰/۵۶	-۱/۰۱*	۷/۴۳ ^{ns}	۲۹۸/۴۲	۸۸۲/۰۵	۱۰۶۴/۷۱	۰/۵۶
IPVI	۰/۳۵	-۰/۷۹*	۳/۵۰ ^{ns}	۳۰۳/۴۹	۹۷۷/۰۶	۱۲۱۶/۶۹	۰/۳۵
MSAVI	۰/۱۸	-۱/۴۳*	۲۴/۷۳ ^{ns}	۳۷۷/۹۹	۱۰۸۹/۱۶	۱۴۲۲/۶۵	۰/۱۸
LAI	۰/۶۵	۰/۱۲*	۶/۴۸ ^{ns}	-۳۸/۷۷	۷۲۶/۱۷	۹۳۳/۰۳۸	۰/۶۵

** معنی‌داری در سطح ۱ درصد. * معنی‌داری در سطح ۵ درصد. ns عدم تفاوت معنی‌داری

جدول ۵. نتایج بررسی سایر مطالعات

مرجع	معادله	MBE	MAE	RMSE	R ²
Ren et al. (2008)	Yield=(۰/۴۱۶*NDVI)+۲۲۲۴۲	۱۷۱۷۴/۹	۱۷۱۷۴/۹	۱۷۲۳۸/۰۳	۰/۷۱
Singh (2003)	Yield=۳/۳۴۴۵+(۴/۲۵۱۹۴۸*RVI)	۴۰۵۳/۲۷	۴۰۵۳/۲۷	۴۱۸۱/۳۵	۰/۵۴
Singh (2003)	Yield=-۶/۱۸۲۶۷+(۴۴/۸۷۴۱*NDVI)	۱۴۰۶/۲۰	۱۸۱۲/۱۵	۲۶۲۳/۴۰	۰/۷۱
Huang et el	Yield=(۸۷۸/۲۹*LAI)+۳۳۴۸/۶	-۱۵۶۸/۲۴	۱۷۱۳/۷۲	۲۱۱۱/۹۷	۰/۶۶
Hu and mo (2001)	Yield=(۷۴۷/۷۱*NDVI)+۲۳۷۱/۴	-۲۴۸۴/۹۰	۲۴۹۶/۶۱	۲۸۶۵/۶۳	۰/۷۱
Bao et al., 2009	Yield=۴۵/۳۸۵* e ^{۴/۶۴۵ NDVI}	-۳۲۷۰/۹۱	۳۲۷۰/۹۱	۳۴۰۷/۸۲	۰/۶۷

و Singh (2003) به برآورد عملکرد با استفاده از شاخص‌های NDVI و RVI پرداخته‌اند. برآورد عملکرد گندم زمستانه با استفاده از تصاویر مادیس و شاخص سطح برگ نیز مورد توجه بوده است (Huang et el, 2012). تخمین عملکرد بر اساس تصاویر ماهواره و شاخص NDVI توسط محققان دیگری مورد بررسی قرار گرفت (Hu and mo, 2001 و Bao et al, 2009). در این تحقیق نیز معادلات توسعه داده شده توسط دیگر پژوهشگران مذکور با استفاده از اطلاعات عملکرد گندم کشت و صنعت و دامپروری مغان ارزیابی شدند (جدول ۵). نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که کمترین میزان خطا مربوط به معادله توسعه داده شده توسط (Huang et el., 2012) است که عملکرد محصول را با استفاده از شاخص LAI با ضریب همبستگی ۰/۷۱، RMSE، MAE و MBE به ترتیب برابر ۲۱۱۱/۹۶، ۱۷۱۳/۷۲ و ۱۵۶۸/۲۴- کیلوگرم در هکتار تخمین زده است و با نتایج مطالعه حاضر اختلاف بسیار زیادی دارد لذا روابط استخراج شده توسط سایر مطالعات نتایج قابل قبولی را ارائه نمی‌دهند و استفاده از معادلات توسعه داده شده در این نوع مطالعات حتی با اعمال مدیریت و کشت یکسان در مزارع نمی‌توانند برای تخمین عملکرد گندم در دشت مغان مورد استفاده قرار گیرند. از دلایل این اختلاف می‌توان به تنوع آب و هوایی، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مختلف، نوع بذر کشت

با توجه به نتایج بدست آمده بهترین برآورد را شاخص NDVI با ضریب همبستگی ۰/۷۱۳ و RMSE، MAE، MBE و به ترتیب ۶۳۷/۰، ۸۷/۱۳- کیلوگرم در هکتار و شاخص SAVI با ضریب همبستگی ۰/۷۰ و RMSE، MAE، MBE و به ترتیب ۹۰۶/۸۷، ۶۸۲/۴۹ و ۱۱/۶۳- کیلوگرم در هکتار و کمترین برآورد را شاخص MSAVI با ضریب همبستگی ۰/۱۸ و RMSE، MAE، MBE و به ترتیب ۱۴۲۲/۶۵، ۱۰۸۹/۱۶ و ۳۷۷/۹۹ کیلوگرم در هکتار دارا می‌باشند. همچنین نتایج آزمون t نشان داد که اختلاف نتایج شاخص NDVI در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار است (جدول ۴). در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های NDVI، عملکرد گندم زمستانه را در سطح استانی با ۸۰ الی ۷۶۲ کیلوگرم خطا برآورد نمودند و میزان خطا در مقیاس ملی را معادل ۷۳۰ کیلوگرم خطا گزارش کردند (Balaghi et al, 2008). تخمین عملکرد بررسی شاخص‌های مختلف نشان داد که شاخص TVI (شاخص سطح برگ در مرحله اول نمونه‌برداری) به دلیل خطای کمتر RMSE و MAE برابر ۰/۷۱۵ و ۰/۵۸۹ نسبت به دیگر روش‌ها و شاخص‌ها بهترین نقش عملکرد را ارائه می‌دهد (mohammadi et al, 2015).

ارزیابی معادلات سایر پژوهشگران

Ren et al. (2008) به پیش‌بینی تولید محصول برای تخمین عملکرد محصول بر پایه مدل MODIS-NDVI در مقیاس منطقه

که شاخص‌های NDVI، SAVI و LAI مستخرج از تصاویر سنجنده لندست ۸ دقت خوبی در برآورد عملکرد گیاه گندم دارا می‌باشند. لذا استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸ برای تخمین عملکرد محصول برای مزارع تحت کشت گندم در دشت مغان پیشنهاد می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که امکان تخمین میزان عملکرد محصول قبل از برداشت وجود دارد. این توانمندی علاوه بر فراهم آوردن امکان پیش‌بینی میزان درآمد از واحد سطح، قابلیت‌هایی را در اختیار کارگزاران بیمه، مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب، تأمین انبارهای ذخیره، حمل و نقل، اشتغال و تعیین قیمت تضمینی خرید محصول خواهد گذاشت.

REFERENCES

- Aboelghar, M., Arafat, S., Abo Yousef, M., El-Shirbeny, M., Naeem, S., Massoud, A., Saleh, N. (2011). Using SPOT data and leaf area index for rice yield estimation in Egyptian Nile delta. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences* (2011) 14, 81–89.
- Alavi-panah, S.K., Matinfar, H.R., and Rafiei emam, A. (2008). Application of Information Technology in Earth Sciences. *Tehran University press*. 472 p. (in farsi)
- Asrar, G.M., Fuchs, E.T., and Kanemas. (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. *Agr. J.* 76: 300-306.
- Balaghi, R., Tychon, B., Eerens, H., Jlibene, M., (2008). Empirical regression models using NDVI, rainfall and temperature data for the early prediction of wheat grain yields in Morocco. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10 (2008) 438–452.
- Bao, Y., Gao, W., and Gao, Z. (2009). Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing data at various spatial and spectral resolutions. *Earth Sci.* 3(1):118–128.
- Darvish zadeh, R., Motakan, A.A., and Eskandari, N. (2011). Evaluation of ALOS-AVNIR-2 spectral indices for prediction of rice biomass. *Journal. Geograph. Land.* 14:61-73. (in farsi).
- Huang, L., Yang, Q., Liang, D., Dong, Y., Xu, X., and Huang, W. (2012). The Estimation of Winter Wheat Yield Base on MODIS Remote Sensing Data. *International Federation for Information Processing*. pp. 496–503.
- Mohammadi, E., Kamkar, B., and Abdi, O. (2015). Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield prediction in some of growing stages (A case study: Nemooneh field, Golestan province). *Electronic journal of crop production*. Vol. 8(2) Page 51-76
- Ren, J., Chen, Z., Zhou, Q., Tang, H. (2008). Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10 (2008) 403–41.
- Sanaeinejad, H., Shah Tahmasebi, A.R., Sadr Abadi Haghghi, R., and Kelarestai, K. (2008). A study of spectral reflection on wheat fields in Mashhad using MODIS data. *J.f Sci. Technol. Agri. Nat. Res.* 45:11-19. (in farsi).
- Sánchez, N., González, R., Prado, J., Martínez-Fernández, J., and Pérez-Gutiérrez, C. (2006). Estimating vegetation parameters of cereals using an Aster 1A Image. Commission VII, WGVI/1, Spain.
- Sawasawa, H.L.A. (2003). Crop yield estimation: integration RS, GIS and management factors. ITC, International Institute for Geo-information science and earth observation enschede, The Netherlands.
- Singh, R. (2003). Crop Yield Estimation And Forecasting Using remote Sensing Indian. *Agricultural statistics research*. institute, new delhi-11012.
- Weiss, J.L., Gutzler, D.S., Allred Coonrod, J.E., and Dahm, C.N. (2004). Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico. USA. *J. Arid Environ.* 58: 248–271.
- Fatemi, B., and Rezaei, Y. (2006). Basic of Remote Sensing. *Azade publication*. 257 p. (in farsi)
- Franch, B., Vermote, E.F., Becker-Reshef, I., Claverie, M., Huang, J., Zhang, J., Justice, C., Sobrino, J.A. (2015). Improving the timeliness of winter wheat production forecast in the United States of America, Ukraine and China using MODIS data and NCAR Growing Degree Day information. *Remote Sensing of Environment* 161 (2015) 131–148.
- Hu, Sh., Mo, X. (2001). Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. *Ecological Modelling* 222 (2011). PP 2530–2541
- Jiang, J., Suozhong, C., Shunxian, C.A.O., Hongan, W.U., Li, Z., and Hailong, Z. (2005). Leaf area index retrieval based on canopy reflectance and

شده، نوع عملیات کاشت، داشت و برداشت، نوع کود مصرفی، نوع سیستم‌های آبیاری، میزان تلفات محصول هنگام برداشت در منطقه مورد مطالعه اشاره کرد.

نتیجه‌گیری کلی

گندم از جمله گیاهان استراتژیک کشور می‌باشد که تخمین مقدار تولید محصول در سطح منطقه‌ای، امکان برنامه‌ریزی دقیق‌تری را فراهم می‌آورد. لذا در این تحقیق هشت شاخص گیاهی NDVI، SAVI، RVI، DVI، IPVI، MSAVI، TVI و LAI برای تخمین عملکرد مورد توجه قرار گرفته و نتایج بررسی انواع شاخص‌های گیاهی مورد مطالعه در این پژوهش نشان داد

- vegetation index in eastern China. *Journal. Geograph. Sci.* 15: 247-254.
- Kanooni, A. (2005). Evaluation of Furrow Irrigation Efficiency under Different Management in Moghan Region. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 8(2). 17-32 (in farsi)
- Kazemi Poshtmasari, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh., and sadeghi, S. (2012). Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands of Golestan province. *Water Soil Sci.* 22(1): 201-218. (in farsi)
- Liu, R., Chen, J.M., Liua, F., Deng, R., and Sunk. D. (2007). Application of a new leaf area index algorithm to China's land mass using MODIS data for carbon cycle Research. *J. Environ. Management.* 85: 649-658.