تخمین عملکرد زراعی گندم با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره ای

چکیده

در این پژوهش، به بررسی توانایی شاخص های طیفی در تخمین عملکرد محصول گندم به عنوان یکی از محصولات مهم در کشاورزی در کشور پرداخته شده است. داده های میدانی اطلاعات عملکرد گندم در طول چندین دوره زراعی استخراج شد.همچنین تصاویری از ماهواره لندست۸ و سنتینل۲ که از نظر زمانی نزدیکترین به زمان اخذ داده های میدانی بودند، تهیه گردید و جهت استخراج و تعیین شاخص های گیاهی مورد استفاده قرار گرفتند. تصاویر این سنجنده ها به دلیل توان تفکیک زمینی بالا و سهولت دسترسی به تصاویر آن، نتایج کاربردی قابل قبولی را ارائه نمودند.در این پژوهش پنج شاخص اصلی گیاهی برای تهیه نقشه مطلوب عملکرد گندم استفاده شد. نتایج به دست آمده نشان داده که شاخص NDVI با ضریب تبیین ۰/۷۱و میانگین مربعات خطای ۷۹۷/۰۳۷ کیلوگرم در هکتار نسبت به سایر شاخص های گیاهی از دقت بالاتری در تخمین عملکرد برخوردار است.نتایج به دست آمده نشان می دهد که امکان تخمین قابل قبول عملکرد گندم پیش از برداشت محصول، با استفاده از تصاویر سنجنده لندست ۸ و سنتینل۲ وجود دارد و مدیران در حوزه کشت و صنعت،حوزه منابع آب، تأمین غذا، بیمه کشاورزی، حمل و نقل و اشتغال میتوانند از این قابلیت بهره مند شوند.

کلمات کلیدی:

تخمین عملکرد گندم، لندست۸، سنتینل۲، شاخص های گیاهی

***نویسنده مسئول**

مقدمه

گندم یکی از محصولات مهم در کشاورزی است که از نظر تامین ماده غذایی و سیاست استقلال کشاورزی، جایگاه ویژه ای دارد. جمعیت ایران در حدود یک درصد جمعیت جهان است و در حدود دو و نیم درصد گندم جهان را مصرف می کند. این آمار بیانگر اهمیت این محصول در کشور است. این گیاه دارای بیشترین سطح زیر کشت در کشور است، به طوری که حدود ۷۰-۶۰ درصد اراضی زیر کشت محصولات زراعی در کشور به گندم اختصاص دارد [۱]. امروزه روش های مختلفی برای بررسی و تخمین عملکرد گندم و سایر محصولات زراعی مورد استفاده قرار می گیرند که از آن جمله میتوان به سنجش از دور اشاره کرد.

امروزه کشاورزی نقش بسیار مهمی در مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی جوامع دارد. بنابراین موضوع مدیریت محصولات کشاورزی، به عنوان هدف اصلی در تامین حفاظت از منابع غذایی برای مردم کشورها بیان شده است. در این راستا دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد کشت، برآورد تبخیر و تعرق و پیش بینی میزان عملکرد محصول ضروری و مورد توجه و تاکید دولت ها است. در این زمینه، ابزارهای مختلفی از جمله سنجنده ها و سکوهای سنجش از دور برای تولید و دستیابی به این اطلاعات مورد استفاده قرار می گیرند. هدف از ارزیابی محصولات کشاورزی در مطالعات سنجش از دور، دستیابی به اطلاعات در طول فصل رشد می باشد. در توصیف شرایط محصول می توان به قابلیت رشد یک محصول اشاره کرد که ارتباط مستقیمی با عملکرد آن دارد. با شاخص هایی مانند پوشش گیاهی، سطح برگ، مقدار آب گیاه، کلروفیل و... عملکرد محصول را می توان مورد سنجش قرار داد. بنابراین برای دستیابی به شرایط محصول و پیش بینی عملکرد آن، لازم است تا هر یک از شاخص های ذکر شده به مراحل رشد آن محصول ارتباط داده شود که باعث شده است موضوع پایش محصولات برای کنترل رشد و عملکرد آنها در طول دوره رشد ضروری تلقی شود.

در سالهای اخیر استفاده از اطلاعات و روش های سنجش از دور در جهان تحول شگرفی در کسب اطلاعات مربوط به منابع مختلف زیستی و مدیریت بهینه آنها ایجاد کرده است. با استفاده از سنجش از دور به دلیل در دسترس بودن داده ها، میتوان نقشه های عملکرد محصول را با شفافیت بالا و هزینه کم به دست آورد. سنجش از دور یک ابزار قوی برای شناسایی و تخمین عملکرد محصولات کشاورزی بوده و یک هدف کاربردی آن به دست آوردن اطلاعات برای مدلسازی عملکرد محصولات و شبیه سازی آنها است.

ضرورت مطالعه

هدف از پایش محصولات کشاورزی در مطالعات سنجش از دور این است که اطلاعات در طول فصل رشد را به دست آوریم .در توصیف شرایط محصول میتوان به قابلیت رشد و یا سلامت یک محصول اشاره کرد که ارتباط مستقیمی با عملکرد آن دارد .با شاخص هایی مانند پوشش گیاهی، سطح برگ، مقدار آب گیاه،کلروفیل و ... عملکرد محصول را می توان مورد سنجش قرار داد .بنابراین برای دستیابی به شرایط محصول و پیش بینی بازدهی آن، باید هر یک از شاخص های ذکر شده به مراحل رشد آن محصول ارتباط داده شود .از طرفی تغییر در شرایط محصول وخاک از یک روز به روز بعد و در طول فصل رشد، باعث تغییر در نماد طیفی محصول میشود .چنین مساله ای موضوع پایش محصولات را به منظور کنترل رشد و بازدهی آنها در طول دوره رشد ضرورتی خاص بخشیده است. [۲]، [۳]،[٤]، [٥]، [٦].

اهداف مطالعه

با انجام این پژوهش در راستای ارائه راه کاری علمی، ارزان، سریع و دقیق با استفاده از فناوری های سنجش از دور بوده،دستیابی به اهداف زیر مد نظر بوده است:

۱-بررسی تاثیر دقت تصاویر ماهواره ای در برآورد میزان عملکرد گندم

۲-بررسی همبستگی شاخص های گیاهی با عملکرد گندم

مروری بر مطالعات گذشته

در زمینه موضوع مورد مطالعه، بررسی منابع نشان می دهد که مطالعات زیر ا نجام شده که به طور اختصار به بعضی از آنها اشاره می شود:

در حال حاضر کشاورزی نقش بسیار حساسی در مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی جوامع دارد. بنابراین، موضوع مدیریت محصولات کشاورزی، به عنوان روش اصلی و محوری در تامین حفاظت از منابع غذایی برای مردم کشورها تبیین شده است. در این راستا دستیابی به اطلاعات قابل اعتماد کشت، برآورد تبخیر و تعرق و پیشبینی میزان عملکرد محصول ضروری و مورد توجه و تاکید دولت ها است. در این راستا ابزارهای مختلفی از جمله سنجنده ها و سکوهای سنجش از دور برای تولید و دستیابی به این اطلاعات مورد استفاده قرار میگیرد [۷].

سنجش از دور یک توانایی اثبات شده برای انجام اندازه گیری پیوسته مکانی از خصوصیات محصول و مزرعه است)منگ و همکاران،۲۰۱۳). مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد شاخص های گیاهی سنجش از دور و ورود آنها به عنوان یک متغیر مستقل در مدل، باعث بهبود دقت آن در مطالعات فنولوژیکی و تعیین عملکرد محصولات مختلف می شود [۸] .بنابراین استفاده از شاخص های گیاهی سنجش از دور میتواند در توانایی پیش بینی مراحل فنولوژیکی و رسیدگی محصولات موثر باشد و تحقیقات ساکاماتو و همکاران [۹] و بائو و همکاران [۱۰] نیز موید این مطلب می باشد.

در تحقیقی تقی زاده و همکاران [۱۱] برای تخمین تاریخ برداشت بهینه محصول گندم در دشت قروه استان کردستان از داده های ماهواره لندست ۸ در دو سال ۹۴و۹۵ استفاده کردند. ارزیابی مدل های خروجی این پژوهش نشان داد که در هر دو سال تصاویر همزمان با دوره فنولوژیکی خمیری شدن دانه قابلیت بیشتری برای پیشبینی تاریخ بهینه برداشت را داشتند و مدل رگرسیونی با استفاده از داده های دو سال با ضریب همبستگی ۰/۸۹۱ و میانگین مربعات خطا برابر با ۱/۵۹برای پیش بینی تاریخ برداشت بهینه به دست آمد.

روش تحقیق

مراحل تعیین عملکرد محصول شامل هفت مرحله بازدید از منطقه، دریافت داده های میدانی، اخذ تصاویر ماهواره ای، تعیین شاخص ها، به دست آوردن رابطه بین شاخص ها و عملکرد محصول، ارزیابی روابط به دست آمده و مقایسه نتایج با تحقیقات سایر محققان بوده است. هر یک از مراحل شامل روش های پیش پردازش، پردازش و پس پردازش داده ها است که توضیح داده خواهد شد.

پیش پردازش داده ها

پیش پردازش داده ها شامل تصحیح های رادیومتری می باشد.خطاهای اتمسفری آن دسته از خطاهای رادیومتری هستند که به علت تأثیر اتمسفر بر انرژی امواج الکترومغناطیس به وجود می آیند. اولین اثر اتمسفر کاهش کنتراست تصویر و در نتیجه ضعیف شدن قدرت آشکارسازیتصویر و پنهان شدن جزئیات آن است.روش های کلی تصحیح اتمسفری در نرم افزار ENVI 5.3 عبارت اند از: کاهش تیرگی ، سطح مسطح ، باقیمانده های لگاریتمی ، انعکاس نسبی میانگین درونی و آنالیز طیفی فوق مکعبی با استفاده از آنالیز سریع خط دید جوی (FLAASH).

پردازش داده ها

شاخص های ماهواره های لندست و سنتینل

شاخص های لندست پایه که شامل شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI) ،شاخص گیاهی نسبتی (RVI)، شاخص گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (SAVI)،شاخص گیاهی تفاضلی (DVI)،شاخص گیاهی سطح برگ (LAI) می باشد.از آنجایی که تاکنون بررسی روی تصاویر چند طیفی ماهواره سنتینل ۲-برای تخمین عملکرد محصولات کشاورزی صورت نگرفته است و با توجه به شباهت های باندی که بین تصاویر لندست۸ و سنتینل۲ وجود دارد، در این مطالعه شاخص هایی بر مبنای شاخص های تخمین عملکرد لندست پایه برای تصاویر چند طیفی سنتینل۲ پیشنهاد شده است .

تعیین مدل بهینه برای تخمین عملکرد گندم

برای تعیین عملکرد گندم رگرسیون خطی بین میزان عملکرد اندازه گیری شده از روش مزرعه ای و مقادیر شاخص های گیاهی در پیکسل مورد نظر برقرار شد و نمودار همبستگی خطی آن ترسیم شد. سپس معادله خط مورد نظر به عنوان مدل تخمین عملکرد و شاخص گیاهی به عنوان متغیر آن در نظر گرفته شد. پس از آن ضریب تبیین R^2 برای هر یک به دست آمد که بیان کننده مقدار همبستگی بین مقادیر واقعی (مزرعه ای) و مقدار بهدست آمده بر اساس شاخص گیاهی مورد نظر بود. همچنین RMSE برای هر یک از شاخص های گیاهی به دست آمد. لذا شاخصی که بالاترین R^2 و کمترین RMSE را داشت، به عنوان بهترین شاخص برای تعیین میزان عملکرد انتخاب گردید.

نمونه برداری مزرعه ای

ثبت موقعیت مکانی

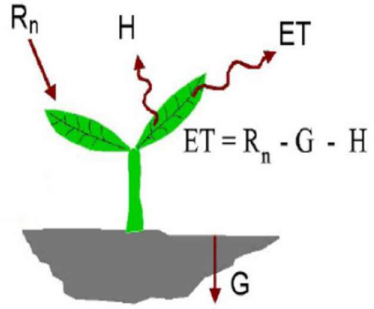
محاسبه پارامترهای برآورد تولید گندم

جمع آوری داده های عملکردی شامل عملکرد و اجزا عملکرد گندم در مزارع مورد نظر

برآورد روش زمینی

نحوه محاسبه پارامترهای موجود در الگوریتم بیلان انرژی سطحی(مدل سبال)

این تحقیق از الگوریتم سبال به عنوان الگوریتم بیلان انرژی جهت تعیین تبخیر و تعرق واقعی استفاده شد .اساس این روش استفاده از معادله توازن انرژی و محاسبه مقدار شار لحظه ای گرمای نهان تبخیر به عنوان باقیمانده معادله بیلان انرژی سطح برای هر پیکسل در یک تصویر می باشد که در آن R_nتابش خالص به سطح مورد نظر،G شار گرمای خاک،H شار گرمای محسوس و ET شار گرمای نهان را نشان می دهد [۱۲].



شکل۱،موازنه انرژی و مولفه های انرژی مصرفی

به منظور ارزیابی دقت روش ها دو معیار ارزیابی، ریشه میانگین مربعات خطا و ضریب تعیین (تبیین)مورد استفاده قرار گرفت.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_m)^2}{n}} \qquad (۱)$$

که در آن $Xi-Xm$ اختلاف بین مقادیر حاصل از سنجش از دور با روش تجربی و n تعداد کل داده ها است.

$$R^2 = \frac{SSR}{SST} = \frac{\sum(\hat{y} - \bar{y})2}{\sum(y - \bar{y})\,2} \qquad (۲)$$

که در آن SST مجموع توان دوم خطاها زمانی که از متغیرهای مستقل X (ها)استفاده نمیشود و SSR مجموع توان دوم رگرسیون و کاهش در مجموع توان دوم خطاها به خاطر استفاده از متغیرهای مستقل X (ها)را نشان می دهد.

نتایج و بحث

برای انجام این تحقیق به تصاویر بدون ابر از سنجنده لندست۸ و سنتینل 2a 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 تخمین های با دقت قابل قبول با فاصله زمانی زیاد نسبت به زمان برداشت محصول است که با نزدیک شدن به دوران ابتدایی رشد انتظار می رود 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 می رفت نتایج بسیار مناسبی حاصل گردید .

تعیین رابطه عملکرد محصول و شاخص ها

این پژوهش دارای دو بخش مجزا می باشد. در بخش اول داده ها به دو گروه داده های مورد استفاده برای تخمین عملکرد و داده های مورد نیاز برای ارزیابی عملکرد تقسیم شدند. رابطه بین مقدار عملکرد محصول و شاخص های گیاهی از طریق برازش بهترین معادله به دست آمد و در نهایت از این معادله جهت تخمین مقدار عملکرد استفاده شد . شکل ۲ بیانگر نتایج حاصل از بررسی رابطه ی بین مقدار عملکرد محصول و مقادیر شاخص NDVI می باشد[۸].

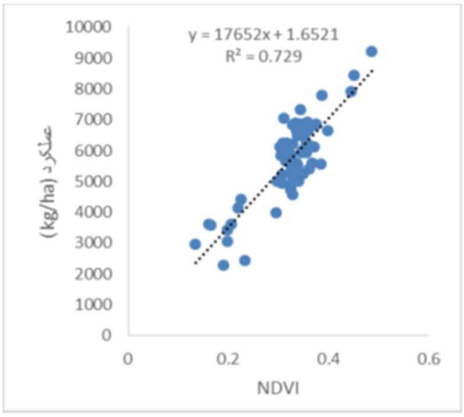
در بخش دوم معادلات توسعه داده شده توسط محققان دیگر برای تخمین مقدار تولید گندم مورد ارزیابی قرار می گیرد و بهترین معادله شناسایی می شود.

بهترین ارتباط بین شاخص های NDVI و SAVI و عملکرد گندم به ترتیب با R^2 برابر۰/۷۲ و ۰/٦۷ به دست آمد و ضعیف ترین رابطه بین شاخص TVI و عملکرد گندم با R^2 برابر ۰/۰۲۳می باشد.

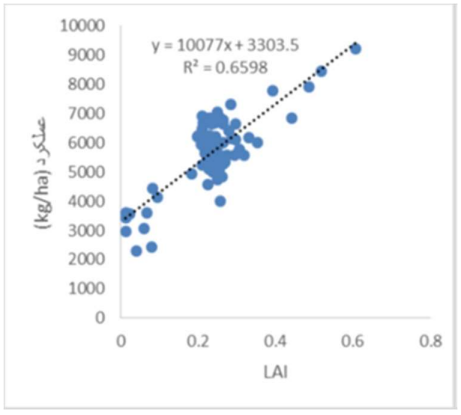
درویش زاده و همکاران [۱۳]،شاخص DVI را که از باندهای قرمز و مادون قرمز دور بدست می آید به عنوان شاخص مطلوب جهت تخمین بیوماس گیاهی پیشنهاد کردند.

صناعی نژاد و همکاران[۱٤]،ویس و همکاران[۱٥]، اسرار و همکاران [۱٦]، نیز در مطالعات خود دقت بالای شاخص گیاهی NDVI جهت بررسی پوشش گیاهی را گزارش کردند.

در مرحله ی 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 ۳ و جدول ۱ ارائه شده است [۸].



شکل۲.ارتباط بین شاخص **NDVI** *و عملکرد*



شکل۳.ارتباط بین شاخص *LAI* و عملکرد

جدول۱. نتایج بررسی سایر مطالعات

R^2	RMSE	MAE	MBE	معادله	مرجع
۰/۷۱	۱۷۲۳۸/۰۳	۱۷۱۷٤/۹	۱۷۱۷٤/۹	Yield=(۰/٤۱٦* NDVI)+۲۲۲٤۲	Ren et al.(2008)
۰/٥٤	٤۱۸۱/۳٥	٤۰٥۳/۲۷	٤۰٥۳/۲۷	Yield = ۳/۳٤٤٥+(٤/۲٥۱۹٤۸* RVI)	Singh (2003)
۰/۷۱	۲٦۲۳/٤۰	۱۸۱۲۱٥	۱٤۰٦/۲۰	Yield= -٦/۱۸۲٦۷+(٤٤ /۸۷٤۱*NDVI)	Singh (2003)
۰/٦٦	۲۱۱۱/۹۷	۱۷۱۳/۷۲	-۱٥٦۸/۲٤	Yield=(۸۷۸ /۲۹ *LAI)+ ۳۳٤۸/٦	Huang et el
۰/۷۱	۲۸٦٥/٦۳	۲٤۹٦/٦۱	-۲٤۸٤/۹۰	Yield=(۷٤۷/ ۷۱*NDVI)+ ۲۳۷۱ /٤)	Hu and mo (2001)
۰/٦۷	۳٤۰۷/۸۲	۳۲۷۰/۹۱	-۳۲۷۰/۹۱	Yield= ٤٥/۳۸٥*$e^{٤/٦٤٥NDVI}$	Bao et al.,2009

ارزیابی معادلات سایر پژوهشگران

رن و همکاران [۱۷] به پیش بینی تولید محصول برای تخمین عملکرد محصول بر پایه مدل MODIS-NDVI در مقیاس منطقه و سینق[۱۸] به برآورد عملکرد با استفاده از شاخص های NDVIو RVI پرداخته اند .برآورد عملکرد گندم زمستانه با استفاده از تصاویر مادیس و شاخص سطح برگ نیز مورد توجه بوده است [۱۹].نتایج بدست آمده نشان می دهد که کمترین میزان خطا مربوط به معادله توسعه داده شده توسط هانگ و همکاران (۲۰۱۵) است که عملکرد محصول را با استفاده از شاخص LAI با ضریب همبستگی ۷۱ /۰، RMSE ، MAE و MBE به ترتیب برابر ۲۱۱۱/۹٦، ۱۷۱۳/۷۲، ۱٥٦۸/۲٤ کیلوگرم در هکتار تخمین زده است و با نتایج مطالعه حاضر اختلاف بسیار زیادی دارد. از دلایل این اختلاف می توان به تنوع آب و هوایی، استفاده از تصاویر ماهواره ای مختلف، نوع بذر کشت شده، نوع عملیات کاشت، داشت و برداشت، نوع کود مصرفی، نوع سیستم های آبیاری، میزان تلفات محصول هنگام برداشت در منطقه مورد مطالعه اشاره کرد[۱۹].

مراجع:

۱. بی نام. آمار نامه کشاورزی سال زراعی سال ۹٦-۱۳۹٥. ۱۳۹۷.

2. Mosleh, M.K., Q.K. Hassan, and E.H. Chowdhury, Application of remote sensors in mapping rice area and forecasting its production: A review. Sensors, 2015. 15(1): p. 769-791.

3. Soria-Ruíz, J. and Y. Fernández-Ordoñez, Prediction of corn yield in Mexico using vegetation indices from NOAA-AVHRR satellite images and degree-days. Geocarto International, 2003. 18(4): p. 33-42.

4. Nuarsa, I., F. Nishio, and C. Hongo, Rice yield estimation using Landsat ETM+ data and field observation. Journal of Agricultural Science, 2012. 4(3): p. 45.

5. Propastin, P. and M. Kappas, Modeling net ecosystem exchange for grassland in Central Kazakhstan by combining remote sensing and field data. Remote Sensing, 2009. 1(3): p. 159-183.
6. Prasad, A.K., et al., Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2006. 8(1): p. 26-33.
7. Moriondo, M., F. Maselli, and M. Bindi, A simple model of regional wheat yield based on NDVI data. European Journal of Agronomy, 2007. 26(3): p. 266-274.
8. Kamali, G.A., H. Momenzadeh, and D.M. VAZIFE, Study of wheat yield production over Esfahan province during periods of dry and wet years using MODIS satellite data. 2011.
9. Sakamoto, T., et al., A crop phenology detection method using time-series MODIS data. Remote sensing of environment, 2005. 96(3-4): p. 366-374.
10. Bao, Y., W. Gao, and Z. Gao, Estimation of winter wheat biomass based on remote sensing data at various spatial and spectral resolutions. Frontiers of earth science in China, 2009. 3(1): p. 118.
11. Almhab, A.A. and I. Busu. Estimation of Evapotranspiration with Modified SEBAL model using landsat-TM and NOAA-AVHRR images in arid mountains area. in 2008 Second Asia International Conference on Modelling & Simulation (AMS). 2008. IEEE.
12. Darvishzadeh, R., A.A. MATKAN, and N. Eskandari, Evaluation of ALOS-AVNIR2 spectral indices for prediction of rice biomass. 2011.
14. Sanaienejad, S.H., et al., A study of spectral reflection on wheat fields in Mashhad using MODIS data. JWSS-Isfahan University of Technology, 2008. 12(45): p. 11-19.
15. Weiss, J.L., et al., Long-term vegetation monitoring with NDVI in a diverse semi-arid setting, central New Mexico, USA. Journal of Arid Environments, 2004. 58(2): p. 249-272.
16. Asrar, G.Q., et al., Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat 1. Agronomy journal, 1984. 76(2): p. 300-306.
17. Ren, J., et al., Regional yield estimation for winter wheat with MODIS-NDVI data in Shandong, China. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2008. 10(4): p. 403-413.
18. Singh, R.K. and A. Irmak, Treatment of anchor pixels in the METRIC model for improved estimation of sensible and latent heat fluxes. Hydrological sciences journal, 2011. 56(5): p. 895-906.
19. Huang, J., et al., Improving winter wheat yield estimation by assimilation of the leaf area index from Landsat TM and MODIS data into the WOFOST model. Agricultural and Forest Meteorology, 2015. 204: p. 106-121.

Estimation of Wheat Crop Yield Using Satellite Image Processing

Leila Hassanzadeh[1*], Vali Rasooli Sharabiani[2], Asadollah Mirasi[3], Ghafoor Aghgaie[4]

1. M.Sc. student of Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Iran. (leila.hassanzadeh1994@gmail.com)
2. Associate Professor, Department of Biosystem Engineering, University of Mohaghegh Ardabili .(vrasooli@uma.ac.ir)
3. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Shahrekord Branch. (vrasooli@gmail.com)
4. M.Sc. of Agriculture in Ardabil Jihad Agricultural Organization (agaie.gh@gmail.com)

Abstract

In this study, the ability of spectral indices in estimating the yield of wheat, as one of the important products in agriculture in the country, has been investigated. Field data of yield information was extracted during several crop growth stages. Also, images from Landsat 8 and Sentinel 2 satellites, which were the closest to the time of field data collection, were prepared and used to extract and determine plant indices. The images of these sensors due to the high ground resolution and ease of access to the images, provided acceptable practical results. In this study, five main plant indicators were used to prepare the optimal map of wheat yield. The results show that the NDVI index with a coefficient of determination of 0.71 and an average error of 797.0377 kg / ha has a higher accuracy in estimating the yield than other crop indices. The results show that the possibility of estimation of wheat yield before harvest, using Landsat 8 and Sentinel 2 sensor images was acceptable, which managers in the fields of agricultural industry, water resources, food supply, agricultural insurance, transportation and employment can benefit from this feature.

Key words: Wheat yield estimation; Landsat 8; Sentinel 2; Plant Indices;