



پیش‌بینی عملکرد گیاه برنج - رقم طارم هاشمی با استفاده از داده‌های دورسنجی و مدل گیاهی

فاطمه جعفری صیادی

دکتری رشته مهندسی آب، گرایش آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
jafarisayadif@gmail.com

چکیده:

امروزه یکی از شاخص‌های امنیت با تضمین تولید محصولات کشاورزی اساسی فراهم می‌شود. اهمیت برنج به‌عنوان محصولی که در سبد غذایی خانوار ایرانی قرار دارد بر کسی پوشیده نیست. کشت برنج به دلیل تاثیرگذاری بر امنیت غذایی فراوان دارد. امروزه توسعه فناوری‌های مختلف در حوزه کشاورزی، مسیر جدیدی را برای پژوهش پیرامون برنج گشوده است. پیش‌بینی میزان عملکرد برنج راهکاری است تا بتوان اطلاعات دقیقی از شرایط فعلی داشته و برای پایان فصل برنامه‌ریزی و مدیریت نمود. برای دستیابی به این هدف، در پژوهش حاضر از داده‌های ماهواره سنتینل ۲- و مدل گیاهی AquaCrop در سال زراعی ۱۴۰۰ استفاده شد. مطابق با نتایج این پژوهش، شاخص گیاهی رشد برنج (RGVI) به عنوان شاخص تخصصی شده برنج توانست با میانگین ضریب همبستگی ۸۵ درصد با عملکرد برنج رابطه برقرار کند. به علاوه، با استفاده از رابطه شاخص گیاهی و عملکرد برنج با دقت بالاتری نسبت به مدل گیاهی AquaCrop عملکرد برنج پیش‌بینی شد.

واژگان کلیدی: شاخص گیاهی رشد برنج (RGVI)، ماهواره سنتینل ۲-، مدل AquaCrop.

مقدمه:

امروزه یکی از شاخص‌های امنیت با تضمین تولید محصولات کشاورزی اساسی فراهم می‌شود. سهم زیادی از مبادلات اقتصادی کشورها به خرید و فروش محصولات کشاورزی اختصاص داشته و این امر بازار پر رونقی را برای صنعت کشاورزی فراهم آورده است. روش‌های اصلی برای پیش‌بینی و برآورد عملکرد گیاه شامل روش‌هایی از سطح مزرعه، استفاده از مدل‌های رشد گیاهی، مدل‌های هیدرولوژی کشاورزی و روش‌های سنجش از دور هستند (Valverde-Arias et al., 2020). برآورد عملکرد به صورت تجربی متکی به دخالت عامل انسانی است. این روش به اندازه‌گیری‌های زیاد صحرایی برای جمع‌آوری داده‌ها نیاز داشته و در مقیاس منطقه‌ای پرهزینه، سخت و گاهی غیرممکن است (مختاری، ۱۳۹۰). در صورت صرف وقت و انرژی حتی با فرض دقیق بودن، داده‌های نهایی بسیار دیرتر از زمان مورد نیاز به دست مدیران خواهد رسید. به همین دلیل این داده‌ها بیشتر از اینکه به عنوان ابزار مدیریت در سال جاری استفاده شود به عنوان آمار کشت در سال و یا سال‌های گذشته ارائه می‌شوند. در دهه اخیر مدل‌های گیاهی برای پیش‌بینی عملکرد، نیازهای گیاهی، ارزیابی اقلیم در شرایط مدیریت و محدودیتی مختلف و درک بهتر محصول در این شرایط به‌کار می‌روند (جعفری صیادی، ۱۴۰۰). مدل AquaCrop یکی از ابزارهای توانمند در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان مختلف است که توسط سازمان خوار و بار جهانی توسعه یافته است (Raes, 2017). سادگی، نیاز به کمینه تعداد داده‌های ورودی و دقت قابل قبول از امتیازات این مدل می‌باشد (Steduto et al., 2012). به‌علاوه، فناوری سنجش از دور هم اکنون در زمینه‌های مختلف همچون مدیریت سیلاب، کنترل رودخانه‌های و حوزه‌های آبخیز، پایش محیط‌زیست، کنترل ذخایر آبی، مدیریت جنگلی، مدیریت مرتع و آبخیزداری، مدیریت کشاورزی و عملیات زراعی، اقیانوس‌شناسی، اقلیم‌شناسی و زمین‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فناوری سنجش از دور با



پنجمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه

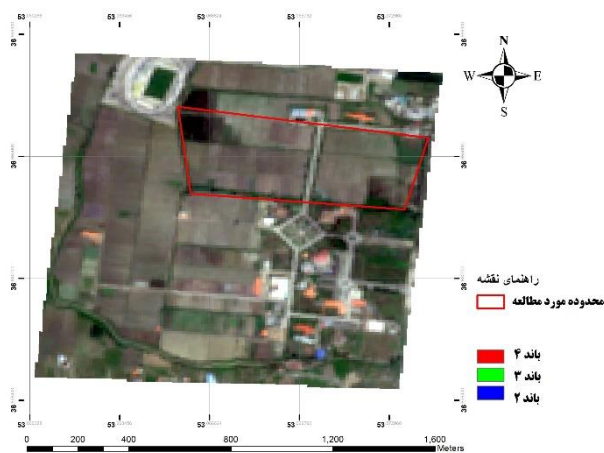


تجزیه و تحلیل انرژی ساطع یا منعکس شده از پدیده‌ها، اطلاعات در مورد آنها کسب می‌شود (معدنچی و همکاران، ۱۳۹۹). استفاده از فناوری دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای، اغلب موجب کاهش هزینه و افزایش دقت و سرعت می‌شود و روز به روز بر اهمیت این فناوری در راستای توسعه پایدار افزوده می‌شود (جعفری صیادی، ۱۳۹۵). امروزه با توسعه این فناوری از داده‌های به‌دست‌آمده در برنامه‌ریزی در بخش کشاورزی استفاده می‌شود. تصاویر ماهواره‌ای می‌توانند در برآورد میزان نیاز آبی، عملکرد گیاهان، شناخت اراضی زراعی، شناسایی خسارت‌های ناشی از هجوم علف هرز، آفات، بیماری‌ها، تگرگ و باد کمک شایانی نماید (مختاری، ۱۳۹۰؛ Garkusha et al., 2020). امروزه ماهواره‌های سنجنش از دوری به صورت گسترده برای انجام پژوهش‌ها در زمینه تخمین محصولات کشاورزی استفاده می‌شوند. یکی از این ماهواره‌ها، سنتینل-۲ بوده که در دو سکوی A و B به ترتیب در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ و ۷ مارس ۲۰۱۷ توسط آژانس فضایی اروپا به فضا پرتاب شده است. سنجنده چندطیفی نصب شده در سکوی سنتینل دارای ۱۲ کانال طیفی با توان تفکیک مکانی ۱۰، ۲۰ و ۶۰ متر است (Hoersch, 2015). این سنجنده به سبب برخورداری از سه کانال لبه قرمز با طول موج‌های متفاوت، امکان پایش بهتر گیاهان را فراهم می‌سازد. علاوه بر این، چند کانال مرئی و مادون قرمز در طول موج مادون قرمز کوتاه نیز به منظور بررسی و مطالعه ذرات معلق، بخار آب، ابرهای سیروسی و گرد و غبار در این سنجنده تعبیه شده است (Parida et al., 2021). قدرت تفکیک زمانی هر کدام از ماهواره ۱۰ روز بوده که با توجه به یکسان بودن سنجنده بکار رفته دو سکو، توان تفکیک زمانی به پنج روز ارتقا یافته است. بررسی خصوصیات گیاهی از طریق تصاویر ماهواره‌ای معمولاً با کمک نمایه‌های گیاهی استخراج شده انجام می‌گیرد. نمایه‌های گیاهی تبدیل‌های ریاضی هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها برای مقاصد گوناگون معرفی شده‌اند (Kumar et al., 2020). این نمایه‌ها به صورت یک عملیات ریاضی ساده مانند جمع، تفریق، نسبت‌گیری و یا دیگر ترکیبات خطی می‌باشند که ارزش هر پیکسل در باندهای مختلف را به یک نمایه عددی تغییر می‌دهند (Wu et al., 2018). پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی عملکرد گیاه برنج با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل ۲ و مدل گیاهی AquaCrop شکل گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

از آنجایی که در این پژوهش استفاده از داده‌های سنجنش از دور اساس کار قرار گرفت، لازم بود منطقه مورد مطالعه دارای گستردگی مطلوب و یکنواختی کشت محصول باشد در نتیجه پژوهش حاضر در شالیزارهای پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری به مساحت ۲۵ هکتار انجام گرفت (شکل ۱) که در آن رقم برنج محلی طارم هاشمی (*Oryza sativa* L.) کشت شده بود. به علاوه رقم برنج کشت شده در اغلب مناطق استان مازندران نیز رقم طارم هاشمی بوده که نتایج حاصل از پژوهش حاضر، قابل تعمیم به دیگر نقاط است. همچنین قرارگیری منطقه مورد مطالعه در محدود دانشگاه امکان تعیین دقیق عملکرد محصول را فراهم نمود.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش تصاویر ماهواره سنتینل ۲ (سنجنده MSI) مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). تصاویر این ماهواره از طریق پایگاه copernicus.eu دریافت شد. باندهای مرئی، فروسرخ نزدیک و فروسرخ میانی در سنجنده مورد نظر بود که پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم روی هر باند با استفاده از نرم افزار ENVI 5.3، اطلاعات باندها برای محاسبه شاخص گیاهی مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱- باندهای مورد نیاز از ماهواره سنتینل-۲

شماره باند	نام باند	علامت اختصاری	طول موج (نانومتر)	اندازه سلول (متر)
۲	آبی	Blue	۴۹۰	۱۰
۴	قرمز	Red	۶۵۰	۱۰
۸	فروسرخ نزدیک	NIR	۸۴۰	۱۰
۱۱	فروسرخ میانی ۱	SWIR1	۱/۶۱	۲۰
۱۲	فروسرخ میانی ۲	SWIR2	۲/۱۹	۲۰

تاریخ تصاویر

با توجه به فصل زراعی گیاه برنج که در منطقه مورد مطالعه از ابتدای خرداد تا نیمه مرداد ادامه می‌یابد پایان دوره پنجه‌زنی و نیمه دوره خوشه‌دهی مبنای انتخاب تصویر مناسب برای تعیین عملکرد قرار گرفت بنابراین دو تصویر در تاریخ‌های ۱۰ و ۲۳ تیرماه ۱۴۰۰ از ماهواره سنتینل-۲ مورد استفاده قرار گرفت که میزان ابرناکی هر دو تصویر کمتر از ده درصد بود.

شاخص‌های گیاهی

یک شاخص گیاهی مناسب برای تشخیص گیاه و ویژگی‌های آن شاخص است که بتواند هرگونه اثر پس‌زمینه را همچون بازتاب از سطح خاک، اثرات اتمسفر، بازتاب از عوارض زمین‌شناسی و حتی حذف بخش‌های غیرفتوسنتز کننده گیاه را به خوبی انجام دهد (کو و همکاران، ۲۰۱۵). به علاوه زمین‌های شالیزاری با داشتن ویژگی‌های مخصوص به خود از جمله وجود آب در پس‌زمینه شالیزار نیازمند شاخص‌های گیاهی مخصوص به خود هستند شاخص گیاهی رشد برنج (رابطه ۱) شاخصی است که با کاربرد تعداد باندهای بیشتر می‌تواند در شناسایی گیاه برنج در کشت شالیزاری مناسب و کاربردی باشد (Nuarsa et al., 2011).



پنجمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



$$RGVI = 1 - \frac{Blue - Red}{NIR + SWIR1 + SWIR2} \quad (1)$$

نمادهای رابطه ۱ در جدول ۱ آورده شده است.

مدل گیاهی

میزان عملکرد در مدل گیاهی AquaCrop از ضرب کردن زیست توده در شاخص برداشت مرجع مطابق رابطه ۲ به دست می آید.

$$Y = f_{HI} \times HI_0 \times B \quad (2)$$

نمادها در رابطه ۲ عبارتند از، Y عملکرد دانه، f_{HI} ضریب تنظیم کننده شاخص برداشت مرجع، HI_0 شاخص برداشت مرجع طی مرحله بلوغ فیزیولوژیک و B زیست توده است.

مدل برای محاسبه رابطه ۲ به داده‌های اقلیمی، اطلاعات گیاهی، مشخصات خاک و داده‌های مدیریت مزرعه و آبیاری نیاز دارد.

آماره‌های ارزیابی

نمایه‌های آماره شامل ریشه میانگین مربعات خطا و خطای نرمال شده به منظور ارزیابی نتایج حاصل از مدل گیاهی، داده‌های سنجش از دور و داده‌های زمینی مطابق روابط ۳ و ۴ مورد استفاده قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$NRMSE = \left(\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - M_i)^2}{n}} \right) \times \frac{100}{\bar{M}} \quad (4)$$

که در آنها S_i مقدار برآورد شده، M_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{M} میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

رابطه شاخص گیاهی و عملکرد گیاهی

با استفاده از داده‌های برداشت شده از مزرعه و شاخص گیاهی RGVI روابط مناسب برای برآورد عملکرد با کمک داده‌های ماهواره سنتینل-۲ در دو تاریخ انتخابی استخراج و در جدول ۲ ارائه شد.

جدول ۲- برآورد عملکرد برنج براساس شاخص‌های گیاهی

r	رابطه RGVI و عملکرد (Y)	تاریخ تصویر
۰/۸۸	$Y = 3.57(RGVI) - 3.13$	۱۴۰۰/۰۴/۱۰
۰/۸۱	$Y = 0.93(RGVI) - 0.53$	۱۴۰۰/۰۴/۲۳

مطابق جدول ۲، ضریب همبستگی بین شاخص گیاهی و عملکرد برنج در تاریخ دهم تیر ماه به دلیل کامل تر بودن پوشش گیاهی و قرار گرفتن گیاه در مرحله پنجه‌زنی بیشتر از مرحله خوشه‌دهی (۲۳ تیرماه) است، در پژوهش Sanaeinejad et al., 2014 اشاره شده است که هرچه پوشش گیاهی کامل تر باشد شاخص‌های گیاهی با عملکرد همبستگی بیشتری خواهند داشت و با قرار گرفتن گیاهی در مراحل پایانی رشد و کاهش سبزیگی پوشش گیاهی همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و عملکرد کاهش می‌یابد.

محاسبه عملکرد برنج

به منظور ارزیابی روابط ذکر شده در جدول ۲، عملکرد برنج با استفاده از روابط محاسبه شد همچنین با هدف ارزیابی دقت مدل گیاهی AquaCrop عملکرد برنج با استفاده از این مدل نیز محاسبه شده و با استفاده از آماره‌های ارزیابی، عملکرد محاسباتی توسط هر روش مورد بررسی قرار گرفت و نتایج ارزیابی در جدول ۳ آورده شد.



پنجمین همایش ملی مدیریت آب در مزرعه



جدول ۳- آماره‌های ارزیابی محاسبه عملکرد برنج به استفاده از شاخص گیاهی و مدل AquaCrop

روش محاسبه عملکرد	تاریخ (دوره زراعی)	RMSE (kg/ha)	NRMSE
شاخص گیاهی RGVI	۱۴۰۰/۰۴/۱۰	۶۰۰	۱۱/۶۱
	۱۴۰۰/۰۴/۲۳	۴۰۰	۱۰/۶۱
مدل گیاهی AquaCrop	پایان دوره زراعی	۷۱۰	۱۲/۸۵

به طور خلاصه آماره‌های ارزیابی در جدول ۳، بیانگر برتری روش سنجنش از دوری بر مدل گیاهی هستند. استفاده از رابطه میان شاخص گیاهی RGVI و عملکرد برنج باعث می‌شود در دوره‌های قبل از برداشت برنج بتوان با دقت بالایی عملکرد برنج را پیش‌بینی نمود در حالی که استفاده از مدل گیاهی زمانی مقدور است که دوره کشت گیاه کامل شده باشد. آماره‌های ارزیابی نشان می‌دهند که با نزدیک‌تر شدن به مراحل پایانی دوره زراعی برنج داده‌های دورسنجی دقت بیشتری در برآورد عملکرد دارند در حالی که مدل گیاهی حتی با پایان یافتن دوره کشت برنج نیز نتوانست دقتی برابر با نتایج سنجنش از دور ارائه کند. در پژوهش Chen and Tao, (2020) به کاربرد همزمان داده‌های سنجنش از دور و مدل‌های گیاهی برای دستیابی به برآوردهای دقیق پیش از زمان برداشت محصول اشاره شده است.

نتیجه‌گیری

اهمیت برنج به‌عنوان محصولی که در سبد غذایی خانوار ایرانی قرار دارد بر کسی پوشیده نیست. امروزه توسعه فناوری‌های مختلف در حوزه کشاورزی، مسیر جدیدی را برای پژوهش پیرامون برنج گشوده است. در پژوهش حاضر تلاش شد تا با استفاده از فناوری سنجنش از دور و مدل گیاهی AquaCrop عملکرد برنج برآورد شود. نتایج نشان داد شاخص تخصصی شده RGVI با میانگین دقت ۸۵ درصد با عملکرد برنج رابطه دارد و استفاده از رابطه شاخص گیاهی و عملکرد منجر می‌شود تا با دقت بالاتری نسبت به مدل گیاهی بتوان عملکرد برنج را محاسبه و حتی پیش‌بینی نمود.

فهرست منابع

- (۱) جعفری صیادی، ف. (۱۳۹۵). کاربرد سنجنش از دور در برآورد سطح زیر کشت و مقدار آب مصرفی برنج. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. مازندران. ایران.
- (۲) جعفری صیادی، ف. (۱۴۰۰). برآورد عملکرد برنج با استفاده از الگوریتم‌های ادغام تصاویر ماهواره‌ای و مدل AquaCrop. رساله دوره دکتری. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- (۳) مختاری، ش. (۱۳۹۰). توسعه و کاربرد یک مدل ساده (VSM) جهت تخمین منطقه‌ای عملکرد برنج با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی، دانشگاه گیلان.
- (۴) معدنچی، پ.، حبیب‌نژاد روشن، م.، شاهدی، ک.، سلیمانی، ک. و فاتحی‌مرج، ا. (۱۳۹۹). بررسی داده‌های سنجنش از دور به منظور پایش رطوبت خاک در استان کرمان. مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد بافت. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۲ (۳). ۷۸۵-۷۹۵.

- 5) Chen, Y. and F. Tao. (2020). Improving the practicability of remote sensing data-assimilation-based crop yield estimations over a large area using a spatial assimilation algorithm and ensemble assimilation strategies. *Agricultural and Forest Meteorology*. 291. 1-14.
- 6) Garkusha, S., Shazhennik, M., Kiselev, E., Chizhikov, V. and Petrushin, A. (2020). Research of rice crop in Krasnodar region by remote sensing data. *Interagromash*, 175. 1-9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017501004>.
- 7) Hoersch, B. (2015). SENTINEL-2 user handbook. European Space Agency (ESA). Europe. 64 P.



- 8) Kumar Oad, V., Xiaohua, D., Arfan, M., Kumar, V., Mohsin, M. S., Saad, S., Lü, H., Azam, M. I. and Tayyab, M. (2020). Identification of Shift in Sowing and Harvesting Dates of Rice Crop (*Oryza sativa* L.) through Remote Sensing Techniques: A Case Study of Larkana District. *Sustainability*, 12 (3586). 1-15. <https://doi.org/10.3390/su12093586>.
- 9) Nuarsa I.W., F. Nishio. and C. Hongo. (2011). Spectral characteristics and mapping of rice plants using multi-temporal Landsat data. *Agricultural Science*, 3: 54–67.
- 10) Parida, B.R., A. Kumar and A.K. Ranjan. (2021). Crop types discrimination and yield prediction using Sentinel-2 data and AquaCrop model in Hazaribagh district, Jharkhand. *Journal of Cartography and Geographic Information*. 21. 1-13.
- 11) Raes, D. (2017). AquaCrop training handbook I. Understanding AquaCrop. FAO
- 12) Sanaeinejad, H., Nassiri Mahallati, M., Zare, H., Salehnia, N. and Ghaemi, M. (2014). Wheat yield estimation using Landsat images and field observation: A case study in Mashhad. *Journal of Plant Production*, 20 (4), 45- 63.
- 13) Steduto, P., T.C. Hsiao., E. Fereres and D. Raes. (2012). Crop yield response to water. FAO, Irrigation and Drainage Paper, 66.
- 14) Valverde-Arias, O.R., Esteve, P., Tarquis, A. M. and Garrido, A. (2020). Remote sensing in an index based insurance design for hedging economic impacts on rice cultivation. *Natural hazards and earth system sciences*, 20. 345-362. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-345-2020>.
- 15) Wu, M., C. Yang, X. Song, W.C. Hoffmann, W. Huang, Z. Niu, C. Wang, W. Li and B. Yu. (2018). Monitoring cotton root rot by synthetic Sentinel-2 NDVI time series using improved spatial and temporal data fusion. *Scientific Reports*. 8. 1-12.

Prediction of rice yield using remote sensing data and crop model

Fatemeh Jafari Sayadi

Ph.D. of water engineering, Irrigation and Drainage, Sari Agricultural and Natural Resources University

Abstract

Cultivation of rice is very important because of its influence on the food security. Forecasting the yield of rice is a way to have accurate information about the current conditions and to plan and manage for the end of the season. In order to achieve this goal, in the current research, the data of Sentinel-2 satellite and the AquaCrop plant model were used in the crop year 2021. According to the results of this research, Rice Growth Vegetation Index (RGVI) as a specialized index of rice was able to establish a relationship with rice yield with an average correlation coefficient of 85%. In addition, by using the relationship between vegetation index and rice yield, rice yield was predicted with higher accuracy than the AquaCrop model.

Keywords: Rice Growth Vegetation Index (RGVI), Sentinel-2, AquaCrop Model.