



برآورد زمان رسیدگی گیاه جو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

رضا ادیبان^{۱*}، سپیده تقی زاده^۲، فرزین پرچمی عراقی^۱، آرش حسین پور^۳

۱. بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران (r.adiban@areeo.ac.ir)
۲. دانش‌آموخته کشاورزی دقیق، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
۳. بخش تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اردبیل، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اردبیل (مغان)، ایران.

چکیده

غلات نقش مهمی در امنیت غذایی انسان دارند. بنابراین، تخمین دقیق زمان رسیدگی برای به حداقل رساندن تلفات در جو لازم است. هدف از این مطالعه پیش‌بینی دقیق زمان رسیدگی جو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بود. داده‌های میدانی از مزارع منطقه درج استان کردستان در غرب ایران نمونه‌برداری شد. همچنین از روش سنجش از راه دور ماهواره‌ای در فصل رشد جو در سال ۱۳۹۶ با استفاده از تصاویر لندست ۸ استفاده شد. در این تحقیق از شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI، SAVI، EVI، EVI2، GreenNDVI، CIgreen و NDWI) به عنوان ورودی در مدل پیش‌بینی استفاده شده است. نتایج نشان داد که تصویربرداری ماهواره‌ای از پتانسیل کافی برای برآورد دقیق زمان برداشت جو برخوردار است. مقادیر R^2 و RMSE بهترین مدل رگرسیون گام‌به‌گام که در این مطالعه مربوط به زمان به خمیری شدن بود، به ترتیب ۰/۷۹۱ و ۱/۳۴ می‌باشد. این روش با تخمین دقیق از مناسب‌ترین زمان برداشت می‌تواند توسط صاحبان مزارع برای مدیریت فرآیند برداشت به‌عنوان یک چالش مهم بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی: سامانه برداشت غلات، سنجش از دور، شاخص‌های گیاهی، لندست ۸

*نویسنده مسئول: r.adiban@areeo.ac.ir



برآورد زمان رسیدگی جو با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

مقدمه

گیاه جو در بیشتر مناطق جهان کشت می‌شود و نسبت به گیاهان خانواده غلات تحمل بیشتری نسبت به تنش‌های محیطی از قبیل خشکی، شوری و غیره دارد و این محصول امروز درصد قابل توجهی از جیره غذایی دامداری‌ها را تشکیل می‌دهد [۱]. در حال حاضر ۵۰ میلیون هکتار از اراضی زیر کشت دنیا مربوط به جو است. از طرفی بیشترین سطح زیر کشت جو در دنیا به ترتیب مربوط به اتحادیه اروپا، روسیه، استرالیا، ترکیه، اکراین، کانادا، قزاقستان، ایران و مراکش است [۲]. جو در ایران پس از گندم به لحاظ سطح زیر کشت رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. تولید پایدار جو مستلزم انتخاب صحیح ارقام زراعی با توجه به شرایط اقلیمی و تناوب‌های زراعی، توجه به ظرفیت مناطق، رعایت پارامترهای به زراعی، تهیه و مصرف به‌موقع و متناسب نهاده‌ها و از همه مهم‌تر، فراهم نمودن ماشین‌آلات مناسب (خاک‌ورزی، داشت و برداشت) و شناخت مراحل رشد جو می‌باشد. مراحل شامل جوانه‌زنی^۱، رشد بذر^۲، پنجه‌زنی^۳، ساقه رفتن^۴، آبستنی^۵، ظهور سنبله^۶، گل‌دهی^۷، شیری شدن^۸، خمیری شدن^۹ و رسیدن^{۱۰} می‌باشد [۳]. هر مرحله از تولید محصول جو با چالش‌هایی همراه است. یکی از چالش‌های تولید محصولات گیاهی در کشور ما، اختلاف زیاد بین عملکرد واقعی و عملکرد قابل حصول (خلأ عملکرد محصول) می‌باشد. اولین قدم برای کاهش خلأ عملکرد محصول، مشخص کردن محدودیت‌های عملکرد در یک ناحیه خاص می‌باشد [۴]. نکاحی و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای تأثیر زمان برداشت را بر روی عملکرد گندم در بندر گز بررسی کردند [۵]. نتایج نشان داد که تاریخ برداشت گندم (از ۱۵ تا ۲۹ خرداد) بر میزان عملکرد تأثیرگذار بوده و هر چه زمان برداشت با تأخیر بیشتری از زمان رسیدگی بذر انجام شود، عملکرد کمتری حاصل خواهد شد. سان و همکاران (۲۰۰۷) تأثیر تاریخ کاشت و برداشت را در تناوب ذرت و گندم بررسی کردند. نتایج بررسی آنان حاکی از آن بود که هر روز تأخیر در برداشت به‌طور متوسط سبب کاهش ۰/۶ درصدی عملکرد می‌شود [۶]. با توجه به این که بخشی از تولید جو کشاورزان در فصل زراعی بعد برای کاشت مورداستفاده قرار می‌گیرد، تاریخ برداشت بهینه جهت نیل به درصد بیشینه جوانه‌زنی در فصل بعد زراعی نیز اهمیت دوچندان دارد. تاکنون روش‌ها و مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی و تعیین مراحل مختلف رشد محصولات کشاورزی ایجاد شده که در آن‌ها از پارامترهای هواشناسی، خاکشناسی و نیز اطلاعات مزرعه‌ای استفاده گردیده است. به‌طور کلی، تغییرات درجه حرارت، میزان بارش باران و نوع خاک فاکتورهای مهمی هستند که باعث تغییر در مراحل رشد و نیز میزان تولید گیاهان در مقیاس ملی، استانی و منطقه‌ای می‌شوند و در نتیجه اثر مهمی بر روی درآمد کشاورزان دارند [۷].

یکی از روش‌های تشخیص مرحله فنولوژیک گیاهان استفاده از سنجش از دور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای است. سنجش از دور یک توانایی اثبات شده برای انجام اندازه‌گیری‌های پیوسته مکانی از خصوصیات محصول و مزرعه است [۸]. شاخص‌های گیاهی، یکی از موارد شایع کاربرد محاسبات تصویری هستند که برای پایش و بررسی گیاهان و پوشش‌های گیاهی در مشاهدات چند طیفی مورداستفاده قرار می‌گیرند [۹]. بولس و همکاران (۲۰۰۴)، در مطالعه‌ای با استفاده از شاخص‌های گیاهی EVI، NDVI و شاخص آب سطح زمین^{۱۱} (LSWI) سنجنده VEGETATION اسپات^۴ به تشخیص نوع پوشش گیاهی منطقه (جنگل، مرتع و بیابان) پرداختند [۱۰]. از طبقه‌بندی نظارت‌نشده^{۱۲}

- 1 Germination
- 2 Seeding growth
- 3 Tillering
- 4 Stem elongation
- 5 Booting
- 6 Awn emergence
- 7 Flowering (anthesis)
- 8 Milk development
- 9 Dough development
- 10 Ripening
- 11 Land Surface Water Index
- 12 Unsupervised classification

داده‌های سنجنده از مارس تا نوامبر سال ۲۰۰۰ برای ایجاد یک نقشه پوشش گیاهی استفاده شد. سنجنش ازدور یک توانایی اثبات شده برای انجام اندازه‌گیری‌های پیوسته مکانی از خصوصیات محصول و مزرعه است [۸]. مطالعات مختلف نشان داده است که کاربرد شاخص‌های گیاهی سنجنش ازدور و ورود آن‌ها به عنوان یک متغیر مستقل در مدل، باعث بهبود دقت آن در مطالعات فنولوژیکی و تعیین عملکرد محصولات مختلف می‌شود [۱۱-۱۳]. بنابراین استفاده از شاخص‌های گیاهی سنجنش ازدور می‌تواند در توانایی پیش‌بینی مراحل فنولوژیکی و رسیدگی محصولات مؤثر باشد [۱۴-۱۶]. بولتون و فریدل (۲۰۱۳) با داده‌های سنجنده مادیس عملکرد سویا و ذرت را در سطح محدوده منطقه‌ای^{۱۳} در ایالات متحده آمریکا بررسی کردند. در این مطالعه توانایی سنجنده مادیس جهت رصد تغییرات سالانه عملکرد ارزیابی شد. نتایج نشان داد شاخص EVI2 می‌تواند توانایی تخمین عملکرد را نسبت به NDVI بهبود بخشد. هم‌چنین بهترین زمان برای تخمین عملکرد سویا و ذرت به ترتیب ۸۰ و ۶۵-۷۵ روز پس از سبز شدن بود [۱۷]. سوآناچاتکول و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از سری‌های زمانی NDVI منتج از داده‌های سنجنده مادیس از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ روشی جدید برای تخمین تاریخ‌های کاشت و برداشت برنج ارائه نمودند [۱۸]. در حال حاضر تعیین زمان برداشت جو در مزرعه در همان بجه‌وحه برداشت انجام می‌گیرد. در این روش، کشاورزان یک منطقه اطلاعی از تاریخ برداشت بهینه مزارع خود که می‌تواند منجر به عملکرد حداکثر محصول گردد، ندارند. در واقع، کمباین بدون هیچ اولویت‌بندی بر اساس تاریخ برداشت بهینه محصول، شروع به برداشت مزارع می‌کند. مشکل زمانی حاد می‌شود که بعد از برداشت جو سریعاً کمباین‌ها سراغ برداشت گندم می‌روند و عملاً بدون توجه به زمان رسیدگی جو اقدام برداشت می‌نمایند، در حالی که ممکن است در رسیدگی جو در مناطقی بعد از رسیدگی گندم در مناطق دیگر باشد. این روش در سطوح وسیع کشت جو مناسب نیست زیرا در این مناطق اختلاف تاریخ برداشت بهینه ممکن است به بیش از ۱۰ روز برسد و با روش مرسوم، ممکن است کمباین مزارعی که تاریخ رسیدگی آن‌ها زودتر است را دیرتر برداشت کند و برعکس. هم‌چنین، مشکل دیگر روش برداشت متداول، این است که در این روش امکان برنامه‌ریزی و مدیریت برداشت و پس از برداشت محصول، از جمله پیش‌بینی ظرفیت ماشین‌های برداشت موردنیاز، حمل و نقل، انبارداری و فروش را نمی‌دهد. هدف در این مطالعه تعیین تاریخ رسیدگی بهینه جو باهدف دستیابی به حداکثر عملکرد به منظور انجام برنامه‌ریزی برای ترتیب بندی انجام عملیات برداشت در مزارع جو می‌باشد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در طی سال زراعی ۱۳۹۶ در دشت قروه (منطقه درج) واقع در استان کردستان در غرب ایران ($35^{\circ}53'N$ $47^{\circ}5'E$) انجام شد. این منطقه دارای آب و هوای سرد کوهستانی با بارش میانگین سالانه ۴۳۹ میلی‌متر و تغییرات درجه حرارت سالانه دما از ۳۸- تا ۴۰+ درجه سانتی‌گراد است. محصول غالب این منطقه جو (رقم ماکویی) است. دوره رشد جو در این منطقه از اواسط مهرماه تا اوایل تیرماه سال آینده می‌باشد. بدین ترتیب که کشاورزان منطقه با توجه به شرایط اقتصادی و در دسترس بودن بذر، تراکتور و کارنده جو را از ۱۵ مهرماه تا هفته اول آبان ماه می‌کارند. پس از طی زمستان، حدود اواخر اسفند و اوایل بهار سال بعد دوره رشد پس از خواب زمستانی جو آغاز می‌شود. مرحله خمیری شدن جو در خردادماه و رسیدگی جو تا اوایل تیر اتفاق می‌افتد. عملیات نمونه‌برداری و جمع‌آوری داده‌ها برای تعیین میزان عملکرد جو در هر سال از حدود ۱۵ خرداد تا ۲ تیرماه انجام شد. در هر سال ۵۰ پلات برای نمونه‌برداری از مزارع منطقه انتخاب گردید (شکل ۱). پلات‌های نمونه‌برداری به گونه‌ای انتخاب شدند که تا حد امکان همگی در قسمت مرکزی مزارع مسطح و همگن جو با اندازه بزرگ‌تر از ۳ هکتار باشند. برای ثبت مختصات هر پلات از دستگاه جی‌پی‌اس دستی (Garmin GPSMAP 62s, Taiwan) استفاده شد. اندازه هر پلات ۶۰×۶۰ مترمربع در نظر گرفته شد. اندازه‌گیری تراکم گیاه در پلات‌ها در اوایل خردادماه انجام شد. برای اندازه‌گیری تراکم گیاه، از یک قاب ۱×۱ مترمربع استفاده گردید و با حرکت زیگزاگی در یک رفت و برگشت ۱۰ بار پرتاب تصادفی قاب و شمارش تعداد

بوته و میانگین گیری، تراکم بوته در پلات اندازه گیری شد. عملکرد جو در هر پلات با نمونه برداری توسط قاب ۱×۱ مترمربع با ۵ پرتاب تصادفی و انتخاب ۳ گیاه در هر پرتاب (مجموعاً ۱۵ خوشه) و اندازه گیری میانگین وزن دانه‌ها در ۱۵ خوشه و نسبت دادن آن به کل پلات (با دانستن تراکم بوته در پلات) انجام شد. با انجام پرسش‌هایی که از کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان صورت گرفت و نیز مطالعه منابع مختلف، رطوبت مناسب برای برداشت با کمباین در ایران، بین ۱۲ تا ۱۴ درصد در نظر گرفته شد [۱۹]. در واقع، این رطوبت همان درصد رطوبتی است که در آن دانه جو به راحتی از خوشه جدا می‌شود و اگر دانه‌ی جو را بین دو انگشت شست و اشاره بفشاریم کاملاً خشک است و هیچ تغییری در آن ایجاد نمی‌شود. در واقع در این تحقیق، جو آماده برداشت را جوی در نظر گرفتیم که کاملاً رسیده و آماده برداشت است و پس از برداشت نیاز به خشک شدن برای سیلو ندارد.

در این تحقیق از تصاویر سنجنده OLI که بر روی ماهواره لندست ۸ نصب شده است مورد استفاده قرار گرفت. تصاویر این سنجنده از سایت <http://earthexplorer.usgs.gov> قابل دانلود است. بر روی تصاویر اتخاذ شده در هر تاریخ، تصحیح اتمسفری با استفاده از نرم افزار ENVI 5.1^{۱۴} صورت گرفت. برای تصحیح اتمسفری از روش آنالیز طیفی فوق مکعبی با استفاده از آنالیز سریع خط دید جوی^{۱۵} (FLAASH) در نرم افزار ENVI که برای استخراج و بازیابی انعکاس طیفی از تصاویر رادیانس فرا طیفی به کار می‌رود استفاده شد. این روش از مدل انتقال رادیانس MODTRAN4 برای حذف اثرات اتمسفری استفاده می‌کند. از آنجاکه در تصحیح FLAASH فایل‌های با فرمت BSQ قابل تصحیح نمی‌باشند، فرمت ذخیره سازی تصویر به فرمت BIL تبدیل شد. پارامترهای ورودی به مدل بر مبنای موقعیت مرکز تصویر، نوع و ارتفاع پرواز سنجنده و زمان تصویربرداری معرفی شدند. این اطلاعات از هدر^{۱۶} فایل تصویر لندست و اطلاعات جانبی در مورد سنجنده قابل استخراج است. مدل اتمسفری مورد استفاده برای هر تصویر با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه در زمان تصویربرداری (تاریخ تصویر) انتخاب و سپس تصویر بازتاب^{۱۷} سطح استخراج شد (شکل ۱). در این تحقیق شاخص‌های مهم و متداول که نشان دهنده ساختار و سبزیگی گیاهان، شاخص‌های ساختار و سبزیگی گیاهان با اصلاح اثرات خاک پس زمینه، شاخص‌های محتوای آب گیاهان و شاخص‌های بیانگر بیوماس گیاه بودند محاسبه شدند. این شاخص‌ها عبارت‌اند از NDVI، SAVI، EVI، EVI2، GreenNDVI، CIgreen و NDWI. در جدول ۱ نحوه محاسبه شاخص‌ها مشاهده می‌شود.

به منظور تعیین این که شاخص‌های گیاهی کدام تصویر (چه تاریخی) برای پیش‌بینی تاریخ بهینه برداشت مناسب‌اند، بین شاخص‌های گیاهی استخراج شده از هر تصویر با توجه به تاریخ آن‌ها و روز برداشت بهینه مشاهده شده در مزرعه مدل رگرسیون محاسبه شد. تاریخی بهترین ضرایب R^2 و RMSE را داشتند، به عنوان بهترین دوره استخراج تصاویر، برای پیش‌بینی تاریخ رسیدگی تعیین شد. برای پیش‌بینی تاریخ برداشت بهینه جو (BOHD^{۱۸}) با استفاده از متغیرهای مستقل (شاخص‌های گیاهی) از مدل رگرسیون گام به گام^{۱۹} استفاده شد. در مدل رگرسیون گام به گام ابتدا تمام متغیرهای مستقل وارد مدل می‌شوند و سپس متغیرهایی که اثر بیشتری در بهبود مدل دارند، مرحله به مرحله توسط مدل انتخاب می‌شوند.

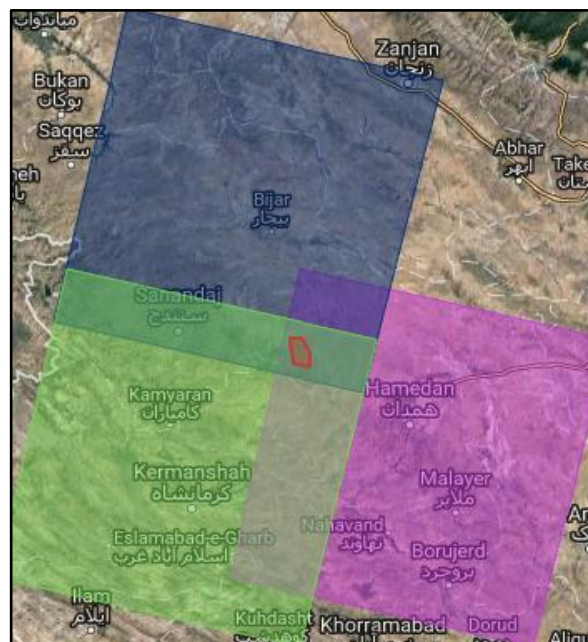
جدول ۱: نحوه محاسبه شاخص‌های گیاهی

14 The Environment For Visualizing Images
15 Fast Line of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes
16 Header
17 Reflectance
18 Barely Optimum Harvest Date
19 Stepwise



فرمول	شاخص‌های گیاهی
$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red})$	NDVI
$SAVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Red})(1 + L) / (\rho_{NIR} + \rho_{Red} + L)$	SAVI
$EVI = 2.5 (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + 6\rho_{Red} - 7.5\rho_{Blue} + 1)$	EVI
$EVI2 = 2.5 (\rho_{NIR} - \rho_{Red}) / (\rho_{NIR} + 2.4\rho_{Red} + 1)$	EVI2
$NDWI = (\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}) / (\rho_{NIR} + \rho_{SWIR})$	NDWI
$CVI = (\rho_{NIR} / \rho_{Green}) * (\rho_{Red} / \rho_{Green})$	CVI
$GreenNDVI = (\rho_{NIR} - \rho_{Green}) / (\rho_{NIR} + \rho_{Green})$	GreenNDVI
$CI_{Green} = (\rho_{NIR} / \rho_{Green}) - 1$	CI_{green}

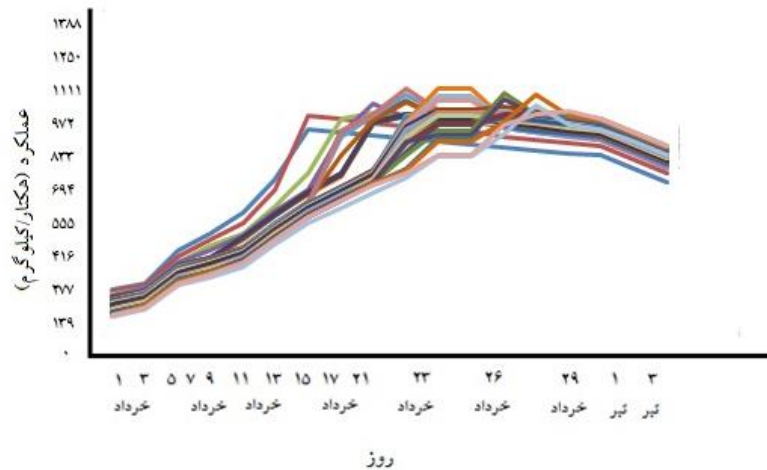
نرم‌افزار آماری SPSS 16 برای این تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. ایجاد مدل رگرسیونی برای هر یک از دوره‌های رشد جو انجام شد. در هر یک از مدل‌های تخمینی مدل رگرسیونی گام به گام، ۸۵ درصد داده‌ها برای ورودی مدل و از ۱۵ درصد باقی داده‌ها برای ارزیابی مدل‌ها استفاده گردید.



شکل ۱: ناحیه مورد مطالعه و تصاویر ماهواره‌ای لندست

نتایج

عملکرد جو در ۵۰ پلات آزمایشی قبل و بعد از تاریخ برداشت بهینه در سال ۱۳۹۶ نشان داده شده است. با توجه به روند تغییرات عملکرد، از یک تابع اسپلاین مکعبی ۲۰ برای درونیابی استفاده شد تا عملکرد روزانه هر پلات در بازه برداشت به دست آید. علت استفاده از تابع اسپلاین مکعبی این بود که در همه پلات‌ها ضریب تبیین برازش این تابع به داده‌ها بیشتر از ضریب تبیین برازش توابع دیگر (مانند چندجمله‌ای، نمایی، لگاریتمی و غیره) بود (شکل ۲).



شکل ۲: نمودار عملکرد جو

همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مراحل بعد از گلدهی توانایی قوی‌تری در پیش‌بینی زمان برداشت جو دارند. علاوه بر این، جدول ۳ نشان می‌دهد که بهترین مدل رگرسیون مربوط به تصاویر دوره خمیری می‌باشد ($R^2=0.791$; $RMSE=1.34$). همان‌طور که دیده می‌شود در مدل رگرسیون شاخص‌های طیفی NDVI و NDWI استفاده شده است.

NDVI یکی از شاخص‌های بسیار پرکاربرد است. دامنه مقادیر NDVI بین $[-1, +1]$ است و بر اساس مطالعات فنولوژی بررسی زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)، مقادیر NDVI سه صورت طبقه‌بندی می‌شوند. مناطق ماسه و برف معمولاً مقادیر NDVI بسیار کمی دارند (به عنوان مثال ۰/۱ یا کمتر)، پوشش گیاهی پراکنده مانند چمنزارها یا محصولات رسیده دارای مقادیر متوسط NDVI است (یعنی تقریباً ۰/۲ تا ۰/۵) و پوشش گیاهی متراکم مانند جنگل‌های گرمسیری یا محصولات زراعی در مرحله اوج رشد ممکن است منجر به مقادیر بالای NDVI (در حدود ۰/۴ تا ۰/۸) شود [۲۰]. در این تحقیق، NDVI تنها شاخصی است که در همه مدل‌ها وارد شده است. سونگ و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که داده‌های NDVI ماهواره لندست برای پیش‌بینی عملکرد جو قابل استفاده است. در تحقیق آن‌ها مرحله به گل رفتن جو بهترین مرحله برای پیش‌بینی عملکرد بود. همچنین، رن و همکاران (۲۰۰۸) از NDVI برای تخمین عملکرد منطقه‌ای گندم استفاده کردند [۲۱]. نتایج نشان داد که بهترین پیش‌بینی عملکرد گندم زمستانه با استفاده از داده‌های نزدیک به ۴۰ روز قبل از زمان برداشت (مرحله به گل رفتن) حاصل می‌شود. اما برای پیش‌بینی زمان رسیدگی جو در منطقه درج، نتایج نشان داد که بهترین برآورد مربوط به حدود ۱۵ تا ۲۰ روز قبل از برداشت (مرحله خمیری شدن) می‌باشد. نتایج این تحقیق و تحقیقات ذکر شده نشان داد که NDVI می‌تواند شاخص خوبی برای کاربردهای کشاورزی از جمله پیش‌بینی زمان برداشت و برآورد عملکرد باشد. علاوه بر این، می‌توان نتیجه گرفت که بهترین زمان برای پیش‌بینی رسیدگی جو بعد از بهترین زمان برای تخمین عملکرد است. علاوه بر این، NDWI شاخصی است که نسبت به تغییرات محتوای آب پوشش گیاهی حساس است

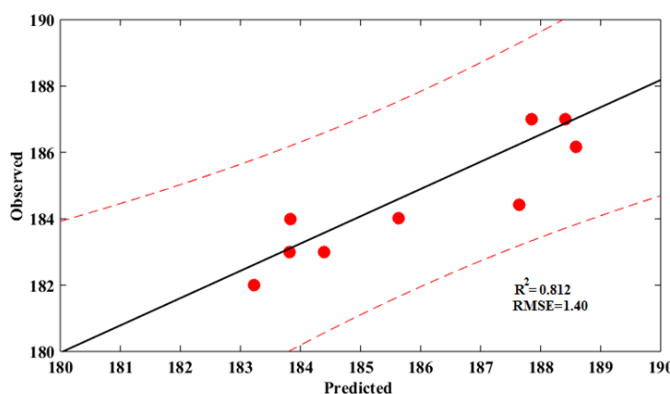
که با تابش خورشیدی این شاخص مقدار رطوبت موجود در توده گیاه را نشان می‌دهد [۲۲]. NDWI نسبت به NDVI نسبت به اثرات جوی حساسیت کمتری دارد. همچنین در مراحل مختلف رشد جو، مقدار آب مایع موجود در گیاه تغییر می‌کند. بنابراین، بین روز برداشت جو و NDWI رابطه وجود دارد که بیشترین رابطه در مرحله خمیری یافت شد. منگ و همکاران ۲۰۱۳، فقط از شاخص NDWI برای برآورد تاریخ رسیدگی گندم زمستانه استفاده کردند. نتایج نشان داد که NDWI می‌تواند تاریخ رسیدگی گندم را با دقت ۰/۶۵ پیش‌بینی کند [۸].

جدول ۲: مدل‌های رگرسیون‌های برآورد شده در مراحل مختلف رشد جو

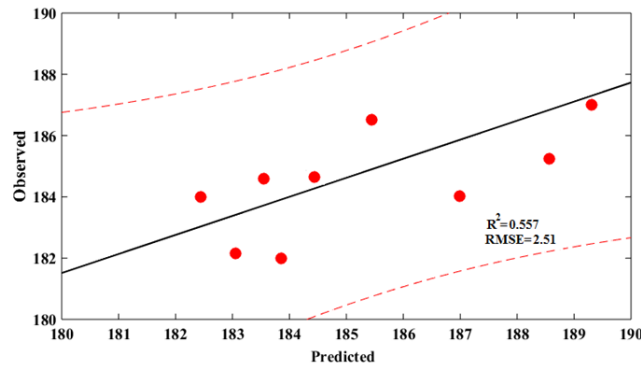
شماره	مرحله رشد	مدل توسعه یافته	R ²	RMSE
۱	جوانه‌زنی	$Y = -2.30 NDWI + 3.90 EVI + 5.66 NDVI + 176.22$	۰/۱۳۵	۳/۵۱
۲	ساقه رفتن	$Y = 5.11 NDWI + 1.28 SAVI + 8.33 NDVI + 172.87$	۰/۳۸۸	۳/۰۳
۳	آبستنی	$Y = 85.2 NDWI + 7.21 EVI2 + 3.78 NDVI + 175.33$	۰/۳۷۶	۳/۰۱
۴	ظهور خوشه	$Y = 4.54 NDWI + 5.83 EVI + 8.66 NDVI + 174.55$	۰/۴۴۱	۲/۹۱
۵	گلدهی	$Y = 65.55 NDWI + 18.66 NDVI + 173.29$	۰/۵۹۹	۲/۱۸
۶	خمیری شدن	$Y = 83.26 NDWI + 86.2 NDVI + 168.53$	۰/۷۹۱	۱/۳۴
۷	رسیدن	$Y = 148.32 NDVI + 158.62$	۰/۵۷۱	۱/۹۵

ارزیابی مدل رگرسیون توسعه یافته برای پیش‌بینی زمان برداشت

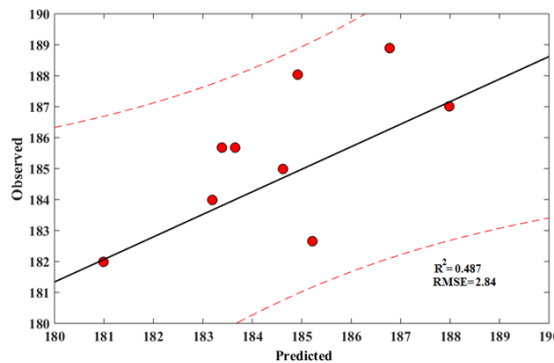
به منظور ارزیابی عملکرد پیش‌بینی مدل‌های توسعه یافته، از سه مدل که دارای تخمین بهتری از زمان رسیدگی بودند استفاده شد (مدل‌های مربوط مراحل گلدهی، خمیری شدن و رسیدگی). در این مرحله از داده‌های باقی مانده ۱۵٪ برای ارزیابی استفاده کردیم. شکل ۳، ۴ و ۵ عملکرد این مدل‌ها در یک نمودار پراکندگی بین روزهای برداشت پیش‌بینی شده و واقعی نشان را می‌دهند. مقادیر R² و RMSE مدل توسعه یافته بر اساس مرحله خمیری شدن به ترتیب ۰/۸۱۲ و ۱/۴۰ به دست آمد. علاوه بر این، همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، زمان خمیری شدن بهترین زمان برای برآورد رسیدگی جو می‌باشد. عملکرد مدل‌های توسعه یافته در مرحله گل‌دهی (۲/۶۸)؛ (RMSE=۰/۵۸۱، R²=۰/۴۱۷) و رسیدن (RMSE=۳/۲۰، R²=۰/۴۱۷) کمتر از مرحله خمیری شدن بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که دوره مناسب برای زمان برداشت پیش‌بینی شده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای دستیابی به بالاترین عملکرد، مرحله خمیری شدن جو است.



شکل ۳: نمودار پراکندگی زمان رسیدگی پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای مرحله خمیری (خطوط مرزی سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد را نشان می‌دهد).



شکل ۴: نمودار پراکندگی زمان رسیدگی پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای مرحله گلدهی (خطوط مرزی سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد را نشان می‌دهد)



شکل ۵: نمودار پراکندگی زمان رسیدگی پیش‌بینی شده و مشاهده شده برای مرحله رسیدگی (خطوط مرزی سطح اطمینان ۰/۰۱ درصد را نشان می‌دهد).

نتیجه‌گیری

هدف از این مطالعه پیش‌بینی زمان رسیدگی جو برای کاهش شکاف عملکرد (تفاوت پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه درج بود. تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده نشان داد که تصاویر ماهواره‌ای لندست با استفاده از شاخص‌های طیفی می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را تولید کند. برآورد منطقه‌ای از زمان رسیدگی از جنبه‌های مختلفی از جمله مدیریت مزرعه، سیاست تجاری و غیره دارای اهمیت می‌باشد. علاوه بر این، آگاهی از زمان برداشت بدون کاهش عملکرد می‌تواند به برداشت محصول کمک کند. مزیت فن‌آوری‌های سنجش از دور و شاخص‌های طیفی توانایی‌های آن‌ها در بازدید مستمر از محصولات زراعی است. با این حال، بسیاری از عوامل محیطی مانند مقدار ابر و شرایط جوی می‌توانند برآورها تأثیر بگذارند. لازم به ذکر است که NDVI و NDWI شاخص‌های مهمی در مطالعات زراعی و گیاهی هستند. بهترین مدل برای پیش‌بینی زمان برداشت جو از شاخص‌های مربوط به مرحله خمیری جو استخراج شد ($R^2=0.719$; $RMSE=1/34$). بنابراین می‌توان از تصاویر لندست ۸ برای پیش‌بینی زمان برداشت استفاده کرد. این مقاله تنها یک تحقیق اولیه از پیش‌بینی زمان رسیدگی محصول را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد. برای پیشبرد بیشتر استفاده از سنجش از دور از ماهواره با برداشت دقیق، تلفیق مدل‌های زراعی و مدل‌های مبتنی بر سنجش از دور ماهواره‌ای می‌تواند قابلیت پیش‌بینی این مدل‌ها را بهبود بخشد.



منابع

1. Karimi, M. M. & Siddique, K. H. (1991). Crop growth and relative growth rate of old and modern wheat cultivar. *Australian Journal of Agriculture*, 42, 13-20.
2. Food and Agriculture Organization of the United Nations. "FAOSTAT statistics database." (2017).
3. Zadok, J.C., Chang, T.T. and Konzak, C.F. 1974. A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed research*, 14(6): 415-421.
4. Fischer, G., Van Velthuisen, H., and Nachtergaele, F. 2000. Global Agro-ecological zones assessment: Methodology and results. Interim Report IR-00-064. IIASA, Vienna and FAO, Rome.
5. Nekahi, M. Z., Soltani, A., Siahmargoei, A., Bagheani, N. 2014. Yield gap of crop and weed management in wheat: case study, Golestan province-Bandar Gaz. *Journal of crop production*, 7: 135-156.
6. Sun, H., Zhang, X., Chen, S., Pei, D. and Liu, C. 2007. Effects of harvest and sowing time on the performance of the rotation of winter wheat–summer maize in the North China Plain. *Industrial Crops and Products*, 25(3): 239-247.
7. Hatt, M., Heyhoe, E. and L, Whittle. 2012. Options for insuring Australian agriculture, ABARES report to client prepared for Climate Division. Canberra, September. Department of Agriculture, Fisheries and Forestry.
8. Meng, J., Du, X., and Wu, B. 2013. Generation of high spatial and temporal resolution NDVI and its application in crop biomass estimation. *International Journal of Digital Earth*, 6(3): 203–218.
9. Mohanraj, M., Jayaraj, S. and Muraleedharan, C. 2008. Modeling of a direct expansion solar assisted heat pump using artificial neural networks. *International Journal of Green Energy*, 5(6): 520-532.
10. Boles, S.H., Xiao, X., Liu, J., Zhang, Q., Munkhtuya, S., Chen, S. and Ojima, D. 2004. Land cover characterization of Temperate East Asia using multi-temporal VEGETATION sensor data. *Remote Sensing of Environment*, 90(4): 477-489.
11. Zhou, L., He, H.L., Sun, X.M., Zhang, L., Yu, G.R., Ren, X.L., Wang, J.Y. and Zhao, F.H. 2013. Modeling winter wheat phenology and carbon dioxide fluxes at the ecosystem scale based on digital photography and eddy covariance data. *Ecological informatics*, 18 : 69-78.
12. Balaghi, R., Tychon, B., Eerens, H. and 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(4): 438-452.
13. Qian, B., Jong, R.D., Warren, R., Chipanshi, A. and Hill H. 2009 Statistical Spring Wheat Yield Forecasting for the Canadian Prairie Provinces, *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 1022-1031.
14. Sakamoto, T., Wardlow, B.D., Gitelson, A.A., Verma, S.B., Suyker, A.E. and Arkebauer, T.J. 2010. A two-step filtering approach for detecting maize and soybean phenology with time-series MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 114(10): 2146-2159.
15. Sakamoto, T., Yokozawa, M., Toritani, H., Shibayama, M., Ishitsuka, N. and Ohno, H. 2005. A crop phenology detection method using time-series MODIS data. *Remote sensing of environment*, 96(3): 366-374.
16. Balaghi, R., Tychon, B., Eerens, H. and 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(4): 438-452.
17. Bolton, D.K. and Friedl, M.A. 2013. Forecasting crop yield using remotely sensed vegetation indices and crop phenology metrics. *Agricultural and Forest Meteorology*, 173: 74-84.
 18. Suwannachatkul, S., Kasetkasem, T., Chumkesornkulkit, K., Rakwatin, P., Chanwimaluang, T. and Kumazawa, I. 2014, May. Rice cultivation and harvest date identification based on a hidden Markov model. In *Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2014 11th International Conference IEEE, 1-6.
 19. Bougari, E., Zaki Dizaji, H. and Khorasani, M. E. 2013. Evaluation some affecting factors on John Deere Combine 955series losses during harvest by mathematical models (Case study Ahvaz city). *Elixir Agriculture*, 58: 15209-15213.
 20. Ali, S.M. and Salman, S.S., 2015. Estimating the Yield of Rice Farms in Southern Iraq using Landsat images. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(8), pp.1607-1614.
 21. Ren, J., Chen, Z., Zhou, Q. and 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(4), pp.403-413.
 22. 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.



Estimation of barley ripening time using satellite imagery

Reza Adiban^{1*}, Sepideh Taghizadeh², Farzin Parchami-Araghi¹, Arash Hosseinpour

1. Agricultural Engineering Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil (Moghan), Iran
2. Graduated in Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
3. Crop and Horticultural Science Research Department, Ardabil Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ardabil (Moghan), Iran

Abstract

Cereals play an important role in human food security. Therefore, accurate estimation of the processing time is needed to minimize barely losses. The purpose of this study was to accurately predict the barely maturation time using satellite imagery. Field data were collected from fields in Dezaj area of Kurdistan province in western Iran. Also, satellite remote sensing method was used in the growing season of barley in 1396 using Landsat 8 images. In this study, vegetation indices (NDVI, SAVI, EVI, EVI2, GreenNDVI, CIgreen and NDWI) were used as inputs in the prediction model. The results showed that satellite imaging has the potential to accurately estimate the harvest time. The values of R^2 and RMSE for the best stepwise regression model for the paste time in this study were 0.791 and 1.34, respectively. This method can be used by field managers to manage the harvesting process as an important challenge by accurately estimating the most appropriate harvest time.

Key words: Landsat 8, Grain Harvesting System, Remote Sensing, Vegetation Indicators.

*Corresponding author

E-mail: R.adiban@areeo.ac.ir