

مقاله علمی-پژوهشی

پیش‌بینی مقدار تولید محصول ذرت علوفه‌ای با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای

سمیرا امینی^۱، امین علیزاده^{۲*}، علیرضا فرید حسینی^۳ و مهدی اکبری^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۹

چکیده

اندازه‌گیری مستقیم عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای علیرغم دقیق بودن و غیرقابل اجرا بودن در مناطق وسیع، امری سخت، زمان‌بر و هزینه‌بر است. این محدودیت‌ها، موجب تمایل به استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند سنجش‌ازدور در برآورد عملکرد محصول شده است. البته برآورد دقیق عملکرد محصول از طریق سنجش از دور نیز همواره با چالش‌هایی از جمله استفاده از تصاویر و پارامترهای تصویری مناسب برای هر منطقه، روبرو است. پژوهش حاضر با هدف افزایش دقت برآورد عملکرد ذرت علوفه‌ای قبل از رسیدن به تاریخ برداشت محصول در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل مانیت و سنجش از دور انجام شد. بدین منظور پارامترهای مدل مانیت مانند ضریب راندمان انرژی جذب‌شده در منطقه مورد مطالعه بهینه گردید و زیست‌توده ذرت علوفه‌ای با استفاده از اطلاعات ماهواره لندست ۸ برآورد و با زیست‌توده اندازه‌گیری‌شده در مزرعه مقایسه شد. میزان عملکرد برآوردشده با مدل بهینه‌شده، همبستگی و پراکنش خوبی ($R^2=0/87$) با عملکرد واقعی مزارع نشان داد. نتایج نشان داد که با بهینه کردن پارامترهای مدل مانیت خطای برآورد در مقایسه با بهینه نشدن پارامترها در حد قابل قبولی ($\pm 10\%$) کاهش پیدا خواهد کرد. از سوی دیگر، با استفاده از میانگین درصد ماده خشک به‌دست‌آمده در اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، زیست‌توده برآوردشده از مدل بهینه‌شده، به عملکرد تر تبدیل شد و با استفاده از مقادیر NDVI تصاویر ماهواره‌ای در دوره رشد بعد از بیشترین مقدار NDVI، رابطه خطی با ضریب همبستگی قابل قبول ($R^2=0/81$) برای برآورد عملکرد تر ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه ارائه گردید. این نتایج نشان داد که با استفاده از نتایج NDVI یک یا دو تصویر قبل از برداشت محصول (یک تا سه هفته قبل از برداشت) و استفاده از رابطه به‌دست‌آمده می‌توان عملکرد ذرت علوفه‌ای را با دقت قابل قبولی پیش‌بینی کرد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر لندست ۸، ذرت علوفه‌ای، زیست‌توده، مدل مانیت، NDVI

مقدمه

کرد. زیست‌توده محصول که از طریق فتوسنتز، تنفس و جذب مواد معدنی توسط گیاه تولید می‌شود، شامل مواد زیستی بالای سطح و زیر سطح زمین است و معمولاً به‌صورت جرم خشک تعریف می‌شود. روش‌های اندازه‌گیری زیست‌توده به‌طور کلی به دو دسته روش‌های اندازه‌گیری زمینی و روش‌های مبتنی بر سنجش از دور تقسیم می‌شوند. تخمین زیست‌توده از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی و روش‌های سنتی مستلزم نمونه‌برداری‌های مخرب است، در این روش نمونه‌ها از سطح زمین برداشت و خشک می‌شوند. این اندازه‌گیری برای مناطق کوچک به‌صورت نمونه‌برداری انجام شده و با استفاده از معادلات آلومتریک به مناطق وسیع تعمیم داده می‌شود. این روش برای مناطق کوچک دقیق است اما هزینه بالا، زمان‌بر و طاقت‌فرسا بودن جمع‌آوری داده‌های زمینی و تقریباً ناممکن بودن آن در سطح وسیع از محدودیت‌های این روش است. این محدودیت‌ها، موجب تمایل به استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند سنجش‌ازدور در برآورد زیست‌توده شده است (Ghasemi et al., 2013).

برآورد میزان تولید محصولات زراعی در کشور از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که با پیش‌آن می‌توان رشد و توسعه، سلامت محصولات کشاورزی و نوسانات مقدار تولید در سطح مزارع را بررسی

۱- دانشجوی دکتری مهندسی آبیاری و زهکشی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۴- دانشیار و عضو هیئت علمی، موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی کرج، البرز، ایران

* نویسنده مسول مکاتبات: (Email: alizadeh@um.ac.ir)

DOR: 20.1001.1.20087942.1401.16.2.9.8

پیشرفت روزافزون فناوری سنجش از دور و به‌ویژه تصاویر ماهواره‌ای، امکان برآورد زیست‌توده را فراهم نموده است و سبب گردیده که استفاده از مدل‌ها و فن‌آوری‌های ماهواره‌ای مورد توجه خاصی قرار گیرند. البته استفاده از سنجش از دور برای برآورد زیست‌توده قابل قبول نیز با چالش‌هایی از جمله انتخاب تصاویر و پارامترهای محیطی مناسب روبرو است. یکی از روش‌های برآورد زیست‌توده استفاده از مفهوم ضریب بهره‌وری تابش است که بر ارتباط بین زیست‌توده خشک و مقدار انرژی فعال فتوسنتزی جذب‌شده توسط گیاه متمرکز است (Monteith, 1972). در سال‌های اخیر مطالعات زیادی با استفاده از این تکنیک برای شبیه‌سازی عملکرد محصول در مقیاس‌های مختلف صورت گرفته است. در مطالعه‌ای در سال ۲۰۲۰ با هدف تخمین تبخیر تفرق و زیست‌توده محصول ذرت در برزیل از ۱۵ مجموعه تصاویر یک پهنای ۶۱ روز نظارت و ۵۴ نمونه‌برداری در سطح مزرعه استفاده نمودند. سپس با استفاده از شاخص‌های گیاهی به‌دست‌آمده از تصاویر، تبخیر و تفرق و زیست‌توده محصول به کمک مدل مانیتینگ محاسبه و توسط شاخص‌های آماری با مقادیر مشاهده‌شده مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند. نتایج این تحقیق همبستگی قابل قبولی در تخمین تبخیر تفرق (۰/۷۴) و زیست‌توده (۰/۷۴) در مزرعه ارائه داد (Argolo dos Santos et al., 2020).

دوودی و همکاران کاربرد سنجش از دور در برآورد زیست‌توده محصول برنج در ۱۳ ایالت مهم پرورش برنج در هند را ارزیابی کردند. زیست‌توده برنج با استفاده از مدل مانیتینگ محاسبه گردید و با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه شد (Dwivedi et al., 2019). نتایج نشان‌دهنده‌ی اختلاف $\pm 10\%$ در برآورد زیست‌توده با استفاده از سنجش از دور بود و کارایی مدل را تأیید کرد. در تحقیقی مشابهی چوراسیا و همکاران برای برآورد ماده خشک خالص نیشکر در هند با استفاده از تصاویر MODIS^۱ از مدل مانیتینگ بهره گرفتند (Chaurasiya et al., 2017). نتایج این مطالعه نشان داد که در برآورد ماده خشک تلفیق داده‌های میدانی و در نظر گرفتن استرس دمایی در مزرعه مؤثر خواهد بود. باستانسن و علی برای برآورد عملکرد گندم، برنج، پنبه و نیشکر در پاکستان از سنجش از دور و مدل مانیتینگ استفاده کردند (Bastiaanssen and Ali, 2003). در این مطالعه مدل مانیتینگ عملکرد گندم، برنج و نیشکر را با $RMSE^2$ به ترتیب ۵۲۵، ۶۱۶ و ۱۳۴۸۴ کیلوگرم در هکتار به‌طور رضایت‌بخشی برآورد نمود. مدل مانیتینگ در برآورد زیست‌توده پنبه نتایج رضایت‌بخش را ارائه نداد ($RMSE = 551 \text{ kg ha}^{-1}$). این محققین یکی از دلایل ضعف مدل در برآورد زیست‌توده پنبه را پراکندگی و کوچک بودن مزارع پنبه با توجه به سایز پیکسل تصاویر AVHRR^۳

دوودی و همکاران کاربرد سنجش از دور در برآورد زیست‌توده محصول برنج در ۱۳ ایالت مهم پرورش برنج در هند را ارزیابی کردند. زیست‌توده برنج با استفاده از مدل مانیتینگ محاسبه گردید و با مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده مقایسه شد (Dwivedi et al., 2019). نتایج نشان‌دهنده‌ی اختلاف $\pm 10\%$ در برآورد زیست‌توده با استفاده از سنجش از دور بود و کارایی مدل را تأیید کرد. در تحقیقی مشابهی چوراسیا و همکاران برای برآورد ماده خشک خالص نیشکر در هند با استفاده از تصاویر MODIS^۱ از مدل مانیتینگ بهره گرفتند (Chaurasiya et al., 2017). نتایج این مطالعه نشان داد که در برآورد ماده خشک تلفیق داده‌های میدانی و در نظر گرفتن استرس دمایی در مزرعه مؤثر خواهد بود. باستانسن و علی برای برآورد عملکرد گندم، برنج، پنبه و نیشکر در پاکستان از سنجش از دور و مدل مانیتینگ استفاده کردند (Bastiaanssen and Ali, 2003). در این مطالعه مدل مانیتینگ عملکرد گندم، برنج و نیشکر را با $RMSE^2$ به ترتیب ۵۲۵، ۶۱۶ و ۱۳۴۸۴ کیلوگرم در هکتار به‌طور رضایت‌بخشی برآورد نمود. مدل مانیتینگ در برآورد زیست‌توده پنبه نتایج رضایت‌بخش را ارائه نداد ($RMSE = 551 \text{ kg ha}^{-1}$). این محققین یکی از دلایل ضعف مدل در برآورد زیست‌توده پنبه را پراکندگی و کوچک بودن مزارع پنبه با توجه به سایز پیکسل تصاویر AVHRR^۳

4- Correlation Coefficient

5- Normalized Difference Vegetation Index

6- Light Use Efficiency

7- Surface Energy Balance

1- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

2- Root Mean Square Error

3- Advanced Very High Resolution Radiometer

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محل انجام تحقیق، معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی در کرج، استان البرز بود. استان البرز با مساحت ۵۱۲۱/۶۹۴ کیلومتر مربع در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی، در جنوب ارتفاعات البرز مرکزی واقع شده است. استان البرز از نظر موقعیت جغرافیایی از شمال به استان مازندران، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان تهران و از جنوب به استان مرکزی محدود می‌شود. این استان دارای ۴ ایستگاه سینوپتیک است که ایستگاه سینوپتیک کرج با ارتفاع ۱۲۹۳ متر از سطح دریا و مختصات جغرافیایی ۳۵°۴۸' عرض شمالی و ۵۰°۵۷' طول شرقی، نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه مورد مطالعه است (شکل ۱).

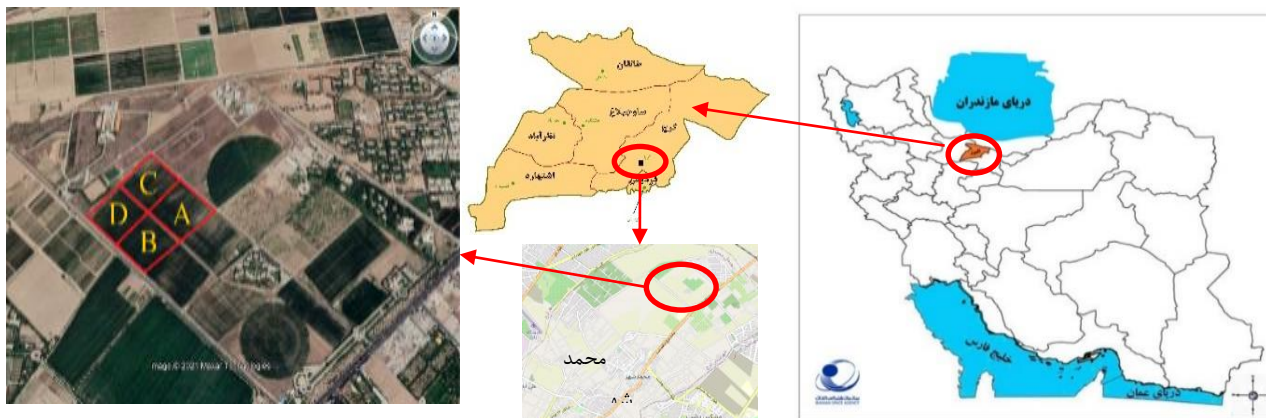
بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن اقلیم منطقه مورد مطالعه نیمه‌خشک سرد است (فرشیدنیا و نصیری، ۱۳۹۷). طبق آمار بلندمدت ایستگاه سینوپتیک کرج، متوسط بارندگی ۲۷۱ میلی‌متر است. فصل پاییز با ۳۵/۹ درصد و فصل تابستان با ۷/۴ درصد بیشترین و کمترین سهم را در بارش سالیانه بر عهده دارند. حداقل و حداکثر مطلق دما به ترتیب ۳/۳ و ۲۷/۶ درجه و میانگین سالیانه نیز ۱۵/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. ماه تیر با میانگین ۲۷/۵ درجه سانتی‌گراد و دی با ۴ درجه سانتی‌گراد به ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه سال محسوب می‌شوند. مجموع سالیانه تبخیر-تخرق پتانسیل گیاه مرجع به روش پنمن مانیت ۱۱۹۷/۲ میلی‌متر محاسبه شده است. منطقه آزمایشی محدوده اراضی مزارع معاونت آب و خاک کرج برای محصول ذرت علوفه‌ای است. طبق نتایج تجزیه خاک محدوده مورد مطالعه به‌طور کلی بافت خاک منطقه سبک و عمدتاً لومی (۲۰ درصد رس، ۳۵ درصد سیلت و ۴۵ درصد شن) است. کل مساحت اراضی معاونت آب و خاک حدود ۱۳۰ هکتار است که نزدیک به ۴۰ هکتار آن به کشت دوم و ذرت علوفه‌ای اختصاص دارد. آب مورد نیاز این اراضی از چاه‌های عمیق تأمین می‌شود و آبیاری با استفاده از سامانه آبیاری سنتریپوت، لینیئر، نواری (تیپ) و... انجام می‌شود. برای دستیابی به اهداف این تحقیق به داده‌های مزرعه‌ای شاخص سطح برگ، عملکرد تر و خشک و اطلاعات ماهواره‌ای نیاز است که به شرح زیر اندازه‌گیری یا محاسبه گردید.

اطلاعات مزرعه‌ای مورد نیاز در مزرعه انتخابی ذرت علوفه‌ای با مساحتی حدود ۲۰ هکتار که دارای سامانه آبیاری لینیئر بود، در سال ۱۳۹۵ نمونه‌برداری و اندازه‌گیری شد. با توجه به اهداف مورد نظر، ابتدا مزرعه به ۴ قطعه A، B، C و D تقسیم گردید (شکل ۱).

برآورد شده با این مدل ترکیبی، همبستگی و پراکنش خوبی ($R^2=0/83$) با عملکرد واقعی مزارع نشان داد و استفاده از این مدل ترکیبی را توصیه کردند.

مفهوم دیگری که در مدل مانیت برای برآورد زیست‌توده به کار گرفته شده، تابش فعال فتوسنتزی جذب شده است که به صورت بخشی از تابش فعال فتوسنتزی که توسط پوشش گیاهی برای انجام فتوسنتز جذب می‌شود، تعریف می‌گردد. این بخش از تابش فعال فتوسنتزی در سنجش از دور به کمک تابعی از شاخص‌های مختلفی از جمله شاخص سطح برگ (LAI) و شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی ($NDVI$) در قالب یک رابطه خطی تعریف شده است. ژانگ و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از تصاویر MODIS، رابطه خطی بین $NDVI$ و میزان تولید زیست‌توده را به دست آوردند و سپس با توجه به تغییرات شاخص $NDVI$ در طول دوره سبز شدن تا رسیدگی، شاخص برداشت و میزان عملکرد گندم را تعیین کردند. جرعه نوش و همکاران (۱۳۹۹)، از ۳۲ تصویر لندست ۷ در دو سال زراعی ۹۶ - ۹۵ و ۹۷ - ۹۶ برای برآورد پوشش تاجی و زیست‌توده گندم در چهار مزرعه در استان خوزستان استفاده کردند. ضریب تعیین ۰/۸۸ برای رابطه خطی بین مقادیر پوشش تاجی و $NDVI$ ، نشان‌دهنده دقت قابل قبول در برآورد پوشش تاجی بود. راندمان مدل برای برآورد زیست‌توده به‌طور متوسط ۷۸/۵ و در حد مناسب بود.

به‌طور کلی با توجه به نتایج رضایت‌بخش استفاده از مدل مانیت در مطالعات انجام شده در داخل و خارج از کشور به‌منظور برآورد زیست‌توده محصولات مختلف، هدف از این مطالعه افزایش دقت برآورد زیست‌توده با استفاده از مدل مانیت است. یکی از این روش‌ها، در نظر گرفتن تنش‌های دمایی و آبی منطبق با شرایط واقعی مزرعه با استفاده از برآورد ضریب بهره‌وری تابش موجود در این مدل است. برای دستیابی به این هدف، با به‌کارگیری کسر تبخیری برآورد شده از اطلاعات ماهواره‌ای و اعمال تأثیر دما، ضریب راندمان انرژی جذب شده ذرت علوفه‌ای در منطقه مورد مطالعه تعیین شد و پس از بهینه کردن پارامترهای منطقه‌ای در مدل مذکور، زیست‌توده ذرت علوفه‌ای با استفاده از اطلاعات ماهواره لندست ۸ برآورد گردید و با زیست‌توده اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. از طرفی میزان تأثیر بهینه کردن پارامترهای مدل مانیت با مقایسه‌ی مدل بهینه‌شده با مدل اولیه مانیت (با فرض کردن پارامترهای ثابت و بهینه نشده) برای منطقه نشان داده شد و در نهایت با توجه به اینکه ذرت علوفه‌ای به‌صورت سبز و سیلویی برداشت می‌شود و عملکرد تر محصول بین بهره‌برداران مرسوم است، مقدار عملکرد تر ذرت علوفه‌ای با استفاده از زیست‌توده و درصد ماده خشک محصول در زمان برداشت برآورد شد.



شکل ۱- نمای کلی استان البرز و منطقه مورد مطالعه

تصاویر ماهواره‌ای

تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در این پژوهش ۷ تصویر از تصاویر بدون ابر ماهواره لندست ۸ مربوط به طول دوره رشد گیاه ذرت علوفه‌ای سال ۱۳۹۵ بود (جدول ۱). ماهواره لندست ۸ به جمع-آوری اطلاعات مکانی با وضوح متوسط (قدرت تفکیک مکانی حدود ۳۰ متر) می‌پردازد. تصاویر ماهواره لندست ۸ دارای فرمت خروجی Geo TIFF است. اگرچه این داده‌ها از قبل زمین مرجع شده‌اند ولی برای تدقیق تصاویر با استفاده از نقاط کنترل زمینی تصحیحات هندسی تصاویر انجام شد. لندست هشت، دارای ۱۱ باند در طول موج مرئی، مادون قرمز نزدیک، مادون قرمز کوتاه و متوسط و مادون قرمز حرارتی است. داشتن پنج باند در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک داده‌های بسیار مناسبی برای بررسی پوشش گیاهی است (ولاشجردی، ۱۳۹۷). پس از اخذ تصاویر از پایگاه اینترنتی <https://earthexplorer.usgs.gov> تصحیحات اتمسفری بر روی آن‌ها انجام پذیرفت. با توجه به اینکه به شاخص گیاهی NDVI یکی از شاخص‌های اصلی مورد نیاز در بخش‌های مختلف این تحقیق است، این شاخص به شرح زیر محاسبه شد.

شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی

شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی نمادی از شدت و ضعف پوشش گیاهی در منطقه است که از رابطه (۲) محاسبه گردید (Argolo dos Santos et al., 2020).

$$NDVI = \frac{\rho_5 - \rho_4}{\rho_5 + \rho_4} \quad (2)$$

در رابطه فوق ρ_5 و ρ_4 به ترتیب بازتابندگی باند مادون قرمز نزدیک (باند ۵) و قرمز (باند ۴) هستند.

تاریخ‌های نمونه‌برداری میدانی با توجه به در دسترس بودن تاریخ تصویربرداری لندست ۸ تنظیم شد (جدول ۱). نمونه‌برداری‌های گیاهی برای تعیین شاخص سطح برگ و عملکرد تر و خشک گیاه در ساعت ۸ تا ۱۱ صبح همان روز تصویربرداری با در دست داشتن GPS و با ثبت مکان نقاط نمونه‌برداری شده، انجام گردید. به این ترتیب امکان شناسایی نقطه نمونه‌برداری شده در تصویر ماهواره‌ای ایجاد شد. در تاریخ‌های نمونه‌برداری در هر قطعه (A, B, C, D)، ۴ نقطه به صورت تصادفی انتخاب و از هر نقطه نیز سه بوته برداشت شد. نمونه‌ها (۴۸ نمونه در هر روز نمونه‌برداری) با ثبت مشخصات نقطه به آزمایشگاه منتقل و وزن تر نمونه‌ها با ترازوی با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری و نمونه‌ها به مدت ۲۴ ساعت در آون با دمای ۷۵ درجه قرار گرفتند. سپس وزن خشک هر کدام از نمونه‌ها با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم اندازه‌گیری شد. علاوه بر نمونه‌های برداشت شده در تاریخ‌های تصویربرداری (جدول ۱)، در روزهای ۱۶ و ۱۰۷ پس از کاشت نیز نمونه‌برداری انجام و عملکرد اندازه‌گیری شد. برای تعیین شاخص سطح برگ، از رابطه ۱ که توسط کوهی چله کران و دهقانی سانج (۱۳۹۶) برای ذرت علوفه‌ای ارائه شده است، استفاده گردید.

$$A = L \times W \times 0.75 \quad (1)$$

در رابطه فوق A مساحت برگ (سانتی‌متر مربع)، L طول برگ و W بزرگ‌ترین پهنای برگ (سانتی‌متر) و ضریب ۰/۷۵ که برای گیاه ذرت ثابت است (کوهی چله کران و دهقانی سانج، ۱۳۹۶). سطح برگ گیاه با اندازه‌گیری طول و بیشترین پهنای هر برگ در شش نوبت از مرحله رشد گیاه، در ۲۳، ۳۹، ۵۵، ۷۱، ۸۷ و ۱۰۳ روز پس از کاشت تعیین و با تقسیم مجموع مساحت برگ‌های هر بوته بر سطح اختصاص یافته به هر گیاه (فواصل کاشت روی ردیف ۱۵ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها ۷۵ سانتی‌متر) شاخص سطح برگ به دست آمد.

تاریخ تصویربرداری (میلادی)	تاریخ تصویربرداری (شمسی)	مسیر	گذر	مرحله روز رشد
۲۹ ژوئیه ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۵/۰۸	۱۶۵	۳۵	۲۳
۱۴ اوت ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۵/۲۴	۱۶۵	۳۵	۳۹
۳۰ اوت ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۶/۰۹	۱۶۵	۳۵	۵۵
۱۵ سپتامبر ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۶/۲۵	۱۶۵	۳۵	۷۱
۲۴ سپتامبر ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۷/۰۳	۱۶۴	۳۵	۸۰
۰۱ اکتبر ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۷/۱۰	۱۶۵	۳۵	۸۷
۱۷ اکتبر ۲۰۱۶	۱۳۹۵/۰۷/۲۶	۱۶۵	۳۵	۱۰۳

شبانه‌روز ۵/۰-۴/۰ بوده که در تحقیقات مختلف ۴۸/۰ در نظر گرفته شده است (Durgun et al., 2016, Claverie et al., 2012, Argolo dos Santos et al., Bastiaanssen and Ali., 2003). از آنجایی که بخشی از مقدار تابش ورودی، توسط برگ‌های گیاه منعکس و بخش دیگری نیز از گیاه عبور می‌کند لذا کل تابش رسیده صرف فتوسنتز نخواهد شد. بخشی از تابش فعال فتوسنتزی که توسط پوشش گیاهی برای انجام فتوسنتز جذب می‌شود، تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده (APAR) نامیده می‌شود که از رابطه (۵) برآورد می‌شود (Awad, 2019).

$$APAR = f \times PAR \quad (5)$$

بازه تغییرات f بین صفر و یک است و تعیین مقدار آن از اهمیت بالایی در برآورد زیست‌توده برخوردار است (Dwivedi et al., 2019). گودریان (۱۹۹۷) نشان داد مقدار f یا نسبت $APAR/PAR$ به‌طور غیرخطی با شاخص سطح برگ (LAI) تغییر می‌کند. با توجه به اینکه مقدار شاخص سطح برگ به‌طور غیرمستقیم با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای برآورد می‌شود، برآورد مستقیم پارامتر f با استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی (NDVI) جایگزین مناسبی برای مقدار شاخص سطح برگ است. به‌این‌ترتیب رابطه ۶ اولین بار توسط گودریان در سال ۱۹۹۷ ارائه گردید و در تحقیقات اخیر نیز مورد استفاده قرار گرفته است (Awad, 2019 و Argolo dos Santos et al., 2020).

$$f = b + a \times NDVI \quad (6)$$

در این رابطه a و b ضرایبی هستند که با توجه به منطقه مورد مطالعه و نوع گیاه مقادیر متفاوتی خواهند داشت. اگرچه در تحقیقات ولاشجردی و همکاران (۱۳۹۷) و حجازی و مباشری (۱۳۹۸) از رابطه خطی (۶) با مقادیر ثابت a و $b = 1/257$ و $b = -0/161$ استفاده شده است ولی با توجه به مطالب فوق، بهتر است به‌صورت منطقه‌ای مورد بررسی قرار گیرند (Awad, 2019; Argolo et al., 2020). در برخی مطالعات نیز ضرایب فوق با توجه به منطقه مورد مطالعه و نیز محصولات مختلف مانند ذرت، لوبیا و سویا بهینه شدند (Calera et al., 2004, Gitelson et al., 2019). لذا با توجه به اهمیت تعیین دقیق مقدار f برای محصولات مختلف و نقاط مختلف کشور، در این تحقیق با استفاده از

با اعمال تصحیحات اتمسفری و تبدیل ارزش رقومی هرپیکسل (DN^1) در تصویر به بازتاب طیفی، بازتابندگی باند ۴ و ۵ لندست ۸ به دست آمد و در رابطه (۲) قرار داده شد. مبنای ساختاری شاخص NDVI وجود کلروفیل در گیاه بوده و مقادیر آن بین -۱ تا +۱ در نوسان است. به‌طوری‌که هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشد بر مقدار پوشش گیاهی افزوده می‌شود.

برآورد ماده خشک تولیدشده

برای برآورد ماده خشک تولیدشده (زیست‌توده) از رابطه (۳) استفاده شد (Monteith, 1972). در این رابطه مقادیر افزایش روزانه زیست‌توده بر اساس پارامترهای تابش و رطوبت به دست می‌آید (Argolo dos Santos et al., 2020).

$$Biomass = \varepsilon \times APAR \quad (3)$$

در رابطه فوق Biomass ماده خشک تولیدشده برحسب کیلوگرم بر مترمربع در روز، ε ضریب راندمان انرژی جذب‌شده (گرم بر مگا ژول) و $APAR$ انرژی فعال فتوسنتز جذب‌شده است که روش برآورد هریک از اجزای معادله (۳) در زیر ذکر شده است.

برآورد انرژی فعال فتوسنتز جذب‌شده

بخشی از طیف الکترومغناطیس با طول موج کوتاه ورودی در محدوده ۳-۰/۳ میکرومتر که قابلیت استفاده برای گیاه و فرآیند فتوسنتز را دارد، تابش فعال فتوسنتزی (PAR^2) نامیده می‌شود. به‌عبارت‌دیگر تابش فعال فتوسنتزی کسری از شدت تابشی ورودی خورشید (K_{124}) برحسب وات بر مترمربع است (Awad, 2019).

$$PAR = 0.48 \times K_{124}^{\downarrow} \quad (4)$$

شدت تابش ورودی خورشید (K_{124}) مقدار تشعشعات رسیده به سطح زمین است که از ترکیب اطلاعات ماهواره‌ای و هواشناسی روزانه برای هریک از تصاویر به دست می‌آید. هرچند نسبت PAR/K_{124} تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله قابلیت دید و مقدار اوزون موجود در هوا است، ولی مقدار تقریبی آن در طول یک

1- Digital Number

2- Photosynthetically active radiation

از بیلان انرژی سطح به دست می‌آید و در آن تابش خالص، G_0 شار گرمایی خاک و H شار گرمای محسوس است که همگی بر حسب وات بر مترمربع هستند.

در رابطه T_1 و T_2 تأثیرات دما بر ضریب راندمان انرژی جذب‌شده را نشان می‌دهد. T_1 برای در نظر گرفتن تأثیر سرما بر رشد گیاه و T_2 برای تنظیم کردن ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ماکزیمم در مناطق خشک و نیمه خشکی که شرایط آب و هوایی از حالت بهینه دور می‌شود به کار می‌رود و از روابط پیشنهادی زیر محاسبه شد (Wang et al., 2019).

$$T_1 = 0/8 + 0/02 \times T_{opt} - 0/0005 \times T_{opt}^2 \quad (9)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp(0/2 \times T_{opt} - 10 - T_{mon})} \times \frac{1}{1 + \exp\{0/3(-T_{opt} - 10 + T_{mon})\}} \quad (10)$$

T_{mon} متوسط دمای ماهانه هوا و T_{opt} متوسط دمای هوا در ماه سپتامبر که NDVI ماکزیمم است، خواهد بود.

برای به دست آوردن مقادیر a و b بهینه، ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده به دو بخش تقسیم گردید. بخش اول اطلاعات مربوط به قطعه A که برای واسنجی و به دست آوردن مقادیر a و b بهینه در رابطه (۶) بکار برده شد و اطلاعات مربوط به قطعات B ، C و D که برای واسنجی رابطه‌ی به‌دست‌آمده استفاده گردید. با جایگذاری روابط ۴، ۵ و ۶ در رابطه ۳ رابطه‌ی ۱۱ به دست آمد.

$$\frac{Biomass}{\varepsilon \times 0/48 \times K_{124}} = b + a \times NDVI \quad (11)$$

برای حل طرف چپ معادله فوق، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و هواشناسی ایستگاه سینوپتیک کرج در تاریخ تصاویر، شدت تابشی ورودی خورشید برای روزهای موردنظر محاسبه گردید. با وجود زیست‌توده اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف مزرعه در قطعه A که مختصات آن‌ها اندازه‌گیری شده بود (۴ نقطه در قطعه‌ی A برای هر روز از نمونه‌برداری که با توجه به γ روز نمونه‌برداری در طول دوره کشت مجموعاً با ۲۸ نقطه)، مقادیر ضریب راندمان انرژی جذب‌شده و شاخص گیاهی NDVI نظیر هر نقطه (با استفاده از تصاویر)، استخراج و مقادیر a و b برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد. صحت سنجی رابطه‌ی به‌دست‌آمده در مرحله قبل، با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در سه قطعه دیگر (B و C و D) و شاخص‌های آماری انجام گرفت. در گام بعدی برای نشان دادن تأثیر تعیین پارامترهای a و b منطقه‌ای، زیست‌توده با استفاده از مدل مانیتث با در نظر گرفتن ضرایب ثابت a و b ، بر اساس مطالعات قبلی ($a = 1/257$ و $b = 0/161$) - و در نظر گرفتن یک مقدار ثابت برای پارامتر بهره‌وری تابش (g) $(3/5 MJ^{-1})$ برای گیاه ذرت علوفه‌ای برآورد و با مقادیر محاسبه‌شده از مدل بهینه‌سازی شده برای منطقه مورد مطالعه با استفاده از شاخص‌های آماری زیر مورد ارزیابی قرار گرفت.

در نهایت با توجه به اینکه یکی دیگر از اهداف این تحقیق برآورد

روش مانیتث و برآزش مقادیر NDVI در مقابل f نظیر برای هر پیکسلی که مقدار زیست‌توده آن در مزرعه اندازه‌گیری شده بود، ضرایب a و b برای ذرت علوفه‌ای در استان البرز تعیین شد و مقدار آن مورد صحت سنجی قرار گرفت.

برآورد ضریب راندمان انرژی جذب‌شده

ضریب راندمان انرژی جذب‌شده (ε) نشان دهنده میزان بازده انرژی جذب‌شده در تولید محصول نهایی است. مقدار این پارامتر در صورت وجود دمای بهینه و عدم وجود خشک‌سالی برای هر محصول مقدار ثابتی است. تغییرات در میزان نیتروژن و آب مصرفی باعث ایجاد تغییراتی در مقدار این پارامتر می‌شود (Plénet et al., 2000). اگرچه در برخی از مطالعات انجام‌شده مقدار این پارامتر ثابت فرض شده است (Tewes and Schellberg, 2018, Dong et al., 2015; Gitelson et al., 2017) ولی با توجه به اینکه تغییر مقادیر این پارامتر می‌تواند عملکرد دانه، ماده خشک، تولید خالص و دیگر نمایه‌های رشد محصول را تحت تأثیر قرار دهد، در تحقیقات مختلف توصیه شده است که مقدار این پارامتر به‌صورت منطقه‌ای تعیین و مورد استفاده قرار گیرد (Bastiaanssen and Ali, 2003, Asrar, 1984 et al., 2012 et al., 2019). لذا در این تحقیق، ضریب راندمان جذب‌شده با استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور و رابطه (۷) برای منطقه مورد مطالعه تعیین شد (Wang et al., 2019).

$$\varepsilon = \varepsilon' \times T_1 \times T_2 \times \Lambda \quad (7)$$

ε' ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ماکزیمم است که در شرایط بهینه آب و هوایی رخ می‌دهد و همواره بیشتر از مقدار ε است. این مقدار برای هر گروه از محصولات کشاورزی مقدار مشخصی دارد که بر اساس مطالعات پژوهشگران پیشین قابل استخراج است. با توجه به مطالعات اخیر از جمله توس و شلبرگ، در این مطالعه ضریب راندمان انرژی جذب‌شده برای ذرت علوفه‌ای مقدار $4/3$ در نظر گرفته شد (Tewes and Schellberg, 2018).

در رابطه (۷) Λ همان کسر تبخیری در الگوریتم سیال است که مقدار آن بین صفر و یک بوده و تأثیرات رطوبت بر ضریب بازده انرژی جذب‌شده ماکزیمم را نشان می‌دهد. هرچه رطوبت قابل دسترس کمتر باشد این مقدار به سمت صفر و با افزایش رطوبت به سمت یک میل می‌کند (Laipelt et al., 2020). در سطوح کشت‌شده نیز، هرچه تبخیر تعرق واقعی گیاه به تبخیر تعرق پتانسیل نزدیک‌تر باشد مقدار به یک نزدیک‌تر خواهد بود. در این پژوهش کسر تبخیری از الگوریتم سیال (Bastiaanssen et al., 1998) برآورد گردیده است که در آن:

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G_0} = \frac{R_n - G_0 - H}{R_n - G_0} \quad (8)$$

در رابطه‌ی (۸) $E\lambda$ شار گرمای نهان در الگوریتم سیال است که

ریزش آن‌ها (به‌ویژه برگ‌های پایینی) به علت نفوذ نور کم به داخل کانوپی، مقدار شاخص سطح برگ اندکی کاهش یافت. اگرچه عموماً شاخص سطح برگ در مرحله رسیدن دانه‌های ذرت کاهش می‌یابد اما بر اساس مشاهدات مزرعه‌ای، کاهش این شاخص به حدود ۳/۵ در زمان برداشت ذرت علوفه‌ای، به علت سرمازدگی و خشک شدن برگ‌های جوان بود. نتایج فوق با مطالعات سید شریفی و همکاران (۱۳۸۵)، کوهی چله کران و دهقانی سانج (۱۳۹۶)، عبدلی (۱۳۹۸)، کولایزی و همکاران و کیم و همکاران مطابقت دارد (Colaizzi et al., 2017; Kim et al., 2020).

نتایج مقادیر شاخص گیاهی NDVI به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای در نقاطی از مزرعه ذرت علوفه‌ای که طول و عرض جغرافیایی آن توسط دستگاه GPS برداشت شده بود در شکل ۳ نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که با رشد گیاه ذرت علوفه‌ای مقدار NDVI به تدریج افزایش می‌یابد و در زمان بیشینه رشد (اوج سبزیگی) به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در این مرحله که حدود ۷۰ روز پس از کاشت گیاه رخ داده، مقدار NDVI در نقاط اندازه‌گیری شده در سطح مزرعه در بازه ۰/۶۹ تا ۰/۷۸ و میانگین ۰/۷۵ بود. اگرچه در مرحله کاکل دهی به علت اثر سایه ایجادشده توسط اندام‌های هوایی گیاه و جذب نور قرمز توسط برگ‌ها و ساقه‌ها، زرد شدن تدریجی برگ‌ها و پر شدن دانه‌ها درحالی‌که به وزن تر گیاه افزوده می‌شود، مقدار NDVI اندکی کاهش می‌یابد ولی در صورتی که گیاه با تنش‌های محیطی مواجه نشود، تغییرات این شاخص بسیار کم است. روند تغییرات این شاخص گیاهی با نتایج وروانی و همکاران (۱۳۹۷)، جانسون و همکاران و جی و همکاران مطابقت دارد (Ji et al., 2021; Johnson et al., 2021).

نتایج مقادیر اندازه‌گیری شده‌ی عملکرد تر و خشک گیاه در ۹ نوبت نمونه‌برداری در طول فصل رشد در شکل ۴ نشان داده شده است. این نتایج حاکی از آن است که زیست‌توده و عملکرد تر در طول دوره رشد به تدریج افزایش یافته و در مرحله انتهایی دوره رشد و یک روز قبل از برداشت به حداکثر مقدار خود (به ترتیب ۲۰/۷ و ۵۹/۱۴ تن در هکتار) رسیده است.

همان‌طور که در بخش مواد و روش اشاره گردید، یکی از اهداف این تحقیق تعیین ضریب تابش فعال فتوسنتزی منطقه‌ای ذرت علوفه‌ای بود که بر اساس معادله ۶ توسط یک رابطه خطی با شاخص گیاهی NDVI تعریف شده است. بدین منظور ابتدا کسر تبخیری با استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای و الگوریتم سبال برای هر تصویر برآورد گردید. در شکل ۵ تغییرات مکانی کسر تبخیری برآوردشده از الگوریتم سبال در دو تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۵ (روز ۲۳ رشد) و ۱۰ مهر ۱۳۹۵ (روز ۸۷ رشد) به‌صورت نمونه نشان داده شده است. همان‌طوری که در این شکل (راست) نشان داده شده است در تاریخ ۸ مرداد ماه که فقط ۲۳ روز از کاشت ذرت گذشته، مقادیر کسر تبخیر

دقیق و پیش‌بینی عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای قبل از برداشت محصول در مزرعه بود و از طرف دیگر عملکرد تر ذرت علوفه‌ای در بین بهره‌برداران مرسوم و از عمومیت بیشتری برخوردار است، با کاربرد رابطه (۱۲) درصد ماده خشک نمونه‌ها تعیین و با استفاده از آن زیست‌توده به‌دست‌آمده از سنجش از دور، به عملکرد تر که در میان بهره‌برداران عمومیت بیشتری دارد تبدیل شد و با استفاده از NDVI تصاویر پس از رسیدن به مقدار حداکثر NDVI در طول فصل رشد، رابطه بین NDVI و عملکرد تر نهایی تعیین شد و از آن برای تخمین عملکرد در منطقه استفاده گردید.

$$(12) \quad \text{وزن خشک نمونه} \times 100 = \frac{\text{وزن تر نمونه}}{\text{وزن تر نمونه}} \text{ درصد ماده خشک}$$

شاخص‌های ارزیابی

شاخص‌های آماری متفاوتی برای سنجش اعتبار مدل‌ها وجود دارد که از آن جمله می‌توان به ضریب همبستگی (R^2)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، کارایی مدل‌سازی^۱ (EF)، ضریب جرم باقی‌مانده^۲ (CRM)، میانگین خطای مطلق^۳ (MAE) و میانگین انحراف^۴ (ME) اشاره کرد. مقدار RMSE نشان می‌دهد که پیش‌بینی‌ها تا چه حد، اندازه‌گیری‌ها را بیشتر و یا کمتر تخمین زده‌اند. آماره EF مقادیر پیش‌بینی را با میانگین اندازه‌گیری‌ها مقایسه می‌کند. آماره CRM تمایل مدل را برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. حداقل مقدار RMSE صفر و حداکثر EF برابر یک است. اگر تمام مقادیر اندازه‌گیری و پیش‌بینی باهم برابر شوند، مقدار عددی MAE، RMSE و CRM برابر صفر و مقدار EF یک خواهد شد.

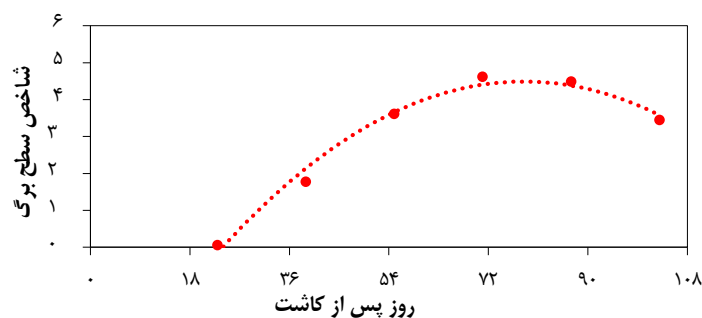
نتایج و بحث

با توجه به اهمیت شاخص سطح برگ به‌عنوان یک متغیر بیوفیزیکی برای پایش رشد گیاه و برآورد عملکرد محصول، متغیرهای لازم اندازه‌گیری و شاخص سطح برگ محاسبه گردید. درشکه ۲ نتایج میانگین LAI اندازه‌گیری شده در مزرعه در روزهای پس از کاشت نشان داده شده است. در مراحل اولیه از رشد گیاه، میزان LAI به دلیل تعداد کم و کوچک بودن برگ‌ها و کامل نبودن پوشش گیاهی پایین و حدود ۰/۰۶ است ولی به تدریج با رشد و افزایش تعداد و سطح برگ‌های گیاه، شاخص سطح برگ افزایش یافته تا پس از گذشت حدود ۷۰ روز از زمان کاشت به حداکثر مقدار خود (۴/۶) رسیده است. سپس به دلیل سایه‌اندازی برگ‌ها روی همدیگر، پیری برگ‌ها و

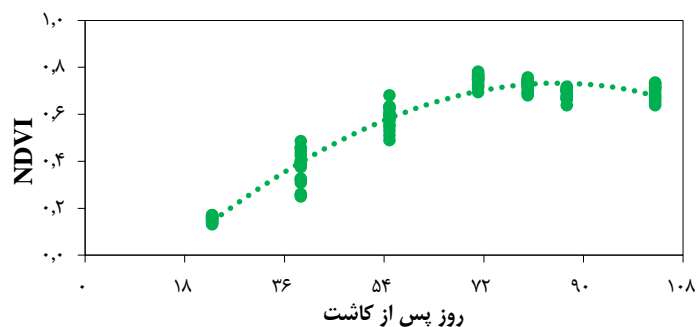
- 1 Modeling Efficiency
- 2 Coefficient of Residual Mass
- 3 Mean Square Error
- 4 Mean Error

انرژی جذب شده در دو تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۵ (روز ۲۳ رشد) و ۱۰ مهر ۱۳۹۵ (روز ۸۷ رشد) به صورت نمونه در شکل ۶ نشان داده شده است. این نتایج به خوبی نشان می‌دهد که ضریب راندمان انرژی جذب شده در طول دوره رشد ذرت علوفه‌ای متفاوت است و فرض کردن یک مقدار ثابت برای این پارامتر در طول دوره رشد می‌تواند عملکرد دانه، ماده خشک، تولید خالص و دیگر نمایه‌های رشد محصول را تحت تأثیر قرار دهد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Asrar et al., 1984; Bastiaanssen and Ali, 2003; Li et al., 2012; Wang et al., 2019).

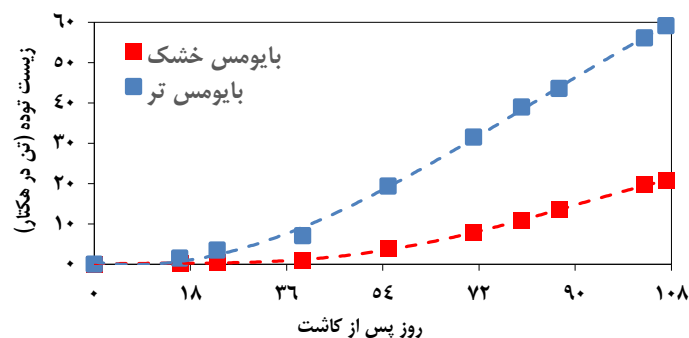
در مزرعه لینیبر (A, B, C و D) بسیار کم است در صورتی که در مزرعه مجاور که به آن مزرعه نیم‌سنتز معروف بود (اصطلاح بر اساس شکل زمین و نوع آبیاری) و حدوداً بیست روز زودتر از مزرعه لینیبر کشت شده بود متوسط مقادیر کسر تبخیر حدود ۰/۵ مشاهده می‌شود ولی در مهرماه (چپ) که مزرعه لینیبر نیز به حداکثر رشد خود رسیده و نزدیک برداشت است مقدار متوسط کسر تبخیر در لینیبر و نیم‌سنتز به طور میانگین به ۰/۹۵ رسیده است (با توجه به راهنمای رنگ شکل ۵). نتایج ضریب راندمان انرژی جذب شده (ε) با استفاده از کسر تبخیری برآورد شده و با در نظر گرفتن تأثیرات دما بر ضریب راندمان



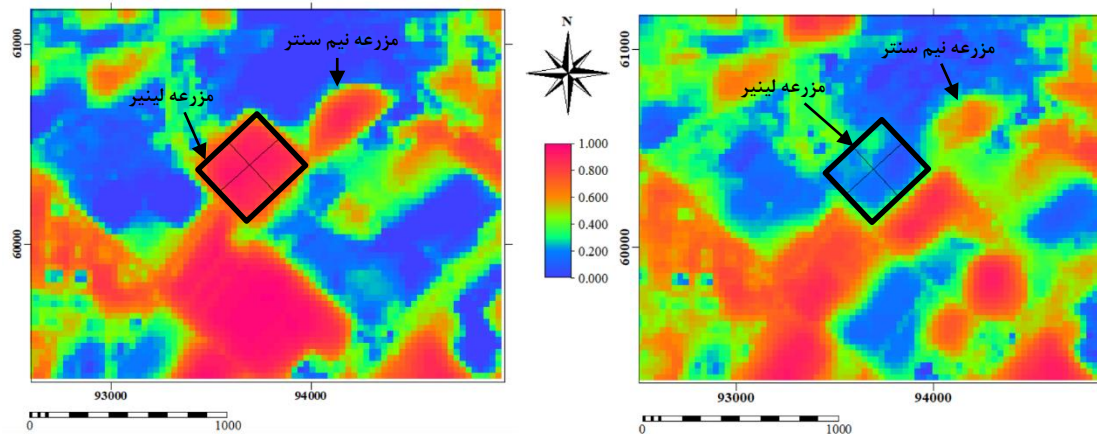
شکل ۲- متوسط شاخص سطح برگ اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف مزرعه در طول دوره رشد ذرت علوفه‌ای



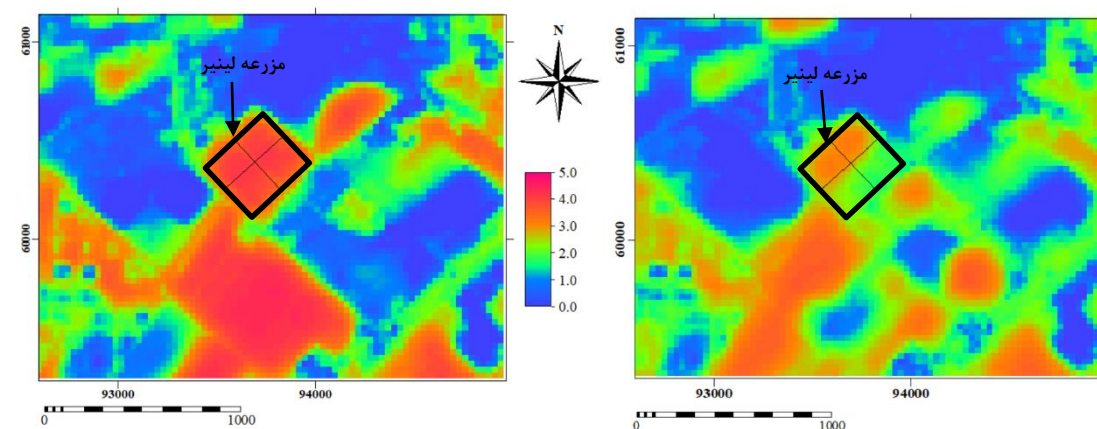
شکل ۳- روند تغییرات شاخص گیاهی NDVI ذرت علوفه‌ای در طول دوره رشد محصول



شکل ۴- متوسط زیست توده اندازه‌گیری شده در سطح تمام قطعات



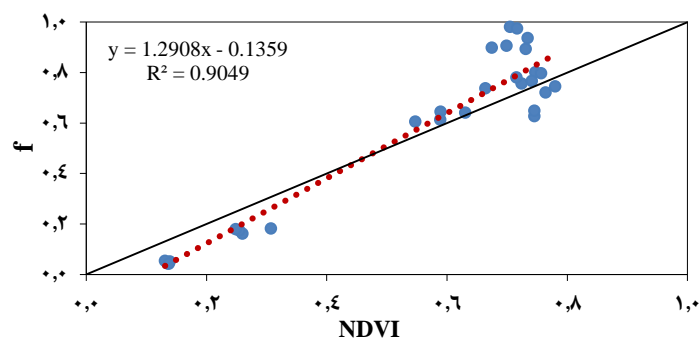
شکل ۵- نقشه‌های کسر تبخیری در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۵ (راست) و ۱۰ مهر ۱۳۹۵ (چپ)



شکل ۶- نقشه‌های ضریب راندمان انرژی جذب‌شده در تاریخ ۸ مرداد ۱۳۹۵ (راست) و ۱۰ مهر ۱۳۹۵ (چپ)

رابطه خطی بین NDVI و f می‌توان مقادیر a و b را برای منطقه مورد مطالعه تعیین نمود. همان‌طوری که در شکل ۷ نشان داده شده است، مقادیر a و b برای ذرت علوفه‌ای در استان البرز به ترتیب $۱/۳۵۹-$ و $۱/۲۹۰۸$ به دست آمد.

پس از محاسبه ضریب راندمان انرژی جذب‌شده (ع) و با توجه به اطلاعات مزرعه‌ای قطعه A، طرف چپ معادله ۱۱ برای هر پیکسل که معادل f است، محاسبه شد که نتایج آن در مقابل شاخص گیاهی NDVI در شکل ۷ نشان داده شده است. بدیهی است که با برآزش



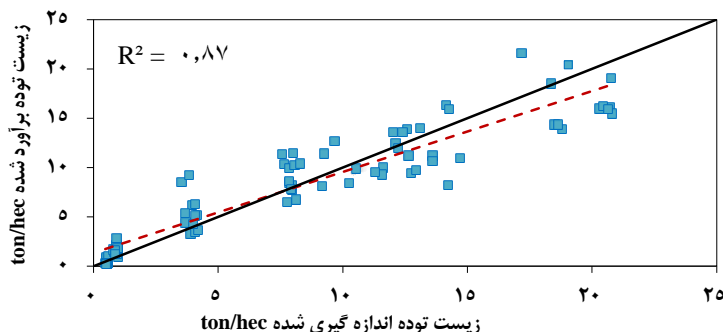
شکل ۷- برآزش رابطه NDVI و f و مشخص نمودن مقادیر a و b

از نتایج به دست آمده از گام‌های قبل (شدت تابش ورودی خورشید برای روزهای مورد مطالعه، ضریب راندمان انرژی جذب‌شده و مقادیر

همان‌طور که در بخش مواد و روش ذکر شده است، برای صحت‌سنجی مقادیر a و b به دست آمده، میزان زیست‌توده با استفاده

بود) مقایسه و دقت آن با استفاده از پارامترهای آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول ۲).

NDVI تصاویر) برای هر روز محاسبه گردید. در شکل ۸ نتایج مقادیر زیست توده محاسباتی با زیست توده اندازه گیری شده در نقاط مختلف مزرعه در سه قطعه دیگر (که از نتایج آن برای واسنجی استفاده نشده

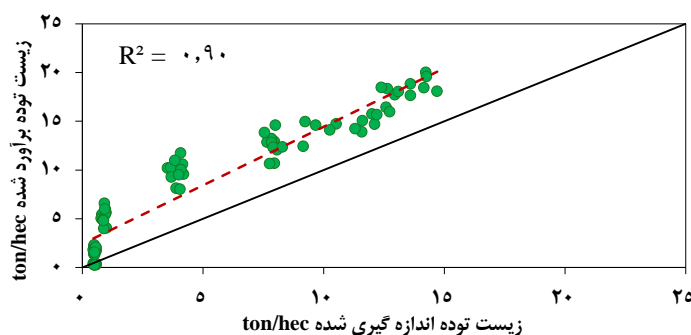


شکل ۸- همبستگی بین عملکرد محصول برداشت شده و عملکرد محصول برآورد شده (تن در هکتار) در مدل بهینه شده

مختلف مزرعه (در سه قطعه B, C و D) مقایسه و در شکل ۹ نشان داده شده است. همان طوری که مشاهده می شود در صورتی که برای پارامترهای مدل مانیتث (a, b و ε) مقادیر ثابت قید شده در منابع عملکرد محصول بیش از عملکرد واقعی در منطقه خواهد بود.

اگرچه نتایج ارائه شده در شکل ۹ حاکی از آن است که ضریب همبستگی بین زیست توده برآورد شده با استفاده از مقادیر ثابت a, b و ε و مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه ۰/۸۳ و در حد قابل قبولی است، اما مقادیر برآورد شده از مدل بهینه نشده از پراکنش خوبی در اطراف خط یک به یک برخوردار نبوده و بررسی اولیه نشان می دهد که مدل از دقت قابل قبول برخوردار نیست. لذا برای بررسی های دقیق تر از شاخص های آماری ارزیابی استفاده و نتایج آن در جدول (۲) نشان داده شده است.

همان طور که در شکل ۸ نشان داده شده است، مقادیر زیست توده برآورد شده با استفاده از مدل بهینه شده و اندازه گیری شده در نقاط مختلف مزرعه، از پراکنش خوبی در اطراف خط یک به یک برخوردارند. ضریب همبستگی بین زیست توده برآورد شده از اطلاعات ماهواره ای با استفاده از مقادیر a, b و ε بهینه شده برای منطقه مورد مطالعه و مقادیر اندازه گیری شده در مزرعه ۰/۸۷ است که نشان می دهد مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است. با توجه به اینکه یکی از اهداف این تحقیق مقایسه نتایج زیست توده برآورد شده با استفاده از پارامترهای بهینه شده و نیز زیست توده برآورد شده با استفاده از مقادیر ثابت بود، برای نشان دادن میزان تأثیر بهینه کردن پارامترهای مدل مانیتث (a, b و ε) در کاهش خطای برآورد، زیست توده خشک با استفاده از مدل اولیه مانیتث با فرض کردن پارامترهای ثابت و بهینه نشده برای منطقه برآورد گردید و با مقادیر اندازه گیری شده در نقاط



شکل ۹- همبستگی بین عملکرد محصول برداشت شده و عملکرد محصول برآورد شده (تن در هکتار) در مدل بهینه نشده

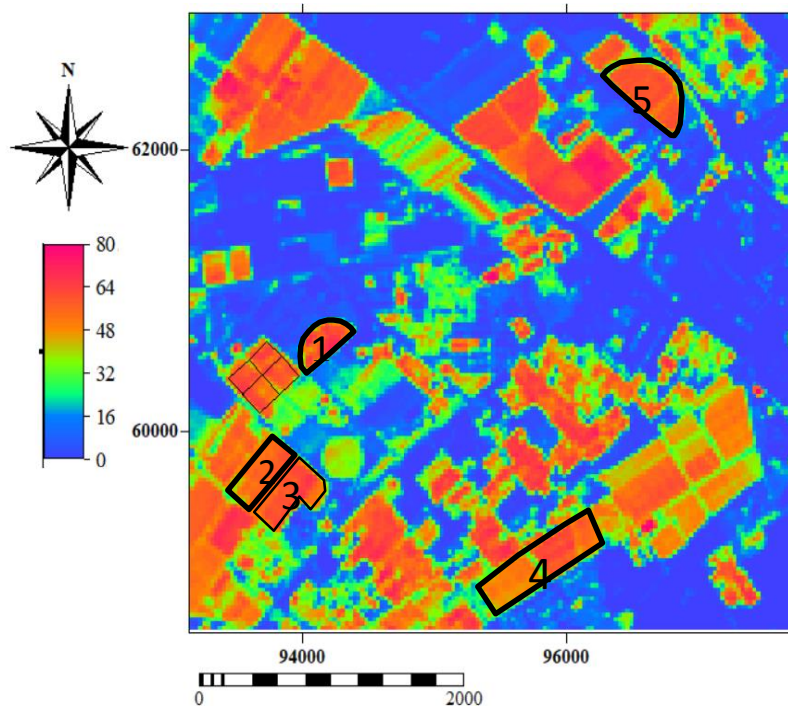
جدول ۲- نتایج شاخص های ارزیابی دقت زیست توده برآورد شده از اطلاعات ماهواره ای در دو حالت بهینه شده و بهینه نشده

شاخص آماری	R ²	RMSE (kg)	EF	CRM	MAE (kg)	ME (kg)
مدل مانیتث بهینه شده	۰/۸۷	۲۳۳۲/۴۶	۰/۸۷	-۰/۰۱	۱۷۴۳/۱۷	۱۱۱/۶۴
مدل مانیتث بهینه نشده	۰/۹۰	۴۱۳۰/۴۸	۰/۳۰	-۰/۶۵	۳۵۶۸/۱۷	۳۵۱۶/۱۹

با مدل بهینه نشده میان دقت قابل قبول مدل بهینه شده است. به‌طور کلی نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل بهینه شده در این مطالعه در برآورد زیست‌توده (جدول ۲) نشان می‌دهد که این مدل از دقت و ضریب همبستگی نسبتاً بالایی برخوردار است که با نتایج سایر محققان همخوانی دارد (Awad, 2019; Dwivedi et al., 2019; Zheng et al., 2016; Chaurasiya et al., 2017).

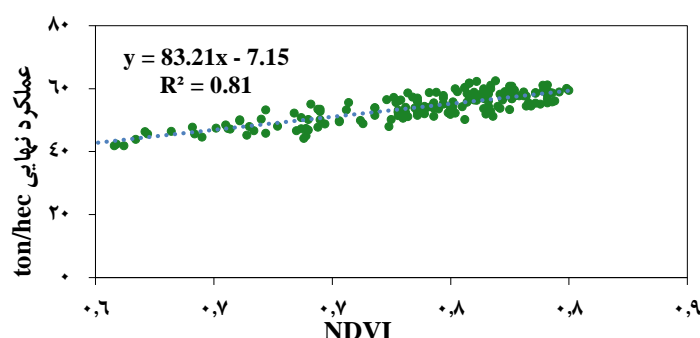
با توجه به اینکه ذرت علوفه‌ای به‌صورت سبز و سیلویی برداشت می‌شود و عملکرد تر محصول بین بهره‌برداران مرسوم است، ولی بر اساس نتایج تحقیقات انجام شده و بهره‌گیری از تکنولوژی سنسجس از دور زیست‌توده تعیین می‌شود، لذا برای کاربردی نمودن فناوری سنسجس از دور بهتر است با استفاده از درصد ماده خشک در مرحله انتهایی رشد (زمان برداشت)، عملکرد ذرت علوفه‌ای را به صورتی که در میان بهره‌برداران مرسوم است تعیین کرد. با توجه به ۴۸ نمونه برداشت شده از نقاط مختلف مزرعه در روز ۱۰۷ از دوره رشد (یک روز قبل از برداشت) میانگین وزن خشک و تر محصول به این ترتیب ۶۶۲ و ۱۸۷۰ گرم بود، میانگین درصد ماده خشک گیاه، ۰/۳۵ تعیین شد. از این نتایج برای برآورد عملکرد تر ذرت علوفه‌ای به کمک فناوری سنسجس از دور استفاده شد و نقشه عملکرد تر ذرت علوفه‌ای تعیین گردید (شکل ۱۰).

نتایج ارائه شده در جدول ۲ در خصوص مدل مانیتینگ بهینه شده نشان می‌دهد که جذر میانگین مربع خطا بین مقادیر واقعی و برآورد-شده ۲۳۳۲ کیلوگرم در هکتار است و با توجه به میانگین زیست‌توده در مزرعه در زمان برداشت که ۲۰/۷ تن در هکتار به دست آمده است، مدل با خطای حداکثر $\pm ۱۱\%$ برآورد مطلوبی را ارائه داده است که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد (Bastiaanssen and Ali, 2003; Argolo dos Santos et al., 2020). در حالی که در مدل بهینه نشده، جذر میانگین مربع خطا $۴۱۳۰/۵$ کیلوگرم و خطای $\pm ۲۱\%$ مدل از دقت قابل قبولی در برآورد زیست‌توده برخوردار نیست. نتایج شاخص کارایی نیز نشان داد مدل بهینه شده با مقدار ۰/۸۷ دارای کارایی قابل قبول و مدل بهینه نشده با مقدار ۰/۳۰ از کارایی کم و غیرقابل قبولی برخوردار است. شاخص CRM تمایل مدل را برای برآورد بیش از حد و یا کمتر از حد در مقایسه با اندازه‌گیری‌ها نشان می‌دهد. مقدار منفی ($-۰/۰۱$ و $-۰/۶۵$) برای آماره CRM، دلالت بر تمایل مدل بهینه شده و بهینه نشده در بیش برآورد کردن مقادیر تخمینی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده زیست‌توده دارد. هرچه مقدار شاخص CRM به صفر نزدیک‌تر باشد مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل به مقادیر واقعی نزدیک‌تر خواهد بود لذا در این مطالعه با استفاده از مدل بهینه شده شاهد نتایج قابل قبول‌تری هستیم. همچنین کوچکی مقادیر شاخص MAE و ME در مدل بهینه شده در مقایسه



شکل ۱۰- نقشه پراکنش مکانی عملکرد تر نهایی ذرت علوفه‌ای در روز ۲۶ مهر ۱۳۹۵ (۱۰۳ روز پس از کاشت) بر اساس تن بر هکتار

محصول بود، با استفاده از میانگین درصد ماده خشک به دست آمده، زیست توده برآورد شده از مدل بهینه با در نظر گرفتن a، b و ε بهینه شده، در تمام قطعات به عملکرد تر تبدیل شد و با مقادیر NDVI نظیر در هر پیکسل برای تصاویر ماهواره‌ای موجود پس از رسیدن گیاه به حداکثر شاخص گیاهی NDVI برازش داده شد. نتایج نشان داد که پس از رسیدن به حداکثر شاخص گیاهی NDVI رابطه خوبی بین شاخص NDVI و عملکرد تر نهایی ذرت علوفه برقرار است. در شکل ۱۱ نتایج روز ۲۵ شهریور (۷۱ روز پس از کاشت) به عنوان نمونه نشان داده شده است.



شکل ۱۱- رابطه‌ی مقادیر NDVI و عملکرد تر نهایی با استفاده از مدل بهینه شده بر اساس تن بر هکتار

منطقه اقدام شد (شکل ۱۲). همان طوری که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، ضریب همبستگی بین عملکرد واقعی برداشت شده و عملکرد برآورد شده از رابطه (۱۳) برابر ۰/۷۷ بود و مدل از دقت قابل قبولی برخوردار است.

نتیجه گیری

در این پژوهش که با هدف افزایش دقت برآورد عملکرد تر ذرت علوفه‌ای به کمک اطلاعات سنجش از دور قبل از رسیدن به زمان برداشت، در مزارع معاونت آب و خاک وزارت جهاد کشاورزی کرج، استان البرز انجام گرفت، از ۷ تصویر ماهواره لندست ۸ در طول دوره رشد ذرت علوفه‌ای در سال ۱۳۹۵ استفاده شد. برای دستیابی به این هدف پارامترهای مدل مانتیث (۱۹۷۲) مانند ضریب راندمان انرژی جذب شده و نسبت تابش فعال فتوسنتزی جذب شده به تابش فعال فتوسنتزی (f) که توسط رابطه‌ی خطی با NDVI تعریف شده است، برای منطقه مورد مطالعه بهینه شد و با استفاده از مدل بهینه شده زیست توده خشک ذرت علوفه‌ای برآورد گردید.

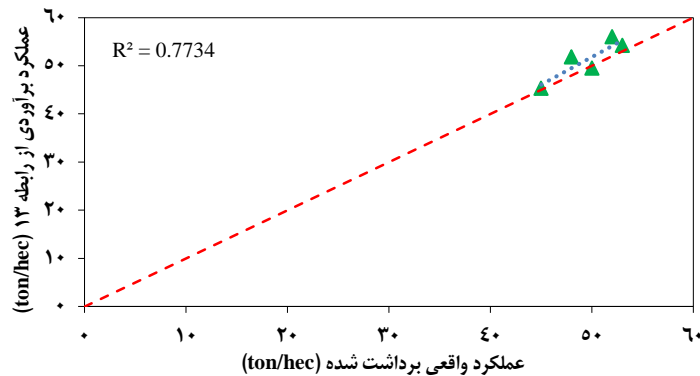
در شکل ۱۰ نقشه پراکنش مکانی عملکرد تر نهایی ذرت علوفه-ای در روز ۲۶ مهر (۱۰۳ روز پس از کاشت) به عنوان آخرین تصویر موجود و نزدیک به زمان برداشت (۵ روز قبل از برداشت) نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که متوسط میزان عملکرد ذرت علوفه‌ای در بخش لینیر در مزارع معاونت آب و خاک ۵۶/۳ تن بر هکتار است که با اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای مطابقت دارد.

اگرچه برای تعیین دقیق عملکرد محصول ذرت علوفه‌ای بهتر است که میزان زیست توده در هر تصویر تعیین و سپس میزان کل زیست توده محاسبه گردد ولی با توجه به اینکه هدف اصلی این تحقیق پیش بینی دقیق عملکرد ذرت علوفه‌ای قبل از برداشت

همان طور که در شکل ۱۱ نشان داده شده است، شاخص NDVI در مرحله رسیدن به رشد حداکثر با مقدار عملکرد نهایی ذرت علوفه‌ای در کل دوره رشد محصول رابطه معناداری دارد. ضریب همبستگی رابطه خطی به دست آمده ۰/۸۱ است لذا این نتایج نشان داد که با تعیین شاخص گیاهی NDVI در چند هفته قبل از برداشت و استفاده از رابطه (۱۳) به راحتی می‌توان عملکرد ذرت علوفه‌ای را با دقت ۱۰ درصد پیش بینی کرد.

$$Yeild = 83.21 \times NDVI - 7.15 \quad (13)$$

که در آن Yeild عملکرد تر ذرت علوفه‌ای (تن در هکتار) و NDVI متوسط شاخص تفاضل نرمال شده گیاهی در تصویر چند هفته قبل از برداشت محصول است. اگرچه در استخراج رابطه ۱۳ از عملکرد ذرت علوفه‌ای در شرایط مختلف رشد محصول در مزرعه استفاده شد ولی برای اطمینان از کاربرد رابطه (۱۳) در سایر مزارع با مدیریت‌های مختلف (با سیستم‌های آبیاری متفاوت)، ۵ مزرعه در منطقه مورد مطالعه که در سال ۱۳۹۵ به کشت ذرت علوفه‌ای اختصاص داشتند انتخاب و عملکرد تر واقعی مزارع در زمان برداشت از بهره‌برداران اخذ و نسبت به صحت سنجی مدل پیشنهادی در سطح



شکل ۱۲- همبستگی بین عملکرد واقعی برداشت‌شده و برآورد شده از رابطه ۱۳ در سطح منطقه

برآورد میزان زیست‌توده گیاه با استفاده از تصاویر دوربین دیجیتال. نشریه علمی علوم و فنون نقشه‌برداری. ۹(۳): ۱-۱۱.

سید شریفی، ر.، جوانشیر، ع.، شکیبیا، م.ر.، گلعدانی، ک.، محمدی، ا. و سید شریفی، ر. ۱۳۸۵. آنالیز ذرت متأثر از سطوح تراکم و دوره‌های مختلف تداخل سورگوم. مجله بیابان. ۱۱(۱): ۱۴۳-۱۵۶.

عبدلی، م. ۱۳۹۸. بررسی روند تغییرات شاخص‌های فیزیولوژیکی رشد ذرت (*Zea mays L.*) در تاریخ‌های کاشت متفاوت در شرایط آب و هوایی ورامین. فصلنامه علمی پژوهشی دانش زیستی ایران. ۱۴(۱): ۳۵-۵۳.

فرشیدنیا، ص. و نصیری، ع. ۱۳۹۷. بررسی پارامترهای هواشناسی و اقلیم (مطالعه موردی: حوضه کرج). کنفرانس ملی عمران و معماری در مدیریت شهری قرن ۲۱.

کوهی چله کران، ن. و دهقانی سانج، ح. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی شاخص سطح برگ ذرت دانه‌ای رقم سینگل کراس ۷۰۴ در شرایط تنش خشکی. نشریه پژوهش آب در کشاورزی. ۳۱(۳): ۴۸۳-۴۹۱.

وروانی، ه.، فرهادی بانسوله، ب. و شریفی، م.ع. ۱۳۹۷. ارزیابی شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر سنجش از دور در مراحل مختلف رشد برای برآورد زیست‌توده ذرت. نشریه تولید گیاهان زراعی. ۱۱(۳): ۲۹-۴۱.

ولاشجردی، م.م.، حمزه، س. و مقدسی موشینی دشتگل، ع. ۱۳۹۷. مدل سازی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از مدلی ترکیبی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۲۵(۶): ۱۴۱-۱۵۸.

Argolo dos Santos, R., Chartuni Mantovani, E., Filgueiras, R., Inácio Fernandes-Filho, E., Crislielle Barbosa da Silva, A. and Peroni Venancio, L. 2020. Actual Evapotranspiration and Biomass of Maize from a Red-Green-Near-Infrared (RGNIR) Sensor

ارزیابی‌های انجام‌شده نشان داد که میزان عملکرد محصول به‌دست‌آمده از سنجش از دور همبستگی خوبی با مشاهدات زمینی دارد. برای نشان دادن تأثیر بهینه کردن پارامترهای فوق، زیست‌توده با استفاده از همان تصاویر و بدون بهینه کردن پارامترها در مدل مانیتینگ مجدداً برآورد گردید و با زیست‌توده اندازه‌گیری شده در مزرعه مقایسه شد. نتایج نشان داد بهینه کردن پارامترها نقش قابل‌توجهی در افزایش دقت برآورد عملکرد با استفاده از سنجش از دور دارد. لذا با توجه به دقت مناسب مدل بهینه‌شده در برآورد زیست‌توده و از آنجایی که ذرت علوفه‌ای به‌صورت سبز و سیلویی برداشت می‌شود و عملکرد تر محصول بین بهره‌برداران مرسوم است، با استفاده از میانگین درصد ماده خشک به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای، زیست‌توده برآورد شده از مدل بهینه‌شده در هر پیکسل به عملکرد تر در همان پیکسل تبدیل و با NDVI نظیر در تصاویر پس از رسیدن به مقدار حداکثر NDVI در طول فصل رشد برازش داده شد. به‌این ترتیب رابطه‌ای خطی با ضریب همبستگی مناسب ($R^2 = 0.81$) برای برآورد دقیق و پیش‌بینی عملکرد ذرت علوفه‌ای چند هفته قبل از برداشت محصول در منطقه به دست آمد. برای صحت سنجی رابطه‌ی به‌دست‌آمده، اطلاعات مربوط به مقادیر عملکرد تر ۵ مزرعه در منطقه مورد مطالعه با مدیریت‌های مختلف از بهره‌برداران جمع‌آوری و با مقادیر برآوردشده از رابطه مقایسه شد. نتایج نشان داد استفاده از رابطه‌ی (۱۳) به‌دست‌آمده از دقت قابل قبولی برخوردار بود و استفاده از آن در سطح منطقه مورد مطالعه توصیه می‌شود.

منابع

جرعه نوش، م.ه.، برومند نسب، س.، ناصری، ع.ع.، پاک پرور، م. و تقواییان، ص. ۱۳۹۹. کاربرد شاخص‌های سنجش از دور در تخمین پوشش تاجی، زیست‌توده و تاریخ کشت گندم. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۱۴(۱): ۱۹۳-۲۰۴.

حجازی، س.ع. و مباحثی، م. ر. ۱۳۹۸. روشی غیر تخریبی برای

- productivity. *Remote Sensing*. 8(3): 170.
- Dwivedi, M., Saxena, S. and Ray, S. S. 2019. Assessment of Rice Biomass Production and Yield Using Semi-Physical Approach and Remotely Sensed Data. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*.
- Gitelson, A. A. 2019. Remote estimation of fraction of radiation absorbed by photosynthetically active vegetation: generic algorithm for maize and soybean. *Remote Sensing Letters*. 10(3): 283-291.
- Gitelson, A.A.; Peng, Y.; Arkebauer, T.J. and Suyker, A.E. 2015. Productivity, absorbed photosynthetically active radiation, and light use efficiency in crops: Implications for remote sensing of crop primary production. *Journal of Plant Physiology*. 177: 100-109.
- Ghasemi, N., Sahebi, M.R. and Mohammadzadeh, A. 2013. Biomass estimation of a temperate deciduous forest using wavelet analysis. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 51(2): 765-776.
- Goudriaan, J. 1977. *Crop Micrometeorology: A Simulation Study*. Centre for Agricultural Publishing and Documentation. Wageningen.
- Ji, Z., Pan, Y., Zhu, X., Wang, J. and Li, Q. 2021. Prediction of Crop Yield Using Phenological Information Extracted from Remote Sensing Vegetation Index. *Sensors*. 21(4): 1406.
- Johnson, D. M., Rosales, A., Mueller, R., Reynolds, C., Frantz, R., Anyamba, A. and Tucker, C. 2021. USA Crop Yield Estimation with MODIS NDVI: Are Remotely Sensed Models Better than Simple Trend Analyses?. *Remote Sensing*. 13(21): 4227.
- Kim, N., Na, S. I., Park, C. W., Huh, M., Oh, J., Ha, K. J. and Lee, Y. W. 2020. An artificial intelligence approach to prediction of corn yields under extreme weather conditions using satellite and meteorological data. *Applied Sciences*. 10(11): 3785.
- Laipelt, L., Ruhoff, A. L., Fleischmann, A. S., Kayser, R. H. B., Kich, E. D. M., da Rocha, H. R. and Neale, C. M. U. 2020. Assessment of an automated calibration of the SEBAL algorithm to estimate dry-season surface-energy partitioning in a forest-savanna transition in Brazil. *Remote Sensing*. 12(7): 1108.
- Liao, C., Wang, J., Dong, T., Shang, J., Liu, J. and Song, Y. 2019. Using spatio-temporal fusion of Landsat-8 and MODIS data to derive phenology, biomass and yield estimates for corn and soybean. *Science of the total environment*. 650: 1707-1721.
- Li, A., Bian, J., Lei, G. and Huang, C. 2012. Estimating the maximal light use efficiency for different on Board an Unmanned Aerial Vehicle (UAV). *Water*. 12(9): 2359.
- Asrar, G., Fuehs, M., Kanemasu, E. T. and Hatfield, J. L. 1984. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat, *Agronomy Journal*. 1(76):300-306.
- Awad, M.M. 2019. Toward precision in crop yield estimation using remote sensing and optimization techniques. *Agriculture*. 9(3): 54.
- Bastiaanssen, W.G.M., Menenti, M., Feddes, R.A. and Holtslag, A. A. M. 1998. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. *Journal Hydrology*. 198-212.
- Bastiaanssen, W.G. and Ali, S. 2003. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. *Agriculture, ecosystems and environment*. 94(3): 321-340.
- Calera, A., González-Piqueras, J. and Melia, J. 2004. Monitoring barley and corn growth from remote sensing data at field scale. *International Journal of Remote Sensing*. 25(1): 97-109.
- Cai, X.L. and Sharma, B.R. 2010. Integrating remote sensing, census and weather data for an assessment of rice yield, water consumption and water productivity in the Indo-Gangetic river basin. *Agricultural Water Management*. 97:309-316.
- Chaurasiya, G., Saxena, S., Tripathy, R., Chaudhari, K.N. and Ray, S.S. 2017. Semi Physical Approach for Sugarcane Yield Modelling with Remotely Sensed Inputs. *Vayu Mandal*. 43(1): 11-22.
- Claverie, M., Demarez, V., Duchemin, B., Hagolle, O., Ducrot, D., Marais-Sicre, C., Dejoux, J.-F., Huc, M., Keravec, P., Béziat, P., et al. 2012. Maize and sunflower biomass estimation in southwest France using high spatial and temporal resolution remote sensing data. *Remote Sens. Environ*. 124: 844-857.
- Colaizzi, P.D., Evett, S.R., Brauer, D.K., Howell, T.A., Tolk, J.A. and Copeland, K.S. 2017. Allometric method to estimate leaf area index for row crops. *Agronomy Journal*. 109(3): 883-894.
- Dong, T., Liu, J., Qian, B., Jing, Q., Croft, H., Chen, J., Wang, J., Huffman, T., Shang, J. and Chen, P. 2017. Deriving Maximum Light Use Efficiency From Crop Growth Model and Satellite Data to Improve Crop Biomass Estimation. *Satellite Data to Improve Crop Biomass Estimation. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*. 10: 104-117.
- Durgun, Y. Ö., Gobin, A., Gilliams, S., Duveiller, G., and Tychon, B. 2016. Testing the contribution of stress factors to improve wheat and maize yield estimations derived from remotely-sensed dry matter

- Wang, Y., Xu, X., Huang, L., Yang, G., Fan, L., Wei, P., and Chen, G. 2019. An improved CASA model for estimating winter wheat yield from remote sensing images. *Remote Sensing*. 11(9): 1088. <https://doi.org/10.3390/rs11091088>
- Zheng, Y., Zhang, M., Zhang, X., Zeng, H. and Wu, B. 2016. Mapping winter wheat biomass and yield using time series data blended from PROBA-V 100- and 300-m S1 products. *Remote Sensing*. 8(10): 824. <https://doi.org/10.3390/rs8100824>
- Zhang, H., Chen, H. and Zhou, G. 2012. The model of wheat yield forecast based on modis-ndvi: a case study of Xinxiang. In *Proceedings of the ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences Congress*.
vegetation through the CASA model combined with time-series remote sensing data and ground measurements. *Remote sensing*. 4(12): 3857-3876.
- Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of Applied Ecology*. 9: 747-766.
- Plénet, D., Mollier, A. and Pellerin, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant Soil*. 224: 259-272.
- Tewes, A. and Schellberg, J. 2018. Towards remote estimation of radiation use efficiency in maize using uav-based low-cost camera imagery. *Agronomy*. 8(2):16. <https://doi.org/10.3390/agronomy8020016>

Silage Maize Yield Prediction Using Satellite Data

S. Amini¹, A. Alizadeh^{*2}, A. Farid Hosseini³, M. Akbari⁴

Received: Dec.20, 2021

Accepted: Jan.19, 2021

Abstract

Although direct measurement of Silage maize yield is accurate but is difficult, time-consuming, costly despite, and not applicable in large scale. Due to these limitations, the tendency to use indirect methods has increased such as remote sensing in estimating crop yield. However, accurate estimation of crop yield through remote sensing always faces challenges such as the use of images and image parameters suitable for each region. The aim of this study was to increase the accuracy of estimating the fresh weight of Silage maize before the harvest by using Monteith Model and remote sensing. The parameters of the Monteith model were optimized such as the energy efficiency coefficient absorbed in the area, and the biomass of Silage maize was estimated using Landsat 8 satellite data and compared with the biomass measured in the field. The estimated yield with the optimized model showed a significant correlation ($R^2 = 0.87$) with the actual yield of the fields. The results showed that the estimation error was reduced to an acceptable level ($\pm 10\%$) by optimizing the parameters with the Monteith model compared with the none-optimization of the parameters. The corn dry weight estimated by the optimized model was converted to fresh weight yield and then by using the NDVI values of satellite images, after the highest NDVI value, a linear relationship with an acceptable correlation coefficient ($R^2 = 0.81$) for fresh weight estimation of fodder corn was presented in during the growing period in the study area. Overall, the yield of Silage maize can be predicted with acceptable accuracy by using NDVI results with one or two pre-harvest images (1-3 weeks before harvest) and using the obtained relationship.

Keywords: Biomass, Images silage maize, Monteith model, NDVI, Landsat 8

1- PhD Student of Irrigation and Drainage, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad., Mashhad., Iran

3- Associate Professor of faculty of Water Resources Engineering, Ferdowsi University of Mashhad., Mashhad., Iran

4- Associate Professor of Water Engineering, Agricultural Engineering Research Institute., Alborz., Iran

(* - Corresponding Author Email: alizadeh@um.ac.ir)