Arch

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره ششم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2019.12252.2676

# مدل‌سازی عملکرد محصول نیشکر با استفاده از مدلی ترکیبی مبتنی بر داده‌های سنجش‌ازدور

**محمدمهدی ولاشجردی[۱]، *سعید حمزه[۲]، مه‌نوش مقدسی[۳] و علی شینی‌دشتگل[۴]**

[۱]دانشجوی کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه ملایر، [۲]استادیار گروه سنجش‌ازدور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، [۳]استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه اراک، [۴]مدیر بخش آب‌وخاک مؤسسه تحقیقات و آموزش نیشکر خوزستان

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۹/۶

## چکیده

**سابقه و هدف:** سیاست‌گذاران و مدیران، برای تدبیر استراتژی‌های مناسب مدیریتی، شامل قیمت محصول و بازار محصولات در امر واردات و صادرات، نیاز به اطلاعاتی در مورد عملکرد حاصله از محصولات کشاورزی در مقیاس‌های مختلف دارند، اما همواره تخمین میزان عملکرد محصول با توجه به عدم اطلاعات کافی زمینی امری بسیار سخت و هزینه‌بر بوده است. مناسب‌ترین راه، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک سنجش‌ازدور می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف برآورد عملکرد محصول نیشکر با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ انجام شد.

**مواد و روش‌ها:** در این پژوهش، یک مدل ترکیبی برای برآورد عملکرد محصول نیشکر استفاده شد. این مدل ترکیبی شامل مدل مانتیث برای محاسبه تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده، مدل استنفورد برای تعیین راندمان مصرف نور و مدل بیلان انرژی سطح زمین (سبال) برای توصیف تغییرات مکانی- زمانی سطح زمین می‌باشد. نقشه عملکرد محصول از اجرای این مدل در سال ۱۳۹۲ و با به‌کارگیری ۱۰ تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ به‌دست آمد. در مدل سبال همه اجزای بیلان انرژی شامل تابش خالص، شار گرمای خاک، شار گرمای محسوس از تصاویر ماهواره‌ای محاسبه و در نهایت میزان کسر تبخیر بر اساس معادله بیلان انرژی در سطح به‌دست آمد. برای برآورد ماده خشک تولیدی با توجه به تاریخ و تعداد تصاویر، تابش فعال فتوسنتزی در ۱۰ بازه زمانی محاسبه شد. هر تصویر نماینده یک بازه زمانی گسسته است. در این پژوهش تمام اجزای این مدل ترکیبی برای همه تصاویر موجود در بازه زمانی دوره اصلی رشد محصول نیشکر محاسبه شد و در نهایت اقدام به تهیه نقشه عملکرد محصول برای این منطقه گردید.

**یافته‌ها:** متوسط عملکرد محصول نیشکر در طول دوره رشد ۵۶ تن در هکتار برآورد شد. میزان عملکرد برآورد شده با این مدل ترکیبی، همبستگی و پراکنش خوبی با عملکرد واقعی مزارع نشان داد ($R^2$=۰/۸۳). سپس تأثیرات سن و رقم بر میزان دقت مدل در برآورد عملکرد نیشکر مورد بررسی قرار گرفت. مشخص شد از بین رقم‌های مختلف، مقادیر عملکرد محاسبه‌شده در مزارع تحت کشت رقم CP57-614 به‌علت زودرس بودن و تطابق بهتر با آخرین تصویر، همبستگی بالاتری با مقادیر واقعی عملکرد دارد. همچنین مشاهده شد با افزایش مقدار سن نیشکر از کشت تا بازرویی

* مسئول مکاتبه: saeid.hamzeh@ut.ac.ir



www.SID.ir

Archive of SID



چهارم هم عملکرد کاهش یافته و هم میزان عملکرد برآورد شده، همبستگی و پراکنش کم‌تری نسبت عملکرد واقعی نیشکر پیدا می‌کند و مقدار همبستگی تا ۰/۵۱ کاهش می‌یابد.

**نتیجه‌گیری:** نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های عملکرد محصول و رقم‌های کشت‌شده نشان‌دهنده این موضوع بود که عملکرد محصول نیشکر در رقم CP57-614 نسبت به رقم CP69-1062 بالاتر است و هم‌چنین تطابق بهتری با مدل ارائه‌شده نشان می‌داد. هم‌چنین مشاهده شد با افزایش سن‌های مختلف نیشکر از کشت تا بازرویی چهارم هم عملکرد کاهش یافته و هم میزان عملکرد برآورد شده، همبستگی و پراکنش کم‌تری نسبت عملکرد واقعی نیشکر پیدا می‌کند و مقدار $R^2$ کاهش می‌یابد و میزان خطا نیز افزایش پیدا می‌کند.

***واژه‌های کلیدی:*** بیلان انرژی، تصاویر ماهواره‌ای، مدل مانتیث، نیشکر

## مقدمه

برآورد حجم محصولات کشاورزی برای مدیران و سیاست‌گذاران در سطح منطقه‌ای و ملی از اهمیت بالایی برخوردار است (۳). با توجه به کاهش دسترسی به آب، تهدیدات بیش‌تر از تغییرات آب و هوایی، جمعیت و تقاضای مواد غذایی که به‌طور مستمر در حال افزایش است، نیاز به پیش‌بینی حجم محصولات کشاورزی نیز افزایش می‌یابد (۲). برآورد حجم محصولات به مدیران اقتصادی در مورد تغییرات عملکرد امکان برنامه‌ریزی مناسب در طول سال‌های متمادی را می‌دهد و می‌توان سیاست‌های اقتصادی شامل قیمت محصول و بازار محصولات چه در امر واردات و چه در امر صادرات را کنترل و راهبری کرد. این برآورد، نقش به‌سزایی در رشد و توسعه اقتصادی دولت‌ها دارد (١٤). تولید گیاهی نتیجه ترکیب داده‌های محیطی، مانند تابش خورشیدی و آب و دیگر عوامل مؤثر بر رشد گیاه است. به‌میزان تولید گیاهی در بازه‌ای خاص عملکرد محصول می‌گویند که هدف کشت محصول به‌دست آوردن این عملکرد است (۹). برآورد حجم محصول با استفاده از روش‌های مبتنی بر مشاهدات زمینی وقت‌گیر و پرهزینه است و به‌علت عدم پوشش مکانی کافی مشاهدات زمینی، دارای خطاهای زیادی می‌باشند و قابلیت اجرا در مناطق وسیع را نیز دارا نیستند (۱۵). مدل‌های مبتنی بر داده هواشناسی نیز با مشکلات زیادی شامل عدم مطابقت داده‌های هواشناسی با داده‌های کلی رشد محصول، عدم دسترسی به‌موقع به داده‌های هواشناسی و غیره همراه است (۲۱). به‌منظور برآورد حجم محصولات کشاورزی با دقت بالا و هزینه کم باید سیستم‌های کنترل حجم و رشد محصول به‌روز شوند تا اطلاعات کافی برای برآورد حجم محصول در دسترس باشد. در حالی‌که با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور، امکان تعیین سطح زیر کشت و نیز برآورد حجم محصول قابل‌برداشت از مزارع زیر کشت وجود دارد. داده‌های سنجش‌ازدور، پتانسیل و ظرفیت بالایی برای به‌روز کردن سیستم‌های کنترل رشد محصول و تولید داده‌هایی با دقت بالا دارند (۱۲). زیرا این تصاویر قادر به تهیه اطلاعات زمینی از پدیده‌ها و عوارض در مقیاس‌های جهانی در زمانی بسیار کوتاه با قابلیت تکرارپذیری، سهل‌الوصول بودن اطلاعات، دقت زیاد اطلاعات حاصل و صرفه‌جویی در زمان که می‌تواند مشکلات موجود در آماده‌سازی داده‌های ورودی متعدد مدل‌های شبیه‌سازی را کاهش دهد، هستند. جهت برآورد میزان عملکرد محصول با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، تاکنون مطالعات زیادی صورت پذیرفته



www.SID.ir

Archive of SID



است. توکر (۱۹۷۹) از تصاویر NOAA[1] با قدرت تفکیک مکانی ۱/۱ کیلومتری برای نظارت بر رشد زیست‌توده در مقیاس منطقه‌ای استفاده کردند (۲٤). لوبل (۲۰۰۲) از روش ماهواره‌ای مانتیث برای برآورد حجم محصول مزارع لوبیا استفاده کرد. وی با استفاده از اطلاعات حاصل از یک تصویر MODIS[2]، میزان انرژی فعال فتوسنتزی جذب‌شده توسط تاج پوشش گیاه را در لحظه تصویربرداری محاسبه نمود. سپس این پارامتر را با اندازه‌گیری‌های زمینی حاصل از پیرانومتر که ابزاری برای اندازه‌گیری مؤلفه‌های مختلف تابش خورشید است، ترکیب کرده و میزان حجم محصول را اندازه‌گیری کردند. میزان ضریب همبستگی بین داده‌های زمینی و حجم محصول برآورد شده با استفاده از این روش، ۰/۸ محاسبه شد (۱٦). باستینسن و همکاران (۲۰۰۲) نیز از روش ماهواره‌ای مانتیث برای برآورد حجم محصول گندم و پنبه در کشور پاکستان استفاده کردند. آن‌ها از تصاویر ماهواره‌ای MODIS اخذشده در طول دوره رشد، برای برآورد انرژی فعال فتوسنتزی جذب‌شده توسط خیمه گیاه استفاده کردند. همچنین با استفاده از این تصاویر و نیز با به‌کارگیری مدل بیلان انرژی سطح SEBAL[3]، میزان تأثیر تبخیر و تعرق در حجم محصول را نیز موردبررسی قرار دادند. ریشه میانگین مربعات خطا با استفاده از این روش برای محصولات گندم و پنبه به‌ترتیب ۱۳/٤۸ و ۰/۵۵ تن بر هکتار محاسبه شد (٦). احمد و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از تصاویر بدون ابر MODIS و مدل بیلان انرژی سطح زمین SEBAL مناطقی را شناسایی کردند که در آن عملکرد بخش کشاورزی در ولایت پنجاب پاکستان کم‌تر از پتانسیل بالقوه است (۱). کای و شارما (۲۰۱۰) از مدل تعادل انرژی سطحی ساده‌شده که داده‌های هواشناسی و درجه حرارت محصولات سطح زمین را با سنجنده MODIS به‌عنوان ورودی در نظر می‌گیرد، استفاده کردند و متوسط عملکرد محصول برنج برای پاکستان، هند، نپال و بنگلادش را ۲/٦، ۲/۵۳، ۳/۵٤ و ۲/۷۵ تن بر هکتار به‌دست آوردند (۸).

هدف اصلی در این پژوهش، استفاده از مدلی ترکیبی جهت برآورد حجم محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی است. مدلی که جهانی باشد و به کالیبره کردن منطقه‌ای نیاز نداشته باشد و دارای کم‌ترین داده‌های ورودی باشد، بیش‌تر پارامترهای آن از تصاویر ماهواره‌ای قابل‌استخراج بوده و حجم محصول را با در نظر گرفتن بیش‌ترین عوامل مؤثر بر محصول با صرف کم‌ترین هزینه و زمان ممکن برآورد می‌کند. بدین‌منظور از مدل ارائه‌شده توسط باستینسن و همکاران (۲۰۰۲) استفاده شد (٦). این مدل ارائه‌شده، خود ترکیبی از سه مدل می‌باشد. مدل مانتیث که برای محاسبه تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده به‌کار گرفته شد، مدل استنفورد که برای تعیین راندمان مصرف نور استفاده می‌شود و هم‌چنین مدل بیلان انرژی سطح زمین (سبال) که تغییرات مکانی- زمانی سطح زمین را تعیین می‌کند. برای به‌کارگیری این مدل‌ها، به برخی از داده‌های استاندارد هواشناسی و سری تصاویر ماهواره‌ای از منطقه موردمطالعه به‌عنوان ورودی نیاز است.

با توجه به این‌که مصرف سرانه قند و شکر در کشورمان حدود ۲۵ کیلوگرم در سال است که برای جبران کمبود تولید، سالانه میلیون‌ها دلار صرف واردات شکر می‌شود (www.isfs.ir/amartakhassosi1)، با توجه به این‌که سرانه مصرف شکر در کشور و نیز وابستگی کشور به صادرات و واردات این محصول کشاورزی، اهمیت برآورد حجم محصول نیشکر به‌خوبی آشکار می‌شود، بنابراین با توجه به اهمیت محصول نیشکر در بخش کشاورزی ایران و نیز سهم عمده ایران در تولید نیشکر منطقه، این محصول

1- National Oceanic & Atmospheric Administration
2- Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
3- Surface Energy Balance Algorithm for Land



www.SID.ir

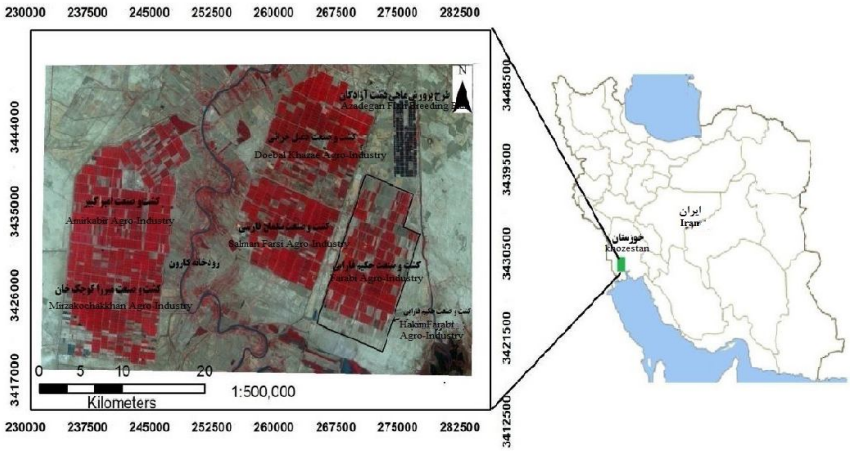
Archive of SID



به‌عنوان محصول موردبررسی در این پژوهش انتخاب شد و پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی دقت این مدل ترکیبی در برآورد حجم محصول نیشکر و تحلیل نتایج آن در رقم‌ها و سن‌های مختلف نیشکر صورت پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

**منطقه موردمطالعه:** فرآیند جمع‌آوری داده‌های موردنیاز پژوهش حاضر در سال ۱۳۹۲ در مزارع کشت و صنعت حکیم فارابی، یکی از واحدهای هفت‌گانه شرکت توسعه نیشکر و صنایع جانبی اجرا گردید. کشت و صنعت حکیم فارابی در ۳۵ کیلومتری جنوب شهرستان اهواز و شرق رودخانه کارون و جاده اهواز- آبادان، در محدوده عرض جغرافیایی "۱ '٥٤ °۳۰ تا" ۳٤ '۳ °۳۱ شمالی و طول جغرافیایی "۱٥ '۳۱ °٤۸ تا '۳۹ °٤۸ شرقی واقع گردیده است. حداکثر ارتفاع آن از سطح آزاد دریا حدود ۱۲ متر و شیب اراضی این واحد بین ۰/۱ تا ۰/۲ در هزار است. موقعیت این کشت و صنعت نسبت به رودخانه کارون و سایر کشت و صنعت‌های نیشکر واقع در اطراف آن، در شکل ۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه.**

**Figure 1. The geographical location of the study area.**

داده‌های موردنیاز به دو دسته داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های زمینی تقسیم می‌شوند.

داده‌های زمینی شامل دو سری داده‌های هواشناسی منطقه موردمطالعه که از اداره هواشناسی کشت و صنعت حکیم فارابی و داده‌های عملکرد محصول شامل رقم (CP57-614 و CP69-1062) و سن (کشت، بازروئی اول، بازروئی دوم و بازروئی سوم) و مزرعه (۷۰ تا) که از سازمان کشت و صنعت نیشکر مربوط به سال ۱۳۹۲ اخذ گردید که به‌علت حجم زیاد آورده نشده است (۲٤). تصاویر ماهواره‌ای مورداستفاده در این پژوهش، ۱۰ تصویر از تصاویر بدون ابر ماهواره لندست هشت[1] مربوط به سال ۱۳۹۲ می‌باشد که اولین سری تصاویر بعد از پرتاب موفقیت‌آمیز این ماهواره است (جدول ۱). این سنجنده هر ۱٦ روز یک‌بار با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از هر منطقه تصویربرداری می‌کند. لندست هشت، دارای ۱۱ باند در طول‌موج مرئی، مادون‌قرمز نزدیک، مادون‌قرمز کوتاه و متوسط و مادون‌قرمز حرارتی است. داشتن پنج باند در محدوده مرئی و مادون‌قرمز نزدیک داده‌ای بسیار مناسب برای بررسی مناسب پوشش گیاهی است.

1- Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)



www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۱- لیست تصاویر لندست استفاده‌شده در سال ۲۰۱۳ (اعداد روز بر حسب تقویم میلادی).

**Table 1. Landsat images list used in 2013.**

| سال Year | May | Jun | Jul | Aug | Sep | Oct |
|---|---|---|---|---|---|---|
| روز Day | 18 | 3,19 | 5, 21 | 6, 22 | 7, 23 | 9 |

هر تصویر نماینده یک بازه زمانی است. همه محاسبات برای ۱۰ فاصله زمانی مختلف که به‌صورت مستقل تکرار می‌شود، انجام گردید پس از اخذ تصاویر ابتدا پیش‌پردازش‌های ضروری شامل ایجاد تصحیح اتمسفری تصاویر و تهیه مجموعه لایه‌های اطلاعاتی از باندهای موردنیاز، بر روی آن‌ها صورت پذیرفت و سپس توسط مدل ترکیبی ارائه‌شده در ادامه اقدام به تعیین میزان عملکرد محصول در مزارع تحت کشت نیشکر گردید.

**معرفی مدل:** با توجه به هدف مقاله، مدل‌های مورداستفاده به تفکیک در ادامه شرح داده می‌شود:

- **مدل مانتیث:** به قسمتی از طیف الکترومغناطیس با طول‌موج کوتاه ورودی در ناحیه ۳-۰/۳ میکرومتر تابش فعال فتوسنتزی (PAR[1]) اطلاق می‌شود که توسط گیاه و برای انجام فرآیند فتوسنتز دریافت می‌شود. به‌عبارت دیگر تابش فعال فتوسنتزی کسری از شدت تابشی ورودی خورشید (K↓) بر حسب وات بر مترمربع است (رابطه ۱).

$$PAR = 0.48 \times K\downarrow \qquad (۱)$$

هر چند نسبت (PAR/K↓) تحت‌تأثیر عوامل مختلفی است (۱۱)، ولی مقدار تقریبی آن در طول یک شبانه‌روز ۰/۵-۰/٤ است که معمولاً این مقدار ۰/٤۸ در نظر گرفته می‌شود (۱۹). تابش فعال فتوسنتزی به چند زیرمجموعه شامل قسمتی که توسط برگ‌ها بازتاب می‌شود، قسمتی که از برگ‌ها عبور کرده و توسط زمین جذب می‌شود و قسمتی که توسط تاج پوشش گیاهی برای انجام فرآیندهای فتوسنتزی جذب می‌شود، تقسیم می‌گردد که این قسمت را تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده (APAR[2]) نامند. تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده (APAR) می‌تواند از رابطه ۲ بر حسب وات بر مترمربع محاسبه شود (۱۳).

$$APAR = f \times PAR \qquad (۲)$$

سرانو و همکاران (۲۰۰۰) رابطه خطی بین NDVI[3] و f را گزارش کرده‌اند (۲۲). NDVI شاخص تفاضل گیاهی بهنجار شده، یعنی میزان شیب بین مقادیر باند مادون‌قرمز و باند قرمز در پیکسل‌های مختلف تصاویر ماهواره است رابطه ۳ که $\rho_{\mathrm{Re}\,d}$ انعکاس در باند قرمز و $\rho_{NIR}$ انعکاس در باند مادون‌قرمز نزدیک می‌باشند.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{\mathrm{Re}\,d}}{\rho_{NIR} + \rho_{\mathrm{Re}\,d}} \qquad (۳)$$

این شاخص بیانگر فعالیت فتوسنتزی کلروفیل می‌باشد که به وضعیت و تراکم پوشش گیاهی حساسیت دارد (۲٤).

$$f = -0.161 + 1.257\,NDVI \qquad (٤)$$

اولین بار مانتیث (۱۹۷۲) با در نظر داشتن ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ε، برای برآورد ماده تولیدشده (بیوماس) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای رابطه ۵ را ارائه کرد (۱۸):

1- Photosynthetically active radiation

2- Absorbed photo synthetically active radiation

3- Normalized difference vegetation index



www.SID.ir

Archive of SID



$$\text{Biomass} = \text{APAR} \times \varepsilon \qquad (۵)$$

که در آن، بیوماس بر حسب کیلوگرم بر مترمربع و ضریب راندمان انرژی جذب شده بر حسب گرم بر مگاژول است.

– **مدل استنفورد:** ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ε، نشان‌دهنده 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 تغییرات اندکی در مقدار این پارامتر می‌گردد که در مقیاس‌های بزرگ از این تغییرات صرف‌نظر می‌شود (۱۷).

اسرار و همکاران (۱۹۸٤) و فیلد و همکاران (۱۹۹۵) برای افزایش دقت در محاسبه ضریب راندمان انرژی جذب‌شده تأثیر تغییرات آب و هوایی مانند تغییرات دمای هوا و رطوبت خاک را در مقدار این پارامتر در نظر گرفتند و از رابطه ٦ که یک مدل اکولوژیکی جامع برای یافتن مقدار دقیق ضریب راندمان انرژی جذب‌شده است، استفاده نمودند (٤ و ۱۰):

$$\varepsilon = \varepsilon' \times W \times T_1 \times T_2 \qquad (٦)$$

که در آن، 'ε ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ماکزیمم است که در شرایط بهینه آب و هوایی رخ می‌دهد و راندمان انرژی جذب‌شده واقعی همواره از این مقدار کم‌تر است. W مقداری است که به‌عنوان تبخیر و تعرق واقعی بر پتانسیل تعریف می‌شود، در واقع W همان کسر تبخیر Λ است (۵) که مقدار آن بین ۰ تا ۱ قرار می‌گیرد و دربرگیرنده تأثیرات رطوبت بر ضریب بازده انرژی جذب‌شده ماکزیمم است. اگر ریشه گیاه بسیار خشک باشد، این مقدار به‌سمت صفر و با افزایش رطوبت به سمت یک میل می‌کند (۱۰).

– **مدل سبال:** کسر تبخیر Λ می‌تواند با استفاده از الگوریتم بیلان انرژی سطح زمین (مدل سبال) و از طریق رابطه‌های زیر محاسبه شود (۷).

$$W = \Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G} \qquad (۷)$$

که در آن، $\lambda E$ شار گرمای نهان، از بیلان انرژی سطح به‌دست می‌آید که در آن $R_n$ انرژی تابشی خالص، G شار حرارتی خاک و H شار گرمای محسوس است که همگی بر حسب وات بر مترمربع می‌باشند. تابش خالص، تفاوت بین تابش ورودی و خروجی با هر دو طول‌موج کوتاه و بلند می‌باشد. در مقیاس‌های زمانی از یک‌روزه یا بیش‌تر، شار حرارتی خاک را اغلب می‌توان نادیده گرفت و به‌این‌ترتیب شار گرمای نهان تنها تابعی از $R_n$ و Λ است. مدل سبال از دو پیکسل شاخص برای مشخص کردن شرایط مرزی در معادله بیلان انرژی استفاده می‌کند. این دو پیکسل، تحت عنوان پیکسل‌های سرد و گرم بوده و در منطقه موردمطالعه قرار دارند. پیکسل سرد از مزارع با پوشش گیاهی متراکم و کاملاً آبیاری شده انتخاب می‌شود. پیکسل گرم از اراضی بدون پوشش و خشک انتخاب می‌شود که در آن میزان تبخیر و تعرق ناچیز می‌باشد. انتخاب این دو پیکسل به مهارت نیاز دارد و کیفیت محاسبات به انتخاب دقیق این دو پیکسل وابسته است.

$T_1$ و $T_2$ تأثیرات دما بر ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ماکزیمم را نشان می‌دهد که $T_1$ برای در نظر گرفتن تأثیرات سرما بر رشد گیاه به‌کار برده می‌شود (۸) و $T_2$ برای تنظیم کردن ضریب راندمان انرژی جذب‌شده ماکزیمم در مناطق خشک و نیمه‌خشکی که شرایط آب و هوایی از حالت بهینه دور می‌شود به‌کار می‌رود (۹ و ۲۳).

$$T_1 = 0.8 + 0.02 \times T_{opt} - 0.0005 \times T_{opt}^2 \qquad (۸)$$

$$T_2 = \frac{1}{1 + \exp\left(0.2 \times T_{opt} - 10 - T_{mon}\right)} \times \frac{1}{1 + \exp\left[0.3(-T_{opt} - 10 + T_{mon})\right]} \qquad (۹)$$



www.SID.ir

Archive of SID



که در آن‌ها، $T_{mon}$ متوسط دمای ماهانه هوا برحسب درجه سانتی‌گراد و $T_{opt}$ متوسط دمای هوا در ماهی که شاخص تفاضل گیاهی NDVI ماکزیمم است. مقدار حداکثر راندمان انرژی جذب‌شده برای هر گروه از محصولات کشاورزی مقدار مشخصی است که بر اساس یافته‌های پژوهشگران پیشین قابل‌استخراج است (۲۵) که در این مطالعه با توجه به نوع گیاه برابر ۳/۲۷ در نظر گرفته شده است. پس از محاسبه APAR و راندمان انرژی، با محاسبه بیوماس (B) برای هر تصویر امکان برآورد ماده تولیدی برای کل فصل رشد از طریق رابطه ۱۰ وجود دارد.

$$B_{act}^{tot} = \sum \{\varepsilon_i \times APAR\} \qquad (۱۰)$$

تبدیل نهایی از ماده تولیدشده بالای سطح زمین به عملکرد محصول بسته به h شاخص برداشت و m مقدار رطوبت محصول در زمان برداشت، متفاوت است. شاخص برداشت، نیز مانند راندمان انرژی جذب‌شده برای هر محصول مقدار تقریباً ثابتی دارد که در محاسبه حجم محصول هم می‌توان مقدار آن را از یافته‌های پژوهشگران پیشین استخراج نمود. ریچارد و تونلی اسمیت (۱۹۸۷) نشان دادند که نسبتی از رطوبت محصول بعد از سنتز در شاخص برداشت محصول تأثیر دارد (۱۰ و ۲۰).

$$Y_{act} = \frac{h_{ind} B_{act}^{tot}}{1 - m_{oi}} \qquad (۱۱)$$

در این پژوهش تمام اجزای این مدل ترکیبی برای همه ۱۰ تصویر موجود در بازه زمانی دوره اصلی رشد محصول نیشکر محاسبه شد و در نهایت با استفاده از رابطه نهایی (۱۱) اقدام به تهیه نقشه عملکرد محصول برای این منطقه گردید که در ادامه نتایج حاصله ارائه شده است.

به‌منظور انجام ارزیابی الگوریتم‌های مختلف، ۷۰ مزرعه به‌عنوان نمونه بر اساس همگن بودن تاریخ برداشت با تصاویر ماهواره‌ای انتخاب‌شده و اطلاعات زمینی مربوط به این مزارع با اطلاعات حاصل از مدل فوق مقایسه شده‌اند. در همه این مزارع محصول، حداکثر یک ماه بعد از تاریخ آخرین تصویربرداری برداشت شده بود. در این پژوهش برای ارزیابی و مقایسه نتایج و مقادیر برآورد شده و مشاهداتی از چهار پارامتر آماری شامل ضریب تعیین ($R^2$)، میانگین خطای مطلق (MAE) و خطای استاندارد (SE) استفاده شد که در جدول ۲ آمده است.

**جدول ۲- سنجه‌های آماری مورداستفاده برای ارزیابی صحت مدل بر اساس داده مشاهده‌ای.**

**Table 2. The statistical metrics used in model evaluation (samples n, predicted values P and observed values O.)**

| پارامتر آماری<br>Statistical parameters | توضیحات<br>Description | رابطه<br>Equation |
|---|---|---|
| $R^2 score$ | ضریب تعیین<br>Coefficient of Determination | $R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})(P_i - \overline{P})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \overline{O})^2 \times \sum_{i=1}^{n}(P_i - \overline{P})^2}$ |
| SE | خطای استاندارد<br>Standard Error | $\left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(O_i - P_i)^2\right]^{1/2}$ |
| MAE | میانگین خطای مطلق<br>Mean Absolute Error | $\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\lvert O_i - P_i\rvert$ |

در جدول ۲، $P_i$ مقادیر خروجی مدل (پیش‌بینی)، $O_i$ مقادیر مشاهداتی، n تعداد مشاهدات، $\overline{P} = \frac{1}{n}\sum Pi$ متوسط مقادیر پیش‌بینی‌شده و $\overline{O} = \frac{1}{n}\sum Oi$ متوسط مقادیر مشاهده‌شده می‌باشد.



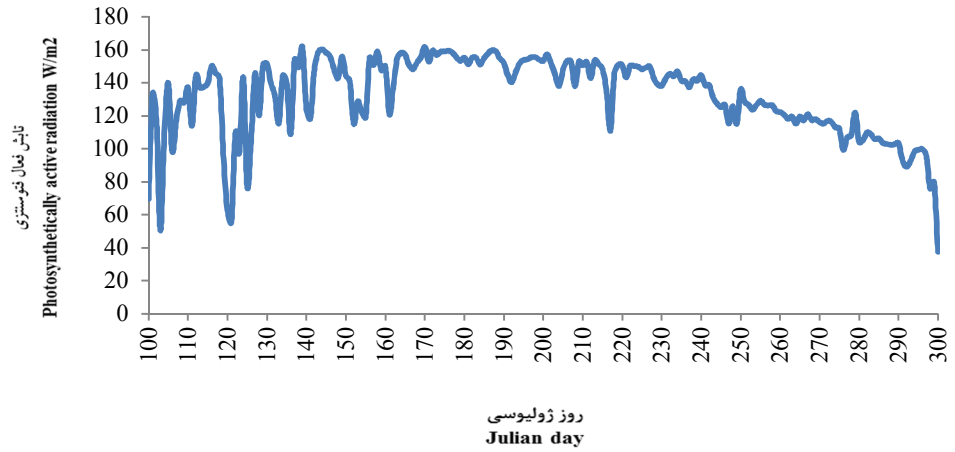
www.SID.ir

Archive of SID



## نتایج و بحث

مقادیر محاسبه‌شده تابش فعال فتوسنتزی با استفاده از داده‌های هواشناسی برای هر روز در دوره موردنظر سال ۱۳۹۲ در شکل ۲ ارائه شده است. همان‌طور که از شکل ۲ مشاهده می‌شود با نزدیک شدن به پایان فصل رشد و کاهش شدت تابش، میزان تابش فعال فتوسنتزی نیز روندی نزولی را در پیش می‌گیرد و کاهش می‌یابد.




**شکل ۲- تابش فعال فتوسنتزی برای هر روز از دوره موردنظر (وات بر مترمربع).**

**Figure 2. Photosynthetic ally active radiation for each day of the period under review (W/m$^2$).**

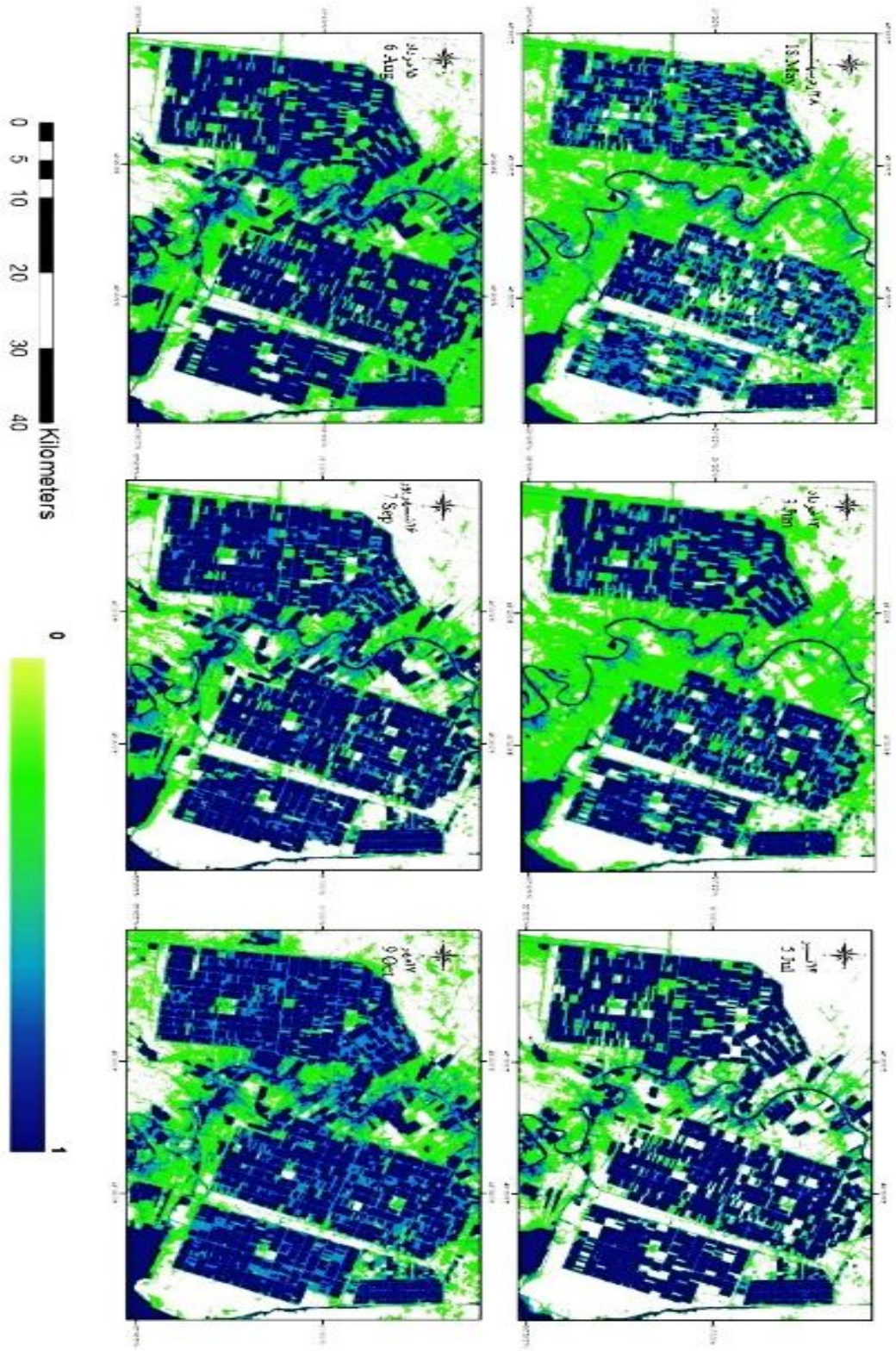
سپس تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده (APAR) به‌ازای هر تصویر NDVI تولید گردید. تبدیل $APAR_i$ به ماده تولیدشده می‌تواند با ضریب راندمان انرژی $\varepsilon_i$ انجام شود. $\varepsilon_i$ به‌وسیله تعاریف ارائه‌شده در رابطه‌های (٦ تا ۹)، با درجه حرارت بهینه و ماهانه و کسر تبخیر متفاوت است. دمای مطلوب، $T_{opt}$ دمای هوای ماهی است که در آن NDVI حداکثر مقدار خود را دارد که در این مطالعه تیرماه دارای حداکثر این دما با مقدار متوسط ۳٤ درجه سلسیوس بود. سپس جهت تهیه نقشه‌های راندمان مصرف نور برای هر تصویر لندست، اقدام به تهیه نقشه‌های کسر تبخیر گردید که در ذیل ٦ تصویر به‌عنوان نمونه آمده است (شکل ۳). مقادیر این نقشه‌ها با اجرای مدل سبال بر روی ۱۰ تصویر لندست، با استفاده از نرم‌افزار ENVI و کدنویسی در محیط IDL به‌دست آمد. با استفاده از موارد محاسبه‌شده در فوق اقدام به تهیه نقشه‌های راندمان انرژی جذب‌شده به‌ازای هر تصویر گردید.



www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۳- نقشه‌های کسر تبخیر ٦ روز در سال ۱۳۹۲.

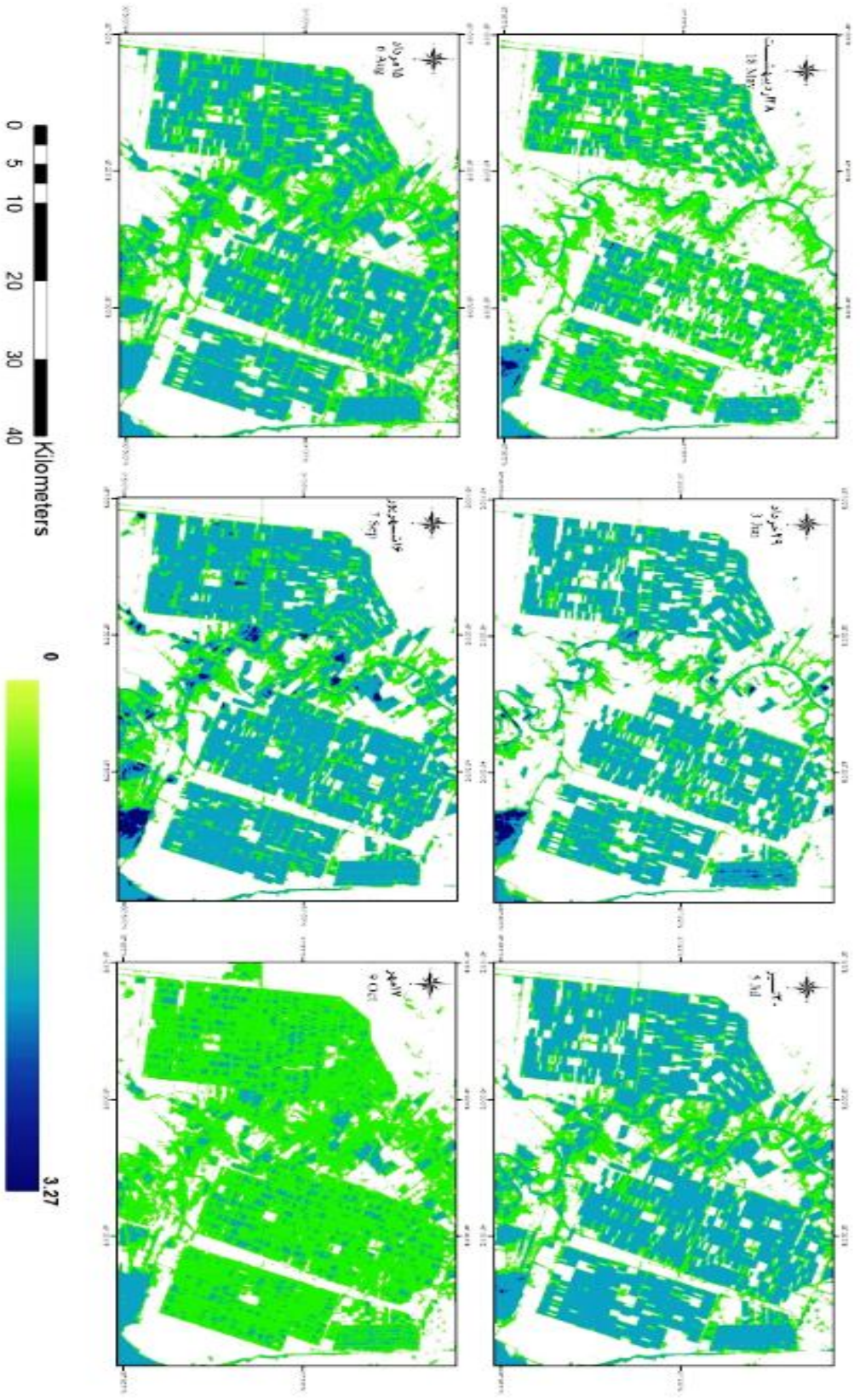
**Figure 3. Evaporative Fraction for 6 days in 2013.**



www.SID.ir

Archive of SID






شکل ٤- راندمان مصرف انرژی برای ٦ روز در سال ۱۳۹۲ (گرم بر مگاژول).

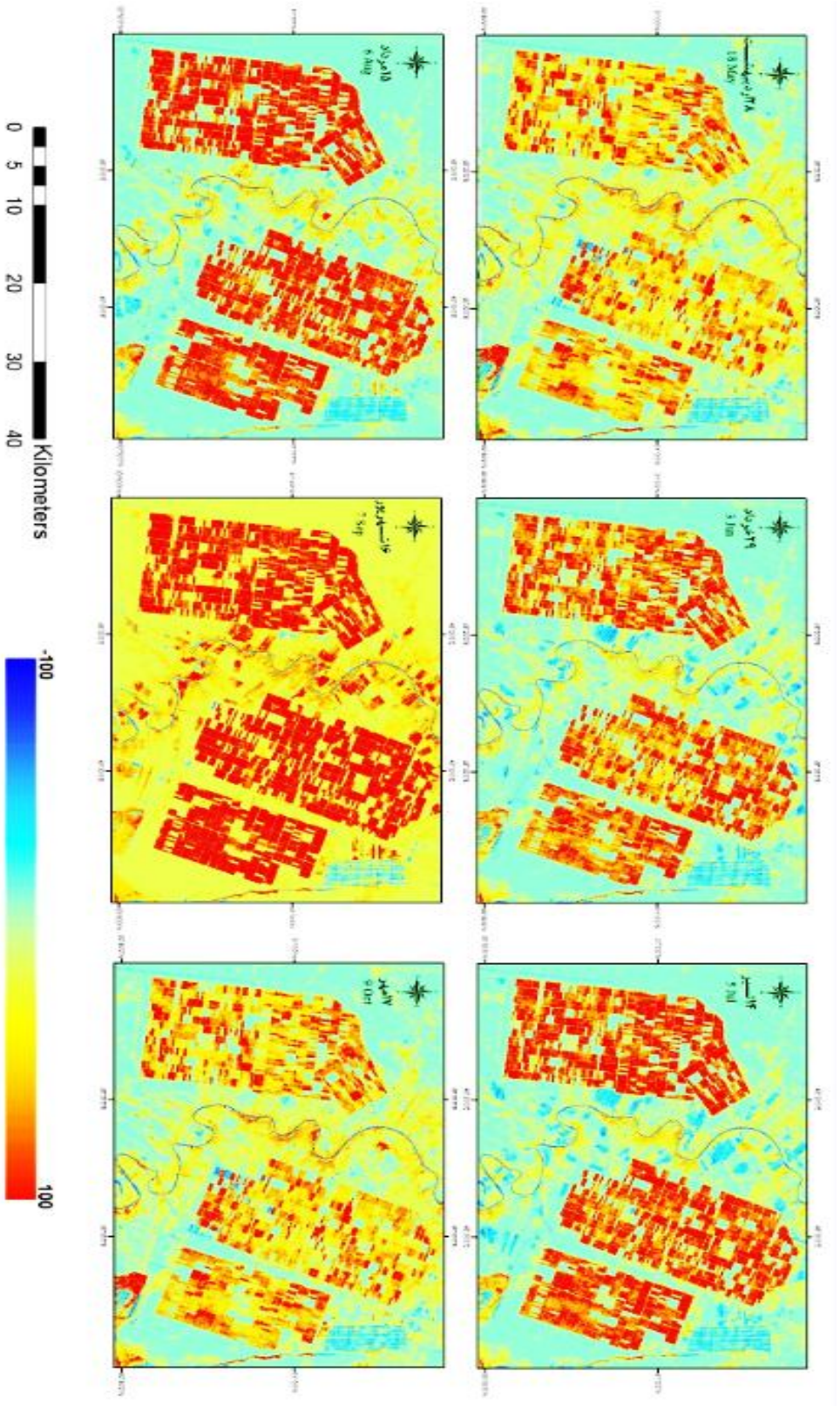
**Figure 4. Light use efficiency for 6 days on 2013 (g/MJ).**



www.SID.ir

Archive of SID






شکل ۵- تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده برای ٦ روز در سال ۱۳۹۲ (وات بر مترمربع).

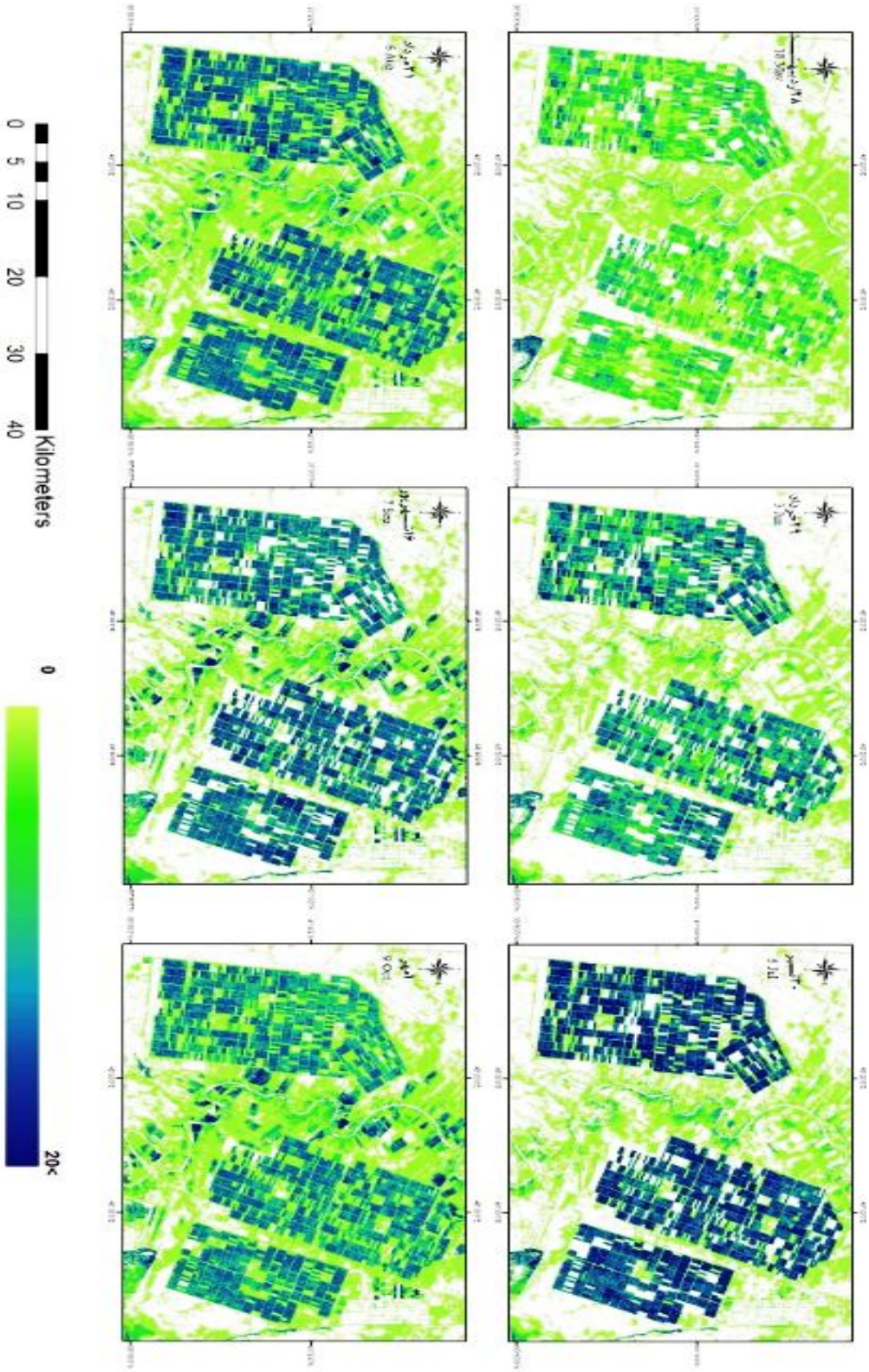
**Figure 5. Absorbed photosynthetic active radiation for 6 days on 2013 ($W/m^2$).**



www.SID.ir

Archive of SID






شکل ٦- ماده خشک تولیدی (بیوماس) برای ٦ روز در سال ۱۳۹۲ (کیلوگرم بر مترمربع).

**Figure 6. Dry matter (biomass) for 6 days on 2013 (kg/m$^2$).**



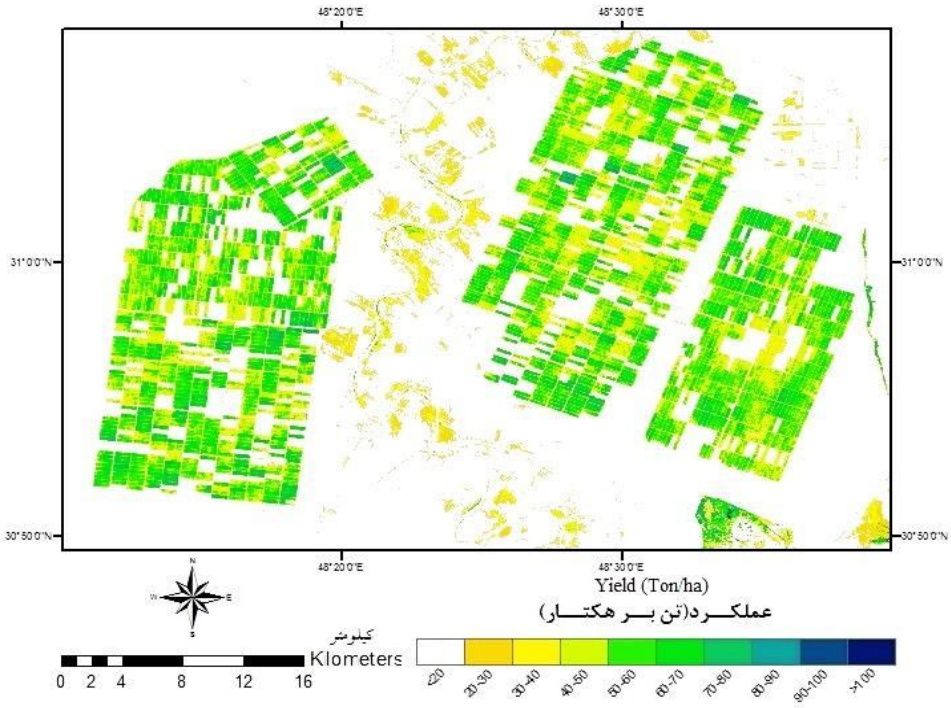
www.SID.ir

Archive of SID



در نهایت با محاسبه $APAR_i$ و $\varepsilon_i$ برای هر فاصله زمانی از فصل رشد، ماده خشک تولیدی (زی‌توده- بایومس) برای کل دوره فصل رشد به‌دست آمد. به‌عنوان نمونه نقشه‌های راندمان مصرف انرژی ($\varepsilon$)، تابش فعال فتوسنتزی جذب‌شده (APAR) و ماده خشک تولیدی ($B_{act}$) برای ٦ روز از ١٣٩٢ در اشکال فوق (شکل‌های ٤، ٥ و ٦) آمده است.

در انتها برای هر دوره متناظر با تصویر، نقشه عملکرد محصولی که مجموع پیکسل‌های هر مزرعه، حجم محصول کل مزرعه را نشان می‌داد، محاسبه شد. سپس جمع مقادیر پیکسل‌های مربوط به هر مزرعه با جمع دوره‌های تصاویر مختلف به‌دست آمد (شکل ٧).




**شکل ٧- نقشه عملکرد محصول (تن بر هکتار).**

**Figure 7. Yield map (t/ha).**

با توجه به شکل ٧، عملکرد نیشکر در طول دوره ٢٠٠ روزه مورد پژوهش تقریباً در بین ٣٠ تا ١٠٠ تن محصول بر هکتار قرار می‌گیرد. متوسط عملکرد محصول نیشکر در طول این دوره ٥٦ تن در هکتار برآورد شد. در مطالعه‌ای که توسط باستینسن و همکاران (٢٠٠٢) در پاکستان انجام شد، عملکرد محصول نیشکر در بازه‌ای بین ٢٠ تا ٨٠ تن در هکتار و با متوسط عملکرد ٤٨ تن در هکتار به‌دست آمد.

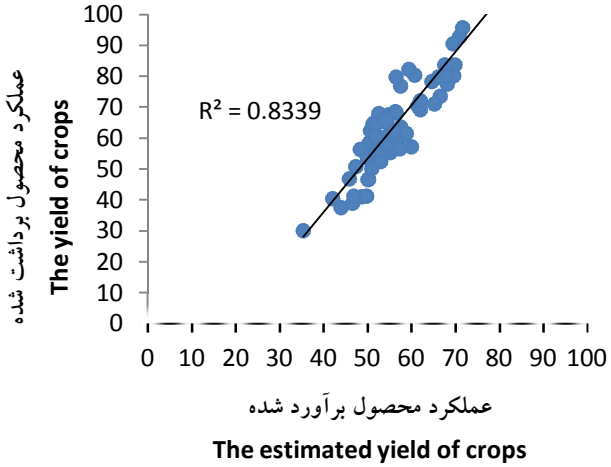
**ارزیابی نتایج حاصل از عملکرد محصول محاسبه‌شده از داده‌های ماهواره‌ای:** در این پژوهش، برای ارزیابی دقت از سه پارامتر آماری شامل ضریب تعیین ($R^2$)، میانگین خطای مطلق (MAE)، خطای استاندارد (SE) استفاده شد که به‌ترتیب ٠/٨٣٣٩، ٩/٥٥ و ١١/٨٤ به‌دست آمده است (شکل ٨).



www.SID.ir

Archive of SID



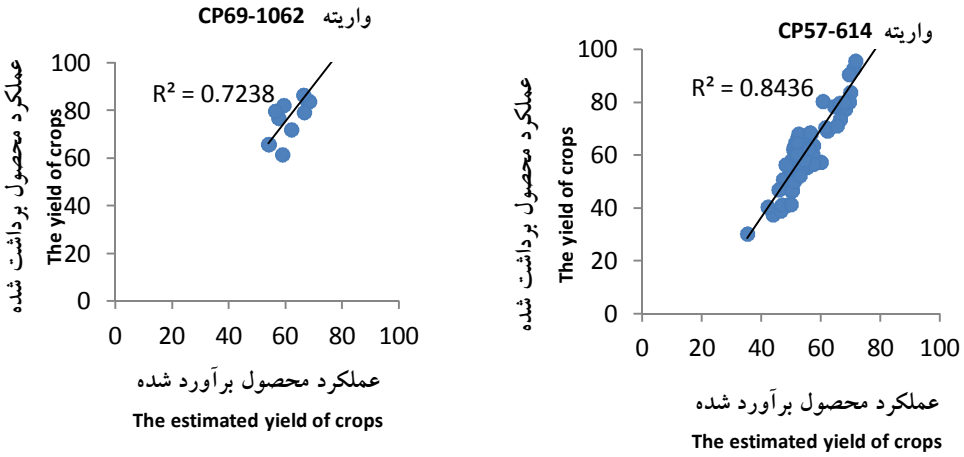



شکل ۸- همبستگی بین عملکرد محصول برداشت‌شده و عملکرد محصول برآوردشده (تن در هکتار).

**Figure 8. Correlation between the yield and the estimated yield (t/ha).**

با توجه به $R^2$ به‌دست آمده، همبستگی خوبی بین داده‌ها برقرار می‌باشد. همبستگی بالا بین عملکرد محصول برآورد شده و عملکرد محصول برداشت‌شده و نیز پایین بودن مقادیر خطا بین این دو مقدار در این نمونه آماری می‌تواند تأکید دیگری بر برآورد درست عملکرد محصول باشد.

**بررسی رابطه رقم و سن گیاه نیشکر با میزان عملکرد و صحت مدل:** مزارع نیشکر در واحد دارای ارقام متنوع و همچنین بازرویی‌های تا شش سال می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۹ قابل مشاهده است، پارامترهای آماری ارزیابی رقم CP57-614 به‌ترتیب ضریب تعیین ۰/۸٤٤، میانگین خطای مطلق ۸/٥٤ خطای استاندارد ۱۰/٤۸ و رقم CP69-1062 به‌ترتیب ضریب تعیین ۰/۷۲٤، میانگین خطای مطلق ۱۷/٤٦، خطای استاندارد ۱۹/٥۸ می‌باشد. بر اساس این نتایج، رقم CP57-614 همبستگی و پراکنش بهتری را با مدل نشان داد. علت این امر هم می‌تواند دیررس بودن رقم CP69-1062 نسبت به رقم CP57-614 باشد. ازاین‌رو رقم CP57-614 برای ارزیابی سن‌های مختلف محصول مورد ارزیابی قرار گرفت.




شکل ۹- همبستگی عملکرد در رقم‌های CP57-614 و CP69 -1062 نیشکر (تن بر هکتار).

**Figure 9. Yield correlation in the sugarcane cultivars CP69-1062, CP57-614 (Ton ha$^{-1}$).**

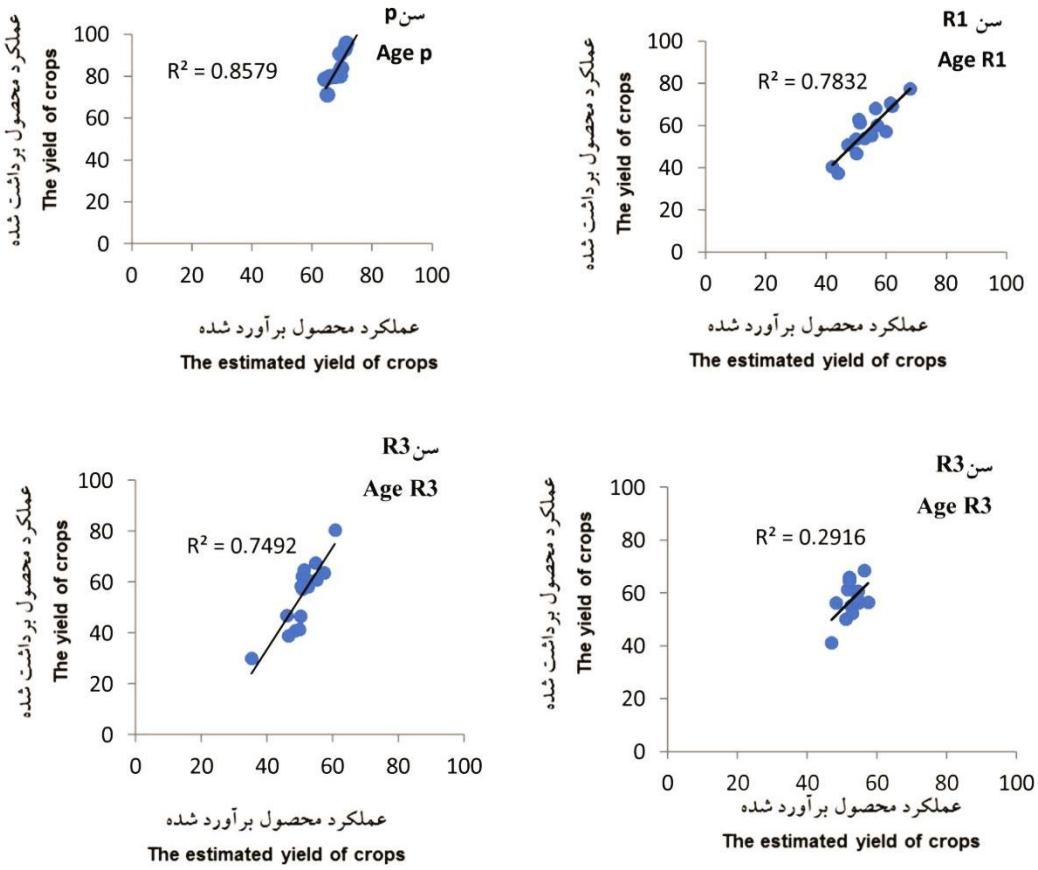


www.SID.ir

Archive of SID



سپس پارامترهای آماری ارزیابی سن نیز برای چهار مرحله رشد بررسی گردید. نتایج نشان داد در مرحله کشت ضریب تعیین ۰/۸۵٤، میانگین خطای مطلق ۷/۲٤، خطای استاندارد ۸/٦۹ مرحله بازروئی اول ضریب تعیین ۰/۷۸۳، میانگین خطای مطلق ۷/۸۳، خطای استاندارد ۹/۷٦، بازروئی دوم ضریب تعیین ۰/۷٤۹، میانگین خطای مطلق ۸/۵۹ خطای استاندارد ۹/۹٤ و بازروئی سوم ضریب تعیین ۰/۵۱۳، میانگین خطای مطلق ۱۰/٤٦، خطای استاندارد ۱۳/۵۱ می‌باشد.




**شکل ۱۰- همبستگی عملکرد در سن‌های مختلف نیشکر (تن بر هکتار).**

**Figure 10. Yield correlation in the sugarcane age (Ton ha$^{-1}$).**

همان‌طور که از نتایج و شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، با افزایش مقدار سن نیشکر از کشت تا بازرویی (راتون) چهارم هم عملکرد کاهش‌یافته و هم میزان عملکرد برآورد شده، همبستگی و پراکنش کم‌تری نسبت عملکرد واقعی نیشکر پیدا می‌کند، مقدار $R^2$ از ۰/۸٦ تا ۰/۵۱ کاهش می‌یابد. هم‌چنین مقادیر خطا هم با افزایش سن و تعداد بازرویی‌ها افزایش پیدا می‌کند. در واقع کاهش عملکرد، یکی از معایب بازرویی‌ها می‌باشد و با بازرویی‌های بعدی میزان عملکرد در آن مزرعه کاهش می‌یابد. از دیگر معایب بازرویی‌ها می‌توان به کارایی کم‌تر مواد غذایی و شیوع بیماری‌ها اشاره کرد. در سال‌های اخیر به‌علت شیوع آفات، امراض و علف‌های هرز تمایل به کاهش بازرویی‌ها بوده است. همان‌طور که نشان داده شد، حداکثر



www.SID.ir

Archive of SID



عملکرد محصول در مرحله اول رشد به‌دست می‌آید، زیرا بوته‌ها توزیع فضایی بهتری داشته و از مواد غذایی آزادشده از خاک و از ساختمان و نفوذپذیری بهبودیافته خاک طی دوران آیش فصلی بهره بیش‌تری می‌برند. عملکرد محصول طی سال‌های بعد، علی‌رغم افزایش تعداد ساقه در واحد سطح، به‌تدریج کاهش می‌یابد و در نهایت بازده مزرعه غیراقتصادی می‌شود. در شرایط خوزستان، مزرعه نیشکر پس از ۵ تا ۷ بار برداشت، عملکرد غیراقتصادی شده و مجدداً شخم زده شده و کشت می‌گردد.

## نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، با استفاده از یک مدل ترکیبی و با به‌کارگیری ۱۰ تصویر ماهواره‌ای لندست هشت و داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی، اقدام به تهیه نقشه عملکرد محصول نیشکر برای اراضی نیشکر واقع در جنوب‌غربی ایران در سال ۱۳۹۲ گردید، سپس نتایج حاصل با مشاهدات زمینی مقایسه گردید. ارزیابی‌های انجام‌شده نشان داد که میزان عملکرد محصول به‌دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای همبستگی خوبی با مشاهدات زمینی دارد. هم‌چنین نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که این الگوریتم قادر است عملکرد محصول نیشکر را در بخش کشاورزی با دقتی مناسب در اختیار مدیران و برنامه‌ریزان قرار دهد. هم تحلیلگران و هم مدیران در شرایطی کار می‌کنند که به‌دست آوردن اطلاعات قابل‌اعتماد با اندازه‌گیری میدانی دشوار است و تکنیک‌هایی مانند ارائه این‌چنین گام‌هایی برای بهبود مدیریت درازمدت منابع آب ضروری است.

متوسط عملکرد محصول نیشکر در طول دوره این پژوهش ٥٦ تن بر هکتار برآورد شد. با توجه به رقم‌های اصلی کشت‌شده در مزرعه کشت و صنعت حکیم فارابی که شامل دو رقم CP57-614 و CP69-1062 می‌باشد، نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های عملکرد محصول و رقم‌های کشت‌شده نشان‌دهنده این موضوع بود که عملکرد محصول نیشکر در رقم CP57-614 نسبت به رقم CP69-1062 بالاتر می‌باشد و هم‌چنین تطابق بهتری با مدل ارائه شده نشان می‌دهد. هم‌چنین مشاهده شد با افزایش مقدار سن نیشکر از کشت تا بازرویی چهارم هم عملکرد کاهش‌یافته و هم میزان عملکرد برآورد شده، همبستگی و پراکنش کم‌تری نسبت عملکرد واقعی نیشکر پیدا می‌کند و مقدار $R^2$ کاهش می‌یابد و میزان خطا نیز افزایش پیدا می‌کند.

## منابع


1. Ahmad, M.D., Turral, H., and Nazeer, A. 2009. Diagnosing irrigation performance and water productivity through Satellite remote sensing and secondary data in a large irrigation system of Pakistan. Agricultural Water Management. 96: 551-564.
2. Ahmad, M.D., Masih, I., and Turral, H. 2004. Diagnostic analysis of spatial and temporal variations in crop water productivity: a field scale analysis of the rice–wheat cropping system of Punjab, Pakistan. J. Appl. Irrig. Sci. 39: 1. 43-63.
3. Anup, K. 2005. Crop yield estimation model for Iowa using remote sensing and surface parameters. Inter. J. Appl. Earth Observ. Geo Inf. 8: 26-33.
4. Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E.T., and Hatfield, J.L. 1984. Estimating absorbed synthetically active radiation and leaf area index from spectral reflectance in photo wheat. Agron. J. 76: 300-306.
5. Bastiaanssen, W.G.M., Ahmad, M.D., and Chemin, Y. 2002. Satellite surveillance of evaporative depletion across the Indus Basin. Water Resources Research. 38: 12. 9-1.




www.SID.ir

Archive of SID



6.Bastiaanssen, W.G.M., and Ali, S. 2002. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across the Indus Basin, Pakistan. Agriculture, Ecosystems and Environment. 94: 321-340.
7.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. J. Hydrol. 212: 198-212.
8.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.
9.Ferencz, Cs., Bognar, P., Lichtenberger, J., Hamar, D., Tarcsai, Gy., Timar, G., and Molnar, G. 2004. Crop yield estimation by satellite remote sensing. Inter. J. Rem. Sens. 25: 20. 4113-4149.
10.Field, C.B., Randerson, J.T., and Malmstrom, C.M. 1995. Global net primary production: combining ecology and remote sensing. Remote sensing of Environment. 51: 1. 74-88.
11.Frouin, R., and Pinker, R.T. 1995. estimating photo synthetically active radiation (PAR) at the earth's surface from satellite observations. Remote sensing of Environment. 51: 98-107.
12.Hamar, D., Ferencz, C., Lichtenberger, J., and Tarcsai, G. 1996. Yield estimation for corn and wheat in the Hungarian Great Plain using Landsat MSS data. Inter. J. Rem. Sens. 17: 9. 1689-1699.
13.Hatfield, J.L., Asrar, G., and Kanemasu, E.T. 1984. Intercepted photo synthetically active radiation estimated by spectral reflectance. Remote sensing of Environment. 14: 65-75.
14.Hayes, M.J., and Decker, W.L. 1996. Using NOAA AVHRR data to estimate maize production in the United States Corn Belt. Inter. J. Rem. Sens. 17: 3189-3200.
15.Hutchison, C.F., Huete, A., and Petersen, M.S. 2000. Estimating crop yields and production by integrating the FAO Crop Specific Water Balance model with real-time satellite data and ground based ancillary data. Inter. J. Rem. Sens. 21: 18. 3487-3508.
16.Lobell, B. 2002. Remote sensing of regional crop production in the Yaqui Valley, Mexico: estimates and uncertainties. Agriculture. Ecosystems and Environment. 94: 205-220.
17.Monteith, J.L. 1977. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phil.Trans. Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences, 281: 980. 277-294.
18.Monteith, J.L. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. J. Appl. Ecol. 9: 3. 747-766.
19.Moran, M.S., Maas, S.J., and Pinter, P.J. 1995. Combining remote sensing and modeling for estimating surface evaporation and biomass production. Remote Sensing Reviews.12: 335-353.
20.Richards, R.A., and Townley-Smith, T.F. 1987. Variation in leaf area development and its effect on water use, yield and harvest index of drought wheat. Austr. J. Agric. Res. 38: 6. 983-992.
21.Sawasawa, A.L. 2003 Crop Yield Estimation: Integrating RS, GIS, Management and Land factors.MSc thesis, University of Amestherdam, ITC.
22.Serrano, L., Fillela, I., and Penuelas, J. 2000. Remote sensing of biomass and yield of winter wheat under different nitrogen supplies. Crop science. 40: 3. 723-731.
23.Sugita, M. 1992. Application of self-preservation in the diurnal evolution of the surface energy budget to determine daily evaporation. J. Geophysic. Res. Atm. 97: 17. 18377-18382.
24.Tonajbook of Sugarcane Agro-Industry Company, 1392.
25.Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combination for monitoring vegetation. Remote sensing of Environment. 8: 127-150.



www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(6), 2019*
*http://jwsc.gau.ac.ir*
*DOI: 10.22069/jwsc.2019.12252.2676*

# Modeling the sugarcane product yield using a hybrid model based on remotely sensed data

**M.M. Velashjerdi[1], *S. Hamzeh[2], M. Moghaddasi[3] and A. Sheini Dashtgol[4]**

[1]M.Sc. Student, Dept. of Water Resources Engineering, Malayer University,
[2]Assistant Prof., Dept. of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran,
[3]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Arak University,
[4]Dept. of Soil and Water, Sugarcane Train and Research Institute
Received: 05.06.2018; Accepted: 11.27.2018

**Abstract**

**Background and Objectives:** Managers and policy makers, to take appropriate managerial strategies, including product price and products' market on import and export need information about performance of agricultural products at different scales, but estimation of product yield amount regarding the lack of required information is always difficult and costly. The most appropriate way is satellite data and remote sensing technique. The present study aims at estimating the sugarcane product yield using Landsat 8 satellite images.

**Materials and Methods:** In this research, a hybrid model was used to estimate the product yield. This hybrid model includes many models to calculate the absorbed photosynthetic active radiation, the Stanford model to determine the light use efficiency and SEBAL model to describe spatial-temporal variations of the earth's surface. The product yield map of the implementation of this model on 2013 using 10 Landsat 8 satellite images has been achieved. In SEBAL model, all energy balance components including net radiation, soil heat flux, tangible heat flux from satellite imagery was calculated and finally the evaporation fraction was calculated based on the energy balance equation. To estimate the produced dry material according to the date and number of images, photosynthetic active radiation in 10 time periods has been calculated. Each image represents an interval time period. In this research, all components of this hybrid model for all images in the time period of the main course of sugarcane production growth was calculated and finally, the product yield map was prepared for this area.

**Results:** The average yield of sugarcane during growth period was estimated in 65 tons per hectare. Estimated yield with this hybrid model, showed good correlation and good distribution with the actual yield of farms ($R^2 = 0.8339$). Then, the effect of age and varieties on the accuracy of the model in the sugarcane performance estimation was studied. It was found that, among different statistics, the calculated yield values in cultivated farms of CP57-614 due to its precociousness and better alignment with the latest image has higher correlation with actual amounts of yield. Also it has been seen that with increasing the age of sugarcane from the planting to R4, the yield will decrease and will have lower estimated yield, correlation and distribution comparing with actual sugarcane yield and the correlation is reduced to 0.51.

**Conclusion:** The results of evaluation of product performance data and cultivated varieties indicated that the sugarcane product yield is higher in the 614-CP57 than in the 1062-CP69 and it also shows a better match with the presented model. Also it was observed that with increasing different ages of sugarcane from planting to R4, the performance was decreased and had lower estimated yield, correlation and distribution than the actual yield of sugarcane and error rates will increase.

***Keywords:*** Energy balance, Monteith model, Satellite Imagery, Sugarcane

* Corresponding Author; Email: saeid.hamzeh@ut.ac.ir



www.SID.ir