

## تحقیقات غلات

دوره ششم / شماره سوم / پاییز ۱۳۹۵ (۴۱۰-۳۹۷)

# برآورد عملکرد برنج با استفاده از مدل VSM و تصاویر ماهواره‌ای در استان گیلان

لیلا صدوقی<sup>۱</sup>، مهدی همایی<sup>۲\*</sup>، علی‌اکبر نوروزی<sup>۳</sup> و صفورا اسدی کپورچال<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۰

تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۳۱

### چکیده

برآورد عملکرد گیاه پیش از برداشت برای هرگونه مدیریت زراعی ضروری است. تخمین صحیح عملکرد گیاهان در حقیقت تأثیر نهاده‌های مختلف کشاورزی بر عملکرد نهایی را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های نوین برای تخمین عملکرد، استفاده از مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی است. به هر حال، اگرچه پیشرفت‌های زیادی در توسعه این مدل‌ها صورت گرفته است، اما واسنجی و اعتبارسنجی آنها در مقیاس‌های زراعی بزرگ مستلزم برداشت نمونه‌های فراوان و عملیات میدانی زیادی است. به همین دلیل، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و فناوری سنجنش از دور برای این منظور مورد توجه پژوهش‌گران قرار گرفته است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی امکان استفاده از مدل VSM و تصاویر ماهواره‌ای برای تخمین عملکرد برنج در استان گیلان بود. بدین منظور، نخست تصاویر ماهواره‌ای مودیس و لندست-۸ استخراج شد. تعداد ۲۰ مزرعه به‌عنوان نمونه انتخاب و اطلاعات مورد نیاز از جمله عملکرد واقعی و اندازه‌گیری‌های میدانی در مزارع منتخب به‌دست آمد. سپس با استفاده از نقاط نمونه‌برداری شده و با کمک نرم‌افزار ArcGIS 10.2 و با استفاده از روش درون‌یابی به کل مزارع منطقه تعمیم داده شد. آنگاه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای یاد شده و مدل VSM مقدار عملکرد دانه برنج برای کل منطقه مورد مطالعه برآورد شد. برای صحت‌سنجی مدل، مقادیر عملکرد واقعی برنج با مقادیر عملکرد برآورد شده توسط مدل مقایسه شد که دارای رابطه‌ای خطی با همبستگی بالای ۸۰ درصد و ضریب تبیین حدود ۶۵ درصد بود. نتایج به‌دست آمده از مدل نشان داد که این مدل از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد برنج برخوردار است، به‌طوری‌که ارتباط قوی (بیش از ۸۰ درصد) و معنی‌داری بین پارامترهای استفاده شده در مدل و عملکرد محصول برنج وجود داشت. بنابراین، به نظر می‌رسد که تصاویر ماهواره‌ای، قابلیت مناسبی برای برآورد عملکرد محصول برنج به عنوان ورودی مدل VSM دارند. نتایج این تحقیق نشان داد که امکان برآورد محصول برنج برای منطقه مورد نظر طی سال‌های آینده با استفاده از این مدل بومی شده و داده‌های ماهواره‌ای واسنجی شده فراهم است و احتمالاً دیگر نیازی به انجام عملیات میدانی گسترده و صرفه هزینه زیاد نمی‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه اطلاعات جغرافیایی، سنجنش از دور، عملکرد برنج، مدل VSM

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

تهران، تهران، ایران

۲- استاد، گروه آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، تهران، ایران

۳- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه علوم خاک، دانشکده علوم کشاورزی دانشگاه گیلان، رشت، ایران

\* نویسنده مسئول: [mhomaee@modares.ac.ir](mailto:mhomaee@modares.ac.ir)

## مقدمه

برنج (*Oryza sativa* L.) دومین غله جهان است که غذای اصلی بیش از نیمی از مردم جهان به ویژه کشورهای در حال توسعه را تشکیل می‌دهد (FAO, 2010). برنج، از گیاهان زراعی اصلی مناطق گرمسیری، معتدل و مرطوب بوده و در عرض‌های جغرافیایی ۵۳ درجه شمالی تا ۴۰ درجه جنوبی و منحصراً به منظور مصرف انسان کشت می‌شود. این محصول یک سوم کل سطح زیرکشت جهانی غلات را در برداشته و نزدیک به ۳۵ تا ۶۵ درصد کالری مصرفی ۲/۷ میلیارد نفر در جهان را تأمین می‌کند (Kazemi Posht Masari *et al.*, 2007). تقریباً ۷۵ درصد برنج جهان از شالیزارهای فاریاب تولید می‌شود که حدود ۵۰ درصد کل شالیزارهای دنیا را تشکیل می‌دهد (Carmelita *et al.*, 2011).

کشت برنج در ایران نیز جایگاه ویژه‌ای دارد. لیکن اخیراً بروز کم آبی، کشت این گیاه را در ایران و جهان در معرض خطر قرار داده است. با وقوع کم آبی نه تنها حجم آب کم می‌شود، بلکه کیفیت آن نیز تغییر یافته و شورتر می‌شود (Du Ning *et al.*, 2007; Saadat and Homae, 2015). سطح زیر کشت برنج در ایران در حدود ۵۸۰۱۵۲ هکتار تخمین زده شده است (FAO, 2011). اراضی زیر کشت برنج در ایران به طور عمده متعلق به پنج استان مازندران (۳۸/۵ درصد)، گیلان (۳۱/۹ درصد)، گلستان (۹/۹ درصد)، خوزستان (۹/۲ درصد) و فارس (۳/۹ درصد) است (Izaddoost *et al.*, 2013).

برآورد عملکرد گیاهان زراعی، به‌ویژه غلات هم از نظر مدیریت تولید محصولات کشاورزی و هم از دیدگاه مدل‌سازی فرآیندهای حاکم بر تولید از اهمیتی ویژه برخوردار است. یکی از روش‌های عمده تخمین عملکرد گیاهان، استفاده از توابع ریاضی است که اصطلاحاً به آنها توابع تولید گویند. یک تابع تولید (Production function) بیانگر رابطه موجود بین نهاده‌ها و عملکرد گیاه است. تابع تولید آب‌محصول، رابطه عملکرد یک محصول با کمیت و کیفیت آب و دیگر متغیرهای کنترل‌کننده تولید را نشان می‌دهد. چنین توابعی در کشاورزی، برای تحلیل مدیریت‌های زراعی ضروری بوده و در تعیین مقدار نهاده‌های بهینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. این توابع همچنین می‌توانند در ارزیابی امکان استفاده از منابع غیر متعارف همچون آب‌های شور مورد

استفاده قرار گیرند. به‌طور کلی، توابع تولید به دو روش برآورد می‌شوند. یکی از این روش‌ها استفاده از مدل‌های نظری و تجربی است که ناشی از فرآیندهای منحصر به فرد آب و محصول است. اصولاً کمیت پارامترها در این روش، از اندازه‌گیری‌های مستقیم به‌دست می‌آید. دومین روش برآورد توابع تولید، استفاده از روش‌های آماری مبتنی بر مشاهداتی همچون سطح تغییرات عملکرد و کمیت و کیفیت آب مصرفی است. اکثر توابع تولید با استفاده از فرضیاتی برآورد می‌شوند که بر مبنای آن کاربرد نهاده‌ی مورد نظر در سطح مزرعه یکسان و ویژگی‌های خاک ثابت در نظر گرفته می‌شود. حال آنکه در بیشتر مزارع، هم آب مصرفی و هم دیگر نهاده‌ها در سطح مزرعه متغیر بوده و ویژگی‌های خاک نیز از تغییرات مکانی (Spatial variability) قابل ملاحظه‌ای برخوردار هستند (Mohammadi *et al.*, 2015a; Omid and Homae, 2015).

هرچند که تعاریفی متفاوت برای توابع تولید ارائه شده است، اما به‌طور کلی، تابع تولید رابطه بین فرآیندهای ورودی تولید و فرآیندهای خروجی آن است. به بیان دیگر، یک تابع تولید حداکثر خروجی ممکن از سطوح مختلف کاربرد ورودی‌ها را ارائه می‌دهد. چنانچه  $y$  خروجی و  $X_i$  مقادیر ورودی فرآیندهای تولید باشند، تابع تولید را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1)$$

بدیهی است که تعداد زیادی ورودی برای فرآیند تولید می‌توان در نظر گرفت. اما فقط برخی از آنها به‌عنوان متغیرهای غالب مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. در این صورت، رابطه (۱) را می‌توان به‌صورت زیر نوشت:

$$y = f(x_1 \dots x_m | x_{m+1} \dots x_n) \quad (2)$$

که در آن اولین  $m$  از ورودی‌های متغیر تولید و دومین  $m$  از ورودی‌های ثابت تولید است.

به‌طور مثال در یک آزمایش زراعی، مقدار کود و آب ممکن است تغییر کند، اما کارگر، هزینه‌ها، حشره‌کش‌ها و ماشین‌آلات ثابت باشند. تابع تولید (۲) مربوط به حالتی است که یک خروجی و چند ورودی وجود داشته باشد. حال آنکه غالباً بیش از یک خروجی وجود دارد. در چنین حالتی اگر  $y_i$  ( $i=1,2,\dots,n_y$ ) مقدار  $i$ ام خروجی تعریف شود، تابع تولید به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

که در آن  $y$  مقدار عملکرد (ماده خشک)،  $T$  تعرق طی فصل رشد،  $E_0$  تبخیر پتانسیل از سطح خاک و  $m$  شیب معادله است. ضریب  $m$  در حقیقت مقدار عملکرد را به نسبت  $\frac{T}{E_0}$  مرتبط می‌سازد.

استوارت (Stewart) نیز با الهام گرفتن از رابطه دویت، رابطه‌ای بین عملکرد و تبخیر و تعرق به صورت زیر ارائه کرد:

$$\left(1 - \frac{y_0}{y_{\max}}\right) = k_y \left(1 - \frac{ET_0}{ET_{\max}}\right) \quad (7)$$

که در آن  $y_0$  عملکرد واقعی،  $y_{\max}$  عملکرد بیشینه،  $ET_0$  تبخیر و تعرق واقعی،  $ET_{\max}$  تبخیر و تعرق بیشینه و  $k_y$  فاکتور کاهش محصول است.

بر پایه این مدل، کاهش نسبی عملکرد متناسب با کاهش نسبی تبخیر و تعرق است. توابع دیگری نیز توسط دیگر پژوهشگران برای شرایط مختلف ارائه شده است، اما مبنای همه آنها معادله (۶) می‌باشد. هر چند که استفاده از این توابع برای تخمین عملکرد گیاهان زراعی مفید است، ولی اشتقاق آنها مستلزم انجام آزمایش‌های متعددی در سطح کرت و سپس تعمیم آنها به کل مزرعه است. افزون بر این، به دلیل تغییرپذیری مکانی ویژگی‌های خاک و ناهمگنی آنها، نتایج قابل قبولی در مقیاس مزرعه‌ای ارائه نمی‌کند. از این رو، استفاده از روش‌هایی که بتوانند در مقیاس‌های بزرگ عملکرد گیاهان زراعی را با دقتی قابل قبول برآورد کنند، اجتناب‌ناپذیر است. یکی از این روش‌ها، استفاده از فناوری سنجش از دور است.

در سال‌های اخیر، استفاده از فناوری اطلاعات در بخش کشاورزی با هدف پایداری در آن، به کار گرفته شده است. این مفهوم که به نام کشاورزی دقیق معرفی شده است، هم در بر گیرنده اهداف اقتصادی و هم ملاحظات زیست‌محیطی (کاهش آثار زیان‌بار ناشی از کاربرد نهاده‌های شیمیایی) است (Bannayan et al., 2005). پیش‌بینی عملکرد گیاه پیش از برداشت با استفاده از فناوری سنجش از دور در بسیاری از تصمیم‌گیری‌های کشاورزی می‌تواند بسیار سودمند باشد (Noureldin et al., 2013) و به عنوان شاخصی برای توصیف واکنش کشاورزی به مدیریت منابع آب و خاک، از اهمیت زیادی برخوردار است (Bastiaanssen and Ali, 2003).

مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای بسیار مهم در مطالعه و بررسی سیستم‌های کشاورزی هستند و

برآورد عملکرد برنج با استفاده از مدل VSM و تصاویر ماهواره‌ای

$$y_i = f_i(x_1 \dots x_m | x_{m+1} \dots x_n) \quad (3)$$

که در آن  $f_i$  توابع اجزاء ترکیب دهنده تابع تولید  $f$  است. توابع تولید را به صورت توابع جبری ساده نیز می‌توان نوشت:

$$y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 \quad (4)$$

که در آن،  $a_0$ ،  $a_1$ ،  $a_2$  مقادیری ثابت هستند. یک تابع تولید محصول همچنین می‌تواند به صورت معادله‌ای باشد که حل آن مستلزم حل معادلات دیگری است. توابع تولید می‌توانند به صورت زیر نیز باشند:

$$y = f(x_1 \dots x_m | x_{m+1} \dots x_n; \theta) \quad (5)$$

که در آن  $\theta$  یک متغیر تصادفی است.  $y$  نیز یک متغیر تصادفی است که توزیع احتمال آن وابسته به مقادیر  $x$  است. متغیر تصادفی، تغییرات تصادفی آب و هوا، شرایط محیطی در طی فصل رشد و مقدار پارامترهای نامعلوم توابع تولید را نشان می‌دهد.

بسیاری از پژوهشگران تلاش کرده‌اند برای توابع تولید محصول معادلاتی ساده ارائه کنند تا در عمل بتوان از آنها به آسانی استفاده کرد. اکثر چنین معادلاتی از نوع درجه اول و یا درجه دوم می‌باشند. تجربه نشان داده است چنانچه رابطه محصول با تبخیر-تعرق در نظر گرفته شود، تابعی خطی به دست می‌آید. اما اگر مقدار آب کاربردی ملاک قرار گیرد، تابع تولید غیر خطی و از نوع درجه دوم خواهد بود. هنگام استفاده از توابع تولید باید محدودیت‌های آنها را نیز در نظر گرفت، زیرا دقت این توابع، تنها در دامنه‌ای خاص از کل تابع صادق بوده و نمی‌توان منحنی به دست آمده را به کرانه‌ای که آزمایش نشده تعمیم داد. افزون بر این، هر محصول در یک شرایط خاص آب و هوایی، تابع خاص خود را داشته و لازم است نتایج را فقط در شرایط مشابه اقلیمی به کار گرفت. یکی از نخستین توابع تولید ارائه شده مربوط به دویت (De wit) است. دویت بر پایه مشاهدات فراوان دریافت که رابطه‌ای خطی بین منحنی عملکرد  $y$  و نسبت  $\frac{T}{E_0}$  وجود دارد که شیب آن برابر  $m$  است:

$$y = m \frac{T}{E_0} \quad (6)$$

از آنها می‌توان در پیش‌بینی عملکرد گیاهان در شرایط مختلف استفاده کرد، اما به‌کارگیری این روش‌ها نیازمند انجام آزمایش‌های میدانی فراوانی بوده و معمولاً بسیار پرهزینه هستند. به‌همین دلیل، مدل‌های شبیه‌ساز که قادرند فرآیند تولید دانه را بر مبنای معادلات ریاضی رشد و با در نظر گرفتن متغیرهای مؤثر بر عملکرد پیش‌بینی کنند، رواج یافته است (Amiri Larijani *et al.*, 2011). یکی دیگر از فناوری‌های نوینی که در این راستا از آن استفاده می‌شود، سنسجش از دور است که در آن با استفاده از لایه‌های مختلف فضایی، اطلاعات مربوط به خاک و شرایط محصول استخراج و به کار می‌رود (Adamchuk *et al.*, 2003). پژوهش‌های انجام شده روی گیاهان زراعی نشان داده که همبستگی خوبی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص سطح برگ با عملکرد گیاهان مختلف از جمله گندم (Ren *et al.*, 2008; Mohammadi *et al.*, 2015b)، جو، کلزا (Behrens *et al.*, 2006) و برنج (Shen *et al.*, 2009; Shi and Mo, 2011) وجود دارد. در برخی مطالعات، با کاربرد توأمان سنسجش از دور و مدل‌های عددی، عملکرد گیاه به‌خوبی برآورد شده است (Leon *et al.*, 2003). بر پایه پژوهش‌های انجام‌شده در جنوب اسپانیا، استفاده از شاخص NDVI بهتر از VI و LAI می‌تواند عملکرد گیاهی را تخمین بزند (Padilla *et al.*, 2012). در مطالعه‌ای دیگر با تحلیل شاخص سطح برگ با استفاده از ترکیب داده‌های ماهواره‌ای ترا و اکوا مشخص شد که تفاوتی معنی‌دار بین شاخص سطح برگ به‌دست آمده از این دو ماهواره در مقیاس‌های بزرگ وجود ندارد (Yang *et al.*, 2006). مدل (Very Simple Model) VSM می‌تواند عملکرد دانه و بیوماس را بر اساس حداکثر شاخص سطح برگ، شاخص برداشت و راندمان استفاده از نور فراهم کند. مطالعات انجام شده بر روی مدل VSM برای پیش‌بینی عملکرد برنج نشان داده که مدل، برآوردی نسبتاً خوب از عملکرد دانه خشک دارد و از دقتی مناسب در شمال ایران با آب و هوای نیمه مرطوب برخوردار است (Pirmoradian and Sepaskhah, 2006). در پژوهشی دیگر، با استفاده از تصاویر مودیس و لندست، عملکرد برنج در شرایط اقلیمی سرد با تکیه بر شاخص سطح برگ به‌خوبی برآورد شده است (Yingbin *et al.*, 2010). این نتایج نشان داده که عملکرد برنج در شرایط سرد کمی کمتر از شرایط اقلیمی مطلوب می‌باشد. همچنین برخی

پژوهش‌ها نشان داده که مدل‌های پیش‌بینی‌کننده عملکرد مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای در سراسر حوضه سند که از مدل مانیتیس برای گندم، برنج و نیشکر استفاده کرده‌اند، رضایت‌بخش است لیکن برای پنبه، مطلوب نیست (Bastiaanssen and Ali, 2003). نتایج تحقیق بر روی عملکرد برنج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد که بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده تفاوت معنی‌داری وجود ندارد (Wang *et al.*, 2010). هدف از انجام این پژوهش، برآورد عملکرد برنج با استفاده از فناوری سنسجش از دور و مدل VSM بود، که هم میزان دقت مدل با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و میدانی ارزیابی شود و هم قابلیت تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های تولیدی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی مورد بررسی قرار گیرد.

### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه واقع در منطقه رشت به مساحت ۳۷۰۰۰ هکتار با مختصات جغرافیایی  $49^{\circ} 42' 41''$  تا  $49^{\circ} 53' 10''$  طول شرقی و  $37^{\circ} 27' 15''$  تا  $37^{\circ} 07' 15''$  عرض شمالی بود. بلندترین و پست‌ترین نقاط آن به ترتیب دارای ارتفاع ۴۰۳ و ۲۲- متر است. بخش‌های انتهایی رودخانه سپیدرود و شاخه‌های منشعب از آن از منطقه مورد مطالعه عبور کرده و سیلاب دشت آن بخش بزرگی از اراضی جلگه‌ای و زراعی منطقه را تشکیل می‌دهد. عمده‌ترین کاربری اراضی منطقه، کشت محصول برنج است. از جمله شهرها و بخش‌های مهم این منطقه، شهرستان آستانه، کیشهر، کوچصفهان، خمام، لشت‌نشاء و خشک‌بیجار می‌باشد. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری شده در شکل ۱ نشان داده شده است. برای انجام این پژوهش، از تصاویر سنجده‌های مودیس (MODIS)، لندست-۸ (Landsat-8)، Geoeye و نیز از داده‌های میدانی و آزمایشگاهی استفاده شد. مشخصات باندهای مربوط به سنجده‌های لندست و مودیس به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده است.

MODIS سنجده‌ای است که روی فضاپیما Terra قرار گرفته و هر روز از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی اخذ می‌کند. مودیس به‌طور روزانه شرایط جوی و آب و هوایی از قبیل دما و رطوبت را اندازه‌گیری می‌کند. داده‌های سنجده مودیس در شبیه‌سازی‌های کامپیوتری، فرایندهای بیوژئوشیمیایی

به شاخص‌های پوشش گیاهی (VIs)، شاخص سطح برگ (LAI) و شاخص انکسار تابش فعال فتوسنتزی (FRAR) اشاره کرد.

و در تفسیر تغییرات ایجاد شده در سطح زمین مورد استفاده قرار می‌گیرند. تیم تحقیقاتی مودیس شاخص‌های مختلفی را توسعه دادند که از جمله این شاخص‌ها می‌توان

جدول ۱- مشخصات باندهای انعکاسی سنجه لندست-۸  
Table 1. The characteristics of Landsat-8 bands wave length

باند Band	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
قدرت تفکیک (متر) Resolution (m)	30	30	30	30	30	30	30	15	30	100	100
پهنای باند (میکرومتر) Bandwidth (μm)	-0.45	-0.52	-0.60	-0.68	-0.88	-2.30	-1.39	-0.68	-1.66	-11.30	-12.50
	0.43	0.45	0.52	0.63	0.85	2.10	1.36	0.50	1.56	10.30	11.50

جدول ۲- مشخصات باندهای انعکاسی سنجه مودیس  
Table 2. The characteristics of Modis bands wave length

باند Band	1	2	3	4	5	6	7	31	32
قدرت تفکیک (متر) Resolution (m)	250	250	500	500	500	500	500	1000	1000
پهنای باند (میکرومتر) Bandwidth (μm)	-0.67	-0.87	-0.48	-0.56	-1.25	-1.65	-2.15	-11.3	-12.3
	0.62	0.84	0.46	0.54	1.23	1.63	2.11	10.8	11.8

مادون قرمز نزدیک باند ۲ و طیف قرمز باند ۱ برای ساخت این اندکس استفاده شده است.

شاخص NDVI و شاخص گیاهی اصلاح شده نسبت به بازتابش خاک یا SAVI به منظور تخمین شاخص سطح برگ مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص‌ها از نسبت تفاضل و تجمع بازتابش نرمال شده از باندهای مادون قرمز و قرمز حاصل می‌شوند. شاخص سطح برگ نیز که با نسبت سطح کل پیه‌ها برگ یک گیاه به کل مساحت زمینی که گیاه اشغال کرده است تعریف می‌شود، با استفاده از یک تابع نمایی به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{\rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (8)$$

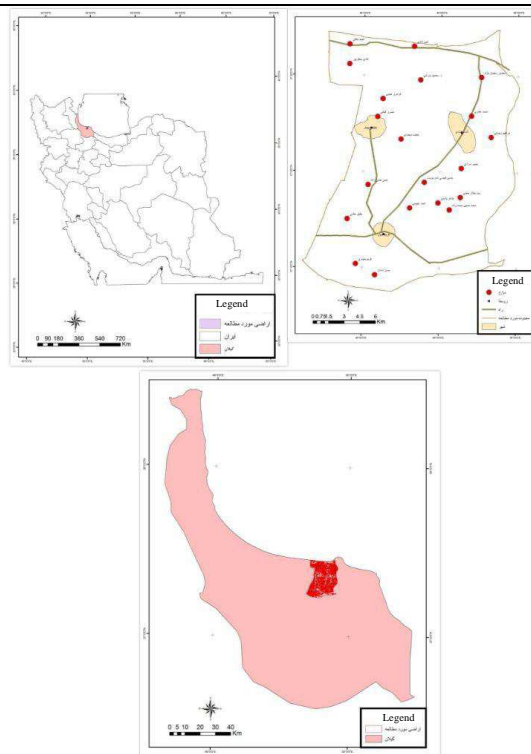
$$SAVI = (1+L) \frac{\rho_{nir} - \rho_{red}}{L + \rho_{nir} + \rho_{red}} \quad (9)$$

$$LAI = -\ln\left(\frac{C_1 - SAVI}{C_2}\right) \times \frac{1}{C_3} \quad (10)$$

$\rho_{nir}$  و  $\rho_{red}$  به ترتیب انعکاس در باند مادون قرمز و قرمز و ضرایب ثابت  $L$ ،  $C_1$ ،  $C_2$ ،  $C_3$  به ترتیب برابر ۰/۱، ۰/۹۱، ۰/۵۹ و ۰/۹۱ در نظر گرفته می‌شوند.

ماهواره لندست-۸ Landsat Data Continuity Mission (LDCM) محصول همکاری بین ناسا و سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) در تاریخ ۱۱ فوریه ۲۰۱۳ راه‌اندازی شده است. این ماهواره دارای ۱۱ باند در محدوده نور مرئی، مادون قرمز نزدیک (Near-Infrared)، موج کوتاه مادون قرمز (Short wave Infrared) و طیف مادون قرمز حرارتی (Thermal Infrared) به کار گرفته می‌شود. این ماهواره با داشتن باندهای بیشتر نسبت به لندست‌های قبلی، دارای عملکرد بهتری برای بارزسازی جزئیات پدیده‌های زمینی است. ماهواره لندست-۸ به جمع‌آوری و آرشیو اطلاعات تصاویر چندطیفی (multispectral) با رزولوشن متوسط (قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متری) جهت ایجاد پوشش فصلی برای یک دوره حداقل ۵ ساله می‌پردازد.

به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر سنجنده لندست-۸ و دوره بازدید روزانه سنجنده مودیس از تصاویر هر دو سنجنده به صورت همزمان استفاده شد. برای برآورد شاخص‌های NDVI از تصاویر ماهواره‌ای مودیس استفاده شد، به دلیل اینکه این سنجنده دارای دوره بازدید روزانه است و همان‌طور که در فرمول نشان داده شده از دو باند



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و نقاط نمونه برداری شده در این تحقیق  
Figure 1. The local map of the study area and sampling point positions in this research

با استفاده از نقاط نمونه برداری شده و با کمک ابزار زمین‌آمار در نرم‌افزار ArcGIS 10.2 بازده استفاده از نور پس از زمان گلدهی ( $\epsilon_r$ ) به روش IDW (Inverse distance weight) درون‌یابی شد. این روش برای مناطق همگن و فاقد تنوع و تغییرات توپوگرافی در منابع و مقالات بسیاری پیشنهاد شده است (Noroozi *et al.*, 2014). به همین ترتیب بازده استفاده از نور پیش از زمان گلدهی ( $\epsilon_v$ )، میانگین تشعشع ورودی روزانه کاشت تا زمان گلدهی ( $T_r$ )، میانگین تشعشع ورودی روزانه از زمان گلدهی تا زمان برداشت ( $T_v$ )، شاخص برداشت (HI)، تعداد روز از آغاز افزایش خطی شاخص سطح برگ تا مرحله گلدهی ( $T_v$ ) و تعداد روز از مرحله گلدهی تا مرحله برداشت ( $T_r$ )، درون‌یابی شدند. نتایج حاصله از این درون‌یابی‌ها در شکل‌های ۲ تا ۹ ارائه شده‌اند که دارای بالاترین دقت و کمترین خطا بودند. نقشه‌های تولیدی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار تهیه و در مدل برآورد عملکرد به‌عنوان ورودی مورد استفاده قرار گرفتند که همگی آن‌ها مربوط به میزان تشعشع نور خورشید در مراحل مختلف رشد هستند.

به‌منظور برآورد عملکرد برنج، نخست تصاویر ماهواره‌ای لندست-۸ و تصاویر Geosyze استخراج و مرز منطقه مورد مطالعه رسم شد. آنگاه ۲۰ مزرعه برنج به‌صورت تصادفی طبقه‌بندی شده از مجموع مزارع منطقه در استان گیلان به‌عنوان نمونه انتخاب و اطلاعات آن‌ها شامل عملکرد واقعی و اندازه‌گیری‌های میدانی در مزارع منتخب گردآوری شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار GoogleEarth مرز مزارع تصحیح شد. آنگاه با در اختیار داشتن تاریخ چهار دوره از مراحل رشد شامل نشاء، دوره رویشی، دوره زایشی و دوره رسیدگی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) که از سنجنده مودیس استخراج شده بودند و با استفاده از رابطه ۸ منطبق بر بازدیدهای میدانی از ۲۰ مزرعه نمونه، اقدام به بسط و توسعه نقشه مراحل مختلف رشد با استفاده از شباهت بین مزارع با مقادیر شاخص NDVI یکسان شد (Patel *et al.*, 2006; Noroozi *et al.*, 2014). در پایان نقشه‌های چهار دوره رشد شامل نشاء، رویشی، زایشی و رسیدگی برای کلیه مزارع محدوده مورد مطالعه تولید شد.

در مدل VSM با فرض الگوی مثلثی برای تغییرات سطح برگ، تجمع ماده خشک متناسب با برخورد تابش خورشیدی به گیاه فرض می‌شود. بر پایه این مدل، شاخص سطح برگ، تحت تأثیر دما بر اساس یک الگوی مثلثی تغییر می‌کند که نمای عمومی آن در شکل ۱۰ ارائه شده است. در این مدل، پارامترهای مختلفی باید تهیه و استفاده شوند. رابطه ۱۱ فرم عمومی تابع مورد استفاده در این مدل است:

$$Y = 0.85[1 - \exp(-kL_f)](vT_v \varepsilon_v + rT_r \varepsilon_r)HI \quad (11)$$

که در آن،  $T_v$  تعداد روز از آغاز افزایش خطی شاخص سطح برگ تا مرحله گلدهی و  $T_r$  تعداد روز از گلدهی تا مرحله برداشت است که از طریق روابط  $T_v = T_r - T_0$  و  $T_r = T_h - T_f$  محاسبه می‌شوند،  $v$  میانگین تشعشع ورودی روزانه از زمان کاشت تا زمان گل‌دهی ( $MJ \cdot d^{-1} \cdot m^{-2}$ )،  $r$  میانگین تشعشع ورودی روزانه از زمان گلدهی تا زمان برداشت ( $MJ \cdot d^{-1} \cdot m^{-2}$ )،  $\varepsilon_v$  بازده استفاده از نور پیش از زمان گل‌دهی ( $g \cdot MJ^{-1}$ ) و  $\varepsilon_r$  بازده استفاده از نور بعد از زمان گل‌دهی ( $g \cdot MJ^{-1}$ ) هستند (Pirmoradian and Sepaskhah, 2006).

چهارچوب کلی استفاده از این مدل در شکل ۱۰ ارائه شده است. در این شکل  $L$  شاخص سطح برگ،  $t$  تعداد روزهای بعد از جوانه‌زنی بر حسب روز،  $\alpha$  افزایش روزانه شاخص سطح برگ ( $d^{-1}$ )،  $T_0$  تعداد روز از جوانه‌زنی تا افزایش خطی شاخص سطح برگ ( $d$ )،  $T_f$  زمان گلدهی ( $d$ )، حداکثر شاخص سطح برگ در زمان گلدهی،  $\beta$  کاهش روزانه شاخص سطح برگ ( $d^{-1}$ ) و  $T_h$  تعداد روز از جوانه‌زنی تا زمان برداشت است. تجمع ماده خشک متناسب با برخورد تابش خورشید است که در آن  $dW/dt$  تجمع ماده خشک روزانه ( $g \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ )،  $\varepsilon$  بازده استفاده از نور ( $g \cdot MJ^{-1}$ )،  $s$  تشعشع طول موج کوتاه دریافت شده ( $MJ \cdot m^{-2} \cdot d^{-1}$ ) و  $K$  ضریب خاموشی نور می‌باشد.

عملکرد با حاصل‌ضرب ماده خشک کل (در زمان برداشت) و شاخص برداشت مشخص می‌شود که در آن  $Y$  عملکرد دانه ( $g \cdot m^{-2}$ )،  $W_h$  وزن کل ماده خشک در زمان برداشت ( $g \cdot m^{-2}$ ) و  $HI$  شاخص برداشت است که از نسبت عملکرد قابل برداشت به کل عملکرد زیست‌توده روی سطح زمین به‌دست می‌آید.

برای ارزیابی پیش‌بینی مدل، از آماره‌های ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا

ضریب خاموشی نور ( $K$ ) برای این منطقه  $0.41$  در نظر گرفته شد. به‌منظور دستیابی به شاخص سطح برگ بیشینه، با استفاده از تصویر ماهواره‌های لندست-۸ شانزده روزه و مودیس روزانه، نمودار شاخص سطح برگ (از روز ۱۲۱ تا ۲۳۴) به‌صورت روزانه با استفاده از داده‌های مودیس رسم و مشاهده شد که شاخص سطح برگ در روز ۱۹۷ بیشینه است. سپس با انطباق با داده‌های لندست-۸ به کمک روش درون‌یابی، این شاخص به کل مزارع منطقه تعمیم داده شد و در نهایت با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ذکر شده و مدل VSM مقدار عملکرد برنج برآورد شد.

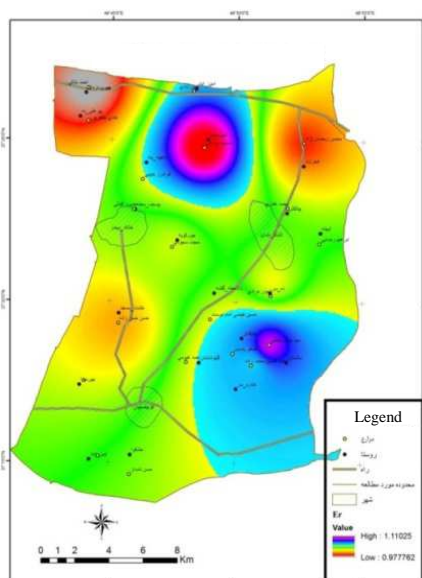
روش درون‌یابی IDW بر این فرض استوار است که تأثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیکترین نقاط برداشت شده دارد. بنابراین برای تخمین نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف باید مشارکتی بیشتر نسبت به نقاطی که در فاصله دورتر قرار دارند، داشته باشند. در این روش، از فاصله به‌عنوان وزن متغیر معلوم برای پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود، زیرا نقش متغیر پیوسته در اثرگذاری، با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. بنابراین هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش یابد، باید وزن‌ها بر اساس فاصله کاهش یابند و بدین ترتیب فاصله‌ها معکوس می‌شوند. به‌عبارت دیگر، از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود و به‌همین دلیل به این روش، روش عکس فاصله وزنی گویند. از سوی دیگر، تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را می‌توان با استفاده از توان در معکوس فاصله اعمال کرد (Johnston et al., 2001).

مدل VSM مدلی نسبتاً ساده است که برای رشد گیاه و تخمین عملکرد محصول ارائه شده است. این مدل در مقایسه با دیگر مدل‌های برآوردکننده عملکرد، اطلاعات ورودی کمتری دارد. همچنین این مدل برای شبیه‌سازی رشد و تخمین عملکرد محصول برنج در منطقه کوشک استان فارس نیز مورد واسنجی و ارزیابی قرار گرفته است. واسنجی مدل با استفاده از اطلاعات حاصل از آزمایش‌های مزرعه‌ای در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام گرفت. نتایج نشان داد که مدل VSM تخمینی قابل‌قبول از ماده خشک و عملکرد برنج در منطقه مورد مطالعه ارائه می‌کند.

کارگاه‌های شالیکوبی داده شده (وزن با شلتوک و بدون شلتوک) مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت.

### نتایج و بحث

با استفاده از مدل VSM و به کمک روش IDW نقشه‌های مربوطه در محیط ArcGIS تولید شدند. شکل‌های ۲ و ۳ بازده استفاده از نور پیش و پس از زمان گلدهی را نشان می‌دهند. شکل‌های ۴ و ۵ میانگین تشعشع ورودی روزانه از زمان کاشت تا گلدهی و تا برداشت را نشان می‌دهند. همان‌گونه که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است، بازده استفاده از نور پیش و پس از زمان گلدهی به‌صورتی تقریباً یکسان بوده و نوسانات شدیدی در این دوره رشد وجود نداشته است. اما تشعشع ورودی به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم در برآورد عملکرد از زمان کاشت تا گلدهی (شکل ۴) و از زمان گلدهی تا برداشت (شکل ۵) از نواحی جنوب شرقی تا شرق به‌سمت نواحی شمال شرقی کاهش شدیدی داشته است. این کاهش می‌تواند در میزان عملکرد تاثیرگذار باشد و به‌طور مستقیم در برآورد شاخص سطح برگ خود را نشان دهد. شکل ۶ نیز تعداد روز از مرحله گلدهی تا برداشت و شکل ۷ شاخص برداشت را نشان می‌دهند.



شکل ۳- بازده استفاده از نور پس از گلدهی  
Figure 3. The light use efficiency after flowering

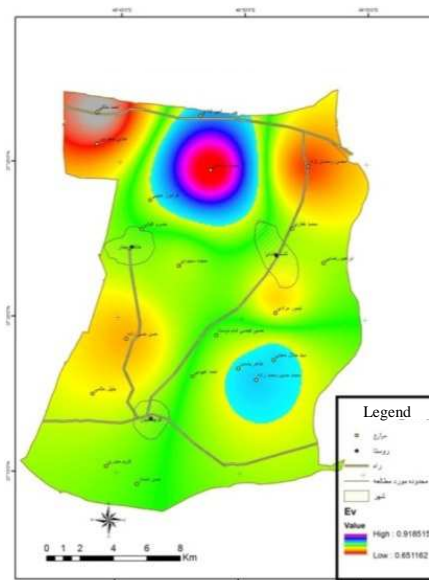
زیست‌توده سطح زمین می‌باشد، در نواحی جنوبی نسبت به شمال دارای مقادیر کمتری است (شکل ۷).

(MBE) استفاده شد. مقادیر RMSE نشانگر مقدار خطای مدل در برآورد داده‌ها است و شاخص MBE میل مدل به کم‌برآوردی (Underestimate) یا بیش‌برآوردی (Overestimate) را نشان می‌دهد. رابطه ریاضی این آماره‌ها به‌صورت زیر است (Zarei et al., 2010; Nouri et al., 2014):

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum (Y_o - Y_p)^2}}{N} \quad (12)$$

$$MBE = \frac{\sum Y_o - Y_p}{N} \quad (13)$$

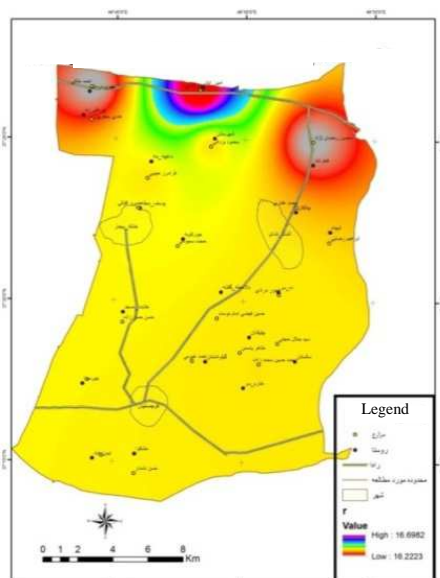
که در آنها  $Y_p$  مقادیر برآورد شده،  $Y_o$  مقادیر اندازه‌گیری شده و  $N$  تعداد داده‌ها می‌باشد. کمترین مقدار RMSE در شرایطی که مقادیر برآورد و اندازه‌گیری شده برابر باشند، صفر است. آماره MBE شاخصی برای مقایسه پیش‌بینی‌ها با مقادیر پایه است. هر چه مقدار این آماره به صفر نزدیک‌تر باشد، تشابه بیشتری بین میانگین مقادیر برآورد شده و اندازه‌گیری شده وجود دارد. علامت مثبت نمایانگر بیش‌برآوردی مدل و علامت منفی بیانگر کم‌برآوردی مدل است. در این پژوهش میزان عملکرد محصول با استفاده از مدل برآورد شده با میزان محصول برداشت شده توسط کشاورزان در همان مزارع که به



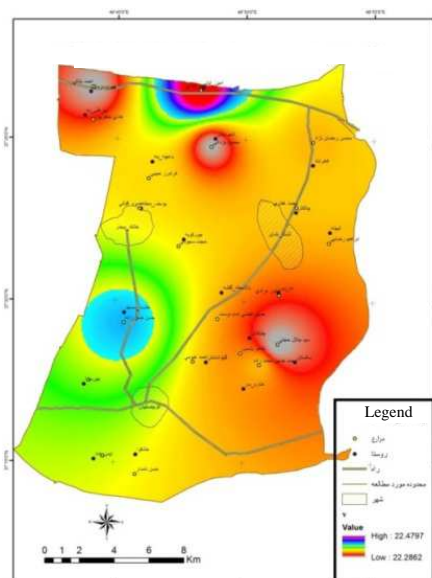
شکل ۲- بازده استفاده از نور پیش از گلدهی  
Figure 2. The light use efficiency before flowering

همانطور که در شکل ۶ مشخص است تعداد روز از مرحله گلدهی تا برداشت فاقد نوسانات شدید در منطقه بوده است. شاخص برداشت نیز که تابعی از عملکرد و





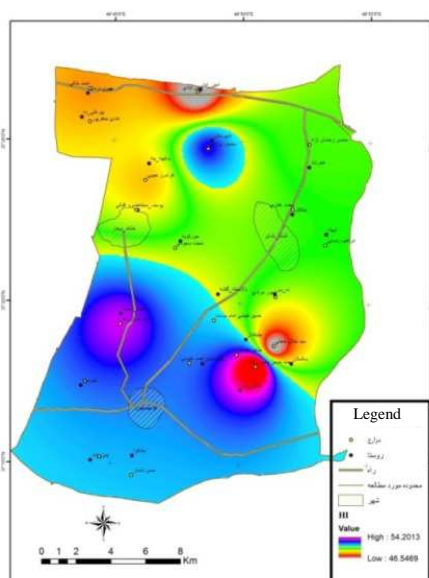
شکل ۵- میانگین تشعشع ورودی روزانه از گلدهی تا برداشت  
Figure 5. Mean daily shortwave radiation from flowering to harvest



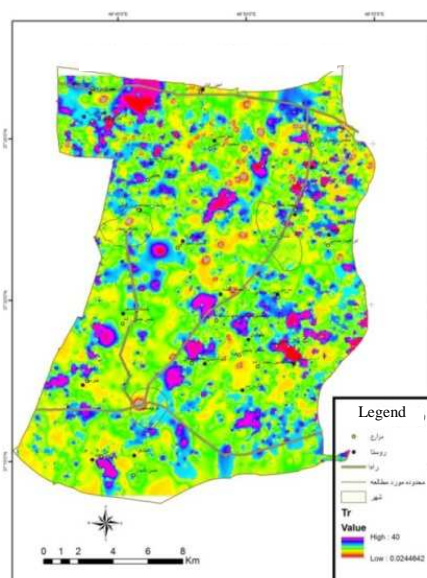
شکل ۴- میانگین تشعشع ورودی روزانه از کاشت تا گلدهی  
Figure 4. Mean daily shortwave radiation from planting to flowering

مدل که در قالب نقشه برای هر یک از پارامترهای ورودی مدل در محیط GIS تولید شد از نظر توزیع مکانی دارای شدت و نوساناتی در سطح محدوده مورد مطالعه بودند که به‌گونه‌ای تاثیر گذار می‌توانند در برآورد عملکرد محصول مورد توجه قرار گیرند.

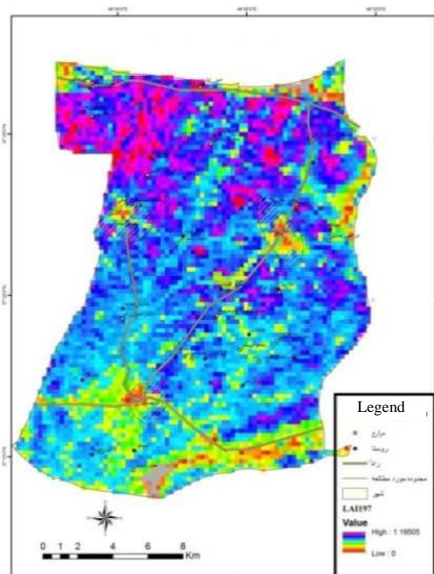
شکل‌های ۸ و ۹ نیز مربوط به شاخص سطح برگ (LAI) می‌باشند. مقایسه عملکرد برآورد شده و عملکرد واقعی برنج در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. تصاویر ماهواره‌ای و لایه‌های اطلاعاتی در محیط GIS با دقت و سرعت بالایی قابل پردازش، اندازه‌گیری و مدلسازی هستند. نتایج حاصل از اجرای



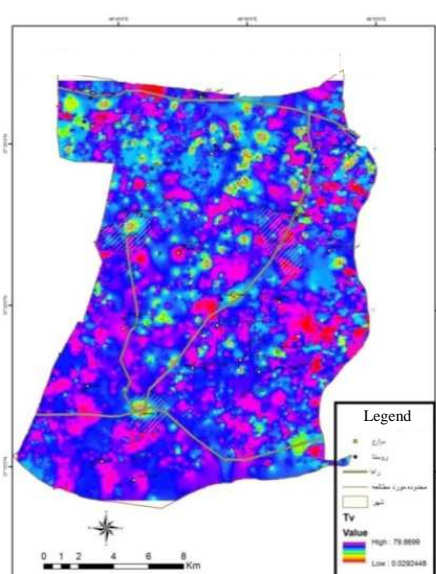
شکل ۷- نقشه شاخص برداشت  
Figure 7. The harvest index map



شکل ۶- تعداد روز از مرحله گلدهی تا مرحله برداشت  
Figure 6. The days from emergence to harvest



شکل ۹- شاخص سطح برگ بیشینه  
Figure 9. The maximum LAI around time of flowering



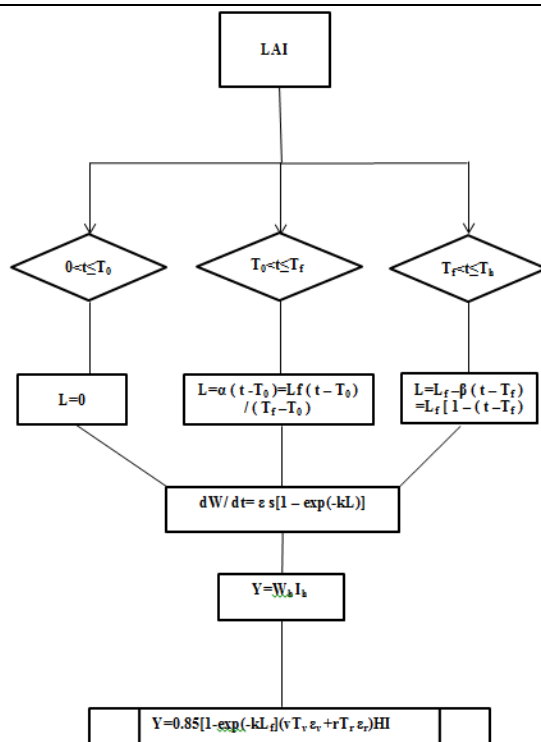
شکل ۸- تعداد روز از آغاز افزایش خطی شاخص سطح برگ تا مرحله گلدهی  
Figure 8. The period from emergence to a linear increase of LAI in day

وجود ندارد (Wang *et al.*, 2010). در پژوهش حاضر نیز با توجه به عملکرد به دست آمده از مدل و مقادیر ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین انحراف خطا (ME) که به ترتیب برابر با  $0.0027203$  و  $0.002720$  به دست آمده است مشخص می‌شود که ارتباطی قوی و معنی‌دار بین پارامترهای استفاده شده در مدل و عملکرد برنج وجود دارد. بدین ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که این مدل از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد برنج برخوردار است.

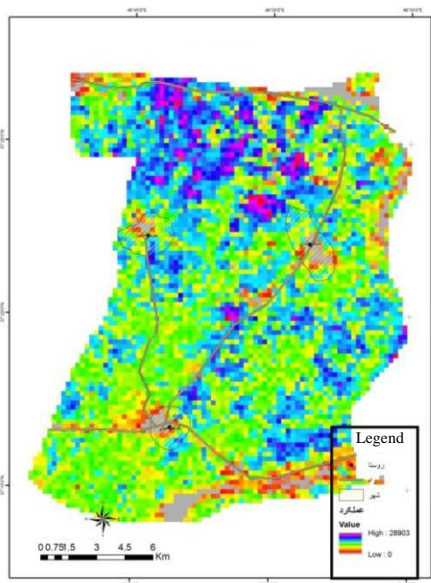
بر پایه پژوهش باستیانسن و علی (۲۰۰۳) مدل مانیتیس برای پیش‌بینی عملکرد محصول مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای محصولات گندم، برنج و نیشکر، در حوضه سند رضایت‌بخش بوده، لیکن برای پنبه ضعیف گزارش شده است (Bastiaanssen and Ali, 2003). در این پژوهش میزان عملکرد برنج با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل VSM در محیط ArcGIS برآورد شد که نقشه پراکندگی عملکرد در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱۲ نشان داده شده است. بر پایه این شکل، مقدار عملکرد در مناطق شمالی منطقه مورد مطالعه بیشتر از مناطق جنوبی است که می‌تواند به دلیل کاهش بارش در نواحی جنوبی منطقه و همچنین زیادی تشعشع ورودی در مناطق جنوبی و میزان کم شاخص سطح برگ در این مناطق باشد.

شاخص سطح برگ (LAI) (شکل‌های ۸ و ۹) و مقدار بیشینه آن در نواحی شمالی و به‌ویژه شمال غربی که نوسانات تشعشع در آنها کمتر است، به میزان حداکثر خود رسید و در نتیجه عملکرد برنج نیز در این نواحی نسبت به سایر مناطق دارای مقادیر بیشتری است (شکل ۱۱).

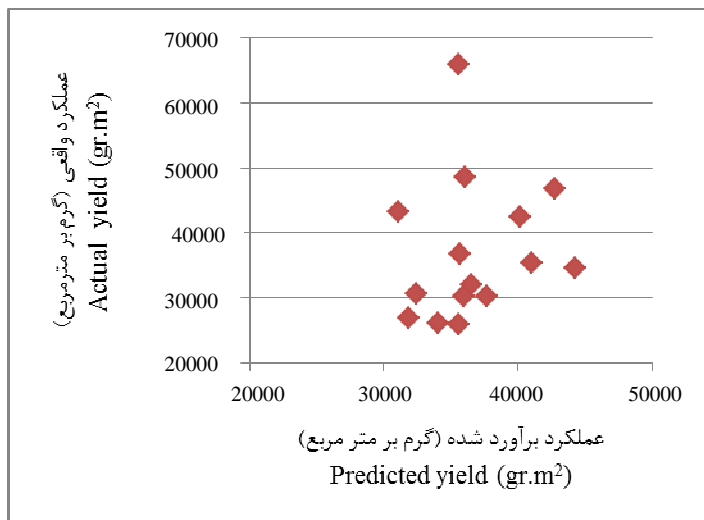
بر اساس مقایسه عملکرد به دست آمده از طریق مدل و مقادیر واقعی که از مراکز شالیکوبی اخذ شده، مشخص شد که عملکرد مزارع از ۳ تا  $4/5$  تن در هکتار متغیر بوده و رابطه‌ای خطی با همبستگی بالای ۸۰ درصد و ضریب تبیین حدود ۶۵٪ وجود دارد. مقدار عملکرد برنج با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل برآورد شده و همچنین عملکرد اندازه‌گیری شده در مزارع مورد مطالعه، در شکل ۱۱ ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که حداکثر و حداقل عملکرد برآورد شده با استفاده از مدل در منطقه مورد مطالعه دارای اختلاف اندکی است. لیکن مقدار بیشینه و کمینه عملکرد مشاهده شده در مزرعه دارای اختلاف بیشتری است که نزدیکی به جاده و نزدیک بودن به شهر سبب تأثیر در عملکرد برنج شده است. همچنین یکی از عمده‌ترین دلایل آن می‌تواند تأثیر مدیریت زراعی در مزارع منطقه مورد مطالعه باشد. نتایج تحقیق ونگ و همکاران (۲۰۱۰) بر روی عملکرد برنج با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نشان داده که بین عملکرد مشاهده شده و عملکرد پیش‌بینی شده تفاوت معنی‌داری



شکل ۱۰- نمای عمومی ورودی‌ها و خروجی مدل VSM  
Figure 10. Schematic representation of VSM model



شکل ۱۲- نقشه پراکندگی عملکرد برنج در منطقه مورد مطالعه  
Figure 12. Rice yield distribution map in the study area



شکل ۱۱- مقایسه عملکرد واقعی برنج با عملکرد برآورد شده برای کل منطقه مورد مطالعه  
Figure 11. Comparison of the actual and predicted yield for the entire study area

ارتباطی قوی و معنی‌دار (بیش از ۸۰٪) بین پارامترهای استفاده شده در مدل و عملکرد محصول برنج وجود دارد و بنابراین این مدل از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد برنج در منطقه مورد مطالعه برخوردار است.

### نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش، عملکرد برنج با استفاده از فناوری سنسجش از دور و مدل VSM برآورد شد. مقایسه عملکرد برآورد شده و عملکرد اندازه‌گیری شده نشان داد که

پهنه‌های وسیع برخوردار است، به‌این ترتیب که با در اختیار داشتن تصاویر ماهواره‌ای در هر یک از مراحل گلدهی و برداشت که شامل یک دوره یک ماهه می‌باشد، می‌توان عملکرد برنج را با دقت مناسبی برآورد کرد. این پژوهش با توجه به نتایج کاربردی آن می‌تواند در سال‌های آتی در منطقه مورد نظر مورد استفاده قرار گیرد و برآورد محصول بر پایه آن انجام شود و در نتیجه از نظر کاهش حجم عملیات میدانی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها بسیار حایز اهمیت است.

همچنین نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که مراحل مختلف رشد گیاه برنج بر عملکرد تأثیری زیادی دارند. از میان پارامترهای ورودی، بازده استفاده از نور، تشعشع ورودی در دوره‌های مختلف رشد و شاخص سطح برگ از حساسیت بیشتری در مدل برخوردار بودند و چون این پارامترها از تصاویر ماهواره‌ای استخراج می‌شوند، می‌توانند در برآورد دقیق مقدار عملکرد نقش بارز و اثرگذار داشته باشند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که فناوری سنجنش از دور از توانایی مناسبی برای برآورد عملکرد برنج در

## References

- Amiri Larijani, B., Sarvestani, Z. T., Nematzadeh, Gh., Manschadt, A. M. and Amiri, E. 2011.** Simulating phenology, growth and yield of transplanted rice at different seedling ages in northern Iran using ORYZA2000. **Rice Science** 18 (4): 321-334.
- Adamchuk, V. I., Perk, R. L. and Schepers, J. S. 2003.** Application of remote sensing in site-specific management. Institute of agriculture and natural resources. University of Nebraska Cooperative Extension. Precision Agriculture EC 03-702.
- Bannayan, M., Kobayashi, K., Kim, H. Y., Lieffering, M., Okada, M. and Miura, S. 2005.** Modeling the interactive effects of atmospheric CO<sub>2</sub> and N on rice growth and yield. **Field Crops Research** 93: 237-251.
- Bastiaanssen, W. G. M. 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: 321-340
- Behrens, T., Muller, J. and Diepenbrock, W. 2006.** Utilization of canopy reflectance to predict properties of oilseed rape (*Brassica napus* L.) and barley (*Hordeum vulgare* L.) during ontogenesis. **European Journal of Agronomy** 25: 345-355.
- Carmelita, M., Albertoa, R., Wassmanna, R., Hiranob, T., Miyatac, A., Hatanob, R., Kumara, A., Padrea, A. and Amante, M. 2011.** Comparisons of energy balance and evapotranspiration between flooded and aerobic rice fields in the Philippines. **Agricultural Water Management** 98: 1417-1430.
- Du Ning, X., Li, X. Y., Song, D. and Yang, G. 2007.** Temporal and spatial dynamical simulation of groundwater characteristics in Minqin Oasis. **Science in China Series D: Earth Sciences** 2: 261-273.
- FAO. 2010.** Food and Agriculture Organization. Statistics: FAOSTAT Agriculture and Food Trade. Retrieved June 10, 2012, from [www.faostat.fao.org](http://www.faostat.fao.org).
- FAO. 2011.** Food and Agriculture Organization. Statistics: FAOSTAT Agriculture and Food Trade. from <http://fao.org/crop/statistics>.
- Izaddoost, H., Samizadeh, H., Rabiei, B. and Abdollahi, S. 2013.** Evaluation of salt tolerance in rice (*Oryza sativa* L.) cultivars and lines with emphasis on stress tolerance indices. **Cereal Research** 3 (3): 167-180. (In Persian with English Abstract).
- Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K. and Lucas, N., 2001.** Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.
- Karimi, A., Moezardalan, M., Liaghat, A. M. and Homae, M. 2007a.** Effect of fertigation on yield component and water use efficiency of sunflower in a tape irrigation system. **Agricultural Sciences and Technology** 21 (1): 11-22. (In Persian with English Abstract).
- Karimi, A., Moezardalan, M., Homae, M. and Liaghat, A. M. 2007b.** Fertilizer Use Efficiency for Sunflower with Fertigation System. **Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)** 11 (40): 65-77. (In Persian with English Abstract).
- Karimi, A., Homae, M., Liaghat, A. M. and Moezardalan, M. 2005.** Uniformity of applied water and fertilizers in tape irrigation system. **Agricultural Research** 5 (2): 53-67. (In Persian with English Abstract).

- Kazemi Posht Masari, H., Pirdashti, H. A., Bahmanyar, M. A. and Nasiri, M. 2007.** Effect of split application of nitrogen fertilizer rates on yield and yield components of different rice cultivars. **Journal of Research and Development in Agriculture and Horticulture** 75: 68-77. (In Persian with English Abstract).
- Leon, C. T., Shaw, D. R., Cox, M. S., Abshire, M. J., Ward, B. and Wardlaw, M. C. 2003.** Utility of remote sensing in predicting crop and soil characteristics. **Precision Agriculture** 4: 359-384.
- Mohammadi, E., Mahmodi, A., Kamkar, B. and Abdi, O. 2015a.** Analysis of yield status and its relation with leaf area in wheat fields based on interpolation methods (A case study in army fields, Golestan province). **Journal of Plant Production** 22 (2): 47-69. (In Persian with English Abstract).
- Mohammadi, S., Mahmoodi, A., Kamkar, B. and Abdi, O. 2015b.** Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield prediction in some of growing stages (A case study: Nemooneh field, Golestan province). **Electronic Journal of Crop Production** 8 (2): 51-76. (In Persian with English Abstract).
- Noroozi, A. A. 2014.** Estimating rice leaf area index at North Iran. **Journal of Soil and Water Conservation** 3 (2): 1-10. (In Persian with English Abstract).
- Noureldin, N. A., Aboelghar, M. A., Saady, H. S. and Ali, A. M. 2013.** Rice yield forecasting models using satellite imagery in Egypt. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences** 16: 125-131.
- Nouri, M., Homae, M. and Bybordi, M. 2014.** Parametric investigation of diesel fuel-air capillary pressure-saturation functions. **Iranian Journal of Soil and Water Research** 44 (4): 365-372. (In Persian with English Abstract)
- Omidi, F. and Homae, M. 2015.** Deriving crop production functions to estimate wheat virtual water and irrigation water price. **Cereal Research** 5 (2): 131-143. (In Persian with English Abstract).
- Padilla, F. L. M., Maasb, S. J., González-Dugoa, M. P., Mansillaa, F., Rajanc, N., Gavilána, P. and Domínguez, J. 2012.** Monitoring regional wheat yield in southern Spain using the GRAMI model and satellite imagery. **Field Crops Research** 130: 145-154.
- Patel, N. R., Mohammed, A. J. and Rakhesh, D. 2006.** Modeling of wheat yields using multi-temporal Terra/MODIS satellite data. **Geocarto International** 21 (1): 43-50.
- Pirmoradian, N. and Sepaskhah, A. R. 2006.** A very simple model for yield prediction of rice under different water and nitrogen applications. **Biosystems Engineering** 93 (1): 25-34.
- 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: 403-413.
- Saadat, S. and Homae, M. 2015.** Modeling sorghum response to irrigation water salinity at early growth stage. **Agricultural Water Management** 152: 119-124.
- Shen, S. H., Yang, S. B. and Li, B. B. 2009.** A scheme for regional rice yield estimation using ENVISAT ASAR data. **Science in China Series D: Earth Sciences** 52: 1183-1194.
- Shi, H. and Mo, X. 2011.** Interpreting spatial heterogeneity of crop yield with a process model and remote sensing. **Journal of Ecological Modelling** 22: 2530-2541.
- Wang, Y., Chang, K., Chen, R., Lo, J. and Shen, Y. 2010.** Large-area rice yield forecasting using satellite imageries. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** 12: 27-35.
- Yang, W., Shabanov, N. V., Huang, D., Wang, W., Dickinson, R. E., Nemani, R. R., Knyazikhin, Y. and Myneni R. B. 2006.** Analysis of leaf area index products from combination of MODIS Terra and Aqua data. **Remote Sensing of Environment** 10: 297-312.
- Yingbin, H., Chida, S. U., Huajun, T., Youqi, C. and Jia, L. 2010.** Application of Terra/MODIS images, TM images and weather data to assess the effect of cold damage on rice yield. **International Journal of Agricultural and Biological Engineering** 3: 31-38.
- Zarei, G., Homae, M., Liaghat, A. M. and Hoorfar, A. H. 2010.** A model for soil surface evaporation based on Campbell's retention curve. **Journal of Hydrology** 380: 356-361.



University of Guilan  
Faculty of Agricultural  
Sciences

**Cereal Research**  
Vol. 6, No. 3, Autumn 2016 (397-410)

## Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province

Leila Sadooghi<sup>1</sup>, Mehdi Homae<sup>2\*</sup>, AliAkbar Noroozi<sup>3</sup> and Safoora Asadi Kapourchal<sup>4</sup>

Received: May 9, 2016

Accepted: September 21, 2016

### Abstract

Estimating crop yield before harvesting is necessary for any agricultural management scheme. Accurate prediction of crop yield, indeed, reveals the impact of different agricultural inputs on the final yield. One of the new methods for such prediction is the use of so-called growth models. In spite of considerable progresses made for developing these models, their calibration and validation in large scales needs plenty of direct field inspections and sampling. For this reason, the use of satellite images and remote sensing tool is recently considered by different investigators. The objective of this study was to evaluate the possibility of using VSM model and satellite images for prediction of rice yield in Guilan province. Consequently, the MODIS and Landsat-8 satellite images were first obtained. A number of 20 rice farms were selected and the required samples and information including the grain yield were collected from these fields. By using the information of sampling points, the data were then extended to the entire study area by means of interpolation, using ArcGIS10.2 software. The grain rice yield was estimated using the satellite images and VSM model. To evaluate the performance of model, the actual crop yield was compared with those estimated by VSM model that has linear relation with high correlation (>80%) and coefficient of determination of 65%. The obtained results indicated a reasonable prediction of rice yield by VSM model. Furthermore, a strong (>80%) and significant relationship was obtained between the incorporated input parameters and the actual crop yield and satellite imagery has the suitable potential to estimate rice yield as input of VSM model. Considering the obtained results, it is possible to predict rice yield with this model and by calibrating the satellite data in the studied area the yield for next years can be easily estimated. Consequently, there is no need for large field inspections as well as for spending the related extra costs.

**Keywords:** GIS, Remote sensing, Rice yield, VSM model

1. M. Sc. Graduated, Dept. of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Prof., Dept. of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3. Assist. Prof., Watershed Management Research Division, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran

4. Assist. Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agricultural Sciences, University of Guilan, Rasht, Iran

\* Corresponding author: [mhomaee@modares.ac.ir](mailto:mhomae@modares.ac.ir)