

## Evaluation of the Effect of Soil Texture on the Precision of Rice Yield and Biomass Simulation Using the DSSAT Model at a Large Scale

Mojtaba Rezaei<sup>1</sup>, Naser Davatgar<sup>2</sup>, Ebrahim Amiri<sup>3</sup> and Morteza Kamali<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran, (Email: mrezaei@yahoo.com)

<sup>2</sup> Associate Professor, Soil and Water Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

<sup>3</sup> Professor, Water Engineering Department, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran

<sup>4</sup> Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

### «Research Article»

Received: March 16, 2025 and Accepted: April 22, 2025

### Abstract

Crop growth models have high simulation precision at a small and field scale. However, their application at larger and regional levels significantly decreases model precision. Few studies have investigated the reasons for this phenomenon. The aim of the present study was to investigate the effect of soil texture on the precision of the DSSAT model for predicting rice yield and biomass at a large scale. First, the DSSAT model was calibrated and validated using field data, then, used to predict rice yield and biomass in 110 paddy fields in Soumeh-Sara County, Guilan Province, Iran. The required data was collected from the fields and entered into the model. Evaluation of the model output showed that the absolute error related to the model covered a relatively large range (up to 50%). However, the majority of this error occurred in the range of  $\pm 30\%$ . Also, the model precision was acceptable for average regional yield values, but the model precision decreased for maximum or minimum yield ranges. The results showed that the precision of the model's simulation of yield and biomass was inversely related to the amount of sand in the soil. The lowest model error, or the highest precision, was observed in the 0-15% sand group, and the highest error and lowest simulation precision were observed in the sand percentage group above 30%.

**Keywords:** Crop growth model, Model error, Yield in paddy field, Soil sand content

---

\*- Corresponding author's email: [mrezaei@yahoo.com](mailto:mrezaei@yahoo.com)



## ارزیابی تأثیر بافت خاک بر صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده برنج توسط مدل

### DSSAT در مقیاس ناحیه‌ای

مجتبی رضایی<sup>۱\*</sup>، ناصر دواتگر<sup>۲</sup>، ابراهیم امیری<sup>۳</sup>، مرتضی کمالی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران. [mrezaei@yahoo.com](mailto:mrezaei@yahoo.com)

<sup>۲</sup> دانشیار، مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

<sup>۳</sup> استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

<sup>۴</sup> کارشناس، مؤسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران.

« مقاله پژوهشی »

دریافت: ۱۴۰۳/۱۲/۲۶ و پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۲

### چکیده

مدل‌های رشد گیاهی در سطح کوچک و مقیاس مزرعه‌ای از صحت شبیه‌سازی زیادی برخوردار هستند. اما به کارگیری آن‌ها در سطح بزرگ‌تر و مقیاس ناحیه‌ای باعث کاهش قابل ملاحظه در صحت مدل می‌شود. کمتر مطالعه‌ای به بررسی دلایل این پدیده پرداخته است. هدف از پژوهش حاضر بررسی تأثیر بافت خاک بر میزان صحت مدل DSSAT برای پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده برنج در مقیاس ناحیه‌ای است. ابتدا مدل DSSAT با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای واسنجی و اعتبارسنجی شد و سپس برای پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده برنج ۱۱۰ شالیزار شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های موردنیاز از مزارع جمع‌آوری و وارد مدل شد. ارزیابی خروجی مدل نشان داد که خطای مطلق مربوط به مدل دامنه نسبتاً زیادی را (تا ۵۰٪) دارد. اما قسمت عمده این خطا در محدوده ۳۰٪ $\pm$  رخ می‌دهد. همچنین صحت مدل برای میانگین عملکرد منطقه، قابل قبول است، ولی برای محدوده عملکرد بیشینه یا کمینه، از صحت مدل کاسته می‌شود. نتایج نشان داد که صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده توسط مدل با مقدار شن خاک رابطه معکوس دارد. کمترین مقدار خطای مدل یا بالاترین صحت در گروه شن ۱۵-۰٪ و بیشترین خطا و کمترین صحت شبیه‌سازی در گروه شن بالای ۳۰٪ مشاهده شد.

واژه‌های کلیدی: خطای مدل، شن خاک، عملکرد شالیزار، مدل رشد گیاهی

## مقدمه

حساسیت بالای محصولات زراعی نسبت به تغییرات اقلیمی، آب و هوایی و مدیریتی‌های زراعی (کاسامکار و کولکارنی، ۲۰۱۹)، پایش مداوم آن را برای برآورد هرچه دقیق‌تر محصولات کشاورزی با هدف تسهیل سیاست‌گذاری در بخش امنیت غذایی ضروری می‌سازد (هوانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ ساتیر و بربروگلو، ۲۰۱۶). هزینه زیاد، زمان‌بر بودن و دشواری انجام روش‌های مستقیم برآورد تأثیر سناریوهای مختلف مدیریتی بر عملکرد گیاهان زراعی خصوصاً در مقیاس ناحیه‌ای سبب شده تا کاربرد مدل‌های رشد گیاهی فراگیر شود (خان و همکاران، ۲۰۱۹؛ دلقندی و همکاران، ۱۳۹۳). این مدل‌ها با توصیف و شبیه‌سازی فرایندهای بیولوژیکی و فیزیولوژیکی رشد و نمو گیاهان و برآورد عملکرد آن‌ها در محیط رایانه‌ای قادرند تا اطلاعات متنوعی را در خصوص اتخاذ بهترین رژیم آبیاری، میزان بهینه کود، تاریخ مناسب کشت، بهترین رقم و تعیین مقدار بذر در اختیار برنامه‌ریزان قرار دهند (دیلون و همکاران، ۲۰۲۳؛ کاسامکار و کولکارنی، ۲۰۱۹؛ اوواندو و همکاران، ۲۰۱۸؛ ون ایترسام و همکاران، ۲۰۰۳؛ جامیسون و همکاران، ۱۹۹۸؛ بومن و همکاران، ۱۹۹۶). نتیجه نهایی این شبیه‌سازی افزایش سطح امنیت غذایی در جهان است (رینولدز و همکاران، ۲۰۱۸). از دهه ۱۹۶۰ تاکنون مدل‌های رشد گیاهی زیادی مانند CropSyst (استوکل و همکاران، ۲۰۰۳)، DSSAT (جونز و همکاران، ۲۰۰۳)، APAIM (کیتینگ و همکاران، ۲۰۰۳)، AquaCrop (استدوتو و همکاران، ۲۰۰۹) و WOFOST (دی ویت و همکاران، ۲۰۱۹) توسعه داده شده است. مدل DSSAT یکی از معروف‌ترین و پرستفاده‌ترین مدل‌های رشد گیاهی است که برای بیش از ۲۰ گیاه زراعی مختلف به همراه برنامه‌های رایانه‌ای در یک بسته نرم‌افزاری ارائه شده است (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). نیاز به داده‌های ورودی کم، کاربرد دوست بودن، توانایی و صحت مناسب آن برای شبیه‌سازی رشد گیاه در طول فصل زراعی و پیش‌بینی قابل قبول عملکرد به خصوص در سطوح کوچک و

تحقیقاتی (امیری و همکاران، ۲۰۱۳)، باعث شده که این مدل مورد توجه زیادی قرار بگیرد (انگم و همکاران، ۲۰۱۴؛ سالمرون و همکاران، ۲۰۱۴، یانگ و همکاران، ۲۰۱۳). اما بررسی منابع نشان داد که صحت مدل در شرایط وجود تنش‌های محیطی مانند تنش آبی تا حدی کاهش می‌یابد (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۹؛ سالامون و فاین، ۲۰۰۹). وجود عوامل تنش‌زا هنگام عملیات مدل می‌تواند بر صحت شبیه‌سازی رشد تاج گیاهی، تعرق محصول، زیست‌توده و عملکرد تأثیرگذار باشد و به خطاهای شبیه‌سازی بالاتر منجر شود (جی و همکاران، ۲۰۲۳).

صحت مدل DSSAT در سطوح بزرگ نیز تا حد زیادی کاسته می‌شود. محققان به مواردی نظیر ناهمگونی شرایط خاک، عوامل آب و هوایی و اقلیمی، عوامل مدیریت زارعی، پارامترهای رقم محصول و عدم قطعیت داده‌های برداشت شده، به عنوان عوامل کاهش‌دهنده صحت مدل در سطوح بزرگ اشاره کرده‌اند (پالوسو و همکاران، ۲۰۱۱؛ فیوره و همکاران، ۲۰۰۹؛ دواتگر، ۱۳۸۹). صحت برآورد هر مدل از جمله مدل DSSAT وابستگی زیادی به داده‌های ورودی، مقادیر پارامترهای مدل، ساختار مدل و مفروضات در نظر گرفته شده در مدل دارد (رفسگارد و همکاران، ۲۰۰۶). در خصوص داده‌های ورودی، هر اندازه داده‌برداری انجام شده از دقت بالاتری برخوردار باشد، خطای برآورد مدل کمتر خواهد بود (اوجدا و همکاران، ۲۰۲۱). اما در بین عوامل تأثیرگذار بر صحت مدل پارامترهای مربوط به خاک نقش اساسی دارند (هی و همکاران، ۲۰۱۴؛ دیتوری و همکاران، ۲۰۱۱؛ تراپ و همکاران، ۲۰۰۷). از این‌رو حتی اگر شرایط عملیات زارعی، آب و هوایی و نوع رقم در سطوح منطقه‌ای یکسان باشد، عدم همگونی خاک باعث تغییرات صحت پیش‌بینی عملکرد می‌شود (فری و همکاران، ۲۰۱۷). دیتوری و همکاران (۲۰۱۱) این پدیده را به حاصلخیزی خاک نسبت دادند و گزارش کردند که صحت مدل با کاهش حاصلخیزی خاک کاهش می‌یابد. ولی و همکاران (۲۰۱۹)

هواشناسی از ایستگاه هواشناسی کشاورزی رشت با مختصات طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۲ دقیقه شمالی و ارتفاع ۲۴/۹ متر تهیه شد. نمونه آب و خاک مزرعه تحقیقاتی برداشت شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت (جدول‌های ۱ و ۲). ضرایب ژنتیکی رقم (در این پژوهش رقم هاشمی) برای واسنجی مدل با توجه به داده‌های اندازه‌گیری شده در موسسه تحقیقات برنج کشور طی چند سال اخیر و با استفاده از بخش GENCAL مدل به روش سعی و خطا محاسبه شد. در ادامه صحت مدل در سطح وسیع با استفاده از پارامترهای واسنجی شده در سطح مزرعه تحلیل شد و در پایان، با بررسی دلایل احتمالی ایجاد خطای برآورد، نقش بافت خاک و درصد شن در صحت مدل تحلیل و ارزیابی شد.

ظرفیت نگهداشت آب خاک و ارتباط آن با نیتروژن و بافت خاک را بر صحت مدل -DSSAT- مؤثر دانستند. از آنجا که تاکنون پژوهشی در خصوص تأثیر میزان شن خاک مزارع در سطح وسیع بر دقت پیش‌بینی مدل DSSAT انجام نشده است، از این رو هدف از پژوهش حاضر ارزیابی نقش درصد شن خاک بر نحوه پیش‌بینی عملکرد و زیست‌توده برنج توسط مدل DSSAT در مقیاس ناحیه‌ای بود.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش ابتدا مدل DSSAT با استفاده از داده‌های اخذ شده از مطالعات پیشین انجام شده در مؤسسه تحقیقات برنج کشور واقع در رشت (رضایی، ۱۳۸۲؛ رضایی، ۱۳۸۷) واسنجی و اعتبارسنجی شد. داده‌های

جدول ۱- نتایج تجزیه خاک مزرعه تحقیقاتی تا عمق زراعی

| درصد اشباع | EC   | pH  | درصد نیتروژن کل | فسفر قابل جذب | پتاسیم قابل جذب | بافت خاک |
|------------|------|-----|-----------------|---------------|-----------------|----------|
| ۷۵         | ۱/۱۲ | ۷/۴ | ۰/۱۸۹           | ۱۷/۸          | ۲۸۰             | Si-Cl    |

فسفر و پتاسیم قابل جذب بر حسب ppm و EC بر حسب  $\text{dS.m}^{-1}$  است.

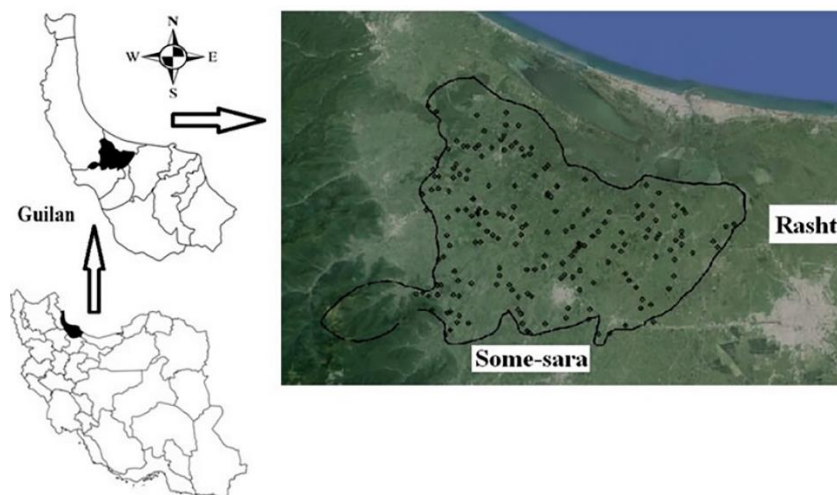
جدول ۲- نتایج تجزیه آب آبیاری در مزرعه تحقیقاتی

| EC   | TDS | pH  | کربنات | بی‌کربنات | کلر | سولفات | کلسیم | منیزیم | سدیم | SAR | کلاس آب |
|------|-----|-----|--------|-----------|-----|--------|-------|--------|------|-----|---------|
| ۰/۹۸ | ۵۹۸ | ۷/۳ | ۱/۲    | ۴/۶       | ۴/۴ | ۰/۴۲   | ۴/۲   | ۱/۸    | ۵/۴  | ۳/۱ | C3S1    |

آنیون‌ها و کاتیون‌ها بر حسب  $\text{TDS meq.l}^{-1}$  بر حسب ppm و EC بر حسب  $\text{dS.m}^{-1}$  هستند.

وارد شد (جدول ۳). ناحیه مورد مطالعه از نظر اقلیمی مشابه محل موسسه تحقیقات برنج است. لذا برای اجرای مدل از اطلاعات هواشناسی نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی (کشاورزی رشت) استفاده شد. اطلاعات مدیریت زراعی شامل روز خزان‌گیری، تعداد روز در خزان، تعداد نشاء در کپه، تعداد کپه در مترمربع، تاریخ‌های کاشت، نشاکاری، ۵۰ درصد گلدهی و رسیدگی، و میزان مصرف کود، از طریق بازدید میدانی و پرسشنامه از کشاورزان تهیه شد. در نهایت عملکرد شلتوک و زیست‌توده (مجموع کاه و شلتوک)، در این مزارع اندازه‌گیری و با خروجی مدل مقایسه شد.

برای ارزیابی عملکرد مدل در مقیاس ناحیه، تعداد ۱۱۰ مزرعه از مزارع شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان واقع در  $49^{\circ} 15'$  تا  $49^{\circ} 33'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $37^{\circ} 15'$  تا  $37^{\circ} 25'$  شمالی در سال ۱۳۸۵ انتخاب شدند (شکل ۱). در این شهرستان حدود ۲۶ هزار هکتار اراضی شالیزاری وجود دارد که عموماً برنج رقم محلی هاشمی در آن‌ها کشت می‌شود. مختصات هر مزرعه با دستگاه موقعیت‌یاب برداشت شد. اطلاعات خاکشناسی هر مزرعه با برداشت نمونه خاک از هر مزرعه و اطلاعات مصرف آب از شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان اخذ و به عنوان پارامتر در مدل



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان گیلان و مزارع نمونه‌برداری شده  
جدول ۳- ویژگی‌های خاک، آب و نیتروژن مصرفی در اراضی شالیزاری منطقه مورد مطالعه

|         | بافت خاک |      |      | آب مصرفی | نیتروژن مصرف‌شده |
|---------|----------|------|------|----------|------------------|
|         | رس       | شن   | سیلت |          |                  |
| میانگین | ۲۹/۷     | ۲۱/۳ | ۴۹/۱ | ۴۶۵      | ۳۳/۶             |
| بیشینه  | ۴۲/۶     | ۴۰/۸ | ۵۴/۳ | ۷۴۲      | ۱۲۷              |
| کمینه   | ۱۳/۶     | ۱۲/۴ | ۴۱/۹ | ۲۴۰      | ۴/۶              |
| Sd      | ۶/۷      | ۶/۲  | ۳/۱  | ۹۳/۷     | ۱۹               |

نیتروژن، آب مصرفی و مؤلفه‌های بافت خاک به ترتیب بر حسب  $\text{mm, kg, ha}^{-1}$  و درصد هستند.

### شاخص‌های آماری

(RMSE) و ریشه میانگین مربعات خطا نرمال شده (NRMSE) و نیز ضریب تعیین ( $R^2$ ) مقادیر اندازه‌گیری شده در برابر مقادیر شبیه‌سازی شده استفاده شد. این شاخص‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$RMSE = \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n)^{0.5} \quad (1)$$

$$NRMSE = 100 \left( \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n \right)^{0.5} / \bar{O} \quad (2)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (3)$$

برای ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد برنج، از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات خطا

این است که مدل به‌خوبی بر داده‌ها برازش شده و پیش‌بینی‌ها دارای صحت بالایی است. چنانچه NRMSE کمتر از ۱۰ باشد نشان‌دهنده حالت عالی شبیه‌سازی و بین ۲۰-۱۰ حالت خوب، بین ۳۰-۲۰ حالت متوسط و بالای ۳۰ حالت ضعیف شبیه‌سازی است. بازه تغییرات  $R^2$  نیز بین ۰ تا ۱ است. اگر مقدار  $R^2$  به یک نزدیک باشد، مدل داده‌ها را خوب برازش کرده است، در حالی که اگر

که در این روابط:  $P_i$  = مقدار شبیه‌سازی شده مدل،  $O_i$  = مقدار اندازه‌گیری شده واقعی،  $n$  = تعداد اندازه‌گیری واقعی،  $\bar{O}$  = میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده است. دامنه مقادیر حاصل از RMSE از صفر تا مثبت بی‌نهایت متغیر است و همچنین واحد اندازه‌گیری یکسانی با متغیر وابسته یا هدف دارد. پایین بودن مقدار RMSE نشان‌دهنده

۴) نشان داد که با توجه به شاخص‌های آماری، صحت مدل در شرایط مزرعه‌ای بسیار بالاست. دقت بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه و زیست‌توده در این آزمایش را می‌توان به یکنواخت بودن شرایط آزمایش‌های مربوط در موسسه تحقیقات برنج کشور نسبت داد.

همبستگی پایین (نزدیک به صفر) باشد، مدل برآزش خوبی از داده‌ها ارائه نداده است.

## یافته‌ها و بحث

نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده در سطح مزرعه‌ای (جدول

جدول ۴- ارزیابی نتایج واسنجی و اعتبارسنجی پارامترهای گیاهی مدل DSSAT

| NRMSE | RMSE | R <sup>2</sup> | P <sub>mean</sub> | O <sub>mean</sub> | تعداد نمونه |              |            |
|-------|------|----------------|-------------------|-------------------|-------------|--------------|------------|
| ۹     | ۲۹۳  | ۰/۷۵           | ۳۳۳۴              | ۳۴۱۷              | ۱۸          | عملکرد شلتوک | واسنجی     |
| ۵     | ۴۶۶  | ۰/۸۰           | ۸۳۴۵              | ۸۴۱۹              | ۱۸          | زیست‌توده    |            |
| ۸     | ۲۶۵  | ۰/۸۶           | ۳۴۹۷              | ۳۳۴۶              | ۹           | عملکرد شلتوک | اعتبارسنجی |
| ۹     | ۶۸۶  | ۰/۷۸           | ۷۴۱۰              | ۷۲۴۹              | ۹           | زیست‌توده    |            |

عملکرد شلتوک و زیست‌توده و RMSE بر حسب  $kg \cdot ha^{-1}$  و NRMSE بر حسب درصد است.  $P_{mean}$  و  $O_{mean}$  به ترتیب میانگین عملکرد و زیست‌توده اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده هستند.

بسیار کمتر از حد واقعی است. به طور کلی در محدوده عملکردی میانگین صحت برآورد مدل زیاد بوده و خروجی آن نزدیک و مشابه با واقعیت می‌باشد. برای محدوده عملکرد بیشتر از میانگین منطقه مقدار عملکرد برآوردی کمتر از مقادیر مشاهده شده (کم برآورد) است. برای محدوده عملکرد کمتر از میانگین عملکرد برآوردی مدل مقادیر بیشتر از مقدار واقعیت (بیش برآورد) را نشان می‌دهد. بدین معنی که مدل تمایل به میانگین دارد. ضعف مدل در شبیه‌سازی در مقادیر متفاوت کود خصوصاً نیتروژن باعث کاهش صحت آن می‌شود. این موضوع می‌تواند در مناطق با مدیریت متفاوت کاربرد کود به ویژه در سطوح بزرگ باعث ایجاد خطا در برآورد عملکرد شود (امیری و همکاران، ۲۰۱۴). در شرایط تنش کم آبی و عناصر غذایی، شاخص برداشت واقعی تغییر می‌کند و ضریب اختصاص انتقال یافته از برگ و ساقه به اندام زایشی توسط مدل به نحو مناسبی در نظر گرفته نمی‌شود و به دلیل عدم توانایی مدل در رفع این مشکل، خطا رخ می‌دهد (جونز و همکاران، ۲۰۰۳). به همین دلیل بیشترین خطای مدل در شرایط تنش‌های آبی و کودی اتفاق می‌افتد (امیری و همکاران، ۲۰۱۴).

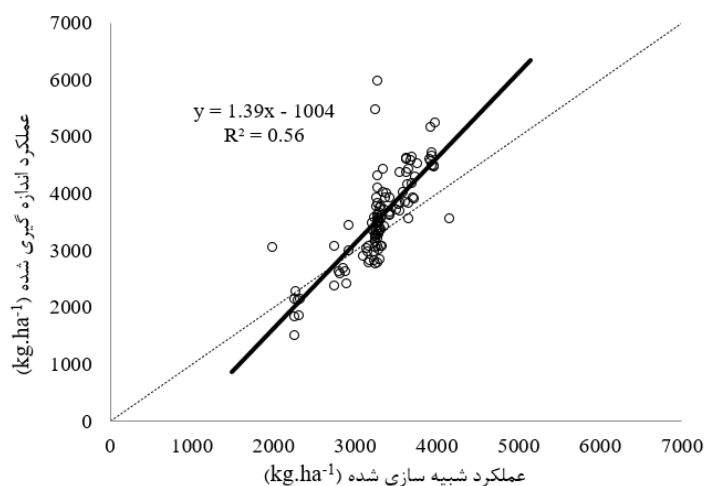
جدول ۵ و شکل ۲ نشان‌دهنده نتایج شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده در سطح صومعه‌سرا است که نشان داد شاخص‌های آماری بدست آمده بر کاهش صحت مدل در سطح وسیع دلالت دارد. به طوری که مقدار NRMSE شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده از ۸ و ۹ درصد در سطح مزرعه‌ای به ۲۱ و ۲۲/۷ درصد در مقیاس ناحیه رسیده است. میانگین عملکرد شلتوک و زیست‌توده مشاهده شده در ۱۱۰ مزرعه از اراضی برنجکاری در محدوده شهرستان صومعه‌سرای استان گیلان به ترتیب ۳۵۷۵ و ۸۴۱۸ کیلوگرم در هکتار، کمینه عملکرد شلتوک و زیست‌توده منطقه به ترتیب ۱۶۳۶ و ۳۸۹۵ کیلوگرم در هکتار و بیشینه عملکرد شلتوک و زیست‌توده به ترتیب ۱۳۱۹۵ و ۵۹۸۲ کیلوگرم در هکتار است که بیانگر تنوع در نوع خاک، آب و هوا و عوامل مدیریتی در منطقه مورد مطالعه است.

برآورد عملکرد شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT نشان می‌دهد قسمت عمده اراضی از عملکردی در محدوده ۴۰۰۰-۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برخوردارند. بر اساس جدول ۵ بیشینه عملکرد شلتوک و زیست‌توده برآورد شده به ترتیب ۴۱۵۲ و ۹۴۲۹ کیلوگرم در هکتار و

جدول ۵- ارزیابی نتایج شبیه‌سازی عملکرد شلتوک و زیست‌توده در سطح وسیع

|           | NRMSE | RMSE | R <sup>2</sup> | کمینه | بیشینه | میانگین | مشاهده |  |
|-----------|-------|------|----------------|-------|--------|---------|--------|--|
| عملکرد    | -     | -    | -              | ۱۶۳۶  | ۵۹۸۲   | ۳۵۷۵    | مشاهده |  |
|           | ۲۱    | ۷۴۰  | ۰/۵۶           | ۱۹۸۶  | ۴۱۵۲   | ۳۰۵۳    | مدل    |  |
| زیست‌توده | -     | -    | -              | ۳۸۹۵  | ۱۳۱۹۵  | ۸۴۱۸    | مشاهده |  |
|           | ۲۲/۷  | ۱۹۰۵ | ۰/۵۶           | ۵۱۶۹  | ۹۴۲۹   | ۷۷۸۵    | مدل    |  |

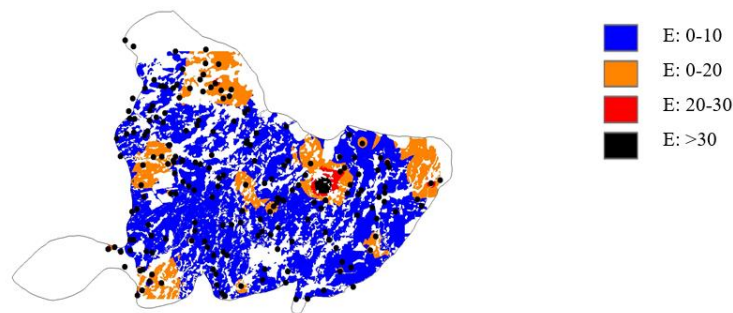
عملکرد شلتوک و زیست‌توده و RMSE بر حسب kg.ha<sup>-1</sup> و NRMSE بر حسب درصد است.



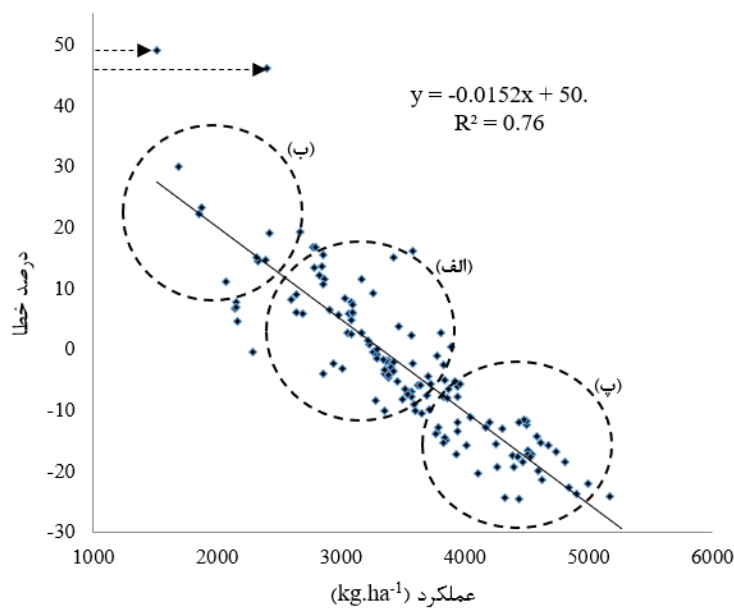
شکل ۲- مقدار عملکرد شلتوک شبیه‌سازی شده توسط مدل DSSAT

مدل مجدداً کاهش یافت.. بدین صورت که در محدوده‌های بزرگ‌تر مقدار خطا به سمت منفی‌تر شدن و یا به عبارت بهتر برآورد کمتر و در محدوده عملکردی بالاتر مقدار خطا به سمت مثبت یا برآورد بیشتر سوق می‌یابد که پیش‌تر اشاره شد. همواره پیش‌بینی در حالت شرایط عادی و بدون تنش با صحت بالاتری همراه است (ون گنوختن، ۱۹۸۰). اما در مقیاس ناحیه مدیریت زراعی متنوع و تغییرات مکانی عوامل مؤثر در عملکرد مانند بافت خاک، تراکم واقعی در واحد سطح، مقدار آب و عناصر غذایی قابل دسترس و داده‌های مناسب آب‌وهوایی بسیار زیاد است که می‌تواند باعث خطا در برآورد عملکرد شود.

نقشه پراکنش خطای مطلق برآورد مقدار عملکرد شلتوک توسط مدل DSSAT در سطح اراضی شالیزاری صومعه‌سرا (شکل ۳) نشان داد خطای مطلق برآورد در ۷۵ درصد از اراضی کمتر از ۱۰ درصد و در ۲۱ درصد از اراضی در محدود ۲۰ تا ۱۰ درصد قرار دارد و در تنها حدود ۴ درصد اراضی خطای مطلق برآورد بالاتر از حد ۲۰ درصد بوده که بیانگر صحت نسبتاً قابل قبول برآورد عملکرد توسط مدل است. همچنین بر اساس شکل ۴ خطای مطلق دامنه نسبتاً زیادی را در بر گرفت (قسمت عمده خطا در بازه ۳۰٪±) و مقدار خطا در برخی نقاط به ۵۰ درصد رسید. بر اساس این شکل با افزایش عملکرد مقدار خطا کمتر شد و در محدوده عملکردی ۳۰۰۰-۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار مقدار خطا بسیار کم بود و با فاصله گرفتن از این محدوده دقت



شکل ۳- نقشه درصد خطای مطلق مدل برای پیش‌بینی عملکرد شلتوک (نقاط مشخص شده، محل نمونه‌برداری عملکرد است)

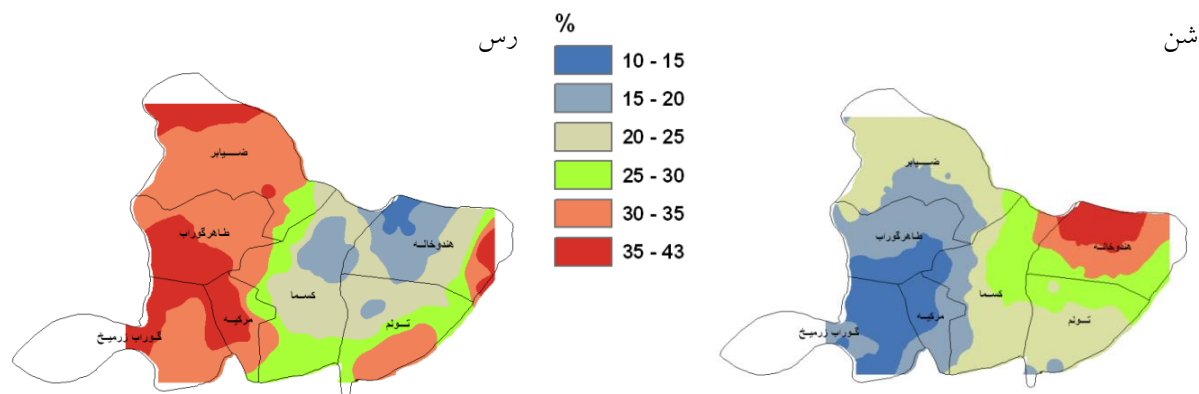


شکل ۴- رابطه درصد خطا با مقدار (الف) میانگین، (ب) بیشینه، (پ) کمینه عملکرد مشاهداتی

به درصد شن افزوده می‌شود. به همین منظور سعی شد بین درصد شن خاک و مقدار عملکرد در کل نقاط و همچنین بین درصد مطلق خطا و درصد شن، رس و سیلت خاک ارتباطی برقرار گردد. ولی هیچ ارتباطی بین این صفات مشاهده نشد. به منظور بررسی دقیق‌تر دلایل و روند خطای برآورد عملکرد شلتوک و زیست‌توده، مزارع مورد بررسی بر اساس درصد شن خاک به ۵ دسته، گروه‌بندی شد.

برخی از منابع تغییر در بافت خاک (تراپ و همکاران، ۲۰۰۷)، به‌ویژه درصد شن را عامل مؤثر در مقدار خطای برآورد عملکرد عنوان نمودند (دیتوری و همکاران، ۲۰۱۱). شکل ۵ نشان‌دهنده درصد شن و رس در خاک‌های ۱۱۰ مزرعه کشاورزان محلی منطقه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود درصد شن در اراضی شالیزاری جنوب غربی استان حداقل مقدار را داراست. ولی در سمت شرق



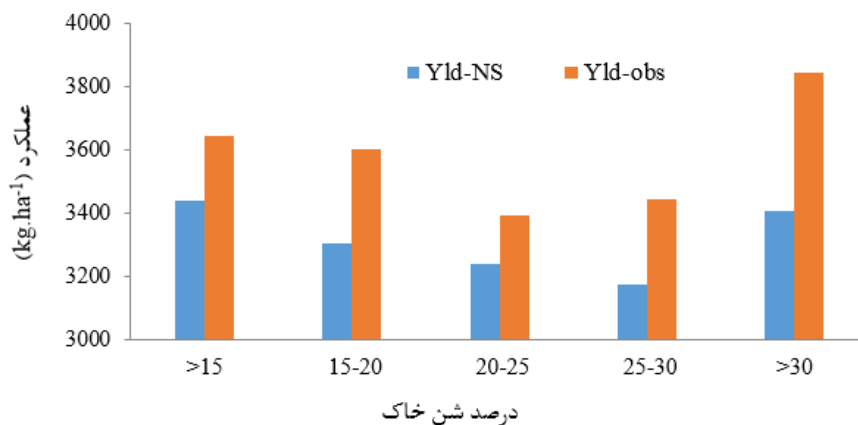


شکل ۵- درصد شن و رس در خاک‌های منطقه

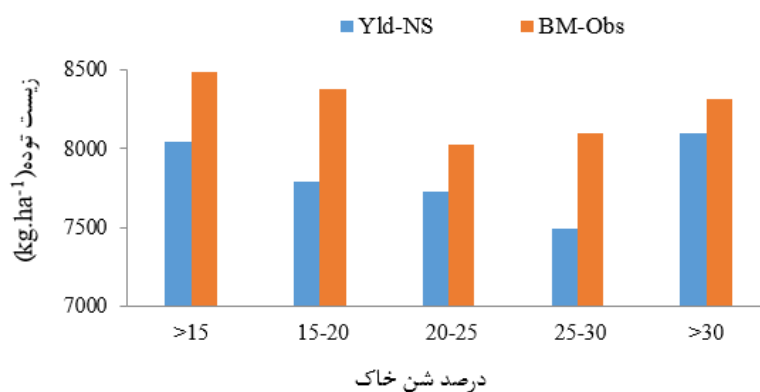
برنج در تیمار شاهد بدون مصرف زئولیت طی سال انجام طرح پژوهشی در خاک شنی (مقدار شن بیش از ۳۰٪) بیشتر از عملکرد در خاک با بافت رسی (مقدار شن کمتر از ۱۵٪) بود.

بررسی مقدار  $RMSE$  و  $NRMSE$  در گروه‌های شن (شکل‌های ۸ تا ۱۶) نیز بیانگر کاهش صحت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده مدل به ازای افزایش مقدار شن بود. کمترین مقدار خطا یا به عبارت دیگر بالاترین صحت در گروه شن ۱۵-۰ درصد و بالاترین خطا و کمترین دقت شبیه‌سازی در گروه درصد شن بالای ۳۰ درصد مشاهده شد. این مدل برای شرایط همگن خاک طراحی شده است (تراپ و همکاران، ۲۰۰۷). عدم دسترسی به مقدار رطوبت خاک در این مدل و حساسیت زیاد به مقدار نیتروژن باعث می‌شود شبیه‌سازی انجام یافته توسط این مدل در یک نقطه کوچک و مشخص نتایج خوبی دارد، ولی برای شبیه‌سازی در شرایط زمانی و مکانی متفاوت صحت برآورد کاهش می‌یابد. دیتوری و همکاران (۲۰۱۱) نیز با واسنجی و اعتبارسنجی مدل  $DSSAT$  با استفاده از داده‌های بلندمدت برای سه رقم گندم در چند نقطه ایتالیا گزارش کردند عملکرد برآورد شده توسط این مدل کمی بیشتر از عملکرد مشاهداتی می‌باشد. ولی همواره بدترین نتایج در خاک با درصد شن بالا مشاهده شد.

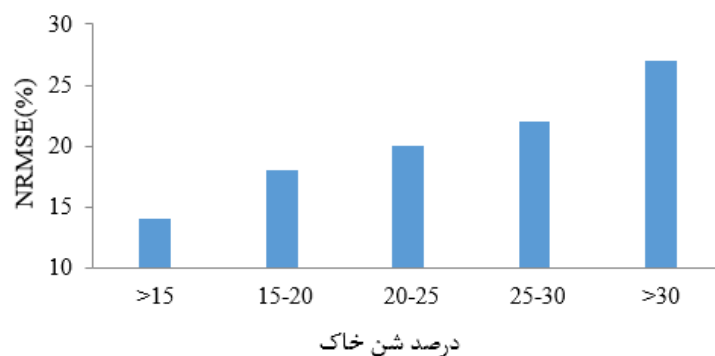
مشخصات عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در گروه‌های درصد شن خاک در شکل ۶ نشان داده شد. همانطور که مشاهده می‌گردد در گروه مقدار شن ۱۵-۱۰ درصد خاک مقدار عملکرد حدود ۳۶۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. با افزایش مقدار شن خاک عملکرد مشاهداتی کم شد تا اینکه در گروه ۲۵-۲۰ درصد به کمترین مقدار یعنی ۳۳۹۲ کیلوگرم در هکتار رسید و بعد از این مقدار، با افزایش درصد شن مقدار عملکرد افزایش یافت و به ۳۸۲۴ کیلوگرم در هکتار رسید. روند دوگانه و تغییر رفتار گیاه با تغییر درصد شن خاک بعد از حد ۳۰ درصد نیاز به بررسی بیشتر متخصصین فیزیولوژی گیاهی و خاک‌شناسی دارد. عدم مشاهده ارتباط بین درصد شن با عملکرد مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در بخش‌های قبلی را می‌توان به این رفتار دوگانه اثر بافت خاک بر عملکرد برنج مشاهده شده و شبیه‌سازی شده نسبت داد. تأثیر بافت خاک را بر مقادیر برآورد زیست‌توده در شکل ۷ نشان داد که مانند تغییرات عملکرد به ازای افزایش درصد شن در خاک تا گروه ۳۰-۲۵ درصد مقدار زیست‌توده کاهش یافته و بعد از این حد افزایش مقدار زیست‌توده نیز مشاهده شد. این پدیده مورد توجه دیگر محققان نیز قرار گرفته است. رضایی (۱۳۹۱) در یک مطالعه گلدانی با بررسی اثر افزودن زئولیت در دو بافت خاک بر مصرف آب برنج گزارش کرد که عملکرد



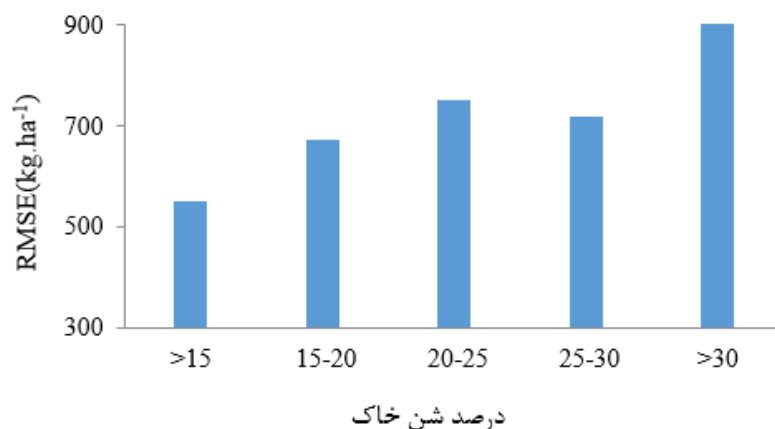
شکل ۶- مقدار عملکرد (کیلوگرم در هکتار) در کلاس‌های مختلف درصد شن بافت خاک  
NS: شبیه‌سازی شده، Obs: مشاهده شده



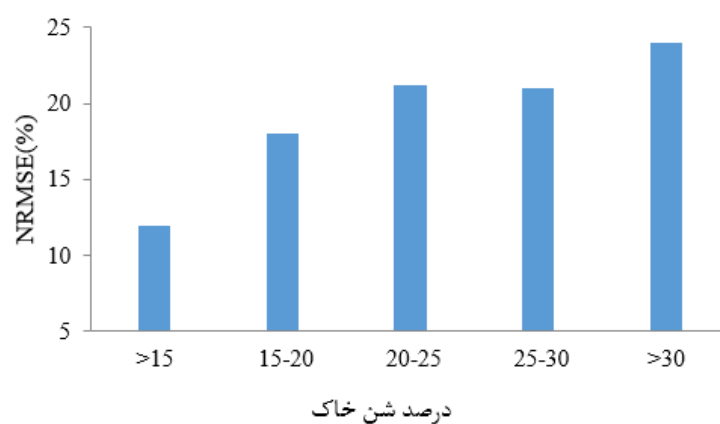
شکل ۷- مقدار زیست‌توده (کیلوگرم در هکتار) در کلاس‌های مختلف درصد شن بافت خاک  
NS: شبیه‌سازی شده، Obs: مشاهده شده



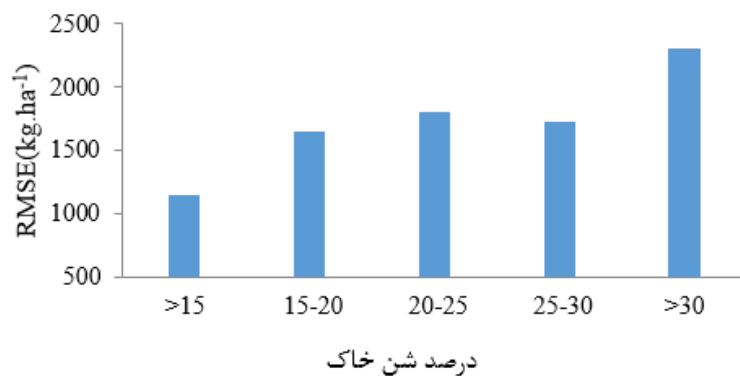
شکل ۸- تغییر در شاخص NRMSE در برآورد عملکرد در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



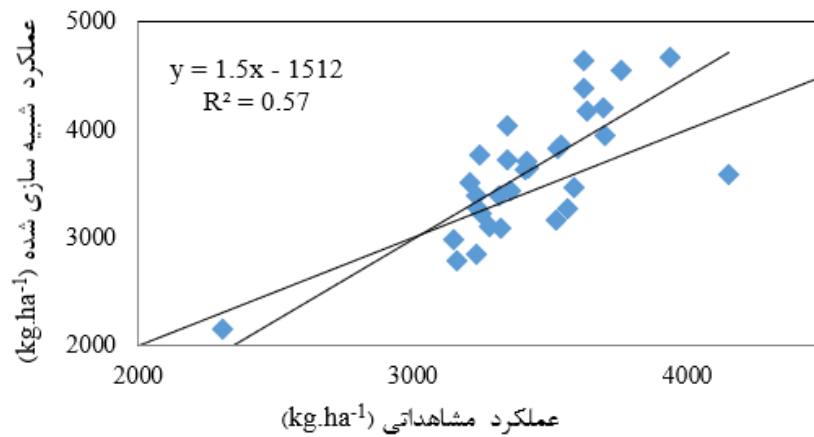
شکل ۹- تغییر در شاخص RMSE در برآورد عملکرد در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



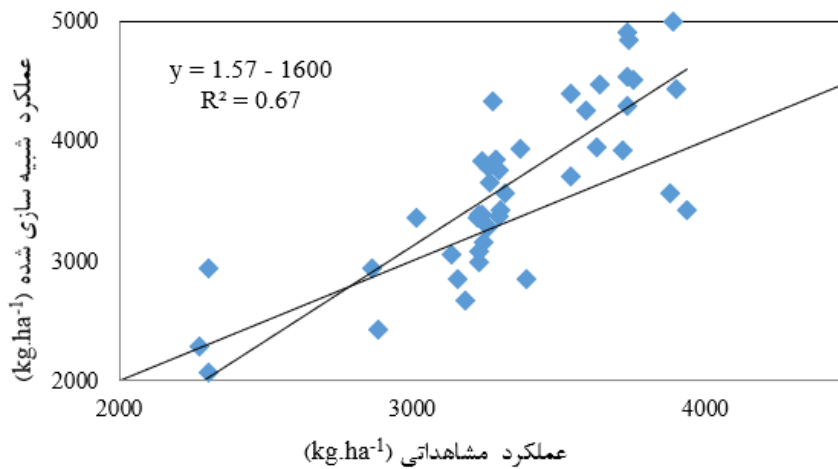
شکل ۱۰- تغییر در شاخص NRMSE در برآورد زیست‌توده در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



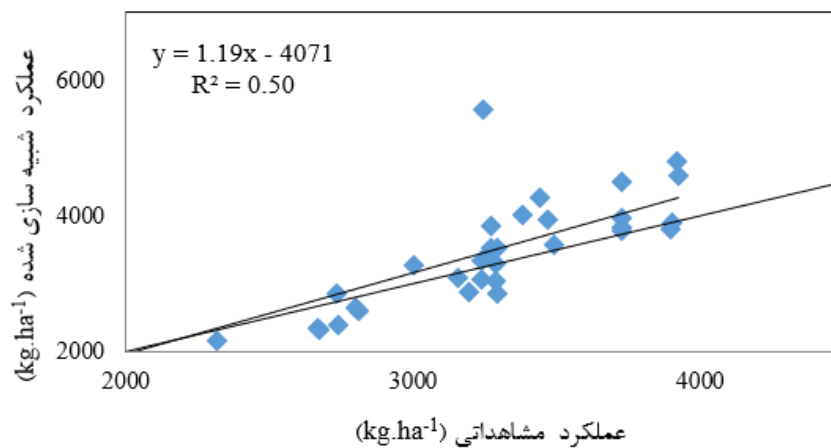
شکل ۱۱- تغییر در شاخص RMSE در برآورد زیست‌توده در گروه‌های مختلف درصد شن بافت خاک



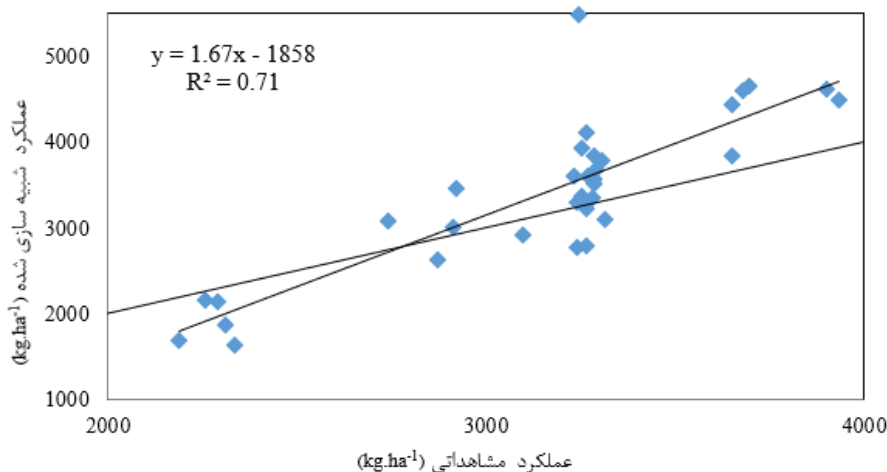
شکل ۱۲- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گروه شن ۰-۱۵ درصد



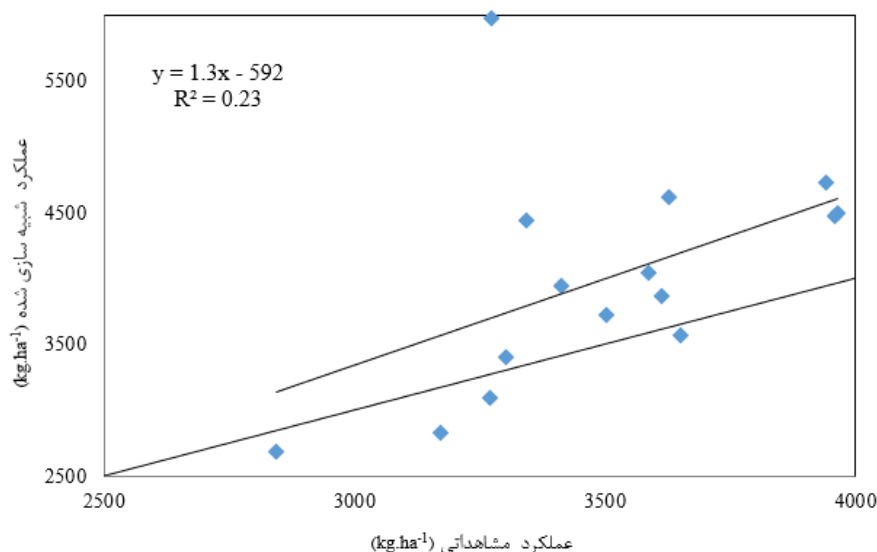
شکل ۱۳- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گروه درصد شن ۱۵-۲۰



شکل ۱۴- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در گروه درصد شن ۲۰-۲۵



شکل ۱۵- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه درصد شن ۲۵-۳۰



شکل ۱۶- مقایسه عملکرد شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در گروه درصد شن ۳۰-۴۰

آن‌هاست. به گونه‌ای که به ازای افزایش مقدار شن در خاک، دقت شبیه‌سازی عملکرد و زیست‌توده توسط مدل کاهش می‌یابد. کمترین مقدار خطا یا به عبارت دیگر بالاترین صحت مدل در گروه شن ۱۵-۲۰ درصد و بالاترین خطا و کمترین صحت مدل در گروه درصد شن بالای ۳۰ درصد مشاهده شد. نتایج این پژوهش نشان داد صحت مدل بیشتر تحت تأثیر تغییرات عوامل مؤثر ورودی می‌باشد و در صورت وجود این تغییرات، کوچک یا بزرگ بودن سطح یا مقیاس مطالعه نقشی در کاهش خطا یا افزایش صحت ندارد.

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش صحت مدل DSSAT پس از واسنجی و اعتبارسنجی در سطح کوچک (مقیاس مزرعه)، با استفاده از اطلاعات ۱۱۰ شالیزار برنج در شهرستان صومعه‌سرا (مقیاس ناحیه) بررسی شد. نتایج نشان داد که مدل از توانایی بالایی در برآورد عملکرد و زیست‌توده برنج در سطح کوچک برخوردار است، اما در سطح وسیع (مقیاس ناحیه) از میزان صحت آن به خصوص در مقادیر کمینه و بیشینه کاسته می‌شود. این کاهش صحت به عوامل مختلفی بستگی دارد که بافت خاک و درصد شن یکی از

۱. دلفندی، م.، اندرزیان، ب.، برومندنسب، س.، مساح بوانی، ع. و جواهری، ا. ۱۳۹۳. ارزیابی مدل CERES-Wheat نسخه DSSAT 4.5 در شبیه‌سازی رشد، عملکرد مراحل فنولوژی گندم در شرایط مدیریت‌های مختلف تخصیص آب در مزرعه: مطالعه موردی: شهرستان اهواز. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸ (۱): ۸۲-۹۱.
۲. دواتگر، ن. ۱۳۸۹. پیش‌بینی عملکرد گیاه برنج در شرایط محدودیت آب با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاه در مقیاس ناحیه‌ای. پایان‌نامه دکتری خاکشناسی دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز.
۳. رضایی، م. ۱۳۸۷. گزارش نهایی طرح بررسی اثر آبیاری تناوبی و مقادیر مختلف کود نیتروژن بر عملکرد برنج رقم محلی هاشمی. انتشارات موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.
۴. رضایی، م. ۱۳۹۱. بررسی برهمکنش سطوح مختلف زئولیت و آبیاری تناوبی بر عملکرد و اجزای عملکرد برنج. گزارش نهایی پروژه تحقیقاتی. موسسه تحقیقات برنج کشور، رشت.
۵. رضایی، م. و نحوی، م. ۱۳۸۲. اثر دور آبیاری بر مقدار مصرف آب و عملکرد برنج در گیلان. مجموعه مقالات یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران. ۸۳، ۲۳۳-۲۴۰.
6. Amiri, E., Rezaei, M., Bannayan, M. and Soufizadeh, S. 2013. Calibration and evaluation of CERES rice model under different nitrogen-and water-management options in semi-mediterranean climate condition. *Communications in soil science and plant analysis*, 44(12): 1814-1830.
7. Amiri, E., Rezaei, M., Rezaei, E.E. and Bannayan, M. 2014. Evaluation of Ceres-Rice, Aquacrop and Oryza2000 models in simulation of rice yield response to different irrigation and nitrogen management strategies. *Journal of Plant Nutrition*, 37(11): 1749-1769.
8. Bouman, B.A.M., Van Keulen, H., Van Laar, H.H. and Rabbinge, R. 1996. The 'School of de Wit' crop growth simulation models: a pedigree and historical overview. *Agricultural systems*, 52(2-3): 171-198.
9. De Wit, A., Boogaard, H., Fumagalli, D., Janssen, S., Knapen, R., van Kraalingen, D., Supit, I., van der Wijngaart, R. and van Diepen, K. 2019. 25 years of the WOFOST cropping systems model. *Agricultural systems*, 168: 154-167.
10. Dettori, M., Cesaraccio, C., Motroni, A., Spano, D. and Duce, P. 2011. Using CERES-Wheat to simulate durum wheat production and phenology in Southern Sardinia, Italy. *Field crops research*, 120 (1): 179-188.
11. Dhillon, M.S., Dahms, T., Kuebert-Flock, C., Rummeler, T., Arnault, J., Steffan-Dewenter, I. and Ullmann, T. 2023. Integrating random forest and crop modeling improves the crop yield prediction of winter wheat and oil seed rape. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 1010978.
12. Faivre, R., Leenhardt, D., Voltz, M., Benoit, M., Papy, F., Dedieu, G. and Wallach, D. 2009. Spatializing crop models. In: Lichtfouse, E., et al. (Eds.), *Sustainable Agriculture*. Springer, Berlin, Germany, 686-705.
13. Fry, J., Guber, A.K., Ladoni, M., Munoz, J.D. and Kravchenko, A.N. 2017. The effect of up-scaling soil properties and model parameters on predictive accuracy of DSSAT crop simulation model under variable weather conditions. *Geoderma*, 287: 105-115.
14. Ge, J., Yu, Z., Gong, X., Ping, Y., Luo, J. and Li, Y. 2023. Evaluation of Irrigation Modes for Greenhouse Drip Irrigation Tomatoes Based on AquaCrop and DSSAT Models. *Plants*, 12(22): 3863.

15. He, Y., Hou, L., Wang, H., Hu, K. and McConkey, B. 2014. A modelling approach to evaluate the long-term effect of soil texture on spring wheat productivity under a rain-fed condition. *Scientific reports*, 4(1): 5736.
16. Huang, J., Sedano, F., Huang, Y., Ma, H., Li, X., Liang, S., Tian, L., Zhang, X., Fan, J. and Wu, W. 2016. Assimilating a synthetic Kalman filter leaf area index series into the WOFOST model to improve regional winter wheat yield estimation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 216: 188-202.
17. Jamieson, P.D., Porter, J.R., Goudriaan, J., Ritchie, J.V., Van Keulen, H. and Stol, W. 1998. A comparison of the models AFRCWHEAT2, CERES-Wheat, Sirius, SUCROS2 and SWHEAT with measurements from wheat grown under drought. *Field Crops Research*, 55(1-2): 23-44.
18. Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh, U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T. 2003. The DSSAT cropping system model. *European journal of agronomy*, 18(3-4): 235-265.
19. Keating, B.A., Carberry, P.S., Hammer, G.L., Probert, M.E., Robertson, M.J., Holzworth, D., Huth, N.I., Hargreaves, J.N., Meinke, H., Hochman, Z. and McLean, G. 2003. An overview of APSIM, a model designed for farming systems simulation. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 267-288.
20. Khan, A., Stöckle, C.O., Nelson, R.L., Peters, T., Adam, J.C., Lamb, B., Chi, J. and Waldo, S. 2019. Estimating biomass and yield using metric evapotranspiration and simple growth algorithms. *Agronomy journal*, 111(2), 536-544.
21. Kosamkar, P.K. and Kulkarni, D.V. 2019. Agriculture crop simulation models using computational intelligence. *International Journal of Computer Engineering and Technology*, 10(3).
22. Negm, L.M., Youssef, M.A., Skaggs, R.W., Chescheir, G.M. and Kladvko, E.J. 2014. DRAINMOD-DSSAT simulation of the hydrology, nitrogen dynamics, and plant growth of a drained corn field in Indiana. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 140(8), 04014026.
23. Ojeda, J.J., Rezaei, E.E., Remenyi, T.A., Webber, H.A., Siebert, S., Meinke, H., Webb, M.A., Kamali, B., Harris, R.M., Kidd, D.B. and Mohammed, C.L. 2021. Implications of data aggregation method on crop model outputs–The case of irrigated potato systems in Tasmania, Australia. *European Journal of Agronomy*, 126, 126276.
24. Ovando, G., Sayago, S. and Bocco, M. 2018. Evaluating accuracy of DSSAT model for soybean yield estimation using satellite weather data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 138, 208-217.
25. Palosuo, T., Kersebaum, K.C., Angulo, C., Hlavinka, P., Moriondo, M., Olesen, J.E., Patil, R.H., Ruget, F., Rumbaur, C. and Taka C, J. 2011. Simulation of winter wheat yield and its variability in different climates of Europe: a comparison of eight crop growth models. *European Journal of Agronomy*. 35, 103–114.
26. Refsgaard, J. C., Van der Sluijs, J. P., Brown, J. and Van der Keur, P. 2006. A framework for dealing with uncertainty due to model structure error. *Advances in water resources*, 29(11), 1586-1597.
27. Reynolds, M., Kropff, M., Crossa, J., Koo, J., Kruseman, G., Molero Milan, A., Rutkoski, J., Schulthess, U., Sonder, K., Tonnang, H. and Vadez, V. 2018. Role of modelling in international crop research: overview and some case studies. *Agronomy*, 8(12), 291.
28. Salamon, P., and Feyen, L. 2009. Assessing parameter, precipitation, and predictive uncertainty in a distributed hydrological model using sequential data assimilation with the particle filter. *Journal of Hydrology*, 376 (3-4), 428-442.

29. Salmerón, M., Cavero, J., Isla, R., Porter, C.H., Jones, J.W. and Boote, K.J. 2014. DSSAT nitrogen cycle simulation of cover crop–maize rotations under irrigated Mediterranean conditions. *Agronomy Journal*, 106(4), 1283-1296.
30. Satir, O. and Berberoglu, S. 2016. Crop yield prediction under soil salinity using satellite derived vegetation indices. *Field Crop Research*, 192, 134–143.
31. Steduto, P., Hsiao, T.C., Raes, D. and Fereres, E. 2009. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. *Agronomy Journal*, 101(3), 426-437.
32. Stöckle, C.O., Donatelli, M. and Nelson, R. 2003. CropSyst, a cropping systems simulation model. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 289-307.
33. Thorp, K.R., Batchelor, W.D., Paz, J.O., Kaleita, A.L. and DeJonge, K.C. 2007. Using cross-validation to evaluate CERES-Maize yield simulations within a decision support system for precision agriculture. *Transactions of the ASABE*, 50(4), 1467-1479.
34. Van Genuchten, M.T. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil science society of America journal*, 44 (5), 892-898.
35. Van Ittersum, M. K., Leffelaar, P. A., Van Keulen, H., Kropff, M. J., Bastiaans, L., & Goudriaan, J. 2003. On approaches and applications of the Wageningen crop models. *European journal of agronomy*, 18(3-4), 201-234.
36. Woli, P., Rouquette Jr, F. M., & Long, C. R. 2019. Investigating DSSAT: Bermudagrass response to nitrogen as influenced by soil and climate. *Agronomy Journal*, 111(4), 1741-1751.
37. Yang, J.M., Yang, J.Y., Dou, S., Yang, X.M., Hoogenboom, G. 2013. Simulating the effect of long-term fertilization on maize yield and soil C/N dynamics in northeastern China using DSSAT and CENTURY-based soil model. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 95, 287–303.
38. Zhang, Q., Shi, L., Holzman, M., Ye, M., Wang, Y., Carmona, F. and Zha, Y. 2019. A dynamic data-driven method for dealing with model structural error in soil moisture data assimilation. *Advances in Water Resources*, 132, 103407.