تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد پنجم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۴۰۲، ص ۱۹۶-۱۸۵

مقاله پژوهشی

کارایی مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در مدیریت‌های مختلف مصرف کود شیمیایی و آلی

محمدرضا امداد[1]*، آرش تافته[1]، فرهاد مشیری[1]، سیدعلی غفاری نژاد[1]

۱- مؤسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

* مسئول مکاتبه: emdadmr591@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱ /۰۳/۰۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.333132.1207**

چکیده

مدل‌های گیاهی ابزار مناسبی برای بررسی تغییرات مدیریت آبیاری و حاصلخیزی و تأثیر آن بر عملکرد گیاهان می‌باشند. هدف از این پژوهش، بررسی کارایی مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد گندم در شرایط مدیریت‌های مختلف مصرف کود شیمیایی و آلی در کرج می‌باشد. ۴ تیمار مصرف کود شامل شاهد بدون مصرف کود (T_0)، کاربرد کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بر اساس آزمون خاک (T_1)، کاربرد ۲۰ تن در هکتار کمپوست پسماند به همراه مصرف کود شیمیایی نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ بر اساس آزمون خاک (T_2) و کاربرد ۲۰ تن کود کمپوست پسماند (T_3) بودند. نتایج نشان داد مقدار عملکرد دانه گندم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در تیمار شاهد (بدون مصرف کود NPK) به ترتیب ۲/۳ و ۲ تن در هکتار و نیز مقادیر متناظر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در کاربرد کود شیمیایی (مصرف کود NPK بر اساس آزمون خاک) به ترتیب ۳/۹ و ۴/۲ تن در هکتار حاصل گردید. در شرایط کاربرد کمپوست به مقدار ۲۰ تن در هکتار متوسط دانه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به ترتیب حدود ۳/۱ و ۲/۹ تن در هکتار به دست آمد. زمان گل‌دهی و رسیدن دانه گندم اندازه‌گیری شده به ترتیب ۱۹۲ و ۲۲۷ روز پس از کاشت بوده که با مقادیر شبیه‌سازی‌شده آن‌که به ترتیب برابر ۱۹۰ و ۲۳۰ روز می‌باشند هم‌خوانی دارد. RMSE، NRMSE، EF و d مدل DSSAT برای عملکرد دانه به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۱۳، ۰/۵۷ و ۰/۹۳ بود که حاکی از کارایی بالا و مناسب مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در شرایط مختلف مدیریت حاصلخیزی ازنظر مصرف کود شیمیایی و آلی بوده است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی، تبخیرتعرق، کرج، مدیریت حاصلخیزی

مقدمه

رشد گیاهان زراعی فرایند پیچیده‌ای است و عوامل متعددی را در برمی‌گیرد. با توجه به اینکه اعمال سناریوهای مختلف حاصلخیزی و آبیاری در شرایط میدانی زمان‌بر و پرهزینه است، بنابراین کاربرد مدل‌های گیاهی راهکاری مناسب در راستای شبیه‌سازی و برآورد محصول در شرایط مختلف می‌باشد. مدل‌های گیاهی ابزار مناسبی برای بررسی تغییرات سناریوهای مدیریت آب‌وخاک و تأثیر آن بر عملکرد گیاهان هستند. مدل‌های رشد و نمو گیاهان زراعی از ابزارهای مهم و کارا در مطالعه و بررسی تأثیر شرایط و سناریوهای متفاوت مدیریتی بر روابط آب، خاک و گیاه بوده و از آن‌ها می‌توان به‌منظور تصمیم‌سازی و یا ارائه سناریوهای مدیریتی متناسب با شرایط منطقه و نیز برآورد عملکرد گیاهان در شرایط مختلف استفاده کرد (Ghasemi *et al.*, 2019).

ازجمله این مدل‌ها می‌توان به مدل WOFOST، SALTMED، DSSAT و AQUACROP اشاره کرد که هرکدام در راستای اهدافی خاص بکار رفته و دارای مزایا و معایبی می‌باشند. چنانچه بتوان پیشاپیش با توجه به شرایط حاکم بر منطقه و با اطلاعات موجود، وضعیت عملکرد گیاه را در شرایط مختلف مدیریتی شبیه‌سازی کرد، به دنبال آن می‌توان با صرف وقت و هزینه کمتر به نتایج مطلوب و قابل قبولی دست یافت (Zheng *et al.*, 2017). مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان غالباً به‌منظور انتخاب سناریوهای مدیریتی مناسب ازجمله انتخاب گیاه و رقم، مدیریت آب‌وخاک، تأثیر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد محصول و شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل گیاهان بکار می‌روند (Liu *et al.*, 2011a; Bao *et al.*, 2017). نتایج حاصل از مدل‌های شبیه‌سازی وابسته به‌دقت داده‌های موردنیاز مدل بوده و در صورت اندازه‌گیری و تعیین دقیق داده‌های ورودی، مدل قابلیت کاربرد را در شرایط مختلف پس از واسنجی و اعتبارسنجی خواهد داشت (Cammarano *et al.*, 2012).

سادگی، نیاز به اطلاعات ورودی کم و دقت قابل‌قبول مبنای انتخاب مدل‌هاست (Abedinpour, 2021).

محققین مدل DSSAT را برای شبیه‌سازی رشد و عملکرد گل‌رنگ در مناطق نیمه‌خشک بکار برده و گزارش نمودند که این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی زمان گل‌دهی و برداشت با خطای نسبی حدود ۰/۰۷ دارد. متوسط عملکرد دانه گل‌رنگ شبیه‌سازی‌شده و اندازه‌گیری شده به ترتیب ۱۹۶۳ و ۱۹۰۲ کیلوگرم در هکتار ارائه گردید (خطای نسبی حدود ۰/۱۲) که بیانگر شبیه‌سازی مناسب این مدل در پیش‌بینی مراحل فنولوژی و عملکرد دانه گل‌رنگ است. شاخص ریشه میانگین مربعات خطای نسبی برای صفات تعداد روز از کاشت تا گل‌دهی، تعداد روز از کاشت تا رسیدن، شاخص برداشت و عملکرد گل‌رنگ به ترتیب ۰/۰۷، ۰/۰۶، ۰/۲۵ و ۰/۱۲ بود که حاکی از کارایی بالای مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد و مراحل فنولوژی گل‌رنگ است (Singh *et al*., 2016).

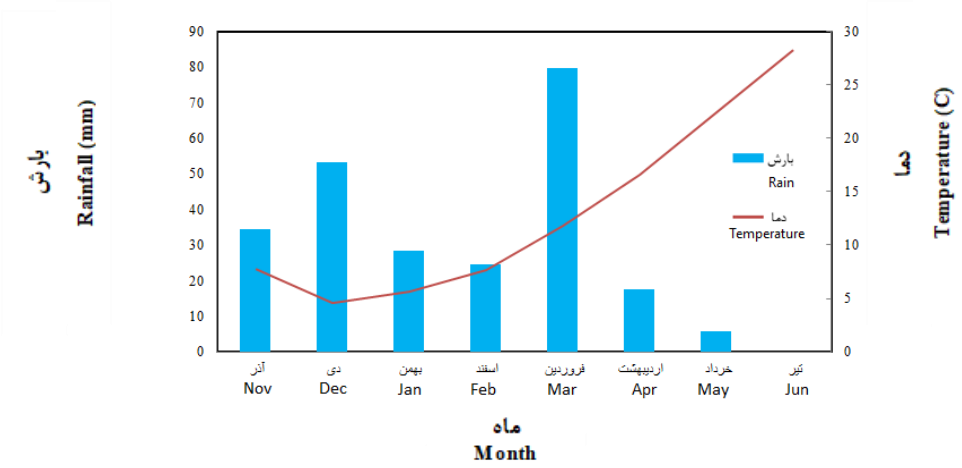
هم‌چنین مدل DSSAT برای شبیه‌سازی عملکرد علوفه براکیاریا بررسی و نسبت عملکرد مقادیر شبیه‌سازی‌شده به‌اندازه‌گیری شده حدود ۱/۰۳ (با شاخص ریشه میانگین مربعات خطای حدود ۵۳۸ کیلوگرم ماده خشک بر هکتار) به‌دست آمد که بیانگر قرابت و نزدیکی مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل با مقادیر اندازه‌گیری است (Pedreira *et al*., 2011). مدل DSSAT که بر اساس سامانه‌های گیاهی توسعه‌یافته است از تولنایی‌های بالایی درزمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی انتشار گازهای گلخانه‌ای، تغییرات کربن خاک، موارد زیست‌محیطی، امنیت غذایی، تولید علوفه برای دام، تغییرات اقلیمی و سازگاری با آن برخوردار می‌باشد (Holzworth *et al*., 2015).

پیشرفت‌های قابل‌توجهی در استفاده از مدل‌ها برای ارائه سناریوهای مدیریتی متفاوت و نیز تأثیر آن‌ها بر تغییر اقلیم و تولیدات گیاهی انجام پذیرفته است (Shelia *et al*., 2019). مطالعات متعدد انجام‌شده بر مدل DSSAT غالباً نشانگر دقت بالای این مدل در خاک و اقلیم‌های متفاوت می‌باشد (McNider *et al*., 2015). در ارزیابی مدل DSSAT بر محصول پنبه گزارش شد که این مدل دقت مناسبی در شبیه‌سازی عملکرد پنبه، زمان گل‌دهی و رسیدن دارد. متوسط مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده عملکرد پنبه به ترتیب ۱۲۳۲ و ۱۲۴۸ کیلوگرم در هکتار گزارش شد (خطای زیر ۵ درصد). هم‌چنین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده برای زمان گل‌دهی، به ترتیب ۷۸ و ۸۰ روز پس از کاشت و نیز مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده برای زمان رسیدن به ترتیب ۱۷۲ و ۱۷۵ روز پس از کاشت حاصل گردید (Cammarano *et al*., 2012). در ارزیابی مدل DSSAT برای گیاه نیشکر در خوزستان کارایی این مدل برای وزن خشک هوایی و وزن خشک ساقه نیشکر به ترتیب حدود ۰/۷۲ و ۰/۷ گزارش گردید (Ghasemi *et al*., 2019). در تحقیقی کارایی مدل DSSAT در شرایط مدیریت‌های مختلف آبیاری بر عملکرد برنج در سه سال بررسی و نتایج نشان داد که مدل DSSAT از قابلیت بالایی در شبیه‌سازی عملکرد برنج برخوردار بوده و مقادیر شبیه‌سازی شده هم‌خوانی بالایی با مقادیر اندازه‌گیری‌شده دارند. ریشه میانگین مربعات خطا برای دانه و بیوماس برنج به ترتیب ۸ و ۱۰ درصد گزارش گردید (Amiri *et al*., 2014). هم‌چنین در استفاده از مدل DSSAT برای شبیه‌سازی عملکرد پنبه گزارش شد که در شرایط بدون محدودیت آب، مقدار عملکرد پنبه شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده به ترتیب ۳۹۷۴ و ۳۹۷۲ کیلوگرم در هکتار بوده (با خطای نسبی ۱۰ درصد) که حاکی از کارایی بالای مدل در شبیه‌سازی عملکرد پنبه است. از این مدل به‌منظور بررسی تغییرات رطوبت خاک در آبیاری زیرسطحی برای گیاه سویا استفاده و گزارش گردید که ریشه میانگین مربعات خطا برای رطوبت خاک ۹/۹ درصد بوده است (Ortiz *et al*., 2014). از طرف دیگر مقادیر ریشه میانگین خطای نرمال برای عملکرد ذرت و سویا به‌دست‌آمده با مدل DSSAT در محدوده ۴/۳ تا ۱۴ درصد گزارش شد (Liu *et al*., 2011b). هم‌چنین در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک گزارش شده است که در استفاده از مدل DSSAT مقدار ریشه میانگین خطا برای محصول دانه ذرت در محدوده ۱۰/۴ تا ۱۱/۴ درصد بوده است. در سال اول این مدل (بدون هیچ اختلافی نسبت به مقادیر اندازه‌گیری شده) مراحل مهم فنولوژی شامل زمان کاشت تا گل‌دهی (۵۸ روز) و زمان کاشت تا رسیدن (۱۰۳ روز) را با دقت کامل شبیه‌سازی نمود. متوسط تفاوت بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده در پیش‌بینی مراحل فنولوژی از ۰ تا ۴ روز گزارش گردید (Hammad *et al*., 2017). محققین مدل DSSAT و AQUACROP را

به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد گندم در مدیریت‌های مختلف حاصلخیزی (کود نیتروژن) بررسی نمودند. میانگین جذر مربعات خطای نرمال (NRMSE) برای عملکرد دانه در مدل AQUACROP و مدل DSSAT به ترتیب حدود ۶/۶ و ۵/۷ درصد و گزارش گردید که مدل DSSAT از دقت و هم‌خوانی بالایی در شبیه‌سازی عملکرد گندم نسبت به مدل AQUACROP برخوردار است (Abedinipour, 2021). ازآنجاکه در عمل امکان اجرای سناریوهای مختلف حاصلخیزی به‌منظور بررسی عملکرد در شرایط مختلف مقدور نیست، لذا استفاده از مدل‌های کاربردی مانند DSSAT این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان سناریوهای مختلف مدیریتی را در راستای افزایش عملکرد محصول با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی و به‌منظور ارتقای بهره‌وری توصیه نمود. نظر به تأثیر فراوان مصرف انواع مختلف کودهای شیمیایی و آلی بر رشد و عملکرد گیاهان، ضروری است که در راستای ارتقا بهره‌وری از خاک و آب تغییرات عملکرد گندم در استفاده از کودهای شیمیایی و آلی مقایسه و بررسی گردد. با توجه به در نظرگیری سناریوهای مختلف مدیریتی مصرف کود در مدل کاربردی DSSAT و نقش حاصلخیزی در عملکرد گیاهان و نیز اینکه کارایی این مدل در شبیه‌سازی عملکرد گیاهان در سناریوهای مختلف مدیریتی کاربرد کودهای شیمیایی و آلی مشخص نیست، لذا در این ارتباط کارایی مدل کاربردی DSSAT به‌منظور شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم در مدیریت‌های مختلف مصرف کود (شیمیایی- آلی) در راستای افزایش عملکرد و توصیه در راستای ارتقا بهره‌وری مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی موسسه تحقیقات خاک و آب کرج در ۳۵ و ۵۰ عرض شمالی و طول ۵۵ و ۳۰ درجه شرقی اجرا شد. این منطقه از نظر آب و هوایی جزو آب و هوای مدیترانه‌ای گرم و خشک با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد محسوب می‌شود. ارتفاع منطقه از سطح دریا ۱۳۲۱ متر، متوسط بارندگی حدود ۲۵۰ میلی‌متر، میانگین حداکثر درجه حرارت در تیرماه برابر ۳۴/۹ درجه سانتی‌گراد و حداقل آن در دی‌ماه حدود ۴ درجه سانتی‌گراد و بر اساس طبقه‌بندی دومارتن جزو اقلیم خشک به حساب می‌آید. الگوی تغییرات ماهانه دما و بارش در شکل ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- الگوی تغییرات ماهانه دما و بارش

Figure 1- Pattern of monthly changes in temperature and precipitation

چهار تیمار مصرف کود در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در ۳ تکرار شامل شاهد بدون مصرف کود (T0)، کاربرد کودهای شیمیایی (نیتروژن، فسفر و پتاسیم) بر اساس آزمون خاک (T1)، کاربرد ۲۰ تن در هکتار کمپوست پسماند به همراه مصرف کود شیمیایی نیتروژن به میزان ۷۵٪ و فسفر و پتاسیم به میزان ۵۰٪ توصیه‌شده بر اساس آزمون خاک (T2)، کاربرد ۲۰ تن کود کمپوست پسماند (T3) در نظر گرفته شدند. دراین‌ارتباط ۴ کرت به مساحت هرکدام ۲۰۰ مترمربع انتخاب و

پس از عملیات خاک‌ورزی (شخم و دیسک) و آماده‌سازی زمین اقدام به کشـــت گندم گردید. در تیمار T1 کود اوره به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و در سه تقسیط (پس از کشت، پنجه دهی و ســـاقه‌روی) در اختیار گیاه قرار گرفت. هم‌چنین کود فسفر از منبع سوپر فسفات تریپل و کود پتاس از منبع سولفات پتاسیم به ترتیب به مقدار ۱۵۰ و ۷۵ کیلوگرم در هکتار پس از اختلاط با خاک (با عملیات خاک‌ورزی) و قبل از کاشت به خاک داده شد. در تیمار T2 و T3 کود کمپوست به میزان ۲۰ تن در هکتار و به‌صـــورت پخش ســـطحی و اختلاط با خاک به‌وســـیله دیســـک در اختیار خاک قرار گرفت. در تیمار T2 کود فســـفر و پتاس به ترتیب به مقدار ۷۵ و ۳۵ کیلوگرم در هکتار پس از اختلاط با خاک (با عملیات خاک‌ورزی) و قبل از کاشت به خاک داده شـــد. این مدل در شـــرایط بهینه مصـــرف کود (تیمار کود شیمیایی بر اساس آزمون خاک، T1) واسنجی شده و برای سایر تیمارهای دیگر مورد اعتبارســـنجی و ارزیابی قرار گرفته اســـت. ویژگی‌های شـــیمیایی و فیزیکی خاک مزرعه در جدول ۱ و برخی ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شـهری در جدول ۲ ارائه گردیده است.

جدول ۱- برخی ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک منطقه موردمطالعه

Table 1- Some chemical and physical properties of the soil of the study area

خصوصیات Properties	ظرفیت تبادل کاتیونی Cation Exchange Capacity ($meq.100g^{-1}$)	نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio -	درصد اشباع Saturation Percentage (%)	رطوبت ظرفیت زراعی Field Capacity (%)	رطوبت نقطه پژمردگی Permanent wilting point (%)	آمونیوم NH_4 ($mg.kg^{-1}$)	فسفر قابل‌استفاده Avalable Phosphorus ($mg.kg^{-1}$)	پتاسیم قابل‌استفاده Available Potassium ($mg.kg^{-1}$)	آهن قابل جذب Available Fe ($mg.kg^{-1}$)
مقدار Value	13.4	0.79	37	18	12	2	5.4	210	1.6
خصوصیات Properties	روی قابل‌استفاده Available Zn (mg.kg-1)	منگنز قابل‌استفاده Available Mn ($mg.kg^{-1}$)	مس قابل‌استفاده Available Cu ($mg.kg^{-1}$)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)	چگالی ظاهری Bulk density ($g.cm^{-3}$)	اسیدیته عصاره اشباع pH -	شوری عصاره اشباع Electical Conductivity of Saturated Extract($dS.m^{-1}$) -	نیترات NO_3 Nitrate ($mg.kg^{-1}$)	کربنات کلسیم معادل $CaCO_3$ Equivalent Calcium Carbonate (%)
مقدار Value	0.9	5.5	0.92	0.05	1.5	8.2	1.07	19.2	13.5

جدول ۲- برخی ویژگی‌های شیمیایی کمپوست زباله شهری

Table 2- Some chemical properties of municipal waste compost

خصوصیات Properties	اسیدیته pH	شوری Electical Conductivity ($dS.m^{-1}$)	ماده آلی Organic Matter (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن کل Total Nitrogen (%)
مقدار Value	7.7	10.5	40.6	15.5	1.42
خصوصیات Properties	نیترات No_3 Nitrate ($mg.kg^{-1}$)	آمونیوم NH_4 Ammonium ($mg.kg^{-1}$)	کادمیوم کل Cd Total Cadmium ($mg.kg^{-1}$)	آهن کل Total Fe ($mg.kg^{-1}$)	روی کل Total Zn ($mg.kg^{-1}$)
مقدار Value	196	590	1.11	15975	750
خصوصیات Properties	منگنز کل Mn Total Manganese ($mg.kg^{-1}$)	مس کل Cu Total Copper ($mg.kg^{-1}$)	سرب کل Pb Total Plumbum ($mg.kg^{-1}$)	فسفر کل P Total Phosphorus (%)	پتاسیم کل K Total Potassium (%)
مقدار Value	530	40	177	0.86	0.9

کاشت گندم (رقم سیوند) در تمامی کرت‌ها در ۱۵ آذر ۱۳۹۷ و برداشت در ۱۵ تیرماه ۹۸ انجام شد. برخی ویژگی‌های کیفی آب آبیاری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- برخی ویژگی‌های شیمیایی آب آبیاری

Table 3- Some chemical properties of irrigation water

خصوصیات Properties	شوری Electical Conductivity ($dS.m^{-1}$)	نسبت جذب سدیم Sodium Absorption Ratio -	اسیدیته pH -	کلسیم Ca Calcium ($mg.l^{-1}$)	منیزیم Mg Magnesium ($mg.l^{-1}$)	سدیم Na Sodium ($mg.l^{-1}$)	کلراید Cl Cloride ($mg.l^{-1}$)	بی‌کربنات HCo_3 Bicarbonate ($mg.l^{-1}$)
مقدار Value	0.39	0.44	7.5	55.2	4.9	12.6	13.5	116

مدل DSSAT

مدل گیاهی DSSAT یکی از مدل‌های شبیه‌سازی گیاهی است که برای شرایط متفاوت اقلیم، آب، خاک و مدیریت‌های زراعی و در راستای تصمیم‌گیری مناسب و به‌منظور مصرف بهینه آب و کود و سایر عوامل تأثیرگذار بر تولیدات گیاهی قابل‌استفاده و کاربرد می‌باشد (Shelia *et al*., 2019). در این پژوهش از نسخه ۴.۷.۵ (۲۰۱۹) استفاده گردید. حداقل اطلاعات موردنیاز ورودی به مدل شامل اطلاعات پروفیل خاک (بافت، شیب، ظرفیت زراعی و پژمردگی، جرم مخصوص ظاهری)، داده‌های روزانه هواشناسی (حداقل و حداکثر درجه حرارت، بارندگی و تشعشع خورشیدی)، مدیریت زراعی (تراکم کاشت، سناریوهای مدیریتی آبیاری و حاصلخیزی، انواع شخم، کاربرد مواد آلی) می‌باشد (Bao *et al*., 2017). تاریخ کاشت و برداشت، زمان گل‌دهی و رسیدن، عمق و تراکم کاشت، مدیریت مصرف آب و کود، شرایط ابتدایی خاک ازلحاظ رطوبت و اطلاعات هواشناسی ازجمله ورودی‌های موردنیاز این مدل می‌باشند (Yang *et al*., 2014a).

از داده‌های گیاهی و خاک اندازه‌گیری شده به همراه آمار هواشناسی مربوطه برای واسنجی مدل DSSAT در راستای شبیه‌سازی عملکرد دانه و بیوماس گندم در مدیریت‌های مختلف مصرف کود استفاده گردید. از شاخص‌های آماری، خطای استاندارد (SE)، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)، ضریب تبیین (d)، میانگین انحراف خطا (MBE) و کارایی مدل (EF) برای تعیین دقت مدل و مقایسه آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری استفاده شد (Yang *et al*., 2014b).

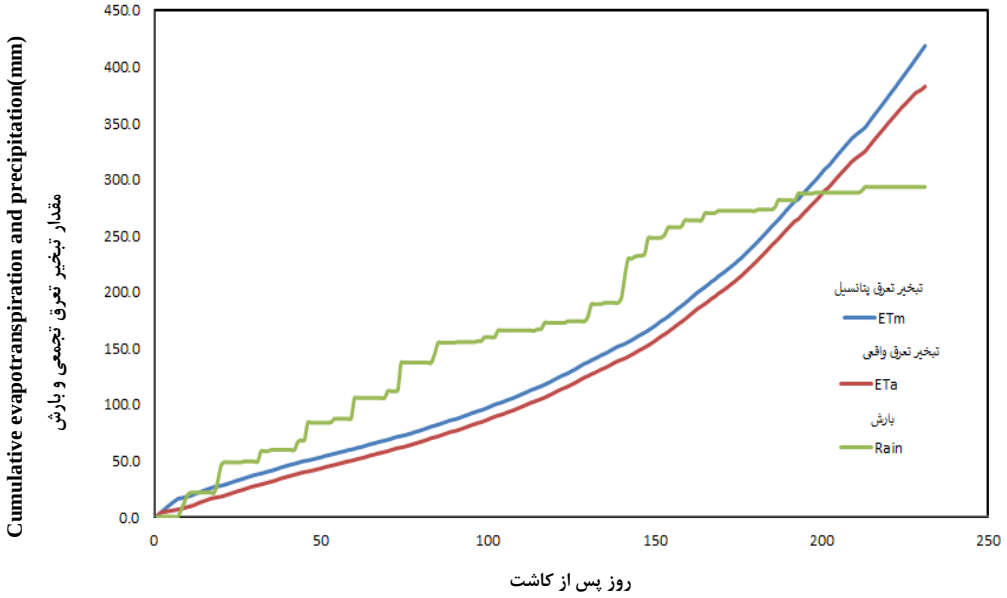
جدول ۴- اطلاعات گیاهی برداشت‌شده از قطعات منتخب

Table 4- Plant information harvested from the pilot

اطلاعات گیاه Plant data	مقدار Value	اطلاعات گیاه Plant data	مقدار Value
تعداد روز تا جوانه‌زنی Number of days to germination	10-14	طول دوره گلدهی Flowering period	10-14
تعداد روز تا رسیدن به بیشینه پوشش گیاهی Number of days to reach maximum vegetation	95-105	تعداد روز تا آغاز گلدهی Number of days until the beginning of flowering	105-115
تعداد روز تا پیر شدن برگ‌ها Number of days until the leaves age	135-145	بیشینه عمق ریشه Maximum root depth (m)	0.4
تعداد روز تا رسیدگی کامل Number of days until full maturity	160-170	تعداد روز تا رسیدن به عمق ریشه بیشینه Number of days to reach maximum root depth	100-110
طول دوره جوانه‌زنی Length of germination period	10	طول دوره اولیه Initial period	30
طول دوره توسعه The length of the development period	35	طول دوره میانی Mid period length	55

نتایج و بحث

با توجه به اطلاعات و داده‌های هواشناسی، مقادیر تبخیر و تعرق پتانسیل (ETm)، واقعی (ETa) و بارش (P) در طول دوره رشد گندم تعیین و روند تغییرات آن در شکل ۲ ارائه گردیده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد مقدار تجمعی بارش در طول دوره رشد گندم حدود ۲۷۰ میلی‌متر و مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل (پنمن مانتیث فائو) و واقعی در حدود ۴۰۰ میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۲- مقادیر تجمعی تبخیر تعرق پتانسیل، واقعی و بارش در طول دوره رشد گندم برحسب میلی‌متر

Figure 2- Cumulative values of potential, actual evapotranspiration and precipitation during wheat growth period in mm

نتایج مقادیر عملکرد دانه و زیست‌توده اندازه‌گیری شده تیمارهای موردنظر در جدول ۴ ارائه گردیده است. تیمار مصرف کود بر اساس آزمون خاک (T1) با عملکرد دانه و زیست‌توده به ترتیب ۳/۹ و ۹/۲ تن در هکتار بیشترین مقادیر عملکرد را نسبت به سایر تیمارها داشته است. هم‌چنین تیمار مصرف کود کمپوست به مقدار ۲۰ تن در هکتار و مصرف کود شیمیایی نیتروژن (۷۵٪) و فسفر و پتاس (۵۰٪) عملکرد دانه و زیست‌توده به ترتیب ۲/۹ و ۷/۲ تن در هکتار را تولید کرده است. نتایج تجزیه آماری عملکرد دانه و زیست‌توده گندم نشان داد که بین تیمارهای کودی ازنظر آماری اختلاف معنی‌داری وجود دارد (جدول ۵). گروه‌بندی تیمارها ازنظر آماری نشان داد که تیمار T1 با عملکرد دانه حدود ۴ تن در هکتار در گروه اول، تیمار T2 و T3 (مصرف کود کمپوست) با عملکرد دانه حدود ۲/۹ تن در یک گروه و تیمار بدون مصرف کود با کمترین عملکرد دانه (۲/۴) در گروه سوم جای گرفته‌اند. روند مشابهی در گروه‌بندی زیست‌توده تولیدی در تیمارهای کودی نیز ملاحظه گردید و عملکرد زیست‌توده تولیدی در تیمار T1 به میزان ۴۴ درصد نسبت به تیمار بدون مصرف کود افزایش یافت (جدول ۵).

جدول ۵- مقادیر عملکرد دانه و زیست‌توده گندم در تیمارهای کودی

Table 5- Wheat yield and biomass values in fertilizer treatments

مقدار اندازه گیری شده Measured Value	T0		T1		T2		T3	
میانگین	عملکرد Y (1000kg.h^{-1})	زیست توده Biomass (1000kg.h^{-1})	عملکرد Y (1000kg.h^{-1})	زیست توده Biomass (1000kg.h^{-1})	عملکرد Y (1000kg.h^{-1})	زیست توده Biomass (1000kg.h^{-1})	عملکرد Y (1000kg.h^{-1})	زیست توده Biomass (1000kg.h^{-1})
Mean	2.3	6.2	3.9	9.2	2.9	7.2	2.5	6.7

جدول ۶- تجزیه واریانس دانکن عملکرد دانه و زیست‌توده گندم (در سطح ۵ درصد)

Table 6- Duncan variance analysis of wheat grain yield and biomass (at 5% level)

	مجموع مربعات SE	درجه آزادی f	میانگین مربعات MSE	پارامتر F	سطح معنی‌داری Sg.
بین تیمارها (دانه) (yield) Groups	3.803333	3	1.267778	34.57576	000.0
تکرار Replication	0.293333	8	0.036667		
کل (دانه) Total(yield)	4.096667	11			
بین تیمارها (زیست‌توده) (Biomass) Groups	14.70917	3	4.903056	65.37407	000.0
تکرار Replication	0.6	8	0.075		
کل (زیست‌توده) Total(Biomass)	15.30917	11			

جدول ۷- مقایسه آماری عملکرد دانه و زیست‌توده گندم با روش دانکن در سطح ۵ درصد

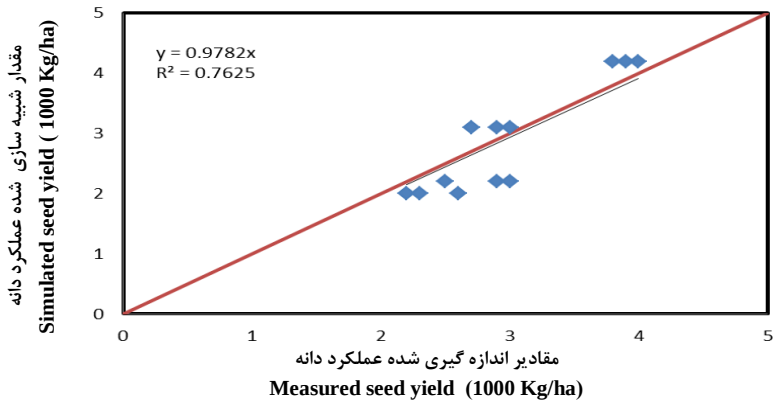
Table 7- Statistical comparison of wheat grain yield and biomass with Duncan method at 5% level

تیمار Treatment	عملکرد دانه Yield (1000kg.h^{-1})		زیست‌توده Biomass (1000kg.h^{-1})	
T_0	2.36	c*	6.47	c
T_1	3.90	a	9.30	a
T_2	2.87	b	7.23	b
T_3	2.80	b	6.77	bc

*حروف متفاوت در هر ستون نشان‌دهنده تفاوت معنی‌دار در سطح ۵ درصد می‌باشد.

*Numbers followed by the same letter in column are not significantly differentns (P<0.05)

شکل ۳ مقایسه عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی‌شده را با مقادیر اندازه‌گیری شده در تیمارهای موردنظر ارائه می‌کند. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، نتایج شبیه‌سازی‌شده عملکرد دانه در تیمارها هم‌خوانی و همبستگی بالایی را با مقادیر اندازه‌گیری‌شده از خود نشان می‌دهند که بیانگر دقت مناسب این مدل در برآورد مقادیر شبیه‌سازی‌شده عملکرد در تیمارهای کودی می‌باشد. شاخص‌های آماری موردنظر برای شبیه‌سازی دانه و زیست‌توده گندم در جدول ۷ و ۸ ارائه شده است. شاخص میانگین خطای مربعات نرمال شده حدود ۱۲ درصد به همراه سایر شاخص‌های آماری دیگر بیانگر دقت و هم‌خوانی بالای این مدل در شبیه‌سازی عملکرد دانه در شرایط استفاده از تیمارهای کودی می‌باشد.



شکل ۳- مقایسه عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نسبت به خط یک‌به‌یک

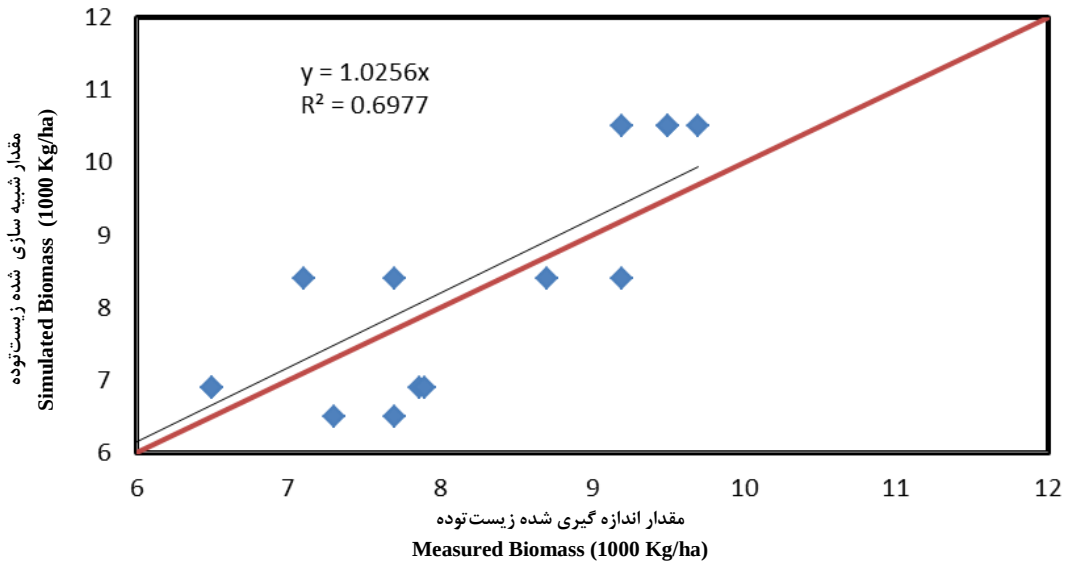
Figure 3- Comparison of simulated and measured wheat grain yield compared to one-to-one line

جدول ۸- شاخص‌های آماری به‌منظور ارزیابی مدل DSSAT در شبیه‌سازی عملکرد دانه گندم

Table 8- Statistical index to evaluate the DSAAT model in simulating wheat grain yield

MBE	RMSE	NRMSE	d	EF
-0.100	0.3808	0.128	0.930	0.570

هم‌چنین تغییرات مقادیر زیست‌توده اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده تیمارها با یکدیگر مقایسه و به همراه شاخص‌های آماری مربوطه در شکل ۴ ارائه گردید. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد هم‌خوانی و قرابت نسبی مناسبی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده زیست‌توده گندم درنتیجه اعمال تیمارهای کودی در تیمارها وجود دارد.



شکل ۴- مقایسه مقادیر زیست‌توده گندم شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده نسبت به خط یک‌به‌یک

Figure 4- Comparison of simulated and measured wheat biomass values relative to the one-to-one line

جدول ۹- مقایسه شاخص‌های آماری در شبیه‌سازی زیست‌توده گندم

Table 9- Comparison of statistical index in wheat biomass simulation

MBE	RMSE	NRMSE	d	EF
0.073	0.5096	0.252	0.993	0.973

شاخص‌های آماری ارائه‌شده در جدول ۹ بیانگر دقت مناسب این مدل در شبیه‌سازی زیست‌توده گندم نیز می‌باشد. از طرف دیگر شبیه‌سازی مراحل فنولوژی گندم با این مدل نشان داد که با دقت بالایی قادر به شبیه‌سازی مراحل فنولوژی گندم می‌باشد. زمان گل‌دهی و رسیدن دانه گندم به ترتیب ۱۹۲ و ۲۲۷ روز پس از کاشت اندازه‌گیری شد که با مقادیر شبیه‌سازی‌شده آن‌که به ترتیب برابر ۱۹۰ و ۲۳۰ روز می‌باشند هم‌خوانی دارند. نتایج عملکرد دانه گندم شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده در تیمارهای مختلف کاربرد کود شیمیایی و آلی بیانگر مناسب بودن مدل DSSAT(CERES) بوده و می‌توان از این مدل در شرایط مختلف مدیریت‌های مصرف کود استفاده نمود.

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به نتایج حاصله ملاحظه می‌گردد که مقدار عملکرد دانه گندم اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در تیمار شاهد به ترتیب ۲/۳ و ۲ تن در هکتار و مقادیر متناظر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی‌شده در کاربرد مصرف کود NPK بر اساس آزمون خاک به ترتیب ۳/۹ و ۴/۲ تن در هکتار و در شرایط کاربرد کمپوست به مقدار ۲۰ تن در هکتار، متوسط دانه شبیه‌سازی و

اندازه‌گیری شـــده به ترتیب حدود ۳/۱ و ۲/۹ تن در هکتار به دســـت آمد. هم‌چنین زمان گل‌دهی و رســـیدن دانه گندم اندازه‌گیری شده به ترتیب ۱۹۲ و ۲۲۷ روز پس از کاشت بوده که با مقادیر شبیه‌سازی‌شده آن‌که به ترتیب برابر ۱۹۰ و ۲۳۰ روز می‌باشـــند هم‌خوانی دارد. شـــاخص آماری RMSE، NRMSE، EF و d مدل DSSAT برای عملکرد دانه به ترتیب ۰/۳۸، ۰/۱۳، ۰/۵۷ و ۰/۹۳ بود که حاکی از کارایی بالا و مناسب مدل DSSAT در شـبیه‌سـازی عملکرد دانه گندم در شـرایط مختلف مدیریت حاصلخیزی ازنظر مصرف کود شیمیایی و آلی بوده است.

References

Abedinpour, M. 2021. The comparison of DSSAT-CERES and AquaCrop models for Wheat under water–nitrogen interactions. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 52(4): 1-16.

Amiri, E., Rezaei, M., Bannayan, M. and Soufizadeh, S. 2014. 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*, 37: 1749–1769.

Bao, Y., Hoogenboom, G., McClendon, R. and Vellidis, G. 2017. A comparison of the performance of the CSM-CERES-Maize and EPIC models using maize variety trial data. *Agricultural Systems*, 150: 109-119.

Cammarano, D., Jose, P., Basso, B., Paul, W. and Grace, P. 2012. Agronomic and economic evaluation of irrigation strategies on cotton lint yield in Australia. *Crop and Pasture Science*. 63: 647-655.

Ghasemi, M., Naseri, A. and Moazed, H. 2019. Parameterization and evaluation of the DSSAT-CANEGRO model for Sugarcane CP57-614 in Khuzestan climate condition. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 50(6): 1331-1340.

Hammad, H., Abbas, F., Ahmad, A., Farhad, W., Anothai, J. and Hoogenboom, G. 2017. Predicting water and nitrogen requirements for maize under semi-arid conditions using the CSM-CERES-Maize model. *European Journal of Agronomy*, 100: 56-66.

Holzworth, D., Snow, V., Janssen, S., Athanasiadis, I., Donatelli, M., Hoogenboom, G., White, J. and Thorburn, P. 2015. Agricultural production systems modelling and software: Current status and future prospects. *Environmental Modelling & Software*, 72: 276-286.

Liu, H.L., Yang, J.Y. and Drury, C.F. 2011a. Using the DSSAT -CERES-Maize model to simulate crop yield and nitrogen cycling in fields under long-term continuous maize production. *Nutr Cycl Agroecosyst*, 89: 313–328.

Liu, H., Yang, J.Y., Tan, C., Drury, C., Reynolds, W.D., Zhang, T.Q., Bai, Y., Jin, J., He, P. and Hoogenboom, G. 2011b. Simulating water content, crop yield and nitrate-N loss under free and controlled tile drainage with subsurface irrigation using the DSSAT model. *Agricultural Water Management*, 98: 1105-1111.

McNider, R.T., Handyside, C., Doty, K., Ellenburg, W., Cruise, J.F., Christy, J.R., Moss, D., Sharda, V. and Hoogenboom, G. 2015. An integrated crop and hydrologic modeling system to estimate hydrologic impacts of crop irrigation demands. *Environmental Modelling & Software*,72: 341-355.

Ortiz, B.V., Hoogenboom, G., Vellidis, G., Boote, K., Davis, R. and Perry, C. 2014. Adapting the CROPGRO-Cotton model to simulate cotton biomass and yield under southern root-knot nematode parasitism.

Transactions of the ASABE (American Society of Agricultural and Biological Engineers).

Pedreira, B., Pedreira, C., Boote, K., Lara, M. and Alderman, P. 2011. Adapting the CROPGRO perennial forage model to predict growth of Brachiaria brizantha. *Field Crops Research*, 120: 370-379.

Shelia, V., Hansen, J., Sharda, V., Porter, C., Aggarwal, P.K., Wilkerson, C. and Hoogenboom, G. 2019. A multi-scale and multi-model gridded framework for forecasting crop production, risk analysis, and climate change impact studies. *Environmental Modelling & Software*, 115: 144-154.

Singh, S., Boote, K., Angadi, S., Grover, K., Begna, S. and Auld, D. 2016. Adapting the CROPGRO model to simulate growth and yield of spring safflower in semiarid conditions. *Agronomy Journal*, 108: 64-72.

Yang, J., Yang, J.Y., Liu, S. and Hoogenboom, G. 2014a. An evaluation of the statistical methods for testing the performance of crop models with observed data. *Agricultural Systems*, 127: 81-89.

Yang, J.Y., Drury, C., Yang, J., Li, Z.T. and Hoogenboom, G. 2014b. EasyGrapher: Software for data visualization and statistical evaluation of DSSAT cropping system model and the CANB model. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 6: 210-214.

Zheng, Z., Cai, H., Lianyu, Y. and Hoogenboom, G. 2017. Application of the CSM–CERES–Wheat model for yield prediction and planting date evaluation at Guanzhong Plain in Northwest China. *Agronomy Journal*, 109(1): 204-2017.

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 5, Issue 1, Spring and Summer 2023, P. 185-196

The evaluation of DSSAT model for simulating wheat grain yield under different chemical and organic fertilizer application

Mohammad Reza Emdad[1*], Arash Tafteh[1], Farhad Moshiri[1], Seyed Ali Ghaffarinejad[1]

[1] Soil and Water Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

[*]Corresponding Author: emdadmr591@yahoo.com

Received: 8 March 2022 Accepted: 24 May 2022 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.333132.1207**

Abstract

Introduction: Plant growth and production models are great tools to study variations in irrigation and fertilizer application and their impact on plant performance. Due to the fact that applying different scenarios of fertility and irrigation in field conditions is time -consuming and costly, the use of plant models is a good solution for simulating and estimating the crop yield in different conditions. The accuracy of the results obtained from the simulation models depends on the accuracy of the data required by the model, and if the input data is measured and determined accurately, the model will be applicable in different conditions after calibration and validation. Due to the great effect of using different types of chemical and organic fertilizers on plant growth and yield, it is necessary to compare and evaluate changes in wheat yield using chemical and organic fertilizers in order to improve soil and water productivity. Considering the different management scenarios of fertilizer use in the DSSAT application model and the role of fertility in plant performance, the efficiency of this model in simulating plant performance in different management scenarios of chemical and organic fertilizer application is not clear, so in this regard, the efficiency of the DSSAT application model In order to simulate wheat grain yield in different applications of fertilizer (chemical and organic) in order to increase yield, recommendations were studied and evaluated.

Materials and Methods: This research was carried out on the research farm of Karaj Soil and Water Research Institute at 35 and 50 degrees north latitude and 55 and 30 degrees east longitude. In terms of climate, this region has one of the hot and dry Mediterranean climates, with hot and dry summers and cold winters. 4 fertilizer application treatments in a randomized complete block design in 3 replications, including control without fertilizer application (T0), application of chemical fertilizers (nitrogen, phosphorus, and potassium) based on soil tests (T1), and application of 20 tons per hectare of waste compost with fertilizer application Chemical nitrogen at 75% and phosphorus and potassium at 50% were recommended based on the soil test (T2), and the application of 20 tons of waste compost fertilizer (T3) was considered. In this regard, 4 plots with an area of 200 square meters were selected, and after tillage operations including plowing, discing, and land preparation, wheat was cultivated. The aim of this research was to investigate the efficiency of the DSSAT model in simulating wheat yield under different management conditions of chemical and organic fertilizer application.

Results and Discussion: Results showed that measured and simulated wheat grain yields in the control treatment (without fertilizer application) were 2.3 and 2 tons per hectare, respectively, and the corresponding measured and simulated values in chemical fertilizer application (NPK fertilizer application based on soil test) were 3.9 and 4.2 tons per hectare, respectively. In terms of compost application at a rate of 20 tons per hectare, the average simulated and measured grain yields were about 3.1 and 2.9 tons per hectare, respectively. Flowering and ripening phonological times of wheat were 192 and 227 days after sowing, respectively, which is in close agreement with the simulated values, which are 190 and 230 days, respectively. RMSE, NRMSE, EF, and d of the DSSAT model for grain yield were 0.38, 0.13, 0.57, and 0.93, respectively, which indicates the high and appropriate performance of the DSSAT(CERES) model in simulating wheat grain yield in different conditions of fertility management based on the application of chemical and organic fertilizers.

Conclusion: Due to the fact that applying different scenarios of fertility and irrigation in field conditions is time -consuming and costly, the use of plant models is a good solution for simulating and estimating the crop yield in different conditions. The results of the statistical indices showed that the appropriate performance of the DSSAT model in simulating wheat grain yield in different conditions.

Keywords: Evaluation, Evapotranspiration, Fertilizer management, Karaj