نشریه علمی پژوهشی دانش کشاورزی و تولید پایدار
جلد ۳۱ شماره ۱ / سال ۱۴۰۰ صفحات ۲۰۷-۱۹۳

ارزیابی زراعی مدل WOFOST در برآورد عملکرد برنج در اراضی شالیزاری شهرستان شفت با استفاده از تحلیل‌های مکانی سامانه اطلاعات جغرافیایی(GIS)

حدیث یاقوتی[۱]، ابراهیم پذیرا[۲]، ابراهیم امیری[۳*]

تاریخ دریافت: ۹۹/۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۹/۸/۱۲

۱-دانشجوی دکتری فیزیک و حفاظت خاک، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲-استاد گروه خاک شناسی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی،تهران، ایران
۳-استاد گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
*مسئول مکاتبه: Email: Eamiri57@yahoo.com

چکیده

اهداف: تحقیق حاضر جهت کمی‌سازی عملکرد برنج در شهرستان شفت، واقع در استان گیلان اجرا شد و نقشه پهنه‌بندی زراعی تولید از طریق رهیافت سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) تهیه گردید.

مواد و روش‌ها: اطلاعات مزرعه‌ای ۱۰۰ نقطه شالیزارهای منطقه در دو سال زراعی (۱۳۹۱ و ۱۳۹۲) برای شبیه‌سازی توسط مدل WOFOST اندازه‌گیری شد. داده‌های موجود برای دو دسته ارقام محلی و پرمحصول در منطقه، مورد سنجش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج مدل اختلاف معنی‌داری بین مقادیر مشاهده شده عملکرد دانه برنج با مقادیر شبیه‌سازی نشان نداد (Sig <0.05). مقدار ضریب تبیین (R^2) برای هر دو دسته ارقام حدود ۰/۸۰ به‌دست آمد، و ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE) به ترتیب برای ارقام محلی و پرمحصول ۱۳ و ۷ درصد حاصل شد. ارزیابی نتایج آماری حاکی از مشابهت مطلوب داده‌های واقعی و برآورد شده است. همچنین شاخص‌های آماری نشان می‌دهد مدل در برآورد عملکرد شالیزارهای با ارقام محلی از خطای کمتری نسبت به ارقام پرمحصول برخوردار است. در مطالعاتی که در مقیاس بزرگ انجام می‌گیرد، خطای برآورد بیشتر ناشی از اختلاف در مدیریت زراعی می‌باشد. توزیع مکانی عملکرد دارای شدت و نوساناتی در سطح محدوده مورد مطالعه بوده است، که می‌تواند در پاسخ به مقادیر مختلف نهاده‌ها، تأخیر در تاریخ کاشت، بارندگی‌های خارج از فصل و تنوع در خاک و وضعیت فیزیوگرافی اراضی باشد.

نتیجه‌گیری: بنابراین به‌کارگیری مدل‌های شبیه‌سازی در دستیابی به تولید پایدار برنج و صرفه‌جویی اقتصادی نهاده-های کشاورزی در منطقه می‌تواند کارگشا باشد و دورنمایی از شرایط تولید در اختیار کشاورزان و مدیران قرار دهد.

واژه‌های کلیدی: برنج، پرمحصول، پهنه بندی زراعی ، محلی، GIS، IDW، WOFOST

Assessment of WOFOST Model for Yield Prediction of Rice in Paddy Lands of Shaft City Using Spatial Analysis of Geographic Information System (GIS)

Hadis Yaghouti[1], Ebrahim Pazira[2], Ebrahim Amiri[3]*

Received: May 4, 2020 Accepted: November 2, 2020
1-PhD. Student, Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
2-Prof., Dept. of Soil Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
3-Prof., Water Engineering Dept, Lahijan Branch, Islamic Azad University Lahijan, Iran.
*Corresponding Author Email: Eamiri57@yahoo.com

Abstract

Background & Objective: The present study was conducted to quantify rice yield in Shaft city, located in Gilan province, crop production zoning map was prepared through the Geographic Information System (GIS) approach.

Materials & Methods: Therefore, farm information of 100 points from the paddy fields of the region was received in two crop years (2012 and 2013) for simulation by WOFOST model. The available data were measured for two categories of local and high-yielding varieties in the region.

Results: The results of the model did not show a significant difference between the observed values of rice grain yield with the simulated values (Sig <0.05). The value of coefficient of determination (R^2) was obtained for both groups of varieties was about 0.80, and the root mean square of normalized error (NRMSE) was 13% and 7% for local and high-yielding varieties, respectively. Evaluation of statistical results indicates the favorable similarity of real and estimated data. Also, statistical indicators show that the model has less error in estimating yields of paddy fields with local varieties than high-yield varieties. In large-scale studies, the estimation error is mostly due to differences in crop management. The spatial distribution of yield has intensities and fluctuations in the study area, which can be in response to different amounts of inputs, delay in planting date, off-season rainfall and soil variability and soil physiographic status.

Conclusion: Therefore, the use of simulation models can be effective in achieving sustainable rice production and economic savings of agricultural inputs in the region and provide a landscape of production conditions for farmers and managers.

Keywords: Agricultural Zoning, GIS, High Yielding, IDW, Local, Rice, WOFOST

مقدمه

رشد و توسعه پایدار کشاورزی در گرو سلامت و امنیت غذایی است و این مهم در سایه تأکید بر حفظ، احیاء و بهره‌برداری متعادل از منابع پایه یعنی آب و خاک، پوشش گیاهی، محیط زیست و هوا تحقق می‌یابد. کشت برنج با تأمین دو سوم از نیاز کشور جایگاه ویژه‌ای در اقتصاد دارد، به طوری که در سال ۲۰۱٦ سطح زیر کشت آن ٥٦۰۰۰۰ هکتار و مقدار تولید دو میلیون و ۳۰۰ هزار تن بوده‌است (فائو ۲۰۱۸). چالش حفاظت از پایداری زراعت برنج همگام با رقابت برای منابع آبی، کاهش عملکرد دانه و افزایش هزینه تولید به واسطه وابستگی به نهاده‌های ورودی رو به فزونی است (باغی تبار و همکاران ۲۰۱۹). لذا عوامل موثر بر عملکرد برنج از جمله، عوامل ژنتیکی (اله قلی‌پور و همکاران ۲۰۱٤)، خاک (آقایی پور و همکاران ۲۰۱۸)، شرایط تغذیه‌ای (شکری واحد و همکاران ۲۰۱۸، موسوی و همکاران ۲۰۱۵)، اقلیم (کاظم زاده و همکاران ۲۰۱۷)، آبیاری (باغی تبار و همکاران ۲۰۱۹) و شیوه های مدیریت (علیزاده و همکاران ۲۰۱٦، وحدتی‌راد و همکاران ۲۰۱٦) در مناطق شالیزاری ایران مورد ارزیابی قرار گرفته‌است.

در سال‌های اخیر مدل‌های گیاهی برای پیش‌بینی عملکرد، نیازهای گیاهی، ارزیابی اقلیم در شرایط مدیریتی و محدودیتی مختلف و درک بهتر پاسخ محصول در این شرایط به کار می‌روند (سیدجلالی و همکاران ۲۰۱٦، رسوپ و همکاران ۲۰۱۲). در واقع مدل‌سازی اجازه می‌دهد تعامل پیچیده بین این عوامل مورد بررسی قرار گیرد (دویت و همکاران ۲۰۱۹). در این میان مدل WOFOST به‌عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد، به مدت ۲۵ سال است که روی محصولات زراعی و باغی بسیاری به کار گرفته شده‌است. همانند همه مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی، WOFOST[1] ساده‌سازی واقعیت است و در چارچوب مطالعات جهانی امنیت غذا و پتانسیل جهانی تولید غذا، توسط مرکز جهانی مطالعات غذایی در همکاری با دانشگاه واگنینگن[2] هلند و مرکز بیولوژیکی کشاورزی و حاصلخیزی خاک واگنینگن ایجاد گردیده است (بوگارد و همکاران ۱۹۹۸). کارایی بالای مدل WOFOST برای محصولاتی نظیر گندم، جو، سویا و ذرت مورد تأیید بسیاری از محققین قرار گرفته است (ثگلار و همکاران ۲۰۱۹، شاهین رخسار و همکاران ۲۰۱٦، احمدی و همکاران ۲۰۱٤، بافکار و همکاران ۲۰۱۲). کارشناسان در سال‌های اخیر، به مدل‌سازی تخمین عملکرد و استفاده از آن برای پیش‌بینی عملکرد مزارع به منظور برنامه‌ریزی دقیق و آینده‌نگرتر توجه نشان داده‌اند. در خصوص شبیه‌سازی برنج، ون زیا و همکاران (۲۰۰٦) در چین رشد پتانسیل برنج را با استفاده از مدل WOFOST شبیه‌سازی و اعتبار سنجی نمودند. برای واسنجی مدل از داده‌های سال ۲۰۰۳ و برای اعتبارسنجی از داده‌های سال ۲۰۰٤ استفاده شد. نتایج حاکی از نزدیکی داده‌های برآورد شده برای شبیه-سازی پتانسیل رشد با داده‌های واقعی بوده است.

در ایران نیز امیری و همکاران (۲۰۱۱) مدل رشد گیاهی WOFOST را برای برنج، در شرایط مدیریت آبیاری ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی آماری و گرافیکی نشان داد مدل در شبیه‌سازی بیوماس کل و بیوماس پانیکول از دقت مناسبی برخوردار است. در همین راستا و جهت شبیه‌سازی عملکرد دو رقم برنج محلی استان گیلان، سعادتی و همکاران (۲۰۱۲) از مدل WOFOST، تحت رژیم‌های مختلف آبیاری استفاده کردند. یافته‌ها حاکی از آن است که مدل WOFOST در شبیه‌سازی فرآیند رشد و تأثیر آب بر عملکرد و بهره‌وری در مناطق مرطوب دارای کارایی مطلوبی است.

کمی نمودن عملکرد محصول از طریق مدل‌های شبیه‌سازی نیازمند نظارت جامع بر مزارع در واکنش به روش‌های مدیریتی و تحت شرایط متغیرهای محیطی

[1] World Food Studies

[2] Wageningen

است. ادغام مدل‌های گیاهی با داده‌های جغرافیایی در GIS، در دوره‌های زمانی مختلف کاربران را قادر می-سازد، نتایج عملکرد مدل را در سطح منطقه مورد ارزیابی قرار دهند (رسوپ و همکاران ۲۰۱۲). سیستم پایش رشد گیاهی CGMS[1] (ون دیپن و همکاران، ۲۰۰٤) جهت پیش‌بینی عملکرد محصولات کشاورزی قبل از برداشت، توسط موسسه JRC ایتالیا تهیه گردیده است (بارث و همکاران، ۲۰۰۷) و این همراهی در سیستم اطلاعات جغرافیایی امکان تهیه نقشه های تخمین عملکرد از طریق روش‌های درون‌یابی[2] را فراهم می‌کند (سوزو و همکاران ۲۰۱٦).

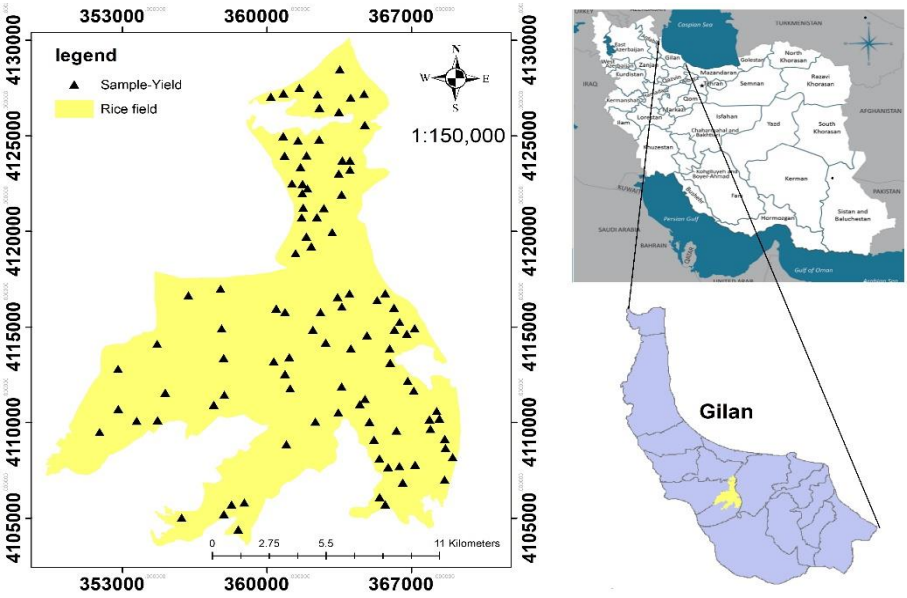
نتایج پژوهش وو و همکاران (۲۰۰٦) در چین با هدف استفاده از مدل WOFOST برای تعیین عملکرد پتانسیل گندم تحت شرایط محدودیت آب نشان داد، در مناطق شمالی بارندگی عامل محدود کننده عملکرد بوده است. ایشان همچنین از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW)[3] جهت پهنه‌بندی توان تولیدی منطقه بهره‌بردند. همچنین کومی بوتنگ و یاکوبو (۲۰۱۰) با تلفیق GIS و داده‌های GPS به پیش‌بینی عملکرد نخل روغنی پرداختند. ارائه نقشه توزیع عملکرد با روش درون‌یابی IDW، بیانگر مطابقت نواسانات عملکرد با عوامل مکانی مورد نظر بود. مطالعه دیگری در سطح اروپا، برای ترسیم نقشه برآورد عملکرد گندم به کمک مدل WOFOST در قالب سیستم CGMS انجام شد و بر لزوم واسنجی مدل پیش از اجرا در سطح وسیع تأکید گردید (بوگارد و همکاران ۲۰۱۳). سرگردی و همکاران (۲۰۱۳) در اصفهان تغییرات زمانی- مکانی نیاز آبی گندم و ذرت علوفه‌ای مدل WOFOST را در فضای جغرافیایی مورد بررسی قرار دادند. خروجی مدل، بیانگر آن است که تغییرات زمانی در نیاز آبی محصول، بیش از تغییرات مکانی می‌باشد. همچنین مطالعات سوزو و همکاران (۲۰۱٦) در تخمین عملکرد محصولات زراعی نشانگر برتری روش وزن‌دهی معکوس فاصله بر کریجینگ می‌باشد. به منظور پهنه‌بندی سیستم‌های زراعی تولید گندم در بروجن، طایی و همکاران (۲۰۱۳) طرحی را در شرایط پتانسیل و محدودیت آبیاری به اجرا درآوردند و در آن از مدل WOFOST که قبلاً واسنجی شده بود برای شبیه‌سازی میزان عملکرد در محیط GIS استفاده کردند. یافته‌ها نشان از کارآیی مطلوب مدل جهت تحلیل سیستم زراعی منطقه داشت. در خصوص گیاه برنج تحقیقاتی با استفاده از سایر مدل‌های شبیه‌سازی در سطح وسیع انجام پذیرفته‌است (رضایی و همکاران ۲۰۱۵، مختاری و همکاران ۲۰۱۳). با عنایت به نیازمندی‌های دمایی و فیزیکی برنج، بهره-گیری از قابلیت فن‌آوری GIS همراه با مدل‌های شبیه-سازی همچون WOFOST، در شرایط استان گیلان ضروری به نظر می‌رسد. لذا امکان شناسایی مناطق مستعد کشت، محدودیت‌ها و توانمندی‌های تولید در مطالعات پهنه‌بندی برنج فراهم خواهدشد. هدف از این تحقیق در سطح شهرستان شفت ترسیم نقشه‌های عملکرد دانه به منظور برآورد و شبیه‌سازی عملکرد دانه در مناطق فاقد اطلاعات مشاهده‌ای می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های میدانی

شهرستان شفت در جنوب غربی استان گیلان، بین عرض‌های جغرافیایی ´٥٦ °٣٦ تا ´١٨ °٣٧ شمالی و طول جغرافیایی ´١٠ °٤٩ تا ´٣١ °٤٩ شرقی، در شمال ایران واقع شده است. مساحت منطقه مورد مطالعه حدود ١٤ هزار هکتار از مجموع مساحت شهرستان می‌باشد که زیر کشت برنج قرار دارد. اقلیم این منطقه معتدل و مرطوب بوده و فعالیت عمده کشاورزی در بخش جلگه-ای و کوهپایه‌ای، زراعت برنج می‌باشد (شکل ۱).

[1] Crop Growth Monitoring System
[2] Interpolation
[3] Inverse Distance Weighting



شکل ۱- موقعیت مزارع پایش شده در سطح شهرستان شفت

داده مزرعه ای

اطلاعات ۱۰۰ نقطه شالیزار، نحوه مدیریت زراعی، نوع رقم، ضدعفونی بذر، زمان کاشت، مسائل مربوط به برداشت (کود و مبارزه با آفات و بیماری‌ها)، تعداد و میزان آبیاری، شیوه‌های آبیاری (سنتی و مدرن) و زمان و ادوات برداشت در دو سال زراعی ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲، اندازه‌گیری شد. لازم به ذکر است ارقام برنج مزارع منطقه به دو دسته، ارقام محلی (بومی) شامل هاشمی، علی‌کاظمی و ارقام پرمحصول (اصلاح شده) مانند خزر و گوهر تقسیم می‌شوند. البته ارقام محلی حدود دو سوم از اراضی شالیزاری را به خود اختصاص می‌دهد. در پژوهش حاضر سعی شد تا ضمن توزیع مناسب موقعیت مزارع در سطح منطقه، نسبت ارقام در جامعه آماری حفظ گردد (جدول۱).

طول دوره کشت برنج در منطقه برای ارقام مختلف بین ۱۲۰ تا ۱۵۰ روز می‌باشد، و شالیزارها طی ۹۰ روز از ابتدای کاشت می‌باید غرقاب باشند، این زمان در شمال ایران مصادف با نیمه دوم فروردین تا نیمه دوم تیر است. جدول ۲، وضعیت بارندگی و دمای هوای منطقه را در بازه زمانی کشت برنج نشان می‌دهد، لازم به ذکر است برای آبیاری اراضی از کانال آب‌بری فومن استفاده می‌شود.

مدل شبیه‌سازی WOFOST

این مدل براساس چرخه کربن و پیچیده می‌باشد، ساختار و روش محاسبات در منابع مختلف ارائه شده-است (بوگارد و همکاران ۱۹۹۸، امیری و همکاران ۲۰۱۱). مدل WOFOST اجازه شبیه‌سازی پویا فنولوژیکی از جوانه زنی تا رسیدگی را براساس خصوصیات ژنتیکی محصول و شرایط محیطی فراهم می‌کند. این برنامه ماده خشک گیاه را به‌عنوان تابعی از تشعشع، دما و خصوصیت‌های گیاه در مراحل زمانی یک روز شبیه‌سازی می‌کند. اصول محاسبه تولید ماده خشک، میزان سرعت ناخالص جذب CO_2 توسط پوشش گیاهی است، که به انرژی تابشی جذب شده بستگی دارد و تابعی از تشعشع روزانه، سطح برگ گیاه و ضریب خاموشی نور در پوشش گیاهی است (تودورویس و همکاران ۲۰۰۹).

جدول۱-معرفی شاخص‌های آماری عملکرد دانه ارقام برنج در اراضی شالیزاری (کیلوگرم در هکتار)

رقم	سال زراعی ۱۳۹۱($Kg.ha^{-1}$)					سال زراعی ۱۳۹۲($Kg.ha^{-1}$)				
	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
محلی	۳٤۱۵	۲۳۹۰	٤۲۰۵	۵۱۵/۳٦	۱۵/۱	۳۵۰۲	۲۱۹۰	٤۳۸۰	٦۵۳/۳	۱۸/٦
پرمحصول	٤۵۷٤	٤۰۰۹	۵۲٤۳	۳۹٤/۳۳	۸/٦	٤٦٤۹	٤۰۲۲	۵۲۸۰	۳٦۲/٦۳	۷/۸

جدول۲-میانگین دما (درجه سلسیوس) و بارش تجمعی (میلی‌متر) ماهانه در بازه زمانی کشت برنج

سال	پارامتر	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
۱۳۹۱	دما (c°)	۱٤/۷	۲۱/۲	۲٤/٤	۲٤/۷	۲۷/٦	۲۳/۲
	بارش(mm)	۹٦/٤	۵	۷۷/٤	۱۳٦/۲	۳۹/۸	۱۸٤/٤
۱۳۹۲	دما (c°)	۱٤/۲	۱۸/٤	۲۳/۱	۲۵/۲	۲٤/۱	۲٤/٤
	بارش(mm)	۳۷/۹	٤٦/٤	٦/۹	٤/۲	۱۰۵/۱	۹۲/۲

در این تحقیق از نسخه ۷٫۱ مدل WOFOST برای شبیه‌سازی عملکرد دانه برنج استفاده شد. اطلاعات ورودی مورد نیاز برای اجرای مدل در چندین بخش (اطلاعات کلی، گیاه، هواشناسی، خاک، موادغذایی) توصیف می‌شوند. برای شبیه‌سازی با مدل WOFOST، لازم است که داده‌های مورد نیاز، تحت فایل‌های خاصی سازماندهی و به مدل ارائه شوند. این فایل‌ها هر کدام جنبه خاصی از رشد و نمو گیاه و یا شرایط محیطی را نشان می‌دهند.

اطلاعات هواشناسی مورد نیاز، از ایستگاه سینوپتیک مرکز تحقیقات هواشناسی کشاورزی رشت، در دو سال مورد نظر (۱۳۹۲-۱۳۹۱) دریافت گردید، که شامل بارندگی، درجه حرارت حداکثر، درجه حرارت حداقل، تشعشع روزانه (ساعات آفتابی)، سرعت باد در ارتفاع دو متری، رطوبت نسبی و فشاربخار صبحگاهی هوا در طول دوره رشد به صورت روزانه می‌باشد. همچنین اطلاعات مدیریت زراعی شامل رقم محصول (اطلاعات ژنتیکی)، تاریخ کاشت و فعالیت‌های مدیریتی نظیر زمان و مقدار آبیاری در قالب فایل اطلاعات گیاهی برای هر یک از مزارع تهیه گردید. فایل خاکشناسی از داده‌های آزمون خاک و اطلاعات مزرعه شامل رطوبت در نقاط ظرفیت زراعی[1]، پژمردگی دائم[2]، اشباع[3] و رطوبت بحرانی[4] و هدایت هیدرولیکی اشباع[5] در محدوده توسعه ریشه وارد مدل گردید.

هرچند استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه مفید است، ولی اجرای آن‌ها مستلزم انجام آزمایش‌های متعددی در قالب واسنجی و سپس تعمیم به کل مزرعه می‌باشد. از این‌رو، استفاده از مدل‌هایی که بتواند در مقیاس‌های بزرگ عملکرد محصول را با دقت قابل قبولی برآورد کند، اجتناب ناپذیر است (صدوقی و همکاران ۲۰۱۷).

تلفیق با GIS و روش درون‌یابی

مدل WOFOST به عنوان شبیه‌ساز رشد گیاه در سیستم اطلاعات جغرفیایی به‌کار گرفته می‌شود، و از

[1]Field capacity
[2] Permanent wilting point
[3] Saturation
[4] Critical Moisture
[5] Saturated hydraulic conductivity

این طریق می‌توان مدل شبیه‌سازی را در کل منطقه اجرا نمود و تغییرات مکانی رشد گیاه را که در اثر تغییرات بیوفیزیکی ایجاد می‌شود، بررسی کرد (سرگردی و همکاران ۲۰۱۳). براساس مختصات جغرافیایی نقاط نمونه‌برداری ثبت شده با GPS، لایه وکتور نقطه‌ای در محیط ArcGIS 10.3 ساخته شد و این لایه همراه با شماره، حاوی اطلاعات خاک‌شناسی و عملکرد می‌باشد. مقادیر عملکرد برآورد شده از مدل WOFOST نیاز به تعمیم از طریق توابع درون‌یابی در سطح منطقه شالیزاری دارد. در روش‌های مبتنی بر درون‌یابی، ارزش عددی مکان‌هایی که دارای ارزش ناشناخته‌اند، به‌وسیله داده‌های شناخته شده مکان‌های مجاور شناخته میشوند (محمدی احمد محمودی و همکاران ۲۰۱۵). روش درون‌یابی IDW بر این فرض استوار است که تاثیر پدیده مورد نظر با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. در این روش، از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم برای پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود (جوهستون و همکاران ۲۰۰۱).

سپس به منظور ارزیابی عملکرد مدل WOFOST، به مقایسه نتایج و داده‌های مشاهدات مزرعه‌ای با نرم افزار SPSS پرداخته شد. در صحت‌یابی نتایج حاصل از مدل در برابر مقادیر مشاهده‌ای سطح مزرعه از آزمون تی (P(t)) استفاده گردید. برای بررسی بهتر کارایی مدل در تخمین عملکرد، علاوه بر ترسیم نمودارهای اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر برآورد شده، از شاخص‌های آماری زیر استفاده شد. معادله-های این شاخص‌ها به شرح زیر است:

-درصد خطای نسبی (Er)

$$Er_i = \left(\frac{(P_i - O_i)}{O_i}\right) \times 100$$ [رابطه ۱]

- ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{n}\right]^{1/2}$$ [رابطه ۲]

- ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده (NRMSE)

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{O}} \times 100$$ [رابطه ۳]

-ضریب تبیین (R^2)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - \bar{O})^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$ [رابطه ٤]

در این روابط P_i مقادیر برآورد یا همانندسازی‌شده، O_i مقادیر مشاهده‌ای (اندازه‌گیری‌شده)، $\bar{O}$ میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده (مشاهده‌شده)، n تعداد نمونه‌ها (رقم‌های مشاهده، محاسبه و یا برآورد شده) است. همچنین ضریب (R^2) معیار پراکنش بین مقادیر پیش-بینی و اندازه‌گیری شده است. براساس تعریف، قدرت پیش‌بینی مدل در صورتی که مقدار NRMSE کمتر از ۱۰٪ باشد عالی، اگر بین ۱۰ تا ۲۰ درصد باشد، خوب و اگر بین ۲۰ تا ۳۰ درصد باشد، متوسط ارزیابی می-گردد، مقادیر بالاتر از ۳۰٪ از توانایی ضعیف مدل حکایت دارد (جوهستون و همکاران ۲۰۰۱).

نتایج و بحث

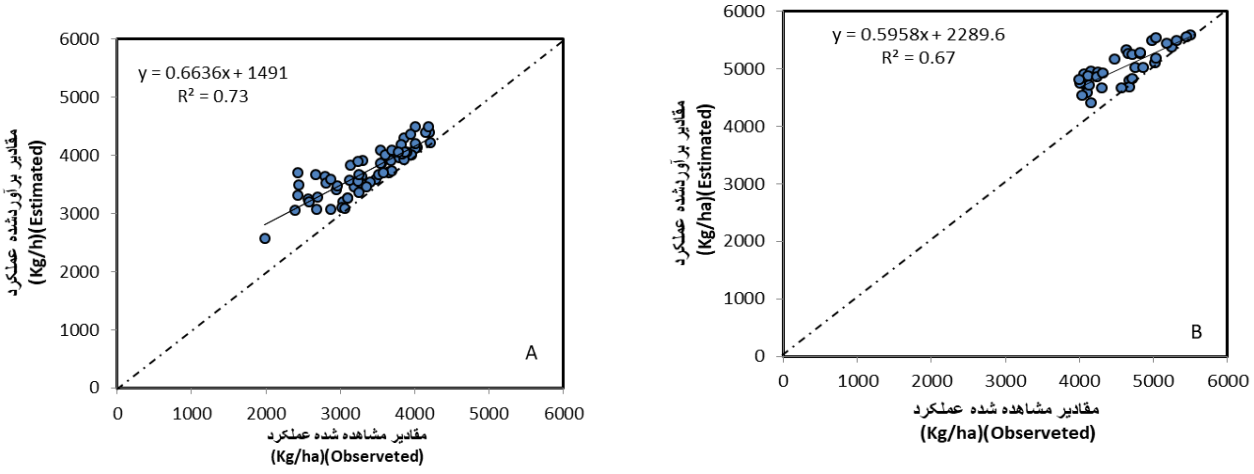
واسنجی مدل

برای استفاده از مدل‌های گیاهی، واسنجی مدل در هر منطقه ضروری است. با توجه به اینکه در اغلب مطالعات مزرعه‌ای اندازه‌گیری تمامی پارامترهای گیاهی

میسر نیست، لذا از فایل گیاهی تهیه شده توسط امیری و همکاران (۲۰۱۱) که برای مدل، در استان گیلان تنظیم گردیده، استفاده شد. همچنین مدل با استفاده از داده-های اندازه‌گیری شده سطح وسیع در سال ۱۳۹۱، برای ارقام بومی و پرمحصول منطقه واسنجی شد، اطلاعات در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول۳ - واسنجی مدل شبیه‌سازی عملکرد برنج برای ارقام بومی و پرمحصول شالیزارهای شفت (۱۳۹۱)

رقم	متغیر گیاهی	میانگین ($Kg.ha^{-1}$)	دامنه ($Kg.ha^{-1}$)	R^2	P(t)	RMSE ($Kg.ha^{-1}$)	NRMSE (%)
محلی	مشاهداتی	۳۳۶۲	۲۲۲۳	–	–	–	–
	تخمینی	۳۷۲۲	۱۹۲۶	۰/۷۳	۱۰/۵۳	٤٥٢	۱۳
پرمحصول	مشاهداتی	٤٦٠٢	۱۵۰۰	–	–	–	–
	تخمینی	۵۰۳۱	۱۱۷۰	۰/٦۷	۹/۷۵	٤٦٤	۱۱



شکل ۲- مقایسه مقادیر عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده با مدل WOFOST در سال ۱۳۹۱. برای ارقام بومی(A) و ارقام پرمحصول (B)

با توجه به ضرایب تبیین به دست آمده (جدول ۳)، به نظر می‌رسد مدل WOFOST به دلیل داشتن ضریب تبیین ۰/۷۳ برای پیش‌بینی عملکرد دانه ارقام محلی بهتر عمل می‌کند. ضریب تبیین معیار همبستگی قابل قبول مقادیر دانه پیش بینی و اندازه‌گیری شده می‌باشد. برای آزمون قدرت پیش‌بینی مدل، از شاخص RMSE، استفاده شد. جدول ۳ و شکل ۲، به ترتیب معادله خط ۱:۱ و RMSE مدل‌های بومی و پرمحصول را نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی مدل WOFOST

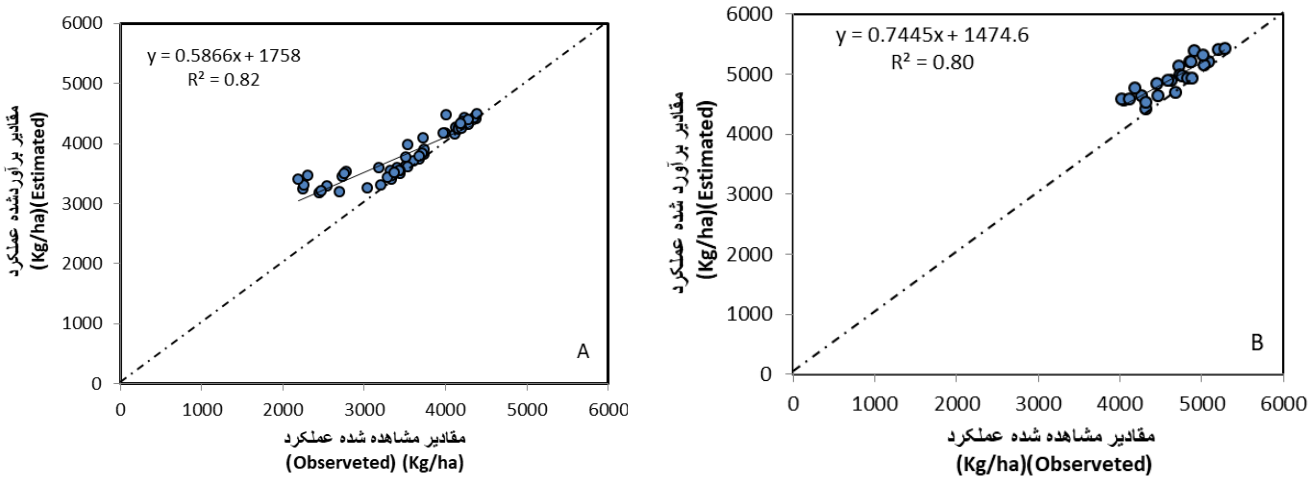
ارزیابی مدل WOFOST با داده‌های سال ۱۳۹۲ انجام گرفت. مقادیر عملکرد دانه مشاهده شده برای

ارقام محلی و پرمحصول به ترتیب در محدوده ۳۸۱۲ و ٤۹۳٥ کیلوگرم در هکتار است. نتایج حاصل از آزمون Paird t-test دودامنه‌ای نشان داد بین مقادیر مشاهده شده عملکرد با مقادیر شبیه سازی شده تفاوت معنی داری وجود ندارد ($P>0.05$). مقدار میانگین مربعات خطا برای هر متغیر در محدوده مطلوب قرار داشت و از ۱۳ درصد تجاوز نکرد (جوهستون و همکاران ۲۰۰۱).

ضریب تبیین نیز همبستگی بالایی بین مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر واقعی نشان می‌دهد ($Sig<0.05$). نتایج پژوهش امیری و همکاران (۲۰۱۱) با ضریب تبیین عملکرد دانه در محدوده ۰/۹۸-۰/۹۵ و طایی و همکاران (۲۰۱۳) با ضریب تبیین ۰/۷۲ برای دانه گندم، مشابه نتایج تحقیق حاضر بود.

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی عملکرد برنج برای دو رقم بومی و پرمحصول شالیزارهای شفت (۱۳۹۲)

رقم	متغیر گیاهی	میانگین ($Kg.ha^{-1}$)	دامنه ($Kg.ha^{-1}$)	R^2	P(t)	RMSE ($Kg.ha^{-1}$)	NRMSE (%)
محلی	مشاهداتی	۳٥۰۲	۲۱۹۰	–	–	–	–
	تخمینی	۳۸۱۲	۱۳۱۷	۰/۸۲	٦/۷۸	٤٤٦	۱۳
پرمحصول	مشاهداتی	٤٦٤۹	۱۲٥۸	–	–	–	–
	تخمینی	٤۹۳٥	۱۰۰٦	۰/۸۰	۸/۷۸	۳۲۸	۷

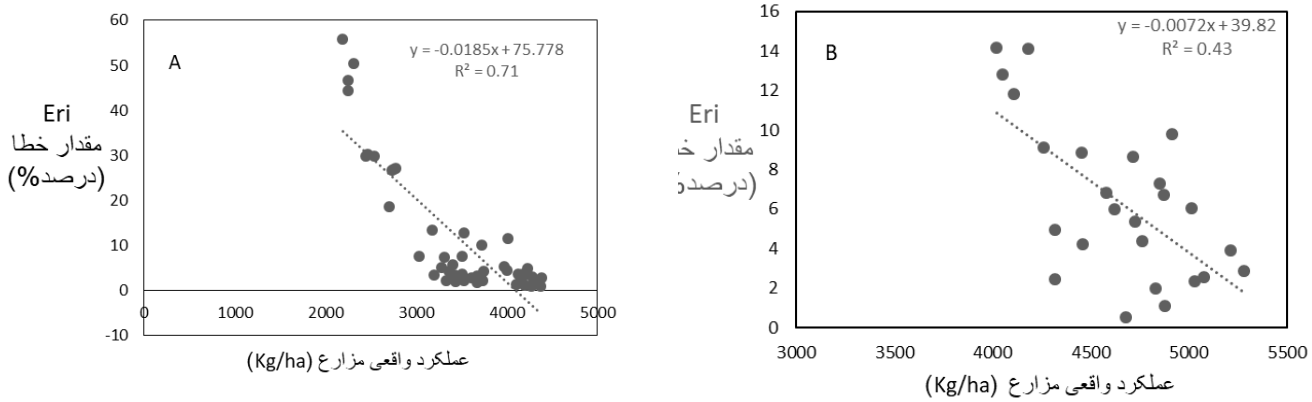


شکل ۳- مقایسه مقادیر عملکرد واقعی و شبیه‌سازی شده با مدل WOFOST در سال ۱۳۹۲. برای ارقام بومی(A) و ارقام پرمحصول (B)

سعادتی و همکاران (۲۰۱۲) در ارزیابی نتایج مدل از NRMSE استفاده نمودند، که بین ۱٤-٥ درصد گزارش شد و با نتایج تحقیق حاضر مطابقت دارد. مدل WOFOST در بسیاری از مطالعات و در مناطق

مختلف برای ارزیابی میزان تولید و شبیه سازی رشد غلات با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است (ثگلار و همکاران ۲۰۱۹، احمدی و همکاران ۲۰۱٤، شاهین رخسار و همکاران ۲۰۱٦). تحقیقات ون زیا و همکاران (۲۰۰٦) و امیری و همکاران (۲۰۱۱) در پیش‌بینی عملکرد برنج بر توانایی این مدل صحه می‌گذارد.

نکته‌ای که حائز اهمیت است، عملکرد مدل در اعتبارسنجی از واسنجی بهتر ارزیابی گردید، زیرا مدل در واسنجی برای شرایط منطقه تعریف می‌شود. این مطلب با تحقیقات بوگارد و همکاران (۲۰۱۳) مبنی بر واسنجی مدل‌های شبیه‌سازی پیش از اجرا در سطح وسیع مطابقت دارد. چنانکه ضریب تبیین مجموعه داده-های سال دوم برای ارقام محلی ۰/۸۲ و ارقام پرمحصول ۰/۸۰ بود که نسبت به سال اول (ارقام محلی ۰/۷۳ و ارقام پرمحصول ۰/٦۷) به مراتب مطلوب‌تر می-باشد. همچنین با در نظر گرفتن آماره‌های مختلفی که محاسبه شد، مشخص گردید مدل برای تخمین عملکرد ارقام محلی در منطقه مورد مطالعه کارایی بهتری دارد. همانطور که تودورویس و همکاران (۲۰۰۹) نیز در تحقیقات خود اشاره کردند، استفاده از این تعداد پارامترهای ورودی می‌تواند دقت نتایج شبیه‌سازی را افزایش دهد، ضمن اینکه لازم است مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل در منطقه انجام پذیرد. شکل ۳ نتایج ارزیابی آماری وگرافیکی مدل WOFOST در تخمین عملکرد برنج منطقه را نشان می‌دهد.



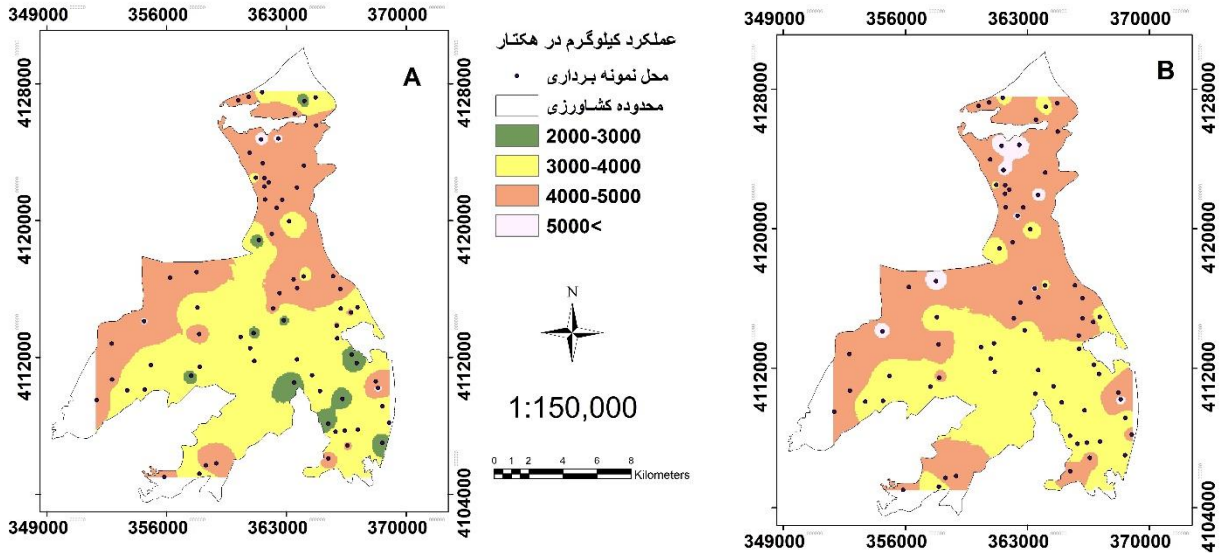
شکل ۴- رابطه خطا با مقدار عملکرد واقعی (Kg/ha) در سال ۱۳۹۲. برای ارقام بومی(A) و ارقام پرمحصول (B)
مقایسه پهنه‌بندی عملکرد برنج واقعی و مقادیر پیش‌بینی شده

آنگونه که از شکل ٤ و رابطه خطا با مقدار عملکرد واقعی به نظر می‌رسد، شیب خط در معادله رگرسیونی موید این مورد است که مدل از اعتبار بالایی برای ارزیابی صفت عملکرد دانه برخوردار می‌باشد. میزان دامنه خطای برآورد عملکرد در شالیزارهای با ارقام پرمحصول ۲۰ درصد، و برای ارقام محلی زیاد بوده و تا ٦۰ درصد می‌رسد این مطلب در شبیه‌سازی ارقام می‌تواند تاثیرگذار باشد. لذا می‌باید عوامل خطا شناسایی و نسبت به کاهش اثر آن تلاش نمود.

با بررسی ساختار مکانی داده‌های موجود، به منظور برآورد مقادیر عملکرد برنج در نقاط نمونه‌برداری نشده از روش وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) استفاده گردید. توان کاربردی در این روش ۲ و تعداد نقاط همسایگی ۱۲ لحاظ گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل

که در قالب نقشه برنج در محیط GIS تولید شد از نظر توزیع مکانی دارای شدت و نوساناتی در سطح محدوده مورد مطالعه بوده است.

شکل (A-۵) نمایی از گستره عملکرد واقعی را نشان می‌دهد، در شمال و غرب شهرستان عملکرد بالاتری نسبت به سایر مناطق وجود دارد و عملکردهای بیش از ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار برنج در نقاطی محدود در حاشیه شمال، شرق و غرب دیده می‌شود. نقشه حاصل از مدل (شکل B-۵) بیانگر توسعه مساحت عملکردهای بیش از ٤۰۰۰ کیلوگرم در هکتار (رده سوم و چهارم) می‌باشد. علی‌رغم اینکه رودخانه‌ها در نیمه شرقی قرار دارند، علت عملکرد پایین‌تر را می‌توان به مشکلات ناشی از طغیان رودخانه، آبگرفتگی و پیامدهای پس از آن نسبت داد. در حالیکه اراضی سایر قسمت‌ها به جهت وجود شبکه آبیاری کمتر تحت نوسانات آبی قرار گرفته‌اند.



شکل ۵- پهنه‌بندی عملکرد واقعی(A) و شبیه سازی شده در محدودیت آب با مدل WOFOST (B) برنج در سطح شهرستان

از مقایسه نقشه‌ها اینگونه استنباط می‌شود در مناطقی که مدل تولید بیش از ۵۰۰۰ کیلوگرم در هکتار را برآورد کرده، تا حدودی عملکرد واقعی نیز بیشتر است. در سطوحی از عملکرد دانه، که مقدار شبیه‌سازی شده بیش از مقدار مشاهده شده است، عمدتاً مربوط به تاریخ کشت‌های تأخیری است. این تاریخ‌ها خارج از محدوده تاریخ کاشت مطلوب در منطقه بوده و غیر معمول هستند.

طایی و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعات پهنه‌بندی عملکرد گندم روش درون‌یابی Spline را برای تخمین عملکرد به‌کار بردند. پژوهش‌های محمدی احمد محمودی و همکاران (۲۰۱۵) و سیدجلالی و همکاران (۲۰۱٦) جهت درون‌یابی عملکرد گندم از روش‌های کریجینگ همراه با متغیر کمکی انجام شد. بر پایه پژوهش‌های صدوقی و همکاران (۲۰۱۷)، کومی بوتنگ و یاکوبو (۲۰۱۰) و وو و همکاران (۲۰۰٦) مدل IDW جهت درون‌یابی داده‌های عملکرد محصول رضایت بخش بوده‌است. همچنین سوزو و همکاران (۲۰۱٦) با ارزیابی روش‌های وزن‌دهی معکوس فاصله بیان کردند،

استفاده از تعداد بهینه نقاط همسایگی، مقدار خطای پیش‌بینی را به حداقل می‌رساند.

در مطالعاتی که در مقیاس بزرگ انجام می‌گیرد، تنوع و تغییرات مکانی عوامل موثر بر عملکرد مانند مدیریت زراعی و نوع خاک می‌تواند در خطای برآورد عملکرد تاثیر داشته باشد، مطلبی که در تحقیق رضایی و همکاران (۲۰۱۵) نیز به آن اشاره شده است. چنانچه از بررسی نقشه‌های بالا و وضعیت فیزیوگرافی منطقه می‌توان دریافت، کاستی‌های عملکرد واقعی در مقایسه با آنچه مدل WOFOST برآورد نموده‌است، ناشی از بارندگی‌های خارج از فصل و آبگرفتگی اراضی در انتهای فصل زراعی بوده، که می‌تواند بر افت عملکرد تاثیرگذار باشد. در حالی که صدوقی و همکاران (۲۰۱۷) مقدار کم برآورد مدل را به کاهش بارندگی و زیادی تشعشع ورودی نسبت دادند، در تحقیقات وو و همکاران (۲۰۰۶) از بارندگی به عنوان عامل محدودیت در تولید نام برده شده‌است.

با توجه به تاثیر عوامل زمان آبیاری، مقدار آبیاری، دما، بارندگی، و تعداد روزهای آفتابی در کشت برنج می‌توان گفت که عوامل مذکور در مناطق خاصی محدودیت ایجاد کرده و در مناطقی دیگر فرصت توسعه را فراهم ساخته‌است. نظر به اینکه دوره رویش گیاه برنج در فصل گرم می‌باشد، بارندگی بهاره می‌تواند مقدار آب دوره جوانه‌زنی و نشاکاری را تامین کند، اما در دوره پنجه‌زنی، خوشه زنی و گلدهی نیاز به آبیاری وجود دارد (فرج زاده و پورنصیر ۲۰۱۰). علاوه بر این، کاظم نژاد و همکاران (۲۰۱۷) در مناطق جلگه‌ای گیلان، نقش عوامل غیر اقلیمی مانند خاک، کود و نهاده-های کشاورزی را بر میزان عملکرد برنج بیش ازعوامل اقلیمی می‌دانند. با توجه به خصوصیات خاک‌های محدوده مطالعاتی به خصوص اراضی واقع درحاشیه رودخانه‌ها که از رسوبات بسیار جوان شکل گرفته‌اند، نیاز به عناصرحاصلخیزکننده وجود دارد. علیرغم کشت و کار شالیزارها طی سالیان متمادی که فقط عمق معینی از خاک را گلخراب و آماده کشت برنج می‌کنند، استفاده از کودهای شیمیایی معین موجب کمبود عناصر کم مصرف گردیده‌است. این مشکل ناشی از وسعت کم سطح زیر کشت و عدم توجیه اقتصادی آزمون خاک از نظر کشاورزان می‌باشد (شکری واحد و همکاران ۲۰۱۸). اگرچه در این پژوهش تأثیر محدودیت آب بر عملکرد پتانسیل مدل در نظر گرفته شد، اما این نکته را باید در نظر گرفت که خاک مزارع شالیزاری ممکن است شرایط بهینه از نظر حفظ رطوبت و عمق مناسب مانند آن چه که در مدل وارد شده است، را نداشته باشد و از نقطه ای به نقطه دیگر متغیر باشد.

در پژوهش‌های مزرعه‌ای با وسعت کم، عملکرد واقعی به عملکرد شبیه‌سازی نزدیک‌تر است، ولی در مقیاس بزرگ (شالیزارهای یک شهرستان) تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده عملکرد محصول، ناشی از خطاهای اندازه‌گیری، ناهمگنی مکانی داده‌های اندازه‌گیری شده و اختلاف در مدیریت زراعی، عدم دقت مدل در شرایط خشکی و نوع خاک است. افزون براین، برخی عوامل موثر بر عملکرد تولید از جمله بیماری‌ها، آفات و کمبود مواد مغذی در مدل در نظر گرفته نشده‌است.

نتیجه‌گیری

بطورکلی پیش‌بینی عملکرد محصول دورنمایی از شرایط تولید در اختیار کشاورزان و مدیران قرار می-دهد. یافته‌های تحقیق حاضر حاکی از عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر مشاهده شده عملکرد دانه برنج با مقادیر شبیه‌سازی مدل WOFOST می‌باشد. شاخص‌های آماری نشان می‌دهد مدل در برآورد عملکرد شالیزارهای با ارقام محلی از خطای کمتری نسبت به ارقام پرمحصول برخوردار است. همچنین نتایج حاصل از اجرای مدل در قالب نقشه در محیط GIS از نظر توزیع مکانی دارای شدت و نوساناتی در سطح محدوده مورد مطالعه بوده است، که می‌تواند در

پاسخ به مقادیر مختلف نهاده‌ها، تاخیر در تاریخ کاشت، بارندگی‌های خارج از فصل و تنوع در خاک و وضعیت فیزیوگرافی اراضی باشد. امروزه کمبود آب زراعی از مشکلات کشت برنج در استان گیلان، می‌باشد. لذا بکارگیری مدل‌های شبیه‌سازی در دستیابی به تولید پایدار برنج و صرفه‌جویی اقتصادی نهاده‌های کشاورزی در منطقه می‌تواند کارگشا باشد. لازم است در آینده برای افزایش اعتماد به مدل‌های گیاهی تحقیقات طی سال‌های متوالی انجام گیرد و کارایی مدل در واکنش به دیگر تیمارهای مدیریتی و کاشت سایر ارقام پرمحصول ارزیابی گردد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از همکاری کارشناسان جهاد کشاورزی شهرستان شفت و استان گیلان در اجرای این طرح تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

منابع مورد استفاده

Aghaeipour N, Pirdashti H, Zavare M, Asadi H and Bahmanyar MA. 2018. Yield gap analysis of rice in relation to soil properties in Foumanat plain. Journal of Crop Production, 10(4): 159-172. (In Persian).

Ahmadi M, Farhadi Bansouleh B and Ghobadi M. 2014. Spatial and Temporal Variations of Barley Yield under Deficit Irrigation Management (Case study: Kermanshah province, Mahidasht region). Water and Soil Science, 23(4): 19-32. (In Persian).

Alizadeh M, afrasiab P, Yazdani M, Liaghat A and Delbari M. 2016. The Effect of Depth and Space Subsurface Drainage on Paddy Field Drainage Intensity (Case Study: Fields of Rice Research Institute of Iran). Journal of Water and Soil Conservation, 23(4), 219-233. (In Persian).

Allahgholipour M, Farshadfar E, Rabiei B. 2014. Morphological and Physico-Chemical Diversity in Different Rice Cultivars by Factor and Cluster Analysis. Cereal Research, 4(4): 293-307. (In Persian).

Amiri E, Rezaei M, Motammed K and Emami S. 2011. Evaluation of the crop growth model WOFOST under irrigation management. Applied field crops research (Pazhohesh & Sazandegi), 24(1): 9-17. (In Persian).

Bafkar A, Boroumandnasab S, Behzad M and Farhadi Bansouleh B. 2012. Estimation of Potential Yield of Grain Maize in Mahidasht, Kermanshah Using WOFOST, a Crop Growth Simulation Model. Iranian Journal of Field Crop Science, 42(4): 799-808. (In Persian).

Baghitabar Firozjaii S, Abbasi R and Mousavi Toghani SY. 2019. Comparison of Irrigation Regimes and Seedling Age Effects on Yield and Yield Components of Rice (Oryza sativa L. var. Tarom Hashemi). Journal of Agricultural Science and Sustainable Production, 29(2): 67-78. (In Persian).

Baruth B, Genovese G, and Leo O, 2007. CGMS version 9.2 User manual and technical documentation. European Commission Joint Research Centre Institute for the Protection and Security of the Citizen, Italy.

Boogaard H, Wolf J, Supit I, Niemeyer S and Van Ittersum M. 2013. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumnsown wheat across the European Union. Field Crops Research, 143: 130-142.

Boogaard HL, Van Diepen CA, Roller RP, Cabrera JM and Van Laar HH. 1998. User's guide for the WOFOST 7.1 crop growth simulation model and WOFOST Control Center 1.5. Technical document 52, DLO Winand Staring Centre, Wageningen, Netherlands.

Ceglar A, Van der Wijngaart R, de Wit A, Lecert R, Boogaard H, Seguini L, Van den Berg M, Toreti A, Zampieri M, Fumagalli D and Baruth B. 2019. Improving WOFOST model to simulate winter wheat phenology in Europe: Evaluation and effects on yield. Agricultural Systems, 168: 168-180.

De Wit A, Boogaard H, Fumagalli D, Janssen S, Knapen R, van Kraalingen D, Supit I, van der Wijngaart R, van Diepen K. 2019. 25 years of the WOFOST cropping systems model. Agricultural Systems, 168, 154–167.

Fao. 2018. Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Farajzadeh M and Pournasir F. 2010. Feasibility of rice cultivation in the Lorestan using geographic information system. Journal of GIS & RS Application in Planning, 1(1): 33-39. (In Persian).

Jamieson PD, Porter JR and Wilson DR. 1991. A test of the computer simulationmodel ARC-WHEAT1 on wheat crops grown in New Zealand. Field Crop. Res. 27: 337–350.

Johnston K, Ver Hoef JM, Krivoruchko K and Lucas N. 2001. Using arcGIS geostatistical analyst. ESRI, Redlands, CA.

Kazemnezhad Z, Farajzade Asl M and Borna R. 2017. Variable analysis of rice crop yield with climate change approach (Case study: Guilan province). Journal of Physical Geography, 10(38): 45-64. (In Persian).

Kumi-Boateng B and Yakubu I. 2010. Predicting the yield of crops using Gis/Gps integration- A case study at Benso oil palm plantation limited. Eur. J. Sci. Res. 42(2): 314- 325.

Mohammadi ahmad mahmoudi E, Kamkar B, Abdi O. 2015. Comparison of geostatistical- and remote sensing data-based methods in wheat yield predication in some of growing stages (A case study: Nemooneh filed, Golestan province). Journal of Crop Production: 8(2), 51-76. (In Persian).

Mokhtari S, Pirmoradian N, Vazifehdoost M, Davatgar N. 2013. Increasing accuracy of regional rice yield estimation by improvement of spatial resolution of leaf area index maps in VSM vegetative model. Cereal Research, 2(3): 209-221. (In Persian).

Moosavi SGh, Mohamadi O, Seghatolesami and Amiri E. 2015. Effect of Nitrogen Fertilizer Rates on Morphological Traits, Yield and Yield Components of Three Cultivars of Rice. 13(1): 146-152. (In Persian).

Resop JP, Fleisher DH, Wang Q, Timlin DJ and Reddy VR. 2012. Combining explanatory crop models with geospatial data for regional analyses of crop yield using field-scale modeling unit. Computers and Electronics in Agriculture, 89:51-61.

Rezaei M, Shahnazari A, Raeini Sarjaz M and Vazifedoust M. 2015. Large-scale Simulation of Rice yield and Water Productivity Using CERES-Rice Model. Iranian Journal of Irrigation & Drainage, 9(2): 283-291. (In Persian).

Saadati Z, Pirmoradian N, Amiri E and Rezaei M. 2012. Assessment of WOFOST Model in Simulating Yields of Two Rice Varieties under Different Irrigation Regimes. Journal of Water Research in Agriculture, 26(3): 323-337. (In Persian).

Sadooghi L, Homaee M, Noroozi A, Asadi Kapourchal S. 2017. Estimating rice yield using VSM model and satellite images in Guilan province. Cereal Research, 6(3): 397-410. (In Persian).

Sargordi F, Farhadi Bansouleh B, Sharifi MA and Van Keulen H. 2013. Spatio-temporal variation of wheat and silage maize water requirement using CGMS model. International Journal of Plant Production, 7(2): 207-223.

Seyed Jalali SA, Sarmadian F, Shorafa M and Mohamadesmaeil Z. 2016. Application of Kriging and Cokriging in Predicting Wheat Yield using Principle Component Analysis. Journal of Crop Production, 9(2): 213-224. (In Persian).

Shahin rokhsar P, Amiri E, Raeesi S and Asadi M. 2016. Response Simulation of Two Soybean Cultivars Response to Deficit Irrigation by WOFOST Model. Journal of Water Research in Agriculture, 30(1): 13-24. (In Persian).

Shokri Vahed H, Davatgar N, Kavoosi M and Babazade Sh. 2018. Evaluation of Rice Plant Response to Nitrogen, Phosphours and Potassium Based on Site-Specific Nutrient Management (SSNM). Journal of Agricultural science and sustainable production, 28(1): 235-248. (In Persian).

Souza EG, Bazzi CL, Khosla R, Uribe-Opazo MA and Reich RM. 2016. Interpolation type and data computation of crop yield maps is important for precision crop production. Journal of Plant Nutrition, 39(4):531-538.

Taei Semiromi J, Ghanbari A, Amiri E, Ghaffari A, Siahsar B and Ayobi Sh. 2013. Agroecological Zoning of Wheat in the Borujen Watershed: Rianfed and Irrigated Wheat Cropping System Evaluation. 22(4): 1-12. (In Persian).

Todorovice M, Albrizio R, Zivotic L and Saab MT. 2009. Assessment of AquaCrop, CropSyst, and WOFOST Models in the simulation of sunflower growth under different water regimws. Agronomy Journal, 101 (3): 509-521.

Vahdati-Rad A, Esfahani M, Mohsenabadi G, Sabouri A and Aalami A. 2016. Effect of Transplanting Times on Rate and Duration of Grain Filling, Final Grain Weight and Grain Yield of Rice Cultivars. Journal of Crop Production and Processing, 6 (19):137-149. (In Persian)

Van Diepen K, Boogaard HL, Supit I, Lazar C, Orlandi S, Van der Goot E and Schapendonk, AHCM. 2004. Methodology of the MARS crop yield forecasting system. Vol. 2: Agro meteorological data collection, processing and analysis. European Commission (EC), Luxembourg, Luxembourg.

Wen-xia X, Li-jiao Y and Guang-huo W. 2006. Simulation and validation of potential growth process in Zhejiang province of China by utilizing WOFOST model. Rice Science, 13(2): 125-130.

Wu D, Yu Q, Lu C and Hengsdijk H. 2006. Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. Agronomy, 24: 226-235.