



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Estimating rice potential yield and fertilizer requirements in Guilan province using GIS and crop modeling

Pooya Aalae Bazkiaee¹, Behnam Kamkar², Ebrahim Amiri^{3*}, Hossein Kazemi⁴ and Mojtaba Rezaei⁵

1. Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
2. Professor, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3. Professor, Department of Water Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran
(*Corresponding author: eamiri57@yahoo.com)
4. Associate Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
5. Research Assistant Professor, Rice Research Institute of Iran, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Rasht, Iran

Comprehensive abstract

Introduction

Rational fertilizer management is crucial in the efficient use of resources that are basically non-renewable and that can have a great environmental impact when used without scientific basis. The availability of scientifically sound decision-making tools for rational fertilization is scarce. FertiliCalc-Fertigate software is a program to determine the consumption of NPK fertilizers during the growing season in a cost-effective and sustainable way. Today, the geographic information system is widely used in spatial planning by determining the distribution of phenomena and combining maps and interpreting ecological data in different stages of planning. Also, the potential yield in an area can be estimated using field tests and simulation models. The ORYZA2000 model is one of the efficient models in investigating rice potential yield, which simulates the growth and development of rice plants under favorable conditions, water limitation and nitrogen limitation. In this study, an attempt was made to estimate the potential yield in Guilan province by integrating the ORYZA2000 model and geographic information system. Also, after determining the potential yield, the NPK fertilizer requirement estimated using FertiliCalc-Fertigate software.

Materials and methods

This research was conducted to investigate the potential yield of rice in Guilan province using the ORYZA2000 model. After calibrating and validating the model at the field test level, the model was used to evaluate the potential yield of rice in 12 synoptic stations of Guilan province. The processing of Landsat 8 satellite images was used to separate rice fields in Guilan province and the studied area was separated using supervised classification. The estimation of potential yield in Guilan province was done by combining GIS environment and ORYZA2000 model. The amount of radiation for the whole area was calculated from the Points Solar Radiation function in GIS. Then, from the relationship between the amount of radiation received during the rice growing season and the potential yield estimated in the ORYZA2000 model, the potential yield was calculated and generalized to the whole area based on the agricultural land use of Guilan province. Fertilizer requirement of lands was calculated using FertiliCalc-Fertigate 1.0 software. In order to evaluate the fertilizer requirement at the province level, first, 320 points were randomly selected in the rice cultivation area of the province and the fertilizer requirement of each point was determined based on the required information,



including potential yield and soil information. Then the points were interpolated and the study results were presented in the form of fertilizer requirement maps.

Research findings

The results showed that the amount of radiation in rice fields in the Guilan area, during the growing season, was between 2552 to 6259 MJ/m² (average 4405 MJ/m²) in 2016 and from 2423 to 5337 MJ/m² (average 3880 MJ/m²) in 2017. The lowest amount of received radiation was in the central areas of the basin, which can be due to the topographic conditions of the area. Using the regression relationship between radiation during the growing season and potential yield, a potential yield map of rice fields was prepared. Based on the results, potential yield in rice fields of Guilan province was between 4416 to 7038 kg/ha (with an average of 5160 kg/ha) in 2016 and between 4558 to 7180 kg/ha (with an average yield of 5302 kg/ha) in 2017. Based on these results, the combined approach of ORYZA2000 model and GIS has a good ability to simulate potential yield in the study area. Estimation the levels of fertilizer requirements in the rice fields of Gilan province showed that in order to achieve the potential yield, 262 to 274 kg/ha of potassium fertilizer, 116 to 171 kg/ha of nitrogen fertilizer, and 8 to 12 kg/ha of phosphorus fertilizer are needed. Based on the calculated fertilizer requirement, potassium has played the most important role in achieving the potential yield of rice in the province.

Conclusion

It seems that in many areas of Guilan province, the application of NPK levels in an inappropriate amount and time causes a decrease in rice yield. The results of this research can recommend the appropriate fertilizer consumption pattern to farmers through rice experts so as to achieve maximum yield and avoid problems such as phosphorus leaching due to excessive consumption.

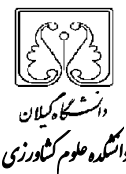
Keywords: Food security, ORYZA2000 model, Potential yield

Received: December 5, 2021

Accepted: May 15, 2022

Cite this article:

Aalae Bazkiaee, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H. and Rezaei, M. 2022. Estimating rice potential yield and fertilizer requirements in Guilan province using GIS and crop modeling. *Cereal Research* 12 (1): 79-97.



برآورد عملکرد پتانسیل برنج و نیاز کودی در استان گیلان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل سازی گیاه زراعی

پویا اعلایی بازکیایی^۱، بهنام کامکار^۲، ابراهیم امیری^{۳*}، حسین کاظمی^۴ و مجتبی رضایی^۵

۱- دانشجوی دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۲- استاد، گروه اگروتکنولوژی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی آب، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران (* نویسنده مسئول: eamiri57@yahoo.com)

۴- دانشیار، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

۵- استادیار پژوهش، موسسه تحقیقات برنج کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت، ایران

چکیده جامع

مقدمه: مدیریت منطقی در استفاده بهینه از منابع کود که اساساً تجدیدناپذیر هستند و در صورت استفاده بدون پایه علمی می‌توانند تأثیرات زیست‌محیطی زیادی داشته باشند، بسیار مهم است. ابزارهای تصمیم‌گیری علمی محدودی جهت کاربرد منابع کود وجود دارد. نرم‌افزار FertiliCalc-Fertigate برنامه‌ای جهت محاسبه میزان مصرف کودهای NPK در طول فصل رشد به صورت مقرون به صرفه و پایدار است. امروزه سامانه اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی مکانی با تعیین پراکنش پدیده‌ها و روی هم‌گذاری نقشه‌ها و تفسیر داده‌های بوم‌شناختی، در مراحل مختلف برنامه‌ریزی کاربرد گسترده‌ای دارد. همچنین پتانسیل عملکرد در یک منطقه را می‌توان با استفاده از آزمایش‌های میدانی و مدل‌های شبیه‌سازی برآورد کرد. مدل ORYZA2000، یکی از مدل‌های کارآمد در بررسی پتانسیل عملکرد برنج است که رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط مطلوب، محدودیت آبی و محدودیت نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند. در این مطالعه سعی شد تا با تلفیق مدل ORYZA2000 و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، عملکرد پتانسیل در سطح استان گیلان برآورد شود. همچنین پس از تعیین عملکرد پتانسیل، میزان نیاز کودهای NPK نیز با استفاده از نرم‌افزار FertiliCalc-Fertigate برآورد شد.

مواد و روش‌ها: این پژوهش به منظور بررسی عملکرد پتانسیل برنج در سطح استان گیلان با استفاده از مدل ORYZA2000 صورت گرفت. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در سطح آزمایش مزرعه، از این مدل جهت ارزیابی عملکرد پتانسیل برنج در ۱۲ ایستگاه همدیدی استان گیلان استفاده شد. از پردازش تصاویر ماهواره لندست ۸ جهت تفکیک مزارع برنج استان گیلان استفاده و محدوده مورد مطالعه با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده جدا شد. برآورد عملکرد پتانسیل در سطح استان گیلان با تلفیق محیط GIS و مدل ORYZA2000 صورت گرفت. میزان تابش برای کل حوزه از تابع Points Solar Radiation در GIS محاسبه شد. سپس از رابطه بین مقدار تابش رسیده طی فصل رشد برنج و عملکرد پتانسیل برآورد شده در مدل ORYZA2000، عملکرد پتانسیل محاسبه و بر مبنای کاربری زراعی استان گیلان به کل سطح تعمیم داده شد. نیاز کودی زمین‌ها با استفاده از نرم‌افزار FertiliCalc-Fertigate 1.0 محاسبه شد. جهت بررسی نیاز کودی در سطح استان، ابتدا تعداد ۳۲۰ نقطه در سطح محدوده کشت برنج استان به صورت تصادفی انتخاب و در هر نقطه بر اساس اطلاعات مورد نیاز از جمله

میزان عملکرد پتانسیل و اطلاعات خاک، نیاز کودی هر نقطه تعیین شد. سپس درون‌یابی نقاط صورت گرفت و نتایج مطالعه به صورت نقشه‌های نیاز کودی ارائه شد.

یافته‌های تحقیق: نتایج این مطالعه نشان داد که میزان تابش مزارع برنج طی فصل رشد در منطقه گیلان از ۲۵۵۲ تا ۶۲۵۹ (به‌طور میانگین ۴۴۰۵ مگاژول بر مترمربع) در سال ۱۳۹۵ و از ۲۴۲۳ تا ۵۳۳۷ (به‌طور میانگین ۳۸۸۰ مگاژول بر مترمربع) در سال ۱۳۹۶ بود. کم‌ترین میزان تابش دریافتی در مناطق مرکزی حوزه بود که دلیل آن می‌تواند شرایط توپوگرافی منطقه باشد. با استفاده از رابطه رگرسیونی بین تابش رسیده طی فصل رشد و میزان عملکرد پتانسیل، نقشه عملکرد پتانسیل مزارع برنج تهیه شد. بر اساس نتایج، عملکرد پتانسیل در مزارع برنج استان گیلان در سال ۱۳۹۵ بین ۴۴۱۶ تا ۷۰۳۸ کیلوگرم در هکتار (با میانگین ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) و در سال ۱۳۹۶ بین ۴۵۵۸ تا ۷۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (با میانگین عملکرد ۵۳۰۲ کیلوگرم در هکتار) متغیر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که رهیافت تلفیق مدل ORYZA2000 و GIS از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. بررسی سطوح نیاز کودی در زمین‌های برنج استان گیلان نیز نشان داد که جهت دستیابی به عملکرد پتانسیل، مصرف ۲۶۲ تا ۲۷۴ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم، ۱۱۶ تا ۱۷۱ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۸ تا ۱۲ کیلوگرم در هکتار کود فسفر نیاز است. همچنین، بر اساس نیازهای کودی محاسبه شده در این مطالعه، پتاسیم مهم‌ترین نقش را جهت دستیابی به عملکرد پتانسیل برنج در سطح استان گیلان داشت.

نتیجه‌گیری: به‌نظر می‌رسد در بسیاری از مناطق استان گیلان، کاربرد کودهای NPK در مقدار و زمان نامناسب سبب کاهش عملکرد برنج می‌شود. نتایج این تحقیق می‌تواند الگوی مصرف مناسب کود را مشخص کند تا از طریق کارشناسان برنج به کشاورزان توصیه و ضمن دستیابی به حداکثر عملکرد برنج، از مشکلاتی چون آبلشویی فسفر در اثر مصرف بیش از حد آن خودداری شود.

واژه‌های کلیدی: امنیت غذایی، عملکرد پتانسیل، مدل ORYZA2000

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۵

نحوه استناد به این مقاله:

اعلایی بازکیایی، پویا، کامکار، بهنام، امیری، ابراهیم، کاظمی، حسین و رضایی، مجتبی. ۱۴۰۱. برآورد عملکرد پتانسیل برنج و نیاز کودی در استان گیلان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی گیاه زراعی. *تحقیقات غلات* ۱۲ (۱): ۷۹-۹۷.

مقدمه

مدل‌های گیاهان زراعی برای تخمین عملکرد پتانسیل گیاه زراعی از مقیاس مزرعه‌ای تا مقیاس منطقه‌ای یا ملی استفاده می‌شوند (Aggarwal *et al.*, 1995; Yaghoobi *et al.*, 2017). اگرچه بیش‌تر مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی می‌توانند عملکرد پتانسیل را در شرایط آبی و دیم شبیه‌سازی کنند، اما فقط تعداد کمی از آن‌ها می‌توانند با دقت زیاد اثر سایر تنش‌ها مثل کمبود نیتروژن و سایر عناصر غذایی و خسارت ناشی از آفات، حشرات، بیماری‌ها و علف‌های هرز قوی را شبیه‌سازی کنند (Torabi *et al.*, 2012). در نظام‌های تولید شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های مختلف، سه سطح تابش محدود، آب محدود و عنصر محدود تولید جهت بررسی قابلیت تولید گیاهان زراعی پیشنهاد شده است (Bouman *et al.*, 2001). در سطح تابش محدود، رشد در طول زندگی گیاه با قابلیت دسترسی فراوان به آب و مواد غذایی اتفاق می‌افتد. در چنین شرایطی، عملکرد پتانسیل رقم به عوامل تعیین کننده عملکرد مثل تابش خورشیدی، دما، دی‌اکسید کربن و ویژگی‌های ژنوتیپی بستگی دارد (Torabi *et al.*, 2012). اعتبار مدل‌های شبیه‌سازی به ارزیابی آن‌ها تحت شرایط مزرعه وابسته است. این مدل‌های شبیه‌سازی بر اساس روابط ریاضی استوار هستند که با استفاده از درک فرآیندهای فیزیولوژیک گیاه حداکثر عملکرد زیست‌توده را تعیین می‌کنند و قسمتی از این عملکرد را به دانه اختصاص می‌دهند. این شبیه‌سازی‌ها در مقابل مطالعات مزرعه‌ای (که سعی می‌شود تحت شرایط مطلوب و کامل مدیریتی انجام شود و البته هرگز چنین نخواهد بود)، ارزیابی می‌شوند (Lobell *et al.*, 2009).

هم‌اکنون بخش عمده‌ای از غذای جهان از ۲۰ گونه زراعی به دست می‌آید و در این میان غلات به‌تنهایی ۸۰ درصد، و گندم، برنج و ذرت ۶۰ درصد از غذای مردم جهان را تأمین می‌کنند (Ahmadi Alipour, 2017). در ایران نیز غلات با متوسط تولید سالانه ۱۴/۷ میلیون تن رتبه اول را در بین تولیدات کشاورزی به‌خود اختصاص می‌دهند (Hajjarpour *et al.*, 2016). عملکرد واقعی گندم، ذرت و برنج در جهان به‌ترتیب ۶۴، ۵۰ و ۶۴ درصد پتانسیل عملکرد آن‌ها گزارش شده است (Neumann *et al.*, 2010). گودفرای و همکاران (Godfray *et al.*, 2010) عملکرد

واقعی برنج را در جهان ۶۰ درصد عملکرد بالقوه آن گزارش کردند. بنابراین به‌نظر می‌رسد پتانسیل زیادی برای افزایش تولید غلات وجود دارد (Hajjarpour *et al.*, 2016).

عملکرد پتانسیل را می‌توان به سه طریق محاسبه کرد؛ روش اول شبیه‌سازی عملکرد توسط مدل‌های گیاهان زراعی، روش دیگر اندازه‌گیری مستقیم عملکرد در مزارع آزمایشی کنترل شده و بدون عوامل محدودکننده تحت نظارت متخصصین زراعت، و روش سوم بیش‌ترین عملکرد ثبت شده توسط کشاورزان است که به‌نحوی می‌تواند نشان‌دهنده عملکرد پتانسیل منطقه باشد (Meghdadi *et al.*, 2014). باتیا و همکاران (Bhatia *et al.*, 2008) با استفاده از مدل CROPGRO عملکرد پتانسیل و خلاء عملکرد سویا دیم را برای ۲۱ منطقه واقع در هندوستان ارزیابی کردند و نشان دادند که به‌طور متوسط عملکرد پتانسیل این مناطق ۳۰۲۰ کیلوگرم در هکتار و میانگین خلاء عملکرد در حدود ۷۰٪ است و به‌عبارت دیگر، فقط ۳۰٪ از عملکرد پتانسیل مزارع برداشت می‌شود. کاسیه و همکاران (Kassie *et al.*, 2014) با به‌کارگیری دو مدل شبیه‌سازی رشد گیاه زراعی DSSAT و WOFOST به توصیف تغییرپذیری عملکرد ناشی از اقلیم و خلاء عملکرد ذرت پرداختند. همچنین در مطالعات مشابهی، برآورد عملکرد پتانسیل ۸۴۷ مزرعه در چین با مدل ORYZA v.3 (Deng *et al.*, 2019)، تغییرات عملکرد پتانسیل و عملکرد آب محدود و نیتروژن محدود برنج با مدل CERES-Rice (Zhang *et al.*, 2019)، عملکرد پتانسیل در سامانه کشت گندم-برنج در پاکستان (Khaliq *et al.*, 2019)، بررسی مکانی-زمانی عملکرد پتانسیل برنج در کشت دوگانه با مدل CERES-Rice در چین (Guo *et al.*, 2019)، اثرات تغییر اقلیم روی عملکرد پتانسیل برنج دیم با مدل گروه DSSAT در تایلند (Boonwichai *et al.*, 2019) گزارش شده است.

مدل ORYZA2000، یکی از مدل‌های کارآمد در بررسی پتانسیل عملکرد برنج است که رشد و نمو گیاه برنج را در شرایط مطلوب، محدودیت آبی و محدودیت نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند. این مدل شبیه‌سازی تولید ماده خشک گیاهی و میزان رشد فیزیولوژیک برنج را به‌طور روزانه انجام می‌دهد (Bouman *et al.*, 2001). محققان مختلف نشان داده‌اند که مدل ORYZA2000 مقدار عملکرد دانه را با

مطالعه عملکرد پتانسیل برنج در این استان از اهمیت بالایی برخوردار است. در این تحقیق، عملکرد پتانسیل و نیاز کودی برنج در استان گیلان با استفاده از مدل ORYZA2000، رهیافت GIS و نرم‌افزار FertiliCalc-Fertigate 1.0 مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌منظور بررسی عملکرد پتانسیل برنج در سطح استان گیلان با استفاده از مدل ORYZA2000 صورت گرفت. اعتبارسنجی و واسنجی مدل بر اساس تیمارهای آبیاری و تاریخ کاشت طی فصل‌های زراعی ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در موسسه تحقیقات برنج کشور (رشت) انجام شد. طول و عرض هر کرت آزمایشی معادل ۳/۵ متر و فاصله کشت نشاها ۲۰×۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. آبیاری نوبتی به‌عنوان عامل اصلی در چهار سطح غرقاب دائمی (I1)، دور ۵ (I2)، ۱۰ (I3) و ۱۵ روز (I4) و تاریخ کاشت در سه سطح (اول اردیبهشت، ۲۰ اردیبهشت و ۱۰ خرداد) به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شد. کلیه عملیات زراعی و یادداشت‌های موردنیاز نظیر تاریخ بذپاشی در خزانه، نشاکاری، گل‌دهی و برداشت طبق دستورالعمل مؤسسه تحقیقات برنج کشور انجام شد. در زمان رسیدگی، مقدار عملکرد دانه و عملکرد زیستی با برداشت پنج مترمربع از وسط هر کرت با حذف اثر حاشیه‌ای اندازه‌گیری شد. پس از واسنجی و اعتبارسنجی مدل در سطح آزمایش مزرعه، از مدل مذکور جهت ارزیابی عملکرد پتانسیل برنج در ۱۲ ایستگاه همدیدی استان گیلان استفاده شد. نتایج و مقادیر مولفه‌های مدل در واسنجی و اعتبارسنجی مدل توسط اعلایی بازکیایی و همکاران (Aalae Bazkiaee et al., 2019) گزارش شده است.

پردازش تصاویر ماهواره جهت تفکیک مزارع برنج استان گیلان

به‌منظور تفکیک مزارع برنج از تصویر ماهواره لندست ۸ دارای ۱۱ باند با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده شد که مربوط به تاریخ ۲۹ خرداد سال ۱۳۹۵ بوده و از پایگاه اطلاعاتی ناسا (www.usgs.com) تهیه شدند. در مرحله اول تصاویر خام برای پردازش‌های اولیه مورد بررسی قرار گرفتند. داده‌های ماهواره‌ای سنجنش از دور تحت تاثیر دو

دقت خوبی شبیه‌سازی می‌کند. ساندرجان و سادھیر (Soundharajan and Sudheer, 2013)، تاری و همکاران (Tari et al., 2017)، کائو و همکاران (Cao et al., 2017) و وانگ و همکاران (Wang et al., 2017)، ریشه میانگین مربعات خطای نرمال شده مقدار عملکرد دانه را در ارقام مختلف برنج برای شرایط واسنجی و اعتبارسنجی به‌ترتیب ۴، ۶، ۵-۲۰ و ۱۵-۹ درصد به‌دست آوردند.

تخمین زده شده است که تا سال ۲۰۵۰ تولید برنج بایستی بالغ بر ۶۰ درصد افزایش یابد که این افزایش تولید نیازمند اصلاح ارقام و اعمال مدیریت‌های صحیح زراعی است (Hussain et al., 2020). برای دستیابی به عملکرد بالا، حفظ حاصلخیزی خاک که از طریق مصرف متعادل کودهای شیمیایی حاصل می‌شود، ضروری است (Qaswar et al., 2020). سامانه اطلاعات جغرافیایی در برنامه‌ریزی مکانی با تعیین پراکنش پدیده‌ها و روی هم‌گذاری نقشه‌ها و تفسیر داده‌های بوم‌شناختی، در مراحل مختلف برنامه‌ریزی کاربرد دارد (Badsar, 2014). امروزه بررسی مکانی پاسخ گیاهان به میزان مصرف کود و میزان نیاز کودی محصولات زراعی می‌تواند نقش مؤثری در افزایش عملکرد این محصولات در راستای کشاورزی دقیق داشته باشد (Kahabka et al., 2004). از جمله مطالعات صورت گرفته در زمینه بررسی مکانی مصرف کودهای شیمیایی، می‌توان به بررسی مکانی پاسخ ذرت به کود نیتروژن (Kahabka et al., 2004)، تعیین الگوی مکانی مصرف کود شیمیایی نیتروژن و فسفر و کود حیوانی در مناطق کشت ۱۷۵ گونه زراعی جهان (Potter and Ramankutty, 2010) و بررسی مکانی تنوع مواد مغذی خاک و کاربرد آن در مصرف مکان‌مند کود شیمیایی (Fu et al., 2010) اشاره کرد.

بر اساس آمار سازمان خواربار جهانی (FAO, 2018)، ایران در سال ۲۰۱۸ دارای ۵۸۰ هزار هکتار سطح زیر کشت و ۱/۹۹ میلیون تن تولید برنج بوده و واردات برنج ایران در این سال حدود ۱/۲ میلیون تن بوده است. این ارقام نشان می‌دهند که تولید داخلی کفایت تأمین نیاز کشور را ندارد و بخشی از نیاز برنج مصرفی از طریق واردات تأمین می‌شود. استان گیلان بعد از مازندران، بیش‌ترین سطح زیر کشت برنج (۲۳۸ هزار هکتار) را در بین استان‌های کشور دارد (Ministry of Agriculture-Jahad, 2022). بنابراین

طبقه‌بندی (ضریب کاپا و ضریب دقت عمومی به ترتیب ۰/۸۷ و ۹۰ درصد) توسط اعلامی بازکیایی و همکاران (Aalae & Bazkiaee *et al.*, 2022) گزارش شد.

برآورد عملکرد پتانسیل بر اساس مدل ORYZA2000 اطلاعات موردنیاز مدل ORYZA2000

مدل ORYZA2000، رشد، نمو و فنولوژی گیاه برنج غرقابی را در شرایط تولید بالقوه، محدودیت آبی، محدودیت نیتروژن و محدودیت هم‌زمان آب و نیتروژن شبیه‌سازی می‌کند (Bouman *et al.*, 2001). شبیه‌سازی در کوتاه‌ترین فاصله زمانی که معمولاً یک روز است، آغاز می‌شود. در شرایط بالقوه تولید، سرعت رشد یک گیاه زراعی بر مبنای تابش، دما و ویژگی‌های گیاهی برای فرآیندهای فنولوژیک، مورفولوژیک و فیزیولوژیک تعیین و میزان کل فتوسنتز روزانه گیاه بر اساس میزان تابش، دما و شاخص سطح برگ محاسبه می‌شود. بر اساس ویژگی‌های فتوسنتزی تک‌برگ و بر اساس مقدار شاخص سطح برگ، فتوسنتز کل و تاج‌پوشش محاسبه و ماده خشک تولید شده بین بخش‌های مختلف گیاه تقسیم می‌شود. ضرایب تخصیص نیز بر اساس توابع مربوطه که به فنولوژی گیاه بستگی دارند، در مدل گنجانده می‌شود (Bouman *et al.*, 2001). گیاه برنج تحت تأثیر خشکی واکنش‌هایی مثل لوله‌شدن برگ، عقیم‌شدن گل، کاهش توسعه برگ، افزایش عمق ریشه‌دهی، تغییر اختصاص ماده خشک، تأخیر توسعه دوره رشد رویشی، افزایش پیری برگ و کاهش میزان فتوسنتز را نشان می‌دهد. مدل، اثرات تنش خشکی را با توجه به میزان مکش آب در خاک، بر رشد گیاه محاسبه می‌کند (Wopereis, 1993; Wopereis *et al.*, 1996). در این مدل میزان نیاز روزانه نیتروژن بر اساس میزان رشد و مقدار نیتروژن اندام‌های گیاهی محاسبه و تمام نیتروژن اختصاص‌یافته به خوشه از طریق انتقال از برگ‌ها، ساقه‌ها و ریشه‌ها به خوشه تأمین می‌شود. انتقال زمانی شروع می‌شود که خوشه شکل می‌گیرد (Bouman *et al.*, 2001). در این مدل، تمامی نیتروژن خاک اطراف ناحیه ریشه برای گیاه قابل‌دسترس در نظر گرفته شده است.

جهت محاسبه حداکثر جذب نیتروژن، مقدار کود نیتروژن در مقدار بازیافت نیتروژن ضرب می‌شود. مقدار بازیافت نیتروژن در زمان انتقال نشا ۰/۳۵ و از زمان ظهور خوشه تا انتهای دوره رشد ۰/۷۵ است. مقدار نیتروژن برگ

نوع خطای اصلی هستند: خطای هندسی که موقعیت، ابعاد و شکل تصویر را تغییر می‌دهد و خطای رادیومتریک که مقدار سلول نوری را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای این کار تصاویر از نظر وجود خطای هندسی و پرتوسنجی (رادیومتری و اتمسفری) بررسی و مشخص شد که تصاویر از نظر هندسی یا به عبارتی عملیات زمین‌مرجع کردن نیازی به اصلاح نداشتند. پیش از به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل‌های رقومی نیز کیفیت آنها از نظر وجود خطای هندسی و رادیومتری مانند راه‌راه شدگی، سلول نوری تکراری، خطای حذف‌شدن یک سطر یا یک ستون و خطای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر، بررسی و مشخص شد که از این نظر نیز نیازی به تصحیح خطاهای هندسی و اتمسفری وجود نداشت. برای تصحیح رادیومتری، کالیبراسیون رادیومتری و بررسی خلاء عملکرد از نرم‌افزارهای Envi 5.3 و EDRISI نسخه TERRset استفاده شد. از ترکیب سه باند مختلف و اختصاص سه رنگ قرمز (باند شماره ۴)، سبز (باند شماره ۳) و آبی (باند شماره ۲) (RGB) به هر باند، تصویر رنگی واقعی ساخته شد. از تصاویر رنگی واقعی بر اساس روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در نرم‌افزار Envi 5.3 نیز جهت جداسازی کاربری‌های مختلف زمین‌ها استفاده شد.

تهیه نقشه مزارع برنج به روش نظارت‌شده

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و استخراج زمین‌های برنج، با استفاده از ۱۰۷۸ نقطه کنترل زمینی از منطقه مورد مطالعه (به‌عنوان نمونه تعلیمی و آزمون) از طریق بررسی میدانی و ثبت مختصات زمین‌ها به‌کمک دستگاه GPS (GARMIN550) و نیز داده‌های سازمان جهاد کشاورزی انجام شد. ۷۰ درصد نقاط برای ایجاد طبقات تصویر ماهواره و ۳۰ درصد باقیمانده برای اعتبارسنجی طبقه‌بندی نظارت شده VSM به‌دست آمده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (Support Vector Machine) استفاده شد (Alizadeh & Dehkordi, 2020). برای استخراج مزارع برنج، شش دسته کاربری شامل برنج، جنگل، سطوح آبی، خاک بدون پوشش، مناطق شهری و زمین‌های باغی تفکیک و ۷۰، ۷۰، ۷۱، ۲۶۱، ۱۹۷ و ۸۷ نقطه به‌ترتیب برای کاربری برنج، جنگل، سطوح آبی، خاک بدون پوشش، مناطق شهری و زمین‌های باغی در نظر گرفته شد. صحت طبقه‌بندی با استفاده از ضریب کاپا و ضریب دقت عمومی بررسی شد. نتایج این

2019) گزارش شد. همچنین روز خزانگی، تعداد روز در خزان، تعداد نشا در کپه، تعداد کپه در مترمربع، روز ظهور خوشه، مقدار و زمان آبیاری و در مورد برنج عملکرد دانه و عملکرد زیستی به‌عنوان پارامترهای مدیریتی جهت اجرای مدل در نظر گرفته شد. اطلاعات گیاهی ضرایب تخصیص گیاه، سطح ویژه و سرعت مرگ برگ در مدل در جدول (۱) ارائه شده است. جهت تهیه اطلاعات هواشناسی برای مدل ORYZA2000 اطلاعات اولیه از ایستگاه‌های هم‌دیدگی و اقلیم‌شناسی استان گیلان (شکل ۱) از اداره هواشناسی استان گیلان تهیه و برای استفاده در مدل آماده شدند.

بررسی عملکرد پتانسیل با مدل ORYZA2000

بررسی عملکرد پتانسیل برنج در ۱۲ ایستگاه هم‌دیدگی استان گیلان انجام شد. برای هر ایستگاه سناریوی عملکرد پتانسیل در مدل ORYZA2000 به قرار زیر اجرا شد: هیچ نوع محدودیتی از نظر آب و عناصر غذایی برای گیاه زراعی وجود ندارد و توان تولید تحت تأثیر تابش و دی‌اکسید کربن (۳۴۰ پی‌پی‌ام) است و دما نقش تعدیل‌کننده دارد. بنابراین در مدل برای عملکرد پتانسیل، برای آب از شرایط پتانسیل و برای کاربرد نیتروژن از حالت بدون محدودیت استفاده شد. با توجه به تاریخ کاشت رایج در منطقه، برای همه ایستگاه‌ها تاریخ کاشت ۲۰ اردیبهشت در نظر گرفته شد. رقم مورد استفاده نیز رقم هاشمی و تراکم بوته در مترمربع ۲۵ تعیین شد.

طی مرحله رشد با رابطه‌ای نمایی بر رشد سطح برگ‌ها تأثیر می‌گذارد (Drenth *et al.*, 1994). تمامی مؤلفه‌های مدل ORYZA2000 در ساختار اطلاعاتی که به‌همراه مدل ارائه می‌شود، وجود دارد و کاربر می‌تواند آن‌ها را تغییر دهد، اما حدود ۱۰ درصد از مؤلفه‌های گیاهی خاص هر رقم بوده و سایر مؤلفه‌ها در تمامی ارقام برنج یکسان هستند (Bouman *et al.*, 2001). این مؤلفه‌ها شامل سرعت توسعه فنولوژیک، عوامل تفکیک ماده خشک، کسر ذخیره ساقه و سرعت رشد نسبی، سطح ویژه و سرعت مرگ برگ هستند. برای واسنجی مؤلفه‌های گیاهی ORYZA2000 از دو برنامه DRATES و PARAM به‌ترتیب برای واسنجی سرعت توسعه فنولوژیک و واسنجی سایر مؤلفه‌های مختص هر رقم استفاده شد.

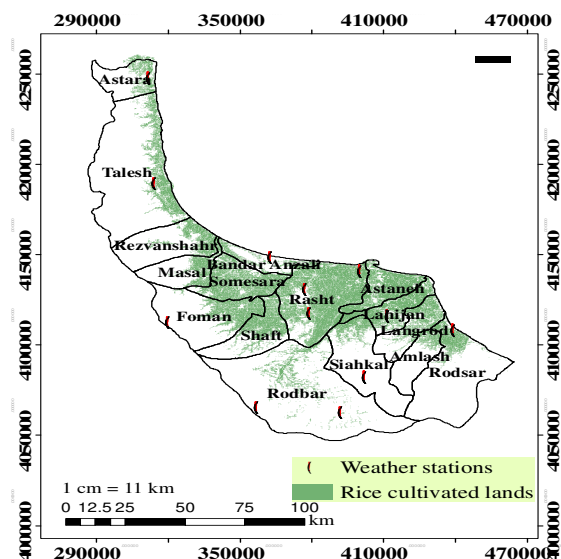
داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل حداقل و حداکثر دمای روزانه، میزان بارندگی، ساعات آفتابی و رطوبت نسبی سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ تهیه شد. ویژگی‌های فیزیکی و هیدرولیکی مورد نیاز خاک شامل مؤلفه‌های هیدرولیکی معادله ون‌گنوختن لایه‌های خاک (مؤلفه‌های α ، n و λ) که با اندازه‌گیری واقعی رطوبت در نقاط اشباع (θ_{SAT})، ظرفیت مزرعه‌ای (θ_{FC})، نقطه پژمردگی دائم (θ_{PWP})، هدایت هیدرولیکی اشباع (K_{SAT}) و مقدار نشت و نفوذ عمقی و به‌کمک مدل RETC محاسبه شد (Amiri and Rezaei, 2010). مقادیر پارامترهای مدل در واسنجی و اعتبارسنجی و مولفه‌های هیدرولیکی خاک جهت استفاده در مدل توسط اعلائی بازکیایی و همکاران (Aalae Bazkiaee *et al.*,)

جدول ۱- اطلاعات گیاهی ضرایب تخصیص گیاه، سطح ویژه و سرعت مرگ برگ در مدل

Table 1. Vegetation information, Plant allocation coefficients, specific surface and leaf death rate in the model

Plant growth stage DVS [†]	Death rate of leaves DRLVT(d ⁻¹)	Special leaf area SLA (ha/kg)	Allocation of aerial organs			
			dry matter to the aerial organs FSHTB	separation factor to leaf FLVTB	separation factor to shoot FSTTB	separation factor to panicle FSOTB
0.000	0.000	0.0032	0.500	0.500	0.500	0.000
0.330		0.0025				
0.430			0.750			
0.500				0.600	0.400	
0.600	0.005					
0.650		0.002				
0.700				0.450	0.550	0.000
1.000	0.045		1.000	0.100	0.700	0.200
1.600	0.050			0.000	0.000	1.000
2.100	0.050	0.001				
2.500	0.050	0.001	1.000	0.000	0.000	1.000

[†] DVS = 0, germination stage; DVS = 2, physiological maturity stage.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده در مدل ORYZA2000
Figure 1. Geographical location of the stations used in ORYZA2000 model

جهت دستیابی به عملکرد پتانسیل برآورد شد. نیاز کودی زمین‌ها با استفاده از نرم‌افزار FertiliCalc-Fertigate 1.0 محاسبه شد (Villalobos *et al.*, 2020). این نرم‌افزار با هدف استفاده بهینه از کودهای شیمیایی جهت کاهش آلودگی زیست‌محیطی طراحی شده است (Delgado and Scalenghe, 2008). در این نرم‌افزار به‌طور پیش‌فرض برای گیاهان مختلف، مقادیر مشخص شاخص برداشت، درصد نیتروژن، فسفر و پتاسیم اندام‌های برداشت شده و درصد بقایای باقی مانده در مزرعه در نظر گرفته شده است که بر این اساس می‌توان شرایط مزرعه را برای نرم‌افزار تنظیم کرد. اطلاعات دیگر مورد نیاز و قابل تنظیم شامل نیتروژن، فسفر، ماده آلی و پتاسیم خاک، CEC، pH، نوع بافت خاک و نوع آنالیز فسفر است (Villalobos *et al.*, 2020). این نرم‌افزار دارای سناریوهای مختلف جهت اعمال میزان کود از جمله مصرف بهینه کود و یا مصرف کود جهت دستیابی به حداکثر عملکرد است (Villalobos *et al.*, 2020). در این آزمایش، سناریو دستیابی به عملکرد پتانسیل (حداکثر عملکرد) در نظر گرفته شد. پس از تهیه نقشه عملکرد پتانسیل، جهت بررسی نیاز کودی، ابتدا بر اساس فرمول کوکران (رابطه ۱)، تعداد ۳۲۰ نقطه تصادفی در سطح محدوده کشت برنج استان، انتخاب و در هر نقطه بر اساس اطلاعات مورد نیاز از جمله میزان عملکرد پتانسیل و اطلاعات خاک، نیاز کودی

برآورد عملکرد پتانسیل در محیط GIS

مهم‌ترین اطلاعات ورودی جهت برآورد عملکرد پتانسیل عبارت‌اند از: الف) لایه رستری DEM حوزه مورد مطالعه با دقت ۹۰ متر که به‌طور خودکار عرض جغرافیایی آن (۳۷/۵۱) در تابع محاسبه شد. ب) دوره زمانی تابش رسیده که طی فصل رشد برنج در استان گیلان از یک فروردین تا ۳۱ شهریور تعیین شد. ج) مؤلفه‌های توپوگرافی منطقه نظیر شیب و جهات شیب که از لایه DEM حوزه محاسبه شد. د) مؤلفه‌های تابش منطقه که شامل مدل نور منتشرشده (Diffuse model type)، نسبت پراکندگی نور (Diffuse proportion) و کسر نور نفوذ کرده (Transitivity) برای استان گیلان بود (Badsar, 2014). این مؤلفه‌ها بر اساس میزان تابش رسیده به زمین برآورد شده در ایستگاه‌های هواشناسی، واسنجی شد (Badsar, 2014). در نهایت میزان تابش برای کل حوزه از تابع Points Solar Radiation در GIS محاسبه و سپس از رابطه بین مقدار تابش رسیده طی فصل رشد برنج و عملکرد پتانسیل در مدل ORYZA2000، عملکرد پتانسیل محاسبه و بر مبنای کاربری زراعی استان گیلان به کل سطح تعمیم داده شد.

بررسی نیاز کودی

پس از تعیین میزان عملکرد پتانسیل در سطح استان گیلان، میزان نیاز کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم مزارع برنج

نتایج و بحث

ارزیابی مدل ORYZA2000

عملکرد مدل در آزمون واسنجی و اعتبارسنجی رضایت‌بخش بود. nRMSE عملکرد دانه و زیست‌توده در سال ۱۳۹۵ به ترتیب ۸ و ۵ درصد و در سال ۱۳۹۶ به ترتیب ۷ و ۶ درصد بود (جدول ۲). نتایج آزمون t تفاوت معنی‌داری ($P < 0.05$) را بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده عملکرد دانه و زیست‌توده نشان نداد (جدول ۲). ضریب تبیین مدل رگرسیون خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده نیز بیش‌تر از ۰/۷ بود (جدول ۲).

برآورد تابش رسیده طی فصل رشد و عملکرد برنج در استان گیلان

میزان تابش رسیده به مزارع برنج در شکل (۲) نشان داده شده است. میزان تابش مزارع برنج در حوزه مورد مطالعه در سال ۱۳۹۵ از ۲۵۵۲ تا ۶۲۵۹ (به‌طور میانگین ۴۴۰۵ مگاژول بر مترمربع) و در سال ۱۳۹۶ از ۲۴۲۳ تا ۵۳۳۷ (به‌طور میانگین ۳۸۸۰ مگاژول بر مترمربع) در طی فصل رشد محاسبه شد. کم‌ترین میزان تابش دریافتی در مناطق مرکزی حوزه بود که دلیل آن می‌تواند شرایط توپوگرافی منطقه باشد. در مطالعات مشابه میزان تابش فصل رشد گندم با استفاده از GIS و مدل SSM (Badsar, 2014) و میزان تابش سالانه با استفاده از مدل ESR (Ambreen et al., 2011) بررسی شد. چن و همکاران (Chen et al., 2013) میزان تابش سالانه در مناطق بیجینگ و ژانگژو واقع در دشت شمال چین را به ترتیب ۵۳۷۰ و ۵۰۱۰ مگاژول در مترمربع گزارش کردند.

رابطه رگرسیونی بین تابش رسیده طی فصل رشد و میزان عملکرد پتانسیل برآورد شده توسط مدل ORYZA2000 تهیه شد (شکل ۳). نتایج نشان داد که عملکرد پتانسیل در مزارع برنج استان گیلان در سال ۱۳۹۵ بین ۴۴۱۶ تا ۷۰۳۸ کیلوگرم در هکتار (با میانگین ۵۱۶۰ کیلوگرم در هکتار) (شکل ۴) و در سال ۱۳۹۶ بین ۴۵۵۸ تا ۷۱۸۰ کیلوگرم در هکتار (با میانگین عملکرد ۵۳۰۲ کیلوگرم در هکتار) متغیر بود (شکل ۴). بیش‌ترین مقدار عملکرد پتانسیل در شهرستان ماسال به‌میزان ۵۸۹۶ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۵ و ۶۰۳۸ کیلوگرم در هکتار

هر نقطه تعیین شد. سپس درون‌یابی نقاط صورت گرفت. از بین نقاط، ۷۰ درصد آن برای درون‌یابی صفات و ۳۰ درصد باقی مانده برای اعتبارسنجی نقشه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Pourhadian et al., 2019):

$$n = \frac{\frac{z^2 pq}{d^2}}{1 + \frac{1}{N} \left[\frac{z^2 pq}{d^2} - 1 \right]} \quad (1)$$

در این رابطه، N حجم جامعه، p درصد توزیع صفت در جامعه یا نسبت افراد دارای صفت مورد مطالعه، q درصد افراد فاقد صفت مورد مطالعه و d تفاضل نسبت واقعی صفت در جامعه با میزان تخمین پژوهشگر برای وجود آن صفت در جامعه است. در سطح خطای ۵ درصد، مقدار Z برابر ۱/۹۶ و Z^2 برابر ۳/۸۴۱۶ است (Cochran, 1963). از بین انواع روش‌های درون‌یابی، روش کریجینگ با توجه به اهمیت ساختار مکانی داده‌های عملکرد دانه برنج، علاوه بر مقادیر آنها و نیز وجود همبستگی بین داده‌ها، مورد استفاده گرفت. به‌منظور اطمینان از نرمال بودن داده‌ها، توزیع فراوانی آن‌ها با کمک آماره‌های مد (۴۲۶۰ کیلوگرم بر هکتار)، میانگین (۴۲۶۴ کیلوگرم بر هکتار)، حداقل (۳۶۵۰ کیلوگرم بر هکتار)، حداکثر (۴۹۹۱ کیلوگرم بر هکتار)، انحراف معیار (۲۷۱ کیلوگرم بر هکتار)، چولگی (۰/۳۲) و کشیدگی (۲/۸۳) توسط نرم‌افزار GIS و رویه Histogram (Badsar, 2014) مورد بررسی قرار گرفت. پس از تأیید نرمال بودن داده‌ها، انواع روش‌های عمومی، جهانی و فصلی و انواع مدل‌های موجود در روش درون‌یابی کریجینگ از جمله مدل‌های اثر روزنه‌ای (Hole effect)، دایره‌ای (Circular)، کروی (Spherical)، نمایی (Exponential)، گوسی (Gaussian)، ثابت (Stable) و K-Bessel به‌منظور تعیین مناسب‌ترین روش، ارزیابی و برای هر متغیر میزان خطای موجود در تخمین نقاط مجهول بررسی شد. جهت تشخیص مناسب‌ترین روش، ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) محاسبه و مقایسه شد (Kazemi et al., 2012). به‌طور معمول، هر قدر مقدار ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) کم‌تر باشد، صحت روش بیش‌تر است. از نظر تئوری، اگر این معیار برابر صفر شود، نمایانگر این است که مقدار برآورد شده یک کمیت، دقیقاً برابر با مقدار واقعی آن است (Kazemi et al., 2012). با مقایسه روش‌های درون‌یابی بهترین روش شناسایی و نقشه‌های نهایی ارائه شد.

اسپانیا مطالعه و عملکرد پتانسیل آن را با استفاده از مدل CERES، بین ۵/۳ تا ۸/۱ تن در هکتار برآورد کردند. نصیری محلاتی و کوچکی (، Gharineh et al., 2012) نیز عملکرد پتانسیل گندم را در استان خراسان ۲/۸۴ تن در هکتار برآورد کردند. قرینه و همکاران (2009) نیز عملکرد پتانسیل گندم را در استان خوزستان ارزیابی کردند و نشان دادند که عملکرد پتانسیل گندم در مناطق مختلف استان خوزستان در دامنه‌ای بین ۷۵۳۸ (شوشتر) تا ۹۲۴۷ (ایذه) کیلوگرم در هکتار متغیر بود. آن‌ها همچنین بیان کردند که عملکرد پتانسیل بالا به دلیل پایین بودن دما نسبت به دیگر مناطق و شرایط حرارتی مناسب‌تر برای رشد و نمو گندم بود. سالتس و همکاران (، Schulthess et al., 2013) با استفاده از مدل HybridMaize میانگین عملکرد پتانسیل ذرت را ۱۲/۸۷ تن در هکتار بیان کردند. اسپه و همکاران (Espe et al., 2016) گزارش کردند که مدل ORYZA2000 می‌تواند با یک واسنجی ساده، عملکرد پتانسیل مناطق کشت برنج در آمریکا را به‌خوبی پیش‌بینی کند. یوسفیان و همکاران (Yousefian et al., 2019) نیز در بررسی عوامل مؤثر بر خلاء عملکرد برنج در ساری با مدل CPA عملکرد واقعی و پتانسیل را به ترتیب ۴۴۹۵ و ۵۲۰۰ کیلوگرم در هکتار برآورد کردند.

در سال ۱۳۹۶ به‌دست آمد. کم‌ترین عملکرد پتانسیل نیز در سیاهکل به‌میزان ۴۷۸۵ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۵ و ۴۹۲۷ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۳۹۶ به‌دست آمد (شکل ۴). در مدل ORYZA2000 عملکرد پتانسیل با تابش رسیده محدود می‌شود. در این شرایط عواملی مانند ارتفاع از سطح دریا و شرایط اقلیمی در ایجاد تغییرات عملکرد برنج در سطح استان مؤثر هستند. عملکرد پتانسیل یک محصول بستگی به کل تابشی دارد که در طول دوره رشد دریافت می‌کند (Nazari Far et al., 2006) و میزان تابش خورشیدی به‌نوبه خود تابع عرض جغرافیایی است (Nasiri Mahallat, 2000).

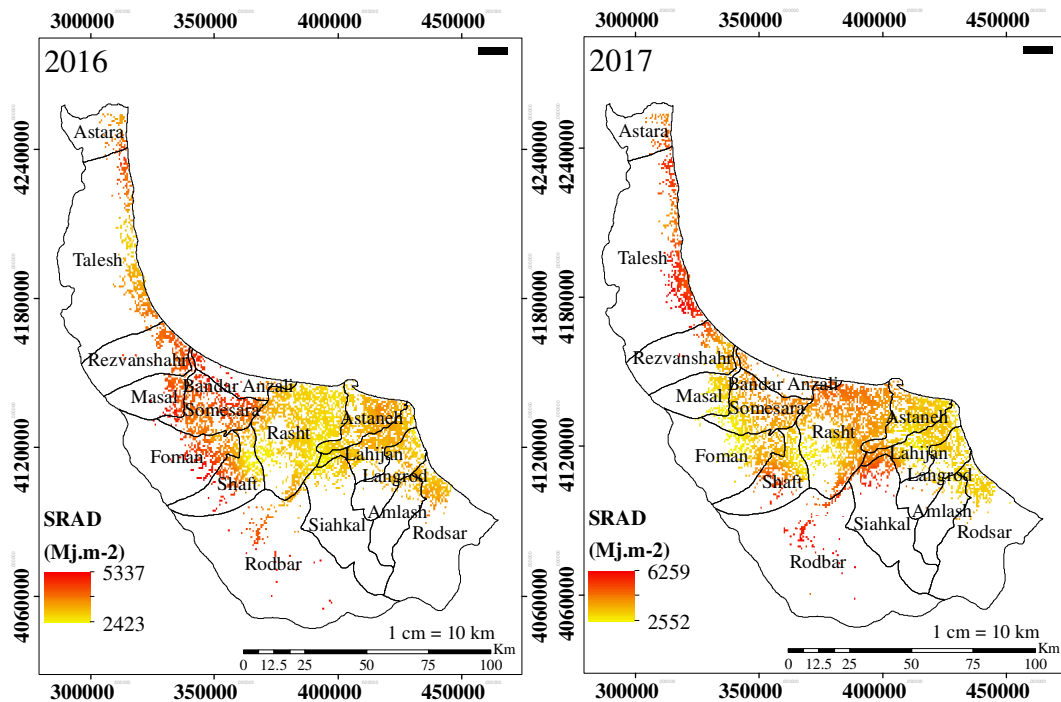
آگاروال (Aggarwal, 1994) عملکرد پتانسیل گندم در مناطق مختلف هندوستان را به وسیله مدل شبیه‌سازی در سال اول بین ۴۴۱۶ تا ۷۰۳۸ کیلوگرم در هکتار و در سال دوم بین ۴۵۵۸ تا ۷۱۸۰ کیلوگرم در هکتار برآورد کرد. همچنین، آگاروال و همکاران (Aggarwal et al., 2000) با کاربرد مدل ORYZA1N در نظام کشت برنج-ذرت در هند، عملکرد پتانسیل برنج را بین ۷/۳ تا ۱۱/۵ تن در هکتار برآورد کردند. وو و همکاران (Wu et al., 2006) میانگین عملکرد پتانسیل گندم زمستانه را در مناطق شمالی چین ۷/۹ تن در هکتار و در مناطق جنوبی ۵/۷ تن در هکتار برآورد کردند. آبلدو و همکاران (Abeledo et al., 2008) تولید گندم را در منطقه‌ای با آب و هوای مدیترانه‌ای در

جدول ۲ - نتایج آماری عملکرد دانه و زیست‌توده مشاهده شده در برابر مقادیر پیش‌بینی شده توسط ORYZA2000 در شرایط واسنجی و اعتبارسنجی در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

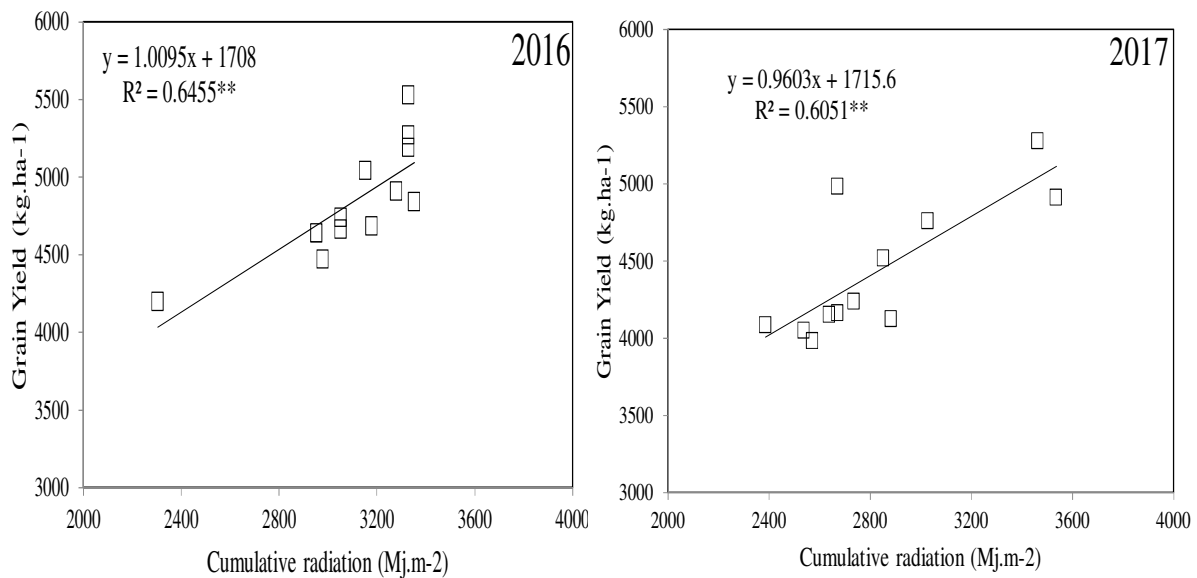
Table 2. Statistical summary of observed grain yield and aboveground biomass against ORYZA2000-predicted values in 2016 and 2017 for calibration and validation of the model performance, respectively

Trait	Number of treatment	$O_{\text{mean}}^{\dagger}$	P_{mean}	R^2	P (t)	RMSE	RMSE _n (%)
						Calibration (2016)	
Grain yield (kg/ha)	12	3569	3627	0.71	0.49	310	8
Aboveground biomass (kg/ha)	12	9986	9797	0.74	0.19	492	5
Validation (2017)							
Grain yield (kg/ha)	12	3688	3771	0.91	0.72	248	7
Aboveground biomass (kg/ha)	12	9999	10423	0.90	0.3	615	6

$^{\dagger} O_{\text{mean}}$, observed mean; P_{mean} , simulated mean; R^2 , coefficient of determination; P (t), probability of t-test; RMSE, root mean square error; RMSE_n, normalized root mean square error.

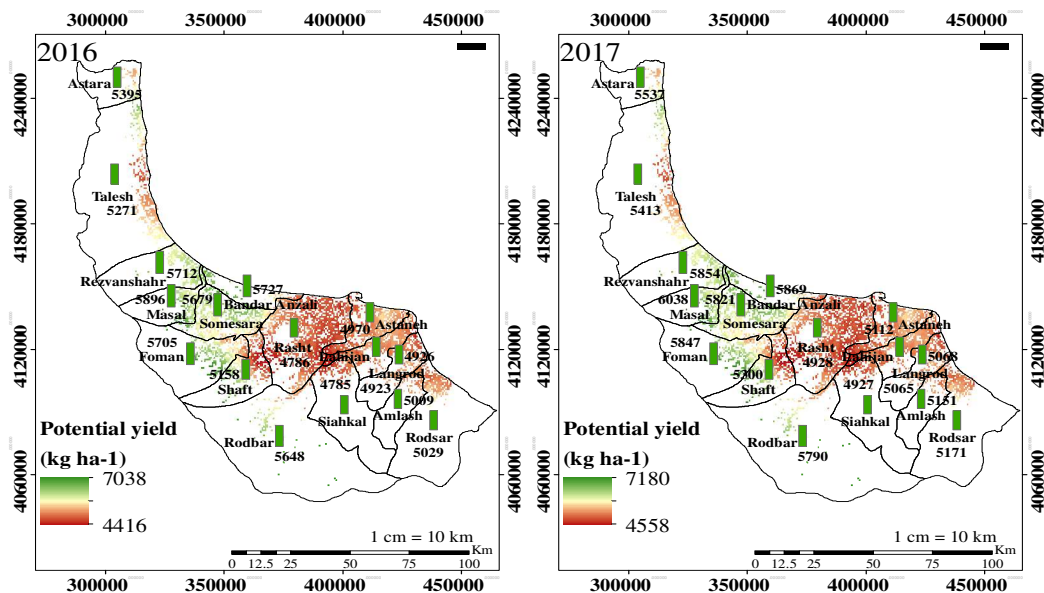


شکل ۲- مجموع تابش رسیده طی فصل رشد به مزارع برنج در محدوده کشت برنج استان گیلان در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶
 Figure 2. Total radiation received during the growing season to rice fields in the rice cultivation areas of Guilan province in 2016 and 2017



شکل ۳- رابطه رگرسیونی بین میزان تابش رسیده طی فصل رشد و میزان عملکرد پتانسیل محاسبه شده برای رقم هاشمی توسط مدل ORYZA2000 در ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶

Figure 3. Regression relationship between the amount of radiation received during the growing season and the amount of potential yield calculated for Hashemi cultivar by ORYZA2000 model in 2016 and 2017

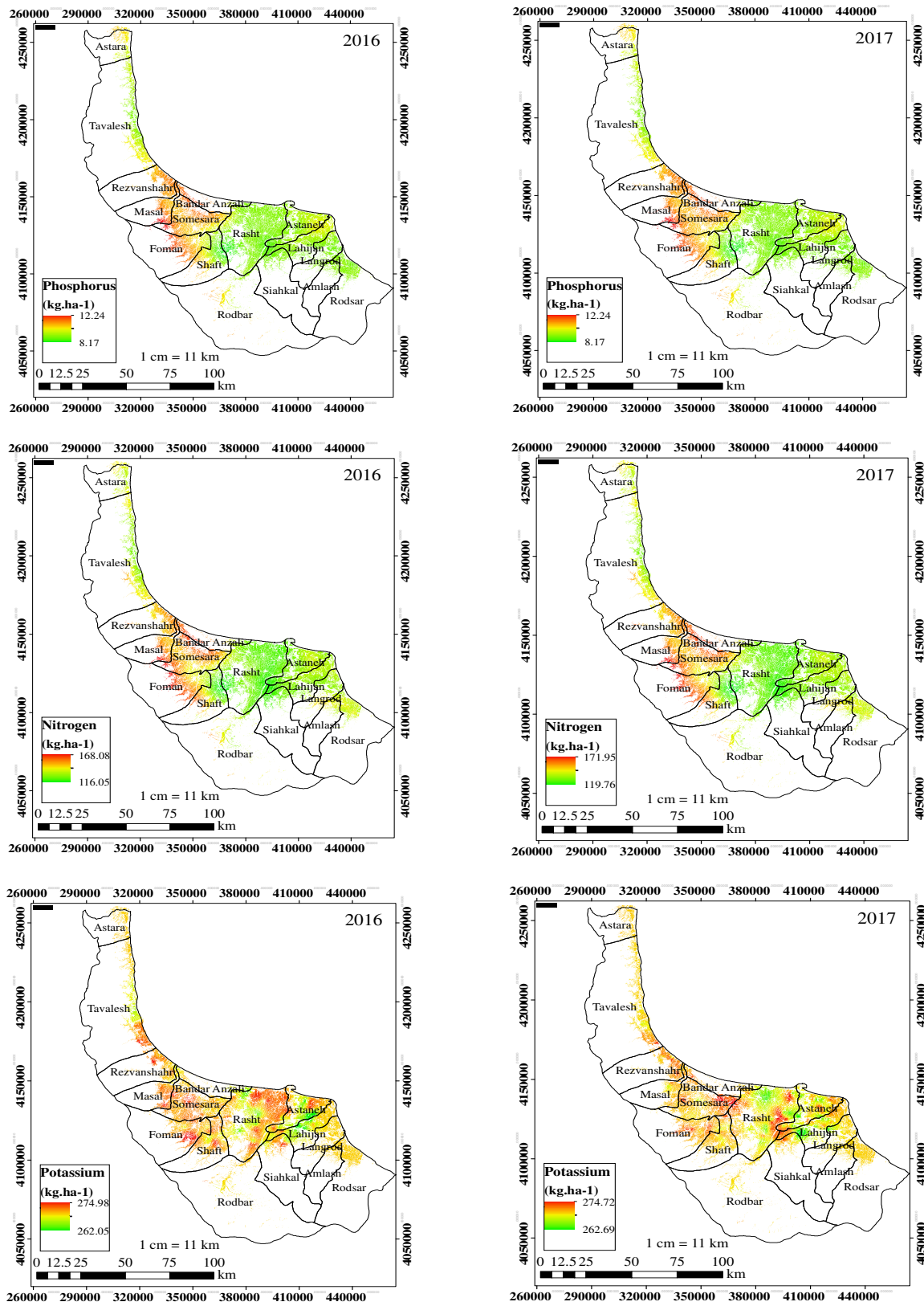


شکل ۴- عملکرد پتانسیل مزارع کشت برنج در محدوده کشت برنج استان گیلان در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶
Figure 4. Potential yield of detected rice fields in the Guilan province in 2016 and 2017

و اسلام (Muttaleb and Islam, 2016) در بررسی اثر کود پتاسیم بر عملکرد برنج در بنگلادش مشاهده کردند که مصرف کود پتاسیم سبب افزایش میانگین عملکرد از ۵/۱۹ تن در هکتار به ۶/۸۶ تن در هکتار نسبت به عدم مصرف این کود شد. سرکار و همکاران (Sarkar *et al.*, 2017) گزارش کردند که کاه و کلش برنج می‌تواند به‌عنوان یک منبع غنی پتاسیم در کشت برنج جهت حفظ ذخایر طبیعی پتاسیم و بازیافت عناصر خاک باشد. آنها مشاهده شد که تلفیق کاربرد کاه و کلش برنج با کود پتاسیم می‌تواند نقش مؤثری در حفظ عملکرد بالای برنج و جایگزینی ماده آلی خاک داشته باشد. بررسی نتایج درون‌یابی نیاز کودی نیتروژن نشان داد که در سطح استان گیلان نیاز کودی نیتروژن در سال ۱۳۹۵ بین ۱۱۶ تا ۱۶۸ کیلوگرم در هکتار و در سال ۱۳۹۶ بین ۱۱۹ تا ۱۷۱ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۵). بررسی شهرستان‌های مختلف نیز نشان داد که بیش‌ترین مقدار نیاز نیتروژن مربوط به شهرستان‌های صومعه‌سرا، فومن، ماسال، رضوانشهر و بندر انزلی بود (شکل ۵). عطاولکریم و همکاران (Ata-UI-Karim *et al.*, 2017) در بررسی و برآورد نیاز کود نیتروژن در کشت برنج با استفاده از منحنی رقیق شدن نیتروژن، نیاز کودی نیتروژن را ۳۸۳+ تا ۲۸- کیلوگرم در هکتار نیتروژن در ارقام مختلف برنج گزارش کردند.

بررسی نیاز کودی زمین‌های برنج در استان گیلان

بر اساس عملکرد پتانسیل متناظر با نقاط نمونه‌گیری، نقشه نیاز کودی نیتروژن، فسفر و پتاسیم تهیه شد (شکل ۵). بررسی روش‌های مختلف کریجینگ نشان داد که در درون‌یابی نیاز کودی پتاسیم، روش کریجینگ ساده با مدل ثابت، در درون‌یابی نیاز کودی نیتروژن روش کریجینگ معمولی با مدل اثر روزنه‌ای و در درون‌یابی نیاز کودی فسفر، روش کریجینگ معمولی با مدل J-Bessel و دایره‌ای به ترتیب در سال ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ بیش‌ترین دقت را بر اساس میزان RMSE در درون‌یابی و ضریب تبیین بین مقادیر درون‌یابی شده و برآورد شده در نقاط متناظر داشتند (جدول ۳). صحت‌سنجی نقشه‌های تهیه شده با استفاده از نقاط آزمون نیز نشان داد که ضریب تبیین بین مقادیر نیاز کودی در نقاط آزمون و مقادیر درون‌یابی شده در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار و بیانگر صحت مطلوب نقشه‌ها بود (شکل ۶). بررسی سطوح نیاز کودی پتاسیم در سطح مزارع استان گیلان نشان داد که زمین‌های برنج در استان جهت دستیابی به عملکرد پتانسیل به‌میزان ۲۶۲ تا ۲۷۴ کیلوگرم در هکتار کود پتاسیم نیاز دارند (شکل ۵). نتایج نشان‌دهنده کمبود پتاسیم در خاک‌های استان بوده و مصرف مقدار بالای کود پتاسیم جهت دستیابی به عملکرد بالا نیاز است. مطلب



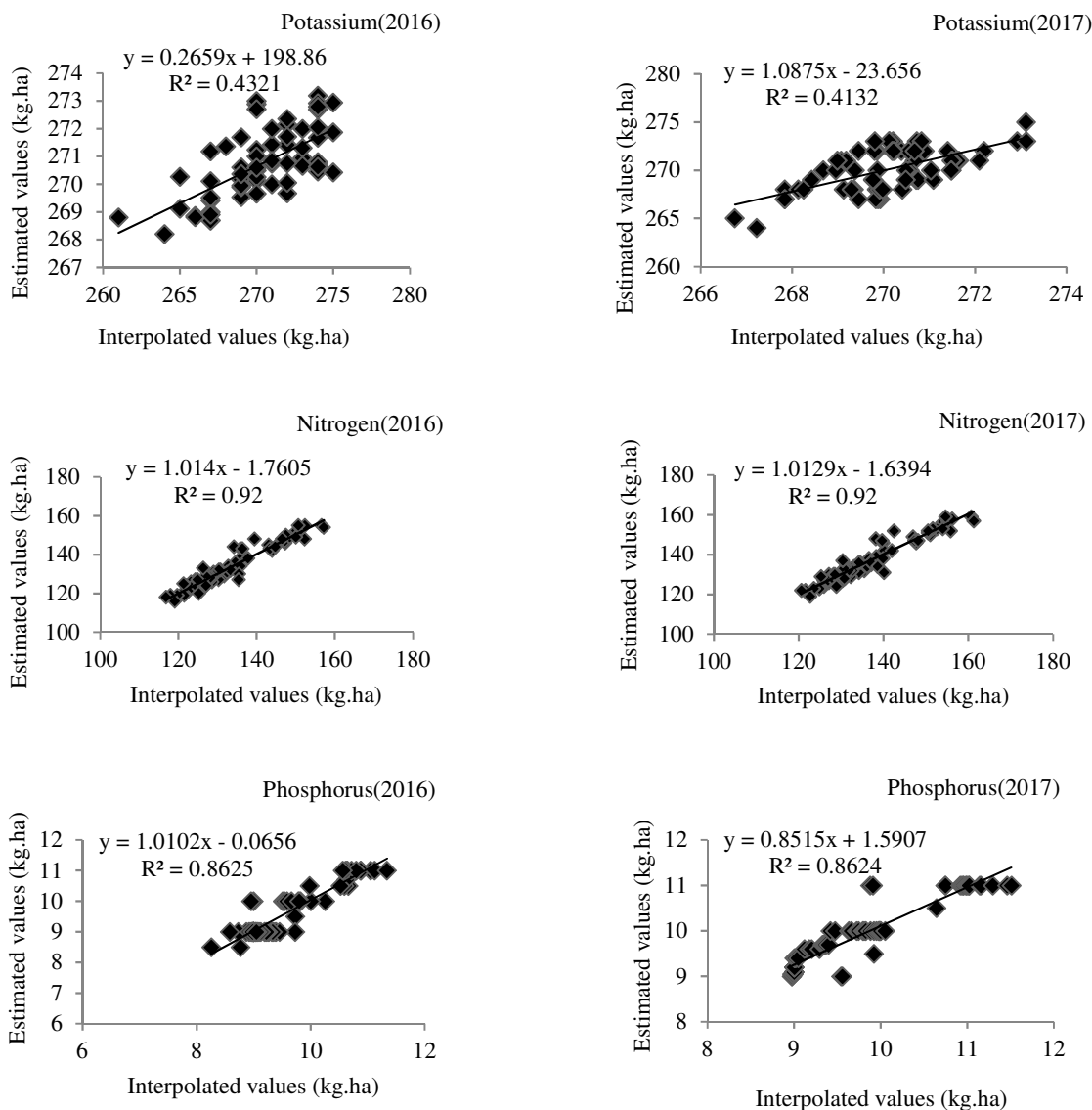
شکل ۵- تخمین نیاز کودی جهت دستیابی به عملکرد پتانسیل مزارع برنج در محدوده کشت استان گیلان طی سالهای ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶
 Figure 5. Estimated fertilizer requirement to achievement radiation-limited yield of rice fields in the rice cultivation area of Gilan province in 2016 and 2017

جدول ۳- نتایج ارزیابی روش‌های مورد استفاده برای درون‌یابی متغیرهای نیاز کودی NPK در استان گیلان

Table 3. Results of evaluation of 33 model-methods used for interpolation of NPK fertilizer requirement variables in Guilan province

Nutritional element	Year	Interpolation method [†]	Model	Function	R ²	CV (%)	Number of points	RMSE
Potassium	2016	SK	Stable	$0.2879 * x + 192.4530$	0.29	0.98	256	3.1271
Potassium	2017	SK	Stable	$0.1208 * x + 237.5371$	0.11	0.92	256	3.1517
Nitrogen	2016	OK	Hole effect	$0.9221 * x + 10.2835$	0.0924	8.26	293	3.1184
Nitrogen	2017	OK	Hole effect	$0.9224 * x + 10.4491$	0.0925	8.10	293	3.1171
Phosphorus	2016	OK	J-Bessel	$0.7632 * x + 2.2313$	0.80	8.02	293	0.3601
Phosphorus	2017	OK	Circular	$0.8289 * x + 1.6650278$	0.83	8.07	293	0.3424

[†] OK, ordinary; SK, simple; UK, universal; R², coefficient of determination; CV, coefficient of variation; RMSE, root mean square error (RMSE).



شکل ۶- رابطه رگرسیونی نیاز کودی برآورد شده و درون‌یابی شده با استفاده از روش‌های کریجینگ

Figure 6. Regression relationship between estimated and interpolated fertilizer requirements by kriging methods

نظر کاهش حجم عملیات میدانی و صرفه‌جویی در هزینه بسیار حائز اهمیت خواهد بود. همچنین اطلاعات به‌دست آمده در زمینه عملکرد پتانسیل منطقه می‌تواند اطلاعات پایه مطالعات دیگر از جمله برآورد میزان خلاء عملکرد و دلایل ایجاد خلاء عملکرد، بررسی ارتباط میزان عملکرد منطقه با تناسب زراعی- بوم‌شناختی زمین‌ها و غیره را فراهم کند. بررسی سطوح نیاز کودی جهت دستیابی به عملکرد پتانسیل برآورد شده نشان داد که توجه به مصرف پتاسیم در سطح استان می‌تواند مهم‌ترین نقش را در دستیابی به عملکرد پتانسیل بر اساس نیاز به مواد مغذی داشته باشد. به نظر می‌رسد که در بسیاری از مناطق استان گیلان، کاربرد سطوح NPK در مقدار و زمان نامناسب سبب کاهش عملکرد برنج می‌شود. بر اساس نتایج این تحقیق می‌توان الگوی مصرف کود مناسب را از طریق کارشناسان برنج به کشاورزان توصیه کرد تا ضمن دستیابی به حداکثر عملکرد، از مشکلاتی چون آبهویی فسفر در اثر مصرف بیش از حد آن خودداری شود.

تضاد منافع

نویسنده (گان) تایید می‌کنند که این تحقیق در غیاب هر گونه روابط تجاری یا مالی که می‌تواند به‌عنوان تضاد منافع بالقوه تعبیر شود، انجام شده است.

رعایت اخلاق در نشر

نویسنده (گان) اعلام می‌کنند که در نگارش این مقاله به‌طور کامل از اخلاق نشر از جمله سرقت ادبی، سوء رفتار، جعل داده‌ها و یا ارسال و انتشار دوگانه، پیروی کرده‌اند. همچنین این مقاله حاصل یک کار تحقیقاتی اصیل بوده و تا کنون به‌طور کامل به هیچ زبانی و در هیچ نشریه یا همایشی چاپ و منتشر نشده و هیچ اقدامی نیز برای انتشار آن در هیچ نشریه یا همایشی صورت نگرفته و نخواهد گرفت.

اجازه انتشار مقاله

نویسنده (گان) با چاپ این مقاله به صورت دسترسی باز موافقت کرده و کلیه حقوق استفاده از محتوا، جدول‌ها، شکل‌ها، تصویرها و غیره را به ناشر واگذار می‌کنند.

ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2019) در مطالعه عملکرد پتانسیل برنج تحت مدیریت‌های زراعی، افزایش ۵/۲ درصد مصرف کود نیتروژن در کشت زود هنگام و کاهش ۱۳/۱ درصد مصرف کود نیتروژن در کشت دیر هنگام برنج را توصیه کردند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از این آزمایش، میزان مورد نیاز فسفر برای دستیابی به عملکرد پتانسیل طی دو سال آزمایش بین ۸ تا ۱۲ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (شکل ۵). در بین عناصر غذایی مطالعه شده نیز کم‌ترین نیاز کودی متعلق به فسفر بود. نتایج به‌دست آمده از سازمان منابع طبیعی استان گیلان هم نشان می‌دهد که قسمت‌های غربی استان گیلان دارای فسفر خاک بالای ۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌باشد. بررسی نیازمندی زمین‌های برنج جهت دستیابی به عملکرد مطلوب توسط کاظمی و همکاران (Kazemi, 2012) نشان داد که میزان ۷ تا ۱۵ میلی‌گرم در کیلوگرم فسفر در خاک، حد مطلوب جهت دستیابی به حداکثر عملکرد می‌باشد و مقادیر فسفر بالای ۱۸ میلی‌گرم در کیلوگرم خاک می‌تواند سبب سمیت فسفر در خاک شود.

نتیجه گیری کلی

در این پژوهش، عملکرد پتانسیل برنج در استان گیلان با استفاده از رهیافت سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل ORYZA2000 برآورد شد. نتایج این تحقیق نشان داد که بر اساس مقدار nRMSE (کم‌تر از ۱۰ درصد) و رگرسیون خطی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده با ضریب تبیین بالای ۰/۷، مدل ORYZA2000 دقت مطلوبی در واسنجی و اعتبارسنجی تیمارهای آزمایشی داشت. علاوه بر این، تلفیق مدل ORYZA2000 و GIS از توانایی مناسبی برای شبیه‌سازی عملکرد پتانسیل در منطقه مورد مطالعه برخوردار است. نتایج این پژوهش همچنین نشان داد که در اختیار داشتن اطلاعات هواشناسی با تعداد ایستگاه بیشتر می‌تواند در تخمین عملکرد پتانسیل با دقت بالاتر کمک کند. به این ترتیب با داشتن اطلاعات هواشناسی و یک مدل شبیه‌سازی گیاه زراعی واسنجی و اعتبارسنجی شده در منطقه می‌توان عملکرد پتانسیل را با دقت مناسبی برآورد کرد. نتایج این پژوهش با توجه به نقش کاربردی آن می‌تواند در سال‌های آتی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد و برآورد عملکرد پتانسیل بر پایه آن انجام شود و در نتیجه از

References

- Aalaee Bazkiaee, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H. and Rezaei, M. 2019.** Evaluation of ORYZA2000 model in yield simulation and production productivity of rice under crop managements. **Water and Soil Conservation**. 27: 49-69. (In Persian with English Abstract).
- Aalaee Bazkiaee, P., Kamkar, B., Amiri, E., Kazemi, H., Rezaei, M. and López-Bernal, A. 2022.** The rice yield gap estimation using integrated system approaches: A case study-Guilan province, Iran. **International Journal of Environmental Science and Technology** 1-14.
- Aggarval, P. K. 1994.** Constraints in wheat productivity in India. In: Aggarval, P.K. and Kalra, N. (Eds.). *Simulating the effect of climatic factors, genotype and management on productivity of wheat in India.* Agricultural Research Institute, New Delhi, India. pp: 1-11.
- Aggarval, P. K., Karla, N., Bandyopadhyay, S. K. and Selvarjan, S. 1995.** A systems approach to analyze production options for wheat in India. In: Bouma, J., Kuyvenhoven, A., Bouman, B.A.M., Luyten, J.C. and Zandstra, H.G. (Eds.). *Eco-regional approaches for sustainable land use and food production.* Springer, Dordrecht. pp: 167-186.
- Aggarval, P. K., Talukdar, K. K. and Mall, R. K. 2000.** Potential yields of rice-wheat system in the Indo-Gangetic plains of India. Facilitation Unit, Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains.
- Ministry of Agriculture-Jahad. 2018.** Agriculture statistics. Volume I: Crop products 2018-19. Office of Statistics and Information Technology, Deputy Director of Planning and Economic Affairs. Ministry of Agriculture-Jahad, Tehran, Iran. 90 pages. (In Persian).
- Ahmadi Alipour, H. 2017.** Modeling of production and yield gap of wheat in Golestan province. M.Sc. Dissertation. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 91 pages. (In Persian).
- Ambreen, R., Qiu, X. and Ahmad, I. 2011.** Distributed modeling of extraterrestrial solar radiation over the rugged terrains of Pakistan. **Journal of Mountain Science** 8: 427-436.
- Amiri, E. and Rezaei, M. 2010.** Evaluation of water-nitrogen schemes for rice in Iran, using ORYZA2000 model. **Communications in Soil Science and Plant Analysis** 41: 2459-2477.
- Ata-Ul-Karim, S.T., Liu, X., Lu, Z., Zheng, H., Cao, W. and Zhu, Y. 2017.** Estimation of nitrogen fertilizer requirement for rice crop using critical nitrogen dilution curve. **Field Crops Research** 201: 32-40.
- Badsar, M. 2014.** Yield gap estimation in wheat fields using GIS, RS and SSM model (A case study: Qaresso basin, Gorgan distinct). M.Sc. Dissertation. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 95 p. (In Persian).
- Bhatia, V., Singh, P., Wani, S., Chauhan, G., Rao, A.K., Mishra, A. and Srinivas, K. 2008.** Analysis of potential yields and yield gaps of rainfed soybean in India using CROPGRO-Soybean model. **Agricultural and Forest Meteorology** 148: 1252-1265.
- Boonwichai, S., Shrestha, S., Babel, M.S., Weesakul, S. and Datta, A. 2019.** Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin, Thailand. **Science of the Total Environment** 652: 189-201.
- Bouman B.A.M., Kropff, M.J., Tuong, T.P., Wopereis, M.C.S., Ten Berge H.F.M. and Van Laar H.H. 2001.** ORYZA2000: Modeling lowland rice. International Rice Research Institute, Los Banos.
- Cao, B., Hua, S., Ma, Y., Li, B. and Sun, C. 2017.** Evaluation of ORYZA2000 for simulating rice growth of different genotypes at two latitudes. **Agronomy Journal**. 109: 2613-2629.
- Chen, C., Baethgen, W.E. and Robertson, A. 2013.** Contributions of individual variation in temperature, solar radiation and precipitation to crop yield in the north China plain. 1961-2003. **Climate Change** 116: 767-788 .
- Cochran W. G. 1963.** Sampling techniques. 2nd Ed. New York. John Wiley and Sons, Inc.
- Dehkordi, P.A., Nehbandani, A., Hassanpour-bourkheili, S. and Kamkar, B. 2020.** Yield gap analysis using remote sensing and modelling approaches: Wheat in the northwest of Iran. **International Journal of Plant Production** 14: 443-452.
- Delgado, A. and Scalenghe, R. 2008.** Aspects of phosphorus transfer in Europe. **Journal of Plant Nutrition and Soil Science** 171: 552-575.
- Deng, N., Grassini, P., Yang, H., Huang, J., Cassman, K.G. and Peng, S. 2019.** Closing yield gaps for rice self-sufficiency in China. **Nature Communications** 10: 1-9.

- Drenth, H., Ten Berge, F.F.M. and Riethoven, J.J.M. 1994.** ORYZA simulation modules for potential and nitrogen limited rice production. SARP Research Proceedings. Wageningen, The Netherlands.
- Espe, M.B., Yang, H., Cassman, K.G., Guilpart, N., Sharifi, H. and Linqvist, B.A. 2016.** Estimating yield potential in temperate high-yielding, direct-seeded US rice production systems. **Field Crops Research** 193: 123-132.
- FAO. 2018.** Food and Agricultural Organization of the United Nations. http://www.fao.org/index_en.htm/, 1/1/2020.
- Fatemi, B. and Rezaei, Y. 2006.** Basic of remote sensing. Azade Publication. 257 pages. (In Persian).
- Fu, W., Tunney, H. and Zhang, C. 2010.** Spatial variation of soil nutrients in a dairy farm and its implications for site-specific fertilizer application. **Soil and Tillage Research** 106: 185-193.
- Gharineh, M.H., Bakhshandeh, A.M., Andarzian, B. and Fayeizadeh, N. 2012.** Agro-climatic zonation of Khouzestan province based on potential yield of irrigated wheat using WOFOST model. **Agroecology** 4: 255-264. (In Persian with English Abstract).
- Godfray, H.C.J., Beddington, J.R., Crute, I.R., Haddad, L., Lawrence, L., Muir, J.F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C. 2010.** Food security: The challenge of feeding 9 billion people. **Science** 327: 812-818.
- Guo, Y., Wu, W. and Bryant, C.R. 2019.** Quantifying spatio-temporal patterns of rice yield gaps in double-cropping systems: A case study in pearl river delta, China. **Sustainability** 11: 1-22.
- Hajjarpour, A., Soltani, A. and Torabi, B. 2016.** Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. **Crop Production** 8: 183-201. (In Persian with English Abstract).
- Hussain, S., Huang, J., Huang, J., Ahmad, S., Nanda, S., Anwar, S. and Zhang, J. 2020.** Rice production under climate change: Adaptations and mitigating strategies. In: Fahad, S., Hassanuzzaman, M., Alam, M., Ullah, H., Saeed, M. and Khan, I.A. (Eds.). Environment, climate, plant and vegetation growth. Springer. pp: 659-686.
- Islam, A. and Muttaleb, A. 2016.** Effect of potassium fertilization on yield and potassium nutrition of brown rice in a wetland ecosystem of Bangladesh. **Archives of Agronomy and Soil Science** 62: 1530-1540.
- Kahabka, J.E., Van Es, H.M., McClenahan, E.J. and Cox, W.J. 2004.** Spatial analysis of maize response to nitrogen fertilizer in central New York. **Precision Agriculture** 5: 463-476.
- Kassie, B.T., Van Ittersum, M.K., Hengsdijk, H., Asseng, S., Wolf, J. and Rotter, R.P. 2014.** Climate-induced yield variability and yield gaps of maize (*Zea mays* L.) in the central Rift Valley of Ethiopia. **Field Crops Research** 160: 41-53.
- Kazemi, H. 2012.** Ecological crop zoning of Golestan province in order to develop a suitable cultivation pattern. PhD Dissertation. Trabiati Modares University. 280 p. (In Persian).
- Kazemi, H., Tahmasebi Sarvestani, Z., Kamkar, B., Shataei, Sh. and Sadeghi, S. 2012.** Evaluation of geostatistical methods for estimating and zoning of macronutrients in agricultural lands of Golestan province. **Journal of Water and Soil Science** 22: 201-218. (In Persian with English Abstract).
- Khaliq, T., Gaydon, D.S., Cheema, M.J.M. and Gull, U. 2019.** Analyzing crop yield gaps and their causes using cropping systems modelling. A case study of the Punjab rice-wheat system, Pakistan. **Field Crops Research** 232: 119-130.
- Lobell, D.B., Cassman, K.G. and Field, C.B. 2009.** Crop yield gaps: Their importance, magnitudes, and causes. **Annual Review of Environment and Resources** 34: 179-204.
- Meghdadi, N., Soltani, A., Kamkar, B. and Hajjarpour, A. 2014.** Agroecological zoning of Zanjan province for estimating yield potential and yield gap in dryland-base chickpea production systems. **Plant Production Science** 21: 27-49. (In Persian with English Abstract).
- Nasiri Mahallati, M. 2000.** Modeling of crop growth processes. Mashhad University Jihad Publications. 274 pages. (In Persian).
- Nassiri Mahallati, M. and Koocheki, A. 2009.** Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Stimating yield potential and yield gap. **Iranian Journal of Field Crops Research** 7: 695-709. (In Persian with English Abstract).
- Nazari Far, M., Momeni, R. and Jafari, V. 2006.** Evaluation of the effect of radiation on the maximum yield of agricultural products in Karun Basin and zoning of water use efficiency using GIS. The first

- Regional Conference on Water Resources Exploitation in Karun and Zayandehrood basins: Opportunities and challenges. Shahrekord University. (In Persian).
- Neumann, K., Verburg, P.H., Stehfest, E. and Müller, C. 2010.** The yield gap of global grain production: A spatial analysis. *Agricultural Systems* 103: 316-326.
- Potter, P., Ramankutty, N., Bennett, E.M. and Donner, S.D. 2010.** Characterizing the spatial patterns of global fertilizer application and manure production. *Earth Interactions* 14: 1-22.
- Pourhadian, H., Kamkar, B., Soltani, A. and Mokhtarpour, H. 2019.** Evaluation of forage maize yield gap using an integrated crop simulation model-satellite imagery method (Case study: Four watershed basins in Golestan province). *Archives of Agronomy and Soil Science* 65: 253-268.
- Qaswar, M., Jing, H., Ahmed, W., Dongchu, L., Shujun, L., Lu, Z. and Huimin, Z. 2020.** Yield sustainability, soil organic carbon sequestration and nutrients balance under long-term combined application of manure and inorganic fertilizers in acidic paddy soil. *Soil and Tillage Research* 198: 104569
- Raziei, T. 2017.** Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Earth and Space Physics* 43: 419-439. (In Persian with English Abstract).
- Sarkar, M.I.U., Islam, M.N., Jahan, A., Islam, A. and Biswas, J.C. 2017.** Rice straw as a source of potassium for wetland rice cultivation. *Geology, Ecology, and Landscapes* 1: 184-189.
- Schulthess, U., Timsina, J., Herrera, M.J. and McDonald, A. 2013.** Mapping fieldscale yield gaps for maize: An example from Bangladesh. *Field Crops Research* 143: 151-156.
- Soundharajan, B. and Sudheer, K.P. 2013.** Sensitivity analysis and auto-calibration of ORYZA2000 using simulation-optimization framework. *Paddy and Water Environment* 11: 59-71.
- Tari, D.B., Amiri, E. and Daneshian, J. 2017.** Simulating the impact of nitrogen management on rice yield and nitrogen uptake in irrigated lowland by ORYZA2000 model. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 48: 201-213.
- Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zinali, E. 2012.** Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Crop Production* 4: 1-17. (In Persian with English Abstract).
- Villalobos, F.J., Delgado, A., Lopez-Bernal, A. and Quemada, M. 2020.** FertilCalc: A decision support system for fertilizer management. *International Journal of Plant Production* 14: 299-308.
- Wang, W., Ding, Y., Shao, Q., Xu, J., Jiao, X., Luo, Y. and Yu, Z. 2017.** Bayesian multi-model projection of irrigation requirement and water use efficiency in three typical rice plantation region of China based on CMIP5. *Agricultural and Forest Meteorology* 232: 89-105.
- Wopereis, M.C.S. 1993.** Quantifying the impact of soil and climate variability on rainfed rice production. Ph.D. Dissertation. Wageningen Agricultural University, The Netherlands. 188 p.
- Wopereis, M.C.S., Bouman, B.A.M., Tuong, T.P., Ten Berge, H.F.M. and Kropff, M.J. 1996.** ORYZA_W: Rice growth model for irrigated and rainfed environments. SARP Research Proceedings. Wageningen, The Netherlands. IRR/AB -DLO. 159 p.
- Wu, D., Yu, Q., Lua, C. and Hengsdijk, H. 2006.** Quantifying production potentials of winter wheat in the North China Plain. *Agronomy Journal* 24: 226-235.
- Yaghoobi, M., Aghayari, F. and Mostafavi, K. 2017.** Factors affecting wheat yield gap in Savojbolagh, Iran. *Advances in Bioresearch* 8: 84-92.
- Yousefian, M., Soltani, A., Dastan, S. and Ajamnoroozi, H. 2019.** Documenting production process and the ranking factors causing yield gap in rice fields in Sari, Iran. *Iran Agricultural Research* 38: 101-109. (In Persian with English Abstract).
- Zhang, H., Tao, F. and Zhou, G. 2019.** Potential yields, yield gaps, and optimal agronomic management practices for rice production systems in different regions of China. *Agricultural Systems* 171: 100-112.