

Lentil genotypes Selection for freezing tolerance by fluorescence chlorophyll Estimating the potential and yield gap of forage maize in Iran based on the Global Yield Gap Atlas Protocol

Fayazi, Hosna¹, Zeinali, Ebrahim^{2*}, Soltani, Afshin³, Torabi, Benyamin⁴

1,2,3,4. Agronomy Department, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

(Received: May 27, 2021 - Accepted: October 12, 2021)

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is the most important silage plants in the world because of its high yield, energy and quality of forage and low fiber. Due to the severe water deficit in Iran and the high water demand of maize plant, the only way to increase maize production is to increase the yield per unit area and reduce the yield gap by optimizing production management. Therefore, this study was aimed to estimate the yield potential and gap in the main forage maize production areas of Iran. For this purpose, GYGA protocol method was used. Yield potential based on the data from a 15-year period (2001-2015) was calculated using the SSM-iCrop2 simulation model. First, parameterization and evaluation of the simulation model for the studied plant were performed using data from all over the country. In the major maize production regions of Iran, 27 reference weather stations (RWS) and 11 main climatic zones (CZ) were selected. The average Y_a and Y_p of maize in Iran was estimated at 49.3 and 85.6 T/ha⁻¹, respectively. Furthermore, in the major climatic zones was 9.9 T/ha⁻¹ yield gap in the country. In fact, forage yield and production in Iran can be increased from current 49 T/ha⁻¹ and 11.2 million tons to 68 T/ha⁻¹ and 15.6 million tons through optimized management and elimination of exploitable yield gap.

Keywords: Climate zones, model evaluation, simulation, SSM-iCrop2 Model, yield potential.

برآورد پتانسیل و خلأ عملکرد ذرت علوفه ای در ایران بر اساس پروتکل اطلس جهانی خلأ عملکرد (گیگا)

حسنا فیاضی^۱، ابراهیم زینلی^{۲*}، افشین سلطانی^۳ و بنیامین ترابی^۴

۱ و ۲ و ۳ و ۴ - به ترتیب دانشجو، دانشیار، استاد و دانشیار، گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۳/۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۷/۲۰)

چکیده

ذرت (*Zea mays* L.) به دلیل دارا بودن فیبر کم، پتانسیل عملکرد زیاد و میزان انرژی و کیفیت بالای علوفه، به عنوان یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای در جهان شناخته شده است. با توجه به کمبود آب در ایران و نیاز آبی زیاد ذرت، تنها راه افزایش تولید، افزایش عملکرد در واحد سطح و کاهش خلأ عملکرد از طریق بهینه‌سازی مدیریت تولید می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف برآورد خلأ عملکرد ذرت علوفه‌ای در ایران با استفاده از پروتکل GYGA انجام شد. پتانسیل عملکرد با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-iCrop2 برای یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴) برآورد شد. قبل از استفاده برای گیاه مورد مطالعه، مدل با کمک داده‌هایی از سراسر کشور پارامتریابی و ارزیابی شد. در مناطق اصلی تولید ذرت علوفه‌ای در ایران، ۲۷ ایستگاه هواشناسی مرجع (RWS) و ۱۱ منطقه اصلی آب و هوایی (CZ) انتخاب شدند. بر اساس نتایج به دست آمده، متوسط عملکرد واقعی، پتانسیل و خلأ عملکرد در اقلیم‌های اصلی کشت ذرت علوفه‌ای در ایران به ترتیب ۴۹/۳، ۸۵/۶ و ۳۶/۳ تن در هکتار برآورد شد. در حقیقت، از طریق بهبود مدیریت تولید و حذف خلأ قابل بهره‌برداری می‌توان عملکرد و تولید ذرت علوفه‌ای در ایران را از حدود ۴۹ تن در هکتار و ۱۱/۲ میلیون تن فعلی به ۶۸ تن در هکتار و ۱۵/۶ میلیون تن افزایش داد.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی مدل، پتانسیل عملکرد، شبیه‌سازی، مدل SSM-iCrop2، مناطق اقلیمی

مقدمه

ترتیب، ذرت بیشتر به‌طور غیرمستقیم از طریق تولید فرآورده‌های دام و طیور (گوشت، تخم‌مرغ و لبنیات) در تغذیه انسان نقش دارد (Densley et al., 2006). این گیاه به دلیل دارا بودن ویژگی‌هایی همچون تولید زیاد

ذرت (*Zea mays* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان زراعی ایران است که با دو هدف تولید دانه و علوفه کشت می‌شود و بیشترین مصرف این گیاه در تغذیه دام و طیور به صورت دانه، علوفه تازه و سیلو شده می‌باشد. به این

* Corresponding author E-mail: zeinalistudents@gmail.com

برای شبیه‌سازی عملکرد به‌وسیله مدل‌های گیاهی، به یک‌سری حداقل‌هایی از ورودی‌ها نیاز است که از مدلی به مدل دیگر می‌تواند متفاوت باشد، اما به‌طور کلی شامل آمار روزانه حداکثر و حداقل دما، تشعشع خورشیدی، بارندگی، تاریخ، عمق و تراکم کاشت و ویژگی‌های ژنتیکی گیاه می‌باشند. برای عملکرد پتانسیل آب محدود عوامل دیگری مانند بافت خاک، مقدار رطوبت اولیه و عمق مؤثر ریشه نیز به‌عنوان ورودی مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. امروزه مدل‌های متفاوتی برای برآورد پتانسیل عملکرد توسعه داده شده است که توسط محققین مختلف به‌کار رفته‌اند. از جمله این مدل‌ها می‌توان به EPIC^۵، CERES^۶، WOFOST^۷، CropSyst^۸، MSM^۹، اشاره کرد (Williams *et al.*, 1984; Jones & Kinery, 1986; Van Diepen *et al.*, 1989; Stockle *et al.*, 1994; Zand Parsa *et al.*, 2006). در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SSM-iCrop2 و بر اساس دستورالعمل گیگا، میانگین پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد گندم آبی در ایران برای دوره زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ به ترتیب ۸/۸ و ۵/۴ تن در هکتار محاسبه شد (Zahed *et al.*, 2020). در تحقیق دیگری با استفاده از این مدل SSM-iCrop2 و روش گیگا، پتانسیل و خلأ عملکرد و عملکرد نسبی سیب‌زمینی در استان گلستان به ترتیب ۵۲ و ۳۳ تن در هکتار و ۳۸ درصد برآورد شد (Dadrasi *et al.*, 2020). Soltani *et al.* (2016) در پژوهشی با استفاده از مدل شبیه‌سازی SSM-Chickpea، میانگین پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد برای پنج منطقه اصلی تولیدکننده نخود در ایران به ترتیب یک و ۰/۵ تن در هکتار تخمین زدند. در بررسی انجام گرفته بر روی ذرت در سه مکان از کشور اتیوپی با استفاده از دو مدل DSSAT و WOFOST پتانسیل عملکرد برای ارقام زودرس به ترتیب ۷/۱-۶/۸ و برای ارقام دیررس ۹/۲-۸/۲ تن در هکتار گزارش شد (Kassie *et al.*, 2014). شبیه‌سازی میزان خلأ عملکرد ذرت بهاره و تابستانه

علوفه در واحد سطح، کیفیت بالای علوفه‌ی سیلو شده، میزان انرژی بالا (قابلیت هضم و جذب بالا) و فیبر کم، به‌عنوان یکی از بهترین گیاهان علوفه‌ای به‌شمار می‌رود (Densley *et al.*, 2006). عملکرد ذرت علوفه‌ای در ایران حدود ۴۵ تن در هکتار است که سالانه از حدود ۴/۸ هزار هکتار از زمین‌های زیر کشت این محصول، ۰/۳ میلیون تن علوفه تولید می‌شود (Ministry of Agricultural Jihad statistics, 2017). سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در جهان یک میلیون هکتار با تولید ۸/۳ میلیون تن علوفه می‌باشد (FAO, 2019). حداکثر عملکردی که از یک رقم در یک محیط مشخص در شرایط محیطی مطلوب و بدون محدودیت منابع آب و عناصر غذایی به‌دست می‌آید، پتانسیل عملکرد^۱ نامیده می‌شود (Fischer, 2015). عواملی مانند کمبود آب، عناصر غذایی و وجود آفات، بیماری‌ها، علف‌های هرز و آلاینده‌های محیطی، باعث کاهش عملکرد به‌دست آمده نسبت به پتانسیل عملکرد می‌شود که عملکرد واقعی^۲ نامیده می‌شود. خلأ عملکرد^۳ به‌عنوان اختلاف بین پتانسیل عملکرد و عملکرد واقعی تعریف می‌شود (Marin *et al.*, 2015). در صورت فراهم بودن آمار هواشناسی بلند مدت، مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی، برآورد بهتری از پتانسیل عملکرد را نشان می‌دهند، زیرا در این مدل‌ها، اثر نوسانات دمایی، تشعشع و بارندگی در طی زمان بهتر تخمین زده می‌شود (Van Ittersum *et al.*, 2013). مدل‌های گیاهی علاوه بر کاهش هزینه و زمان مورد نیاز برای انجام مطالعات مزرعه‌ای، به‌عنوان مفیدترین ابزار برای برآورد پتانسیل عملکرد و مباحث مربوط به خلأ عملکرد در نظر گرفته می‌شوند، زیرا امکان ارزیابی اثرات متقابل اقلیم، خاک، رقم و مدیریت زراعی برای رشد و نمو گیاه را فراهم می‌کند (Soltani *et al.*, 2009; Godfray *et al.*, 2011). در این گونه مطالعات به‌طور معمول از ترکیب مدل‌های گیاهی و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS^۴) استفاده می‌شود.

^۵ Crop Environment REsource Synthesis

^۷ WOrlD FOod STudies

^۸ Cropping Systems Simulation Model

^۹ Maize Simulation Model

^۱ Potential Yield

^۲ Actual Yield

^۳ Yield Gap

^۴ Geographic Information Systems

^۵ Environmental Policy Integrated Climate

اطلس جهانی خلأ عملکرد (GYGA) و با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل SSM-iCrop2 برای اولین بار در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

برای محاسبه مقادیر خلأ عملکرد بر اساس دستورالعمل جهانی گیگا، ابتدا وضعیت فعلی گیاه ذرت علوفه‌ای از نظر سطح زیر کشت، عملکرد و تولید با استفاده از اطلاعات سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ دریافت شده از وزارت جهاد کشاورزی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین، سهم استان‌های مختلف کشور در تولید ذرت علوفه‌ای آبی که حداقل ۸۵ درصد تولید کشور را در بر می‌گیرند، بر اساس آمار سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ تعیین شد (Ministry of agricultural Jihad statistic, 2017). نقشه پراکنش سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای با استفاده از اطلاعات سطح زیر کشت شهرستانی (از سال ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵)، نقشه پراکنش زمین‌های زراعی آبی و همچنین، نقشه مرز شهرستانی کشور تهیه شد. مرحله بعدی، اجرای دستورالعمل گیگا تعیین بافر (محدوده‌ای به شعاع ۱۰۰ کیلومتر به مرکزیت ایستگاه هواشناسی) بود. محدوده هر ایستگاه باید به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شد که تا حد ممکن، دارای اقلیم مشابهی باشد (Van Bussel *et al.*, 2015). برای این منظور نیاز به مشخصات جغرافیایی محل قرارگیری ایستگاه‌های هواشناسی در کشور بود. اطلاعات مربوط به داده‌های هواشناسی (حداقل و حداکثر دمای روزانه، تابش خورشیدی و بارندگی) و محل قرارگیری این ایستگاه‌ها در کشور از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. ایستگاه‌های هواشناسی که بیش از یک درصد سطح زیر کشت در داخل بافر را پوشش می‌دادند، به‌عنوان ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS^۲) انتخاب شدند. بر اساس پروتکل گیگا، اگر در مناطقی که زمین‌های زراعی محصول مورد نظر موجود باشد اما ایستگاه هواشناسی در آن‌جا نباشد و یا ایستگاهی حاوی اطلاعات ثبت نشده و یا غیر قابل قبولی در آن منطقه

به‌وسیله مدل CERES-Maize در شمال دشت چین نشان داد که میزان عملکرد برای ذرت تابستانه و بهاره به‌ترتیب ۴/۸ و ۵/۷ تن در هکتار است؛ آن‌ها عملکرد کمتر ذرت تابستانه نسبت به ذرت بهاره را به طول دوره رشدی آن نسبت دادند (Binder *et al.*, 2008).

دستورالعمل گیگا (GYGA^۱) یکی از روش‌های محاسبه خلأ عملکرد محسوب می‌شود که توسط Van Ittersum *et al.* (2013) تهیه شده است. هدف گیگا، در دسترس قرار دادن اطلس آنلاینی است که شامل اطلاعات پتانسیل عملکرد، عملکرد واقعی و خلأ عملکرد گیاهان زراعی می‌باشد و عملکردها در سطح ملی و پهنه‌های اقلیمی نمایش داده می‌شوند. در پژوهشی بر روی گندم در استرالیا با استفاده از دستورالعمل گیگا، شش منطقه اقلیمی اصلی و ۲۲ ایستگاه مرجع انتخاب شد. در این پژوهش، مقدار خلأ عملکرد در استرالیا حدود دو تن در هکتار و عملکرد نسبی حدود ۴۷ درصد برآورد شد (Gobbett *et al.*, 2016). در تحقیق دیگری که بر روی برنج در آمریکا انجام شد، با استفاده از دستورالعمل گیگا و مدل شبیه‌سازی ORYZA، ۱۴ منطقه اصلی تولیدکننده برنج شناسایی شد. در این تحقیق، پتانسیل عملکرد برای یک دوره ۱۳ تا ۱۵ ساله بین ۱۱/۵ تا ۱۴/۵ تن در هکتار و خلأ عملکرد بین ۱/۱ تا ۳/۵ تن در هکتار برآورد شد (Espe *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای در آرژانتین، پتانسیل عملکرد ذرت (با مدل CERES-Maize)، گندم (با مدل CERES-Wheat) و سویا (با مدل CROPGRO-Soybean) به‌ترتیب ۱۱/۶، ۵/۲ و ۳/۹ تن در هکتار محاسبه شد. در این مطالعه، خلأ عملکرد سویا، ذرت و گندم به‌ترتیب ۱/۳، ۴/۸ و ۲/۱ تن در هکتار گزارش شد (Merlos *et al.*, 2015).

با توجه به محدودیت منابع در ایران و نیاز آبی زیاد گیاه ذرت، امکان افزایش تولید ذرت از طریق افزایش سطح زیر کشت وجود ندارد؛ بنابراین به‌نظر می‌رسد که تنها راه افزایش تولید ذرت، افزایش عملکرد در واحد سطح و کاهش خلأ عملکرد از طریق بهینه‌سازی مدیریت تولید باشد. پژوهش حاضر با هدف برآورد پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد ذرت علوفه‌ای بر اساس پروتکل

¹ Global Yield Gap Atlas

²Reference weather stations

شبیه‌سازی مراحل رشد و نمو فنولوژیک، گسترش و پیری برگ، تاثیر تنش خشکی بر تولید ماده خشک، توزیع ماده خشک و همچنین، تاثیر دماهای اکستریم (دماهای بالا و پایین) بر سطح برگ، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. (Amir & Sinclair, 1991; Soltani & Sinclair, 2011; Soltani & Sinclair, 2012).

به‌منظور یافتن پارامترها و ضرایب مورد نیاز مدل SSM-iCrop2 برای شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد علوفه ذرت و همچنین ارزیابی دقت شبیه‌سازی مدل، ۲۳۶ مقاله منشر شده در سراسر کشور مورد بررسی قرار گرفت. این پارامترها شامل مراحل نمو فنولوژیک (تعداد واحد حرارتی لازم برای جوانه‌زنی، شروع و پایان مؤثر پر شدن دانه، شروع رسیدگی و...)، سطح برگ (حداکثر شاخص سطح برگ، سرعت پیر شدن برگ و...)، ماده خشک (دمای پایه، دمای مطلوب تحتانی، فوقانی و سقف برای تولید ماده خشک، ضریب خاموشی، رطوبت دانه و...) و رشد ریشه (عمق ریشه، کسر آب قابل دسترس و...) می‌باشد. از بین این مقالات، ۲۶ مقاله که دارای اطلاعات مورد نیاز برای پارامتریابی شامل تاریخ‌های دقیق کاشت و رسیدگی برداشت و مقدار عملکرد دانه بودند برای پارامتریابی و تعیین ضرایب گیاهی استفاده شدند. برای ارزیابی مدل از داده‌هایی مستقل از مرحله پارامتریابی استفاده شد. تعداد مقالات مورد استفاده برای مرحله ارزیابی ۳۵ مورد بود. همچنین با توجه به این‌که مدل SSM-iCrop2 عملکرد علوفه را بر اساس وزن خشک شبیه‌سازی می‌کند، عملکردهای به‌دست آمده از مدل قبل از ارزیابی بر اساس ۷۰ درصد رطوبت (بر اساس پروتکل گیگا برای ذرت علوفه‌ای) اصلاح شدند. برای بررسی دقت مدل، از آماره‌های ضریب تغییرات (CV)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب همبستگی (r) استفاده شد. برای ارزیابی، نمودار ۱:۱ با حدود اطمینان ۲۰ درصد ترسیم شد و مقادیر پیش بینی شده در مقابل مقادیر واقعی قرار داده شد. برای محاسبه عملکرد واقعی از اطلاعات دریافت شده از وزارت جهاد کشاورزی و

وجود داشته باشد، در این صورت می‌توان از ایستگاه جایگزینی که حاوی اطلاعات دراز مدت (حداقل ۲۰ سال) و با کیفیت مناسب است و در نزدیکی آن ایستگاه (درون آن پهنه با کد اقلیمی یکسان) قرار دارد استفاده کرد و آن را به‌عنوان ایستگاه هواشناسی مرجع فرضی^۱ (RWS) در نظر گرفت (Van Wart et al., 2013).

بنابراین در این مطالعه، با رعایت شرایط دستورالعمل گیگا برای ذرت علوفه‌ای، ایستگاه هواشناسی بهبهان به‌عنوان ایستگاه فرضی در نظر گرفته شد و از اطلاعات هواشناسی این ایستگاه به‌جای ایستگاه انتخابی دهلران (کد ۲۳) استفاده و به صورت HYP RWS نمایش داده شد. برای تعیین پهنه‌های اصلی کشت بر اساس دستورالعمل گیگا، ابتدا مناطق اقلیمی مهم (CZ^۲) شناسایی شدند و در نهایت از بین آن‌ها، مناطق اقلیمی که بیش از پنج درصد سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای را در برمی‌گیرند (DCZ^۳) انتخاب شدند. برای نامگذاری (یا کدگذاری) هر پهنه اقلیمی از یک عدد چهار رقمی استفاده شد. هر یک از پهنه‌های اقلیمی بر اساس اطلاعات، سه متغیر از هم تفکیک شدند؛ الف) متغیر واحد دمایی (GDD^۴)، ب) متغیر شاخص خشکی سالیانه (AI^۵) و ج) متغیر نوسانات دمای فصلی^۶. برای اطلاعات بیشتر به سایت www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted مراجعه شود. در این مطالعه به‌منظور تهیه نقشه خاک، از اطلاعات HC-27 (حاصل دو پایگاه مهم اطلاعات جهانی خاک HWS و WISE) در سطح کشور استفاده شد که نوع خاک بر اساس سه معیار بافت، عمق و حاصلخیزی (درصد کربن آلی) خاک در هر منطقه شماره گذاری شده‌اند (Van Bussel et al., 2015).

در این تحقیق، پتانسیل عملکرد با کمک مدل SSM-iCrop2 شبیه‌سازی شد. این مدل توسط Soltani & Sinclair (2012) برای شبیه‌سازی رشد گیاهان زراعی مختلف تهیه شده است. از آن‌جای که این مدل از صفحه گسترده اکسل برای ورود داده‌ها و خروج نتایج استفاده می‌کند، کار با آن ساده است. این مدل توانایی

^۱Growing degree days (GDD)^۲Annual aridity index (AI)^۳Temperature seasonality^۱ Hypothetical RWS (HYP RWS)^۲Climate zone^۳Designated climate zone

$$RY = (Ya/Yp) \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ استفاده شد. با استفاده از روش میانگین وزنی برای هر ایستگاه، میانگین عملکرد ۱۵ ساله محاسبه شد و سپس عملکرد محدوده ایستگاه هواشناسی به اقلیم تعمیم داده شد. با استفاده از همین روش و بر اساس این که چه مساحتی از ذرت دانه‌ای در هر اقلیم موجود بود، عملکرد برای کل کشور محاسبه شد. در نهایت، با استفاده از عملکرد واقعی (Y_a) و پتانسیل عملکرد (Y_p) محاسبه شده در سطح هر اقلیم، خلأ عملکرد (Y_g) و عملکرد نسبی (RY) به صورت زیر برآورد شد (Van Bussel *et al.*, 2015).

$$Y_g = Y_p - Y_a \quad \text{رابطه ۱}$$

نتایج و بحث

وضعیت جاری و استان‌های مهم تولید کننده ذرت

علوفه‌ای

نتایج به دست آمده در ایران طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۰ نشان داد که بیشترین و کمترین میانگین عملکرد علوفه به ترتیب ۵۹/۹ و ۴۲/۵ تن در هکتار بود که در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۸۰ مشاهده شد (جدول ۱).

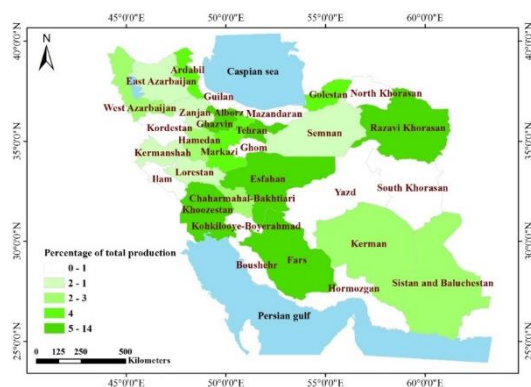
جدول ۱- تغییرات عملکرد، سطح زیر کشت و تولید ذرت علوفه‌ای در ایران در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ بر اساس آمار دریافت شده از وزارت کشاورزی.

Table 1- Changes in yield, harvested area and production of forage maize in Iran during 2001 to 2015 bases on the Agricultural Ministry figure.

Year	Yield (ton ha ⁻¹)	Harvest area (1000 ha)	Production (million ton)
1380	42.5	48	2.0
1381	48.6	70	3.4
1382	43.2	81	3.5
1383	44.2	96	4.2
1384	46.7	132	6.2
1385	47.8	136	6.5
1386	46.1	168	7.7
1387	45.2	161	7.3
1388	50.2	147	7.4
1389	59.9	129	7.7
1390	51.3	145	7.4
1391	50.1	149	7.4
1392	58.4	128	7.5
1393	48.6	201	9.8
1394	45.9	242	11.1
Mean	48.6	135	6.6

داده شده است. این استان‌ها شامل، خوزستان (۱۴ درصد)، فارس (۱۴ درصد)، تهران (۱۳ درصد)، قزوین (۱۱ درصد)، اصفهان (هشت درصد)، خراسان رضوی (هشت درصد)، اردبیل (چهار درصد)، آذربایجان غربی (سه درصد) و البرز (سه درصد) می‌باشند. این استان‌ها در مجموع حدود ۸۴ درصد تولید را در برمی‌گیرند و سایر استان‌های کشور، ۱۶ درصد باقی مانده را شامل می‌شوند (شکل ۱).

در مجموع متوسط میزان سطح زیر کشت، عملکرد و تولید ذرت علوفه‌ای طی سال‌های یاد شده به ترتیب ۱۳۷ هزار هکتار، ۴۹ تن در هکتار و هفت میلیون تن برآورد شد. (جدول ۱). همچنین بر اساس آمار موجود در سال‌های ۹۵-۱۳۹۳، متوسط سطح زیر کشت ذرت ۱۹۸۲۰۶ هکتار و میزان تولید علوفه ۱/۳ میلیون تن بوده است. استان‌های مهم تولید کننده ذرت علوفه‌ای بر روی نقشه کشور به تفکیک رنگ در شکل ۱ نشان



شکل ۱- سهم استان‌های مختلف کشور در تولید ذرت علوفه‌ای بر اساس آمار سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵.

Figure 1. The contributions of different provinces in maize production during 1393 to 1395.

مشاهده شده (استخراج شده از مقالات) بین ۱۳۲-۷۱ (با میانگین ۱۰۰) روز و شبیه‌سازی شده توسط مدل بعد از انجام پارامتریابی و واسنجی بین ۱۴۱-۷۴ (با میانگین ۱۰۱) روز به‌دست آمد (شکل ۲الف). دامنه عملکردهای علوفه مشاهده شده بین ۴۶ تا ۱۰۹ (با میانگین ۶۲) تن در هکتار و دامنه عملکرد شبیه‌سازی شده بین ۹۵-۴۷ (با میانگین ۶۲) تن در هکتار بود (شکل ۲ب). در مرحله پارامتریابی، جذر میانگین مربعات خطا، ضریب تغییرات و ضریب همبستگی برای روز تا رسیدگی به ترتیب هفت روز، هفت درصد و ۰/۹۳ (شکل ۲الف) و برای عملکرد علوفه به ترتیب ۱/۷ تن در هکتار، هشت درصد و ۰/۹۸ محاسبه شد (شکل ۲ب). برای ارزیابی مدل و با استفاده از داده‌های مستقل، مقادیر روز تا رسیدگی شبیه‌سازی شده در برابر مقادیر مشاهده شده قرار گرفت. مقادیر به‌دست آمده از مقالات بین ۸۴ تا ۱۳۲ با میانگین ۱۰۱ روز و شبیه‌سازی شده توسط مدل ۷۹ تا ۱۴۱ با میانگین ۱۰۳ روز برآورد شد (شکل ۲-ج). در این مرحله، مقدار RMSE نتایج شبیه‌سازی شده توسط مدل در مقابل مقادیر مشاهده شده برابر ۵/۹ و ضریب تغییرات شش درصد بود. مقدار همبستگی مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده شده برای این صفت برابر ۰/۹۶ محاسبه شد (شکل ۲ج). عملکرد علوفه در مقالات مورد استفاده برای ارزیابی مدل بین ۴۵ و ۱۰۹ با متوسط ۷۲ تن در هکتار و عملکرد علوفه شبیه‌سازی شده توسط مدل بین ۴۷ و ۱۰۸ با متوسط ۷۳ تن در هکتار بود (شکل ۲د).

مناطق اقلیمی و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع

بر اساس نتایج به‌دست آمده، کشت ذرت علوفه‌ای در ایران در ۱۱ منطقه اقلیمی اصلی صورت می‌گیرد. کل سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای در این مناطق ۲۰۰۳۱۴ هکتار است. مناطق انتخاب شده در مجموع ۸۸ درصد از کل سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای را پوشش می‌دهند (جدول ۳). بیشترین سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای به مساحت حدود ۴۶۷۱۱ هکتار مربوط به اقلیم با کد ۵۰۰۳ می‌باشد که چهار ایستگاه هواشناسی (کرج، سبزواری، ساوه و شهرکرد) را به خود اختصاص داده است و کمترین سطح زیر کشت به مساحت ۲۸۳۹ هکتار مربوط به اقلیم ۴۱۰۲ با یک ایستگاه (نهبوند) می‌باشد (جدول ۳). تعداد ۲۷ ایستگاه هواشناسی مرجع بر اساس دستورالعمل گیگا در DCZهای کشت ذرت علوفه‌ای مشخص شد (جدول ۲). بیشترین و کمترین سطح زیر کشت داخل بافر به ترتیب در ایستگاه کرج با ۲۷۴۰۸ هکتار (۱۲ درصد) و ایستگاه ساوه با ۲۰۰۵ هکتار (۰/۹ درصد) مشاهده شد (جدول ۲). بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه، پنج نوع کد خاک برای تهیه نقشه HC27 به‌دست آمد (شکل ۲ج، جدول ۲). بیشترین سطح زیر کشت ذرت علوفه‌ای به ترتیب مربوط به خاک‌های رسی با حاصلخیزی متوسط و عمق خاک ۱۲۰ سانتی‌متر (کد خاک پنچ) و خاک‌های لومی با حاصلخیزی ضعیف و عمق خاک ۱۲۰ سانتی‌متری (کد خاک ۱۷) بود (جدول ۲).

پارامتریابی و ارزیابی مدل

تعداد روز از کاشت تا رسیدگی (مرحله خمیری دانه)

جدول ۲- ایستگاه‌های هواشناسی انتخاب شده و اطلاعات مورد نیاز آن‌ها برای ذرت علوفه‌ای در ایران.

Table 2. Selected reference weather stations and their information for forage maize in Iran.

Number of station	CZ code	RWS	Longitude	Latitude	Height (m)	Soil code (Percentage of soil code within the buffer)	The area under cultivation in each (ha ¹⁾) (Percentage of the whole country)
1	4003	GHAZVIN	50.06	36.26	1279	5 (15.4%), 12 (37.5%), 17 (42.1%)	5100 (2.2%)
2	4003	GHOCHAN	58.45	37.12	1287	5(65.4%)	2094 (0.9%)
3	4003	KOMIJAN	49.31	34.71	1741	5 (38%), 14 (28.7), 17 (32%)	2242 (1.0%)
4	4003	KOOHRANG	50.13	32.46	2365	12 (31.6%), 14 (35.9%), 17 (32.5%)	2285 (1.0%)
5	4003	GHARGHABAD	49.83	35.11	1590	17 (58.2%)	3004 (1.3%)
6	4102	NAHAVAND	48.41	34.14	1678	5 (22.7%), 12 (32.7%), 17 (42.2%)	2228 (1.0%)
7	5002	ARSANJAN	53.28	29.93	1676	14 (69%)	6236 (2.7%)
8	5002	DORODZAN	52.42	30.21	1642	5 (36.2%), 14 (48.7%), 17 (15.1%)	4324 (1.9%)
9	5002	TORBATEJAM	60.56	35.29	950	17 (90%)	3010 (1.3%)
10	5003	KARAJ	50.95	35.81	1293	5 (50.7%)	27408 (12.0%)
11	5003	SABZEVAR	57.65	36.21	962	5 (76.7%)	3231 (1.4%)
12	5003	SAVEH	50.37	35.08	1112	5 (62.3%)	2005 (0.9%)
13	5003	SHAHREKORD	50.84	32.29	2049	5 (72.2%)	3128 (1.4%)
14	5102	PARSABAD	47.78	39.60	73	5 (80%)	3550 (1.6%)
15	5202	BILESOWAR	48.32	39.37	101	5 (90.8%)	8492 (3.7%)
16	6002	ZARGHAN	52.70	29.78	1596	5 (68.9%)	5531 (2.4%)
17	6002	GONBAD	55.21	37.27	37	5 (62%)	2676 (1.2%)
18	6003	GARMSAR	52.36	35.24	900	5 (91.3%)	17017 (7.5%)
19	6003	GHOM	50.86	34.77	879	5 (64.3%)	9470 (4.2%)
20	6003	KABOOTARABAD	51.83	32.52	1543	5 (79.9%)	4655 (2.0%)
21	6102	HASHMABAD	54.27	36.85	13	5 (34.2%), *8 (19.3%), 14 (36%)	4023 (1.8%)
22	7003	BEHBAHAN	50.22	30.61	313	5 (66.9%)	2722 (1.2%)
23	7003	DEHLORAN (HYP)	47.28	32.68	232	5 (67.9%)	2295 (1.0%)
24	7003	ZABOL	61.54	31.09	489	17 (61.7%)	2052 (0.9%)
25	8003	AHWAZ	48.74	31.34	23	17 (51%)	5447 (2.4%)
26	8003	DEZFUL(SAFIABAD)	48.43	32.25	83	17 (63.1%)	15732 (6.9%)
27	8003	OMIDIYEH (PAYGHAH)	49.55	30.83	35	5 (25.2%), 8 (32%), 17 (42.8%)	3598 (1.6%)
) (SUM							153555 (67.5%)

5=Clay soil, medium fertility, 120 cm depth

8= Clay soil, low fertility, 120 cm depth

12= Loam soil, high fertility, 60 cm depth

14=Loam soil, medium fertility, 120 cm depth

17=Loam soil, low fertility, 120 cm depth

26= Sand soil, low fertility, 120 cm depth

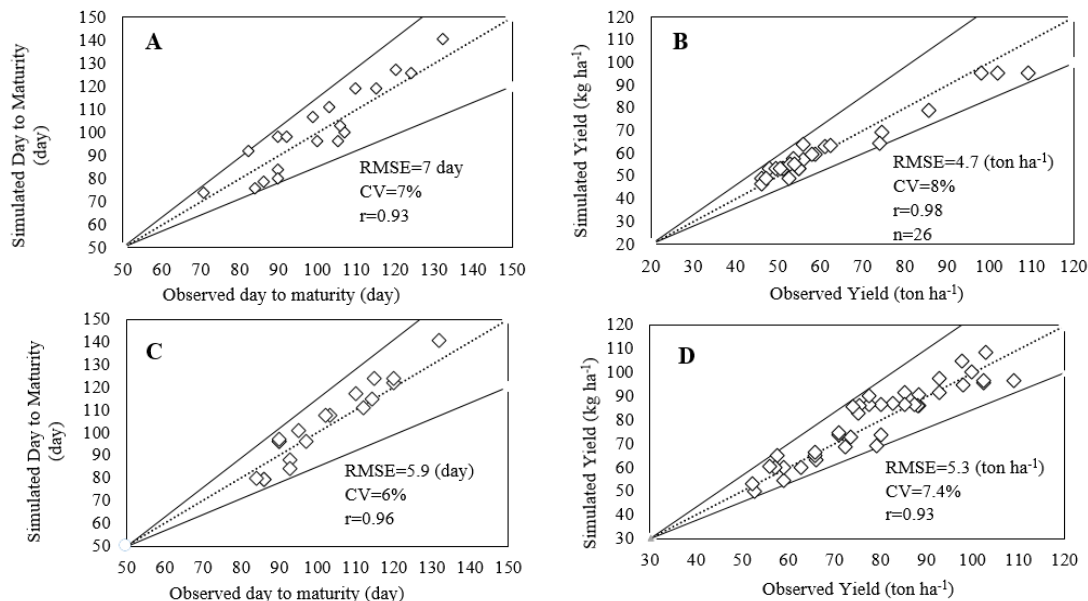
جدول ۳- سطح زیر کشت (HA) (۱۹۸۲۰۶ هزار هکتار)، نسبت سطح کشت شده به کل کشور (CA/WC) (درصد)، عملکرد واقعی (Ya) (تن در هکتار)، پتانسیل عملکرد (Yp) (تن در هکتار)، خلأ عملکرد (Yg) (تن در هکتار)، عملکرد نسبی (Ry%) (درصد)، درصد خلأ عملکرد (Rg%) (۱۰۰ منهای درصد عملکرد نسبی)، عملکرد قابل حصول (YAtt) (۸۰ درصد پتانسیل عملکرد)، خلأ قابل مدیریت (YE) (تن در هزار)، تولید واقعی (Pa) (هزار تن در هکتار) و تولید قابل حصول (PAtt) (هزار تن در هکتار) در اقلیم‌های اصلی کشت (CZ) ذرت علوفه‌ای در ایران. پتانسیل عملکرد توسط مدل SSM برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ بر اساس رطوبت ۷۰ درصد شبیه‌سازی شده است. HYP پس از نام هر ایستگاه هواشناسی مرجع فرضی آمده است.

Table 3. Harvested area (1000 ha), cultivated area/to the whole country (%), actual and yield potential (Ya and Yp), yield gap (Yg), Relative yield (RY), yield gap percentage (Rg%), attainable yield (YAtt), exploitable yield gap (YE), Actual production (Ap) and Attainable production (PAtt) in the main climate zones of forage maize in Iran. Yield potential is simulated by SSM during 2001-2015 and is adjusted with 70% moisture content. –HYP hypothetical reference stations.

CZ	Stations in CZ	HA (1000 ha)	CA/WC (%)	Ya (ton ha ⁻¹)	Yp (ton ha ⁻¹)	Yg (ton ha ⁻¹)	Rg (%)	Ry (%)	YAtt (ton ha ⁻¹)	YE (ton ha ⁻¹)	Ap (1000 ton ha ⁻¹)	PAtt (1000 ton ha ⁻¹)
4003	GHAZVIN-GHOCHAN-KOMIJAN-KOOHRANG-GHARGHABAD	48	10.7	50.6	82.2	31.7	38.6	61	65.8	15.2	1236	1608
4102	NAHAVAND	70	1.2	52.3	103.7	51.4	49.6	50	83.0	30.7	148	236
5002	ARSANJAN-DORODZAN-TORBATEJAM	81	9.0	56.8	97.5	40.7	41.7	58	78.0	21.2	1157	1588
5003	KARAJ-SABZEVAR-SAVEH-SHAHREKORD	96	20.5	51.4	90.4	39.0	43.1	57	72.3	20.9	2401	3377
5102	PARSABAD	132	1.9	41.0	68.3	27.2	39.8	60	54.6	13.6	175	232
5202	BILESOWAR	136	3.8	41.5	67.4	25.8	38.3	62	53.9	12.3	358	464
6002	SHIRAZ-ZARGHAN-MARVAST-BAM-HASANABADEDARAB	168	5.9	53.1	94.6	41.5	43.9	56	75.7	22.6	710	1012
6003	GARMSAR-GHOM-KABOOTARABAD	161	17.6	50.3	90.7	40.4	44.5	55	72.6	22.3	2012	2905
6102	HASHMABAD	147	2.0	38.0	73.2	35.2	48.1	52	58.6	20.6	176	271
7003	BEHBAHAN-DEHLORAN (HYP)-ZABOL	129	4.5	45.2	75.9	30.7	40.4	60	60.7	15.5	464	624
8003	AHWAZ-DEZFUL(SAFIABAD)-OMIDIYEH(PAYGAH)	145	10.9	41.8	70.8	28.9	40.8	59	56.6	14.8	1037	1403
National estimate		149	88	49.3	85.6	36.3	42.4	58	68.5	19.2	11220	15590

آمریکا (Lollato *et al.*, 2017)، سویا در آفریقا (Merlos *et al.*, 2015)، آمریکا (Sinclair *et al.*, 2010) و ایران (Nehbandani *et al.*, 2017)، سورگوم در استرالیا (Alasti *et al.*, 2005)، جو دیم در ایران (Dadrasi *et al.*, 2020) و سیبزمینی در ایران (Dadrasi *et al.*, 2020) گزارش شده است.

جذر میانگین مربعات برابر ۵/۳ تن در هکتار، مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۳ و ضریب تغییرات هفت درصد برآورد شد. با توجه به شاخص های آماری، ارزیابی مدل نشان داد که دقت مدل فراتر از قابل قبول و در حد خوب تا عالی بود. توانایی بالای مدل SSM-iCrop2 در شبیه سازی گیاهان دیگری مانند گندم برای ایران و (Soltani & Sinclair, 2015., Zahed *et al.*, 2019)



شکل ۲- روزهای مشاهده شده تا بلوغ (روز) و عملکرد (تن در هکتار) حاصل از داده های آزمایشی در مقایسه با مقادیر شبیه سازی شده با مدل SSM-iCrop2 که برای پارامترسازی (A و B) و اعتبارسنجی (ج و د) استفاده شد. عملکردها بر اساس رطوبت ۷۰ درصد محاسبه می شوند. خط ۱:۱ و خطوط انحراف ۲۰ درصد نیز نشان داده شده است.

Figure 2- The observed days to maturity (day) and yield (ton ha^{-1}) were obtained from the experimental data against the simulated values by SSM-iCrop2 model that was used for A and B: parameterization; C and D: validation. The yields are calculated based on a moisture content of 70%. 1:1 line and 20% deviation lines are also shown.

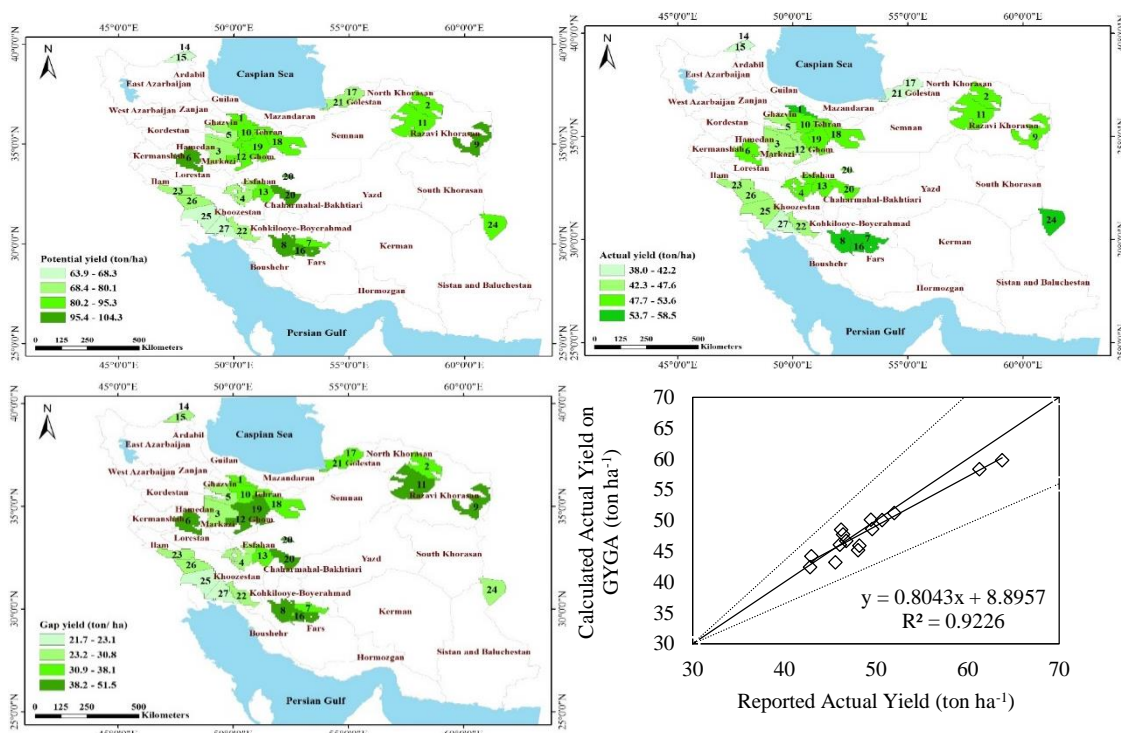
بود (شکل ۳ الف). عملکرد واقعی در سطح اقلیم از ۳۸ تا ۵۶/۸ با میانگین ۴۶/۵ تن در هکتار قرار داشت که به ترتیب مربوط به اقلیم های ۵۰۰۲ و ۶۱۰۲ بود (جدول ۳). دامنه تغییرات عملکردهای واقعی گزارش شده توسط وزارت کشاورزی طی این ۱۵ سال (۲۰۱۵-۲۰۰۱) برای ذرت علوفه ای بین ۴۲/۵ تا ۵۹/۹ (با میانگین ۴۸/۶) تن در هکتار و محاسبه شده بر اساس دستورالعمل گیگا بین ۴۲/۸ و ۶۳/۸ (با میانگین ۴۹/۳) تن در هکتار برآورد شد. ضریب همبستگی (۰/۹۶)، جذر میانگین مربعات خطا (۱/۹) تن در هکتار و ضریب تغییرات (۳/۹ درصد) به دست آمده از مقایسه عملکردهای واقعی محاسبه شده بر اساس دستورالعمل

عملکرد واقعی

محاسبات انجام شده بر اساس دستورالعمل گیگا نشان داد که در دوره زمانی ۱۵ ساله ۱۳۹۴-۱۳۸۰ دامنه عملکرد واقعی ذرت علوفه ای در سطح ایستگاه بین ۳۸ تن در هکتار (ایستگاه حسن آباد با کد ۲۱) و ۵۸/۵ تن در هکتار (ایستگاه ارسنجان با کد هفت) با متوسط ۴۹/۲ تن در هکتار بود (جدول ۳، شکل ۳ الف). بیشترین عملکرد واقعی ذرت علوفه ای در استان های فارس، شمال شرقی استان سیستان و بلوچستان و استان البرز مشاهده شد و کمترین آن در استان گلستان، شمال استان اردبیل و جنوب استان خوزستان

در استرالیا (Gobbett et al., 2017)، سویا، ذرت و گندم در آرژانتین (Merlos et al., 2015) و گندم، جو دیم، سیبزمینی و چغندر قند در ایران (Zahed et al., 2019; Alasti et al., 2020; Dadrasi et al., 2020; Mohammadzadeh et al., 2021) گزارش شده است.

گیگا و عملکردهای واقعی گزارش شده توسط وزارت کشاورزی برای ذرت علوفه‌ای نشان داد که با استفاده از دستورالعمل گیگا می‌توان عملکرد این گیاه را با دقت بسیار خوبی برای کشور محاسبه نمود (شکل ۲د). دقت بالای پروتکل گیگا برای محاسبه عملکرد واقعی گندم



شکل ۳- الف: نقشه عملکرد واقعی (تن در هکتار); ب: پتانسیل عملکرد (تن در هکتار); ج: خلأ عملکرد (تن در هکتار) در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع کشت ذرت علوفه‌ای کشور که با مدل SSM برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برآورد شده و بر اساس ۷۰ درصد رطوبت تصحیح شده است (اعداد داخل نقشه شماره ایستگاه هواشناسی را نشان می‌دهند که توضیح آن در جدول ۲ آورده شده است; د: میانگین عملکرد واقعی (تن در هکتار) کشوری گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در مقابل عملکرد واقعی کشوری محاسبه شده توسط روش گیگا در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ برای ذرت علوفه‌ای.

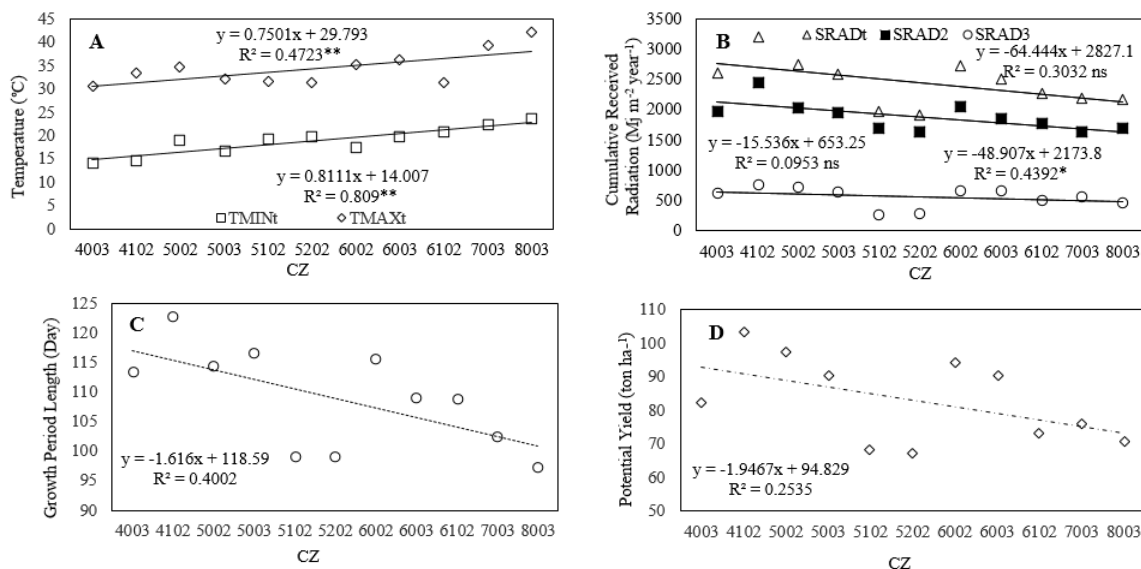
Figure 3. A: Actual yield (ton ha⁻¹); B: yield potential (ton ha⁻¹); C: Yield gap (ton ha⁻¹) of maize in reference weather stations areas in Iran estimated by the SSM model for the years 2001 to 2015 and corrected based on 70% moisture (Values in the parentheses indicate station number which is described in Table 2); D: the average actual yield (ton ha⁻¹) of the country reported by Ministry of Agriculture versus the actual yield of the country calculated by the GYGA method for forage maize. Time period is 2001 to 2015. 1:1 line (presented line) and 20% deviation lines are dotted.

استان‌های اصفهان، فارس، همدان و شرق استان خراسان رضوی مشاهده شد و کمترین آن مربوط به شمال استان اردبیل (دشت مغان) و استان خوزستان بود (شکل ۳ب). پتانسیل عملکرد در اقلیم‌های اصلی بین ۶۷/۴ و ۱۰۳/۷ با میانگین ۸۵/۶ تن در هکتار قرار داشت. در مناطق اقلیمی ۴۱۰۲ و ۵۲۰۲ نیز بالاترین و پایین‌ترین میزان پتانسیل عملکرد مشاهده شد (جدول

پتانسیل عملکرد

نتایج این مطالعه نشان داد که پتانسیل عملکرد ذرت علوفه‌ای در سطح ایستگاه بین ۶۳/۹ تن در هکتار (ایستگاه امیدیه با کد ۲۷) و ۱۰۴/۳ تن در هکتار (ایستگاه کیوتراآباد با کد ۲۰) با متوسط ۸۴/۶ تن در هکتار برآورد شد (جدول ۳، شکل ۳ب). بیشترین پتانسیل عملکرد ذرت علوفه‌ای در مناطق واقع در

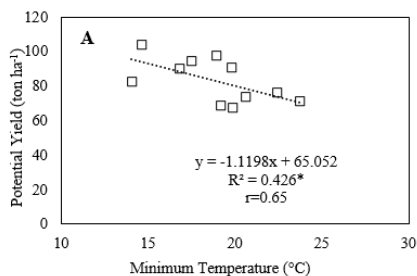
طول دوره رشد با پتانسیل عملکرد در مناطق اصلی کشت ذرت علوفه‌ای ($r^2=0/91$, $p<0/01$) وجود داشت (شکل ۵ج). رابطه مثبت بین این دو صفت می‌تواند ناشی از فرصت بیشتر برای جذب مقدار بیشتر تشعشع دریافتی توسط گیاه برای فتوسنتز و تولید محصول باشد. بالاتر بودن عملکرد علوفه در اقلیم ۴۱۰۲ (۱۰۳/۷۴ تن در هکتار) (شکل ۵د) را می‌توان به شرایط دمایی مطلوب در طول فصل رشد (دمای حداقل ۱۵ و حداکثر ۳۳ درجه سانتی‌گراد) (شکل ۵الف)، دریافت بیشترین تشعشع تجمعی در طول فصل رشد (۳۲۰۶ مگاژول بر متر مربع در سال) (شکل ۵ب) و فصل رشد طولانی‌تر (۱۲۳ روز) (شکل ۵ج) در مقایسه با دیگر مناطق اقلیمی نسبت داد. پایین‌تر بودن میانگین دمای حداکثر از حد مطلوب (۳۱ درجه سانتی‌گراد) (شکل ۵الف)، دریافت کمترین تابش تجمعی در طول فصل رشد (۱۹۰۷ مگاژول بر متر مربع در سال) (شکل ۵ب) و طول فصل رشد کوتاه‌تر (۹۹ روز) (شکل ۵ج) علت اصلی پایین‌تر بودن عملکرد علوفه در اقلیم ۵۲۰۲ در مقایسه با اقلیم‌های دیگر است (شکل ۵د).



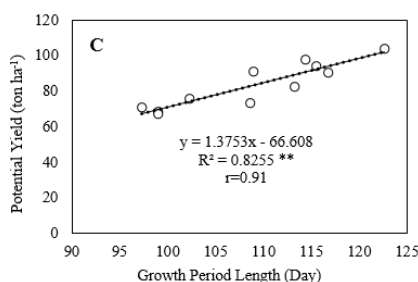
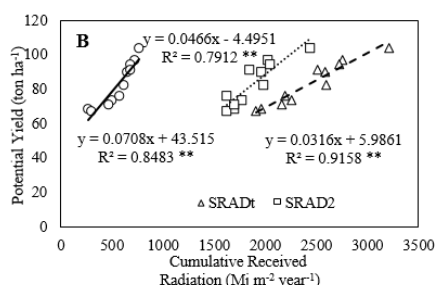
شکل ۴- الف: دمای حداقل و حداکثر در طول دوره رشد؛ ب: مقدار تشعشع دریافتی تجمعی در مراحل مختلف رشد (تشعشع دریافتی تجمعی از کاشت تا رسیدگی (SRADt Δ)، از کاشت تا پر شدن دانه (SRAD2 □)، شروع پر شدن دانه تا رسیدگی (SRAD3 ○))؛ ج: روز تا رسیدگی محصول؛ د: پتانسیل عملکرد در اقلیم‌های اصلی ذرت علوفه‌ای.

Figure 4. A: minimum and maximum temperatures from planting to crop ripening; B: amount of cumulative received radiation at different stages of growth (cumulative incoming radiation from planting until ripening (SRADt Δ), from planting until seed filling (SRAD2 □), onset of grain filling until maturity (SRAD3 ○)); C: growth period length; D: yield potential in the main climates of forage maize cultivate.

و مراحل فنولوژیکی ذرت بیان کردند که در محدوده ۱۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد، افزایش دما باعث افزایش سرعت نمو ذرت می‌شود، اما دمای بالاتر از ۴۱ درجه سانتی‌گراد، سرعت نمو را کاهش داده و باعث اختلال در رشد گیاه می‌شود. در پژوهشی مشاهده شد که با افزایش درجه حرارت به میزان یک درجه سانتی‌گراد، مدت زمان لازم تا گلدهی و آغاز دوره پر شدن دانه به ترتیب ۱۶ و ۱۴ درصد کاهش یافت (Byjesh *et al.*, 2010). بنابراین بالاتر رفتن دما از حد آستانه، علاوه بر موارد یاد شده، موجب کاهش طول دوره رشد، شاخص سطح برگ و دوام سطح برگ ذرت شده است که نهایتاً منجر به کاهش عملکرد محصول می‌شود (Byjesh *et al.*, 2010). با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که می‌توان با انتخاب مناطق اقلیمی مناسب برای کشت ذرت علوفه‌ای (۴۱۰۲، ۵۰۰۲ و ۶۰۰۲)، میزان عملکرد علوفه در سطح ملی را افزایش داد.



از آن‌جای که میزان بارندگی، تأثیر مثبتی بر عملکرد محصولات آبی ندارد، بیشتر تغییرات عملکرد ذرت در مناطق اقلیمی مختلف می‌تواند به دلیل نوسانات دما و تابش باشد (Kim & Reddy, 2004). به‌طورکلی، افزایش دما تا حد بهینه با افزایش سرعت رشد گیاه همراه است و با فراتر رفتن دما از حد آستانه، به علت کوتاه شدن مراحل فنولوژیک گیاه، کاهش تششع جذبی، افزایش سرعت تنفس شبانه و کاهش فتوسنتز کاهش خواهد یافت. در همین ارتباط Mera *et al.* (2006) گزارش کردند که دماهای بالاتر از حد مطلوب، بیشترین اثر منفی را بر گل‌دهی ذرت دارد و با کاهش درصد و دوره تلقیح گل‌ها، موجب کاهش عملکرد دانه می‌شود. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش دما به میزان دو درجه سانتی‌گراد، باعث کاهش طول دوره گل‌دهی ذرت از ۱۰ به هشت روز می‌شود. در آزمایش دیگری Meza *et al.* (2008) با بررسی اثر تغییر دما بر عملکرد



اصلی تولید ذرت در کشور ۵۸ درصد با دامنه ۵۰ تا ۶۲ درصد بود که به معنی وجود ۴۲ درصد خلأ عملکرد با دامنه ۳۸ تا ۵۰ درصد است (جدول ۳). خلأ عملکرد قابل مدیریت (اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکردهای واقعی) در اقلیم‌های اصلی تولید ذرت در ایران ۱۹/۲ با دامنه ۱۲/۳ تا ۳۰/۷ تن در هکتار برآورد شد (جدول ۵). نتایج به‌دست آمده حاکی از آن است که کشاورزان، ۳۸ تا ۵۰ درصد از پتانسیل عملکرد را از دست می‌دهند و به بیان دیگر فقط ۵۰ تا ۶۲ درصد از

خلأ عملکرد

میانگین خلأ عملکرد ذرت علوفه‌ای در دوره ۱۳۹۴-۱۳۸۰ در ایران، ۳۶/۳ تن در هکتار برآورد شد. بیشترین میزان درصد خلأ عملکرد (۱۰۰) منهای درصد عملکرد نسبی) با میانگین ۴۹/۶ تن در هکتار مربوط به اقلیم ۴۱۰۲ (ایستگاه نهاوند) و کمترین آن با میانگین ۳۸/۳ تن در هکتار مربوط به اقلیم ۵۲۰۲ (ایستگاه بیلسوار) بود (جدول ۳). متوسط عملکرد نسبی (نسبت عملکرد واقعی به پتانسیل عملکرد ضرب در ۱۰۰) در اقلیم‌های

WOFOST) در بنگلادش به ترتیب ۱۱/۷، ۱۱/۴ و ۵/۵ تن در هکتار و خلأ عملکرد به ترتیب ۶۱-۴۵، ۶۵-۳۰ و ۶۵-۴۷ درصد گزارش شد (Timsina et al., 2018).

نتیجه گیری کلی

در این مطالعه، اطلس خلأ عملکرد ذرت علوفه ای برای ایران تهیه و توان تولید ذرت علوفه ای آبی در کشور برآورد شد. بر اساس یافته های این مطالعه، تولید ذرت در ایران در ۱۱ منطقه اقلیمی اصلی (پوشش ۸۸ درصدی) انجام شد. در این مناطق، دامنه عملکردهای واقعی از ۳۸ تا ۵۶/۸ (به طور متوسط ۴۹/۳) و پتانسیل عملکرد از ۶۷/۴ تا ۱۰۳/۷ (به طور متوسط ۸۵/۶) تن در هکتار متغیر بود. این نتایج حاکی از وجود ۲۵/۸ تا ۵۱/۴ (و به طور متوسط ۳۶/۳) تن در هکتار (معادل ۳۸ تا ۵۰ و به طور متوسط ۴۲ درصد) خلأ عملکرد در ایران می باشد. همچنین، عملکرد نسبی در مناطق اقلیمی اصلی تولید ذرت علوفه ای ۵۰ تا ۶۲ درصد و خلأ عملکرد قابل مدیریت ۱۴/۸ تا ۲۲/۶ (به طور متوسط ۱۹/۲) تن در هکتار بود. به بیان دیگر، با بهینه سازی مدیریت تولید و حذف خلأ عملکرد قابل بهره برداری می توان عملکرد ذرت علوفه ای در ایران را از ۴۹ تن در هکتار فعلی به ۶۸ تن در هکتار و تولید علوفه ذرت را از ۱۱/۲ میلیون تن فعلی به ۱۵/۶ میلیون تن افزایش داد.

ظرفیت عملکرد ارقام فعلی ذرت را تولید می کنند. در پژوهشی با استفاده از پروتکل گیگا و مدل شبیه سازی SSM-iCrop2، میانگین پتانسیل عملکرد و خلأ عملکرد برای ۱۷ منطقه اصلی تولیدکننده جو دیم در ایران به ترتیب ۲/۷ و ۱/۷ تن در هکتار تخمین زده شد (Alasti et al., 2020). در تحقیق دیگری که بر اساس دستورالعمل گیگا و مدل SSM-iCrop2 انجام شد، ۲۸ ایستگاه هواشناسی و ۱۳ منطقه اقلیمی اصلی برای چغندر قند در ایران مشخص شد. در این مطالعه، عملکرد واقعی و پتانسیل و خلأ عملکرد به ترتیب ۴۷، ۱۰۳ و ۵۶ تن در هکتار محاسبه شد (Mohammadzadeh et al., 2021). خلأ عملکرد ذرت دانه ای در جنوب شرقی آسیا برای ۶۵ مکان از ۱۳ منطقه اصلی تولید کننده ذرت در کشورهای اندونزی، ویتنام و فلیپین برای سال های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۸ حدود ۰/۹ تن در هکتار محاسبه شد (Pasuquin et al., 2014). در مطالعه Liu et al. (2017)، پتانسیل عملکرد ذرت دانه ای طی شرایط تشعشع محدود (Yp) و آب محدود (Yw) در چهار منطقه اقلیمی اصلی کشور چین به ترتیب ۱۴/۲ و ۱۰/۷ تن در هکتار برآورد شد. آن ها خلأ عملکرد در شرایط کشت آبی و دیم را به ترتیب ۴۲ و ۳۵ درصد گزارش کردند. در گزارش دیگری و بر اساس پروتکل گیگا، پتانسیل عملکرد برنج (با استفاده از مدل ORYZA)، ذرت دانه ای (با استفاده از مدل Hybrid-Maize) و گندم آبی (با استفاده از مدل

REFERENCES

1. Alasti, O., Zeinali, E., Soltani, A. & Torabi, B. 2020. Estimation of yield gap and potential of rainfed barley production increasing in Iran. *Journal of Crop Production*, 13(3), 41-60. (In Persian)
2. Amir, J. & Sinclair, T.R. 1991. A model of the temperature and solar-radiation effects on spring wheat growth and yield. *Journal of Field Crops Research*, 28(1-2), 47-58.
3. Binder, J., Graeff, S., Link, J., Claupein, W., Liu, M., Dai, M., & Wang, P. 2008. Model-based approach to quantify production potentials of summer maize and spring maize in the North China Plain. *Agronomy Journal*, 100, 862-873.
4. Byjesh, K., Kumar, S. N. & Aggarwal, P. K. 2010. Simulating impacts, potential adaptation and vulnerability of maize to climate change in India. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(5), 413-431.
5. Choghan, R. 1996. Study and comparison of yield and yield components in silage maize hybrid cultivars. *Seed and Plant Production Journal*, 2(12), 36-40.
6. Dadrasi, A., Torabi, B., Rahemi, A., Soltani, A. & Zeinali, E. 2020. Determination of potatoes (*Solanum tuberosum* L.) yield gap in Golestan Province. *Journal of Agricultural Ecology*, 12(4), 613-633. (In Persian)

7. Dadrasi, A., Torabi, B., Rahemi, A., Soltani, A. & Zeinali, E. 2020. Parameterization and evaluation of a simple simulation model (SSM-iCrop2) for Potato (*Solanum tuberosum* L.) growth and yield in Iran. *Potato. Research*, 63, 545-563.
8. Densley, R. J., Austin, G. M., Williams, I. D., Tsimba, R. & Edmeades, G. O. 2006. Maize silage and winter crop options to maximise drymatter and energy for NZ dairy systems. In *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 68, 193-197.
9. Espe, M. B., Cassman, K. G., Yang, H., Guilpart, N., Grassini, P., Van Wart, J., Anders, M., Beighley, D., Harrell, D., Linscombe, S., McKenzie, K., Mutters, R., Wilson, L. T. & Linqvist, B. A. 2016. Yield gap analysis of US rice production systems shows opportunities for improvement. *Journal of Field Crops Research*, 196, 276-283.
10. Fischer, R. A. 2015. Definitions and determination of crop yield, yield gaps, and of rates of change. *Journal of Field Crops Research*, 182, 9-18.
11. Food & Agriculture Organization (FAO). 2017. The FAOSTAT Database. Available at Web site <http://faostat.fao.org/default.aspx> (Last accessed July 2019).
12. Gobbett, D. L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J. N., Grassini, P. & Cassman, K. G. 2017. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. *Journal of Agricultural Science*, 155(2), 282-299.
13. Godfray, H. C. J., Beddington, J. R., Crute, I. R., Haddad, L., Lawrence, D., Muir, J. F., Pretty, J., Robinson, S., Thomas, S. M. & Toulmin, C. 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. *Science*, 327(5967), 812-818.
14. Godfray, H. C. J., Pretty, J., Thomas, S. M., Warham, E. J. & Beddington, J. R. 2011. Linking policy on climate and food. *Journal of Science*, 331(6020), 1013-1014.
15. Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Journal of Field Crops Research*, 184, 145-154.
16. Hajarpoor, A., Sotani, A. & Torabi, B. 2016. Using boundary line analysis in yield gap studies: Case study of wheat in Gorgan. *Journal of Crop Production*, 8(4), 183-201.
17. Kassiea, B. T., Van Ittersuma, M. K., Hengsdijkb, H., Assengc, S., Wolfa, J. & Rötterd, R. P. 2014. Climate-induced yield variability and yield gaps of maize (*Zea mays* L.) in the Central Rift Valley of Ethiopia. *Journal of Field Crops Research*, 160, 41-53.
18. Kim, S. H. & Reddy, V. 2004. Simulating maize development using a nonlinear temperature response model. In *New directions for a diverse planet, Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*. (ed. Fischer R). 14 April, Brisbane, Australia (Vol. 26).
19. Koo, J. & Dimes, J. 2013. "HC27 Generic Soil Profile Database". Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI) [dataset].
20. Liu, B., Chen, X., Meng, Q., Yang, H. & Wart, J. 2017. Estimating maize yield potential and yield gap with agro-climatic zones in China—Distinguish irrigated and rainfed conditions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 239, 108–117.
21. Lollato, R. P., Edwards, J. T. & Ochsner, T. E. 2017. Meteorological limits to winter wheat productivity in the US southern Great Plains. *Journal of Field Crops Research*, 203, 212-226.
22. Marin, F. R., Thorburn, P. J., Nassif, D. S. & Costa, L. G. 2015. Sugarcane model intercomparison: Structural differences and uncertainties under current and potential future climates. *Environmental Modelling and Software*. 72(4), 372-386.
23. Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui, Z. & Zhang, F. 2013. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Journal of Field Crops Research*, 143, 91-97.
24. Mera, R. J., Niyogi, D., Buol, G. S., Wilkerson, G. G. & Semazzi, F. H. 2006. Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean (C3) and corn (C4) crops: An agrotechnology model based study. *Global and Planetary Change*, 54(1-2), 163–182.
25. Merlos, F. A., Monzon, J. P., Mercau, J. L., Taboada, M., Andrade, F. H., Hall, A. J., Jobbagy, E., Cassman, K. G. & Grassini, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Journal of Field Crops Research*, 184, 145-154.
26. Meza, F. J., Silva, D. & Vigil, H. 2008. Climate change impacts on irrigated maize in Mediterranean climates: evaluation of double cropping as an emerging adaptation alternative. *Agricultural Systems*, 98(1), 21–30.
27. Ministry of agricultural Jihad statistics. 2001-2015. <https://www.maj.ir/Index.aspx?page=form&lang=1&PageID=11583&tempname=amar&sub=65> methodname=ShowModuleContent, (Last accessed November 2017).
28. Mohammadzadeh, Z., Soltani, A., Ajamnoroezi, H. & Bazrgar, A. 2021. Modeling yield potential and yield gap of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) in Iran. *Journal of Sugar Beet*, 36, 1. (In Persian)

29. Nehbandani, A. R., Soltani, A., Zeinali, E., Hoseini, F., Shahoseini, A. & Mehmandoy, M. 2017. Soybean (*Glycine max* L. Merr.) yield gap analysis using boundary line method in Gorgan and Aliabad Katul. *Agroecology*, 9(3), 760-776. (In Persian)
30. Pasuquin, J. M., Pampolino, M. F., Witt, C., Dobermann, A., Oberthür, T., Fisher, M. J. & Inubushi, K. 2014. Closing yield gaps in maize production in Southeast Asia through site-specific nutrient management. *Journal of Field Crops Research*, 156, 219-230.
31. Patrignani, A., Lollato, R. P., Ochsner, T. E., Godsey, C. B. & Edwards, G. T. 2014. Yield gap and Production gap winter wheat in the southern Great Plains. *Agronomy Journal*, 106(4), 1329-1339.
32. Sinclair, T. R., Hammer, G. L. & Van Oosterom, E. J. 2005. Potential yield and water-use efficiency benefits in sorghum from limited maximum transpiration rate. *Functional Plant Biology*, 32(10), 945-952.
33. Sinclair, T. R., Messina, C. D., Beatty, A. & Samples, M. 2010. Assessment across the United States of the benefits of altered soybean drought traits. *Agronomy Journal*, 102(2), 475-482.
34. Soltani, A. & Sinclair, T.R. 2012. Identifying plant traits to increase chickpea yield in water-limited environments. *Journal of Field Crops Research*, 133(1), 86-196.
35. Soltani, A. & Sinclair, T. R. 2015. A comparison of four wheat models with respect to robustness and transparency: simulation in a temperate, sub-humid environment. *Journal of Field Crops Research*, 175, 37-46.
36. Soltani, A. 2009. Mathematical modeling in crops. Publications University of Mashhad, 175p.
37. Soltani, A., Hajjarpour, A. & Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Journal of Field Crops Research*, 185, 21-30.
38. Soltani, A. & Sinclair, T.R. 2011. A simple model for chickpea development, growth and yield. *Journal of Field Crops Research*, 124(2), 252-260.
39. Stockle, C. O., Martin, S. A. & Campbel, G. S. 1994. CropSyst, a cropping simulation model: water/nitrogen budgets and crop yield. *Journal of Agricultural Systems*, 46(3), 335-359.
40. Timsina, J., Wolf, J., Guilpart, N., van Bussel, L. G. J., Grassini, P., van Wart, J., Hossain, A., Rashid, H., Islam, S. & van Ittersum, M. K. 2018. Can Bangladesh produce enough cereals to meet future demand? *Agricultural Systems*, 163, 36-44.
41. Van Bussel, L. G., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K. G. & van Ittersum, M. K. 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Journal of Field Crops Research*, 177, 98-108.
42. Van Diepen, C. A., Wolfe, J., Van Keulen, H. & Rappoldt, C. 1989. WOFOST: a simulation model of crop production. *Journal of Soil Use and Management*, 5(1), 16-24.
43. Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. & Hochman, Z. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Journal of Field Crops Research*, 143, 4-17.
44. Van Wart, J., van Bussel, L. G., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N. D., Claessens, L. & van Ittersum, M. K. 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Journal of Field Crops Research*, 143, 44-55.
45. Williams, J. R., Jones, C. A. & Dyke, P. T. 1984. A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity. *Transactions of the American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 27(1), 129-144.
46. Zahed, M., Soltani, A., Zeinali, E., Torabi, B., Zand, E. & Alimaghani, S. M. 2019. Modeling of irrigated wheat yield potential gap in Iran. *Journal of Field Crops Research*, 12(3), 35-52.
47. Zand Parsa, S., Sepaskhah, A. R. & Ronaghi, A. 2006. Development and evaluation of integrated water and nitrogen model for maize. *Journal of Agricultural Water Management*, 81(3), 227-256.