



برآورد خلأ عملکرد و پتانسیل افزایش تولید جو دیم در ایران

امید الستی^۱، ابراهیم زینلی^{۲*}، افشین سلطانی^۳ و بنیامین ترابی^۲

^۱دانشجوی دکتری زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۲دانشیار گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

^۳استاد گروه زراعت، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۸/۱۷

چکیده

مقدمه: جو (*Hordeum vulgare*) سازگاری بسیار خوبی به خشکی و شوری به عنوان مهم ترین عوامل محدود کننده تولید گیاهان زراعی در ایران دارد. این سازگاری به علاوه کاربرد گسترده این گیاه در تغذیه دام، موجب کشت سالانه حدود ۱/۷۷ میلیون هکتار جو شده است که حدود ۱/۰۴ میلیون هکتار آن دیم است. مطالعات پیشین حاکی از وجود اختلاف قابل توجه بین عملکرد واقعی گیاهان زراعی و عملکرد پتانسیل آنها می باشد که میزان آن، به چگونگی مدیریت مزرعه بستگی دارد. در واقع، خلأ عملکرد ظرفیت افزایش تولید گیاهان زراعی از طریق بهینه سازی عملیات مدیریت تولید را نشان می دهد. در سال های اخیر، رآورد خلأ عملکرد گیاهان زراعی در راستای بهبود امنیت غذایی به شدت مورد توجه محققان در سراسر جهان قرار گرفته است. مطالعه حاضر با هدف برآورد خلأ عملکرد و تولید جو در شرایط دیم در ایران، به عنوان اولین قدم برای برنامه ریزی به منظور افزایش پایدار تولید این گیاه زراعی مهم انجام شد.

مواد و روش ها: این مطالعه بر اساس دستورالعمل اطلس جهانی خلأ عملکرد (گیگا) انجام شد. تعیین مناطق اقلیمی اصلی زیر کشت جو دیم به عنوان نخستین گام در مطالعه حاضر، با استفاده از نقشه های پهنه بندی اقلیمی گیگا، پراکنش زمین های زیر کشت جو دیم و لایه ایستگاه های هواشناسی کل کشور انجام پذیرفت. پس از تعیین مناطق اقلیمی اصلی (DCZ) و ایستگاه های هواشناسی مرجع (RWS)، اطلاعات ۱۵ سال زراعی (۱۳۹۴-۱۳۷۹) شامل مدیریت زراعی، هواشناسی و خاک در هر منطقه جمع آوری شد. این اطلاعات برای برآورد مقادیر عملکرد پتانسیل در سطح ایستگاه های مرجع کشت جو دیم به عنوان یکی از مؤلفه های محاسبه مقدار خلأ عملکرد مورد نیاز است. برآورد پتانسیل عملکرد دانه جو توسط مدل SSM-iCrop2 با استفاده از داده های ۱۵ ساله مذکور صورت پذیرفت. همچنین، اطلاعات عملکرد واقعی در سطح ایستگاه ها به عنوان یکی دیگر از مؤلفه های تخمین خلأ عملکرد جمع آوری شد. در نهایت، با استفاده از دستورالعمل گیگا، مقادیر خلأ عملکرد دانه جو به ترتیب برای RWSها، DCZها و کل کشور برآورد شد.

یافته ها: در مطالعه حاضر، ۱۷ منطقه اقلیمی اصلی به عنوان مناطق اصلی کشت جو دیم در ایران شناسایی شدند که ۳۸ ایستگاه هواشناسی مرجع در آنها قرار دارد. طبق نتایج، پتانسیل عملکرد جو دیم در مناطق اقلیمی اصلی با میانگین ۲۷۲۳ کیلوگرم در هکتار بین ۱۰۷۲ تا ۴۰۰۲ کیلوگرم در هکتار متغیر است. همچنین، عملکردهای واقعی محاسبه شده در DCZها ۳۹۰ تا ۱۵۱۰ و به طور متوسط ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار بود. در مناطق اصلی تولید جو دیم ایران از ۶۱۵ تا ۳۱۲۵ کیلوگرم در هکتار و به طور متوسط ۱۷۱۴ کیلوگرم در هکتار معادل ۵۳ تا ۸۲ درصد (به طور متوسط ۶۳ درصد) خلأ عملکرد وجود دارد. بنابراین، با در نظر

*مسئول مکاتبه: zeinalistudents@gmail.com

گرفتن ۸۰ درصد از پتانسیل عملکرد به عنوان عملکرد قابل دست‌یابی، می‌توان از طریق بهینه‌سازی عملیات مدیریت تولید، عملکرد جو دیم کشور را از ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار فعلی به ۲۱۷۸ کیلوگرم در هکتار افزایش داد. بر اساس این یافته‌ها، در صورت افزایش عملکرد به سطح عملکرد قابل حصول میزان تولید جو کشور در شرایط دیم از ۱/۰۵ میلیون تن فعلی به ۲/۲۶ میلیون تن خواهد رسید که می‌تواند میزان واردات جو از سایر کشورها را به میزان ۱/۲۲ میلیون تن کاهش دهد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این مطالعه، ۸۵ درصد از جو دیم کشور در ۱۷ منطقه اقلیمی مختلف تولید می‌شود. با توجه به وجود بیش از ۵۰ درصد خلأ عملکرد (۱۷۱۴ کیلوگرم در هکتار (معادل ۶۳ درصد)) در سطح مزارع جو دیم کشور، با در نظر گرفتن ۸۰ درصد از این خلأ عملکرد به عنوان خلأ قابل مدیریت، تولید جو دیم در ایران ۱/۲۲ میلیون تن می‌تواند افزایش یابد که به لحاظ اقتصادی و امنیت غذایی برای کشور حائز اهمیت است. دست‌یابی به عملکرد پتانسیل در سطح مزارع کشاورزان با توجه به محدودیت‌های موجود امکان‌پذیر نیست، اما نزدیک شدن به عملکرد قابل حصول با بهبود شرایط مدیریت زراعی می‌تواند هدف دست‌یافتنی در شرایط حاضر به حساب بیاید.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل عملکرد، عملکرد واقعی، گیگا، مناطق اقلیمی.

مقدمه

غلبه بر چالش تغذیه جمعیت در حال رشد جهان از طریق افزایش سطح زیر کشت گیاهان زراعی امکان‌پذیر به نظر نمی‌رسد، به این دلیل که زمین‌های مناسب جدید برای فعالیت‌های کشاورزی کم بوده و نیز تقاضای زمین برای کاربری‌های غیر کشاورزی افزایش یافته است (۱۰). در شرایط حاضر، حدود ۵۲ درصد از کل زمین‌های زیر کشت محصولات زراعی (حدود ۵/۵ میلیون هکتار) در وضعیت مناسبی (طبق کلاس‌بندی زمین‌ها از نظر نوع خاک، توپوگرافی و رطوبت (میزان بارندگی و تبخیر-تعرق)) برای فعالیت‌های کشاورزی قرار ندارند. ایران در منطقه اقلیمی خشک و نیمه خشک جهان قرار دارد و میزان میانگین بارندگی آن سالانه حدود ۲۵۰ میلی‌متر بوده (کمتر از یک سوم میانگین جهانی) و این در حالی است که در بیشتر مناطق کشور کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر بارش سالیانه مشاهده می‌شود (۳۰). بیش از ۶۷ درصد زمین‌های این کشور از لحاظ درصد مواد آلی خاک فقیر (کمتر از ۱ درصد) بوده و حدود ۲۵ درصد (۴۱ میلیون هکتار) از کل زمین‌های کشور دارای خاک‌های شور با EC بالاتر از ۴ دسی‌زیمنس بر متر

می‌باشند (۳۴). در چنین محیط پرتنش، استفاده از گیاهان زراعی متحمل به تنش همانند جو اجتناب‌ناپذیر است.

جو در ایران با میانگین سطح زیرکشت و تولید ده ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۵) به ترتیب ۱/۷۷ میلیون هکتار و ۳/۲۶ میلیون تن، پس از گندم بیش‌ترین سطح زیر کشت و میزان تولید را در بین گیاهان زراعی دانه‌ای به خود اختصاص داده است (۱۴). سهم جو دیم از کل سطح زیر کشت این محصول حدود ۶۰ درصد (معادل ۱/۰۴ میلیون هکتار) و از کل تولید آن تقریباً ۳۲ درصد (۱/۰۵ میلیون تن) می‌باشد. مقاومت جو در برابر تنش‌های محدودکننده تولید و کاربرد گسترده دانه آن در تغذیه دام از عوامل مهم کشت گسترده این گیاه زراعی در کشور هستند (۴۲). اطلاعات آماری سال‌های ۲۰۱۸-۲۰۱۴ نشان می‌دهند که میزان تولید جو در کشور متناسب با میزان تقاضا برای این محصول نمی‌باشد و برای تأمین جو مورد نیاز سالانه حدود ۲/۵ میلیون تن جو از کشورهای دیگر وارد می‌شود (۲۴). با این وجود، گسترش زمین‌های کشاورزی و بهره‌برداری بدون برنامه و غیر اصولی از

به دلیل مطالعات بر روی برخی از گیاهان زراعی به عنوان موضوعی مهم مطرح شده است. از اولین مطالعات انجام گرفته در ایران در رابطه با مبحث خلأ عملکرد می‌توان به تحقیق انجام شده توسط سلطانی و همکاران (۱۹۹۹) اشاره نمود که به تجزیه و تحلیل محدودیت‌های موجود در تولید گندم تحت شرایط کشت آبی در استان گلستان پرداختند (۴۳). مطالعات دیگری نیز در رابطه با این موضوع برای گیاهان زراعی مختلف در ایران انجام شده است (۱۲، ۱۸، ۲۶، ۳۵، ۳۹، ۴۶، ۴۸ و ۵۳). روند افزایش مطالعات خلأ عملکرد گیاهان زراعی بسیار چشم‌گیر بوده که حاکی از توجه زیاد محققین به این موضوع در مناطق مختلف جهان می‌باشد (۲، ۱۵، ۲۷، ۲۸، ۳۳، ۳۶ و ۴۹). این بررسی‌ها در راستای اهداف گسترش مطالعات خلأ عملکرد پروژه اطلس جهانی خلأ عملکرد^۲ (GYGA) با هدف تحقق امنیت غذایی در سراسر دنیا انجام شده است (۱۶). ابتدا هدف از انجام این پروژه محاسبه میزان خلأ عملکرد غلات در سراسر دنیا بود، اما پس از مدتی بررسی‌ها بر روی گیاهان زراعی مختلف توسعه پیدا کرد. با استفاده از پروتکل^۳ یا دستورالعمل GYGA بر اساس یک رویکرد پایین به بالا، محاسبه خلأ عملکرد از سطح منطقه‌ای یا ایستگاهی به پهنه اقلیمی و سپس مقیاس ملی تعمیم داده می‌شود (۵۱). با کمک دستورالعمل مذکور، می‌توان مناطق با پتانسیل بالای تولید را شناسایی و با محاسبه پتانسیل عملکرد در هر منطقه مقادیر خلأ عملکرد و نیز میزان محدودیت در افزایش عملکرد و تولید قابل دستیابی در این مناطق را مشخص نمود و از این طریق از سطح خودکفایی ممکن برای رسیدن به امنیت غذایی در هر کشور آگاهی پیدا کرد (۲۹).

آن‌ها با هدف افزایش میزان تولید گیاهان زراعی مهم منطقی به نظر نمی‌رسد (۳۹).

در کشورهای در حال توسعه انتظار می‌رود که ۸۰ درصد رشد تولید محصولات زراعی از طریق افزایش عملکرد در واحد سطح و فشرده‌سازی زراعی و ۲۰ درصد باقی مانده از طریق افزایش سطح زیر کشت حاصل شود (۹). افزایش عملکرد در واحد سطح از طریق کاهش فاصله یا به عبارت دیگر خلأ موجود بین عملکرد فعلی گیاهان زراعی (عملکرد واقعی) و عملکردی که می‌توان با استفاده از ارقام پرمحصول سازگار با محیط و مدیریت بهینه آب، خاک و گیاه تولید کرد (عملکرد پتانسیل)، راهکاری کلیدی برای افزایش تولید گیاهان زراعی در یک منطقه به حساب می‌آید (۲۱). برآورد میزان کمی پتانسیل و خلأ عملکرد^۱ یک گیاه زراعی مهم در یک منطقه، به عنوان اولین قدم در شناسایی عوامل محدودکننده عملکرد (عوامل محیطی و مدیریتی) آن گیاه شناخته می‌شود (۲۹). آنالیز خلأ عملکرد ناشی از مدیریت زارعی، زمینه را برای یافتن راهکارهای مدیریت زراعی مطلوب با هدف دستیابی به عملکرد قابل حصول سپس طراحی راهبردهای امنیت غذایی در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی فراهم می‌سازد (۵۱).

با وجود مطالعات مختلف در رابطه با موضوع خلأ عملکرد در کشورهای توسعه یافته، اهمیت بررسی وضعیت تولید در کشورهای در حال توسعه با توجه به وضعیت مدیریت کشاورزی آن‌ها اجتناب ناپذیر است. توجه به اختلاف عملکرد گیاهان زراعی طی شرایط پتانسیل و واقعی آن‌ها باید بیشتر در بخش‌هایی از جهان متمرکز شود که مشکل امنیت غذایی به علت عدم توانایی پرداخت هزینه‌های واردات محصولات زراعی توسط مصرف‌کننده وجود دارد (۳). در کشور ما خلأ عملکرد در چند سال اخیر

2. Global Yield Gap Atlas (GYGA)

3. Protocol

1. Yield gap

و برآورد پتانسیل عملکرد و تولید دانه و در نهایت برآورد مقدار خلاً عملکرد و تولید و تهیه نقشه خلاً عملکرد جو در شرایط دیم براساس اطلس جهانی خلاً عملکرد در ایران انجام شد.

مواد و روش‌ها

محاسبه مقادیر خلاً عملکرد جو تحت شرایط کشت دیم در کل کشور براساس دستورالعمل جهانی گیگا انجام شد (۵۰). با استفاده از این دستورالعمل در محیط نرم افزار ArcGIS V.10.3، مناطق اقلیمی اصلی^۲ (DCZ) و ایستگاه‌های هواشناسی مرجع^۳ (RWS) کشت جو (شرایط کشت دیم) با استفاده از نقشه‌های پراکنش اراضی جو، پهنه‌بندی اقلیمی گیگا، لایه نقاط ایستگاه‌های هواشناسی کشور و اطلاعات خاک (HC-27) کل کشور تعیین می‌شوند (۲۰، ۲۳).

برای تعیین مناطق اقلیمی اصلی کشت غالب جو دیم کشور در ابتدا با استفاده از نقشه جهانی پهنه‌بندی اقلیمی گیگا، اطلاعات و نقشه اقلیمی مربوط به ایران استخراج شد. پهنه‌ها در این طبقه‌بندی اقلیمی بر مبنای ماتریکس سه مولفه اصلی اقلیمی تعیین شده برای GYGA، یعنی درجه روز رشد با دمای پایه صفر درجه سانتی‌گراد، شاخص خشکی (نسبت میانگین بارندگی سالانه به تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه) و نوسانات دمایی تفکیک می‌شوند (۵۰). ایران با توجه به کلاس‌های اقلیمی گیگا دارای ۷۲ کد اقلیمی متفاوت است، که از میان آن‌ها مناطق اقلیمی اصلی کشت جو در زمین‌های آبی کشور به تفکیک ارائه می‌شوند. برای اطلاعات بیشتر به سایت (<http://www.yieldgap.org/web/guest/cz-ted>) مراجعه شود.

لایه نقاط ایستگاه‌های هواشناسی کل کشور با طول و عرض جغرافیایی مشخص در این مطالعه

مطالعه بر روی مقادیر خلاً عملکرد برآورد شده گندم دیم در اروپا با روش گیگا نشان دهنده حدود ۲ تا ۴ تن در هکتار فاصله بین عملکرد واقعی و پتانسیل می‌باشد. البته میزان خلاً در شمال غربی اروپا (بین ۰ تا ۲ تن در هکتار) نسبت به کشورهای حوزه بالتیک، پرتغال، اسپانیا، جنوب ایتالیا و یونان (بیشتر از ۴ تن در هکتار) به دلیل سیستم‌های مدیریتی مناسب و خاک‌های حاصلخیزتر کم‌تر برآورد شده است (۸). نتایج مطالعه کنول (۲۰۱۶) با استفاده از روش گیگا در کشور رومانی نشان می‌دهد که متوسط پتانسیل عملکرد گندم در شرایط کشت آب محدود (دیم) طی ۸ سال زراعی بین ۵۷۰۰ تا ۷۱۲۸ کیلوگرم در هکتار متغیر بوده و خلاً عملکرد گندم دیم بین ۳۵ تا ۷۰ درصد در این کشور مشاهده می‌شود. مهم‌ترین دلیل وجود این خلاً عوامل مدیریتی (مصرف نهاده‌های زراعی) و خصوصیات خاک مزارع بوده است (۲۵).

طبق گزارش سایت جهانی خلاً عملکرد^۱ طی سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۷ در میان کشورهایی که گزارش خود را درباره مقادیر خلاً عملکرد جو در شرایط کشت آبی و دیم طبق دستورالعمل گیگا ارائه کردند، کشورهای فرانسه، بلژیک، هلند و آلمان با درصد خلاً عملکرد برآورد شده کمتر از ۲۵ درصدی بهترین کشورها از نظر میزان بهره‌برداری از زمین‌های زراعی خود بوده‌اند. این در حالی است که کشورهای در حال توسعه مانند تونس، اردن و مراکش بالاترین مقادیر خلاً عملکرد (بیشتر از ۷۵ درصد) طی شرایط کشت آبی و دیم در آن‌ها مشاهده شده است.

در این بازه زمانی اطلاعات در رابطه با مقادیر خلاً عملکرد جو دیم ایران هنوز ارائه نشده است (۲۳). بنابراین، مطالعه حاضر با هدف شناسایی مناطق اقلیمی اصلی تولید جو دیم در کشور، محاسبه عملکرد واقعی

2. Designated Climate Zone
3. Reference Weather Station

1. http://www.yieldgap.org/web/guest/download_data (verified June 2017)

بافت، عمق و حاصلخیزی (درصد کربن آلی) خاک در هر منطقه از کد شماره ۱ تا ۲۷ شماره‌گذاری می‌شود (۲۰).

پس از تعیین مناطق اقلیمی و ایستگاه‌های مرجع کشت جو دیم، جمع‌آوری اطلاعات هواشناسی، مدیریت زراعی و نوع خاک هر RWS از طریق سازمان هواشناسی و تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی کل کشور و اطلاعات مستخرج از نقشه پروفیل خاک HC-27 صورت پذیرفت.

اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک، از سازمان هواشناسی کشور برای یک دوره بلند مدت ۱۵ ساله طی بازه زمانی ۱۳۸۰-۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳-۱۳۹۴ تهیه شده است. در این مطالعه به منظور محاسبه پتانسیل عملکرد در RWSها، داده‌های هواشناسی روزانه شامل تشعشع بر حسب مگاژول در متر مربع، دمای حداقل و حداکثر بر حسب سانتی‌گراد و مقدار بارندگی بر حسب میلی‌متر مورد نیاز است. برای محاسبه تشعشع روزانه در برخی از ایستگاه‌ها از داده‌های ساعات آفتابی برای معادله آنگستروم - پراسکات در صورت نیاز استفاده می‌شود (۵۱). طی مطالعه حاضر، ابتدا فرض بر این بود که تمامی ایستگاه‌های موجود دارای داده‌های هواشناسی دراز مدت و قابل اعتمادی هستند، اما بررسی دقیق‌تر داده‌ها در برخی از ایستگاه‌های هواشناسی تعیین شده به عنوان RWS نشان داد که به ترتیب در کم‌تر از ۱۰ درصد از این ایستگاه‌های پوشش‌دهنده سطح زیر کشت جو دیم، داده‌های ثبت نشده و یا غیر قابل قبول وجود دارد. پروتکل گیگا راه حلی مناسب را با هدف پر کردن خلأ ایستگاه‌های حاوی اطلاعات ناکافی با رویکرد جایگزینی ایستگاه، تحت عنوان ایستگاه‌های فرضی پیشنهاد کرده است. بر اساس رویکرد گیگا یکی از اولین مواردی که می‌توان از عنوان ایستگاه

مورد استفاده قرار می‌گیرد. این لایه برای انتخاب ایستگاه‌های هواشناسی مرجع در پروتکل گیگا ضروری است. براساس پروتکل گیگا از بافرهایی با شعاع ۱۰۰ کیلومتر اطراف هر ایستگاه هواشناسی استفاده شد. برای تهیه بافر ۱۰۰ کیلومتری در اطراف هر یک از نقاط ایستگاه‌های هواشناسی تعیین شده، تابع Buffer در نرم افزار Arc GIS به کار گرفته شد. سپس با کمک تابع Clip بافرها در ایستگاه هواشناسی به اندازه منطقه اقلیمی آن ایستگاه برش داده شد. بافرهای ایستگاه‌ها حداقل ۵۰ درصد از کل مناطق تولید گیاه مورد نظر در سطح کشور را پوشش دهند (۵۰، ۵۱).

حداقل اطلاعات جامع درباره توزیع مکانی اراضی تحت کشت گیاهان زراعی مختلف آبی برای کاربرد در پروتکل مذکور، استفاده از اطلاعات موجود در نقشه‌های جهانی SPAM^۱ برای این منظور می‌باشد. با این وجود، بعد از بررسی نقشه‌های رستری ارائه شده SPAM برای گیاه زراعی جو در شرایط کشت جو دیم کشور، در بعضی از مناطق تناقض‌هایی با پراکنش واقعی کشت جو با توجه به اطلاعات تهیه شده از سطح کشور مشاهده گردید. بنابراین، با توجه به دستورالعمل مشخص گیگا، ابتدا هدف‌گذاری این مطالعه، به روز رسانی نقشه پراکنش اراضی کشت جو دیم کل کشور مطابق با مقیاس‌های ارائه شده نقشه‌های رستری SPAM بوده است (<http://www.yieldgap.org/iran>).

در این مطالعه به منظور تهیه نقشه خاک، از اطلاعات HC-27^۲ (حاصل دو پایگاه مهم اطلاعات جهانی خاک HWSD^۳ و WISE^۴) در سطح کشور استفاده شده است. نوع خاک بر اساس سه معیار

1. Spatial Production Allocation Model
2. Harvest Choice
3. Harmonized World Soil Database
4. World Inventory of Soil Emission Potentials

گردید. در انتها، خلأ عملکرد حاصل از اختلاف بین عملکرد واقعی و پتانسیل جو در شرایط کشت دیم طی ۱۵ سال زراعی در هر ایستگاه هواشناسی مرجع برآورد شد. براساس رویکرد پایین به بالای^۱ پروتکل گیگا، نتایج از مقیاس ایستگاه هواشناسی مرجع (RWS) به وسیله وزن دهی به مساحت اراضی تحت پوشش هر ایستگاه هواشناسی مرجع به مناطق اقلیمی اصلی (DCZ) و سپس از طریق وزن دهی به هر یک از DCZها در انتها نتایج به کل کشور تعمیم داده شد (۵۰). برای بررسی دقت این دستورالعمل به منظور تعمیم نتایج به کل کشور، میانگین عملکردهای واقعی مشاهده شده در کل کشور و مقادیر محاسبه شده توسط پروتکل گیگا طی ۱۵ سال زراعی (۱۳۸۰-۱۳۹۴) از سنجهای آماری ضریب همبستگی (r)، جذر میانگین مجموع مربعات خطاها (RMSE)، درصد ضریب تغییرات (CV %) استفاده شده است (روابط ۱، ۲ و ۳):

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$CV\% = \left(\frac{RMSE}{\bar{x}}\right) \times 100 \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad \text{رابطه ۳:}$$

در معادلات ذکر شده X_i : مقادیر مشاهده شده، Y_i : مقادیر محاسبه شده، \bar{X} : میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{Y} : میانگین مقادیر محاسبه شده و n بر اساس معادله ۱ و ۳ تعداد داده‌های مشاهده شده یا محاسبه شده می‌باشند. مقدار RMSE نشان‌دهنده میانگین مربع خطا بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده است و هر چه مقدار آن کوچک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر شبیه‌سازی است. مقدار ضریب تغییرات (حاصل تقسیم مقدار RMSE کل بر میانگین داده‌های مشاهده شده می‌باشد) کمتر از ۱۰ درصد عالی و بین محدوده ۱۰ تا ۲۰ درصد خیلی خوب بوده و مقادیر بیشتر از آن نشان‌دهنده دامنه تغییرات زیاد داده‌های محاسبه

هواشناسی مرجع فرضی^۱ استفاده کرد این است که بتوان از ایستگاه جایگزین جدیدی حاوی اطلاعات دراز مدت (حداقل ۲۰ سال) و با کیفیت مناسب در نزدیکی آن ایستگاه (درون یک پهنه با کد اقلیمی یکسان) استفاده کرد. لذا در این مطالعه، با رعایت شرایط دستورالعمل گیگا برای جو دیم سه ایستگاه به عنوان ایستگاه‌های فرضی در نظر گرفته شده‌اند (۵۱). در این مطالعه برای شبیه‌سازی پتانسیل عملکرد جو برای یک دوره بلند مدت ۱۵ ساله (۱۳۷۹-۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۳) در هر یک از RWSهای انتخابی از مدل SSM-iCrop2 استفاده شد. این مدل، فرآیندهای مهم فیزیولوژیکی مانند گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک و همچنین، نمو فنولوژیک را به صورت روزانه در شرایط تشعشع محدود و آب محدود محاسبه می‌نماید (۴۳، ۴۷). نتایج پارامتریابی و ارزیابی مدل مذکور در نقاط مختلف کشور نشان‌دهنده توانایی و دقت بالای آن در شبیه‌سازی مقادیر عملکرد و مراحل فنولوژیکی گیاه زراعی جو می‌باشد (۲۳).

برای محاسبه عملکرد واقعی در هر RWS، اطلاعات عملکرد واقعی دریافت شده هر شهرستان (۱۳۸۰-۱۳۹۴) از وزارت جهاد کشاورزی و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی نیز مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا فرض شد که عملکرد واقعی تمامی زمین‌های زیر کشت جو دیم موجود در هر شهرستان برابر با میانگین عملکرد ۱۵ ساله آن شهرستان است. با کمک تابع Zonal statistics as table در نرم‌افزار ArcGIS (V. 10.3)، شهرستان‌ها و سطح زیر کشت جو در محدوده هر RWS مشخص شد (۴). سپس، از طریق وزن دهی به هر شهرستان بر اساس مقادیر سطح زیر کشت، میانگین وزنی عملکرد واقعی محدوده پوشش‌دهنده هر RWS محاسبه

2. Bottom to up approach

1. Hypothetical RWS (HYP RWS)

۱۱/۹۷ درصد متغیر می‌باشد. بیش از ۸۵ درصد از ایستگاه‌های مرجع انتخابی کشت جو دیم در اقلیم‌هایی با متوسط درجه روز رشد (GDD)، (۴۰۰۰-۳۷۹۱-۳۱۷۰ درجه سانتی‌گراد روز)، (۵۰۰۰-۵۹۴۰-۴۸۳۰ درجه سانتی‌گراد روز) و (۶۰۰۰-۷۱۱۱-۵۹۵۰) درجه سانتی‌گراد روز قرار دارند (جدول ۱). همچنین، ۳۸ ایستگاه هواشناسی مرجع براساس دستورالعمل گیگا در DCZ های کشت جو دیم انتخاب شدند که از بین آنها ۳۵ ایستگاه هواشناسی مرجع (RWS) و ۳ ایستگاه هواشناسی مرجع فرضی (HYP RWS) می‌باشند (جدول ۱ و ۲).

عملکرد واقعی، عملکرد پتانسیل و خلأ عملکرد جو دیم عملکرد واقعی: میانگین عملکرد واقعی ۱۵ ساله (۱۳۸۰-۱۳۹۴) در ایستگاه‌های مرجع کشت جو دیم کشور با استفاده از دستورالعمل گیگا بین ۶۳۶ تا ۱۳۲۶ متغیر بود. کم‌ترین عملکرد واقعی در بین ایستگاه‌های مرجع انتخابی به ایستگاه فریمان (شماره ۷) واقع در اقلیم ۴۰۰۲ با عملکرد ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار و بیش‌ترین آن به ایستگاه شیرین‌آباد (شماره ایستگاه ۳۵) در منطقه اقلیمی ۴۰۰۳ با عملکرد ۱۷۹۵ کیلوگرم در هکتار تعلق داشت (شکل ۲-۲a، جدول ۲). دامنه تغییرات عملکردهای واقعی ثبت شده توسط وزارت کشاورزی طی این بازه زمانی در زمین‌های زیر کشت جو دیم بین ۷۱۰ تا ۱۲۳۷ کیلوگرم در هکتار با میانگین ۹۷۹ کیلوگرم در هکتار بود. مقایسه بین نتایج محاسبه عملکرد واقعی براساس دستورالعمل گیگا و نتایج گزارش شده توسط وزارت کشاورزی برای جو دیم در سطح کشور طی سال‌های ۱۳۹۴-۱۳۸۰ ($r = 0.91$ و $CV\% = 8.92$) نشان‌دهنده دقت قابل قبول این دستورالعمل در انجام محاسبات است (شکل ۲-۲b). مقایسه نتایج عملکرد واقعی گندم در استرالیا به وسیله دستورالعمل مذکور با داده‌های گزارش شده ($RMSE = 50 \text{ kg/ha}$, $r = 0.99$) توسط گویت و همکاران (۲۰۱۶) نیز نشان‌دهنده توانایی و

شده در مقایسه با داده‌های مشاهده شده می‌باشد. همچنین، ضریب همبستگی بین داده‌های مشاهده شده و محاسبه شده هر چه به عدد یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده نزدیکی بالاتر مقادیر محاسبه شده توسط این پروتکل با مقادیر مشاهده شده است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نمایان‌گر نزدیکی کم‌تر داده‌های مذکور نسبت به یکدیگر می‌باشد (۳۲). نمودار ۱:۱ با خطوط حدود اطمینان اختلاف به ترتیب ۱۰ و ۲۰ درصدی بین مقادیر مشاهده شده و محاسبه شده برای بررسی دقت دستورالعمل گیگا برای تعمیم نتایج از سطح مناطق انتخابی به کل کشور ترسیم شده است (۴۵).

طبق نتایج حاصل از مطالعه حاضر، عملکرد نسبی^۱ (درصد) (پتانسیل عملکرد/ عملکرد واقعی)، خلأ عملکرد (درصد) ((پتانسیل عملکرد/ عملکرد واقعی) - ۱)، عملکرد قابل حصول^۲ (۸۰ درصد پتانسیل عملکرد برآورد شده)، خلأ عملکرد قابل مدیریت^۳ (اختلاف بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی) و پتانسیل افزایش تولید جو در شرایط دیم برای کل کشور نیز محاسبه شدند.

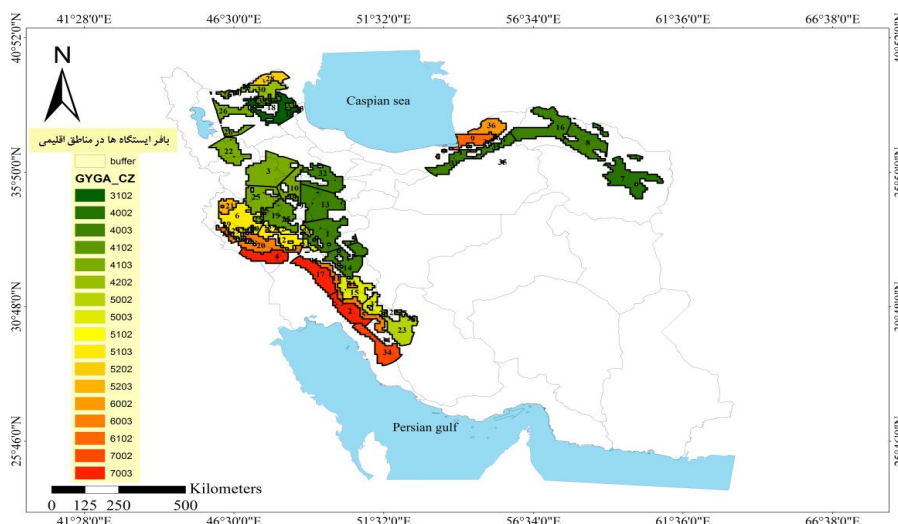
نتایج و بحث

مناطق اقلیمی اصلی (DCZs) و ایستگاه‌های مرجع (RWSs) کشت غالب جو دیم: براساس نتایج به دست آمده، اغلب کشت جو دیم ایران در ۱۷ منطقه اقلیمی اصلی صورت می‌گیرد (شکل ۱ و جدول ۱). میانگین سطح زیر کشت جو دیم در مناطق اقلیمی انتخاب شده، ۹۱۱۱۰۹ هکتار محاسبه گردید که حدود ۸۸ درصد از کل اراضی جو دیم کشور را تشکیل می‌دهد. سهم هر یک از مناطق اقلیمی انتخابی از کل سطح زیر کشت جو دیم کشور از ۰/۹۴ تا

1. Relative Yield (%)
2. Attainable Yield
3. Exploitable Yield Gap

که تنها ایستگاه هواشناسی مرجع موجود در این کد اقلیمی ایستگاه هاشم آباد (واقع در استان گلستان) می باشد.

دقت بالای این روش برای محاسبه و تعمیم نتایج در مقیاس کشوری بود (۱۵). تعمیم نتایج به مناطق اقلیمی اصلی نشان داد که بیشترین عملکرد واقعی (۱۵۱۰ کیلوگرم در هکتار) مربوط به اقلیم ۶۱۰۲ بوده



شکل ۱- بافر ایستگاه‌های هواشناسی مرجع در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم در سطح کشور (برای نام ایستگاه‌های مرجع موجود در مناطق اقلیمی به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۲ مراجعه شود).

Figure 1- The buffers of Reference weather stations within designated climate zones (DCZs) of rainfed barley in Iran ((the name of the RWSs within each DCZ which were identified as a No. in the map was located in Table 2).

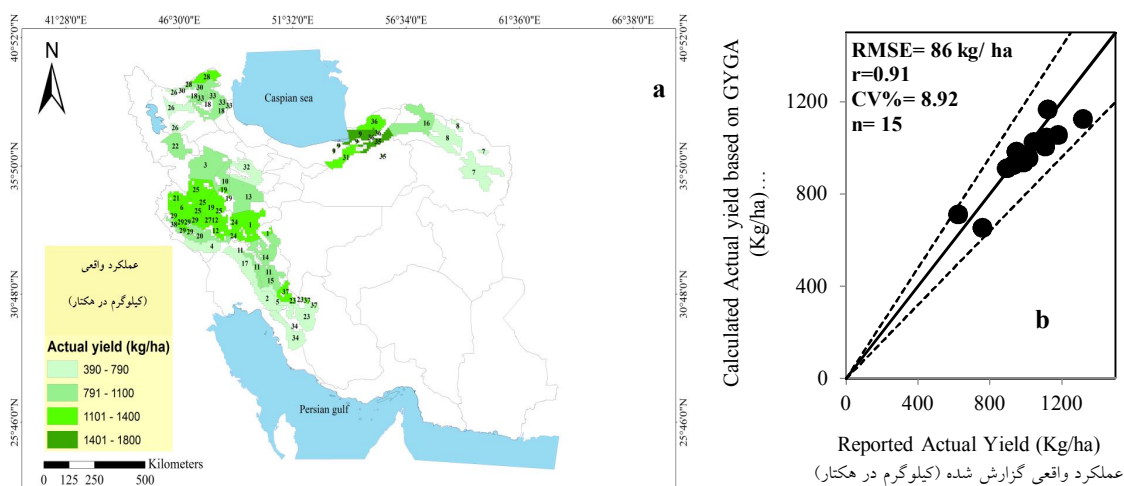
عملکرد واقعی باشند. پتانسیل و خلاء عملکرد: طبق محاسبات انجام شده با استفاده از مدل SSM-iCrop2، مقدار متوسط عملکرد پتانسیل جو دیم کشور در بازه زمانی ۱۳۹۴-۱۳۸۰ برابر ۲۷۲۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد (جدول ۲). در مناطق مختلف کشور عملکرد پتانسیل در ایستگاه‌های مرجع کشت جو دیم از ۱۰۷۲ کیلوگرم در هکتار در ایستگاه شماره ۳۴ (ایستگاه سرقنات) تا ۴۸۹۵ کیلوگرم در هکتار در ایستگاه شماره ۳۵ (شیرین آباد) متغیر بود (شکل ۴). کم‌ترین عملکردهای پتانسیل برآورد شده برای جو دیم در کشور متعلق به کدهای اقلیمی ۷۰۰۲ و ۷۰۰۳ به ترتیب با مقادیر ۱۰۷۲ و ۲۰۹۸ کیلوگرم در هکتار است (جدول ۲).

پایین‌ترین مقدار عملکرد واقعی در اقلیم شماره ۴۰۰۲ مشاهده شد که ایستگاه فریمان (واقع در استان خراسان رضوی) با کم‌ترین میانگین عملکرد واقعی ۳۹۰ کیلوگرم در هکتار بین ایستگاه‌های انتخابی در این کد اقلیمی قرار دارد. میانگین عملکرد واقعی جو دیم کل کشور نیز ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار محاسبه گردید (جدول ۲). عملکردهای فعلی ثبت شده در زمین‌های زیر کشت جو دیم در هر منطقه اقلیمی می‌تواند به مسائل مختلفی بستگی داشته باشد. رابطه بین عملکرد واقعی با میزان کل بارندگی ($R^2 = 0.34$)، $p < 0.05$) (شکل ۳) در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم نشان می‌دهد که علاوه بر بارندگی به عنوان مهم‌ترین عامل تأثیر گذار در شرایط کشت آب محدود، مسائل مدیریت زراعی و خاکی موجود در هر منطقه اقلیمی می‌توانند از دیگر دلایل اصلی تغییرات

جدول ۱- مناطق اقلیمی اصلی تولید جو دیم، تعداد ایستگاه‌های هواشناسی مرجع (RWS)، سطح زیر کشت (هکتار) در هر منطقه اقلیمی و درصد سهم آن‌ها از کل اراضی کشت جو دیم (۱۰۳۶۹۳۱ هکتار) در کشور.

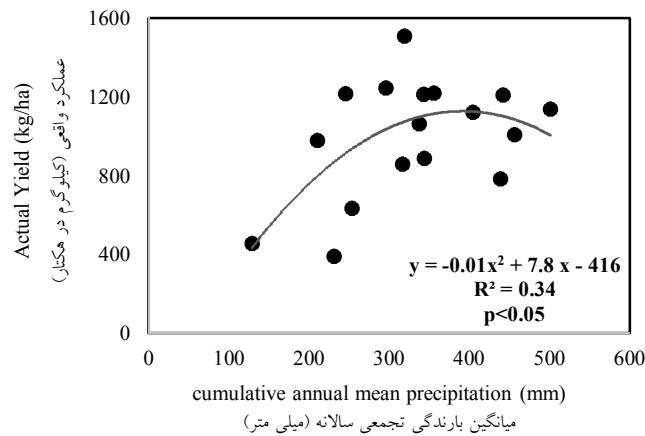
Table 2- Designated climate zones (DCZ) for rainfed barley areas, the Numbers of Reference Weather Stations (RWSs) and the area value (ha) in each climate zone, ratio of harvested area in each DCZ to total national harvested area (1036931 ha) in Iran.

جو دیم (Rainfed Barley)			
کد منطقه اقلیمی Climate zone Code	سطح زیر کشت در اقلیم (هکتار) Harvested area in each DCZ (ha)	تعداد RWS در منطقه اقلیمی Number of RWSs in each DCZ	نسبت سطح زیر کشت در هر اقلیم به کل کشور (درصد) The percentage of harvested area in each DCZ of total national rainfed barley harvested area (%)
3102	58240	1	5.62%
4002	27613	1	2.66%
4003	114181	8	11.01%
4102	84417	2	8.14%
4103	124098	5	11.97%
4202	26404	1	2.55%
5002	24943	1	2.41%
5003	55700	4	5.37%
5102	16523	1	1.59%
5103	111482	2	10.75%
5202	9769	1	0.94%
5203	17228	1	1.66%
6002	40394	1	3.90%
6003	78870	4	7.61%
6102	31510	1	3.04%
7002	22128	1	2.13%
7003	67609	3	6.52%
SUM (جمع)	911109	38	88%



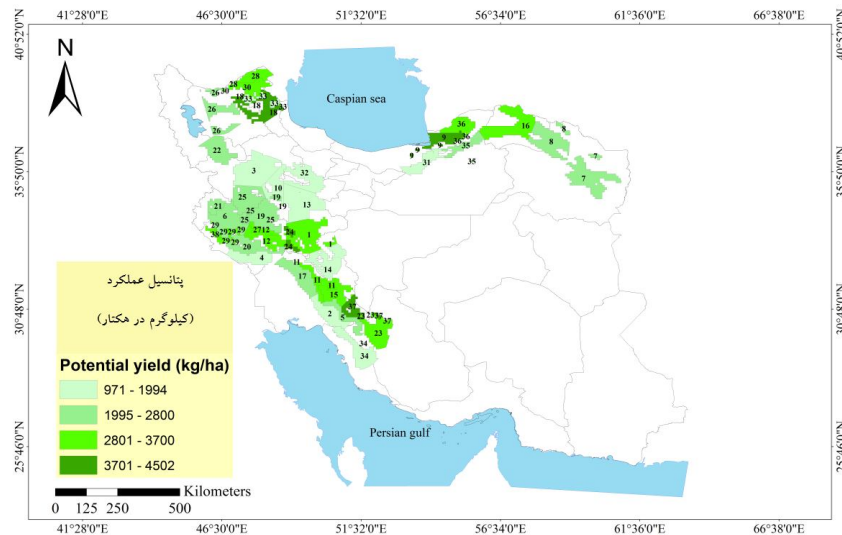
شکل ۲- نقشه عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) جو دیم در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع انتخابی کشور (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۲ مراجعه شود)؛ (a) میانگین عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) کشوری گزارش شده توسط سازمان جهاد کشاورزی در مقابل عملکرد واقعی کشوری محاسبه شده توسط روش گیگا در سال‌های ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۴ برای گیاه زراعی جو دیم (خط ۱:۱ (ممتد) و خطوط $\pm 20\%$ درصد اختلاف (منقطع) نیز در شکل آورده شده‌اند) (b).

Figure 2- actual yield (kg/ha) in the Reference weather stations (RWSs) of rainfed harvested areas (the name of the No. as RWSs in the map is identified in table (2)) (a); the average actual yield (kg/ ha) of the country reported by Ministry of Agriculture versus the actual yield of the country calculated by the GYGA method for irrigated barley. Time period is 2000 to 2014. The $\pm 20\%$ discrepancy lines are indicated by dashed lines. Solid line is 1:1 line (b).



شکل ۳- ارتباط بین عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار) با کل بارندگی تجمعی در طول فصل رشد (میلی‌متر) در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم.

Figure 3- Relationship between water-limited potential yield (kg/ha) and the average of cumulative Precipitation during growing Season (mm) in the main climate zones of cultivated rainfed barley.



شکل ۴- نقشه پتانسیل عملکرد در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع کشت جو دیم کشور (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۲ مراجعه شود).

Figure 4- Water-limited potential yield (kg/ha) in the Reference weather stations (RWSs) of rainfed harvested areas (the name of the RWSs which were identified as a No. in the map has located in table (2)).

پتانسیل عملکرد برآورد شده در مناطق اقلیمی با GDD بالاتر از ۷۰۰۰ باشد. بالاترین پتانسیل عملکرد برآورد شده (۴۰۰۲ کیلوگرم در هکتار) متعلق به ایستگاه هواشناسی شماره ۹ (هاشم آباد) واقع در کد اقلیمی ۶۱۰۲ با متوسط میزان بارندگی حدود ۵۰۰ میلی‌متر در سال و توزیع مناسب بارندگی در طول دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی برداشت نسبت به متوسط کل بارندگی سالیانه (۲۳ درصد) بود. به‌طور

ایستگاه سرقانات در منطقه اقلیمی ۷۰۰۲ قرار گرفت و منطقه اقلیمی ۷۰۰۳ شامل ایستگاه‌های بهبهان، دهلران و مسجد سلیمان برای کشت جو دیم می‌باشد. میانگین میزان بارندگی در این دو اقلیم طی کل فصل رشد جو کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر بوده و احتمال مواجهه با خشکی‌های انتهای فصل رشد با توجه به وجود دماهای بالا در این اقلیم‌ها وجود دارد. این دو عامل اقلیمی می‌توانند دلایل اصلی کم بودن

وجود دارد (شکل ۵- b). نتایج نشان داد، مناطق اقلیمی که دارای توزیع بارندگی مناسب‌تر طی مرحله زایشی (گرده‌افشانی تا رسیدگی برداشت) گیاه نسبت به کل مقدار بارندگی تجمعی در طول فصل رشد هستند و درصد بالاتری از بارندگی طی این دوره رخ داده است، از پتانسیل عملکرد بالاتری برخوردار می‌باشند (شکل ۵- c). مناطق اقلیمی ۶۱۰۲، ۳۱۰۲ و ۴۱۰۲ به دلیل وقوع بیش از ۱۸ درصد کل بارندگی طی دوره گرده افشانی تا رسیدگی دارای بالاترین پتانسیل عملکرد نسبت به سایر مناطق اقلیمی هستند. این در حالی است که مناطق اقلیمی ۴۰۰۳، ۵۰۰۲ و ۵۰۰۳ علی‌رغم میزان بارندگی بیشتر در کل فصل رشد، اما به دلیل بارندگی کمتر در دوره پر شدن دانه (وقوع کمتر از ۹ درصد کل بارندگی طی دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی) مقدار برآورد شده پتانسیل عملکرد در آن مناطق کمتر بود.

تنش خشکی طی دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی فیزیولوژیکی در غلاتی مانند جو می‌تواند باعث اختلال در گرده‌افشانی گیاه (کاهش باروری دانه‌های گرده)، ممانعت از رشد لوله گرده، پیری زودرس برگ‌ها، سقط تخمدان برای تشکیل دانه، زودرسی، کاهش وزن و عملکرد دانه‌ها شود (۱، ۶، ۱۷). مطالعه سامره (۲۰۰۵) نشان داده است که وقوع تنش خشکی طی مراحل پس از گرده‌افشانی (مرحله پرشدن دانه تا رسیدگی برداشت) باعث حدود ۵۰ درصد افت عملکرد در دانه‌های جو شد (۳۸). همچنین، بررسی شرایط مواجهه با میانگین دماهای حداکثر طی دوره گرده‌افشانی تا رسیدگی برداشت جو دیم نشان داد که با افزایش متوسط دمای حداکثر طی این مرحله فنولوژیکی پتانسیل تبخیر و تعرق افزایش یافته و به همین دلیل مقادیر برآورد شده پتانسیل عملکرد در مناطق اقلیمی اصلی کاهش پیدا کرد ($R^2 = 0.72$) (شکل ۵- d). $(p < 0.01)$

کلی، بیش‌ترین مقادیر پتانسیل عملکرد برآورد شده در ایستگاه‌های مرجع موجود در استان‌های گلستان، اردبیل و خراسان شمالی مشاهده شد (شکل ۴). عوامل تعیین‌کننده پتانسیل عملکرد در شرایط دیم میزان بارندگی و نحوه توزیع آن در طول فصل رشد گیاه می‌باشد. البته وقوع دماهای بالا در انتهای فصل رشد با تشدید اثر تنش خشکی می‌تواند از عوامل محدودکننده پتانسیل عملکرد در ایستگاه‌ها و مناطق اقلیمی اصلی کشت دیم این گیاه زراعی به حساب آیند (۴۰). بررسی رابطه بین میزان بارندگی تجمعی در طول فصل رشد و پتانسیل عملکرد در مناطق اقلیمی اصلی نشان داد که بین پتانسیل عملکرد برآورد شده جو در شرایط دیم با مقدار بارندگی تجمعی در طول فصل رشد همبستگی معنی‌داری وجود ندارد (شکل ۵- a)، که دلیل آن را می‌توان به نحوه توزیع بارندگی در طول فصل رشد نسبت داد.

شرایط آب و هوایی برای کشت جو دیم در ایران تقریباً مشخص است؛ به طوری که گیاه طی دوره ابتدایی تا اواسط رشد خود با دماهای پایین‌تر و رطوبت نسبی بالاتر مواجه است و سپس با یک دوره دماهای بالاتر و رطوبت نسبی پایین‌تر نسبت به شروع فصل رشد روبرو می‌شود که البته زمان مواجهه گیاه با دماهای بالا و رطوبت پایین بسیار تعیین‌کننده می‌باشد. بیش‌ترین پتانسیل عملکرد می‌تواند در مناطقی مشاهده شود که گیاه در طول دوره رشد زایشی خود پس از طی کردن دماهای پایین‌تر، بارندگی بیشتری دریافت کرده و با خشکی‌های انتهای فصل رشد و دماهای بالا مواجه نشود.

بررسی مقدار بارندگی طی مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی برداشت در اقلیم‌های اصلی جو دیم نشان می‌دهد که بین میزان بارندگی در این مرحله فنولوژیکی و عملکرد پتانسیل ارتباط معنی‌داری ($R^2 = 0.48$, $p < 0.01$) براساس یک معادله درجه دو

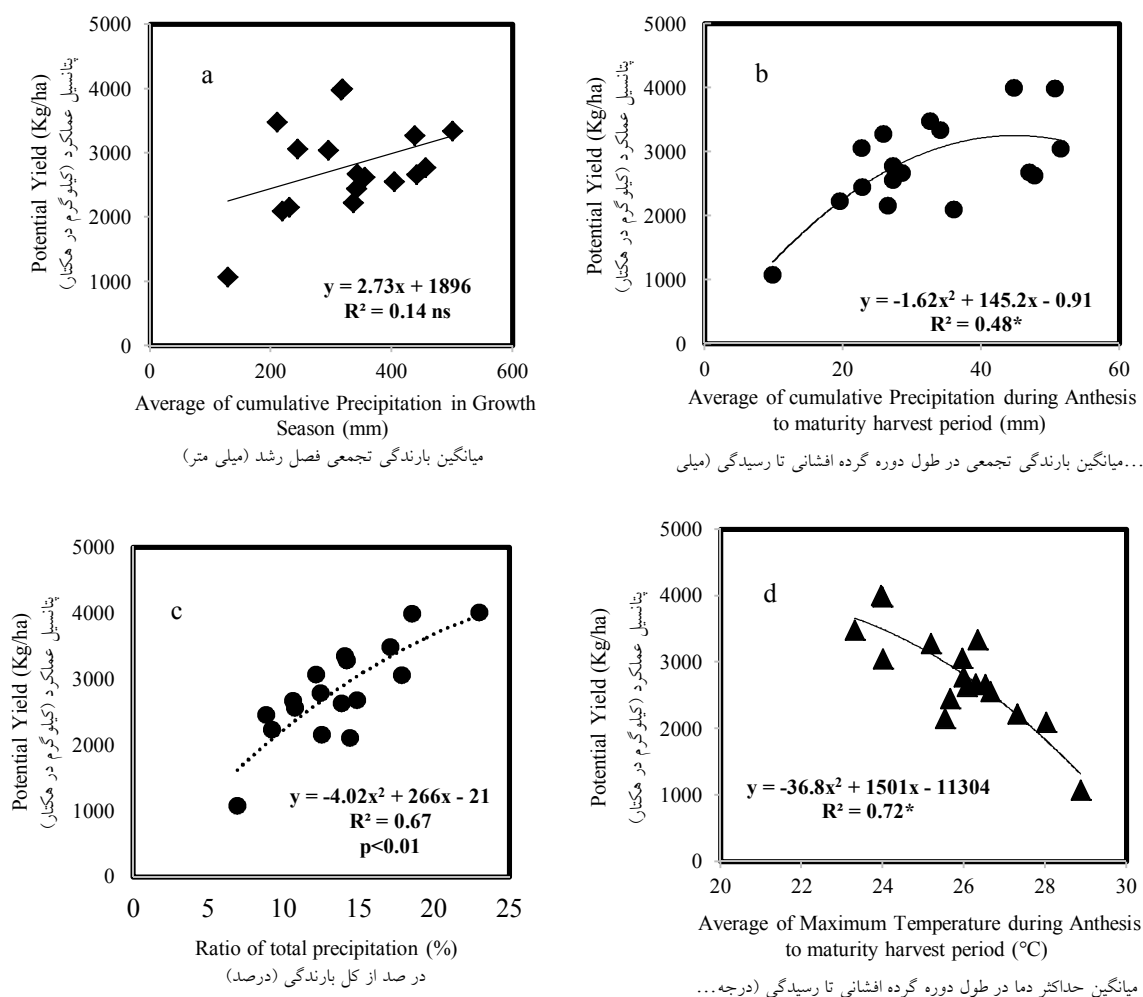
جدول ۲- عملکرد واقعی (Y_a) (کیلوگرم بر هکتار)، عملکرد پتانسیل (Y_p) (کیلوگرم بر هکتار)، خلأ عملکرد (Y_g) (کیلوگرم بر هکتار)، خلأ عملکرد (Y_p) (کیلوگرم بر هکتار)، عملکرد پتانسیل (Y_p) (کیلوگرم بر هکتار)، درصد خلأ عملکرد ($RY\%$) (درصد) و درصد خلأ عملکرد ($Y_g\%$) (عملکرد نسبی (درصد)) - عملکرد قابل حصول (Y_{AH}) (۸۰ درصد پتانسیل عملکرد) و خلأ قابل مدیریت (Y_E) (کیلوگرم بر هکتار) و سطح زیر کشت (HA) (هکتار) در اقلیم‌های اصلی کشت جو دیم در ایران. عملکرد توسط مدل SSM برای سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۴ بر اساس رطوبت دانه ۱۴ درصد شیب‌سازی شده است. HYP - پس از نام هر ایستگاه هواشناسی مرجع فرضی آمده است و اعداد داخل پرانتز بعد از مقادیر عملکرد واقعی و پتانسیل عملکرد، $CV\%$ (درصد ضریب تغییرات) را نشان می‌دهد.

Table 2- Actual and potential yield (Y_a and Y_p), yield gap (Y_g), attainable yield (Y_{AH}), exploitable yield gap (Y_E) and Harvested area (HA) in the main climate zones of rainfed barley in Iran. Potential yield is simulated by SSM during 2000-2014 and is adjusted with 86% moisture content. HYP - defined hypothetical reference stations. Calculated CV (%) for Y_a and Y_p are shown in parentheses after their values.

CZ (منطقه اقلیمی)	Station (No.) (ایستگاه (شماره))	Y_a (kg/ha) عملکرد واقعی (کیلوگرم در هکتار)	Y_p (kg/ha) عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار)	Y_g (kg/ha) خلأ عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	RY (%) عملکرد نسبی (درصد)	Y_g (%) خلأ عملکرد (درصد)	Y_{AH} (kg/ha) عملکرد قابل حصول (کیلوگرم در هکتار)	Y_E (kg/ha) خلأ قابل مدیریت (کیلوگرم در هکتار)	HA (ha) سطح زیر کشت (هکتار)
3102	MESHKINSHAHR (24) ^(۲۴) مشکین شهر	858 (16.13)	3984 (32.16)	3125 (23.97)	22	78	3187	2329	58240
4002	FARIMAN (7) ^(۷) فریمان	390 (38.98)	2153 (38.89)	1763 (38.89)	18	82	1723	1333	27613
4003	ALIGOODARZ (1) ^(۱) آلیگودرز (8) ^(۸) KOMPIAN (13) ^(۱۳) کومپیان (14) ^(۱۴) KOOHRANG (14) ^(۱۴) کوه‌رنگ (16) ^(۱۶) MANEVASAMALGHAN (16) ^(۱۶) مانه و مسلمانان (31) ^(۳۱) GALANDROOD- HYP (31) ^(۳۱) گلاندروود- فرضی (32) ^(۳۲) GHARGHABAD (32) ^(۳۲) غرق آباد (35) ^(۳۵) SHIRINABAD (37) ^(۳۷) شیرین‌آباد- فرضی (35) ^(۳۵) YASOUJ (37) ^(۳۷) یاسوج	1010 (11.98)	2779 (23.97)	1769	36	64	2223	1214	114181
4102	NAHAVAND (19) ^(۱۹) نهادند (33) ^(۳۳) ARDABIL (33) اردبیل	1216 (24.18)	2447 (42.76)	1231	50	50	1957	742	84417
4103	BIJAR (3) ^(۳) بیجار (22) ^(۲۲) HAMEDAN (AIRPORT) همدان (فرودگاه) (10) ^(۱۰) SAGHEZ (22) ^(۲۲) سگزه (25) ^(۲۵) KERMANSHAH (25) ^(۲۵) کرمانشاه (۲۶) ^(۲۶) TABRIZ (26) ^(۲۶) تبریز	1066 (26.44)	2223 (40.72)	1157	48	52	1779	712	124098
4202	GERMI (30) ^(۳۰) گرمی	979 (27.4)	3479 (30.34)	2500	28	72	2783	1804	26404
5002	DORODZAN (23) ^(۲۳) درودزن	785 (37.07)	3276 (43.42)	2491	24	76	2621	1836	24943
5003	LORDEGAN (15) ^(۱۵) لوردگان (۲۹) ^(۲۹) LOUMAR (29) ^(۲۹) لومار	1140 (19.02)	3341 (31.49)	2202	34	66	2673	1533	55700

(ادامه جدول ۲):
Table 2 (Continued):

CZ	Station (No.) (ایستگاه / شماره) (منطقه اقلیمی)	Y_a (kg/ha) عملکرد واقعی در (کیلوگرم در هکتار)	Y_p (kg/ha) عملکرد پتانسیل (کیلوگرم در هکتار)	Y_g (kg/ha) خاا عملکرد در (کیلوگرم در هکتار)	RY (%) عملکرد نسبی (%)	Y_g (%) خاا عملکرد (%)	Y_{All} (kg/ha) عملکرد قابل حصول (کیلوگرم در هکتار)	Y_E (kg/ha) خاا قابل مدیریت (کیلوگرم در هکتار)	HA (ha) سطح زیر کشت (هکتار)
5102	KOOHDASHT (27)(۲۷) کوهدشت	1219 (15.38)	2629 (40.78)	1410	46	54	2103	884	16523
5103	ESLAMABADGHARB (6) (۶) اسلام آباد غرب KHORRAMABAD (12)(۱۲) خرم آباد	1125 (27.53)	2558 (44.53)	1434	44	56	2047	922	111482
5202	BILESOWAR (28)(۲۸) بیله سوار	1217 (37.17)	3060 (44.53)	1843	40	60	2448	1231	9769
5203	RAVANSAR (21)(۲۱) روانسر	1211 (31.24)	2664 (48.42)	1453	45	55	2131	920	17228
6002	GONBAD (36)(۳۶) گنبد	1248 (38.89)	3048 (32.43)	1800	41	59	2438	1191	40394
6003	DOGONBADAN (5) (۵) دو گنبدان POLDOKHTAR (20) (۲۰) پل دختر ایلام (38)(۳۸) ایلام	888 (29.22)	2671 (35.65)	1783	33	67	2137	1249	78870
6102	HASHMABAD (9)(۹) هاشم آباد	1510 (26.62)	4002 (22.48)	2492	38	62	3202	1691	31510
5102	KOOHDASHT (27)(۲۷) کوهدشت	1219 (15.38)	2629 (40.78)	1410	46	54	2103	884	16523
7002	SARGHANAT- HYP (34)(۳۴) سرفانات - فرضی	457 (31.22)	1072 (43.1)	615	43	57	857	401	22128
7003	BEHBAHAN (2) (۲) بهبهان DEHLORAN دهلران (4) (۴) MASJEDSOLEYMAN	635 (34.35)	2098 (39.26)	1463	30	70	1678	1043	67609
AVG/SUM	-	1009 (25.08)	2723 (36.52)	1714	37	63	2178	1169	Sum 911109



شکل ۵- ارتباط بین عملکرد پتانسیل شرایط آب محدود (کیلوگرم در هکتار) با میانگین کل بارندگی تجمعی طی کل فصل رشد (میلی متر) (a)، میانگین بارندگی تجمعی از ابتدای مرحله گرده افشانی تا رسیدگی برداشت (میلی متر) (b)، نسبت میزان میانگین بارندگی از ابتدای مرحله گرده افشانی تا رسیدگی برداشت به میانگین کل بارندگی در طول فصل رشد (درصد) (c) و متوسط دمای حداکثر از ابتدای مرحله گرده افشانی تا رسیدگی برداشت (درجه سانتی‌گراد) (d) در مناطق اقلیمی اصلی (DCZs) کشت جو دیم کشور.

Figure 5- Relationship between water-limited potential yield (kg/ha) and the average of cumulative Precipitation during total growing Season (mm) (a); the average of cumulative precipitation from anthesis to harvest maturity period (mm); the ratio of cumulative precipitation from anthesis to harvest maturity period to total precipitation during all growing Season (%), and the average of maximum temperature during anthesis to harvest maturity period (°C) in main DCZs of rainfed barley cultivated areas.

فنولوژیک و کاهش دریافت تشعشع ناشی از آن طی دوره پر شدن دانه‌ها، عملکرد غلات زمستانه (بین ۱۰ تا ۱۵ میلی‌گرم در هر دانه) کاهش پیدا می‌کند (۱۳). با افزایش دما، تقسیم سلول‌های آندوسپرم و فعالیت‌های متابولیکی تسریع پیدا کرده و باعث تسریع مرحله پر شدن دانه‌ها می‌شود (۳۷). مواجهه با دماهای بالا طی مراحل ابتدایی رشد زایشی از طریق

در مطالعه حاضر، دامنه میانگین حداکثر دما طی مرحله زایشی تا رسیدگی برداشت بین ۲۳ تا ۲۹ در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم متغیر بود. براساس گزارش دیاس و لیدون (۲۰۰۹)، به ازای هر درجه افزایش دما (میانگین دما) به بیش از ۲۵ درجه سانتی‌گراد سرعت پر شدن دانه‌ها (۰/۱ میلی‌گرم در روز) افزایش می‌یابد و با افزایش سرعت نمو

۰/۸۵ و $p < ۰/۰۱$ در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم توجیه می‌کند.

لذا می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برای حصول پتانسیل عملکرد در یک منطقه اقلیمی، دو عامل توزیع مناسب بارندگی و عدم روبرو شدن با دماهای بالا طی مرحله گرده افشانی تا رسیدگی برداشت برای گیاه جو در شرایط کشت دیم از اولویت‌های دست‌یابی به عملکردهای بالاتر به حساب می‌آید. مشاهده شده است که تنها چند ساعت مواجهه با دماهای بالا (بیشتر از ۳۵ درجه سانتی‌گراد) در هنگام گرده‌افشانی، تأثیر منفی قابل ملاحظه‌ای بر روی عملکرد دانه غلات دارد (۳۷). همچنین، توزیع نامناسب بارندگی در دوره‌های بحرانی رشد گیاهان زراعی از عوامل محدودکننده عملکرد آنها به حساب می‌آید (۵). لذا مدیریت زراعی (از طریق تاریخ کاشت مناسب، استفاده بهینه از بارندگی‌ها و کاهش اثر تنش‌های محیطی) و استفاده از ارقام مناسب در شرایط کشت دیم برای دست‌یابی به عملکردهای قابل حصول می‌تواند مفید واقع شود (۲).

پس از محاسبه عملکردهای واقعی و پتانسیل، برآورد خلأ عملکرد در بین ایستگاه‌های انتخابی نشان داد که مقادیر آن در محدوده ۶۱۵ (ایستگاه سرقنات) تا ۳۳۴۴ (ایستگاه یاسوج) کیلوگرم در هکتار قرار دارند (شکل ۷). بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار خلأ در بین مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم، به‌ترتیب متعلق به کدهای اقلیمی ۳۱۰۲ (ایستگاه مشگین‌شهر) با ۳۱۲۵ کیلوگرم در هکتار و ۷۰۰۲ با ۶۱۵ کیلوگرم در هکتار (ایستگاه سرقنات) خلأ عملکرد طی ۱۵ سال زراعی مذکور بود (جدول ۲). مقادیر مطلق خلأ عملکرد برآورد شده ناشی از اختلاف عملکرد پتانسیل و واقعی در ایستگاه‌ها و کدهای اقلیمی مذکور نشان‌دهنده وضعیت عملکرد در مناطق اقلیمی نمی‌باشند، بلکه نسبت بین عملکرد واقعی و پتانسیل

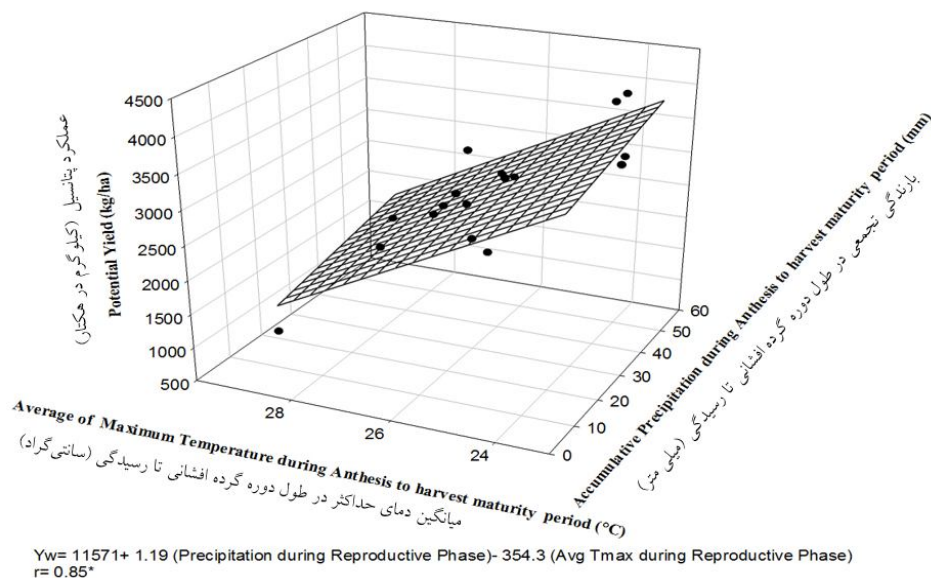
اختلال در گرده‌افشانی با کاهش تعداد دانه‌ها و از شروع مرحله پر شدن دانه تا رسیدگی (با تشدید تنش خشکی انتهای فصل رشد) از طریق کاهش اندازه دانه‌ها، عملکرد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (۵۲).

متوسط میزان بارندگی دریافت شده و مواجهه با دماهای بالا طی مراحل حساس رشدی (گرده‌افشانی تا مرحله رسیدگی) می‌توانند از مهم‌ترین عوامل تعیین‌کننده عملکرد دانه طی زراعت دیم در مناطق اقلیمی مختلف باشند. بررسی هم‌زمان دو عامل دماهای بالا و تنش خشکی طی مراحل زایشی، کاهش عملکرد دانه گندم را به‌همراه دارد (۲۲). مطالعات نشان داده است که میزان تأثیر تنش خشکی در نقاط زیر کشت دیم بستگی به مقادیر و پراکنش بارندگی طی مراحل مهم فنولوژیکی گیاه دارد (۳۲). یافته‌های پیشین نشان داده است که دمای مطلوب برای رشد و نمو ارقام مختلف جو و گندم بین ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد (۱۹).

بنابراین، عملکرد در شرایط کشت آب محدود (دیم) با توجه به تأثیر جداگانه هر یک از عوامل دماهای بالا و خشکی در مرحله زایشی گیاه، می‌تواند تحت تأثیر هم‌زمان دو عامل مذکور نیز قرار گیرد. نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین تأثیر هم‌زمان میانگین بارندگی تجمعی و دماهای حداکثر طی شروع مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی برداشت با پتانسیل عملکرد جو در اقلیم‌های اصلی کشت دیم وجود دارد (شکل ۶). با کاهش میانگین دمای حداکثر از ۲۹ به ۲۴ درجه سانتی‌گراد و افزایش میزان بارندگی طی دوره مذکور، پتانسیل عملکرد افزایش و در شرایط عکس با افزایش میانگین دمای حداکثر و کاهش مقدار بارندگی پتانسیل عملکرد کاهش پیدا می‌کند. معادله موجود (شکل ۶)، تغییرات عملکرد را براساس تغییرات دمای حداکثر و میزان بارندگی طی مرحله گرده‌افشانی تا رسیدگی برداشت با ضریب همبستگی

غرق آباد (کد اقلیمی ۴۱۰۳) با ۴۵ درصد می باشد. میانگین خلأ عملکرد برآورد شده در سطح کشور برای جو دیم ۲۷۲۳ کیلوگرم در هکتار (معادل ۶۳ درصد) می باشد.

نشان دهنده شرایط مدیریتی مزرعه را در مقایسه با بهترین وضعیت حصول عملکرد به ما نشان می دهد. بیشترین و کمترین مقادیر خلأ عملکرد (درصد) در بین ایستگاه های انتخابی به ترتیب متعلق به ایستگاه فریمان (کد اقلیمی ۴۰۰۲) با ۸۲ درصد و ایستگاه



شکل ۶- ارتباط بین تغییرات پتانسیل عملکرد در شرایط آب محدود (دیم) (کیلوگرم در هکتار) با تغییرات میانگین حداکثر دما (درجه سانتی گراد) و میزان بارندگی (میلی متر) طی دوره زایشی (از مرحله گرده افشانی تا رسیدگی برداشت) در مناطق اقلیمی اصلی کشت جو دیم.

Figure 6- Relationship between water-limited (rainfed) potential yield (kg/ha), average of daily maximum temperature and amounts of precipitation (mm) during reproductive phase (anthesis to harvest maturity period) in DCZs of barley cultivated areas.

منطقه اقلیمی اصلی کشت جو دیم در کشور اتیوپی نشان داد که خلأ عملکردی معادل ۲۹ تا ۶۷ درصد در این مناطق وجود دارد (۷). در مطالعه مذکور مشخص گردید که عواملی مانند استفاده از ارقام اصلاح شده و افزایش دانش کشاورزان در مورد روش های مدیریت مزرعه می توانند باعث کاهش میزان خلأ عملکرد جو دیم در این کشور شوند.

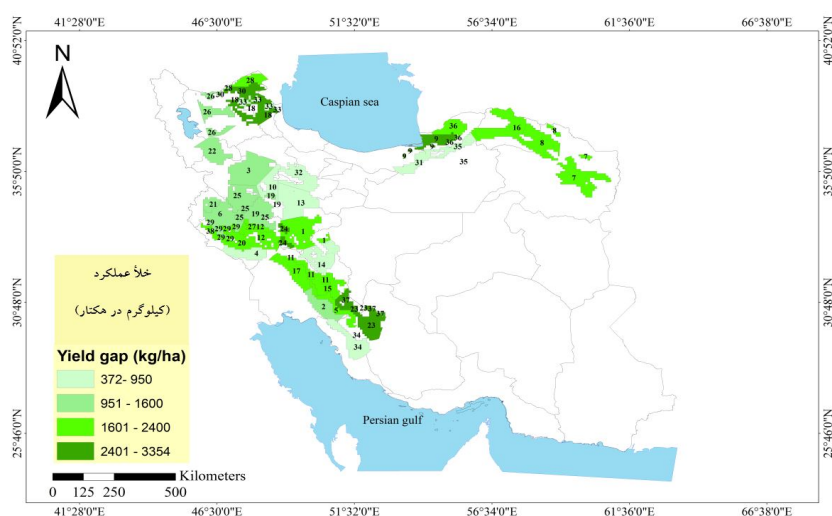
بررسی خلأ تولید و عملکرد گندم آبی، جو و کلزا طی دوره ۱۱ ساله (از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴) در آلبرتای کانادا نشان داد که خلأ معنی داری بین عملکرد قابل حصول و عملکرد واقعی در این گیاهان مشاهده می شود (۱۱). نتایج نشان داد که می توان با استفاده از رویکردهای مناسب ژنتیکی و مدیریتی، به ۱/۹۲،

براساس یافته های این مطالعه، میانگین عملکرد قابل حصول جو دیم در کشور (۸۰ درصد از عملکرد پتانسیل) ۲۱۷۸ کیلوگرم در هکتار است. به بیان دیگر، این امکان وجود دارد که با حذف عوامل مختلف خلأ عملکرد و بهینه سازی مدیریت تولید، عملکرد دانه جو دیم در شرایط فعلی را از ۱/۰۱ به ۲/۱۸ تن در هکتار و مقدار تولید جو دیم را از ۱/۰۵ به ۲/۲۶ میلیون تن رسانید و واردات جو کشور را به میزان ۱/۲۲ میلیون تن کاهش داد. بررسی مقادیر خلأ عملکرد در نقاط مختلف دنیا می تواند به شناخت بهتر وضعیت تولید با هدف نگرش جدید به شرایط مدیریتی کشور کمک کند.

مطالعه بر روی ۵۴۹ مزرعه در ۱۳ نقطه از ۴

گیگا نشان داد که پتانسیل عملکرد برآورد شده گندم دیم در ایران به طور میانگین ۲۳۶۹ کیلوگرم در هکتار می‌باشد، در حالی که عملکرد واقعی محاسبه شده ۹۴۳ کیلوگرم در هکتار بود. بنابراین، مقدار خلأ عملکرد گندم دیم به‌طور متوسط ۱۴۲۶ کیلوگرم در هکتار برای ایران برآورد شده است. به‌عبارت دیگر، حدود ۶۰ درصد خلأ عملکرد در مزارع گندم دیم در کشور مشاهده گردید (۵۳).

۳/۴۲ و ۱/۶۴ میلیون تن افزایش تولید در سال به‌ترتیب برای گندم آبی، جو و کلزا در آبرتا دست یافت. میزان درصد خلأ عملکرد جو دیم در آرژانتین و آفریقای سیاه نیز به ترتیب ۴۲ و ۸۰ درصد گزارش شده است و این اختلاف قابل ملاحظه بین دو منطقه به عوامل اقلیمی، شرایط مدیریت زراعی و فرآیندهای به‌نژادی متفاوت آن‌ها نسبت داده شد (۱۶). نتایج حاصل از مطالعه زاهد (۲۰۱۸) براساس دستورالعمل



شکل ۷- نقشه خلأ عملکرد در ایستگاه‌های هواشناسی مرجع کشت جو دیم کشور (برای نام ایستگاه‌ها به همراه کد تعیین شده در نقشه به جدول ۲ مراجعه شود).

Figure 7- Yield gap (kg/ha) in the Reference weather stations (RWSs) of rainfed harvested areas (the name of the RWSs which were identified as a No. in the map has located in Table 2).

در آن‌ها مربوط می‌شود (۴۱).

نتیجه‌گیری کلی

طی این مطالعه به‌ترتیب ۱۷ منطقه اقلیمی اصلی برای زراعت جو دیم در کشور مشخص شد. این مناطق اقلیمی بیش از ۸۵ درصد کل اراضی سطح زیر کشت جو دیم کشور را شامل می‌شوند. ۳۸ ایستگاه هواشناسی مرجع (RWS) در مناطق اقلیمی اصلی (DCZ) زمین‌های زیر کشت جو دیم انتخاب گردید. دامنه میانگین عملکردهای واقعی محاسبه شده در DCZهای تعیین شده بین ۳۹۰ تا ۱۵۱۰ کیلوگرم در

مطالعه دیگری با هدف بررسی مقادیر خلأ عملکرد جو دیم در اروپا نشان داده است که میزان درصد خلأ عملکرد بین ۱۰ تا ۸۰ درصد در مناطق مختلف آن متغیر می‌باشد. در قسمت‌های مدیترانه‌ای و شرق اروپا مقادیر خلأ عملکرد بیشتر از مناطق غربی آن گزارش شده است. از دلایل مهم این اختلاف، مقادیر پایین عملکردهای واقعی ثبت شده (بین ۰/۸ تا ۲/۴ تن در هکتار) جو دیم در شرق اروپا در مقایسه با عملکردهای واقعی بالا (بین ۶/۴ تا ۸ تن در هکتار) در قسمت‌های غربی اروپا بود که به شرایط مدیریتی (مدیریت بهره‌وری نیتروژن) متفاوت

تولید در گیاهان زراعی مختلف باشد. با توجه به کمبود زمین‌های قابل کاشت و کمبود آب کافی در نقاط مختلف کشور، بهترین راهکار برای افزایش میزان تولید جو در کشور و رسیدن به سطح خودکفایی در تولید این گیاه زراعی مهم افزایش عملکرد در واحد سطح می‌باشد که این موضوع وابسته به افزایش کیفیت مدیریت در سطح مزارع، توسعه کاربرد فناوری در کشاورزی، افزایش دانش کشاورزان و بهینه‌سازی استفاده از نهاده‌های کشاورزی و سیاست‌گذاری‌های راهبردی در نقاط مختلف کشور می‌باشد. با توجه به این‌که تاکنون مطالعه‌ای جهت بررسی خلأ عملکرد جو در ایران بر روی پتانسیل عملکرد در مقیاس کشوری صورت نگرفته بود، بنابراین نتایج این مطالعه می‌تواند به بهبود دیدگاه‌های مدیریتی و وضعیت تولید این گیاه در کشور کمک کند.

سیاسگزاری

از سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی کشور که در ارائه اطلاعات و داده‌های لازم برای انجام این مطالعه همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

1. Alqudah, A.M., Samarah, N.H., and Mullen, R.E. 2011. Drought stress effect on crop pollination, seed set, yield and quality. In: LICHTFOUSE, E. (ed.) Alternative farming systems, biotechnology, drought stress and ecological fertilization. Dordrecht: Springer Netherlands.
2. Anderson, W.K. 2010. Closing the gap between actual and potential yield of rainfed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crop. Res.* 116: 1-2. 14-22.
3. Anderson, W., Johansen, C., and Siddique, K.H.M. 2016. Addressing the yield gap in rainfed crops: a review. *Agron. Sustain. Dev.* 36: 1-13.
4. ArcGIS [GIS software]. 2014. Version 10.3. Environmental Systems Research Institute, Inc. CA.
5. Asseng, S., Cao, W., Zhang, W., and

هکتار با مقدار میانگین ۱۰۰۹ کیلوگرم در هکتار برای کل کشور بود. دامنه پتانسیل عملکرد در این مناطق بین ۱۰۷۲ تا ۴۰۰۲ کیلوگرم در هکتار با متوسط ۲۷۲۱ کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. میزان خلأ عملکرد تخمین زده در اراضی غالب کشت جو دریم بین ۶۱۵ تا ۳۱۲۵ کیلوگرم در هکتار (۵۰ تا ۸۲ درصد) متغیر بود. میانگین خلأ عملکرد جو دریم کشور ۱۷۱۴ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که نشان‌دهنده وجود ۶۳ درصد خلأ عملکرد می‌باشد. اگر هدف دستیابی به عملکرد قابل حصول باشد، بین ۴۰۱ تا ۲۳۲۹ کیلوگرم در هکتار خلأ عملکرد قابل مدیریت زمین‌های زیر کشت جو دریم وجود دارد. در صورت رفع ۸۰ درصد خلأ عملکرد، پتانسیل تولید جو دریم در کشور را می‌توان از حدود ۱/۰۵ میلیون تن به حدود ۲/۲۶ میلیون تن افزایش داد و با زراعت دریم جو حدود ۳۰۰ میلیون دلار به اقتصاد کشور سود رساند و به خودکفایی در امر تولید جو در کشور نزدیک شد.

کاهش میزان خلأ عملکرد در نقاط مختلف جهان می‌تواند مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در افزایش میزان

- Ludwig, F. 2009. Crop physiology, modelling and climate change: impact and adaptation strategies. in: V.O. Sadras and D.F. Calderini (eds), *Crop physiology: applications for genetic improvement and agronomy*, Amsterdam: Elsevier Academic Press. Pp: 511-543.
6. Barnabás, B., Jäger, K., and Fehér, A. 2008. The effect of drought and heat stress on reproductive processes in cereals. *Plant, Cell Environ.* 31: 1. 11-38.
7. Bishaw, Z., and Alemu, D. 2016. Barley yield gaps, varietal adoption, and seed commercial behavior of smallholder farmers in Ethiopia. Conference Paper. CRP DC and CRP GL Review Meeting. CGIAR.
8. Boogaard, H., Wolf, J., Supit, I., Niemeier, S., and van Ittersum, M., 2013. A regional implementation of WOFOST for calculating yield gaps of autumn-sown wheat across the European Union. *Field Crop. Res.* 143: 130-142.

9. Bruinsma, J. 2009. The resource outlook to 2050: By How much do land, water and crop yields need to increase by 2050. FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050, Rome.
10. Cassman, K. G., Grassini, P., and van Wart, J. 2010. Crop yield potential, yield trends, and global food security in a changing climate. Handbook of climate change and agroecosystems. Imperial College Press, London. Pp: 37-51.
11. Chapagain, T., and Good, A. 2015. Yield and production gaps in rainfed wheat, barley, and canola in Alberta. Front. Plant Sci. 6: 1-10.
12. Deihimfard, R., Mahallati, M.N., and Koocheki, A.R. 2015. Yield gap analysis in major wheat growing areas of Khorasan province, Iran, through crop modelling. Field Crop. Res. 184: 28-38.
13. Dias, A.S., and Lidon, F.C. 2009. Evaluation of grain filling rate and duration in bread and durum wheat, under heat stress after anthesis. J. Agro. Crop Sci. 195: 2. 137-147.
14. Food and Agriculture Organization (FAO). 2017. The FAOSTAT Database. Available at Web site <http://faostat.fao.org/default.aspx> (verified 5 September 2018).
15. Gobbett, D.L., Hochman, Z., Horan, H., Garcia, J.N., Grassini, P., and Cassman, K.G. 2017. Yield gap analysis of rainfed wheat demonstrates local to global relevance. J. Agric. Sci. 155: 2. 282-299.
16. Grassini, P., K.G. Cassman., and van Ittersum, M. 2017. Exploring maize intensification with the Global Yield Gap Atlas. Better Crop. Plant Food. 101: 2. 7-9.
17. Gusmao, M., Siddique, K.H.M., Flower, K., Nesbitt, H., and Veneklaas, E.J. 2012. Water Deficit during the Reproductive Period of Grass Pea (*Lathyrus sativus* L.) reduced grain yield but Maintained Seed Size. J. Agron. Crop Sci. 198: 6. 430-441.
18. Hajjarpoor, A. 2016. Evaluation of wheat yield gap in Golestan province. PhD Dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)
19. Hakim, M.A., Hossain, A., da Silva, J.A.T., Zvolinsky, V.P., and Khan, M.M. 2012. Protein and starch content of 20 wheat (*Triticum aestivum* L.) genotypes exposed to high temperature under late sowing conditions. J. Sci. Res. 4: 2. 477-489.
20. Han, E., Ines, A., Koo, J. 2015. Global High-Resolution Soil Profile Database for Crop Modeling Applications. <http://dx.doi.org/10.7910/DVN/1PEEY0>, Harvard Data verse, V1.
21. Hochman, Z., Gobbett, D., Holzworth, D., McClelland, T., van Rees, H., Marinoni, O., Garcia, J.N., and Horan, H. 2012. Quantifying yield gaps in rainfed cropping systems: A case study of wheat in Australia. Field Crop. Res. 136: 85-96.
22. Hossain, A., Teixeira Da Silva, J.A., Lozovskaya, M.V., and Zvolinsky, V.P. 2012. High temperature combined with drought affect rainfed spring wheat and barley in South-Eastern Russia: I. Phenology and growth. Saudi J. Biol. Sci. 19: 4. 473-487.
23. <http://www.yieldgap.org/> (Verified June 2017).
24. <http://www.fas.usda.gov/psdonline/> (Verified June 2019)
25. Knol, R. 2016. Yield gap analysis of cereals in Romania: Causes and mitigation options. MSc. Thesis Plant Science. Plant Production Systems Department. Wageningen University. Netherland.
26. Koocheki, a., Nassiri, M.M., Mansoori, H., and Moradi, R. 2017. Effect of climate and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran with using WOFOST model. Iran. Intl. J. Agri. Crop. Sci. 15: 2. 244-256. (In Persian)
27. Li, K., Yang, X., Liu, Z., Zhang, T., Liu, S., and Liu, Y. 2014. Low yield gap of winter wheat in the North China Plain. Eur. J. Agron. 59: 1-12.
28. Lobell, D.B. 2013. The use of satellite data for crop yield gap analysis. Field Crop. Res. 143: 56-64.
29. Lobell, D.B., Cassman, K.G., and Field, C.B. 2009. 'Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes'. Annu. Rev. Environ. Resour. 34: 1. 179.
30. Madani, K., AghaKouchak, A., and Mirchi, A. 2016. Iran's Socio-economic Drought: Challenges of a Water-Bankrupt Nation. Iranian Stud. 49: 6. 997-1016.
31. Maniruzzaman, M., Biswas, J.C., Hossain, M.B., Haque, M.M., Naher, U.A., Biswas, A., Choudhury, A.K., Akhter, S., Ahmed, F., Rahman, M.M., Akhter, C.S., Mm, F.A., and Kalra, R.N. 2017. Evaluating the CERES-Rice model under dry season irrigated rice in Bangladesh, Calibration and validation. J. Agric. Crop Res. 5: 6. 96-107.
32. Martiniello, P., and Teixeira da Silva, J. 2011. Physiological and bio-agronomical aspect involved in growth and yield components of cultivated forage species in Mediterranean environments. Eur J Plant Sci Biotechnol. 5: 64-98.

33. Meng, Q., Hou, P., Wu, L., Chen, X., Cui, Z., and Zhang, F. 2013. Understanding production potentials and yield gaps in intensive maize production in China. *Field Crop. Res.* 143: 91-97.
34. Mesgaran, M., Madani, K., Hashemi, H., and Azadi, P. 2016. Evaluation of land and precipitation for agriculture in Iran. Stanford Iran 2040 Project, Stanford University.
35. Nehbandani, A.R. 2018. Evaluation of soybean yield gap in Iran. PhD Dissertation, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)
36. Pasuquin, J.M., Pampolino, M.F., Witt, C., Dobermann, A., Oberthür, T., Fisher, M.J., and Inubushi, K. 2014. Closing yield gaps in maize production in Southeast Asia through site-specific nutrient management. *Field Crop. Res.* 156: 219-230.
37. Rezaei, E.E., Webber, H., Gaiser, T., Naab, J., and Ewert, F. 2015. Heat stress in cereals: mechanisms and modelling. *Eur J. Agron.* 64: 98113.
38. Samarah, N.H. 2005. Effects of drought stress on growth and yield of barley. *Agron. Sustain. Dev.* 25: 1. 145-149.
39. Sanjani, S. 2013. Agro-ecological zoning and yield gap for wheat, sugar beet and corn in Khorasan Province. PhD Dissertation, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran. (In Persian)
40. Sari Saraf, B., Bazgir, S., and Mohammadi, G.H. 2009. Zoning the climatic potentials of dry-farming wheat cultivation in the west azarbaijan (Iran). *Geo Develop.* 7: 13. 5-26.
41. Schils, R., Olesen, J.E., Kersebaum, K.C., Rijk, B., Oberforster, M., Kalyada, V., Khitrykau, M., Gobin, A., Kirchev, H., and Manolova, V. 2018. Cereal yield gaps across Europe. *Eur. J. Agron.* 101: 109-120.
42. Schoppach, R., Soltani, A., Sinclair, T.R., and Sadok, W. 2017. Yield comparison of simulated rainfed wheat and barley across Middle-East. *Agric. Syst.* 153: 101-108.
43. Soltani, A., Hammer, G.L., Torabi, B., Robertson, M.J., and Zeinali, E. 2006. Modeling chickpea growth and development, phenological development. *Field Crop. Res.* 99: 1. 1-13.
44. Soltani, A., and Sinclair, T.R. 2012. Modeling physiology of crop development, growth and yield. CAB International, Wallingford, UK.
45. Soltani, A., Galeshi, S., Zeinali, E. 1999. Analysis of the constraints on wheat production in golestan province. Report of the research project, Golestan province management and planning organization. (In Persian)
46. Soltani, A., Hajjarpour, A., and Vadez, V. 2016. Analysis of chickpea yield gap and water-limited potential yield in Iran. *Field Crop. Res.* 185: 21-30.
47. Soltani, A., Maddah, V., and Sinclair, T.R. 2013. SSM-Wheat, a simulation model for wheat development, growth and yield. *Int J. Plant. Prod.* 7: 4. 711-740.
48. Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S., and Zeinali, E. 2011. Assessment of yield gap due to nitrogen management in wheat. *Aust J. Crop Sci.* 5: 879-884.
49. Van Ittersum, M.K., and Cassman, K.G. 2013. Yield gap analysis rationale, methods and applications - Introduction to the Special Issue. *Field Crop. Res.* 143: 1-3.
50. Van Bussel, L.G.J., Grassini, P., Van Wart, J., Wolf, J., Claessens, L., Yang, H., Boogaard, H., de Groot, H., Saito, K., Cassman, K.G., and van Ittersum, M.K. 2015. From field to atlas: Upscaling of location-specific yield gap estimates. *Field Crop. Res.* 177: 98-108.
51. Van Wart, J., van Bussel, L.G.J., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Mueller, N.D., Claessens, L., van Ittersum, M.K., and Cassman, K.G. 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crop. Res.* 143: 44-55.
52. Wollenweber, B., Porter, J.R., and Schellberg, J. 2003. Lack of interaction between extreme high-temperature events at vegetative and reproductive growth stages in wheat. *J. Agron. Crop Sci.* 189: 3. 142-150.
53. Zahed, M. 2018. Modeling the production and yield gap of wheat in Iran. Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. (In Persian)