مجله پژوهش‌های به زراعی
جلد۱۵ ، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲

مجله پژوهش‌های به زراعی

ارزیابی خلاء عملکرد گندم رقم چمران با استفاده از مدل APSIM در شبکه آبیاری و زهکشی دشت رامشیر

محسن سعادت‌فر[۱]، تیمور بابائی‌نژاد[۲] ، سعید صوفی‌زاده[۳]، علی غلامی[۴]، نوید قنواتی[۲]

۱-گروه خاکشناسی، پردیس علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۲- گروه خاکشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳- گروه آگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴- گروه کشاورزی، واحد شاهین شهر، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهین شهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۹/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۷

چکیده

یکی از مشکلات اساسی تولید گیاهان زراعی، اختلاف بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد قابل حصول که خلاء عملکرد نام دارد، می‌باشد. بالا بردن بهره وری در واحد سطح، کلید تامین غلات مورد نیاز دنیا می‌باشد. برای دستیابی به این هدف شناسایی عوامل محدود کننده عملکرد بسیار حائز اهمیت است. در این مطالعه طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۴ برای بررسی پتانسیل عملکرد گندم در دشت رامشیر استان خوزستان، داده‌های دراز مدت اقلیمی، داده‌های مدیریتی مزرعه، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک و داده‌های گیاهی در ۱۰۰ مزرعه اندازه گیری و ثبت گردید. در این تحقیق پس از میان‌یابی مکانی داده‌ها از مدل APSIM برای شبیه سازی رشد و ارزیابی خلاء عملکرد گندم استفاده شد که عملکرد پتانسیل ۷۰۹۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. نتایج نشان داد که کشاورزان گندمکار به کمتر از ۴۰ درصد از عملکرد قابل دستیابی رسیده‌اند که حاکی از بزرگ بودن خلاء موجود در عملکرد این محصول است. انتخاب تاریخ کاشت نامناسب برای کشت گیاه گندم با سهم ۳۱ درصد از کل خلاء عملکرد اصلی‌ترین عامل کاهش عملکرد می‌باشد که دلیل آن عدم دسترسی به ماشین آلات و بذر مناسب جهت کشت به موقع می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد، نوع خاک، محدودیت آب، کود نیتروژن مورد استفاده، تراکم بذر در واحد سطح و رقم بذر مصرفی نیز به ترتیب سهم ۲۷، ۱۸، ۸ و۱درصدی در کل خلاء عملکرد موجود داشتند. از سهم ۱۵ درصدی باقیمانده نیز می‌توان به زمان بندی نامناسب آبیاری و کوددهی، مصرف نامناسب کودهای پایه، مکانیزاسیون ضعیف و آفات اشاره کرد. به نظر می‌رسد که کشت گندم در اولین فرصت پس از کاهش نسبی دما در ابتدای فصل پاییز (بازه زمانی آبان ماه) و قبل از سرد شدن هوا که سبب خواب در گیاه می‌شود، می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد این گیاه گردد.

واژه‌های کلیدی: تاریخ کاشت، خلاء عملکرد، شبیه سازی، عملکرد پتانسیل، گندم، APSIM

* نویسنده مسئول (timoorba2@yahoo.com)

مقدمه

رشد تقاضا برای غذا در دهه‌های آینده افزایش قابل توجه تولید محصولات زراعی را ضروری ساخته است و پیش بینی شده است تقاضا برای این تولیدات تا پیش از سال ۲۰۵۰ به میزان ۶۰ درصد افزایش می‌یابد (FAO, 2012; Vogeler *et al*, 2022). در بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۰ جمعیت جهان از ۳ به ۷ میلیارد نفر افزایش یافته، در حالی که در همین دوره سرانه تولیدات کشاورزی تنها به میزان ۱۰ درصد بیشتر از اراضی اختصاص یافته برای تولید همین محصولات افزایش یافته است (Van Ittersum & Cassman, 2013 ;Hussain *et al.*, 2020). بنابراین محصولات کشاورزی برای مواجهه با تقاضای فزاینده غذا در آینده باید به طور قابل ملاحظه ای افزایش یابد (Schierhorn *et al.*, 2014). در حال حاضر به دلیل نبود زمین‌های زراعی مناسب، افزایش تولید از طریق گسترش سطح زیر کشت امکان پذیر نیست و در بسیاری از کشورها به دلیل کمبود آب و فرسایش خاک سطح زیر کشت حتی عملا کاهش یافته است. از سوی دیگر در اکثر کشورهای توسعه یافته حداکثر محصول هم اکنون به دست آمده و نیز در بسیاری از این کشورها به رغم امکان افزایش عملکرد، به دلیل مشکلات ناشی از بهره برداری بی رویه از منابع و نهاده‌ها چنین رهیافتی عملا امکان پذیر نیست.

در ایران به نظر می‌رسد استراتژی افزایش تولید گیاهان عمدتا براساس افزایش عملکرد باشد.با این وجود در اکثر موارد عملکرد واقعی به دلیل ضعف-های زیرساختی، مدیرتی و فناوری کمتر از عملکرد پتانسیل می‌باشد. اختلاف بین این دو به عنوان خلاء عملکرد در نظر گرفته می‌شود. درک سهم نسبی هر یک از متغیرهای زیرساختی و مدیریتی در خلاء عملکرد می‌تواند به عنوان یکی از مهمترین گام‌های کاهش آن و نزدیک شدن عملکرد واقعی به عملکرد پتانسیل باشد. به همین دلیل برخی محققین معتقدند تقلیل خلاء میان عملکردهای فعلی بدست امده از مزارع و نیز اراضی که بتوان عملیات و فناوری به روز در یک محیط معین به دست آورد، یک استراتژی کلیدی برای افزایش تولید غلات در مزارع موجود می‌باشد (Liang *et al.*, 2017). به‌عبارت دیگر، تحلیل خلاء عملکردیک برآورد کمی از افزایش احتمالی

در ظرفیت تولید غذا در یک مکان معین می‌باشد که این امر جزء استراتژیک مهمی از برنامه ریزی امنیت غذایی در مقیاس منطقه ای، ملی و جهانی است (Van Wart *et al.*, 2013). بنابراین آنالیز خلاء عملکرد در مقیاس ملی و منطقه ای، برآورد استعداد یک منطقه برای تولید یک محصول خاص است که باعث جهت دادن به پژوهش‌ها شده و به برنامه ریزی و طراحی الگوهای کشت کمک شایانی می‌کند. همچنین دانستن استعداد یک منطقه برای تولید یک محصول خاص می‌تواند موجب سرمایه گذاری برای توسعه تولید آن محصول در منطقه شود (Lu *et al.*, 2021). در ضمن آنالیز خلاء عملکرد از جمله رایج‌ترین روش‌های شناسایی عوامل محدودکننده و کاهش‌دهنده تولید می-باشد. به نحوی که مجموعه‌ای از عوامل محدودکننده و کاهش دهنده تولید، موجب ایجاد تفاوت قابل ملاحظه ای میان تولید واقعی و تولید پتانسیل می‌شوند. البته به جز عوامل محدودکننده (محدودیت آب و عناصر غذایی) و عوامل کاهش‌دهنده (علف‌های هرز، آفات و بیماری‌های گیاهی) تولید پتانسیل، عوامل دیگری نظیر شوری، سرما، گرما، آب ایستادگی نیز با محدودکردن رشد، تولید را از شرایط پتانسیل دور خواهند ساخت. لازم به ذکر است علاوه بر عوامل محیطی، روش‌های مدیریتی و حتی اقتصادی نیز در شکل‌گیری خلاء عملکرد نقش دارند. بنابراین برای افزایش عملکرد لازم است در هر منطقه میزان خلاء عملکرد مشخص عوامل سهیم در خلاء عملکرد در تولید گیاهان زراعی مهم شناسایی شوند (Shiferaw *et al.*, 2013)

آنالیز خلاء عملکرد یک روش قدرتمند برای آشکارسازی و فهم فرصت‌های بیوفیزیکی برای مواجه با پیش‌بینی افزایش تولیدات کشاورزی تا سال ۲۰۵۰ می‌باشد و بدین ترتیب از تصمیمات اتخاذ شده در تحقیقات، سیاست‌گذاری، توسعه و سرمایه‌گذاری که مورد نیاز است حمایت می‌کند (Faivre *et al.*, 2022). در پژوهشی (2018) Guo, *et al* به بررسی تکنیک‌های جایگزین کمبود منابع غذایی در کشاورزی پرداختند و دریافتند که خلا عملکرد محصولات کلیدی ترین عامل در کمبود منابع غذایی می‌باشد. بطورکلی حداقل چهار روش برای برآورد خلاء عملکرد در سطح محلی می‌توان تمایز داد: ۱- آزمایش

مزرعه‌ای، ۲- مباحث مربوط به عملکرد، ۳- حداکثر عملکرد کشاورزان براساس پایش مزراع و ۴- مدل‌های شبیه‌سازی گیاهان زراعی (Hollis,,*et al.*, 2012).

کمی سازی رشد و نمو یک گیاه زراعی در پاسخ به شرایط محیطی در یک سامانه، مدل سازی نامیده می‌شود که به کاربر کمک می‌کند تا در مورد مدیریت گیاهی زراعی تصمیم بهتری اتخاذ نماید (Saltelli *et al.*, 2002). مدل‌های زراعی دارای مزایای مختلفی هستند که انتخاب ژنوتیپ مناسب، انتخاب بهترین روش‌های مدیریتی، تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد، ارزیابی اثرات اقلیم و راهکارهای سازگاری به تغییر اقلیم را می‌توان از فواید آن‌ها به شمار آورد (Hao, *et al.*, 2021). مدل های گیاهی ابزار های مناسبی برای آزمون فرضیه‌هایی هستند که مطالعه آن‌ها در سامانه‌های کشاورزی واقعی زمان بر بوده ممکن است سال‌ها بکشد. این مدل‌ها جهت افزایش کارایی مدیریت و عملکرد گیاه زراعی در بسیاری از کشورها با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته اند (Heuvelink *et al.*, 2017; Hollis, *et al.*, 2012). با این حال، برای پیش بینی و شبیه سازی بهره‌وری تولید گیاهان زراعی در یک مکان و اقلیم خاص، کارکرد این مدل‌ها باید آزمایش شود (Machwitz *et al.*, 2014). شبیه ساز سامانه‌های تولید کشاورزی (APSIM) یک مدل شبیه سازی محصولات شناخته شده است که توسط واحد تحقیقات سامانه‌های تولید کشاورزی ابداع شده است. این مدل قادر به شبیه سازی عملکرد طیف وسیعی از گیاهان زراعی در پاسخ به عوامل اقلیمی، خاکی و مدیریتی است. در این مدل وضعیت خاک در مقایسه با بسیاری از مدل‌های دیگر، نقش مهم تری در شبیه سازی گیاه زراعی دارد. در بسیاری از تحقیقات از این مدل برای شبیه سازی فنولوژی و عملکرد دانه گندم استفاده شده است. خیری و کامبوزیا (۱۴۰۱) به ارزیابی کارایی مدل APSIM در شبیه سازی عملکرد دانه گندم نان در دیمزارهای غرب و شمال غرب ایران پرداختند و نتایج کلی نشان داد که می‌توان از مدل APSIM در تعیین بهترین شیوه‌های مدیریت مزرعه، تجزیه و تحلیل خلاء عملکرد، ارزیابی اثر تغییر اقلیم و راهکارهای سازگاری با تغییرات اقلیم در مزارع گندم استفاده کرد. در پژوهشی دیگر Hao *et al* (2024)

زمان گلدهی، رسیدگی فیزیولوژیک و عملکرد دانه گندم زمستانه را با مدل APSIM شبیه سازی کردند و دریافتند که مدل APSIM پتانسیل بالایی برای بهینه سازی مدیریت کود در کشت گندم زمستانه در شمال اروپا را دارد. Mohanti *et al* (2012) از مجموعه داده‌های مستقل برای پارامترسازی گندم رقم سوجاتا استفاده کردند. نتایج نشان داد که مجموعه داده‌های مورد استفاده برای تعیین ضرایب ژنتیکی ارقام دارای دقت بالایی بوده و مقدار بدست آمده و پیش بینی شده بسیار به هم نزدیک بوده است.

ایران در کمربند خشک و نیمه خشک دنیا واقع شده است و کوچک ترین تغییر در شرایط محیطی می‌تواند عواقب جدی بر عملکرد گیاهان زراعی داشته باشد (Dalgliesh *et al.*, 2012). گندم مهمترین گیاه زراعی کشور بوده و حدود شش میلیون هکتار از اراضی کشور زیر کشت گندم است. دو سوم از این مقدار به کشت دیم اختصاص داشته و عملکرد محصول کاملا وابسته به نزولات آسمانی در طول دوره رشد دارد. افزایش در تولید محصول گندم در کشور متکی به بهینه سازی مدیریت مزرعه با استفاده از یک رویکرد جامع سیستمی است و مدل‌های زراعی نقش مهمی در این زمینه دارند. مدل‌های کشاورزی مکانیستیک کاملا متکی بر اطلاعات ورودی بوده و در صورت فراهم بودن اطلاعات، شبیه سازی مناسبی از سیستم واقعی ارائه خواهند داد. با این وجود ارزیابی مدل در شرایطی که دسترسی به اطلاعات تجربی محدود و پرهزینه است دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. این پژوهش با هدف ارزیابی خلاء عملکرد گندم رقم چمران با استفاده از مدل APSIM در شبکه آبیاری و زهکشی دشت رامشیر انجام پذیرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه قسمتی از بخش مرکزی شهرستان رامشیر با مساحت 22000 هکتار در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اهواز در استان خوزستان واقع می‌باشد و از نظر جغرافیایی شهر رامشیر بین ´۲۴ و °۴۹ درجه شرقی از نصف النهار گرینویچ و بین ´۵۳ و°۳۰ عرض شمالی از خط استوا قرار دارد و ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۳ متر است و تغییرات ارتفاع سطح زمین

در محدودهٔ شهرستان رامشیر از ۱۱ تا ۲۸ متر از سطح دریا متغیر می‌باشد.

ساختار آزمایش

مطالعه حاضر به‌صورت یک آزمایش مزرعه‌ای-میدانی در دو شهرستان رامشیر روی گندم در سال۱۳۹۴-۱۳۹۸ به اجرا در آمد. واحد مطالعاتی در این آزمایش مزرعه کشاورز بود. بدین منظور تعداد ۱۰۰ کشاورز از مجموع شهرستان انتخاب شدند انتخاب مزارع هدف بر پایه بازدیدهای میدانی و مطالعات بروی نقشه‌های اراضی قبل و هنگام آزمایش صورت پذیرفت.

جمع‌آوری داده‌های اقلیمی، خاکی، گیاهی و مدیریتی

این داده‌ها شامل چهار دسته از خصوصیات گیاهی، خاکی، متغیرهای اقلیمی و اطلاعات مدیریتی هستند. داده‌های اقلیمی مورد نیاز برای اجرای تحقیق حاضر از سازمان هواشناسی کشور و برای منطقه مورد نظر اخذ شد. پارامترهای اقلیمی شامل تشعشع روزانه، طول ساعات آفتابی، درجه حرارت حداقل، درجه حرارت حداکثر، بارندگی، سرعت وزش باد، رطوبت نسبی می‌باشند که به‌منظور جمع‌آوری داده‌های هواشناسی مربوط به فصل رشد گندم در سال ۱۳۹۱، با توجه به نبود ایستگاه هواشناسی در شهر رامشیر به ایستگاه‌های هواشناسی رامهرمز و ماهشهر واقع مراجعه و برای بدست آوردن اطلاعات ایستگاه رامشیر میانگین گیری گردید. برای بدست آوردن متغیر طول ساعات آفتابی روزانه به‌منظور شبیه‌سازی شدت تشعشع روزانه در منطقه استفاده به عمل آمد. شبیه‌سازی شدت تشعشع روزانه با استفاده از برنامه Photoperiod and Solar Radiation Calculator که توسط تیم مدل‌سازی واحد تحقیقات سیستم‌های تولید کشاورزی (APSRU[1]) واقع دراسترالیا تولید شده استفاده شد.

پارمترهای فیزیکی و شیمیایی خاک شامل درصد رس، درصد سیلت، درصد شن، کربن آلی، وزن مخصوص ظاهری، رطوبت خاک در نقطه اشباع رطوبتی، رطوبت خاک در ظرفیت مزرعه، رطوبت خاک در نقطه پژمردگی دائم، رطوبت خاک در

[1] - Agricultural Production Systems Research Uni

ابتدای فصل، نیتروژن معدنی، pH خاک، EC خاک، فسفر و پتاسیم خاک مورد استفاده قرار گرفت. همچنین داده‌های گیاهی مراحل مهم فنولوژیک، سطح برگ در مراحل مختلف دوره رشد، ماده خشک به تفکیک اندام در طول دوره رشد، عملکرد بیوماس را در این پژوهش استفاده گردید. داده‌های مورد نیاز در رابطه با چگونگی مدیریت توسط کشاورزان شامل مدیریت مزرعه و پارامترهای تاریخ کاشت، تراکم کاشت، فاصله بین ردیف، رقم، تاریخ‌های آبیاری و مقدار آب آبیاری در هر دوره ، تاریخ کوددهی + نوع و مقدار کود و نیز چگونگی آماده‌سازی مزرعه می‌باشد که به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات این اطلاعات توسط کشاورزان اقدام به تهیه پرسش‌نامه شد. بدین منظور به ازاء هر مزرعه یک پرسش‌نامه و در نتیجه در مجموع تعداد ۱۰۰ پرسش‌نامه توسط کشاورزان مزارع منتخب از طریق مصاحبه رو در رو تکمیل گردید. پرسش‌نامه طیف گسترده‌ای از اطلاعات مانند سطح تحصیلات کشاورزان، تاریخچه مزرعه، عملیات کاشت (تاریخ کاشت، فاصله بین و روی ردیف، عمق کاشت و روش کشت)، داشت (تاریخ، نوع و زمان کود مصرفی، تاریخ آبیاری، تاریخ و روش مبارزه با علف‌های‌هرز، آفات و بیماری) و تاریخ برداشت را در بر داشت. برخی از این اطلاعات در ابتدای فصل و برخی دیگر با توجه به ماهیت آن‌ها در طول دوره رشد گندم در هر یک از مزارع و با مراجعات پی‌درپی جمع‌آوری گردید.

واسنجی مدل APSIM برای گندم در شبکه آبیاری رامشیر

به‌منظور تعیین عملکرد بالقوه در این استان، از مدل شبیه‌ساز سیستم‌های تولید کشاورزی (APSIM) که یک مدل شبیه سازی رشد محصولات زراعی است، استفاده شد. APSIM، قادر است وضعیت یک مزرعه را از نظر شرایط خاکی و گیاهی با جزئیات مناسب شبیه‌سازی نماید. APSIM مدلی مکانیستیک، حاصل تلاش گروهی از متخصصان استرالیایی است که جنبه‌های مهمی از سیستم‌های زراعی مشتمل بر تناوب، آیش، بقایا، استقرار گیاه، مرگ گیاه در اثر عوامل نامناسب و پاسخ گیاه به شرایط محیطی مختلف را شبیه‌سازی می‌کند. این مدل قادر است رشد و نمو بیش از ۲۰ گیاه متفاوت را شبیه‌سازی کند و شامل زیرمدل‌های اختصاصی برای گندم،

ذرت، سورگوم، ارزن، لگوم‌های دانه‌ای متنوع، آفتاب‌گردان، کتان، چغندرقند و یونجه می‌باشد. یکی از اهداف اصلی ساخت این مدل مدیریت ریسک در تولید کشاورزی است (Sexton, *et al.*, 2017).

این مدل می‌تواند عملکرد یک گیاه یا یک سیستم کشت را در واکنش به آب و هوا یا شرایط خاک شبیه‌سازی کند و امکان ارزیابی مداخله مدیریت در نوع، زمان و توالی کشت، آبیاری و کوددهی چه در تناوب ثابت یا انعطاف پذیر را فراهم کند. در آزمایش حاضر با استفاده از مدل (APSIM) پتانسیل عملکرد قابل دست‌یابی در این استان برای رقم غالب کشت شده توسط کشاورزان تعیین شد. به‌منظور نیل به به این هدف، ابتدا لازم بود تا مدل APSIM برای رقم غالب تعیین شده کالیبره گردد. برای انجام عمل کالیبراسیون نیاز به داده‌های هواشناسی، مدیریت رایج در منطقه و ضرایب ژنتیکی رقم غالب گندم موردکاشت در منطقه می‌باشد که بر پایه داده‌های جمع‌آوری شده در آزمایش حاضر و داده‌های آزمایش‌های مرتبط دیگر این امر صورت پذیرفت. در آزمایش حاضر با استفاده از داده‌های مزرعه‌ای جمع‌آوری شده و همچنین داده‌های اقلیمی، خاکی و مدیریتی، اقدام به واسنجی مدل برای مزارع گندم مورد مطالعه و شبیه‌سازی رشد و نمو گندم در آن‌ها خواهد شد. این فاز یکی از فنی‌ترین بخش‌های پروژه می‌باشد زیرا تنها زمانی از یک مدل زراعی می‌توان با اطمینان استفاده به عمل آورد که از صحت پیش‌بینی‌های مدل برای منطقه و گیاه مورد نظر اطمینان حاصل نمود. رقم مورد استفاده برای کالیبراسیون مدل APSIM رقم چمران بود.

بهینه‌سازی استراتژی آبیاری مزارع گندم در منطقه

پس از کالیبراسیون مدل، بر پایه اطلاعات جمع آوری شده در پرسش نامه‌ها مبنی بر چگونگی انجام عملیات کاشت و داشت توسط کشاورزان، دامنه ای از گزینه‌های ممکن برای انجام عملیات مدیریتی مهم که استراتژی آبیاری تابعی از آن‌ها می‌باشد تعریف خواهد شد. سپس ترکیبی فاکتوریل از مجموعه این عوامل ایجاد شده که هر یک در حکم یک تیمار آزمایشی خواهند بود. در مرحله بعد اقدام به شبیه سازی رشد و عملکرد گندم برای هر یک از ترکیب‌های فاکتوریل تعریف

شده بر پایه شرایط اقلیمی و خاکی منطقه مورد مطالعه شد تا تعیین شود که کدام ترکیب از عملیات مدیریتی منتج به بالاترین عملکرد دانه در منطقه در اذای مصرف آب کمتر خواهد شد. همچنین، بر پایه میزان تخصیص منابع آبی، کارایی آبیاری، روش آبیاری و عوامل تاثیرگذار دیگر اقدام به بهینه‌سازی مصرف آب در محصول گندم و تدوین استراتژی‌های مناسب در این راستا شد. بهینه‌سازی استراتژی آبیاری در گندم بر پایه دو دسته از عوامل کلی شامل میزان تخصیص منابع آبی به این محصول (محدودیت و عدم وجود محدودیت) و افزایش کارایی مصرف آب در مزرعه صورت پذیرفت. پارامترهای اندازه گیری شده در این بخش شامل موارد ذیل هستند.

محاسبه شاخص‌های رشد

به‌منظور به دست آوردن درکی عمیق از اثر مدیریت زراعی بر رشد و عملکرد گندم، برخی از شاخص‌های مهم رشد مشتمل بر شاخص سطح برگ (LAI[1])، دوام سطح برگ (LAID[2]) (Hunt, 1978)، نسبت سطح برگ (LAR[3])، سطح ویژه برگ (SLA[4])، سرعت رشد محصول (CGR[5]) و با استفاده از روابط زیر در مراحل گلدهی و برداشت نهایی محاسبه گردید:

(معادله ۱)

$$LAI = \frac{LA_t}{GA}$$

(معادله ۲)

$$LAID = \frac{LAI_1 + LAI_2}{2}(t_2 - t_1)$$

(معادله ۳)

$$LAR = \frac{LA_t}{W_t}$$

(معادله ۴)

$$SLA = \frac{LAI}{LW}$$

(معادله ۵)

$$CGR = \frac{W_2 - W_1}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{GA}$$

که در آن LAI_1، LAI_2، W_1، و W_2 به‌ترتیب شاخص سطح برگ و وزن خشک کل گیاه در زمان‌های t_1 و t_2 ، LA_t و Wt به‌ترتیب سطح برگ و وزن خشک در سطح نمونه‌برداری، LW وزن خشک برگ در متر مربع و GA سطح نمونه برداری می‌باشند.

برآورد خلاء عملکرد

[1] - Leaf Area Index
[2] - Leaf Area Index Duration
[3] - Leaf Area Ratio
[4] - Specific Leaf Area
[5] - Crop Growth Rate

خلاء عملکرد اختلاف بین عملکردهای واقعی در مقابل عملکرد به‌دست آمده تحت شرایط مطلوب مدیریتی تعریف می‌شود. به عبارت بهتر، در یک منطقه مشخص خلاء عملکرد عبارت از اختلاف بین عملکرد پتانسیل با عمکرد واقعی بدست آمده در مزارع کشاورزان آن منطقه می‌باشد.آنالیز خلاء عملکرد یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه مشخص را فراهم می‌آورد که یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و در سطح جهانی است.

خلاء عملکرد در سه سطح اختلاف پتانسیل عملکرد (YM) با عملکرد ایستگاه موسسه تحقیقات (YE) (خلاء عملکرد در سطح اول یا YGM)، اختلاف عملکرد ایستگاه موسسه تحقیقات با مزرعه کشاورزان نمونه (YFrecord) (خلاء عملکرد در سطح دوم یا YGE)، اختلاف عملکرد مزرعه کشاورزان نمونه با مزرعه کشاورزان با عملکرد واقعی (YFaverage) (خلاء عملکرد در سطح سوم یا YGF) محاسبه گردید.

عملکرد پتانسیل استان با استفاده مدل APSIM شبیه‌سازی شد و اطلاعات مربوط به عملکرد مزارع تحقیقاتی و متوسط و حداکثر عملکرد کشاورزان از سازمان آب و برق و مدیریت جهاد کشاورزی دریافت شدند.

(معادله۶)

$$YG_M = YM - YE$$

(معادله ۷)

$$YG_E = YE - YF_{record}$$

(معادله ۸)

$$YG_F = YF_{record} - YF_{average}$$

نتایج و بحث

نتایج به‌دست آمده نشان داد که میانگین عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده گندم با بهره‌گیری از مدل APSIM-Wheat در شهرستان مورد مطالعه ۷۰۹۱ کیلوگرم در هکتار بود که این مساله بیانگر عملکرد پتانسیل مطلوب در شهرستان مورد مطالعه درتولید محصول گندم بود (جدول ۱). مقدار عملکرد پتانسیل به‌دست آمده حاصل از شبیه‌سازی در شهرستان مورد بررسی نشان داد، مزارع شهرستان رامشیر در صورت عدم

محدویت در منابع، پتانسیل مناسبی در تولید گندم جهت دستیابی به امنیت غذایی دارد. هرچند بین سال‌های مختلف تفاوت بین عملکرد پتانسیل وجود دارد که باید یادآور شد که این اختلاف در عملکرد پتانسیل ناشی از تفاوت در اقلیم این شهرستان در سال‌های متفاوت می‌باشد. کمترین مقدار پتانسیل عملکرد در سال ۲۰۱۰ با عملکرد ۵۳۳۰ کیلوگرم در هکتار و بیشترین نیز با حصول ۸۳۲۴ کیلوگرم در هکتار در سال ۱۹۸۹ اتفاق افتاد (شکل ۱). این اختلاف عملکرد نشان‌دهنده اثرات اقلیم بر عملکرد گندم در شهرستان مورد نظر می‌باشد که با گذشت زمان و تغییرات اقلیمی کاهش عملکرد قابل توجهی مشاهده گردید و نشان دهنده اثرات منفی تغییر اقلیم می‌باشد. به نظر می‌رسد، افزایش دما و کاهش بارندگی و همچنین کاهش طول دوره رشد در این مدت سبب کاهش قابل توجه عملکرد شده است. روند کاهش عملکرد در طی بازه زمانی ۳۰ ساله معنی‌دار (۰/۴۲) می‌باشد. در بازه زمانی ۱۰ ساله اول این پژوهش میانگین عملکرد حدود ۷/۷ تن در هکتار می‌باشد و در بازه زمانی دوم عملکرد به ۷/۱ تن در هکتار کاهش پیدا کرده و این کاهش در دهه سوم این پژوهش یعنی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۹ ادامه داشته است و میانگین عملکرد شبیه سازی شده به ۶/۵ تن در هکتار کاهش پیدا کرده است. این کاهش معنی دار در میانگین تولید در واحد سطح بیانگر تاثیرات اقلیمی در بازه زمانی مورد نظر می‌باشد.

پارامترهای اقلیمی در شهرستان رامشیر نقش فراوانی بر عملکرد گندم در بازه زمانی بلند مدت داشته است. همانگونه که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد میزان عملکرد گندم در بازه زمانی ۳۰ ساله روند نزولی داشته است به نحوی که سایر محققین نیز در مطالعات خود تنوع در شرایط آب و هوایی و تغییرات سالانه را عاملی در به وجود آمدن تغییرات در عملکرد قابل دست‌یابی گندم بیان کردند. در مطالعه‌ای توسط (Khaliq *et al* 2019) در دو منطقه هند که از نظر اقلیم با هم تفاوت داشتند گزارش نمودند که مقدار عملکرد قابل برداشت در مزارع گندم با مقدار دما و تشعشع سالیانه همبستگی معنی داری دارد که این تفاوت در متغیرهای اقلیمی باعث ایجاد تفاوت در میزان عملکرد پتانسیل و قابل دستیابی شده است. همچنین Yao *et al* (2021) در

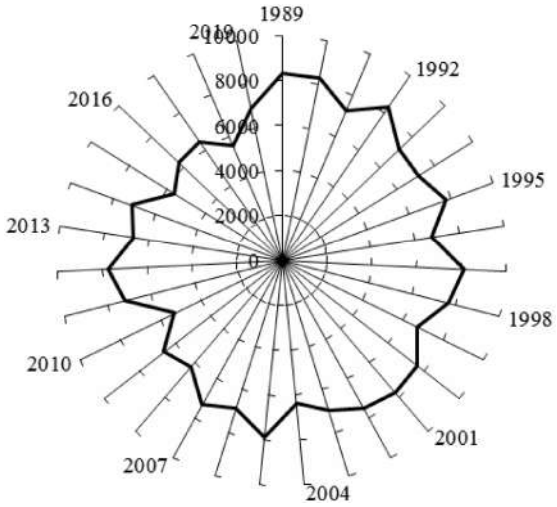
مطالعه خود بیان کردند که تغییرات در میزان عملکرد گندم در بخش‌های مختلف چین می‌تواند به طور معنی‌داری تحت تاثیر شرایط اقلیمی خاص هر منطقه به ویژه دمای هوا و تشعشع خورشیدی قرار گیرد.

بر اساس یافته‌ها، افزایش دما باعث القای تنش بر گیاهان می‌شود. همچنین نشان داده شد که تحت چنین شرایطی، طول دوره رشد غلات کاهش می‌یابد (Parry *et al.*, 2004). به طور کلی با در نظر گرفتن جدول ۴-۶، اگرچه روابط معنی‌دار بسیاری بین تغییرات بارندگی و عملکرد گندم دیم در ابعاد ماهانه در فصل بهار مشاهده نشد، با این وجود در شهرستان گرگان در ماه آخر فصل بهار (ژوئن) بین عملکرد گیاه زراعی و میزان بارش ارتباط معنی‌دار و مثبتی وجود داشت (r=۰/۵۸). بر اساس نتایج Bannayan *et al* (2011)، بارش در بهار نقش مهمی در عملکرد گیاه زراعی در مناطق نیمه خشک دارد.

زمان کاشت تأثیر به‌سزایی در رشد و نمو گیاه طی فصل رشد دارد. به نحوی که تغییر در تاریخ کاشت می‌تواند طول مراحل نمو را به شدت تغییر دهد. معمولاً خصوصیات ژنتیکی و شرایط محیطی طول دوره قبل از گلدهی را تعیین می‌کنند. بسته به خصوصیات ژنتیکی گیاه، مراحل نمو را می‌توان صرفاً به عنوان تابعی از دما یا تلفیقی از دما و فتوپریود در نظر گرفت. دما مهمترین عامل پیشبرنده نمو گیاه به شمار می‌رود و اهمیت این عامل در پیشرفت مراحل نمو مدت‌هاست که شناخته شده است. کوتاه شدن دوره رشد باعث کاهش جذب تشعشع طی فصل رشد و در نهایت کاهش مقدار کل ماده خشک تولید شده در مرحله برداشت می‌شود (احمدی و همکاران، ۱۳۸۹).

جدول ۱- عملکرد شبیه‌سازی شده گندم و برخی آمارها در شرایط پتانسیل در شهرستان رامشیر

	حداقل	حداکثر	میانگین	StDev	StdErr
عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	۵۳۳۰	۸۳۴۶	۷۰۹۱	۷۹۳	۱۴۲



شکل ۱۰- عملکرد پتانسیل شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل APSIM-wheat در شهرستان رامشیر در بازه زمانی ۳۰ ساله

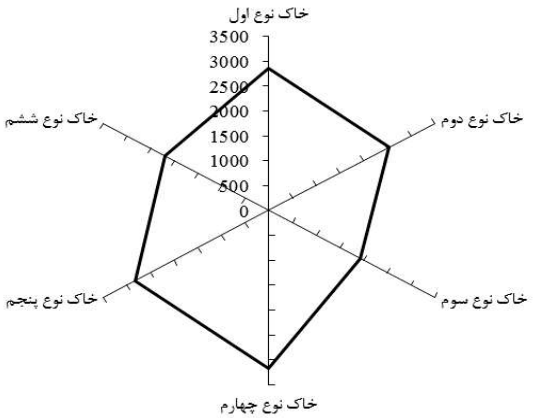
اثر نوع خاک بر عملکرد گندم

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که نوع خاک که متاثر از خصوصیات فیزیکوشیمیایی آن می‌باشد اثرات بسیاری بر عملکرد دانه گندم دارد. در پژوهش حاضر با افزایش میزان شوری (EC) خاک از ۱ به ۱۰ شاهد کاهش میزان عملکرد دانه بودیم همچنین افزایش میزان ماده آلی تاثیر مثبت بر عملکرد دانه داشته و سبب افزایش عملکرد آن شده است. با توجه به شکل ۲ در گروه اول خاک که (نوع ۱، ۲ و ۳) میزان ماده آلی خاک ثابت (۰/۲۵ درصد) و میزان شوری آن افزایش یافته است و در خاک گروه دوم (نوع ۴، ۵ و ۶) نیز میزان ماده آلی خاک ثابت (۰/۷۵ درصد) و میزان شوری افزایش یافته است که این افزایش شوری سبب کاهش عملکرد در سطح سوم تنش شوری شده است به گونه‌ای که کاهش حدود ۱ تنی در عملکرد دانه را شاهد بودیم. همچنین شکل ۲ نشان دهنده اثرات مثبت افزایش میزان ماده آلی می‌باشد که سبب افزایش حدود ۸۶۰ کیلوگرمی در خاک گروه دوم نسبت به گروه اول شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در خاک نوع سوم و ششم که میزان شوری خاک بیشتری دارند تاخیر در تاریخ کاشت سبب افزایش تولید شده است و بهترین تاریخ کاشت در ۱۵ آذر ماه می‌باشد در صورتی که در سایر خاک‌ها ۱۵ آبان زمان مناسب کشت در منطقه مورد نظر می‌باشد.

تنش شوری بر ۲۰ درصد از زمین‌های قابل کشت جهانی تأثیر می‌گذارد و به دلیل تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسانی به طور مداوم در حال افزایش است (Arora, 2019). تنش‌های محیطی از جمله شوری می‌تواند باعث حدود ۵۰ درصد زیان تولید شود (Acquaah, 2007). علاوه بر این، افزایش مداوم جمعیت انسانی بر امنیت غذایی جهانی فشار وارد می‌کند، زیرا نیاز است تا سال ۲۰۵۰ عرضه غذا در جهان تا ۷۰ درصد افزایش یابد (Sabagh *et al.*, 2021). تنش شوری از طریق افزایش جذب یون Na^+ و کاهش نسبت Na^+/K^+ به دلیل پتانسیل اسمزی کمتر در ریشه گیاه باعث تنش اسمزی و سمیت یونی می‌شود. علاوه بر این، این عدم تعادل یونی بر جذب و انتقال سایر یون‌های ضروری مهم در سلول‌های هدف تأثیر می‌گذارد و فرآیندها و عملکردهای حیاتی گیاه را مختل می‌کند (Arif *et al.*, 2020). شوری استقرار گیاهچه را مختل می‌کند، رشد گیاه را متوقف می‌کند، رشد زایشی را کاهش می‌دهد و در نهایت عملکرد محصول را کاهش می‌دهد (Turan *et al.*, 2009). شوری همچنین اجزای فراساختاری سلول را تغییر می‌دهد، ماشین‌های فتوسنتز را مختل می‌کند، به ساختار غشایی آسیب می‌رساند، تولید گونه‌های فعال اکسیژن را افزایش می‌دهد، فعالیت آنزیمی را کاهش می‌دهد که رشد و عملکرد محصولات را محدود می‌کند (Hasanuzzaman *et al.*, 2014). شوری خاک دومین عامل اصلی تخریب زمین پس از فرسایش خاک است که باعث کاهش تولیدات اقتصادی کشاورزی به مدت ۱۰۰۰۰ سال شده است (Shahid *et al.*, 2018). در مطالعه‌ای بیان شد که شوری در مراحل مختلف رشدی گیاه گندم شامل گرده‌افشانی، بوتینگ و پر شدن دانه به ترتیب باعث کاهش عملکرد دانه به میزان ۳۹/۱، ۲۴/۳ و ۱۳/۴ درصد می‌شود (Ashraf & Ashraf, 2016). به طور مشابه، صفات اجزای عملکرد مانند طول سنبله، وزن سنبله، سنبلچه پر شده در هر بوته، کل سنبلچه در بوته و وزن آن به ترتیب به ۸، ۳، ۳۷، ۲۰ و ۱۰ درصد در شرایط تنش کاهش یافت و در نتیجه باعث کاهش ۱۶ درصدی عملکرد دانه محصول گندم گردید (Tareq *et al.*, 2011). علاوه بر این، کاهش وزن دانه تحت تنش شوری به دلیل عقیمی گرده، تولید کمتر مواد جذبی و

کاهش تقسیم بندی به سمت بخش‌های اقتصادی (دانه‌ها) گیاهان رخ می‌دهد. به همین ترتیب، مطالعه بر روی ۱۵۱ لاین پرورش گندم نشان داد که تنش نمک با سمیت Na^+ مرتبط است که وزن کل دانه و محتوای نشاسته را به ترتیب ۲۰ و ۶ درصد کاهش می‌دهد (Dadshani *et al.*, 2019).

توسعه پایدار کشاورزی برای غلبه بر چالش‌های زیست‌محیطی و در عین حال تامین تقاضای رو به رشد مواد غذایی از طریق بازده محصولات بیشتر مورد نیاز است (Liu *et al.*, 2021; Chen *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2022). برای دستیابی به این هدف، بهبود کیفیت خاک با افزایش محتوای کربن آلی خاک (SOC) ضروری است (Wu *et al.*, 2021). شواهد موجود نشان می‌دهد که محتوای کربن آلی خاک با عملکرد محصول و بهره‌وری نیتروژن (N) (کیلوگرم دانه تولید شده در هر کیلوگرم نیتروژن استفاده شده) همبستگی مثبت دارد (Lal, 2004). مطالعات طولانی مدت قبلی گزارش کردند که افزایش محتوای کربن آلی خاک باعث افزایش عملکرد محصول شد (Wu *et al.*, 2021 ;Butler & Muir, 2006)، اما افزایش کربن آلی خاک نیازمند زمان پردازش طولانی و استفاده از استراتژی‌های بهبود کربن آلی خاک است. با این حال، بهبود محتوای کربن آلی خاک از طریق استراتژی‌های مدیریت مناسب و پایدار یک اولویت برای تغذیه پایدار جمعیت در حال رشد در جهان است.



شکل ۲- شبیه سازی اثر نوع خاک بر عملکرد دانه گندم با استفاده از مدل شبیه سازی APSIM-Wheat

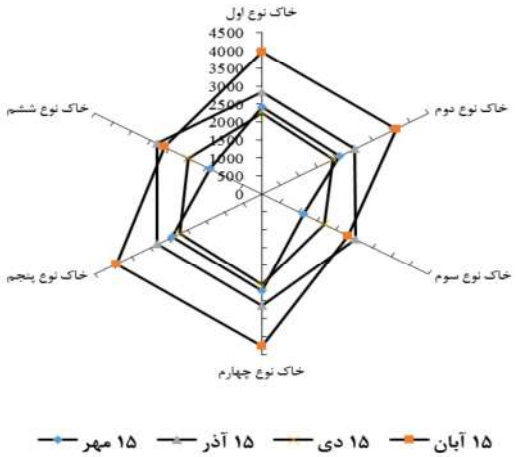
اثر تاریخ کاشت بر عملکرد گندم

با توجه به دوره رشد طولانی گندم و نیاز آبی بالای آن جهت تولید مطلوب در مناطق خشک و نیمه خشک همانند ایران، انتخاب تاریخ کشت مناسب به منظور بهره‌وری بهینه از بارش‌های موجود در طی فصل رشد و دست‌یابی به تولید پایدار این محصول از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به شکل ۳ نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد عملکرد گیاه گندم در شرایط تاریخ کاشت-های متقاوت در شهرستان مورد بررسی در خاک‌های مختلف متغیر بود به شکلی که در این سطح از تولید در منطقه مورد نظر بیشترین تغییرپذیری مربوط به خاک نوع ۴ با مقدار ۱۷۳۵ کیلوگرم در هکتار بود و کمترین مقدار نیز به خاک نوع ۲ تعلق داشت که این تغییرپذیری معادل ۱۴۰۱ کیلوگرم در هکتار تخمین زده شد. پس از آن به ترتیب بیشترین تغییرپذیری مربوط به خاک‌های نوع ۶، ۵، ۱ و ۳ با مقدار عددی ۱۷۲۱، ۱۴۲۵، ۱۷۱۶ و ۱۷۰۴ کیلوگرم در هکتار بود. نتایج شبیه سازی نشان داد که بیشترین عملکرد قابل دستیابی در خاک نوع ۴ با مقدار ۴۲۷۱ کیلوگرم در تاریخ کشت دوم یعنی ۱۵ آبان ماه بود و کمترین مقدار نیز مربوط به تاریخ کاشت اول و در خاک نوع ۳ بود که مقدار ماده آلی کمتر و شوری بیشتری داشت و این مقدار معادل ۱۱۲۸ کیلوگرم در هکتار بود.

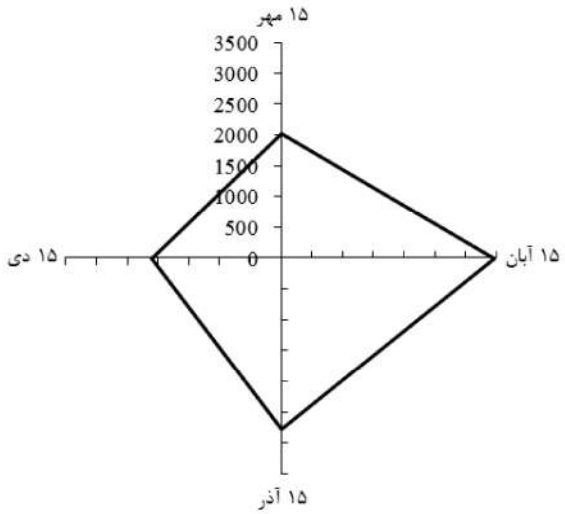
نتایج شبیه‌سازی نشان داد که کمترین و بیشترین عملکرد برای گندم در شهرستان رامشیر در همه خاک‌ها به ترتیب مربوط به تاریخ کاشت اول (۱۵ مهر ماه) و تاریخ کاشت دوم (۱۵ آبان) بود که به ترتیب معادل ۲۰۳۰ و ۳۴۵۶ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴). همچنین کمترین میانگین میزان عملکرد قابل دستیابی شبیه‌سازی شده در تاریخ کشت‌های مختلف در شهرستان رامشیر در خاک نوع ۳ با ۱۹۲۷ کیلوگرم در هکتار و بیشترین مقدار نیز در خاک نوع ۴ با میانگین ۳۱۷۱ کیلوگرم در هکتار بدست آمد. پس از خاک نوع ۳، خاک‌های نوع ۱، ۵، ۲ و ۶ به ترتیب در رتبه-های بعدی از نظر میزان محصول شبیه سازی شده قرار گرفتند. به منظور رشد محصول با بالاترین بهره‌وری ممکن، زمان کاشت بهینه یک عامل بسیار مهم است. با نظارت بر رشد گیاهان کاشته شده در زمان‌های مختلف می‌توان زمان گلدهی بهینه را تعیین کرد. در فصل بهار گیاهان

زود گل در معرض خطر یخ زدگی و گیاهان دیرگل به گرما و تنش آبی حساس خواهند بود. در غیاب دما یا تنش آبی قابل توجه، برداشت بیشتر خواهد بود و در مورد گیاهان زودرس، بهره وری ممکن است کاهش یابد. از آنجایی که زمان کاشت یکی از مهم‌ترین عوامل موثر بر عملکرد محصول و سایر شاخص‌های زراعی است، لازم است زمان کاشت کلزا بهینه شود. مشاهده شده است که کاشت خیلی زود یا خیلی دیر بر بهره وری تأثیر می گذارد (Butkevičienė *et al.*, 2021).

تأخیر در تاریخ کاشت گندم موجب تأخیر در توسعه مراحل رشد می‌گردد به‌طوری که در تاریخ بهینه کشت، گندم در ۷ روز جوانه می‌زند ولی در صورت تأخیر در کاشت، روزهای لازم برای جوانه‌زنی گندم به ۱۳ روز افزایش می‌یابد (حیدرپور و همکاران، ۱۴۰۱). در همین رابطه در مطالعه‌ی تاریخ کاشت بر عملکرد و اجزای عملکرد دو رقم گندم بررسی و مشخص گردید که این عامل اثر زیادی بر عملکرد گندم در شرایط کم بارشی داشته و تأخیر در تاریخ کاشت، عملکرد گندم را ۲۴ درصد کاهش داد (Flowers *et al.*, 2006). بدین ترتیب کاشت به موقع و زود گندم موجب تولید دانه و زیست توده بیشتر و افزایش تعداد سنبله در واحد سطح در مقایسه با تاریخ کاشت دیر هنگام می‌شود (Baygi *et al.*, 2018).



شکل ۳- اثر نوع خاک و تاریخ کاشت بر عملکرد شبیه سازی شده گندم در شهرستان رامشیر



شکل ۴- اثر تاریخ کشت بر عملکرد دانه گندم شبیه سازی شده در شهرستان رامشیر

محاسبه خلاء عملکرد موجود

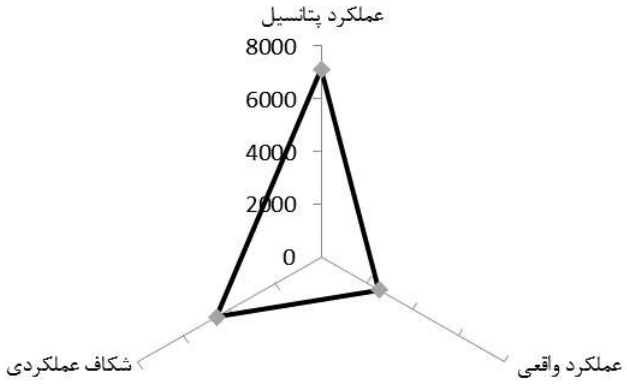
عملکرد بالقوه در شرایط آبیاری عبارت است از عملکرد یک رقم گیاه زراعی که تحت روش‌های بهینه مدیریت و در شرایط عدم محدویت عوامل تولید (آب و مواد مغذی) و همچنین در غیاب تنش‌های زنده شامل آفت، بیماری وعلف‌های هرز) بدست می‌آید. در حالی‌که، عملکرد پتانسیل آب محدود عبارت است از عملکرد پتانسیل تحت شرایط عدم آبیاری یا دیم، بدین معنی که عملکرد یک رقم زراعی که در شرایط محدودیت آب، در غیاب تنش‌های زنده و عدم محدویت مواد غذایی در حاصل می‌شود (Lobell *et al.*, 2009). عملکرد پتانسیل معمولاً با استفاده از آزمایش‌های مزرعه‌ای، مدل‌های شبیه‌سازی تجربی و فرآیند محورو یا بالاترین عملکرد بدست آمده توسط کشاورزان انجام می‌شود (Van Ittersum *et al.*, 2013). با این حال دستیابی به عملکرد پتانسیل نیازمند مدیریت تقریباً کامل زراعی و خاکی منطبق با شرایط بهینه آب و هوایی منطقه مورد نظر می‌باشد که باعث حداکثر شدن رشد و نمو گیاه در کل چرخه رشد محصول مورد نظر می‌شود. هرچند این امکان وجود دارد که تعدادی از کشاورزان پیشرو با اعمال مدیریت صحیح به عملکرد پتانسیل نزدیک شوند، اما این امر برای گروه بزرگی از کشاورزان امکان پذیر نمی‌باشد. بنابراین، همیشه یک شکاف بین عملکرد پتانسیل

بالقوه و میانگین عملکرد حاصله توسط کشاورزان یک محصول و منطقه خاص وجود دارد (Lobell *et al.*, 2009).

به طور کلی خلاء عملکرد یک محصول کشاورزی که در یک مکان و زمان خاص و سیستم کشت رشد یافته است حاصل تفاوت بین عملکرد بالقوه (عملکرد پتانسیل) رقم سازگار محصول تحت شرایط آبیاری یا دیم و بدون محدودیت عوامل تولید و میانگین عملکرد واقعی بدست امده توسط کشاورزان می‌باشد. کاهش خلاء عملکردی محصولات کشاورزی (شکاف عملکرد) جهت افزایش بهره‌وری و تولید محصولات کشاورزی یکی از کلیدی‌ترین الزامات برای قرار گرفتن در مدار توسعه و تولید پایدار محصولات و دستیابی به تامین امنیت غذایی پایدار می‌باشد. هرچند پر کردن خلاء عملکردی به طور کامل برای هیچ محصولی کشاورزی امکان پذیر نیست و از جنبه زیست محیطی نیز مطلوبیت کافی ندارد، با این حال حدود ۸۰ درصد از پتانسیل عملکرد محصولات غالباً قابل دستیابی می‌باشد (Sadras *et al.*, 2015).

مقادیر خلاء عملکرد کل که شامل خلاء عملکرد ناشی از عدم انتخاب تاریخ کشت مناسب، خلاء عملکرد ناشی عدم تامین رطوبت کافی که ناشی از محدودیت آب می‌باشد، خلاء عملکرد ناشی از عدم مصرف بهینه کود نیتروژن، خلاء عمکلرد ناشی از تغییرات خاک، خلاء عملکرد ناشی از عدم کاشت با تراکم مناسب و خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل محدود کننده و کاهنده با توجه به سطوح مختلف عملکرد به دست آمده در شهرستان موردنظر برآورد گردید. نتایج به‌دست آمده در نگاه اول بیانگر وجود خلاء عملکرد بسیار زیاد در شهرستان مورد مطالعه بود به شکلی که مقدار عملکرد واقعی برداشت شده توسط کشاورزان حتی به نیمی از عملکرد قابل دست‌یابی آن شهرستان نرسید و تنها حدود یک سوم از عملکرد پتانسیل را پوشش می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان داد میزان خلاء عملکرد گندم در شهرستان رامشیر معادل ۴۵۶۷ کیلوگرم در هکتار بود. عملکرد پتانسیل محاسبه شده توسط مدل گیاه زراعی و عملکرد واقعی حاصل شده توسط کشاورزان به ترتیب برابر با ۷۰۹۱ و ۲۵۲۷ کیلوگرم در هکتار بود. با توجه به نتایج حاصل

شده میزان خلاء عملکرد محاسبه شده برای گندم در شهرستان رامشیر حدود ۶۴ درصد بود (جدول ۲، شکل ۵). Feng-me *et al* (2021) از سهم ۱۰-۲۰ درصدی کود نیتروژن در خلاء عملکرد گندم در چین سخن گفته‌اند. حجارپور و همکاران (۱۳۹۶) مدیریت نامناسب کود نیتروژن را عامل کاهش ۲۵ درصد عملکرد گندم آبی در گلستان بیان کردند. همچنین Boling *et al.*, (2011) گزارش کردند که ۳۴ درصد از خلاء عملکرد برنج در تایلند ناشی از مدیریت نامناسب کود نیتروژن می‌باشد. این مقدار برای برنج درایران برابر با ۲۲ درصد برای ذرت در چین برابر با ۲۴-۱۱ درصد (Yue-e *et al.*, 2021) گزارش شد.



شکل ۵- سطوح عملکردی گندم در شهرستان رامشیر

جدول ۲- مقدار خلاء عملکرد کل، خلاء عملکرد آبی، خلاء عملکرد نیتروژن، خلاء عملکرد ناشی از تاریخ کشت، خلاء عملکرد تراکم، خلاء عملکرد ناشی از نوع خاک و خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل در گیاه گندم شهرستان رامشیر

متغیر	کیلوگرم در هکتار
عملکرد قابل دستابی	۷۰۹۱
عملکرد واقعی	۲۵۲۷
خلاء عملکرد کل	۴۵۶۴
خلاء عملکرد آبی	۸۰۰
خلاء عملکرد نیتروژن	۳۵۴
خلاء عملکرد ناشی از تاریخ کشت	۱۴۲۶
خلاء عملکرد تراکم	۴۸
خلاء عملکرد خاک	۱۲۴۴
خلاء عملکرد سایر عوامل	۶۹۲

خلاء عملکرد ناشی از تاریخ کاشت

شبیه‌سازی‌ها نشان داد تاریخ کاشت به عنوان مهمترین عامل در ایجاد شکاف عملکردی گندم در شهرستان رامشیر نقش دارد. با توجه به نتایج به‌دست آمده، انتخاب تاریخ کشت نامناسب سبب ایجاد خلاء در عملکرد گندم آبی به میزان ۱۴۲۶ کیلوگرم در هکتار در منطقه مورد مطالعه می‌شود (جدول ۳). همچنین نتایج حاصل شده بیانگر سهم حدود ۳۱ درصدی این عامل در خلاء عملکرد ایجاد شده دارد و نشان می‌دهد که کشاورزان منطقه مورد مطالعه تاریخ کاشت مناسب را رعایت نمی‌کنند و این ممکن است به دلیل ضعف در مکانیزاسیون و عدم دسترسی به موقع به ادوات کشت باشد (شکل۲۶). به نظر می‌رسد با کشت در محدوده زمانی مناسب (آبان ماه) می‌توان از منابع محیطی موجود در طول فصل رشد (مانند دما و تشعشع خورشیدی) استفاده بهتری در جهت بهبود عملکرد گیاه گندم داشت. علاوه بر این می‌توان با کشت در این بازه زمانی از بارش‌های پاییزه در ابتدای فصل رشد گیاه گندم بیشترین استفاده را به منظور تامین نیاز آبی گیاه گندم داشت. به طور کلی این نتایج نشان داد که کشت گندم در اولین فرصت پس از

کاهش نسبی دما ابتدای فصل پاییز (به طور متوسط بازه زمانی آبان ماه) و قبل از سرد شدن هوا که سبب خواب گیاه در زمستان می‌شود می‌تواند موجب بهبود رشد و عملکرد این گیاه شده و منجر به کاهش خلاء عملکرد در این گیاه گردد. حجارپور و همکاران (۱۳۹۶)، بیان کردند که حدود ۲۰درصدی از افت عملکرد در گندم آبی در استان گلستان ناشی از انتخاب نادرست تاریخ کاشت می‌باشد. در مطالعه‌ای توسط (Yao *et al* 2021) جهت تعیین عوامل موثر بر خلاء عملکرد گندم در چین صورت گرفت که آن‌ها بیان کردند انتخاب تاریخ کاشت نامناسب افت عملکرد گندم به میزان ۵ تا ۱۵ درصد می‌شود. نتایج گزارش Mohammadi *et al* (2020) نشان داد تاریخ کاشت نامناسب عامل افت ۵ تا ۲۴ درصدی عملکرد چغندر در استان خراسان رضوی می‌باشد. در ایران مطالعات گسترده‌ای بر اثر تاریخ کاشت بر خلاء عملکرد انجام شده است که در ادامه به برخی از آن‌ها پرداخته خواهد شد. به عنوان مثال Hajarpour *et al* (2017) تاریخ کاشت نامناسب را عامل ایجاد ۲۰ درصد از خلاء عملکرد موجود گندم در استان گلستان دانستند. همچنین Nekahi *et al* (2014) ۳۶ درصد از خلاء عملکرد گندم در گلستان را به انتخاب تاریخ کاشت نامناسب و دیرهنگام ارتباط دادند. نتایج تجزیه رگرسیون چند گانه گام به گام عوامل مدیریتی و اقلیمی نشان داد که تاخیر در کاشت یکی از عوامل مهم و مؤثر بر میزان عملکرد دانه گندم در کرمان بوده که سهم آن در ایجاد خلاء عملکرد ۴/۵۲ درصد می‌باشد (باقری‌پور و همکاران، ۱۴۰۰). Shirinzadeh *et al* (2018) در خصوص عوامل مؤثر در بررسی در خلاء عملکرد گندم در اردبیل بیان نمودند، تاریخ کاشت ۱۸ درصد در ایجاد خلاء عملکرد مؤثر بوده است. با تأخیر در کاشت طول دوره رویشی و مراحل نمو کاهش یافته و زمان رسیدگی تسریع می‌شود، همچنین تعداد پنجه، تعداد سنبله، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد ماده خشک و عملکرد دانه گندم کاهش می‌یابد که میتوان با کشت به موقع گندم سهم این عامل را در ایجاد خلاء عملکرد کاهش داد.

خلاء عملکرد ناشی از تنوع خاک

خاک به عنوان یکی از منابع پایه اصلی تولید نقش مهمی در تولید محصولات کشاورزی دارد. شکاف‌های عملکردی قابل توجهی بین عملکرد بالقوه و بازده واقعی کشاورزان (یعنی شکاف عملکرد) وجود دارد. بسیاری از مطالعات بر روی بهینه سازی مدیریت محصول و کود برای بستن شکاف‌های عملکرد متمرکز شده اند. با این حال، اثرات مدیریت بهینه توسط محدودیت‌های مختلف محیطی و خاک محدود می‌شود و شوری خاک یک عامل استرس‌زای اصلی است که بر رشد گیاه و بهره‌وری محصول تأثیر می‌گذارد (Zhang *et al.*, 2019). نتایج پژوهش حاضر نشان داد، خاک پس از تاریخ کاشت با سهم ۲۷ درصدی در خلاء عملکرد گندم منطقه رامشیر بیشترین سهم در عوامل موثر بر خلاء عملکرد دارد. با توجه به نتایج حاصل شده (جدول۲) حدود ۱۲۴۴ کیلوگرم در هکتار از خلاء عملکرد کل ناشی از تنوع در نوع خاک می‌باشد. این بدین مفهوم است که با مدیریت صحیح و بهبود شرایط خاک علاوه بر پایداری تولید و حفظ منابع پایه می‌توان با افزایش عملکرد محصول کشاورزی به خودکفایی در محصولات اساسی و افزایش درآمد بهره‌برداران رسید. عملکرد پتانسیل بر اساس مقدار ذخیره آب و توزیع آن در طول فصل رشد، توسط خواص خاک موثر بر تعادل آب محصول، مانند عمق خاک، ظرفیت نگهداری آب در دسترس و شیب زمین تعیین می‌شود (Van Ittersum *et al.*, 2013). (Khechba *et al* 2021) بیان کردند عملکرد در سیستم‌های زمین‌های زراعی کوچک (یعنی مزارع با مساحت ۱ تا ۲ هکتار) غالباً تحت تأثیر عوامل متقابل و پیچیده‌ای مانند کاربرد کود، مدیریت آبیاری، ویژگی خاک و اقلیم است. ، که می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر تغییرات عملکرد داشته باشد. در سایر مطالعات که با استفاده مدلسازی اقدام به تخمین عوامل موثر بر ایجاد خلاء عملکرد کردند بیان کردند که تنوع در خاک در مزارع سبب ایجاد بخش قابل توجهی از خلاء به وجود آمده می‌شود که با مدیریت صحیح و بهبود کیفیت خاک می‌توان به عملکرد پتانسیل نزدیک شد و بخشی از خلاء موجود را پوشش داد (Edreira *et al.*, 2017). Egli & Hatfield (2014) به بررسی خلأ عملکرد سویا در کنتاکی از سال ۱۹۷۲ تا

۲۰۱۱ میلادی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که بیشترین خلأ عملکرد مربوط به سال‌هایی بود که توانایی خاک برای تأمین آب کافی نبود. آن‌ها مهمترین عوامل خلأ عملکرد را به ترتیب آبیاری ناکافی و ویژگی‌های خاک اعلام کردند. Kayiranga (2006) در پژوهشی که بر روی برنج در روآندا با استفاده از روش CPA انجام داد بیان کرد که بیماری تانگرو به میزان ۶۴/۱ درصد و وضعیت خاک به میزان ۳۵/۹ درصد از مهمترین عوامل ایجاد کننده خلاء عملکرد بودند و محدودیت‌های عملکرد به عوامل مدیریتی مربوط می‌شوند. مدل تولید در این مطالعه، خلاء عملکرد را ۱۸۵۵کیلوگرم در هکتار برآورد کرد. در مطالعه دیگر توسط Pradan (2014) عوامل خاک دارای بافت سبک، مساحت کرت در مزرعه، تعداد بذر کاشته شده در هر کپه و عدم انجام عملیات تنک به ترتیب به میزان ۲۷ ،۳۰ ، ۳۰ و ۱۳ درصد از جمله محدودیت‌های کاهش عملکرد ذرت شناسایی شد. Nasiri Mahalati *et al* (2015) گزارش کردند میزان مواد آلی و در نتیجه عناصر غذایی لازم به خصوص نیتروژن در اقلیم گرم و خشک کشور کمتر از اقلیم‌های مرطوب حاشیه خزر و خلیج فارس و همچنین استان‌های همجوار زاگرس می‌باشد که در نتیجه به دلیل پایین بودن مواد آلی در استان-های واقع در اقلیم گرم و خشک کشور این استان‌ها نیاز بیشتری به استفاده از کودهای شیمیایی داشته و با کاربرد کودهای شیمیایی عملکرد گندم بهبود یافته و میزان خلاء عملکرد آن کاهش می‌یابد. Gharineh *et al* (2012) نیز میزان خلاء عملکرد گندم را برای شهرستان-های مختلف استان خوزستان مورد بررسی قرار دادند و مهمترین عامل مؤثر در ایجاد خلاء گندم را محدودیت‌های خاک از قبیل عدم حاصلخیزی آن ذکر نمودند.

خلاء عملکرد ناشی از آب محدودیت آب

به منظور شناسایی مهم‌ترین عامل در کاهش عملکرد گندم در منطقه مورد مطالعه، سهم عوامل مختلف کمی سازی شد. همانطور که در شکل ۲۶ نمایش داده شده است، سهم نسبی محدودیت آب در کاهش عملکرد قابل دست‌یابی گندم در مقایسه با سایر عوامل در شهرستان‌های مورد

مطالعه در رتبه سوم قرار گرفته بود و در منطقه مورد مطالعه ۱۸ درصد از کاهش در عملکرد قابل دست‌یابی به دلیل محدودیت در تامین نیاز آبی گیاه زراعی بود. نتایج بیانگر این است که با مدیریت صحیح منابع آب و رعایت تعداد دور آبیاری می‌توان تا حدود ۸۰۰ کیوگرم در هکتار افزایش عملکرد داشت که این مقدار عددی قابل توجه می‌باشد (جدول۳). بنابراین می‌توان گفت یکی از مهم‌ترین عامل محدود کننده تولید در بوم‌نظام‌های گندم در شهرستان رامشیر محدودیت در تامین نیاز آبی این گیاه بود. این تغییرات قابل توجه در خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب در سطح مزارع به طور عمده می‌تواند ناشی از عدم زمان‌بندی صحیح در آبیاری مزارع و عدم انطباق آبیاری‌ها با نیاز آبی گیاه در طول فصل رشد باشد. این نتایج ضعف بیشتر مدیریت آبیاری در گندم‌زارها به وضوح آشکار می‌سازد. به طور کلی می‌توان گفت که با کاهش حجم آب در هر آبیاری میزان خلاء عملکرد آبی افزایش یافت.

تولید جهانی محصولات کشاورزی به آب دریافتی هم به صورت بارندگی (یا «آب سبز») و هم آبیاری (آب آبی) از آب های سطحی و سفره‌های زیرزمینی بستگی دارد (Rockström *et al.*, 2009). از طریق آبیاری می‌توان میزان مواجهه محصول را با تنش آبی کاهش داد و در نتیجه بهره‌وری را افزایش داد. به ویژه در مناطقی که اغلب تحت تأثیر تنش آبی محصول قرار می‌گیرند، آبیاری یک مسیر اصلی برای تشدید تولید محصول و بسته شدن شکاف عملکرد را نشان می‌دهد در برخی مناطق، توسعه آبیاری به دلیل در دسترس بودن منابع آبی محدود شده است (Mueller *et al* 2012). در حالی که آب و سایر نهاده‌ها احتمالاً در شرایط بازدهی بالاتر (یعنی محصول بیشتر در هر قطره) به طور مؤثرتری مورد استفاده قرار می‌گیرند، آبیاری اضافی در بسیاری از مکان‌ها به منظور کاهش شکاف عملکرد و به حداکثر رساندن تولید غذا مورد نیاز است (Davis *et al.*, 2017; Rosa *et al.*, 2018). کوچکی و همکاران (۱۳۹۶) بیان کردند که از بین فاکتورهای مدیریتی مورد بررسی، آبیاری بیشترین تأثیر را بر کاهش خلاء عملکرد گندم در ایران داشته است. همچنین آن‌ها در پژوهش خود بیان کردند که نتایج مربوط

به عامل آبیاری نیز نشان داده است که مقدار ضریب آن در کلیه استان‌های کشور منفی بود بدین معنی که در کلیه استان‌ها با افزایش مقدار آبیاری عملکرد گندم به شرایط پتانسیل نزدیکتر شده و در نتیجه خلاء عملکرد آن کاهش می‌یابد. مقدار ضریب آبیاری در استان-های گرم و خشک کشور بزرگ تر (منفیتر) از استان‌های واقع در اقلیم سرد کوهستانی، مرطوب خزری و گرم و مرطوب جنوبی بود، که این مطلب خود می‌تواند نشاندهنده این موضوع باشد که در استان‌های گرم و خشک کشور که عموماً از کمبود آب آبیاری رنج می‌برند، عدم تأمین کامل نیاز آبی گیاه گندم در طول فصل رشد و به‌خصوص بعد از بهار و گرم شدن هوا مهمترین عامل مؤثر در ایجاد خلاء گندم می‌باشد، که این موضوع برای استان‌های مرطوب خزری و همچنین سرد و کوهستانی که وابستگی کمتری به منابع آب‌های زیرزمینی داشته و از طرفی میزان نزولات آسمانی در آن‌ها از وضعیت مناسبتری برخوردار می‌باشد، بسیار کمتر بود. به‌عبارتی به‌نظر می‌رسد در اقلیم گرم و خشک با افزایش واحد آب آبیاری، شیب افزایش عملکرد گندم بیشتر از سایر اقلیم‌های کشور بوده و به عملکرد پتانسیل منطقه نزدیکتر می‌شود (کوچکی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین مطالعات متعددی به بررسی عوامل موثر بر خلا عملکرد گندم در ایران پرداختند که بیان کردند آب نقش ویژه ای در کاهش خلا عملکرد گندم در مزارع دارد به عنوان مثال باقرپور و همکاران (۱۴۰۰) بیان کردند بیش از نیمی از خلاء عملکرد موجود در مزارع شرق استان کرمان ناشی از محدودیت آب می‌باشد. در مطالعه دیگری Hajarpour *et al* (2017) در ارزیابی خلاء عملکرد گندم با استفاده از روش CPA در گلستان اعلام نمودند که در مناطق با کشت آبی، آبیاری به میزان ۲۷ درصد در ایجاد خلاء عملکرد نقش داشته است و این که با مدیریت صحیح مزارع و در نظر گرفتن میزان و زمان آبیاری میتوان این فاصله را کاهش داد. بنابراین، تامین آب مورد نیاز گیاهان زراعی یکی از عوامل مهم مدیریت گیاهان زراعی می‌باشد که می‌توان از طریق تعیین شیوه آبیاری (آبیاری قطره ای به جای غرقابی) و تعیین نیاز آبی گیاهان زراعی، استفاده از ارقام اصلاح شده و

دارای کارایی مصرف آب بالاتر و شاخص برداشت بیشتر، قطع یا کاهش تلفات آب آبیاری (از طریق کاهش نفوذ آب به داخل جوی آب، جلوگیری از تلفات آب هنگام انتقال آب به مزرعه و آماده سازی زمین) به حداقل رساندن آبیاری عمیق، مهار کردن روان آب‌ها از مزرعه (هنگام استفاده از آبیاری بیش از تقاضای گیاه و یا ریزش باران‌های غیرقابل پیش‌بینی)، تامین به موقع آب مورد نیاز گیاهان زراعی، استفاده از آیش مؤثرتر، استفاده از تاریخ کاشت مناسب و بهبود زمان کاشت و دوره رشد گیاه (تلفات تبخیر از سطح خاک با تعرق مفید گیاه جایگزین می‌شود) نسبت به تامین و بهبود کارایی آن اقدام نمود.

منابع

Acquaah, G. 2007. Principles of Plant Genetics and Breeding. 2nd Edn. Oxford: Blackwell, 740

Arif, Y. *et al*. 2020. "Salinity induced physiological and biochemical changes in Plants: An omic approach towards salt stress tolerance." Plant Physiology and Biochemistry, 156 :64-77.

Arora, N.K. 2019. Impact of climate change on agriculture production and its sustainable solutions. Environ. Sustain. 2, 95–96.

Ashraf, M.A. and M. Ashraf. 2016. Growth stage-based modulation in physiological and biochemical attributes of two genetically diverse Wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars grown in salinized hydroponic culture. Environ. Sci. Pollut. Res, 23: 6227–6243.

Bannayan, M, *et al*. 2011. "Effects of precipitation and temperature on crop production variability in northeast Iran." International journal of Biometeorology, 55: 387-401.

Baygi, Z., S. Saifzadeh, A.H. Shirani Rad, S.A. Valadabadi, and A. Jafarinejad. 2018. Seed Yield and Yield Component of Some Spring Wheat Varieties as Affected by Different Sowing Dates in Neishabour. Journal of Crop Ecophysiology, 11 (4): 905- 922.

Boling, A.A., B.A.M. Bouman, T.P. Tuong, Y. Konboon, and D. Harnpichitvitaya. 2011. Yield gap analysis and the effect of nitrogen and water on photoperiod-sensitive Jasmine rice in north-east Thailand. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 58(1-2): 11-19.

production and reduced water use through optimized crop distribution Nat. Geosci. 10 919–24.

Edreira, J.I.R., S. Mourtzinis, S.P. Conley, A.C. Roth, I.A. Ciampitti, M.A. Licht, and. 2017. Assessing causes of yield gaps in agricultural areas with diversity in climate and soils. Agricultural and forest meteorology, 247: 170-180.

Egli, D. and J. Hatfield. 2014. Yield gaps and yield relationships in central US soybean production systems. Agronomy Journal, 106(2): 560-566.

EL Sabagh, A., M.S. Islam, M. Skalicky, M. Ali Raza, K. Singh, M. Anwar Hossain, A. Hossain, W., M.A Mahboob, D. Iqbal, R.K. Ratnasekera, and M. Singhal. 2021. Salinity stress in wheat (*Triticum aestivum* L.) in the changing climate: Adaptation and management strategies. Frontiers in Agronomy, 3, p.661932.

Faivre, R., D. Leenhardt, M. Voltz, M. Benoît, F. Papy, G. Dedieu, and D. Wallach. 2004. Spatialising crop models. Agronomie 24: 205–217. https://doi.org/10.1051/agro: 2004016.

Foley. 2012. Closing yield gaps through nutrient and water management Nature 490 254.

Butkevičienė, L.M., Z. Kriaučiūnienė, R. Pupalienė, R. Velička, S. Kosteckienė, R. Kosteckas, and E. Klimas. 2021. Influence of sowing time on yield and yield components of spring rapeseed in Lithuania. Agronomy, 11(11): 2170.

Butler, T. and J. Muir. 2006. Dairy manure compost improves soil and increases tall wheatgrass yield. Agron. J, 98: 1090–1096.

Chen, X., Z. Cui, M. Fan, P. Vitousek, M. Zhao, W. Ma, Z. Wang, W. Zhang, X. Yan, and J. Yang, *et al*. 2014. Producing more grain with lower environmental costs. Nature, 514: 486–489.

Dalgliesh, N., B. Cocks, H. Horan, and others. 2012. AP Soil-providing soils information to consultants, farmers and researchers. In: Proceedings of the 16th Australian Agronomy Conference. Armidale, NSW.

Dadshani, S., R.C. Sharma, M. Baum, F.C. Ogbonnaya, J. Léon, and A. Ballvora. 2019. Multi-dimensional evaluation of response to salt stress in wheat. PLoS ONE 14:e0222659.

Davis, K.F, M.C. Rulli, A. Seveso, and P. D'Odorico. 2017. Increased food

model parameters and inputs." Ecological Modelling 487 (2024): 110551.

Heuvelink, G.B.M., D.J. Brus, and G. Reinds. 2010. Accounting for spatial sampling effects in regional uncertainty propagation analysis. In: Presented at the 9th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Leicester, UK.

Hollis, J.M., J. Hannam, and P.H. Bellamy. 2012. Empirically-derived pedotransfer functions for predicting bulk density in European soils. Eur. J. Soil Sci, 63: 96–109.

Hunt, R. 1979. "Plant growth analysis: the rationale behind the use of the fitted mathematical function." Annals of Botany 43(2): 245-249.

Hussain, J., T. Khaliq, S. Asseng, U. Saeed, A. Ahmad, B. Ahmad, I. Ahmad, M. Fahad, M. Awais, A. Ullah, others. 2020. Climate change impacts and adaptations for wheat employing multiple climate and crop modelsin Pakistan. Clim. Chang, 163: 253–266.

Kayiranga, D. 2006. The effect of land factors and management practices on rice yields, (Case Study in Cyili Inland Valley, Gikonko District, Rwanda). International Institute for Geo-Information Science and

Flowers, M., C. James, S. Petrie, S. Machado, and K. Rhinhart. 2006. Planting date and seeding rate effects on the yield of winter and spring wheat varieties results from the 2005-2006 cropping year. Agricultural Research, 12(2): 72-74.

Hasanuzzaman, M., M. Alam, A. Rahman, M. Hasanuzzaman, K. Nahar, and M. Fujita. 2014. Exogenous proline and glycine betaine mediated upregulation of antioxidant defense and glyoxalase systems provides better protection against salt-induced oxidative stress in two rice (*Oryza sativa* L.) varieties. BioMed. Res. Int. 2014:757219.

Hao, S., D. Ryu, and A. Western. 2024. Global sensitivity analysis of APSIM-wheat yield predictions to model parameters and inputs. Ecological Modelling. 487: 110551.

Hao, S., D. Ryu, A. Western, E. Perry, H. Bogena, and H.J.H. Franssen. 2021. Performance of a wheat yield prediction model and factors influencing the performance: a review and meta-analysis. Agric. Syst, 194: 103278.

Hao, S., *et al*. "Global sensitivity analysis of APSIM-wheat yield predictions to

Lobell, D.B., K.G. Cassman, and C.B. Field. 2009. Crop yield gaps: their importance, magnitudes, and causes. Annual review of environment and resources, 34, 179-204.

Lu, Y., T.P. Chibarabada, M.F. McCabe, G.J.M. De Lannoy, and J. Sheffield. 2021. Global sensitivity analysis of crop yield and transpiration from the FAO-AquaCrop model for dryland environments. Field Crop. Res. 269: 108182.

Machwitz, M., L. Giustarini, C. Bossung, D. Frantz, M. Schlerf, H. Lilienthal, L. Wandera, P. Matgen, L. Hoffmann, and T. Udelhoven. 2014. Enhanced biomass prediction by assimilating satellite data into a crop growth model. Environ. Model. Softw. 62, 437–453.

Mohanty, M., *et al*. 2012. "Simulating soybean-wheat cropping system: APSIM model parameterization and validation." Agriculture, 152: 68-78.

Mueller, N.D, J.S. Gerberm, M. Johnston, D.K. Ray, and N. Ramankutty, and J.A. Parry, M., C. Rosenzweig, A. Iglesias, M. Livermore, and G. Gischer. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio economic Earth Observation Enschede (ITC). The Netherlands. Master of Science Thesis. 85pp.

Khaliq, T., *et al*. 2019. "Analyzing crop yield gaps and their causes using cropping systems modelling–A case study of the Punjab rice-wheat system, Pakistan." Field crops research, 232: 119-130.

Khechba, K., A. Laamrani, D. Dhiba, K. Misbah, and A. Chehbouni. 2021. Monitoring and analyzing yield gap in Africa through soil attribute best management using remote sensing approaches: A review. Remote Sensing, 13(22): 4602.

Liang, H., Qi, Z, K.C. DeJonge, K. Hu, and B. Li. 2017. Global sensitivity and uncertainty analysis of nitrate leaching and crop yield simulation under different water and nitrogen management practices. Comput. Electron. Agric, 142: 201–210.

Liu, Z., H. Ying, M. Chen, J. Bai, Y. Xue, Y. Yin, D. William, Y. Yang, Z. Bai, M. Du, *et al*. 2021. Optimization of China’s maize and soy production can ensure feed sufficiency at lower nitrogen and carbon footprints. Nat. Food, 2: 426–433.

Sexton, J., Y.L. Everingham, and G. Inman-Bamber. 2017. A global sensitivity analysis of cultivar trait parameters in a sugarcane growth model for contrasting production environments in Queensland, Australia. Eur. J. Agron. 88, 96–105.

Shahid, S.A., M. Zaman, and L. Heng. 2018. “Introduction to soil salinity, sodicity and diagnostics techniques,” in Guideline for Salinity Assessment, Mitigation and Adaptation Using Nuclear and Related Techniques, eds M. Zaman, S. A. Shahid, and L. Heng (Cham: Springer), 1–42.

Shiferaw, B., M. Smale, H.J. Braun, E. Duveiller, M. Reynolds, and G. Muricho. 2013. Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. Food Secur, 5: 291–317.

Tareq, M.Z., M.A. Hossain, M.A. Mojakkir, R. Ahmed, and M.S.A Fakir. 2011. Effect of salinity on reproductive growth of wheat. Bangladesh J. Seed Sci. Technol. 15, 111–116.

Turan, M.A., *et al.* 2009. "Effect of salt stress on growth, stomatal resistance, proline and chlorophyll concentrations on maize plant." African Journal of Agricultural Research 4(9): 893-897.

scenarios. Global Environmental Change, 14: 53-67.

Rockström J, M. Falkenmark, L. Karlberg, H. Hoff, S. Rost, and D. Gerten. 2009. Future water availability for global food production: the potential of green water for increasing resilience to global change Water Resour. Res. 45 W00A12

Rosa, L., M.C. Rulli, K.F. Davis, D.D. Chiarelli, C. Passera, and P. D’Odorico. 2018. Closing the yield gap while ensuring water sustainability. Environmental Research Letters, 13(10), 104002.

Sadras, V.O., K. Cassman, P. Grassini, W.G.M. Bastiaanssen, A.G. Laborte, A.E. Milne, and P. Steduto. 2015. Yield gap analysis of field crops: Methods and case studies.

Saltelli, A. 2002. Making best use of model evaluations to compute sensitivity indices. Comput. Phys. Commun, 145: 280–297.

Schierhorn, F., D. Müller, A.V. Prishchepov, M. Faramarzi, and A. Balmann. 2014. The potential of Russia to increase its wheat production through cropland expansion and intensification. Global food security, 3(3-4), 133-141.

2021. Peat-vermiculite alters microbiota composition towards increased soil fertility and crop productivity. Plant Soil, 470: 21–34.

YAO, F.M., Q.Y. LI, R.Y. ZENG, and S.Q. SHI. 2021. Effects of different agricultural treatments on narrowing winter wheat yield gap and nitrogen use efficiency in China. Journal of Integrative Agriculture, 20(2), 383-394.

Yue-e, L.I.U., L.I. Yu-xin, L.U. Tian-fang, X.I.N.G. Jin-feng, X.U. Tian-jun, C.A.I. Wan-tao, and W.A.N.G. Rong-huan. 2021. The priority of management factors for reducing the yield gap of summer maize in the north of Huang-Huai-Hai region, China. Journal of Integrative Agriculture, 20(2): 450-459.

Zhang, J., X. Jiang, Y. Xue, Z. Li, B. Yu, L. Xu, and Z. Cui. 2019. Closing yield gaps through soil improvement for maize production in coastal saline soil. Agronomy, 9(10): 573.

Van Ittersum, M. K., K.G. Cassman, P. Grassini, J. Wolf, P. Tittonell, and Z. Hochman. 2013. Yield gap analysis with local to global relevance—a review. Field Crops Research, 143: 4-17.

Vogeler, I., J. Sharp, R. Cichota, and L. Lilburne. 2022. Sensitivity analysis of soil parameters in the agricultural production systems sIMulator (APSIM). Soil Res.

Van Wart, J., K.C. Kersebaum, S. Peng, M. Milner, and K.G. Cassman. 2013. Estimating crop yield potential at regional to national scales. Field Crops Research, 143: 34-43.

Wang, Z., Y. Yin, Y. Wang, X. Tian, H. Ying, Q. Zhang, Y. Xue, O. Oenema, S. Li, F. Zhou, *et al*. 2022. Integrating crop redistribution and improved management towards meeting China’s food demand with lower environmental costs. Nat. Food, 3: 1031–1039.

Wu, X., Y. Liu, Y, Y. Shang, D. Liu, W. Liesack, Z. Cui, J. Peng, and F. Zhang.

Evaluation of yield gape of Wheat chamran variety using APSIM model in irrigation and drainage network of Ramshir Plain

M. Saadaffar[1], T. Babaei Nejad[2*], S. Soofizadeh[3], A. Gholami[4], N. Ghanavati[2]

1.Department of Soil Science, Science and Research Branch, Islamic azad University, Ahvaz, Iran.
2.Department of Soil Science, Ahvaz Branch, Islamic azad University, Ahvaz, Iran.
3. Assistant Professor, Department of Agroecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran.Iran.
4. Department of Agriculture, Shahin Shahr Branch, Islamic azad University, Shahin Shahr, Iran.

Abstract

One of the most important problems in crop production is the difference between the actual yield of farmers and achievable yield, which is called the yield gap. Increasing yield in unit area is the key for suppling cerial needs in world. To achieve this aim, it is very important to identify yield limiting factors. This study was done during 2015-2019 to investigate the wheat yield potential in the Ramshir plain of Khuzestan province, for this propose the long-term climatic data, farm management data, physical and chemical properties of soil and plants data were measured in 100 farms and were registered, after the spatial interpolation of the data, the APSIM model was used to simulate the growth and evaluate the gape yield of wheat, in this conditions the yield potential was determined 7091 kg/ha. The results showed that the farmers have reached less than 40% of the achievable yield, which indicates the large gap in yield of this product. Choosing an inappropriate planting date for wheat cultivation with 31% of total yield gap is the main factor of yield reduction, which is due to the lack of access to suitable machinery and seeds for timely cultivation. Also the results demonstrated that the type of soil, water limitation, nitrogen fertilizer used, seed density in square meter and seed variety had 27, 18, 8 and1percent of total gape yield respectively. From the remaining 15% of share, we can mention improper timing of irrigation and fertilizing, improper use of basic fertilizers, poor mechanization and pests. It seems that wheat cultivation at the first opportunity after the relative decrease in temperature at beginning of the autumn season (November) and before cold weather that causes the plant go to sleep (Plant Dormancy), can improve the growth and yield of this crop.

Keywords: APSIM, Planting date, Simulation, Wheat, Yield Gape, Yield potential

*Correspondoing author (timoorba2@yahoo.com)