تحقیقات علوم زراعی در مناطق خشک/ جلد ششم، شماره دوم، تابستان ۱۴۰۳، ص ۴۱۱-۳۹۵

مقاله پژوهشی

تحلیل خلاء عملکرد برای نظام تولید گندم (*Triticum aestivum* L.) آبی در برخی از مناطق استان کرمانشاه با استفاده از مدل CERES-Wheat

فرزاد مندنی[1*]، بابک غلامی[2]، علیرضا باقری[1]، غلامرضا محمدی[1]

۱ – گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
۲– دانشجوی کارشناسی ارشد اگرواکولوژی، گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران
* مسئول مکاتبه: f.mondani@razi.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳ **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.385845.1320**

چکیده

از جمله مشکلات اصلی در تولید محصولات کشاورزی تفاوت قابل ملاحظه بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل گیاهان زراعی است. از این رو برای برآورد عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و تحلیل خلاء عملکرد گندم آبی، مدل CERES-Wheat به کارگرفته شد. برای واسنجی و ارزیابی مدل، جهت شبیه سازی اثر نیتروژن بر رشد، مراحل فنولوژیکی و عملکرد از اطلاعات مستخرج از دو آزمایش که در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه رازی که طی سال‌های ۱۳۹۳ تا ۱۳۹۵ اجرا شده بود، استفاده گردید. جهت واسنجی و تعیین اعتبار مدل در تحقیقی دیگر از صفات شاخص سطح برگ، مراحل نمو فنولوژیک، عملکرد وزن خشک کل و عملکرد دانه استفاده شده بود. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان داد که میانگین عملکرد پتانسیل طی دوره مطالعه برای شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر ۸/۹ تن در هکتار بود، درحالی‌که میانگین عملکرد دانه تحت شرایط محدودیت آب و نیتروژن به ترتیب ۸/۰ و ۷/۱ تن در هکتار بود که نشان‌دهنده به ترتیب ۱۰/۳ و ۲۰/۲ درصد کاهش در مقایسه با عملکرد پتانسیل است. میانگین عملکرد واقعی ۵/۵ تن در هکتار بود که به ترتیب حدود ۳/۴، ۲/۷ و ۱/۸ تن در هکتار کمتر از عملکرد پتانسیل، محدودیت آب و محدودیت نیتروژن بود. میانگین خلاء عملکرد کل طی دوره مطالعه برای شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب ۲/۷، ۳/۷ و ۳/۸ تن در هکتار بود. در مناطق مورد بررسی، سهم خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب ۲۶/۰ درصد، محدودیت نیتروژن ۵۱/۳ درصد و برای سایر عوامل محدود کننده و کاهنده حدود ۲۲/۷ درصد بود.

واژه‌های کلیدی: عملکرد پتانسیل، محدودیت آب، محدودیت نیتروژن، مدل CSM- CERES-Wheat

مقدمه

جمعیت جهان سالانه با نرخ رشد حدود ۱/۶ تا ۱/۷ درصد افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر هر ساله ۹۵ میلیون نفر به تعداد مصرف کنندگان محصولات کشاورزی اضافه می‌شود (Yaghoobi *et al.*, 2017). بنابراین، امنیت غذایی به یکی از چالش‌های کلیدی در این قرن تبدیل شده است. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که جهان تا سال ۲۰۵۰ به ۷۰ تا ۱۰۰ درصد غذای بیشتر نیاز خواهد داشت. تأمین این نیاز باید با درنظر داشتن تأثیر منفی تغییرات اقلیم، کاهش زمین‌های کشاورزی و کمبود فزاینده آب در تولید محصولات کشاورزی و هم‌چنین حفظ منابع طبیعی و معیشت کشاورزان همراه باشد (Charles *et al.*, 2010).

به طور کلی گیاهان زراعی از نظر وضعیت تولید و عملکرد محصول دارای سه سطح عملکرد پتانسیل[1]، عملکرد قابل وصول[2] و عملکرد واقعی[3] می‌باشند. برخی عوامل محیطی که به دو دسته محدود کننده و کاهنده عملکرد تقسیم می‌شوند، سبب کاهش تولید از سطح عملکرد پتانسیل به میزان عملکرد واقعی می‌شوند (Van Ittersum *et al.*, 2013). منظور از عملکرد پتانسیل، عملکرد یک محصول در شرایط عدم محدودیت آب و عناصر غذایی و هم‌چنین عدم وجود تنش‌های زیستی است. در این شرایط دما، نور، دی اکسیدکربن و خصوصیات ژنتیکی گیاه عوامل تعیین کننده عملکرد گیاه می‌باشند (Van Ittersum and Rabbing, 1997). عملکرد پتانسیل در گندم توسط متغیرهایی چون میزان آب و عناصر غذایی محدود می‌شود و به سطح عملکرد قابل وصول می‌رسد. هم‌چنین عوامل دیگری مانند آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز

[1]. Potential Yield
[2]. Attainable Yield
[3]. Actual Yield

نیز سبب کاهش میزان عملکرد و رسیدن به سطح عملکرد واقعی می‌شوند (Asseng *et al.*, 2002).

یک مشکل بزرگ در تولید محصولات کشاورزی تفاوت قابل ملاحظه بین عملکرد واقعی کشاورزان و عملکرد پتانسیل یا توان بالقوه تولید گیاهان زراعی است (Yaghoobi *et al.*, 2017) که اصطلاحاً به آن خلاء یا شکاف عملکرد می‌گویند (Van Ittersum *et al.*, 2013). برای کاهش خلاء عملکرد گیاهان زراعی سه گام اساسی تعیین پتانسیل عملکرد، تعیین اختلاف بین پتانسیل عملکرد هر منطقه با عملکرد واقعی (خلاء عملکرد) و بهینه سازی نظام تولید در راستای کم کردن این خلاء وجود دارد (Kamkar *et al.*, 2007). مدیریت نامناسب زراعی گیاهان در کشاورزی موجب می‌شود که در بسیاری از شرایط، عملکردی که برداشت می‌شود فاصله قابل توجهی با آنچه که می‌توان برداشت کرد داشته باشد. بنابراین شناسایی عوامل محیطی و زراعی تعیین کننده، کاهش دهنده و محدود کننده عملکرد دارای اهمیت زیادی است که این سه عامل با استفاده از مدل‌های شبیه سازی رشد و نمو گیاهی قابل بررسی و تحلیل است (Hajishabani *et al.*, 2020; Mondani, 2018; Van Ittersum *et al.*, 2013; Torabi *et al.*, 2012).

تحلیل خلاء عملکرد راهکار مفیدی برای اولویت‌بندی تحقیقات و سیاست‌های تولید در بخش کشاورزی است (Affholder *et al.*, 2013) که یک تخمین کمی از امکان افزایش در ظرفیت تولید غذا برای یک ناحیه مشخص را فراهم می‌آورد و یک جزء مهم در طراحی راهبردهای تأمین غذا در مقیاس منطقه‌ای، ملی و جهانی است (Van Wart *et al.*, 2013). با این وجود در ایران تحلیل خلاء عملکرد به صورت پراکنده و برای گیاهان زراعی محدودی انجام شده است. برای مثال در تحقیقی که جهت برآورد تحلیل خلاء عملکرد در استان خراسان رضوی انجام شده بود، مشخص شد شرایط نامناسب رطوبتی سبب بروز ۵۴ درصد کاهش تولید نسبت به پتانسیل نخود شد (Amiri Deh Ahmadi *et al.*, 2015). در مطالعه‌ای دیگر که به منظور تحلیل خلاء عملکرد زیره سبز در استان‌های خراسان رضوی، خراسان شمالی و خراسان جنوبی گزارش گردید مهمترین عامل کاهش دهنده عملکرد عملکرد زیره، بیماری‌های گیاهی است (Kamkar *et al.*, 2007). نتایج تحقیقی دیگر که با هدف پهنه بندی آگرواکولوژیک و تحلیل خلاء عملکرد گندم انجام شده بود نشان داد بهبود روش‌های مدیریت مزرعه و معرفی ارقام جدید موجب افزایش عملکرد واقعی گندم در استان‌های خراسان شمالی، رضوی و جنوبی شده است، با این وجود هنوز هم میزان میانگین خلاء عملکرد برای سه استان فوق به ترتیب ۳/۷، ۴/۳ و ۲/۸ تن در هکتار بود (Nassiri Mahalati and Koocheki, 2009). در پژوهشی دیگر بررسی اثر عوامل اقلیمی و مدیریتی بر پتانسیل و خلاء عملکرد گندم در ایران نشان داد عملکرد واقعی به دلیل ضعف‌های مدیریتی و فناوری کمتر از عملکرد پتانسیل است و در بین عوامل اقلیمی بارندگی و تابش اثر مثبت و دما اثر منفی بر عملکرد پتانسیل گندم داشت (Koocheki *et al.*, 2017). این محققین محدوده خلاء عملکرد گندم در ایران را بین ۱۶۴۶ تا ۴۴۷۰ کیلوگرم در هکتار و ۲۹ تا ۵۸ درصد متغیر گزارش کرده و راهکار کاهش این خلاء را در وهله اول مدیریت آب و کود بیان کردند. همان‌گونه که نتایج برخی از مطالعات پیشین نشان داد در مناطق اقلیمی مختلف برای تولید محصولات زراعی مختلف شرایط و موانع متفاوتی وجود دارد.

از جمله ابزارهای مناسب برای تحلیل خلاء عملکرد استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گیاهان زراعی است. با بررسی ۲۲۱ پژوهش انجام شده از سال ۱۹۸۵ تا سال ۲۰۱۰ مشخص شد که از بین ۷۰ مدل مختلف که در این مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند، مدل‌های خانواده CERES که مدل‌های بسته نرم‌افزاری DSSAT به شمار می‌روند با ۶۳ بیشترین کاربرد را داشته‌اند (White *et al.*, 2011). این تعداد نشان‌دهنده استفاده وسیع‌تر از مدل‌های خانواده CERES نسبت به دیگر مدل‌های شبیه‌سازی رشد و نمو گندم در دنیا می‌باشد. از طرف دیگر نیز مدل CERES-Wheat نسبت به دیگر مدل‌های شبیه‌سازی کننده رشد و نمو گندم دارای جامعیت بیشتری است. بنابراین این مدل قادر است ضمن آنالیز کمی اثر فاکتورهای اقلیمی و مشخص کردن اثر هر عامل بر تولید گندم بهترین توصیه مدیریتی را برای هر منطقه مشخص کرد (White *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای که توسط مدل DSSAT-CERES-Wheat برای بررسی تغییرات آب و هوایی بر عملکرد و فنولوژی گندم دوروم در مناطق مدیترانه‌ای جنوب ایتالیا انجام شده بود، گزارش شد که این مدل برای ارزیابی پاسخ گیاه به تغییرات شرایط آب و هوایی قابل اعتماد است و

می‌تواند به عنوان یک ابزار مفید تهیه استراتژی‌های سازگاری و اقدامات مدیریتی به‌کار رود (Dettori *et al.*, 2017).

بنابراین ضرورت اجرای تحقیقات منطقه‌ای و محلی با هدف تعیین و تحلیل خلاء عملکرد می‌تواند نقش مهمی در افزایش عملکرد و ساماندهی تحقیقات و سیاستگذاری‌ها ایفاء کند. از این رو این مطالعه با هدف برآورد عملکرد پتانسیل، خلاء عملکرد و تعیین عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد گندم آبی با استفاده از مدل CSM- CERES-Wheat برای برخی از مهمترین مناطق آب و هوایی استان کرمانشاه اجرا شد.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های جغرافیایی مناطق مورد مطالعه

بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، استان کرمانشاه منطقه نیمه خشک و سرد محسوب می‌شود. این استان دارای ۷۹۵۵۶۳ هکتار زمین کشاورزی است که از این مقدار ۱۷۱۹۰۳ هکتار اراضی آبی و ۶۲۳۶۶۰ هکتار نیز به صورت دیم می‌باشد. در سال زراعی ۱۳۹۵- ۱۳۹۴ در مجموع حدود ۹۷ هزار هکتار از اراضی آبی استان زیر کشت محصول گندم رفته است که از این میزان حدود ۶۸/۵ درصد از آن زیر کشت گندم رقم پیشگام بود (MAJ, 2017). در استان کرمانشاه شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر در تولید گندم دارای اهمیت فراوانی می‌باشند که بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن به ترتیب دارای اقلیم نیمه خشک و سرد، معتدل و مرطوب و سرد و مرطوب هستند.

تشریح مدل

به منظور شبیه سازی رشد و نمو گندم از مدل سامانه گیاهی گندم (CSM- CERES-Wheat) از بسته نرم‌افزار DSSAT نسخه ۴/۶ استفاده شد (Hoogenboom *et al.*, 2015; Jones *et al.*, 2003). CERES-Wheat مدلی است که رشد و نمو و تولید دانه گندم را با در نظر گرفتن ویژگی‌های آب و هوایی، خاک و هم‌چنین میزان نیتروژن و آب شبیه سازی می‌کند و هم‌چنین امکان تعیین استراتژی‌های مدیریت مزرعه بر اساس تفاوت واکنش ارقام مختلف به زمان کشت و مقدار کود نیتروژن مورد استفاده و تیمار آبیاری را می‌دهد (Abeledo *et al.*, 2008). ورودی‌های این مدل شامل ۱: داده‌های گیاهی، داده‌های مدیریت زراعی، خصوصیات ارقام (ضرایب ژنتیکی)، فنولوژی و تولید ماده خشک گیاهی ۲: کلیه ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک و ۳: داده‌های هواشناسی در دوره مورد مطالعه (برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۶ میلادی) بود. برای شبیه‌سازی توسط این مدل لازم است که داده‌های مورد نیاز ابتدا تحت فایل‌های خاصی سازماندهی و به عنوان ورودی مدل تعریف شوند.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

عمق Depth (cm)	بافت Texture	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)	کربن آلی Organic Carbon (%)	نیتروژن Nitrogen (%)	اسیدیته pH	وزن مخصوص ظاهری Balk density (g cm^{-3})	نقطه پژمردگی دائم Permanent wilting point (m^3 m^{-3})	نقطه ظرفیت زراعی Field capacity (m^3 m^{-3})	رطوبت اشباع Saturation (m^3 m^{-3})
0-30	Clay-Silt	44.3	39.0	16.7	1.48	0.17	7.4	1.42	0.205	0.325	0.490
30-60	Clay-Silt	44.7	38.7	16.7	1.12	0.11	7.4	1.45	0.205	0.325	0.495
60-90	Clay-Silt	42.3	40	17.7	0.98	0.07	7.4	1.55	0.225	0.355	0.495

یکی از مهمترین بخش‌های مدل سیستم گیاهی گندم در بسته نرم‌افزار DSSAT اطلاعات مربوط به ارقام گیاهان زراعی است که در فرایند واسنجی مدل بر مبنای تنظیم و تعیین یک سری ضرایب ژنتیکی برای رقم مورد نظر بکار برده می‌شود. از آنجا که ارقام مختلف گیاهان زراعی از نظر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و مرفولوژیکی با یکدیگر تفاوت دارند، این اختلافات روی رشد، نمو و عملکرد آن‌ها تأثیرگذار خواهد بود. بنابراین اختلافات واریته‌ای باید به نوعی در مدل‌های شبیه سازی گیاهان زراعی در نظر گرفته شوند تا پیش بینی قابل قبولی انجام شود. در گندم این مشخصه‌ها به وسیله هفت پارامتر و

به‌نام ضـرایب ژنتیکی در مدل CERES-Wheat ارایه شـده‌اند. این ضـرایب مشـخص می‌کنند که چگونه یک ژنوتیپ نسـبت به عوامل محیطی مانند درجه حرارت، طول روز، محتوای آب خاک و نیتروژن واکنش نشـــان می‌دهد و یا اینکه طول دوره رشـــد و مرفولوژی رقم چگونه است (Hunt *et al.*, 1993).

آزمایش‌های مزرعه‌ای

به منظور واسـنجی و ارزیابی مدل CERES-Wheat جهت پیش بینی مراحـل فنولوژیکی و عملکرد دانـه برای تعیین و تحلیل خلاء عملکرد گندم از اطلاعات مســـتخرج از دو آزمایش استفاده شد. به این صورت که یک آزمایش به منظور استخراج ضـــرایب ژنتیکی برای واســـنجی مدل و آزمایش دیگر به منظور ارزیابی مدل بود. این آزمایش‌ها در ســـال زراعی ۱۳۹۵-۱۳۹۴ در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشـاورزی و منابع طبیعی دانشـگاه رازی (عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۱۹ دقیقه شـــمالی، طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۶ دقیقه شـــرقی و ارتفاع حدود ۱۳۲۰ متر از سـطح دریا) اجرا شـد. میانگین بلندمدت سـالانه بارندگی محل اجرای آزمایش ۴۳۷ میلی‌متر و میانگین بلندمدت دمای سالانه منطقه ۱۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. آب و هوای منطقه بر اساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن نیمه خشک و سرد است. در این مطالعه اطلاعات هواشـــناســـی مورد نیاز از نزدیک‌ترین ایسـتگاه هواشـناسـی سـینوپتیک کرمانشـاه که در فاصـله ۴ کیلومتری از محل اجرای آزمایش‌ها قرار دارد تهیه گردید. هر دو آزمایش در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصـــادفی با ۳ تکرار انجام شد.

تیمارهای آزمایش شـــامل کاربرد ســـطوح مختلف کود نیتروژن در چهار ســطح ۳۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درصـد نیاز گیاه گندم به نیتروژن که به ترتیب معادل ۹۰، ۱۸۰، ۳۰۰ و ۳۶۰ کیلوگرم اوره در هکتار در نظر گرفته شـد. قبل از هر گونه کود دهی و کاشـت به منظور تجزیه عناصـر و تعیین بافت و کاربرد مناسـب کودهای شـیمیایی در طول سـال زراعی، از خاک محل انجام آزمایش در عمق‌های مختلف نمونه‌برداری شـــد و به آزمایشگاه خاک‌شناسی ارسال گردید (جدول ۱). در این مطالعه میزان کودهای مورد نیاز گندم با توجه به نتایج آزمون خاک انجام گرفته ۳۰۰ کیلوگرم اوره، ۱۵۰ کیلوگرم ســوپر فســفات تریپل و ۵۰ کیلوگرم ســولفات پتاســیم در هکتار در نظر گرفته شـد. تمامی کودهای فسـفره و پتاسـه در زمان کشـت به خاک محل آزمایش اضافه گردید. کود اوره نیز در ۳ نوبت مصرف شد، به این ترتیب که یک‌ســـوم از آن در مرحله ۲ تا ۴ برگی و بقیه در انتهای مرحله پنجه‌زنی و انتهای سـاقه رفتن به مزرعه اضـافه گردید.

اندازه‌گیری‌ها شـــامل ثبت مراحل نمو فنولوژیک گندم برحســـب روز پس از کشـــت و نمونه برداری‌های تخریبی از بوته‌های گندم بود. برای نمونه برداری‌های تخریبی از مرحله نموی ساقه رفتن تا رسیدگی کامل، نمونه‌های تصادفی با رعایت اصـول حاشـیه جهت اندازه‌گیری شـاخص سـطح برگ و وزن خشـک کل با اسـتفاده از کوادراتی به ابعاد ۳۰×۵۰ سـانتی‌متر برداشت شدند. سپس نسبت به تفکیک اندام‌های گیاهی شامل برگ، سـاقه و دانه اقدام گردید و هر کدام به تفکیک اندازه‌گیری شـد. برای اندازه‌گیری وزن خشـک، نمونه‌ها به مدت ۷۲ سـاعت در دمای ۷۰ درجه ســـانتی‌گراد در آون قرار گرفتند و ســـپس توزین شـــدند. در پایان دوره رشـــد و رســـیدگی فیزیولوژیک محصـول نیز یک متر مربع از هر کرت با رعایت اصـول حاشـیه برداشت گردید. نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۷۰ درجه ســـانتی‌گراد در آون قرار گرفته و ســـپس عملکرد کل و عملکرد دانه اندازه‌گیری شـدند. در پایان از اطلاعات صـفات اندازه‌گیری شـده برای واسـنجی و ارزیابی مدل اسـتفاده شـد که نتایج آن در مقاله‌ای دیگر به انتشار رسیده است (Mondani *et al.*, 2018).

برآورد خلاء عملکرد

شبیه سازی عملکرد پتانسیل

پس از ارزیـابی مـدل CERES-Wheat، از بخش ICSim بســـته نرم‌افزاری DSSAT که به منظور محاســـبه عملکرد محصـول در سـطوح تولید پتانسـیل و قابل حصـول طرح ریزی شـده اسـت، اسـتفاده شـد. برای محاسـبه عملکرد پتانسـیل در بخش ICSim بسـته نرم‌افزاری DSSAT سـوییچ‌های مربوط به تأثیر عناصـر غذایی و آب بر میزان تولید در حالت خاموش قرار داده شد. به این صورت خروجی مدل بیانگر آن میزان محصولی بود که در شـرایط ایده‌آل رشـد گیاه بدسـت می‌آید. این فرآیند برای یک دوره ۱۸ سـاله (طی سـال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵) انجام شد.

شبیه سازی عملکرد قابل حصول

به منظور محاسبه عملکرد قابل حصول در شرایط محدودیت آب و نیتروزن (با تکیه بر عنصر نیتروژن که مهمترین عامل محدود کننده تولید است) ابتدا در بخش ICSim بسته نرم‌افزاری DSSAT ورودی میزان آب در شرایط مطلوب رشد گیاه و ورودی نیتروژن براساس شرایطی که کشاورز در عمل در مزرعه کود نیتروژن را مصرف می‌کند، قرار داده شد. بنابراین خروجی مدل در این قسمت نشان‌دهنده عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن بود. در مرحله بعد در بخش ICSim بسته نرم‌افزاری DSSAT ورودی نیتروژن براساس شرایط مطلوب رشد گیاه و ورودی میزان آب بر اساس شرایطی که کشاورز در عمل در مزرعه آب را مصرف می‌کند قرار داده شد. بنابراین خروجی مدل بیانگر عملکرد در شرایط محدودیت آب بود. لازم به ذکر است که در این بخش اثر آب و نیتروژن بر رشد و عملکرد گندم براساس مشاهده عامل تنش که در خروجی مدل نمایش داده می‌شود، تعیین گردید. عامل تنش بین صفر تا یک در نوسان است، به این صورت که عدد صفر بیانگر عدم تنش آب و نیتروژن و عدد یک بیانگر حداکثر میزان تنش آب و نیتروژن در شرایط رشد گندم است. هم‌چنین میزان دقیق مصرف نیتروژن و آب توسط کشاورز نیز از طریق پرسشنامه‌هایی که به این منظور طراحی و توزیع شده بود، تعیین و در مدل وارد گردید.

ثبت داده‌های عملکرد واقعی

به منظور برآورد عملکرد واقعی گندم در شهرستان‌های کرمانشاه، روانسر و کنگاور که بخش عمده‌ای از تولید گندم آبی استان کرمانشاه را به خود اختصاص داده‌اند، میانگین تولید گندم آبی طی یک دوره ۱۸ ساله (از سال ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵) از بانک داده‌های ثبت شده توسط سازمان جهاد کشاورزی استان استفاده شد. هم‌چنین به منظور تعیین نقش مدیریت زراعی بر میزان تولید گندم اطلاعات مدیریتی که شامل پرسش‌هایی نظیر عملیات تهیه بستر بذر، تاریخ کشت بذر، رقم، تاریخ و میزان آبیاری مزرعه، زمان و میزان مصرف انواع کود، کنترل آفات و علف‌های هرز، تاریخ مراحل فنولوژی گندم، زمان برداشت و میزان عملکرد دانه بودند، با همکاری کارشناسان مراکز جهاد کشاورزی در دهستان‌های مختلف در قالب ۴۲۸ پرسش‌نامه تهیه، توزیع و جمع‌آوری و تحلیل گردید. تعداد پرسشنامه‌ها بر اساس روش نیمان مشخص گردید (Yamane, 1967).

تعیین و تحلیل خلاء عملکرد

خلاء عملکرد گندم از طریق تفاضل عملکرد پتانسیل که توسط مدل شبیه سازی شده با عملکرد واقعی که از طریق اطلاعات مستخرج از پرسشنامه‌ها (طی سال ۱۳۹۵) و جهاد کشاورزی استان (طی سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۹۵) برای شهرستان‌های کرمانشاه، روانسر و کنگاور بدست آمده بود، محاسبه گردید. شهرستان‌های مورد مطالعه بر اساس بولتن پهنه‌بندی اقلیمی استان کرمانشاه (۱۳۹۵) دارای اقلیم‌های متفاوتی هستند. در پایان نیز به منظور تحلیل خلاء موجود و تعیین سهم هر یک از عوامل محدود کننده و کاهنده تولید، با استفاده از عملکردهای به دست آمده در شرایط پتانسیل، محدودیت آب، محدودیت نیتروژن و نیز عملکرد واقعی کشاورزان، خلاء عملکرد در هر شهرستان در ۴ حالت زیر محاسبه گردید.

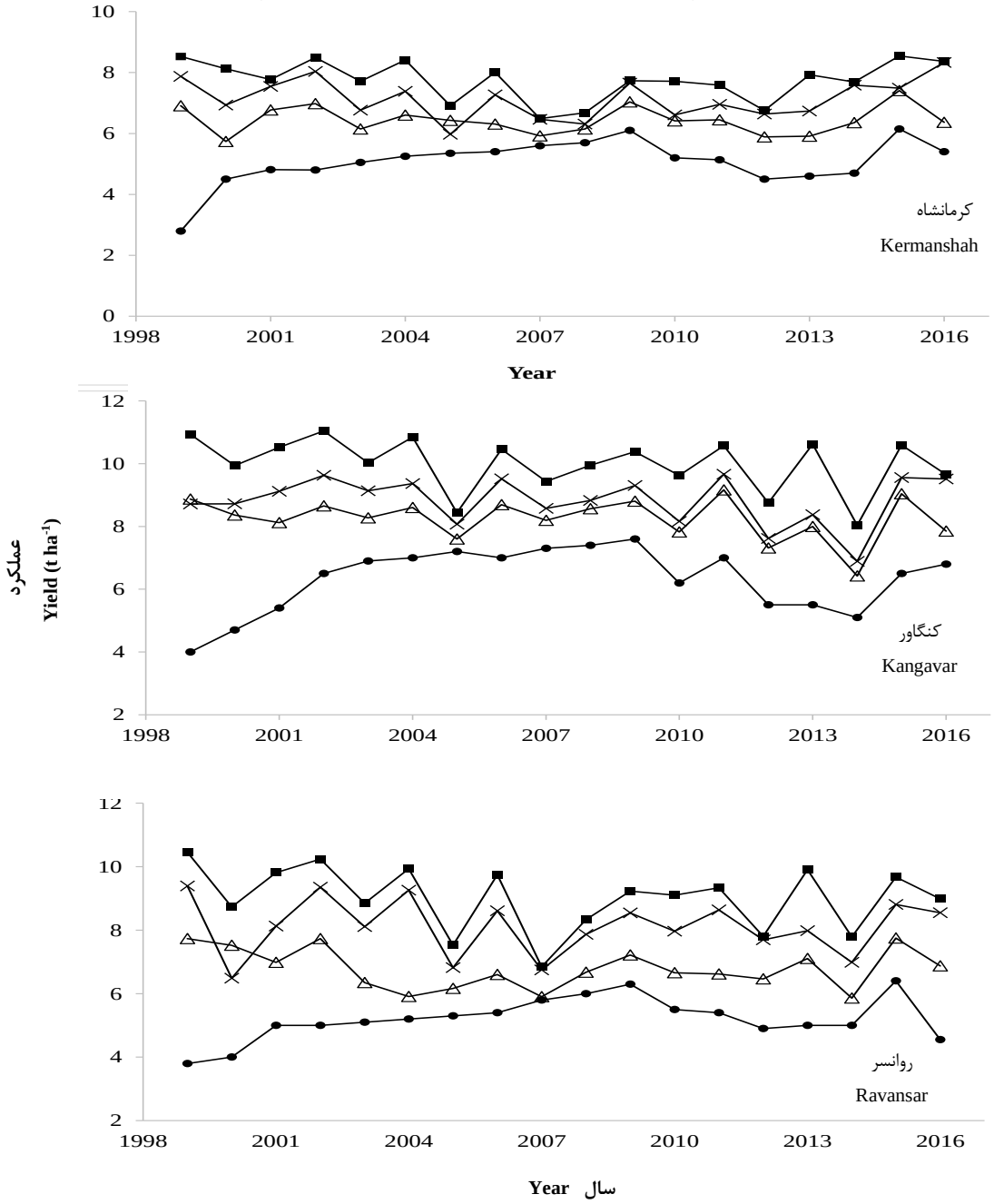
۱- خلاء عملکرد کل: اختلاف بین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده و عملکرد واقعی کشاورز
۲- خلاء عملکرد در شرایط محدودیت آب: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه سازی شده در شرایط محدودیت آب
۳- خلاء عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن: اختلاف بین عملکرد پتانسیل و عملکرد شبیه سازی شده در شرایط محدودیت نیتروژن
٤- خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل: اختلاف بین خلاء عملکرد کل و مجموع خلاء عملکرد ناشی از شرایط محدودیت آب و نیتروژن

نتایج و بحث

عملکرد پتانسیل

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده تفاوت قابل توجه عملکرد پتانسیل گندم آبی برای سال‌های مورد بررسی در مناطق مختلف بود (شکل ۱). بیشترین عملکرد پتانسیل برای سال زراعی ۱۳۸۱-۱۳۸۰ در شهرستان کنگاور به میزان

۱۱۰۴۲ کیلوگرم در هکتار و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ در شهرستان کرمانشاه به میزان ۶۷۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین عملکرد پتانسیل گندم در دوره ۱۸ ساله مورد بررسی برای شهرستان‌های کنگاور، روانسر و کرمانشاه به ترتیب برابر ۹۹۹۰، ۹۰۱۶ و ۷۷۴۷ کیلوگرم در هکتار بود. براساس نتایج شبیه سازی‌ها شهرستان کنگاور در تمام سال‌های مورد بررسی از پتانسیل عملکرد بالاتری نسبت به شهرستان‌های روانسر و کرمانشاه برخوردار بود. بنابراین به نظر می‌رسد اقلیم کنگاور با توجه به درجه حرارت پایین‌تر به ویژه در زمان پر شدن دانه برای تولید گندم مساعدتر از سایر شهرستان‌ها باشد.

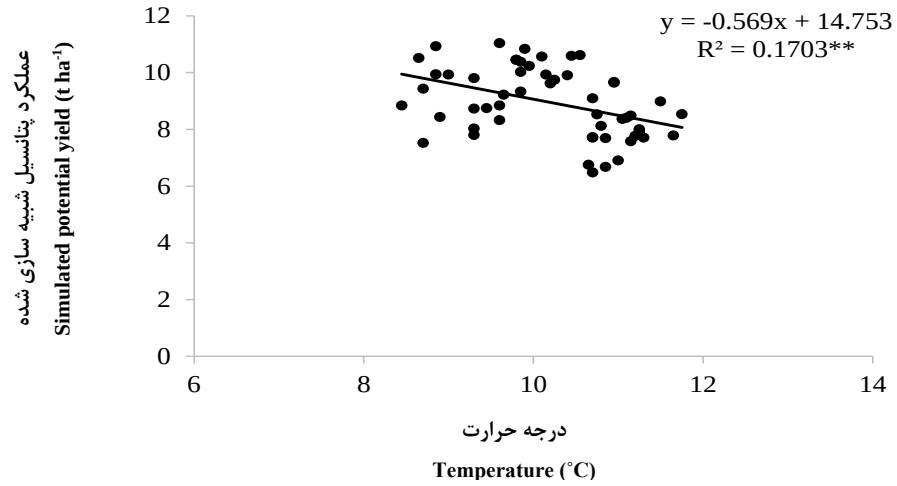


شکل ۱- عملکرد در شرایط پتانسیل (■)، محدودیت آب (×)، محدودیت نیتروژن (Δ) شبیه سازی شده، و همچنین عملکرد واقعی (●) گندم تحت مدیریت زراعی مختلف

Figure 1- Simulated potential (■), water limitation (×) and nitrogen limitation (Δ) yields, and also actual yield (●) of wheat under different management practices

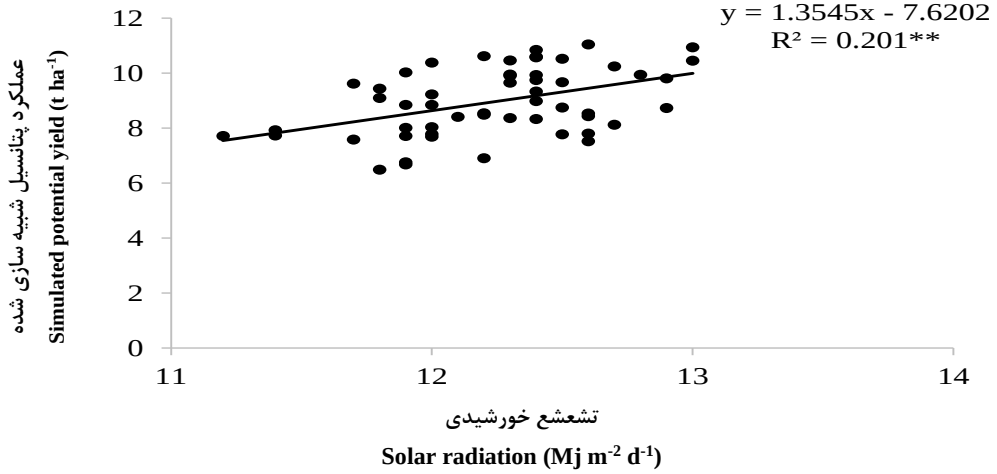
بررسی تغییرات میانگین دمای شهرستان‌ها طی دوره رشد و نمو گندم نشان داد در سال‌های مختلف دوره مورد مطالعه

میانگین دما در این مناطق دارای نوسان بود، کمترین میانگین دمای سالانه دوره رشد در سال ۱۳۸۷ در شهرستان روانسر به وقوع پیوست که مقدار آن ۸/۶ درجه سانتی‌گراد بود. هم‌چنین بیشترین میانگین دمای سالانه دوره رشد در سال ۱۳۹۴ و برابر ۱۱/۷۵ درجه سانتی‌گراد بود که در شهرستان کرمانشاه به وقوع پیوست. به‌طورکلی میانگین دمای دوره رشد گیاه طی سال‌های مورد مطالعه در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب برابر ۱۱، ۹/۹ و ۹/۸ درجه سانتی‌گراد بود و ضریب تغییرات میانگین دما در دوره مورد مطالعه برای شهرستان‌های نام‌برده نیز به ترتیب ۲/۶، ۷/۷ و ۷/۹ درصد بود. نوسانات عملکرد پتانسیل در یک منطقه در سال‌های مختلف تحت تأثیر اثر متقابل دو عامل دما و تشعشع خورشیدی است (Aggarwal and Kalra, 1994). نتایج این مطالعه نشان داد طی دوره زمانی بلند مدت، با افزایش میانگین دمای دوره رشد گیاه، میانگین عملکرد پتانسیل گندم آبی در شهرستان‌های مورد مطالعه کاهش یافت (شکل ۲).



شکل ۲- ارتباط میانگین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده بلند مدت با میانگین دمای فصل رشد برای سه مکان مورد مطالعه

Figure 2- Association of long-term mean simulated potential yield with mean crop season temperature for three studied locations



شکل ۳- ارتباط میانگین عملکرد پتانسیل شبیه سازی شده بلند مدت با میانگین تشعشع خورشیدی فصل رشد برای سه مکان مورد مطالعه

Figure 3- Association of long-term mean simulated potential yield with mean crop season solar radiation for three studied locations

علاوه بر افزایش درجه حرارت در طول دوره رشد گیاه، به نظر می‌رسد وجود گرد و غبار موجود در هوای استان که خود

باعث کاهش میزان تشعشع خورشیدی روزانه می‌شود دلیل دیگری برای کاهش میزان عملکرد پتانسیل گندم بود. بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک استان، طی دوره زمانی مورد مطالعه میزان تشعشع دریافتی در شهرستان‌ها دارای نوسان بود. به‌طورکلی نتایج این مطالعه نشان داد با کاهش میزان تشعشع خورشیدی عملکرد پتانسیل گندم در مناطق مختلف استان کاهش یافت (شکل ۳).

کمترین و بیشترین میانگین روزانه میزان تشعشع دریافتی طی دوره رشد گیاه در دوره بلند مدت به ترتیب مربوط به شهرستان کرمانشاه با مقدار ۱۱ مگاژول در متر مربع در روز و روانسر با مقدار ۱۲/۴ مگاژول در متر مربع در روز بود. برازش خط رگرسیون روی داده‌های مقادیر تشعشع خورشیدی در شهرستان‌ها نیز نشان داد طی دوره بلندمدت مورد مطالعه تشعشع دریافتی در این مناطق روند کاهشی داشته است. بر اساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی استان، میانگین تعداد روزهای همراه با غبار در دوره آماری ۵۰ ساله پیش از سال ۲۰۰۵ میلادی تنها ۱۶ روز بوده است. اما در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ میلادی میانگین تعداد روزهای همراه با غبار در استان کرمانشاه به ۱۳۰ روز رسیده است. هم‌چنین تا پیش از سال ۲۰۰۵ هیچ‌گاه تراکم غبار به بحران نمی‌انجامید و مشاهده گرد و خاک غلیظ با ماندگاری یک شبانه روز یک رویداد تازه است. در مطالعه‌ای دیگر نیز گزارش شد طوفان گرد و غبار در سال ۱۳۸۸ در استان کرمانشاه باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی به میزان ۷۲۶ هزار تن شد (Khaledi, 2013).

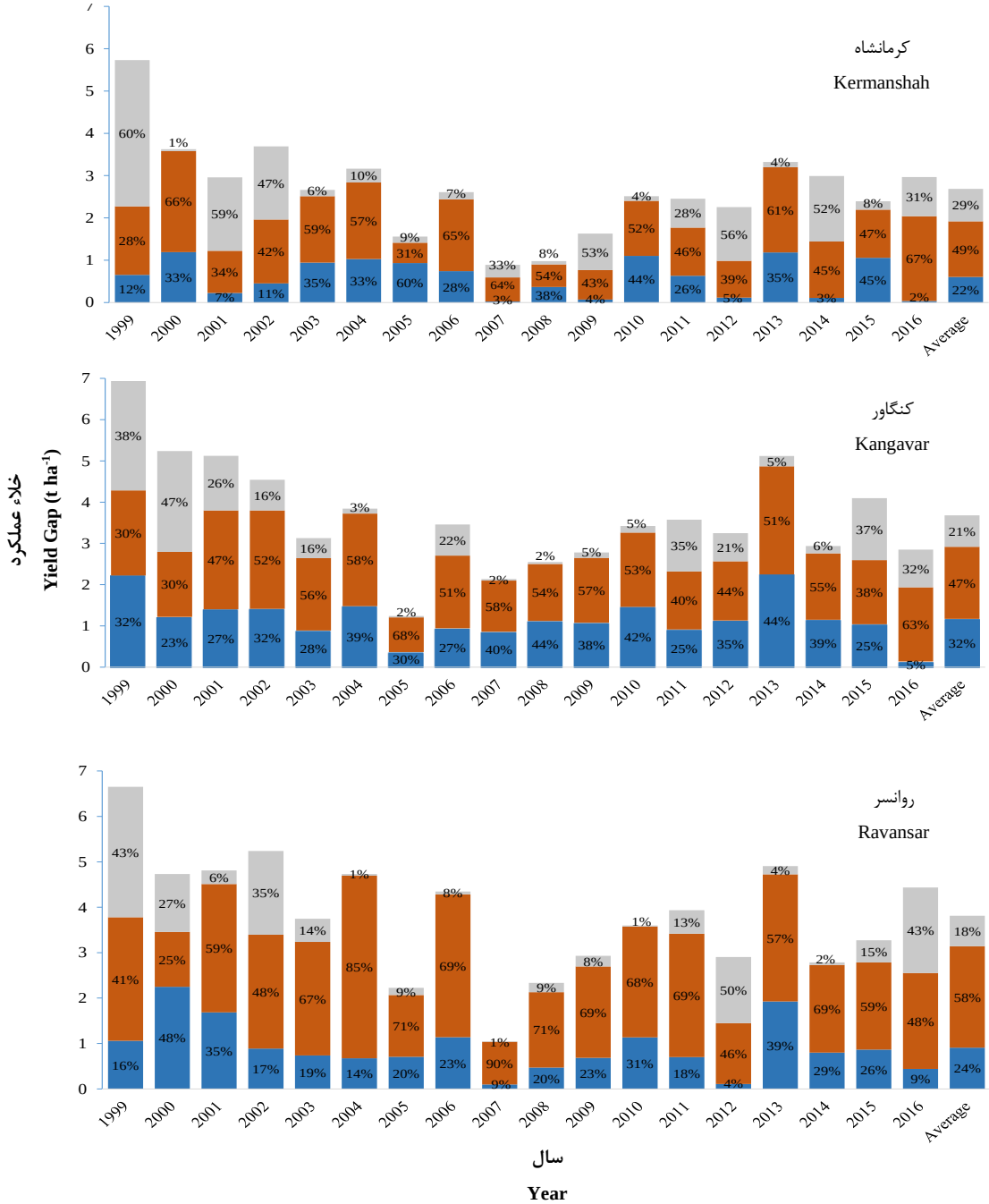
عملکرد در شرایط محدودیت آب

نتایج این مطالعه نشان داد عملکرد دلنه گندم در مناطق مورد مطالعه تحت تأثیر میزان آب قرار داشت (شکل ۱). بیشترین و کمترین عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب به ترتیب در سال زراعی ۱۳۹۰-۱۳۸۹ در شهرستان کنگاور (۹۶۶۲ کیلوگرم در هکتار) و در سال زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ در شهرستان کرمانشاه (۵۹۷۷ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد. میانگین عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب طی دوره زمانی مورد بررسی در شهرستان‌های کنگاور، روانسر و کرمانشاه برابر ۸۸۲۰، ۸۱۰۷ و ۷۱۴۲ کیلوگرم در هکتار بود. میزان تغییرات عملکرد دانه در شرایط محدودیت آب در دوره مورد بررسی نسبت به میانگین همان دوره در شهرستان کرمانشاه از ۱۶/۳۱- تا ۱۶/۶+ درصد نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز ۹ درصد بود. در شهرستان کنگاور نیز میزان تغییرات عملکرد در شرایط محدودیت آب نسبت به میانگین از ۲۱/۹- تا ۹/۵+ نوسان داشت و ضریب تغییرات در این شرایط حدود ۸/۷ درصد بود. در شهرستان روانسر تحت شرایط محدودیت آب در دوره زمانی مورد بررسی نسبت به میانگین همان دوره از ۲۰- تا ۱۵/۸+ درصد نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز حدود ۱۱ درصد بود. محققین دیگر نیز بیان کردند در شرایط کمبود رطوبت، کاهش فتوسنتز و هم‌چنین کاهش انتقال مواد پرورده به بخش‌های مختلف گیاه اتفاق می‌افتد که سبب کاهش ماده خشک بوته می‌شود و در نهایت عملکرد دانه کاهش خواهد یافت (Arora *et al.*, 2007).

عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن

مقدار عملکرد دانه در شرایط محدودیت نیتروژن در مناطق مورد مطالعه طی سال‌های مختلف دارای نوسان بود (شکل ۱). در شهرستان کرمانشاه بیشترین (۷۴۰۶ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۵۷۳۵ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه شبیه‌سازی شده به ترتیب برای سال‌های زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۷۹-۱۳۷۸ بود. میانگین عملکرد دانه در دوره مورد بررسی برابر ۶۴۳۲ کیلوگرم در هکتار، دامنه عملکرد دانه در شرایط محدودیت نیتروژن ۱۶۷۱ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به میانگین از ۱۵/۱۴+ تا ۱۰/۸۳- درصد نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز ۷ درصد بود. در شهرستان کنگاور کمترین (۷۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین (۹۱۶۶ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه به ترتیب برای سال زراعی ۱۳۸۴- ۱۳۸۳ و ۱۳۹۰-۱۳۸۹ مشاهده شد (شکل ۱). میانگین عملکرد دانه ۸۲۴۲ کیلوگرم در هکتار، دامنه تغییرات عملکرد دانه ۱۵۴۷ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به میانگین از ۷/۵- تا ۱۱/۲+ نوسان داشت و ضریب تغییرات نیز حدود ۸/۲ درصد بود. هم‌چنین در شهرستان روانسر کمترین (۵۸۵۷ کیلوگرم در هکتار) و بیشترین (۷۷۵۲ کیلوگرم در هکتار) عملکرد دانه در شرایط به ترتیب برای سال زراعی ۱۳۹۳-۱۳۹۲ و ۱۳۹۴-۱۳۹۳ بدست آمد. میانگین عملکرد در این شرایط برابر ۶۷۸۵ کیلوگرم در هکتار، دامنه تغییرات عملکرد برابر ۱۸۹۵ کیلوگرم

در هکتار بود که نسبت به میانگین از ۱۳/۷- تا ۱۴/۲+ نوسان داشت و ضریب تغییرات عملکرد نیز حدود ۹/۳ درصد بود. نیتروژن محدود کننده‌ترین عنصر غذایی در عملکرد گندم به شمار می‌رود. عرضه مواد غذایی به ویژه نیتروژن به لحاظ اثری که در گسترش و توسعه برگ‌ها دارد، یکی از عوامل مهم در تعیین میزان عملکرد دانه می‌باشد و کمبود نیتروژن در دسترس گیاه سبب کاهش عملکرد می‌شود.



شکل ۴- خلاء عملکرد کل و خلاء ناشی از محدودیت آب (نمودار آبی)، محدودیت نیتروژن (نمودار نارنجی) و سایر موارد (نمودار خاکستری) برای سه مکان مورد مطالعه

Figure 4- Total yield gap and yield gap due to water limitation (blue chart), nitrogen limitation (orange chart) and other (grey chart) for three studied locations

عملکرد واقعی

در شهرستان کرمانشاه میانگین عملکرد واقعی بلند مدت حدود ۵۰۵۸ کیلوگرم در هکتار تعیین شد. بیشترین (۶۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۲۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد واقعی به ترتیب در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شد (شکل ۱). متوسط عملکرد واقعی در کنگاور برابر ۶۳۱۱ کیلوگرم بود. بیشترین عملکرد واقعی در سال زراعی ۱۳۸۷-۱۳۸۸ به میزان ۷۶۰۰ کیلوگرم و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به میزان ۴۰۰۰ کیلوگرم در هکتار بود. در شهرستان روانسر نیز میانگین عملکرد حدود ۵۲۰۳ کیلوگرم در هکتار بود. بیشترین (۶۴۰۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۳۸۰۰ کیلوگرم در هکتار) عملکرد واقعی به ترتیب در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۳ و ۱۳۷۸- ۱۳۷۷ مشاهده شد.

خلاء عملکرد کل

نتایج این بررسی نشان داد که مقادیر خلاء عملکرد کل در مناطق و سال‌های مختلف با هم تفاوت داشت (شکل ۴). در شهرستان کرمانشاه بیشترین میزان خلاء عملکرد کل در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ مشاهده شد که برابر ۵۷۲۹ کیلوگرم در هکتار که معادل ۶۷/۲ درصد بود. هم‌چنین کمترین میزان خلاء عملکرد کل نیز در سال زراعی ۱۳۸۶- ۱۳۸۵ مشاهده شد که برابر ۸۹۱ کیلوگرم در هکتار که معادل ۱۴/۷ درصد بود. در شهرستان کنگاور نیز بیشترین خلاء عملکرد کل در سال زراعی ۱۳۷۸- ۱۳۷۷ برابر ۶۹۳۶ کیلوگرم در هکتار که معادل ۶۳/۴ درصد بود و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۸۴- ۱۳۸۳ که برابر ۱۲۳۸ کیلوگرم در هکتار و معادل ۱۴/۷ درصد بود، مشاهده شد (شکل ۴).

در شهرستان روانسر بیشترین میزان خلاء عملکرد کل در سال زراعی ۱۳۷۸- ۱۳۷۷ برابر ۶۶۵۳ کیلوگرم در هکتار و معادل ۶۴ درصد و کمترین آن در سال زراعی ۱۳۸۶- ۱۳۸۵ به میزان ۱۰۴۵ کیلوگرم در هکتار و معادل ۱۵ درصد بود (شکل ۴). در طی دوره مطالعه میانگین خلاء عملکرد کل در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب ۲۶۸۹، ۳۶۷۹ و ۳۸۱۳ کیلوگرم در هکتار برآورد شد که نسبت به میانگین عملکرد پتانسیل به ترتیب میزان خلاء ۳۴/۰، ۳۶/۴ و ۴۱/۴ درصدی را نشان داد. به نظر می‌رسد از جمله دلایل خلاء عملکرد محاسبه شده در این بررسی را بتوان به اختلاف در میزان و زمان بارندگی‌ها، دما و تشعشع روزانه ارتباط داد.

خلاء عملکرد تحت شرایط محدودیت آب

در شهرستان کرمانشاه کمترین اثر محدودیت آب در ایجاد خلاء عملکرد در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۲۴ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ به میزان ۱۱۹۲ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد (شکل ۴). در شهرستان کنگاور نیز کمترین اثر محدودیت آب در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ به میزان ۱۳۷ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به میزان ۲۲۲۲ کیلوگرم در هکتار بود. در روانسر نیز کمترین خلاء عملکرد محدودیت آب در سال زراعی ۱۳۸۶- ۱۳۸۵ به میزان ۹۸ کیلوگرم در هکتار و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ به میزان ۲۲۴۸ کیلوگرم در هکتار بود (شکل ۴). به‌طور میانگین محدودیت آب در طول دوره مورد مطالعه در کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب باعث ۷/۷، ۱۱/۶ و ۹/۹ درصد افت عملکرد نسبت به شرایط پتانسیل شد (شکل ۴). ضریب تغییرات خلاء عملکرد در شرایط محدودیت آب برای سال‌های مورد مطالعه برای شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب برابر ۷۱/۹، ۴۴/۵ و ۶۲/۶ درصد بود. نتایج هم‌چنین نشان داد خلاء عملکرد دانه گندم در شرایط محدودیت آب نسبت به میانگین دوره زمانی مورد بررسی در کرمانشاه به میزان ۹۶/۱- تا ۱۹۷+ درصد، در کنگاور به میزان ۸۸/۳- تا ۱۹۰+ درصد و در روانسر به میزان ۸۹/۲- تا ۲۴۷/۳+ درصد در نوسان بود. به نظر می‌رسد تغییر سیستم آبیاری از حالت سنتی به تحت فشار، تأکید بیشتر بر زمان مصرف آب طی ساعات مناسب شبانه روز و شناسایی مراحل نموی حساس گیاه به تنش کمبود آب و آبیاری مزرعه بر مبنای آن، می‌تواند نقش بسزائی بر کاهش خلاء عملکرد ناشی از محدودیت آب داشته باشد. تأثیر آب در تولید سطح برگ و تأثیر تنش ناشی از کمبود این عامل بر پیری برگ‌ها توسط محققین متعددی گزارش شده است. با کاهش سطح برگ در اثر کمبود آب که به دلیل زوال برگ اتفاق می‌افتد، جذب تشعشع خورشیدی کاهش خواهد یافت که نتیجه آن کاهش عملکرد است (Gammelvind *et al.*, 1996). در مطالعه‌ای دیگر که تحت شرایط آب و هوایی مشهد بیان شد که

اِعمال تنش رطوبتی در مراحل حساس نمو گندم تأثیر منفی بسیار شدیدی بر فرآیندهای متابولیکی مرتبط با فتوسنتز و انتقال و اختصاص مواد داشت، به‌طوری‌که پس از رفع تنش و انجام آبیاری مجدد نیز اثر منفی تنش جبران نشد (Ghodsi *et al.*, 2003). در مطالعه‌ای نشان داده شد تنش خشکی سبب کاهش عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم در داراب شد، به‌طوری‌که میانگین عملکرد در شرایط نرمال ۴۶۹۱ کیلوگرم در هکتار و در شرایط تنش خشکی انتهایی ۳۶۵۹ کیلوگرم در هکتار بود (Rajaie *et al.*, 2015).

خلاء عملکرد تحت شرایط محدودیت نیتروژن

در شهرستان کرمانشاه در طی دوره مطالعه خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن از ۴۸۱ تا ۲۳۸۸ کیلوگرم در هکتار محاسبه شد و سهم محدودیت نیتروژن حدود ۱۶/۶ درصد بود (شکل ۴). خلاء عملکرد در کرمانشاه تحت شرایط محدودیت نیتروژن نسبت به میانگین دوره زمانی مورد مطالعه، در سال‌های مختلف به میزان ۶۳/۴- تا ۱۸۱/۶+ درصد در نوسان بود. در شهرستان کنگاور خلاء ناشی از محدودیت نیتروژن از ۸۳۹ تا ۲۳۹۸ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد. میانگین مقادیر خلاء عملکرد محدودیت نیتروژن نیز برابر ۱۷۴۸ کیلوگرم در هکتار بود. به طورکلی سهم محدودیت نیتروژن در خلاء عملکرد کل در دوره مورد مطالعه درکنگاور حدود ۱۷/۴ درصد بود (شکل ۴). نتایج هم‌چنین نشان داد خلاء عملکرد دانه گندم در کنگاور تحت شرایط محدودیت نیتروژن نسبت به میانگین دوره زمانی مورد مطالعه، در سال‌های مختلف به میزان ۵۲- تا ۱۳۷/۲+ درصد در نوسان بود. در شهرستان روانسر نیز کمترین خلاء ناشی از محدودیت نیتروژن در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ بود که برابر ۹۴۰ کیلوگرم در هکتار بود و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۸۳-۱۳۸۲ بود که برابر ۴۰۲۳ کیلوگرم در هکتار بود. دامنه تغییرات خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن در طول دوره مورد مطالعه برابر ۳۰۸۳ کیلوگرم و میانگین مقادیر این خلاء برابر ۲۲۳۱ کیلوگرم در هکتار بود. میانگین سهم محدودیت نیتروژن در خلاء عملکرد کل در شهرستان روانسر در دوره مورد مطالعه حدود ۲۴/۳ درصد بود (شکل ۴). خلاء عملکرد دلنه گندم در شرایط محدودیت نیتروژن نسبت به میانگین دوره زمانی مورد بررسی، در سال‌های مختلف به میزان ۵۷/۷- تا ۱۸۰/۳+ درصد در نوسان بود. با توجه به این نتایج می‌توان بیان کرد که نیتروژن به عنوان مهمترین عامل ایجاد خلاء عملکرد در شهرستان‌های مورد بررسی بود (شکل ۴). به نظر می‌رسد مصرف اصولی و منطبق بر آزمون خاک، زمان مناسب مصرف، نوع کود مصرفی و روش‌های مناسب مصرف نیتروژن می‌تواند به شدت منجر به کاهش خلاء عملکرد ناشی از محدودیت نیتروژن شود. عرضه مواد غذایی به‌ویژه نیتروژن به لحاظ اثری که در گسترش و توسعه برگ‌ها دارد، یکی از عوامل مهم در تعیین میزان عملکرد دانه می‌باشد و کمبود نیتروژن در دسترس گیاه، سبب کاهش عملکرد می‌شود. نیتروژن از طریق چندین واکنش در گیاه، رشد و نمو محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. رابطه نیتروژن با فتوسنتز، توزیع نیتروژن بین برگ‌ها، گسترش سطح برگ و آرایش برگ‌ها و هم‌چنین اثر بر جذب نور از آن جمله هستند. بنابراین تأمین نیاز نیتروژن در زمان‌های مختلف رشد و مطابق با نیاز گیاه و افزایش جذب آن می‌تواند روی سرعت رشد گیاه و تولید آن اثر گذار باشد (Gastal and Lemaire, 2002). در تحقیقی دیگر دومین عامل محدود کننده عملکرد گندم میزان کود نیتروژن معرفی شد (Torabi *et al.*, 2012). آن‌ها نشان دادند در گندم شاخص سطح برگ، شاخص کلروفیل و میزان جذب نیتروژن همگی تحت کنترل مدیریت مصرف کود نیتروژن هستند. بنابراین میزان مصرف و مدیریت تغذیه نیتروژن را یکی از عوامل محدود کننده عملکرد پتانسیل گندم در منطقه گرگان دانستند. محدودیت آب و مواد غذایی توسط محققین دیگر نیز به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد معرفی شده‌اند (Kalra *et al.*, 2007).

خلاء عملکرد تحت تاثیر سایر عوامل

سایر عوامل مؤثر در ایجاد خلاء عملکرد، شامل کلیه عوامل نظیر آفات، بیماری‌های گیاهی و علف‌های هرز به استثنای آب و نیتروژن بود که می‌توانند عملکرد گندم را کاهش دهند. میانگین این عوامل در طول دوره مورد مطالعه در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب، ۹/۷، ۷/۴ و ۷/۲ درصد بود. نتایج این مطالعه نشان داد مدیریت کشاورزان در بهره‌برداری از زمین در تولید محصول گندم در شهرستان‌های مورد مطالعه بهبود یافته است و مقدار خلاء عملکرد ناشی از سایر عوامل کاهش یافته است (شکل ۴). در شهرستان کرمانشاه

کمترین و بیشترین خلاء عملکرد ایجاد شده بر حسب درصد نسبت به عملکرد پتانسیل به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۹و ۱۳۷۸ به وقوع پیوست که برابر ۰/۵ و ۴۰/۵ درصد بود (شکل ۴). در شهرستان کنگاور کمترین اثر سایر عوامل در ایجاد خلاء عملکرد واقعی نسبت به عملکرد پتانسیل در سال‌های زراعی ۱۳۸۴-۱۳۸۳ و ۱۳۸۶-۱۳۸۵ مشاهده شد که معادل ۰/۴ درصد بود و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۹-۱۳۷۸ بود که سبب کاهش عملکرد به میزان ۲۴۴۴ کیلوگرم در هکتار شد که معادل ۲۴/۶ درصد بود (شکل ۴). در روانسر نیز کمترین اثر سایر عوامل در ایجاد خلاء در سال زراعی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ به میزان ۰/۱ درصد و بیشترین آن در سال زراعی ۱۳۷۸-۱۳۷۷ به میزان ۲۷/۵ درصد مشاهده شد (شکل ۴). در مطالعه روند بلند مدت تولیدات غلات در ایران نیز مشخص شد که افزایش عملکرد ناشی از مدیریت بهتر نهاده‌های تولید عامل اصلی افزایش تولید گندم کشور در سال‌های اخیر بود (Zarea Feizabadi *et al.*, 2006).

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه میانگین عملکرد پتانسیل در شهرستان‌ها نشان داد کنگاور با میانگین ۹۹۹۰ کیلوگرم در هکتار بیشترین عملکرد پتانسیل و کرمانشاه با ۷۷۴۷ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد پتانسیل را در دوره مورد مطالعه داشتند. عملکرد پتانسیل در شهرستان‌ها به دلیل افزایش درجه حرارت طی دوره مطالعه کاهش نشان داد. بیشترین (۸۸۲۰ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۷۱۴۲ کیلوگرم در هکتار) میانگین عملکرد در شرایط محدودیت آب به ترتیب در کنگاور و کرمانشاه مشاهده شد. شهرستان کنگاور با میانگین ۸۲۴۲ کیلوگرم در هکتار بیشترین و شهرستان کرمانشاه با ۶۴۳۲ کیلوگرم در هکتار کمترین عملکرد در شرایط محدودیت نیتروژن را داشتند. بیشترین (۶۳۱۱ کیلوگرم در هکتار) و کمترین (۵۰۵۸ کیلوگرم در هکتار) عملکرد واقعی به ترتیب متعلق به کنگاور و کرمانشاه بود. خلاء عملکرد کل در شهرستان‌های کرمانشاه، کنگاور و روانسر به ترتیب ۲۶۸۹، ۳۶۷۹ و ۳۸۱۸ کیلوگرم در هکتار بود. بالاترین سهم محدودیت آب (۳۱/۸ درصد)، نیتروژن (۵۸/۵ درصد) و سایر عوامل (۲۸/۶ درصد) در ایجاد خلاء عملکرد به ترتیب در شهرستان‌های کنگاور، روانسر و کرمانشاه مشاهده شد. نتایج نشان داد که عنصر نیتروژن با وجود مصرف بیش از اندازه در مزارع توسط کشاورزان دارای بیشترین تأثیر بود که ممکن است به علت مصرف غیر اصولی، زمان نامناسب مصرف، نوع کود مصرفی و روش‌های مصرف کود باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود برای مدیریت بهتر کاهش خلاء عملکرد تأکید تحقیقات و سیاستگذاری‌های پیش رو در مرحله نخست بر کاهش سهم نیتروژن و در مرحله بعدی سهم آب صورت پذیرد.

References

Abeledo, L.G., Savin, R. and Slafer, G.A., 2008. Wheat productivity in the Mediterranean Ebro Valley: Analyzing the gap between attainable and potential yield with a simulation model. *European Journal Agronomy*, *28*, pp.541-550. **doi: 10.1016/j.eja.2007.12.001**

Affholder, F., Poeydebat, C., Corbeels, M., Scopel, E. and Tittonell, P., 2013. The yield gap of major food crops in family agriculture in the tropics: assessment and analysis through field surveys and modelling. *Field Crops Research*, *143*, pp.106-118. **doi: 10.1016/j.fcr.2012.10.021**

Aggarwal, P.K. and Kalra, N., 1994. Analyzing the limitations set by climatic factors, genotype, and water and nitrogen availability on productivity of wheat II. Climatically potential yields and management strategies. *Field Crops Research, 38*, pp.93-103. **doi: 10.1016/0378-4290(94)90003-5**

Amiri Deh Ahmadi, S.R., Parsa, M., Bannayan Aval, M., Nassiri Mahalati, M. and Deihimfard, R., 2015. Yield gap analysis of Chickpea under semi-arid conditions: A simulation study. *International Journal of Plant Production*, *8*, pp.531-548. **doi /10.22069/ijpp.2014.1723**

Arora, V.K., Singh H. and Singh B., 2007. Analyzing wheat productivity responses to climatic, irrigation and

fertilizer-nitrogen regimes in a semi-arid sub-tropical environment using the CERES-Wheat model. *Agricultural Water Management*, *94*, pp.22–30. **doi: 10.1016/j.agwat.2007.07.002**

Asseng, S., Turner, N.C., Ray, J.D. and Keating, B.A., 2002. A simulation analysis that predicts the influence of physiological traits on the potential yield of wheat. *European Journal of Agronomy*, *17*, pp.123-141. **doi: 10.1016/s1161-0301(01)00149-6**

Charles, H., Godfray, J., Beddington, J.R., Curte, I.R., Hadded, L., Lawrence, D., Muir, J.F., Pertty, J., Robinson, S., Thomas, S.M. and Toulmin, C., 2010. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science*, *327*, pp.812-818. **doi: 10.1126/science.1185383**

Dettori, M., Cesaraccio, C. and Duce, P., 2017. Simulation of climate change impacts on production and phenology of durum wheat in Mediterranean environments using CERES-Wheat model. *Field Crops Research*, *206*, pp.43–53. **doi: 10.1016/j.fcr.2017.02.013**

Gammelvind, L.H., Schjoerring, J.K., Mogensen, V.O., Jensen, C.R. and Bock, J.G.H., 1996. Photosynthesis in leaves and siliques of winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Plant and Soil*, *186*, pp.227-236. **doi: 10.1007/bf02415518**

Gastal, F. and Lemaire, G., 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *Journal of Experimental Botany*, *53*, pp.789-799. **doi: 10.1093/jexbot/53.370.789.**

Ghodsi, M., Jalal Kamali, M.R., Chaichi, M.R. and Mazaheri, D., 2003. Dry matter accumulation and remobilization in bread wheat cultivars under water stress during pre- and post-anthesis stages in field conditions. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *1*, pp.205-216. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.20081472.1382.1.2.8.6**

Hajishabani, H., Mondani, F. and Bagheri, A., 2020. Simulation Effects of Sowing Date on Growth and Yield of Rainfed Chickpea (*Cicer arientinum* L.) by CROPGRO-CHICKPEA Model. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *18*, pp.197-212. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v18i2.82684**

Hoogenboom, G., Jones, J.W. P., Wilkens, W., Porter, C.H., Boote, K.J., Hunt, L.A., Singh, U., Lizaso, J.I., White, J.W., Uryasev, O., Ogoshi, R., Koo, J., Shelia, V. and Tsuji, G.Y., 2015. Decision Support System for Agrotechnology Transfer (DSSAT) Version 4.6 (http://dssat.net). DSSAT Foundation, Prosser, Washington.

Jones, J.W., Hoogenboom, G., Porter, C.H., Boote, K.J., Batchelor, W.D., Hunt, L.A., Wilkens, P.W., Singh. U., Gijsman, A.J. and Ritchie, J.T., 2003. The DSSAT cropping system model. *European Journal of Agronomy*, *18*, pp.235-265. **doi: 10.1016/s1161-0301(02)00107-7**

Khaledi, K., 2013. Economic loss of dust storms in Iran west provinces case study of Ilam, Khuzestan and Kermanshah. *Journal of Economic Modelling*, *7*, pp.105-125.

Kalra, N., Chakaborty, D., Ramesh Kumar, P., Jolly, M. and Sharma, P.K., 2007. An approach to bridging yield gaps, combining response to water and other resource inputs for wheat in northern India, using research trials and farmers' fields data. *Agricultural Water Management*, *93*, pp.54–64. **doi: 10.1016/j.agwat.2007.06.004**

Kamkar, B., Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M. and Rezvani Moghaddam, P., 2007. Yield gap analysis of cumin in nine regions of Khorasan provinces using modelling approach. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *5*,

pp.332-341. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v5i2.1155**

Koocheki, A., Nassiri Mahalati, M., Mansouri, H. and Moradi, R., 2017. Effect of climate and management factors on potential and gap of wheat yield in Iran with using WOFOST model. *Iranian Journal of Field Crop Research, 15*, pp.244-256. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v15i2.54278**

Lobel, D.B., Burke, M.B., Claudia, T., Mastrandrea, M.D., Falcon, W.P. and Naylor, R.L., 2008. Prioritizing climate change adaptation needs for food security in 2030. *Science*, *319*, pp.606-610. **doi: 10.1126/science.1152339**

Ministry of Agriculture of Iran (MAJ). 2017. Portal of Iranian agriculture, http://www.maj.ir/english/Main/Default.asp.

Mondani, F., Gholami, B., Bagheri, A.R. and Mohammadi, Gh.R., 2018. Simulation of changes in soil and plant nitrogen by CERES-Wheat model. *Journal of Water and Soil*, *32*, pp.691-707. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v32i4.70443**

Mondani, F., 2018. Simulation of nitrogen fertilizer effect on maize (*Zea maize*) production by CERES-Maize Model under Kermanshah climate condition. *Journal of Water and Soil*, *3*, pp.1665-1678. [In Persian]. **doi: 10.22067/jsw.v31i6.61895**

Nassiri Mahalati, M. and Koocheki, A., 2009. Agroecological zoning of wheat in Khorasan provinces: Estimating yield potential and yield gap. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *15*, pp.695-709. [In Persian].

Rajaie, M., Tahmasebi, S., Bidadi, M.J., Zare, K. and Sarfarazi, S., 2015. The effect of terminal drought stress on yield and yield components of wheat genotypes. *Cereal Research*, *4*, pp.341-352. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.22520163.1394.5.4.4.1**

Torabi, B., Soltani, A., Galeshi, S. and Zeinali, E., 2012. Analyzing wheat yield constraints in Gorgan. *Crop Production*, *4*, pp.1-17. [In Persian]. **doi: 20.1001.1.2008739.1390.4.4.1.9**

Van Ittersum, M.K., Cassman, K.G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P. and Hochman, Z., 2013. Yield gap analysis with local to global relevance-A review. *Field Crops Research*, *143*, pp.4-7. **doi: 10.1016/j.fcr.2012.09.009**

Van Ittersum, M.K. and Rabbing, R., 1997. Concepts in production ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations. *Field Crops Research*, *52*, pp.197-208. **doi: 10.1016/s0378-4290(97)00037-3**

Van Wart, J., Van Bussel, L. G.J., Wolf, J., Licker, R., Grassini, P., Nelson, A., Boogaard, H., Gerber, J., Muller, N.D., Claesseng, L., Van Ittersum, M.K. and Cassman, K.G., 2013. Use of agro-climatic zones to upscale simulated crop yield potential. *Field Crops Research*, *143*, pp.44-55. **doi: 10.1016/j.fcr.2012.11.023**

Yaghoobi, M., Aghayari, F. and Mostafavi, Kh., 2017. Factors affecting wheat yield gap in Savojbolagh, Iran. *Advances in Bioresearch*, *8*, pp.84-92. **doi: 10.15515/abr.0976-4585.8.1.8492**

Yamane, T., 1967. Elementary sampling theory. Englewood Clius, NJ, USA: Prentice- Hall.

White, J.W., Hoogenboom, G., Kimball, B.A. and Wall, G.W., 2011. Methodologies for simulating impacts of climate change on crop production. *Field Crops Research, 124*, pp.357-368. **doi: 10.1016/j.fcr.2011.07.001**

Zarea Feizabadi, A., Koocheki, A. and Nassiri Mahalati, M., 2006. Trend analysis of yield, production and

cultivated area of cereal in Iran during the last 50 years and prediction of future situation. *Iranian Journal of Field Crop Research*, *4*, pp.49-70. [In Persian]. **doi: 10.22067/gsc.v4i1.1318**

Journal of Crop Science Research in Arid Regions/ Volume 6, Issue 2, Summer 2024, P. 395-411

Yield gap analysis for irrigation wheat (*Triticum aestivum* L.) production system in some location of Kermanshah province using CERES-Wheat model

Farzad Mondani[1*], Babak Gholami[2], Alireza Bagheri[1], Gholamreza Mohammadi[1]

[1] Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
[2] MSc Student of Agroecology, Department of Plant Production and Genetics, Razi University, Kermanshah, Iran
[*]Corresponding Author: f.mondani@razi.ac.ir

Received: 21 February 2023 Accepted: 24 May 2023 **DOI: 10.22034/CSRAR.2023.385845.1320**

Abstract

Introduction: Crops yield can be considered in different situations, which is called different production levels. Potential yield level is that determined by radiation, temperature and cultivar traits without limitations of biotic or abiotic factors; while attainable yield level is that limited by water or nutrient supply, and actual yield level is that determined in the present of the limiting (water or nutrient) and reducing factors (such as weed, harmful insects and plant diseases). The yield gap is the difference between the potential yield level and actual yield level. Identifying the yields at different production levels and quantifying the yield gaps through field experiments may involve many years of data collection on which to make meaningful inferences. Crop simulation models are an alternative tool for analyzing interactions between water and nitrogen availabilities on yield generation. The objectives of the present study was to estimate potential yields and yield gaps for irrigated wheat using the CERES-Wheat model, and other limiting and reducing factors in the main wheat growing regions of Kermanshah province.

Materials and Methods: The study was conducted at 3 locations in Kermanshah province, which is located in west of Iran. Historical weather data for 1999 to 2016 were obtained from the Iran Meteorological Organization for the 3 locations. The weather data included daily solar radiation (MJ m^{-2} d^{-1}), daily maximum and minimum temperatures (˚C), and daily rainfall (mm). The CERES-Wheat model was calibrated for Pishgam cultivar of wheat and validated for a main wheat growing regain to estimate yield gaps in some locations of Kermanshah province in west Iran. In order to calibrate and validation of the model, in another study, leaf area index, phenological growth stages, total dry weight yield and grain yield were used. The validated model was used to simulate long-term yield under three management conditions (potential, water-limited, nitrogen-limited). The experiments were conducted in the Campus of Agriculture and Natural Resources Field at Razi University, Kermanshah, Iran (34◦19′N, 47◦50′E, altitude 1320 m) on soil classified as Inceptisol typic during 2014-2015 and 2015-2016. The treatments were included 4 levels of nitrogen fertilizer application (90, 180, 300 and 360 kg ha^{-1} urea).

Results and Discussion: The simulation results indicated that averaged simulated potential yield was 8.9 t ha^{-1}, while water and nitrogen limitation yields were 8.0 and 7.1 t ha^{-1}, indicating 10.3% and 20.2% reduction in wheat yield, respectively. The potential yields changed spatially due to changes in temperature and solar radiation. The average actual yield was 5.5 t ha^{-1} which was 3.4, 2.7 and 1.8 t ha^{-1} less than potential, water limitation and nitrogen limitation yields, respectively. There was fairly large gap between the actual and the potential yields (about 3.4 t ha^{-1}). When averaged over years, total yield gap obtained for Kermanshah was 2.7 t ha^{-1}, for Kangavar was 3.7 t ha^{-1}, and for Ravansar was 3.8 t ha^{-1}. Across locations, contribution of yield gap from water limitation was 26%, for nitrogen limitation was 51.3% and for other limiting and reducing factors was 22.7%.

Conclusion: It can be concluded that the management timing of nitrogen application might reduce yield gap across locations. On the other hand, improved irrigation methods might lead to improved actual yield through preventing of the water and nitrogen leaching which it can reduce the total yield

gap. In this study, only the role of water and nitrogen limitation was evaluated. The data collected from questionnaires showed that the yield gap of wheat was affected by the unsuitable of crop management practices, including optimum planting date, and pest and weed management that were not studied in the simulations.

Keywords: CERES-Wheat model, Nitrogen limitation, Potential yield, Water limitation