



ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش فصل رشد گندم دیم در استان کردستان

مجتبی شکوهی^{۱*}

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۴/۲۴

چکیده

گرمایش جهانی الگوی دما و بارش را دستخوش تغییر کرده و بر تولید محصولات زراعی از جمله گندم دیم اثر گذار خواهد بود. در این پژوهش با روش‌های تحلیل همبستگی و تحلیل کای اسکور تکرارشونده، ارتباط عملکرد گندم دیم در منطقه کردستان (در ایستگاه‌های سقز، سنندج، بیجار و زرینه اوباتو) با متغیرهای دمایی و بارش تعیین و سپس چشم‌انداز عملکرد تحت یک سناریوهای واداشت تابشی ارزیابی گردید. به این منظور خروجی روزانه هفت مدل انتخابی CMIP5 تحت سناریوی RCP8.5 برای دوره زمانی ۲۰۴۵ الی ۲۰۶۵ اخذ و با روش خطای نگاشت هم فاصله تابع توزیع تجمعی (EDCDFm) تصحیح شدند. نتایج نشان داد، بارش در اوایل کاشت و طی مرحله گل‌دهی، و دمای حداکثر پیش از شروع دوره رکود زمستانه گیاه و طی مرحله گل‌دهی، و همچنین دمای حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه تأثیرگذارترین عوامل بر عملکرد محصول هستند. پیش‌نگری‌ها نشان داد افزایش دمای بیشینه در ماه‌های نوامبر، دسامبر، آوریل و مه، موجب کاهش محصول خواهد شد، در حالیکه با افزایش دمای بیشینه و کمینه ماه‌های ژانویه و فوریه شرایط برای تولید مطلوب تر خواهد بود. پیش‌نگری تغییرات بارش نشان داد با کاهش بارش ماه‌های آوریل و مه، شرایط رطوبتی جهت تولید نامناسب است، در حالیکه افزایش بارش ماه نوامبر می‌تواند شرایط رطوبتی در اوایل کاشت، و در نتیجه میزان عملکرد محصول را بهبود دهد.

واژه‌های کلیدی: تصحیح اربیی، سناریو، گندم، EDCDFm، مدل‌های CMIP5

مقدمه

(Sanchez, 2000; 2003). با وجود عدم قطعیت‌ها در مورد ارتباط گرمایش جهانی و تغییرپذیری اقلیم (Huntingford et al., 2013)، گرمایش اخیر جهانی به طور قابل توجهی الگوی توزیع تغییرات دمایی (Gourdji et al., 2013;) و بارش (Rahmstorf and Coumou, 2011) را دستخوش تغییر کرده است. این تغییر الگوها بر محیط تولید محصولات زراعی از جمله گندم اثرگذار خواهد بود. تا سال ۲۰۳۰ مناطق کشت گندم در جهان که با خطر وقوع دماهایی بسیار بالا طی مراحل حساس رشد و نموی تهدید می‌شوند به دو برابر افزایش می‌یابد و تا سال ۲۰۵۰ نواحی در معرض خطر به سه برابر افزایش خواهد یافت (Gourdji et al., 2013). محصول گندم غذای غالب ایرانیان (Yazdanshenas et al., 2011) به ویژه به شکل نان است و به عنوان یک محصول راهبردی و تأثیرگذار بر امنیت غذایی حائز اهمیت است. طبق آخرین آمارنامه وزارت جهاد کشاورزی در سال زراعی ۱۳۹۵-۹۶، مقدار تولید گندم آبی و دیم کشور به ترتیب ۸/۹ و ۳/۵ میلیون تن بوده است که استان کردستان با تولید

تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلفی از جامعه تأثیر می‌گذارد که از بین آن‌ها اثر تغییر اقلیم بر امنیت آبی و غذایی بسیار حائز اهمیت است (Wang et al., 2013). کمبود آب و مواد غذایی بزرگترین مشکل در سطح جهانی بوده که با شدت بیش‌تری مناطق خشک و نیمه خشک را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Misra, 2014). علاوه بر این‌ها افزایش جمعیت به بیش از ۹ میلیارد نفر تا سال ۲۰۵۰ از یک طرف و کاهش زمین‌های کشاورزی از طرف دیگر، تأمین امنیت غذایی برای این رشد جمعیت را در آینده نزدیک با چالش روبه رو ساخته است (Altinsoy et al., 2013). بنابراین برای سیاست‌گذاران و دانشمندان، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی و منابع آب به عنوان یک موضوع مهم دارای اهمیت ویژه‌ای است (Fuhrer, 2013).

^۱ دانش‌آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

(*نویسنده مسئول: mojtabashokohi@gmail.com)

محصول در نواحی سردتر باشد مثل کانادا که عملکرد ذرت و گندم بهار به ترتیب تا ۶۴ و ۵۷ درصد نسبت به سال دهه ۱۹۸۰ افزایش می‌یابد (Qian et al., 2013). در اثر تغییر اقلیم پیش‌بینی می‌شود در جنوب آفریقا تولید محصولات ۱۱- تا ۱۴ درصد تغییر کند (Zinyengere et al., 2013) و در جنوب استرالیا عملکرد گندم ۱۳/۵ تا ۳۲ درصد کاهش یابد (Luo et al., 2005) و در دشت‌های شمالی چین تولید گندم تا ۹/۸ درصد افزایش یابد (Zhang et al., 2004). این درحالی است تغییرات اقلیمی اخیر در روسیه تأثیر معنی‌داری بر عملکرد محصول گندم زمستانه نداشته (Licker et al., 2013). بنابراین می‌توان گفت اثر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول گندم در مناطق مختلف متفاوت است و ممکن است به نفع یا ضرر آن باشد و نیاز است اثر تغییر اقلیم بر شرایط آگروکلیمایی در هر منطقه به دقت بررسی شود تا بتوان سیاست‌های سازگاری و کاهش اثرات تغییر اقلیم را متناسب با هر منطقه برنامه‌ریزی نمود. هر گونه تغییر در شرایط اقلیمی به ویژه در مراحل حساس رشد و نمو محصولات منتج به کاهش شدید عملکرد می‌شود (Bannayan et al., 2010). پاسخ گیاه گندم به شرایط نامساعد اقلیمی (تنش رطوبتی و گرمایی) بسته به مراحل رشد نمودی متفاوت بوده و می‌تواند عملکرد محصول گندم را تحت تأثیر قرار دهد (McMaster and Wilhelm, 2003). دماهای بسیار پایین $17/2^{\circ}C$ - در زمستان (Porter and Gawith, 1999)، و دماهای کم‌تر از $1^{\circ}C$ - پس از پایان زمستان و شروع دوباره فصل رشد در مرحله به سنبله رفتن به شدت به گیاه صدمه می‌زند (Bergjord et al., 2008). مرحله گل‌دهی حساس‌ترین مرحله نمودی گیاه به تنش گرمایی (Sinclair and Jamieson, 2006) است که وقوع دماهای بین $27^{\circ}C$ تا $31^{\circ}C$ کمی قبل از شروع گل‌دهی و در طی دوره گل‌دهی عملکرد دانه را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد (Wheeler et al., 1996)، و حتی تداوم یک دوره با دماهای بسیار بالا تقریباً منجر به از دست رفتن کل عملکرد می‌شود (Porter and Semenov, 2005). دمای بیش ۳۱ درجه سانتی‌گراد در مدت کوتاهی پس از مرحله گل‌دهی و $35^{\circ}C$ در طول پر شدن و رسیدن دانه منجر به کاهش فتوسنتز خالص و عملکرد محصول می‌شود (Porter and Gawith, 1999; Tashiro and Wardlaw, 1989). در مرحله رسیدن دانه افزایش دمای شبانه (دمای حداقل)

۵۱۸۰۰۰ تن گندم دیم بعد از استان گلستان در رتبه دوم تولید گندم دیم در کشور قرار دارد. استان کردستان یکی از مناطق عمده تولید گندم دیم در ایران است که در اکثر سال‌ها مقام اول تولید گندم دیم را به خود اختصاص می‌دهد. لذا تغییر اقلیم می‌تواند بر تولید گندم دیم در این استان مؤثر بوده و در نتیجه امنیت غذایی را تحت تأثیر قرار داده و تبعات اجتماعی و امنیتی به دنبال داشته باشد. مطالعات ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصول کشاورزی یا از روش‌های آماری استفاده کرده و از نتایج پاسخ محصول به تغییرات اقلیمی گذشته به عنوان عاملی برای پیش‌بینی عملکرد محصول در آینده استفاده می‌نمایند (Egli, 2008; Lobell and Burke, 2010; Malone et al., 2009; Tao et al., 2006) یا این که از خروجی مدل‌های اقلیمی (GCM) در مدل‌های شبیه‌سازی زراعی استفاده می‌کنند (Daccache et al., 2011; Lobell and Asseng, 2017; Lv et al., 2013). اما از طرفی مدل‌های شبیه‌سازی محصول نیاز به داده‌های ورودی زیادی دارند (داده‌های خاک، آب و هوا، مشخصات وارسته و شیوه‌های مدیریت زراعی) (Angulo et al., 2013) و برای یک محیط همگن (یک سایت) طراحی شده و مناسب برای تحلیل‌ها در مقیاس مزرعه هستند (Hartkamp et al., 2001; Priya and Shibasaki, 1999). بنابراین استفاده آن‌ها در نواحی بزرگ مانند مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم به علت تغییرات داده‌های ورودی و ناهمگنی در منطقه با مشکل رو به رو است و سبب خطا در شبیه‌سازی‌های زراعی می‌شود (Hansen and Jones, 2000; Lal et al., 2011; Wang et al., 1993). بنابراین در این مطالعه با استفاده از روش‌های آماری، ارتباط عملکرد محصول با متغیرهای دمایی و بارش تعیین شده و سپس از آن به عنوان عاملی برای پیش‌بینی تغییرات عملکرد محصول تحت پیش‌نگری‌های اقلیمی آینده استفاده شد. واکنش محصول به عوامل اقلیمی به شدت وابسته به شرایط محیطی گیاه است (Kersebaum et al., 2005; Wassenaar et al., 1999). شرایط اقلیمی آینده ممکن است در برخی مناطق مطلوب گیاه باشد. یا این که تنش آبی و افزایش دما می‌تواند عملکرد محصول را در مناطقی که در حال حاضر در شرایط مطلوبی قرار دارند به سمت نامطلوب شدن پیش برد (Ortiz et al., 2008; Smith et al., 2013). روند گرمایی اقلیم ممکن است به نفع تولید

شد و در تحلیل‌ها مورد استفاده قرار گرفت. عملکرد محصول از ۷۷۳ کیلوگرم بر هکتار در ایستگاه بیجار تا ۸۲۸ کیلوگرم بر هکتار در ایستگاه سقز متغیر است (جدول ۱).

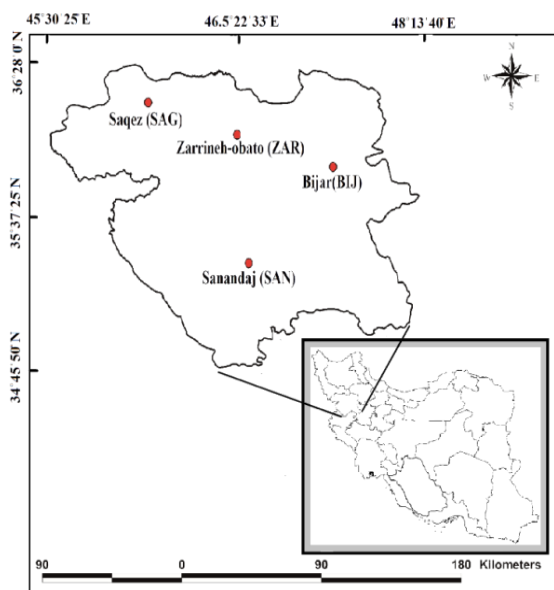


Figure 1- Overview of the location of the stations and study areas

شکل ۱- نمایی کلی از موقعیت مکانی ایستگاه‌ها و منطقه مورد مطالعه

یکی از مسائل حائز اهمیت در مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم، انتخاب مدل‌های گردش عمومی GCM^۱ متناسب با منطقه هست (Shokouhi et al., 2018). بنابراین از هفت مدل GCM پیشنهادی (جدول ۲) از مجموع مدل‌های CMIP5 برای منطقه مورد مطالعه استفاده شد (Shokouhi et al., 2018). برای اطلاع از جزئیات بیشتر انتخاب مدل‌های انتخابی به مطالعه Shokouhi et al., (2018) مراجعه شود. استفاده از مدل‌های انتخابی برای منطقه مورد مطالعه می‌تواند عدم قطعیت در پیش‌نگری‌های اقلیمی را تا حد ممکن کاهش دهد (Shokouhi et al., 2018). داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی مورد نظر از وب سایت مرکز توزیع داده (DDC)^۲ هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)^۳ تحت سناریوی RCP8.5 (به عنوان بدبینانه‌ترین سناریو در افزایش غلظت دی اکسید کربن و دما) و برای دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ فراهم گردید.

سبب افزایش میزان تنفس نگهداری گیاه شده و منجر به کاهش تولید بیوماس و عملکرد محصول می‌شود (Rosenzweig and Tubiello, 1996; Ryan, 1991). رطوبت بسیار شدید خاک بین مرحله کاشت تا پایان پنجه‌زنی سبب کاهش تعداد پنجه در بوته، ارتفاع بوته و عملکرد دانه می‌شود (Malik et al., 2002). از طرفی عدم رطوبت مناسب جهت پنجه‌زنی در اوایل کاشت سبب می‌شود گیاه فرصت کافی برای پنجه‌زنی قبل از شروع زمستان نداشته باشد و نتواند در برابر سرماهای شدید مقاومت کرده و در نتیجه سبب کاهش عملکرد می‌شود (Yau et al., 2011). از طرفی بارش‌های سنگین طی مرحله گل‌دهی تا رسیدن دانه خطر وقوع پدیده ورس را افزایش داده (Gent and Kiyomoto, 1997) که این خود سبب کاهش کمیت و کیفیت دانه شده و منتج به کاهش عملکرد می‌شود (Berry et al., 2003). حال این سوال مطرح می‌شود که در اثر تغییر اقلیم شرایط نامساعد آب و هوایی ذکر شده چگونه تغییر خواهد نمود و شرایط دمایی و بارش در آینده به نفع یا ضرر تولید گندم در استان کردستان است. بنابراین هدف اصلی این تحقیق ارزیابی این است که آیا تحت پیش‌نگری‌های اقلیمی آینده تغییر شرایط دمایی و بارش در استان کردستان به نفع تولید محصول گندم هستند یا به ضرر آن. در این راستا در ابتدا ارتباط عملکرد محصول با شرایط دمایی و بارش در دوره پایه ارزیابی شده و سپس تغییرات این شرایط در آینده بررسی می‌شود. با مطالعه اثر تغییر اقلیم بر تولید محصول کشاورزی، می‌توان آثار سوء این پدیده را شناخت و در نتیجه سیاست‌های سازگاری مناسب‌تری اتخاذ نمود.

مواد و روش‌ها

تمرکز این مطالعه بر روی استان کردستان است که طبق آمار و اطلاعات وزارت جهاد کشاورزی به عنوان یک استان مهم در تولید گندم دیم شناخته می‌شود (شکل ۱). داده‌های روزانه متغیرهای اقلیمی دمایی حداکثر، دمای حداقل و بارش در این استان، برای ۴ ایستگاه سینوپتیک (جدول ۱ و شکل ۱) از سازمان هواشناسی کشور فراهم گردید. مشخصات اقلیمی، جغرافیایی و موقعیت مکانی این ایستگاه‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ آورده شده است. داده‌های عملکرد محصول گندم دیم طی سال‌های ۱۹۹۰-۲۰۱۳ برای مناطق مورد مطالعه از وزارت جهاد کشاورزی تهیه

^۱ General Circulation Model

^۲ Data Distribution Centre (DDC) http://www.ipcc-data.org/sim/gcm_monthly/AR5/Reference-Archive.html

^۳ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

Table 1- Geographical, agronomic and climatic characteristics for each station

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی، زراعی و اقلیمی برای هر ایستگاه

Station name	Established year	Longitude (°E)	Latitude (°N)	Average yield (Kg ha ⁻¹)	Average precipitation (mm)	Average temperature (°C)
Saqez (SAG)	1961	46.27	36.25	828	487	11.2
Sanandaj (SAN)	1959	47.00	35.33	812	450	13.6
Bijar (BIJ)	1987	47.62	35.88	773	340	11.1
Zarrineh-obato (ZAR)	1989	46.92	36.07	810	395	7.9

Table 2- Seven selected CMIP5 models, experiments and ensemble members, used in this study

جدول ۲- هفت مدل انتخابی CMIP5 و گروه‌های هر مدل استفاده شده

Model Name	Research Centre	Horizontal Resolution (latitude × longitude)	Experiments and Ensemble Members
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques, France	1.401×1.406	hist. r[1-10]i1p1, RCP26 r1i1p1, RCP85 r[1,2,4,6,10]i1p1
CSIRO-Mk3-6-0	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization/Queensland Climate Change Centre of Excellence Australia	1.865×1.875	r[1-10]i1p1
EC-EARTH	European Earth System Model, Netherlands/Ireland	1.121×1.125	hist. r[1,2,6,7,8,9,12,13,14]i1p1, RCP26 r[8,12]i1p1, RCP85 r[1,2,6,8,9,11,12,13]i1p1
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre, UK	1.25×1.875	r[1-4]i1p1
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre Simon Laplace, Paris, France	1.268×2.5	hist. r[1-3]i1p1, RCP26 & RCP85 r1i1p1
MIROC5	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (JAMSTEC), Atmosphere and Ocean Research Institute, The University of Tokyo, and National Institute for Environmental Studies, Japan	1.401×1.406	hist. r[1-5]i1p1, RCP26 & RCP85 r[1-3]i1p1
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology, Germany	1.865×1.875	r[1-3]i1p1

جدول ۳ آورده شده است. رابطه بین عملکرد محصول و متغیرهای اقلیمی تعریف شده، توسط ضریب همبستگی (r) و P-value به عنوان معیاری از معناداری ارزیابی شد. برای شناسایی و تبیین ارتباط سری داده‌های عملکرد محصول گندم دیم با متغیرهای روزانه دمایی و بارش، در دوره‌های مختلف رشد و نمو از روش کای‌اسکور تکرارشونده^۲ (χ^۲) استفاده شد. با استفاده از این روش می‌توان روابط علت و معلولی را تعیین و ارتباط عملکرد محصول و عوامل آب و هوایی را نشان داد (Caprio and Quamme, 2006). روش کای‌اسکور تکرارشونده اولین بار توسط (Caprio, 1966) توسعه یافت و از آن زمان به بعد برای محصولات گوناگون در مناطق مختلف به کارگرفته شد (Bannayan and Sanjani, 2011; Kutcher et al., 2010; Shokouhi and Sanaei nejad, 2014). داده‌های عملکرد محصول در سری روندزدایی شده بر حسب کم به زیاد رتبه‌بندی شده و بالاترین و پایین‌ترین چارک به ترتیب در گروه سال‌هایی با

برای هر یک از گروه‌ها و اعضای مدل‌های GCM (جدول ۲) روش تصحیح خطای نگاشت هم فاصله تابع توزیع تجمعی^۱ (EDCDFm) برای هر متغیر اقلیمی در هر منطقه اعمال شد و سپس متوسط تمام گروه‌های هر مدل به عنوان خروجی آن مدل برای آن متغیر اقلیمی لحاظ شد (Shokouhi et al., 2018). شایان ذکر است، داده‌های اقلیمی در اجرای مدل‌های CMIP5 تا پایان سال ۲۰۰۵ میلادی به عنوان دوره تاریخی (یا دوره پایه) و از اول ژانویه ۲۰۰۶ تا ۳۱ دسامبر ۲۱۰۰ میلادی برای سناریوهای انتشار آینده در نظر گرفته شده است. برای اطلاع بیشتر از چگونگی روش تصحیح خطا و انتخاب هفت مدل انتخابی به مطالعه (Shokouhi et al., 2018) مراجعه شود. به منظور تعیین ارتباط عملکرد محصول با دما و بارش در دوره پایه، از دمای حداکثر، دمای حداقل و بارش ماهانه، متغیرهای ماهانه اقلیمی تعریف شد (برای هر ماه)، این متغیرها در

² Iterative Chi-square

¹ Equidistant Cumulative Distribution Function matching (EDCDFm)

داده در الگوی دمایی و بارش نسبت به دوره پایه، اثر این گونه تغییرات بر عملکرد محصول ارزیابی می‌شود.

نتایج و بحث

ضریب همبستگی (r) بین عملکرد محصول گندم دیم با متغیرهای اقلیمی تعریف شده بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل در جدول ۳ آورده شده است. همبستگی تقریباً تمام متغیرهای تعریف شده بارش با عملکرد محصول در تمام ایستگاه‌ها مثبت است (جدول ۳). بیش‌ترین مقدار همبستگی بین عملکرد محصول و متغیرهای بارش، برای ایستگاه‌های سقز، زرینه اوباتو، بیجار و سنندج به ترتیب مربوط به متغیرهای بارش ماه اکتبر (Pr_Oct)، بارش ماه نوامبر (Pr_Nov)، بارش ماه می (Pr_May) و بارش ماه آوریل (Pr_Apr) است (جدول ۳). به طور کلی می‌توان گفت در تمام ایستگاه‌ها در بین متغیرهای بارش، بارش ماه‌های، مه (Pr_May)، آوریل (Pr_Apr)، اکتبر (Pr_Oct) و نوامبر (Pr_Nov) دارای بیش‌ترین همبستگی با عملکرد محصول هستند (جدول ۳). در تمام ایستگاه‌ها بارش ماه‌های فصل زمستان (ژانویه، فوریه و مارس) ارتباط معنادار و قابل توجهی با عملکرد محصول ندارد (جدول ۳). نوع ارتباط عملکرد محصول گندم دیم با دمای حداکثر، بسته به ماه مورد نظر در ایستگاه‌ها متفاوت است (جدول ۳). در تمام ایستگاه‌ها عملکرد محصول ارتباط مستقیمی با دمای حداکثر ماه‌های ژانویه (Tmax_Jan) و فوریه (Tmax_Feb) دارد در حالی که در سایر ماه‌ها (به جز ماه اکتبر که رابطه قابل توجه و معناداری وجود ندارد) این ارتباط معکوس است (جدول ۳). در بین متغیرهای اقلیمی دمای حداکثر، متغیرهای دمای حداکثر ماه آوریل (Tmax_Apr) و دمای حداکثر ماه نوامبر (Tmax_Nov) دارای بیش‌ترین تعداد همبستگی معنادار و قابل توجه هستند. این همبستگی‌ها در همه ایستگاه‌ها، نشان دهنده رابطه عکس عملکرد محصول با دمای حداکثر هستند (جدول ۳). نوع ارتباط عملکرد محصول گندم دیم با دمای حداقل، بسته به ایستگاه و ماه متفاوت است. البته تعداد همبستگی‌های معنی‌دار بین عملکرد محصول گندم دیم با متغیرهای اقلیمی دمای حداقل، نسبت به متغیرهای اقلیمی دمای حداکثر و بارش کم‌تر است (جدول ۳). در ماه‌های ژانویه (Tmin_Jan) و فوریه (Tmin_Feb) دارای

عملکرد بالا و پایین، و مابقی سال‌ها که نیمی از آن‌ها را شامل می‌شود به عنوان سال‌هایی با عملکرد نرمال لحاظ شد. قدم بعدی طبقه‌بندی متغیرهای دمای حداکثر و حداقل در طبقات با فاصله 5°C (Bannayan and Sanjani, 2011) و بارندگی در طبقات با فاصله 0.2 میلی‌متر (Kutcher et al., 2010) می‌باشد. در مرحله بعد جداول فراوانی تجمعی طبقات مختلف متغیرها، برای تمام روزهای یک پنجره متحرک سه هفتگی (یک هفته به جلو) در هر یک از گروه‌های عملکردی تشکیل شد و در نهایت مقادیر χ^2 برای گروه‌های عملکردی بالا و پایین طبق معادله ۱ برای هر طبقه از متغیرها تولید شد (Caprio, 1966).

$$\chi^2_i = \frac{(O_{yi} - T_{yi})^2}{T_{yi}} + \frac{(O_{ni} - T_{ni})^2}{T_{ni}} \quad (1)$$

که در آن O_{yi} و O_{ni} به ترتیب نشان‌دهنده مقایر مشاهده شده برای سال‌های با عملکرد پایین (یا بالا) و سال‌های با عملکرد نرمال در نام طبقه متغیر و T_{yi} و T_{ni} به ترتیب نشان‌دهنده مقایر مورد انتظار برای سال‌های با عملکرد پایین (یا بالا) و سال‌های با عملکرد نرمال در نام طبقه متغیر است. طبقه متغیری که مقدار χ^2 برای آن به حداکثر خود برسد، به عنوان مقدار آستانه آن متغیر تعریف شد (Kutcher et al., 2010). حداقل مقدار χ^2 برای معنی‌داری در درجه آزادی ۱ و سطح ۱ درصد برابر مقادیر بیش‌تر مساوی از ۷ و یا مقادیر کم‌تر مساوی از ۷- است، و دوره‌ای معنادار لحاظ شد که حداقل برای دو هفته مقدار χ^2 در این محدوده قرار گیرد (Caprio, 1966). در سال‌های با عملکرد بالا یا پایین چنانچه برای یک مقدار آستانه، تعداد روزها بیش‌تر از تعداد روزهای مورد انتظار باشد، χ^2 مثبت و در غیر این صورت منفی لحاظ شد. تعداد روزهای بیش‌تر (χ^2 مثبت) به این معنی است که برای یک مقدار آستانه معین، تعداد روزها در سال‌های با عملکرد بالا یا پایین نسبت به شرایط مورد انتظار آن طبقه متغیر بیش‌تر است. روزهای کم‌تر (χ^2 منفی) به این معنی است که برای یک مقدار آستانه معین، تعداد روزها در سال‌های با عملکرد بالا یا پایین نسبت به شرایط مورد انتظار آن طبقه متغیر کم‌تر است. برای آشنایی بیش‌تر از جزئیات تحلیل کای اسکور تکرار شونده به (Caprio, 1966; Caprio and Quamme, 1999) مراجعه کنید. در این مطالعه دمای شبانه اشاره به دمای حداقل روزانه دارد. در نهایت با توجه پیش‌نگری‌های اقلیمی متوسط هفت مدل انتخابی و بررسی تغییرات روی

سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه و فوریه نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده‌اند (شکل ۲). در حالی که در ایستگاه سقز برای سال‌های با عملکرد بالا، تعداد روزهای کم‌تری با دماهای حداقل $T_{min} < -13$ درجه سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه و فوریه نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده‌اند (شکل ۲). نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد عملکرد محصول با دمای حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه رابطه مستقیمی داشته و نسبت به سایر ماه‌ها از همبستگی بالاتری در تمام ایستگاه‌ها برخوردار است (جدول ۳). علاوه بر این نتایج تحلیل χ^2 نشان داد در سال‌های با عملکرد پایین، در ایستگاه‌های سقز، بیجار و سنندج به ترتیب تعداد روزهای کم‌تری با دماهای حداکثر $T_{max} > 8$ ، $T_{max} > 5$ ، $T_{max} > 12$ درجه سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه تا اوایل فوریه نسبت به سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده‌اند (شکل ۲).

همبستگی‌های مثبت، قابل توجه و معنادار، در بین ایستگاه‌ها هستند (جدول ۳). در حالی که در تمام ایستگاه‌ها عملکرد محصول با دمای حداقل ماه ژوئن (T_{min_Jun}) رابطه معکوسی دارند (جدول ۳). در ادامه با انجام تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده χ^2 به صورت روزانه می‌توان با جزئیات بیش‌تری ارتباط عملکرد محصول با بارش و دما را طی مراحل مختلف دوره رشد و نمو توصیف نمود. از این رو بحث این قسمت در ادامه به همراه نتایج و بحث تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده ارائه می‌شود. تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده رابطه سال‌های با عملکرد پایین و بالا را نسبت به دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه در طی مراحل مختلف رشد و نمو محصول در مناطق مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۲). نتایج تحلیل χ^2 نشان داد در سال‌های با عملکرد پایین، تعداد روزهای بیش‌تری با دماهای حداقل بسیار پایین در ایستگاه‌های زرینه اوباتو $T_{min} < -15$ ، بیجار $T_{min} < -13$ و سنندج $T_{min} < -8$ درجه

Table 3- Correlation analysis of annual product yield with monthly climatic variables of precipitation, maximum temperature and minimum temperature

جدول ۳- تحلیل همبستگی عملکرد سالانه محصول با متغیرهای ماهانه اقلیمی تعریف شده بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل

Station	Correlation Coefficient (r) for Precipitation (Pr) variables								
	Pr_Oct ¹	Pr_Nov	Pr_Dec	Pr_Jan	Pr_Feb	Pr_Mar	Pr_Apr	Pr_May	Pr_Jun
SAG	0.4*	0.34	0.15	0.05	0.16	0.02	0.38	0.26	0.25
ZAR	0.34	0.38	0.26	0.11	0.24	0.15	0.5**	0.7**	0.22
BIJ	0.35	0.44*	0.12	-0.11	-0.09	0	0.37	0.46*	0.16
SAN	0.32	0.37	0.22	0.09	0.19	0.29	0.39	0.31	0.11
Correlation Coefficient (r) for Maximum temperature (Tmax) variables									
	Tmax_Oct	Tmax_Nov	Tmax_Dec	Tmax_Jan	Tmax_Feb	Tmax_Mar	Tmax_Apr	Tmax_May	Tmax_Jun
SAG	0.05	-0.63**	-0.34	0.26	0.16	-0.06	-0.42*	-0.21	-0.03
ZAR	0.02	-0.62**	-0.29	0.36	0.19	-0.11	-0.57**	-0.61**	-0.02
BIJ	0.14	-0.55**	-0.31	0.32	0.26	0.1	-0.33	-0.23	-0.01
SAN	0.08	-0.6**	-0.17	0.27	0.23	0.08	-0.29	-0.13	0.11
Correlation Coefficient (r) for Minimum temperature (Tmin) variables									
	Tmin_Oct	Tmin_Nov	Tmin_Dec	Tmin_Jan	Tmin_Feb	Tmin_Mar	Tmin_Apr	Tmin_May	Tmin_Jun
SAG	0.29	0.17	-0.13	0.38	0.31	0.1	0.09	0.07	-0.22
ZAR	0.11	-0.27	-0.19	0.48*	0.34	0.07	-0.34	0.16	-0.38
BIJ	0.34	-0.36	-0.23	0.4*	0.36	0.12	-0.15	-0.21	-0.05
SAN	0.33	0.28	0.12	0.39	0.49*	0.26	0.18	0.3	-0.12

* و **: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال ۰/۰۵ و ۰/۰۱ است.

۱- منظور از متغیر Pr_Oct یعنی مقدار بارش ماه اکتبر. به همین ترتیب برای سایر ماه‌ها و دمای حداکثر و حداقل

* and ** significant at $p \leq 0.05$ and $p \leq 0.01$, respectively

1- The Pr_Oct variable means the amount of precipitation in October. So for the other months and the maximum and minimum temperatures

سال‌های با عملکرد نرمال رخ داده است (شکل ۲). نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد عملکرد محصول با دمای حداکثر ماه‌های ژانویه و فوریه رابطه مستقیمی دارد (جدول

در ایستگاه زرینه اوباتو در سال‌های با عملکرد بالا، تعداد روزهای بیش‌تری با دماهای حداکثر $T_{max} > 8$ درجه سانتی‌گراد طی ماه‌های ژانویه تا اوایل فوریه نسبت به

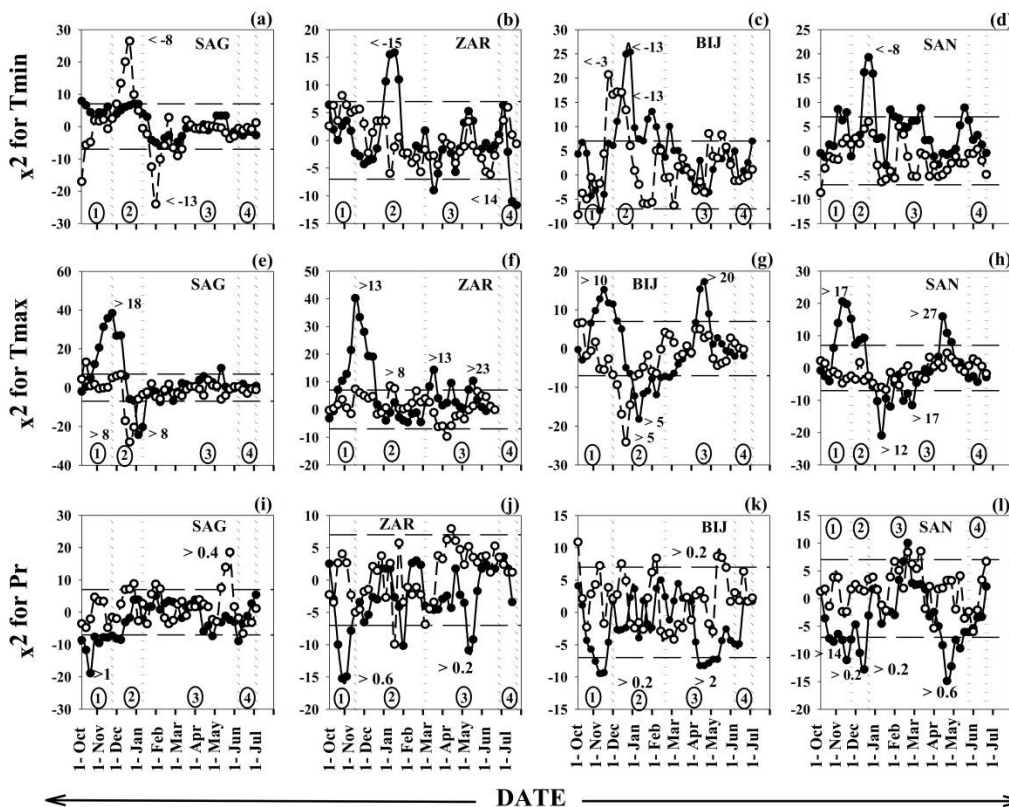


Figure 2- The results of iterative Chi-square χ^2 for, (a) - (d) the minimum temperature (T_{min} °C), (e) - (h) maximum temperature (T_{max} °C) and (i) - (l) precipitation (Pr mm) at each station. The horizontal dashed lines [- -] in each graph indicates the minimum value for the χ^2 significant at 1% level (at least for two consecutive weeks). The threshold values χ^2 are shown on each graph. Vertical dotted lines [:] in each graph separator plant phenology which involves stages, planting stage, germination and tillering stage, stem elongation and anthesis stage and ripening stage which indicated by numbers 1, 2, 3 and 4 respectively in each graph. High yield years: (○—); Low yield years: (●—).

شکل ۲- نتایج تحلیل کای اسکور تکرارشونده χ^2 برای، (a) - (d) دمای حداقل (T_{min} °C)، (e) - (h) دمای حداکثر (T_{max} °C) و (i) - (l) بارش (Pr mm) در هر ایستگاه. خطوط منقطع افقی در هر نمودار [- -] نشان دهنده حداقل مقدار χ^2 برای معنی داری در سطح یک درصد است (حداقل برای دو هفته متوالی). مقادیر آستانه χ^2 بر روی هر نمودار نشان داده شده است. خطوط نقطه چین عمودی در هر نمودار [:] تفکیک کننده مراحل فنولوژی گیاه است که شامل مراحل، مرحله کاشت، مرحله جوانه و پنجه زنی، مرحله توسعه ساقه و گل دهی و مرحله رسیدن است که حدود آن ها به ترتیب با شماره های ۱، ۲، ۳ و ۴ در هر نمودار مشخص شده است. سال های با عملکرد پایین (●—) و سال های با عملکرد بالا (○—).

محصول تأثیرگذار است. تحقیقات نشان داد عدم رطوبت کافی در زمان کاشت و گل دهی شدیداً بر عملکرد تأثیر می گذارد و بنابراین تک آبیاری در زمان کاشت و یک آبیاری در زمان گل دهی سبب افزایش چشمگیر عملکرد جو دیم می شود (Tavakoli, 2012). مطالعات دیگر نیز نشان داد که بارندگی ماه های فروردین و اردیبهشت بیشترین تأثیر را بر عملکرد گندم دیم در استان همدان دارد (Sabziparvar et al., 2013).

در حالی که برای سال های با عملکرد بالا، طی مراحل توسعه ساقه و گل دهی، ایستگاه سقز دارای روزهای بیشتری با بارش $Pr > 0.4$ میلی متر است (شکل ۲). نتایج تحلیل همبستگی نیز نشان داد، در تمام ایستگاه ها، عملکرد محصول با بارش ماه های آوریل و مه دارای همبستگی مثبت، قابل توجه و معنادار است (جدول ۳). این نشان می دهد علاوه بر بارش در اوایل کاشت، بارش در مرحله توسعه ساقه و به ویژه مرحله گل دهی نیز بر عملکرد

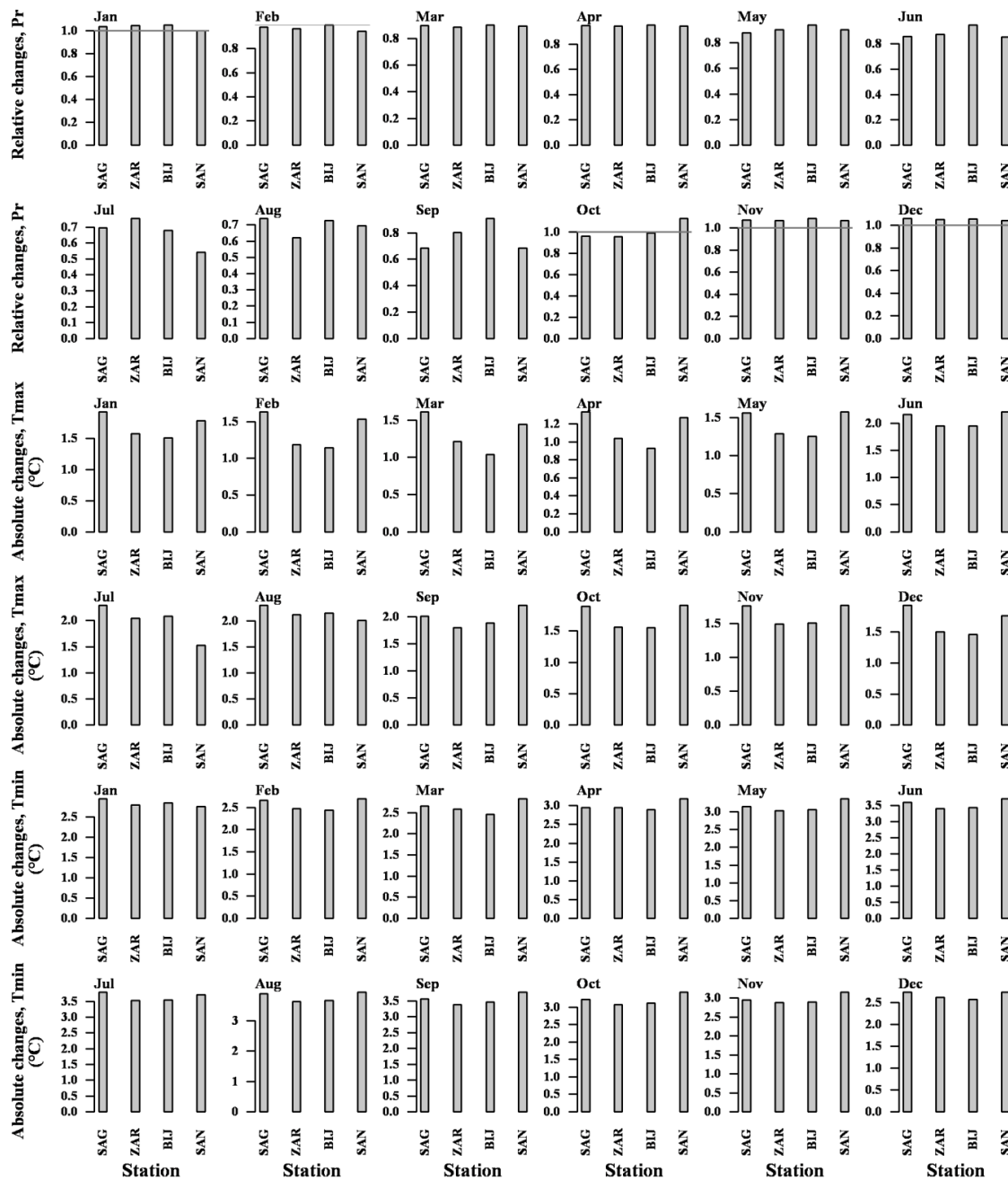


Figure 3- The relative changes in monthly precipitation (the ratio of the amount of precipitation in the future to the base period), the absolute changes in the maximum monthly temperature (Tmax), and the absolute change in the minimum monthly temperature (Tmin) for each station, under the RCP8.5 scenario and for the average seven selected models in the period 2045-2065 relative to the base period

شکل ۳- تغییرات نسبی بارش ماهانه (نسبت مقادیر بارش در آینده به دوره پایه) (Pr)، تغییرات مطلق دمای حداکثر ماهانه (T_{max}) و تغییرات مطلق دمای حداقل ماهانه (T_{min}) برای هر ایستگاه، تحت سناریوی RCP8.5 و برای متوسط هفت مدل انتخابی در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه

مرحله گل‌دهی (طی ماه آوریل تا اوایل ماه مه) و دمای حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه از جمله مهم‌ترین و تأثیرگذارترین عوامل آب و هوایی بر عملکرد محصول در تمام ایستگاه‌ها هستند. حال با توجه به نتایج تحلیل ۲٪ می‌توان علت بالاتر بودن متوسط عملکرد محصول در سقز نسبت به سایر مناطق را بیان نمود. آن‌چنان که در شکل ۲

در نهایت با توجه به نتایج تحلیل همبستگی و تحلیل کای‌اسکور تکرارشونده ۲٪، در کل می‌توان گفت بارش در ابتدای مراحل کاشت محصول (طی ماه‌های اکتبر و نوامبر) به همراه بارش طی مرحله گل‌دهی (طی ماه آوریل تا اوایل ماه مه) و دمای حداکثر پیش از شروع زمستان‌گذرانی گیاه (طی ماه نوامبر تا اوایل دسامبر) و دمای حداکثر طی

نسبت به دوره پایه، برای متوسط تمام ایستگاه‌ها از ۲/۶ درجه سانتی‌گراد برای ماه فوریه تا ۳/۸ درجه سانتی‌گراد برای ماه اوت متغیر خواهد بود (شکل ۳). این نشان می‌دهد که متوسط افزایش دمای حداقل برای تمام ایستگاه‌ها نسبت به دمای حداکثر، ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بیش‌تر است. این افزایش دمای حداقل می‌تواند خطر سرمازدگی و وقوع دماهای بسیار پایین را در زمستان کاهش دهد. با در نظر گرفتن نتایج تحلیل همبستگی و تحلیل کای‌اسکور تکرارنشده و ارزیابی ارتباط عملکرد محصول با متغیرهای اقلیمی بارش ماهانه، دمای حداکثر ماهانه و دمای حداقل ماهانه حال می‌توان با توجه به پیش‌نگری تغییرات این متغیرها، در نهایت با ارزیابی کارشناسی اثر این تغییرات را بر عملکرد محصول تعیین نمود. اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش ماهانه، دمای حداکثر ماهانه و دمای حداقل ماهانه بر عملکرد محصول گندم در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه تحت سناریوهای RCP8.5 برای هر ایستگاه در شکل ۴ نشان داده شده است.

مشخص است، در مرحله گل‌دهی (طی ماه آوریل تا اوایل ماه مه) بارش و دمای حداکثر در ایستگاه سقر نسبت به سایر ایستگاه‌ها در شرایط مطلوب‌تری بوده است. پیش‌نگری تغییرات نسبی بارش ماهانه و تغییرات مطلق دمای حداکثر و حداقل ماهانه برای هر ایستگاه تحت سناریوی RCP8.5 برای متوسط هفت مدل انتخابی در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان داد متوسط بارش ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه در تمام ایستگاه‌ها نسبت به دوره پایه کم و بیش افزایش و در سایر ماه‌ها (به جز ایستگاه سنندج در ماه اکتبر) کاهش می‌یابد (شکل ۳). نتایج نشان داد در همه ایستگاه‌ها متوسط دمای حداکثر و حداقل ماهانه در تمام ماه‌ها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد (شکل ۳). مقدار افزایش دمای حداکثر ماهانه نسبت به دوره پایه، برای متوسط تمام ایستگاه‌ها از ۱/۱ درجه سانتی‌گراد برای ماه آوریل تا ۲/۲ درجه سانتی‌گراد برای ماه اوت متغیر خواهد بود (شکل ۳). این در حالی است که مقدار افزایش دمای حداقل ماهانه

Station	Climatic indicators																	
	Pr						Tmax						Tmin					
	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar
Sagez (SAG)	Green	Green	Gray	Gray	Gray	Gray	Red	Red	Red	Green	Green	Gray	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Zarrineh-obato (ZAR)	Green	Green	Gray	Gray	Gray	Gray	Red	Red	Red	Green	Green	Gray	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Bijar (BIJ)	Green	Green	Gray	Gray	Gray	Gray	Red	Red	Red	Green	Green	Gray	Green	Green	Green	Green	Green	Green
Sanandaj (SAN)	Green	Green	Green	Gray	Gray	Gray	Red	Red	Red	Green	Green	Gray	Green	Green	Green	Green	Green	Green

Figure 4- The effect of monthly precipitation (Pr), maximum monthly temperature (Tmax) and minimum monthly temperature (Tmin) changes on the yield of rainfed wheat at each station under the RCP8.5 scenario. Green, red and gray colors indicate favorable, unfavorable and unchanging weather conditions to wheat production in the period 2045-2045 compared to the base period, respectively

شکل ۴- اثر تغییرات بارش ماهانه (Pr)، دمای حداکثر ماهانه (Tmax) و دمای حداقل ماهانه (Tmin)، تحت سناریوی RCP8.5 بر عملکرد محصول گندم در هر ایستگاه. رنگ سبز، قرمز و خاکستری به ترتیب نشان دهنده بهتر شدن، بدتر شدن و عدم تغییر شرایط آب و هوایی، جهت تولید محصول در دوره ۲۰۴۵-۲۰۶۵ نسبت به دوره پایه است

در تمام ایستگاه‌ها به ضرر تولید محصول خواهد بود (شکل ۴). البته افزایش دمای حداکثر و حداقل ماه‌های ژانویه و فوریه می‌تواند در تمام ایستگاه‌ها به نفع تولید محصول باشد (شکل ۴). پیش‌نگری تغییرات بارش نشان داد در تمام ایستگاه‌ها بارش ماه‌های آوریل و مه کاهش خواهد یافت و شرایط رطوبتی را به ضرر تولید محصول پیش خواهد برد (شکل ۴). در حالی که افزایش بارش ماه نوامبر در تمام ایستگاه‌ها، می‌تواند شرایط رطوبتی در اوایل کاشت محصول را بهبود داده و شرایط را به نفع تولید محصول پیش برد (شکل ۴).

چنانچه تغییرات متغیرهای اقلیمی در جهت بهبود عملکرد محصول باشد، اثر آن متغیر اقلیمی با رنگ سبز، و در غیر این صورت با رنگ قرمز در شکل ۴ نشان داده می‌شود. چنانچه اثر تغییرات متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول تغییری نکند و یا ارتباط معناداری بین متغیرهای اقلیمی و عملکرد محصول در دوره پایه برقرار نباشد، اثر تغییرات این گونه تغییرات متغیرهای اقلیمی در شکل ۴ با رنگ خاکستری مشخص شده است. با توجه به نکات بیان شده می‌توان گفت که با افزایش دمای حداکثر ماه‌های نوامبر، دسامبر، آوریل و مه در دهه‌های آتی، شرایط دمایی

در جهت مطلوب‌تر شدن شرایط آب و هوایی و در جهت تولید محصول و برخی دیگر شرایط را نامطلوب نموده و به ضرر تولید محصول پیش خواهد رفت. بنابراین به طور قطع نمی‌توان گفت شرایط آب و هوایی طی دوره رشد و نمو محصول در اثر تغییر اقلیم به نفع یا ضرر تولید محصول خواهد بود. بنابراین لازم است از جنبه‌های دیگر نیز اثر تغییرات اقلیمی بر شرایط آب و هوایی تولید محصول بررسی شود. به عنوان مثال اثر تغییر اقلیم بر ریسک وقوع رخداد‌های وخیم اقلیمی (وقوع دماهای بسیار بالا در مرحله گل‌دهی، تنش‌های گرمایی شدید در مرحله پرشدن دانه، توزیع نامناسب بارش‌ها که منجر به خشکسالی یا سیل می‌شود و غیره) که بر عملکرد محصول تأثیر منفی دارند، طی دوره رشد نیز بررسی شوند. با مطالعه تغییر اقلیم و بررسی اثرات آن بر روی تولید محصول، می‌توان آثار سوء این پدیده را شناخت. با کمی کردن اثرات تغییر اقلیم بر محصول در هر منطقه می‌توان سیاست‌های سازگاری مناسب‌تری مثل توسعه رقم‌های جدید یا شیوه‌های مدیریت زراعی متناسب با هر منطقه را توسعه داد.

منابع

- Altinsoy, H., Kurt, C., Kurnaz, M. L. 2013. Analysis of the Effect of Climate Change on the Yield of Crops in Turkey Using a Statistical Approach, in: Helmig, C.G., Nastos, P.T. (Eds.), *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics SE - 53*, Springer Atmospheric Sciences. Springer Berlin Heidelberg, pp. 379-384.
- Angulo, C., Rötter, R., Lock, R., Enders, A., Fronzek, S., Ewert, F. 2013. Implication of crop model calibration strategies for assessing regional impacts of climate change in Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 170: 32-46.
- Azizi, H., Nezami, A., Nassiri Mahallati, M., Khazaie, H. R. 2007. Evaluation of cold tolerance in wheat (*Triticum Aestivum* L.) cultivars under controlled conditions. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 5(1): 109-120. (In Farsi)
- Bannayan, M., Sanjani, S., 2011. Weather conditions associated with irrigated crops in an arid and semi arid environment. *Agricultural and forest meteorology*, 151(12): 1589-1598.
- Bannayan, M., Sanjani, S., Alizadeh, A.,

نتیجه‌گیری

بی‌تردید عملکرد محصول گندم در اثر تغییرات اقلیمی (دمای هوا و بارش) به عنوان دو متغیر مهم اقلیمی تأثیرات قابل توجهی بر تغییرات عملکرد محصول دارند) بر عملکرد محصول گندم در استان کردستان به عنوان یکی از مهم‌ترین مناطق تولید گندم در ایران ارزیابی شد. به منظور انجام این ارزیابی از نتایج پاسخ محصول به متغیرهای اقلیمی دما و بارش در گذشته به عنوان عاملی برای ارزیابی عملکرد محصول در آینده استفاده شد. تحلیل همبستگی به همراه تحلیل کای اسکور تکرار شونده، دوره‌های تأثیرگذار عوامل دمایی و بارشی را در طی دوره رشد و نمو محصول به خوبی شناسایی کردند. نتایج این تحلیل‌ها نشان داد بارش در ابتدای مراحل کاشت محصول و طی مرحله گل‌دهی به همراه دمای حداکثر پیش از شروع زمستان‌گذرانی گیاه و طی مرحله گل‌دهی از جمله تأثیرگذارترین عوامل بر عملکرد محصول در تمام ایستگاه‌ها هستند. پیش‌نگری تغییرات بارش ماهانه، دمای حداکثر و حداقل ماهانه نشان داد، برخی از این تغییرات

- Lotfabadi, S. S., Mohamadian, A. 2010. Association between climate indices, aridity index, and rainfed crop yield in northeast of Iran. *Field Crops Research*, 118(2): 105-114.
- Bergjord, A. K., Bonesmo, H., Skjelvåg, A. O. 2008. Modelling the course of frost tolerance in winter wheat: I. Model development. *European journal of agronomy*, 28(3): 321-330.
- Berry, P. M., Sterling, M., Baker, C. J., Spink, J., Sparkes, D. L. 2003. A calibrated model of wheat lodging compared with field measurements. *Agricultural and Forest Meteorology*, 119(3): 167-180.
- Caprio, J. 1966. A statistical procedure for determining the association between weather and non-measurement biological data. *Agricultural Meteorology*, 3(1): 55-72.
- Caprio, J. M., Quamme, H. A. 1999. Weather conditions associated with apple production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian Journal of Plant Science*, 79(1): 129-137.
- Caprio, J. M., Quamme, H. A. 2006. Influence of weather on apricot, peach and sweet cherry production in the Okanagan Valley of British Columbia. *Canadian journal of plant science* 86(1): 259-267.
- Daccache, A., Weatherhead, E. K., Stalham, M. A., Knox, J. W. 2011. Impacts of climate change

- on irrigated potato production in a humid climate. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(12): 1641–1653.
- Egli, D.B., 2008. Soybean yield trends from 1972 to 2003 in mid-western USA. *Field Crops Research*, 106(1): 53–59.
- Fuhrer, J. 2003. Agroecosystem responses to combinations of elevated CO₂, ozone, and global climate change. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 97(1–3): 1–20.
- Gent, M. P. N., Kiyomoto, R. K. 1997. Physiological and agronomic consequences of Rht genes in wheat. *Journal of crop production*, 1(1): 27–46.
- Gourdji, S. M., Sibley, A. M., Lobell, D. B. 2013. Global crop exposure to critical high temperatures in the reproductive period: historical trends and future projections. *Environmental Research Letters*, 8(2): 24041.
- Hansen, J. W., Jones, J. W. 2000. Scaling-up crop models for climate variability applications. *Agricultural Systems*, 65(1): 43–72.
- Hartkamp, A. D., White, J. W., Hoogenboom, G. 1999. Interfacing Geographic Information Systems with Agronomic Modeling: A Review Presented at Annu. Meet. ASA, 89th, Anaheim, CA, 26–31 Oct. 1997.
- Huntingford, C., Jones, P. D., Livina, V. N., Lenton, T. M., Cox, P. M. 2013. No increase in global temperature variability despite changing regional patterns. *Nature*, 500(7462): 327–330.
- Jenner, C.F., 1994. Starch synthesis in the kernel of wheat under high temperature conditions. *Functional Plant Biology* 21(6), 791–806.
- Kersebaum, K. C., Lorenz, K., Reuter, H. I., Schwarz, J., Wegehenkel, M., Wendroth, O. 2005. Operational use of agro meteorological data and GIS to derive site specific nitrogen fertilizer recommendations based on the simulation of soil and crop growth processes. *Physics and Chemistry of the Earth*, 30(1-3): 59–67.
- Kroebel, R., Li, C., Qian, B., Worth, D. E., McConkey, B. G., Drury, C. F. 2013. Assessing the effects of climate change on crop production and GHG emissions in Canada. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 179(0): 139–150.
- Kutcher, H. R., Warland, J. S., Brandt, S. A. 2010. Temperature and precipitation effects on canola yields in Saskatchewan, Canada. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(2): 161–165.
- Lal, H., Hoogenboom, G., Calixte, J. P., Jones, J. W., Beinroth, F. H. 1993. Using crop simulation models and GIS for regional productivity analysis. *Transactions-American Society Of Agricultural Engineers*, 36 (1): 175–184.
- Licker, R., Kucharik, C. J., Doré, T., Lindeman, M. J., Makowski, D. 2013. Climatic impacts on winter wheat yields in Picardy, France and Rostov, Russia: 1973–2010. *Agricultural and Forest Meteorology*, 176(0): 25–37.
- Liu, C., Allen, R. P. 2013. Observed and simulated precipitation responses in wet and dry regions 1850–2100. *Environmental Research Letters* 8(3): 34002, [doi:10.1088/1748-9326/8/3/034002](https://doi.org/10.1088/1748-9326/8/3/034002).
- Lobell, D. B., Asseng, S. 2017. Comparing estimates of climate change impacts from process-based and statistical crop models. *Environmental Research Letters*, 12(1): 15001, [doi:10.1088/1748-9326/015001](https://doi.org/10.1088/1748-9326/015001).
- Lobell, D. B., Burke, M. B. 2010. On the use of statistical models to predict crop yield responses to climate change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150(11): 1443–1452.
- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., Bryan, B. 2005. Potential impact of climate change on wheat yield in South Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 132(3-4): 273–285.
- Lv, Z., Liu, X., Cao, W., Zhu, Y. 2013. Climate change impacts on regional winter wheat production in main wheat production regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 171–172: 234–248.
- Malik, A. I., Colmer, T. D., Lambers, H., Setter, T. L., Schortemeyer, M. 2002. Short-term waterlogging has long-term effects on the growth and physiology of wheat. *New Phytologist*, 153(2): 225–236.
- Malone, R. W., Meek, D. W., Hatfield, J. L., Mann, M. E., Jaquis, R. J., Ma, L. 2009. Quasi-biennial corn yield cycles in Iowa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(6–7): 1087–1094.
- McCaig, T. N., 1997. Temperature and precipitation effects on durum wheat grown in southern Saskatchewan for fifty years. *Canadian journal of plant science*, 77(2): 215–223.
- McMaster, G., Wilhelm, W. 2003. Phenological responses of wheat and barley to water and temperature: improving simulation models. *The Journal of Agricultural Science*, 141(2): 129–147.
- Misra, A. K. 2014. Climate change and challenges of water and food security. *International Journal of Sustainable Built Environment*, 3(1): 153–165.
- Ortiz, R., Sayre, K. D., Govaerts, B., Gupta, R., Subbarao, G. V., Ban, T., Hodson, D., Dixon, J.M., Iván Ortiz-Monasterio, J., Reynolds, M.

2008. Climate change: Can wheat beat the heat? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 126(1-2): 46-58.
- Porter, J. R., Gawith, M. 1999. Temperatures and the growth and development of wheat: a review. *European Journal of Agronomy*, 10(1): 23-36.
- Porter, J.R., Semenov, M.A., 2005. Crop responses to climatic variation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 360(1463): 2021-2035.
- Priya, S., Shibasaki, R. 2001. National spatial crop yield simulation using GIS-based crop production model. *Ecological Modelling*, 136(2-3): 113-129.
- Qian, B., De Jong, R., Gameda, S., Huffman, T., Neilsen, D., Desjardins, R., Wang, H., McConkey, B. 2013. Impact of climate change scenarios on Canadian agroclimatic indices. *Canadian Journal of Soil Science*, 93(2): 243-259.
- Rahmstorf, S., Coumou, D. 2011. Increase of extreme events in a warming world. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(44): 17905-17909.
- Rosenzweig, C., Tubiello, F.N. 1996. Effects of changes in minimum and maximum temperature on wheat yields in the central US A simulation study. *Agricultural and Forest Meteorology*, 80(2-4): 215-230.
- Ryan, M.G. 1991. Effects of climate change on plant respiration. *Ecological Applications*, 1(2): 157-167.
- Sabziparvar, A. A., Torkaman, M., Maryanaji, Z. 2013. Investigating the Effect of Agroclimatic Indices and Variables on Optimum Wheat Performance (Case study: Hamedan Province). *Journal of Water and Soil*, 26(6): 1554-1567. (In Farsi)
- Sanchez, P.A. 2000. Linking climate change research with food security and poverty reduction in the tropics. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 82(1-3): 371-383.
- Shokouhi, M., Sanaei Nejad, S. 2014. Determination of Weather Conditions Associated With the Production of Rainfed Barley Crop (Case Study: East Azerbaijan). *Journal of Agroecology*, 6(3): 634-644. (In Farsi)
- Shokouhi, M., Sanaei Nejad, S., Bannayan Aval, M. 2018. Evaluation of Simulations of Precipitation and Temperature from CMIP5 Climate Models in Regional Climate Change Studies (Case Study: Major Rainfed Wheat-Production Areas in Iran). *Journal of Water and Soil*, 32(5): 1013-1027. (In Farsi)
- Sinclair, T. R., Jamieson, P. D. 2006. Grain number, wheat yield, and bottling beer: An analysis. *Field Crops Research*, 98(1), 60-67.
- Slafer, G. A. 2003. Genetic basis of yield as viewed from a crop physiologist's perspective. *Annals of Applied Biology*, 142(2): 117-128.
- Tao, F., Yokozawa, M., Xu, Y., Hayashi, Y., Zhang, Z. 2006. Climate changes and trends in phenology and yields of field crops in China, 1981-2000. *Agricultural and Forest Meteorology*, 138(1-4): 82-92.
- Tashiro, T., Wardlaw, I. A. N. F. 1989. A Comparison of the Effect of High Temperature on Grain Development in Wheat and Rice. *Annals of Botany*, 64(1): 59-65.
- Tavakoli, A. R. 2012. Single irrigation and sowing date for rainfed barley in Maragheh region and estimation of production functions. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 13(2): 39-56. (In Farsi)
- Ugarte, C., Calderini, D. F., Slafer, G. A. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre-anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research*, 100(2-3): 240-48.
- Wang, J., Huang, J., Yan, T. 2013. Impacts of Climate Change on Water and Agricultural Production in Ten Large River Basins in China. *Journal of Integrative Agriculture*, 12(7): 1267-1278.
- Wang, M., Li, Y., Ye, W., JF, B., Yan, X. 2011. Effects of climate change on maize production, and potential adaptation measures: a case study in Jilin Province, China. *Climate Research*, 46(3): 223-242.
- Wardlaw, I. F., Sofield, I., Cartwright, P. M. 1980. Factors limiting the rate of dry matter accumulation in the grain of wheat grown at high temperature. *Functional Plant Biology*, 7(4): 387-400.
- Wassenaar, T., Lagacherie, P., Legros, J. P., Rounsevell, M. D. A. 1999. Modelling wheat yield responses to soil and climate variability at the regional scale. *Climate Research*, 11(3): 209-220.
- Wheeler, T. R., Hong, T. D., Ellis, R. H., Batts, G. R., Morison, J. I. L., Hadley, P. 1996. The duration and rate of grain growth, and harvest index, of wheat (*Triticum aestivum* L.) in response to temperature and CO₂. *Journal of Experimental Botany*, 47(5): 623-630.
- Yau, S. K., Nimah, M., Farran, M. 2011. Early sowing and irrigation to increase barley yields and water use efficiency in Mediterranean conditions. *Agricultural Water Management*, 98(12): 1776-1781.
- Yazdanshenas, L., Moghadasi, R., Yazdani, S. 2011. A Model for the Wheat Market in Iran. *International Journal of Agricultural Science and Research*, 2(2): 49-55.

Zhang, Y., Kendy, E., Qiang, Y., Changming, L., Yanjun, S., Hongyong, S. 2004. Effect of soil water deficit on evapotranspiration, crop yield, and water use efficiency in the North China Plain. *Agricultural Water Management*, 64(2): 107–122.

Zinyengere, N., Crespo, O., Hachigonta, S. 2013. Crop response to climate change in southern Africa: A comprehensive review. *Global and Planetary Change*, 111: 118–126.



Evaluation of the impact of climate change on temperature and precipitation of rainfed wheat production in Kurdistan province

M. Shokouhi^{1*}

Received: 13/04/2019

Accepted: 15/07/2019

Abstract

Global warming has changed the pattern of temperature and precipitation distribution and will affect the production of crops such as rainfed wheat. In current study, by using correlation analysis and Iterative Chi-square analysis the wheat yield's relationship with temperature and precipitation variables (in Saez, Sanandaj, Bijar, and Zarrine obato Stations) was determined, and used to project the crop yield under climate change scenarios. The daily outputs of seven selected CMIP5 models under RCP8.5 scenario for the period 2045 to 2065 were used and corrected by Equidistant Cumulative Distribution Function matching (EDCDFm) method. The results showed that precipitation at the time of planting and during the flowering stage, the maximum temperature just before winter dormancy stage and during the flowering, the minimum temperature of January and February months are the most significant factors affecting the crop yield. The projected climatic conditions showed that the maximum temperature rise in November, December, April, and May will be unfavorable for crop production. Increased both maximum and minimum temperatures of months of January and February may provide more favorable conditions. Also, the projection of precipitation indicated that decreased rainfall of April and May, would lead to unfavorable moisture conditions. Unlike, increased precipitation in November could improve the moisture conditions at the time of sowing which favors greater yield.

Keywords: Biase correction, CMIP5 Models, EDCDFm, Scenario, Wheat



¹ Ph.D. graduate of Agricultural Meteorology, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

(*Corresponding author's Email Address: mojtabashokouhi@gmail.com)

DOI: 10.22125/agmj.2019.178256.1062