

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هفتم، شماره ۱۷، پاییز ۱۳۹۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۰

صفحات: ۱۹۴ - ۱۷۵

## ریسک تولید گندم پاییزه متأثر از وقوع شرایط حدی اقلیمی ناشی از تغییر اقلیم (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)

مریم عرفانیان<sup>۱</sup>، حسین انصاری<sup>۲\*</sup>، امین علیزاده<sup>۳</sup>، محمد بنایان اول<sup>۴</sup>

### چکیده

این تحقیق با هدف شناسایی شاخص‌های حدی موثر بر عملکرد گندم آبی در استان خراسان رضوی در دوره‌های گذشته و آینده صورت گرفته است. بدین منظور از داده‌های روزانه دمای حداقل، حداکثر و بارش در ۲۰ ایستگاه همدیدی و تبخیرسنجی استان خراسان رضوی با دوره آماری ۱۹۸۲-۲۰۱۱ استفاده شده است. همچنین از داده‌های روزانه پروژه CORDEX در دوره ۲۰۵۰-۲۰۲۱ با دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 جهت دوره آینده بهره گرفته شده است. مقادیر عملکرد در دوره‌های فوق با مدل واسنجی و ارزیابی شده AquaCrop شبیه‌سازی شده است. مقدار متوسط عملکرد در دوره گذشته ۳/۷۹ تن در هکتار و در دوره آینده با سناریو ۲/۶ و ۸/۵ به ترتیب برابر با ۴/۸۸ و ۵/۲۴ تن در هکتار به دست آمده است. علت افزایش مقدار محصول در شرایط تغییر اقلیم آینده مربوط به افزایش دما و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌باشد. نتایج تحلیل‌های رگرسیونی شاخص‌های حدی موثر نشان می‌دهد که در هر دو دوره، شاخص‌های حدی موثر از جنس دما بوده و شاخص‌های حدی بارشی به عنوان شاخص حدی موثر شناخته نشده‌اند. بر اساس احتمال وقوع و میزان خسارت‌زایی شاخص‌های حدی کاهنده عملکرد، مقدار ریسک تولید در نقاط مختلف محاسبه شده و پهنه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در مناطق شمالی و مرکزی ریسک زیاد تا متوسط و در نقاط جنوبی ریسک تولید کم مشاهده می‌شود. درصد مساحت نواحی با ریسک کم و خیلی کم در دوره‌های آینده کاسته شده و بر درصد مساحت نواحی با ریسک متوسط تا خیلی زیاد افزوده می‌شود. این امر نشان‌دهنده آن است که با وجود بیشتر شدن عملکرد در آینده، از مساحت مناطق با قابلیت کشت گندم با میزان ریسک کم از لحاظ وقوع شاخص‌های حدی آسیب‌زا کاسته خواهد شد.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، ریسک، شاخص حدی اقلیمی، گندم، AquaCrop.

m\_erfanian82@yahoo.com

ansariran@gmail.com

<sup>۱</sup>- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۲</sup>- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (نویسنده مسئول)

<sup>۳</sup>- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>۴</sup>- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

## مقدمه

انتشار گازهای گلخانه‌ای در نتیجه‌ی رشد شهرنشینی و صنعتی‌شدن، موجب گرمایش جهانی و متعاقب آن تغییر اقلیم جهانی شده است (گوهری و همکاران، ۲۰۱۳). در تحقیقات گذشته در خصوص تغییر اقلیم، توجه محققان بیشتر به سمت بررسی میانگین دما و بارش دوره معطوف بوده است (کاپریو و همکاران، ۲۰۰۹)، اما در سال‌های اخیر توجه ایشان بیشتر به سمت بررسی شاخص‌های حدی جلب شده است که دلیل این امر نیز مربوط به خسارت‌های زیاد اقتصادی، انسانی و اجتماعی این پدیده‌ها می‌باشد (کاتنبرگ و جیورجی، ۲۰۰۱). امروزه حتی ثابت شده است که تغییر در شدت و فراوانی وقایع حدی به مراتب اثر مخرب‌تری نسبت به تغییر در متوسط حالت اقلیمی بر روی سلامت انسان‌ها، واحدهای اجتماعی و سیستم‌های طبیعی خواهد داشت (کاتز و براون، ۲۰۰۴).

بنابراین می‌بایست در یک نگاه منطقی به اقلیم و تغییرات آن علاوه بر مقادیر میانگین، مقادیر حدی و تغییرپذیری عناصر مهم آن مثل بارش و دما مورد توجه قرار گیرد. این امر به ویژه در بخش‌های منابع آب و کشاورزی، که به طور مستقیم متاثر از این پدیده‌ها هستند، بسیار لازم و ضروری می‌نماید.

طبق گزارش ویژه هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم برای مدیریت ریسک وقایع حدی برای مواجهه با تغییر اقلیم، یک رویداد حدی (هواشناسی یا اقلیم‌شناسی) به عنوان وقوع میزانی از متغیرهای هواشناسی بالاتر (یا پائین‌تر) از یک میزان آستانه نزدیک به حد بالایی (یا پائینی) دامنه مقادیر مشاهده شده آن متغیر تعریف شده است (IPCC، ۲۰۱۲).

بر روی شاخص‌های حدی مطالعات مختلفی در سراسر دنیا انجام شده است که در زیر به چند نمونه از آنها اشاره می‌شود. زانگزینگ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات ۱۲ شاخص حدی دمایی و ۱۱ شاخص حدی بارشی در ۱۱۰ ایستگاه هواشناسی در جنوب غرب چین در دوره ۲۰۰۸-۱۹۶۱ پرداختند. ایشان نتیجه گرفتند که دمای شب‌های گرم و سرد، فراوانی روزهایی بسیار گرم و بسیار سرد و طول فصل رشد افزایش معنی‌دار داشته است. اختلاف دمای شب و روز و تعداد روزهای یخبندان کاهش معنادار داشته، ولی کاهش تعداد روزهای یخی معنی‌دار نبوده است. تغییرات مقادیر حدی بارش نسبتاً کوچک بوده و تنها در بعضی مناطق شاهد افزایش تعداد روزهای بارانی متوالی، روزهای بسیار مرطوب و بیشترین بارش یک‌روزه بوده‌اند.

لوپزدیاز و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی شاخص‌های حدی دمایی در منطقه‌ای در مکزیک در دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۲ با استفاده از روش روند خطی ساده پرداختند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که شاخص‌های مربوط به دمای حداکثر دارای تغییرات بیشتری بوده‌اند و تعداد روزهای تابستانی افزایش و روزهای سرد کاهش یافته است. همچنین تعداد روزهای یخبندان نیز دارای روند افزایشی بوده است.

تقوی و محمدی (۲۰۰۸) به منظور بررسی عوامل اقلیمی در بیابان‌زایی منطقه کاشان با استفاده از تحلیل روند زمانی شاخص‌های حدی پرداختند. نتایج نشان دهنده روند قابل ملاحظه در شاخص‌های حدی در دهه ۲۰۰۴-۱۹۹۵ و روند منفی در شاخص‌های سرمایایی بوده است. همچنین فراوانی شاخص‌های حدی گرمایی افزایش و فراوانی شاخص‌های حدی سرمایایی کاهش نشان داده است.

علیچانی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی به بررسی تغییرپذیری فرین‌های دما در دهه‌های اخیر در ایران با استفاده از ۶۰ سری داده روزانه دما در ۲۰۰۶-۱۹۶۱ با استفاده از ۱۸ شاخص حدی پرداختند. برای تشخیص تغییرپذیری روندها، آزمون من-کندال و مدل رگرسیون خطی و برای تعیین خودهمبستگی خطاهای رگرسیون آزمون دوربین-واتسون به کارگیری شده است. شاخص‌های میانگین حداقل دما، میانگین حداکثر دما، شب‌های گرم، شب‌های گرمسیری و تداوم دوره‌های گرم روند افزایشی در کل کشور و شاخص‌های محدوده دمای روزانه (DTR) و تداوم دوره‌های سرد در بیشتر نقاط کشور روند کاهشی نشان داده است. به طور کلی طول فصل رویش و روزهای گرم، در بیشتر نقاط در حال افزایش و شب‌های سرد با کاهش همراه است. روندهای حاکی از سردشدگی بیشتر در منطقه زاگرس جنوبی و به ویژه ایستگاه شهرکرد دیده می‌شود. در نهایت نتیجه‌گیری شده است که دما در بیشتر مناطق کشور در حال افزایش است و مقدار این افزایش در مناطق مرکزی که دارای آب و هوای خشک و نیمه‌خشک هستند، از شدت بیشتری برخوردار است.

مسعودیان و دارند (۱۳۹۱) جهت تحلیل زمانی-مکانی روند روزهای فرین سرد ایران از داده‌های روزانه ۶۶۳ ایستگاه همدیدی و اقلیمی در سالهای ۸۲-۱۳۴۰ استفاده کردند. نتایج نشان داد که گستره روند منفی رخداد تعداد روزهای فرین سرد بیشتر از گستره روند مثبت است. روند مثبت تعداد روزهای فرین سرد بر روی ناهمواری‌های مرتفع شهرکرد، سنندج، زنجان تا اردبیل و به صورت نوار باریکی بر روی رشته کوه البرز قرار گرفته در حالی که روند منفی رخداد تعداد روزهای فرین سرد نیمه مرکزی و جنوبی کشور را در بر دارد.

عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی شاخص‌های حدی بارشی در سه ایستگاه مشهد، سبزوار و تربت حیدریه در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ به این نتیجه رسیدند که به‌طور کلی مقدار بارش سالانه و نیز تعداد روزهای بارانی کاهش یافته است، اما در ایستگاه سبزوار با وجود کاهش تعداد روزهای بارانی، مقدار بارش سالانه افزایش یافته است. همچنین در بررسی شاخص‌های مربوط به دما، مشخص شد که به‌طور کلی در منطقه مورد مطالعه تعداد روزهای یخبندان، روزهای یخی و وقوع دوره‌های سرد کاهش یافته و بالعکس تعداد روزهای آفتابی، شب‌های حاره‌ای و نیز طول دوره گرم افزایش یافته است. این امر حاکی از آن است که به‌طور کلی در منطقه، دما دارای روند افزایشی بوده است.

مطالعات انجام شده در رابطه با گرمایش جهانی نشان می‌دهد که مقادیر حدی پارامترهای اقلیمی و شرایط آب و هوایی نامطلوب، نوسانات دمای روزانه، و نیز فراوانی و تعداد رویدادهای حدی اقلیمی نیز افزایش یافته است (صداقت کردار و رحیم زاده، ۱۳۸۶). منابع آب و کشاورزی از مهم‌ترین بخش‌های اقتصادی هستند که بطور مستقیم متأثر از حوادث حدی بوده و انحراف و تغییرات آنها از مقادیر نرمال‌های گذشته، می‌تواند بر روی تعداد قابل ملاحظه‌ای از نیازهای بشری، از جمله کیفیت و کمیت محصولات زراعی و دامی تولید شده تأثیر به‌سزایی داشته باشد. لذا در این زمینه، می‌بایست بررسی‌های بیشتری صورت گیرد تا ابعاد موضوع بهتر شناخته شده و راهکارهای مدیریتی مناسبی اخذ شود. این مقاله به منظور انجام تحقیق کاربردی بر روی شاخص‌های حدی و بررسی تأثیر آنها بر روی میزان محصول استراتژیک گندم در استان خراسان رضوی بوده است. همچنین با توجه به تغییرات اقلیمی پیش رو، این

بررسی‌ها در دوره آینده نیز صورت گرفته است تا بتوان از نحوه تغییرات محصول گندم، که یکی از محصولات مهم کشاورزی در استان خراسان رضوی به شمار می‌رود، در دوره‌های آینده دیدی کلی به دست آورد.

### داده‌ها و روش‌ها

در مقاله حاضر، تعیین و محاسبه شاخص‌های حدی هواشناسی و بررسی اثرات آنها بر مقدار محصول گندم در استان خراسان رضوی مد نظر بوده است. لذا از یک سو، آمار و اطلاعات هواشناسی و از سوی دیگر اطلاعات گیاهی می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد.

شاخص‌های حدی اقلیمی مورد استفاده طبق تعریف پترسون و همکاران (۲۰۰۱) به صورت جدول ۱ می‌باشد. جهت محاسبه این شاخص‌ها برنامه‌ای در محیط نرم افزار Excel نوشته شده است تا بتواند مقادیر هر یک از این شاخص‌ها به صورت روزانه محاسبه گردد.

جدول ۱: مشخصات شاخص‌های حدی هواشناسی منبع: پترسون و همکاران، ۲۰۰۱

ردیف	نام شاخص	نماد	تعریف	واحد
۱	روزهای یخبندان	FD	تعداد روزهای با دمای حداقل کوچکتر از صفر	روز
۲	روزهای تابستانی	SU	تعداد روزهای با دمای حداکثر بزرگتر از ۲۵ درجه	روز
۳	روزهای یخی	ID	تعداد روزهای با دمای حداکثر کمتر از صفر	روز
۴	شب‌های حاره‌ای	TR	تعداد روزهای با دمای حداقل بزرگتر از ۲۰ درجه	روز
۵	شب‌های سرد	TN10p	درصد روزهای با دمای حداقل کمتر از صدک دهم دوره‌ی پایه استاندارد (۱۹۹۰-۱۹۶۱)٪	درصد
۶	شب‌های گرم	TN90p	درصد روزهای با دمای حداقل بزرگتر از صدک نودم دوره‌ی پایه استاندارد (۱۹۹۰-۱۹۶۱)	درصد
۷	روزهای سرد	TX10p	درصد روزهای با دمای حداکثر کمتر از صدک دهم دوره‌ی پایه استاندارد (۱۹۹۰-۱۹۶۱)	درصد
۸	روزهای گرم	TX90p	درصد روزهای با دمای حداکثر بزرگتر از صدک نودم دوره‌ی پایه استاندارد (۱۹۹۰-۱۹۶۱)	درصد
۹	دامنه دمای شبانه روز	DTR	اختلاف بین دمای حداکثر و حداقل ماهانه	درجه سانتی‌گراد
۱۰	حداکثر بارش یک روزه	RX1day	حداکثر بارش یک روزه در ماه	میلیمتر
۱۱	شاخص شدت بارش	SDII	بارش سالانه تقسیم بر تعداد روزهای مرطوب (با بارش بیشتر یا مساوی ۱ میلیمتر)	میلیمتر در روز
۱۲	تعداد روز با بارش سنگین	R10mm	تعداد روز با بارش بزرگتر یا مساوی ۱۰ میلیمتر	روز
۱۳	تعداد روز با بارش سنگین	R20mm	تعداد روز با بارش بزرگتر یا مساوی ۲۰ میلیمتر	روز
۱۴	روز خیلی مرطوب	R95p TOT	مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیش از صدک ۹۵ ام	میلیمتر
۱۵	روزهای فوق العاده مرطوب	R99p TOT	مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیش از صدک ۹۹ ام	میلیمتر

\* جهت محاسبه شاخص‌های حدی که بر اساس آستانه صدک‌ها تعریف شده است می‌بایست دوره استاندارد ۹۰-۱۹۶۱ مبنای تعیین صدک‌ها قرار گیرد. لکن از آنجایی که در این تحقیق اکثر ایستگاه‌ها از سال ۱۹۶۱ آمار نداشتند مبنای دوره سی ساله پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به اینکه بعضی از شاخص‌ها می‌توانند بر اساس آستانه‌های مد نظر محقق و با توجه به شرایط محلی تعریف شوند (پترسون و همکاران، ۲۰۰۱)، لذا علاوه بر شاخص‌های قبلی محاسبه شده، شاخص‌های دمایی نیز برای آستانه دمایی حداقل و حداکثر مورد تحمل گیاه گندم در هر مرحله رشدی آن در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که در این تحقیق، ۶ مرحله رشدی برای گیاه گندم به صورت زیر در نظر گرفته شده است (آبخضر، ۱۳۸۱):

دوره جوانه زنی: تا ۱۰ روز پس از کاشت،

دوره رشد سبزینه: تا ۱۰ روز پس از جوانه زنی،

دوره پنجه زنی: تا ۱۰۷ روز پس از رشد سبزینه،

دوره ساقه دهی: تا ۳۰ روز پس از پنجه زنی،

دوره خوشه دهی: تا ۱۸ روز پس از ساقه دهی،

دوره دانه دهی: تا ۵۷ روز پس از خوشه دهی.

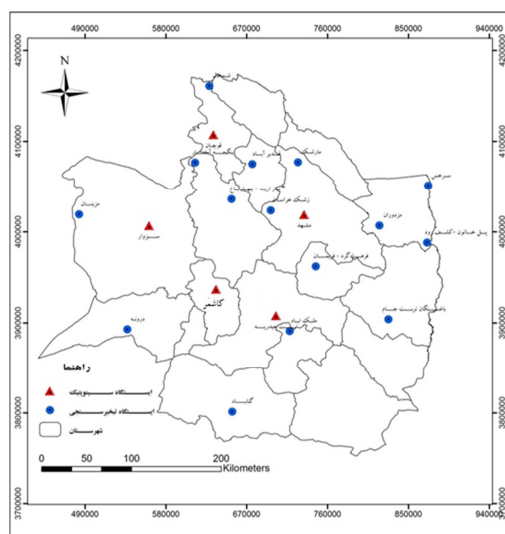
بدین صورت برای هر مرحله رشد گندم، تعداد روزهای با دمایی بیشتر از آستانه تحمل دمایی حداکثر گیاه و روزهای با دمایی کمتر از آستانه تحمل دمایی حداقل گیاه محاسبه شده و به عنوان شاخص‌های حدی گیاهی محاسبه می‌شوند. شاخص‌های فوق‌الذکر در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: شاخص‌های حدی ارائه شده در تحقیق مربوط به دوره رشد گیاه منبع: رادمهر، ۱۳۷۶

واحد	تعریف	نماد	مرحله رشدی
روز	تعداد روزهای با حداقل دما کمتر از ۴ درجه سانتی گراد	TN_JAV	جوانه زنی
روز	تعداد روزهای با حداکثر دما بیشتر از ۲۵ درجه سانتی گراد	TX_JAV	
روز	تعداد روزهای با حداقل دما کمتر از ۴ درجه سانتی گراد	TN_SAB	رشد سبزینه
روز	تعداد روزهای با حداکثر دما بیشتر از ۲۰ درجه سانتی گراد	TX_SAB	
روز	تعداد روزهای با حداقل دما کمتر از ۴ درجه سانتی گراد	TN_PAN	پنجه زنی
روز	تعداد روزهای با حداکثر دما بیشتر از ۲۰ درجه سانتی گراد	TX_PAN	
روز	تعداد روزهای با حداقل دما کمتر از ۴ درجه سانتی گراد	TN_SAG	ساقه دهی
روز	تعداد روزهای با حداکثر دما بیشتر از ۲۰ درجه سانتی گراد	TX_SAG	
روز	تعداد روزهای با حداقل دما کمتر از ۹ درجه سانتی گراد	TN_KHO	خوشه دهی
روز	تعداد روزهای با حداکثر دما بیشتر از ۲۴ درجه سانتی گراد	TX_KHO	
روز	تعداد روزهای با حداقل دما کمتر از ۹ درجه سانتی گراد	TN_DAN	دانه دهی
روز	تعداد روزهای با حداکثر دما بیشتر از ۳۰ درجه سانتی گراد	TX_DAN	

جهت محاسبه شاخص‌های حدی می‌بایست از آمار روزانه دمایی حداکثر، دمایی حداقل و بارش ایستگاه‌های مختلف استفاده نمود. بدین منظور، کلیه ایستگاه‌های همدیدی (با مدیریت سازمان هواشناسی) و تبخیرسنجی (با مدیریت

وزارت نیرو) واقع در استان خراسان رضوی مورد بررسی قرار گرفت. از بین ایستگاه‌های فوق، ایستگاه‌هایی که دارای دوره آماری سی و هفت ساله ۲۰۱۲-۱۹۷۶ بوده انتخاب شده و آمار دمای حداکثر، حداقل و بارش آنها کنترل کیفی شد. از روش نسبت‌ها و تفاضل‌ها جهت بازسازی آمار مفقوده در این ایستگاه‌ها استفاده گردید (علیزاده، ۱۳۸۰). نقشه پراکنش ایستگاه‌های منتخب در استان خراسان رضوی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱: پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و تبخیرسنجی مورد استفاده در تحقیق در استان خراسان رضوی

جهت مدل‌سازی گیاهی و برآورد مقدار محصول گندم در نقاط مختلف استان خراسان رضوی، از مدل AquaCrop استفاده شده است. این مدل در سال ۲۰۰۹ توسط فائو جهت تجزیه و تحلیل سناریوهای مختلف برنامه‌ریزی و به عنوان یک ابزار پشتیبانی در تصمیم‌گیری توسعه یافته است. این مدل برنامه‌ای ساده و دقیق است که نسبت به مدل‌های شبیه‌ساز دیگر، پارامترها و داده‌های ورودی کمتری برای شبیه‌سازی واکنش گیاه به آب احتیاج دارد و برای اغلب محصولات گیاهی و زراعی اصلی در سراسر جهان قابل استفاده است. محققان زیادی نتیجه گرفته‌اند که این مدل کارایی زیادی در شبیه‌سازی محصول داشته است (از جمله میرصافی و همکاران، ۲۰۱۶؛ آکوماجا و همکاران، ۲۰۱۷؛ امیری و همکاران، ۱۳۹۴). لازم به ذکر است که کالیبراسیون مدل AquaCrop توسط داده‌های ۲ تیمار اول مطالعه آبخزر (۱۳۸۱) و ارزیابی مدل با ۵ داده دیگر تحقیق فوق‌الذکر صورت گرفته است.

جهت بررسی اثر تغییر اقلیم بر میزان محصول گندم در سال‌های آینده از خروجی‌های پروژه CORDEX استفاده شده است. این پروژه برای ۱۴ قلمرو در جهان در حال انجام است. کشور ایران به طور کامل در قلمروهای جنوب آسیا، منا، آسیای مرکزی و بخش عظیمی از آن در قلمرو آفریقا قرار دارد. به دلیل موقعیت مناسب ایران در دو قلمرو جنوب آسیا و منا، در این مطالعه از این دو قلمرو استفاده شد. مدل اقلیمی استفاده شده برای تخمین و پیش‌بینی بارش و دما در این دو قلمرو در حال حاضر مدل ICHEC-EC-EARTH می‌باشد. قلمرو جنوب آسیا در شبکه ۰/۴۴ درجه و برای سه سناریوی اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 ارائه شده است. داده‌های قلمرو منا نیز در حال

حاضر در شبکه ۰/۲۲ درجه تنها برای سناریو RCP8.5 و در شبکه ۰/۴۴ درجه برای سه سناریوی فوق‌الذکر ارائه شده است. خروجی این دو قلمرو در حال تکمیل برای سناریوهای دیگر و مدل‌های مختلف می‌باشد. برای بررسی اثر تغییر اقلیم، داده‌های بارش و دما در شبکه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۲ و برای داده‌های آینده سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ مد نظر قرار گرفتند. داده‌های دوره آینده قبل از هرگونه تحلیلی به روش زیر اصلاح شدند.

$$T'_{model, fut.} = (\bar{T}_{obs} - \bar{T}_{model, his}) + T_{model, fut} \quad (1)$$

در رابطه بالا  $\bar{T}_{obs}$  میانگین دما اندازه‌گیری شده در ایستگاه مورد نظر،  $\bar{T}_{model, his}$  میانگین دما داده‌های گذشته مدل (دوره مشترک با مشاهدات)،  $T_{model, fut}$  داده‌های اولیه مدل برای دوره آینده و  $T'_{model, fut}$  همین داده‌ها پس از تصحیح می‌باشد. لازم به ذکر است که محاسبات مشابهی برای داده‌های بارندگی نیز صورت پذیرفته است. روش اصلاح فوق به نام روش "عامل تغییر" بوده که در مطالعات اقلیمی کاربرد زیادی دارد (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۸). جهت ارزیابی داده‌های خروجی و نیز اعمال روش عامل تغییر بر روی داده‌های پروژه CORDEX، از داده‌های سی ساله گذشته (۲۰۱۱-۱۹۸۲) برای هر ایستگاه و مقایسه آن با مقادیر historical مدل (دوره سی ساله ۲۰۰۵-۱۹۷۶) استفاده شده است.

## نتایج و بحث

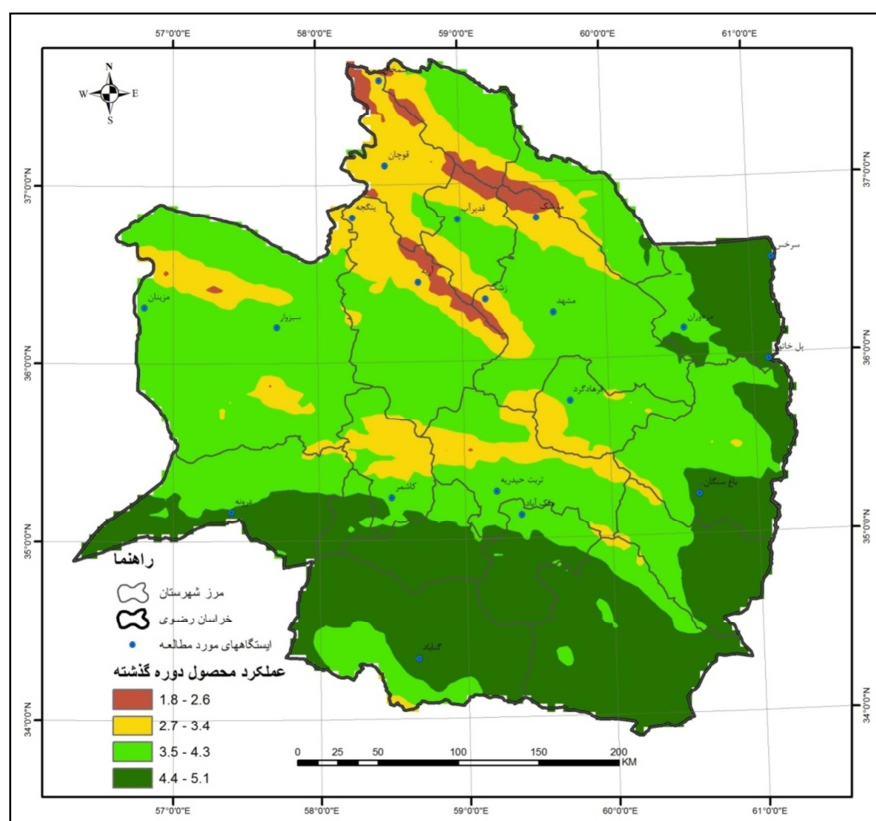
یکی از اهداف این تحقیق بررسی میزان محصول در دوره‌های حال و آینده و تعیین عوامل موثر بر آنها می‌باشد. بدین منظور با استفاده از داده‌های هواشناسی سال‌های اخیر و نیز مدل گیاهی واسنجی شده، به شبیه‌سازی میزان محصول در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۲ پرداخته شده است. در جدول ۳ متوسط میزان محصول گندم شبیه‌سازی شده در دوره آماری برای هر ایستگاه آورده شده است.

جدول ۳: مقادیر متوسط عملکرد شبیه‌سازی شده گندم به تفکیک هر ایستگاه در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۲

ایستگاه	متوسط عملکرد (تن در هکتار)	ایستگاه	متوسط عملکرد (تن در هکتار)
اریه	۳/۹۹	کاشمر	۴/۵۸
باغ سنگان	۴/۰۳	مارشک	۲/۸۹
درونه	۴/۴۶	مشهد	۴/۰۹
فرهادگرد	۳/۱۰	مزینان	۴/۰۹
قدیرآب	۳/۳۰	ملک آباد	۴/۱۰
قوچان	۳/۵۵	مزدوران	۴/۳۵
گناباد	۴/۱۵	پل خاتون	۴/۵۹
شمخال	۲/۶۱	سبزوار	۴/۴۱
تربت	۳/۴۶	سرخس	۴/۳۸
ینگجه	۲/۴۸	زشک	۳/۱۱

مقادیر فوق با استفاده از داده‌های هواشناسی هر ایستگاه در هر سال به دست آمده و میانگین گرفته شده است. لازم به ذکر است برای تعیین تاریخ کاشت و برداشت گندم در هر ایستگاه، علاوه بر تحقیقات محلی، از تاریخ‌های ذکر شده در نرم افزار OPTIWAT استفاده شده است.

جهت نمایش تغییرات مقدار محصول در نقاط مختلف استان خراسان رضوی، از روش رگرسیون‌گیری بین مقدار متوسط محصول و پارامترهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها نیز جهت پهنه‌بندی استفاده شده است. این امر به دلیل نبود ایستگاه در هر نقطه استان و در نتیجه عدم اطلاع از مقدار واقعی عملکرد در هر نقطه و در نتیجه وجود خطا در پهنه‌بندی به روش کریجینگ بوده است. لازم به ذکر است که در ابتدا، روش‌های مختلف کریجینگ از جمله کریجینگ معمولی، ساده و جامع با یکدیگر مقایسه شده بودند و هر کدام که دارای آماره‌های خطای کمتری بودند انتخاب شده بودند. در روش رگرسیون‌گیری، معادله موجود بین طول و عرض جغرافیایی و نیز ارتفاع هر ایستگاه با مقدار متوسط محصول استخراج شده و در نهایت این معادله به مدل رقومی شده ارتفاع (DEM)، طول و عرض استان خراسان رضوی اعمال می‌گردد. شکل ۲ حاصل از روش فوق‌الذکر بوده و برای میزان متوسط محصول در دوره گذشته ارائه شده است.



شکل ۲: پهنه‌بندی عملکرد متوسط (تن در هکتار) گندم در دوره ۲۰۱۱-۱۹۸۲

همانطور که در شکل فوق مشخص است نقاط جنوبی استان دارای بیشترین مقادیر عملکرد و نقاط شمالی دارای عملکرد کمتری هستند. در نواحی شمالی استان احتمال وقوع دماهای کمتر و متعاقب آن وقوع پدیده یخبندان و تنش‌های سرمایی بر گیاه بیشتر بوده و لذا دارای مقادیر کمتر عملکرد می‌باشند. لازم به یادآوری است که در این تحقیق هدف تحلیل فضایی پارامترهای مختلف نبوده و صرفاً جهت ارائه دید کلی پهنه‌بندی انجام شده است.

چنانچه در قسمت قبل اشاره شد یکی از اهداف این تحقیق شناسایی شاخص‌های حدی موثر بر عملکرد گندم در نقاط مختلف استان خراسان رضوی می‌باشد. بدین منظور، از روش رگرسیون گام به گام و نرم افزار SPSS 16.0 استفاده شده است. همچنین به منظور تعیین میزان حساسیت هر متغیر، کلیه متغیرها به صورت زیراستاندارد شده و سپس در تحلیل‌ها وارد شده است.

$$Z = \frac{x_i - \bar{x}}{\delta} \quad (۲)$$

که در آن،  $Z$  = مقدار استاندارد شده هر پارامتر حدی،  $x_i$  = مقدار هر پارامتر حدی،  $\bar{x}$  = مقدار میانگین دوره آماری پارامتر حدی،  $\delta$  = مقدار انحراف معیار پارامتر حدی می‌باشد.

نتایج بررسی فوق برای عملکرد محصول در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول ضرایب ارائه شده، حاصل از رگرسیون‌گیری مقادیر استاندارد شده شاخص‌های حدی اقلیمی و گیاهی بوده که در نتیجه نشان دهنده میزان اهمیت هر شاخص می‌باشد. به طوریکه ضرایب منفی نشان دهنده اثر کاهشی بر محصول و ضرایب مثبت دارای اثر افزایشی بر محصول خواهند داشت. همچنین مقدار عددی این شاخص‌ها بیانگر تاثیر بیشتر یا کمتر بر متغیر وابسته (محصول) بوده و کلیه این ضرایب به لحاظ آماری نیز در سطح ۹۵ درصد معنادار می‌باشند.

جدول ۴: ضرایب رگرسیون شاخص‌های حدی استاندارد شده موثر بر محصول در دوره گذشته

Tn-SAB	Tn-PAN	Tn-SAG	Tx10P	Tx-SAG	FD	متغیر وابسته: محصول ضریب
۰/۰۶۵	-۰/۰۸۰	-۰/۱۲۹	-۰/۱۲۱	۰/۰۷۳	-۰/۰۹۲	

با توجه به این که شاخص‌های تعیین شده در جدول فوق تاثیر بیشتری بر روی عملکرد داشته است، در این قسمت مقادیر متوسط این شاخص‌ها در ایستگاه‌های مختلف محاسبه شده و در جدول ۵ آورده شده است.

همانطور که مشخص است شاخص‌های مربوط به دمای حداقل در ایستگاه‌های نواحی کوهستانی بالا بوده و برعکس، شاخص‌های مربوط به دمای حداکثر در نواحی گرمسیری زیاد می‌باشد. مثلاً شاخص یخبندان که در ایستگاه‌های شمخال، ینگجه و مارشک بیشتر از سایر ایستگاه‌ها و بیش از ۱۰۰ روز در طول فصل زراعی بوده و پس از آن در ایستگاه‌های اریه، قدیرآب، قوچان و فرهادگرد تعداد روز یخبندان نزدیک به ۱۰۰ روز بوده است. کمترین تعداد روز یخبندان در درونه و کاشمر به میزان ۳۵ روز در طول فصل زراعی بوده است. شاخص‌های حدی دیگر که بر مبنای

دمای حداقل بوده است (مانند TN-SAG و TN-PAN)، روند مشابهی با شاخص یخبندان داشته است، به طوریکه در ایستگاه‌های نواحی سردسیری این شاخص‌ها بالاتر از سایر شاخص‌ها می‌باشد.

در شاخص‌های بر مبنای دمای حداکثر مانند TX-SAG، بیشترین مقادیر در ایستگاه‌هایی مانند درونه، مزینان، پل-خاتون، سرخس و گناباد دیده می‌شود. این ایستگاه‌ها دارای آب و هوای گرم و خشک بوده و لذا احتمال وقوع تنش-های گرمایی در آنها بیشتر از سایر ایستگاه‌ها می‌باشد.

جدول ۵: فراوانی شاخص‌های حدی موثر بر عملکرد در دوره گذشته

ایستگاه	FD	TN-SAG	TX-SAG	TX10P	TN-PAN	TN-SAB
اریه	۹۹	۱۹	۱۰	۳۲	۱۰۶	۱۵
باغ سنگان	۷۵	۱۵	۱۲	۳۴	۱۰۰	۷
درونه	۳۵	۷	۲۱	۴۳	۸۵	۵
فرهادگرد	۸۹	۲۳	۴	۳۶	۱۰۳	۸
قدیر آب	۹۷	۲۴	۷	۳۲	۱۰۴	۸
قوچان	۹۰	۲۰	۶	۳۶	۱۰۳	۸
گناباد	۶۱	۱۳	۱۴	۳۶	۱۰۰	۶
کاشمر	۳۵	۶	۱۱	۳۶	۷۶	۳
مارشک	۱۰۸	۲۵	۱	۳۳	۱۰۶	۹
مشهد	۶۶	۱۳	۹	۳۴	۹۶	۷
مزینان	۶۵	۱۳	۱۶	۳۱	۱۰۰	۱۰
ملک آباد	۳۸	۹	۹	۳۳	۹۰	۴
مزدوران	۵۳	۱۴	۹	۲۹	۹۲	۶
پل خاتون	۴۸	۱۰	۱۵	۳۲	۸۴	۵
سبزوار	۴۲	۸	۱۴	۳۶	۸۲	۵
سرخس	۴۰	۸	۱۵	۳۶	۸۲	۵
شمخال	۱۳۲	۲۶	۴	۳۳	۱۰۶	۱۰
تربت حیدریه	۸۵	۱۷	۶	۳۷	۱۰۲	۸
ینگچه	۱۲۶	۲۵	۵	۳۰	۱۰۹	۱۷
زشک	۷۳	۲۰	۱	۳۴	۹۶	۷

### ارزیابی نتایج CORDEX

با توجه به مطالب ذکر شده در قبل، مشخص شد که ایران در چند قلمرو پروژه CORDEX واقع شده است. با توجه به اینکه موقعیت قرارگیری ایران در دو قلمرو منا (MNA) و جنوب آسیا (WAS) بهتر از سایر قلمروها می‌باشد، لذا می‌بایست قلمرو بهتر انتخاب شود.

جهت تعیین قلمرو بهتر، بین دو سری داده historical مشاهداتی و قلمروهای منا و جنوب آسیا تحلیل همبستگی صورت گرفته است. این تحلیل‌ها برای دمای حداقل، دمای حداکثر و بارش روزانه هر ایستگاه صورت گرفته است. نتایج نشان دهنده همبستگی بیشتر و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر بین داده‌های جنوب آسیا با داده‌های مشاهداتی هر ایستگاه برای پارامترهای دمای حداقل، حداکثر و بارش است. لذا قلمرو جنوب آسیا جهت تحلیل‌های بعدی انتخاب می‌شود. در جدول ۶ نمونه‌ای از نتایج مقایسات فوق برای ایستگاه مشهد و پارامتر دمای حداقل ارائه شده است.

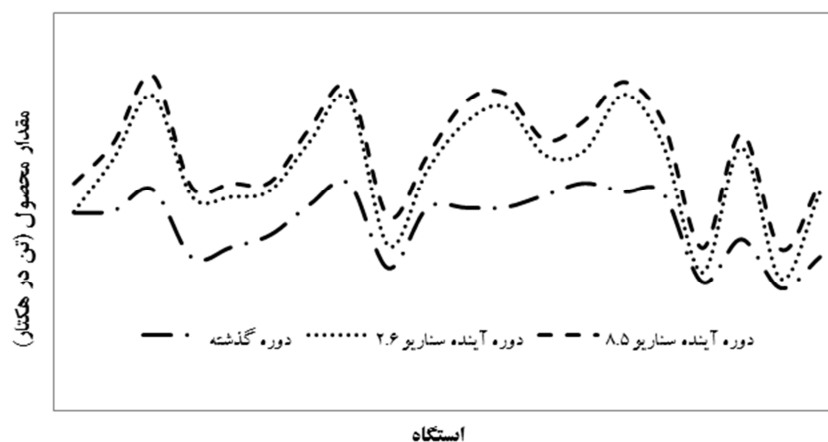
جدول ۶: مقایسه نتایج داده‌های مشاهداتی دمای حداقل در دامنه‌های جنوب آسیا و منا در پروژه CORDEX برای ایستگاه مشهد

ایستگاه	ضریب همبستگی داده‌های مشاهداتی و جنوب آسیا	ضریب همبستگی داده‌های مشاهداتی و منا	ریشه میانگین مربعات خطا مشاهداتی و جنوب آسیا	ریشه میانگین مربعات خطا مشاهداتی و منا
مشهد	۰/۸۶	۰/۸۱	۵/۵	۶/۹

پس از انتخاب قلمرو مناسب و قبل از محاسبات بعدی، داده‌های دما و بارش روزانه به منظور تغییر میدان داده‌های مدل، به روش عامل تغییر اصلاح شده است. سپس با استفاده از داده‌های اصلاح شده دما و بارش، مقدار محصول در هر ایستگاه در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۵۰ برای سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 (شرایط خوش‌بینانه و بدبینانه بوده) با استفاده از مدل AquaCrop شبیه‌سازی شده و مقدار متوسط سی ساله آن در جدول ۷ ارائه شده و در شکل ۳ مقادیر گذشته و آینده مقایسه شده است.

جدول ۷: مقدار متوسط عملکرد گندم (تن در هکتار) در دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5

نام ایستگاه	عملکرد در سناریو RCP2.6	عملکرد در سناریو RCP8.5	نام ایستگاه	عملکرد در سناریو RCP2.6	عملکرد در سناریو RCP8.5
اریه	۴/۰۱	۴/۵۸	مزینان	۵/۸۲	۶/۲۵
باغ سنگان	۵/۰۷	۵/۳۹	ملک آباد	۶/۱۲	۶/۳۹
درونه	۶/۳۶	۶/۷۶	مزدوران	۵/۱۵	۵/۴۵
فرهادگرد	۴/۳۲	۴/۵۰	پل خاتون	۵/۲۴	۵/۸۵
قدیر آب	۴/۳۱	۴/۵۸	سبزوار	۶/۳۸	۶/۶۳
قوچان	۴/۴۴	۴/۶۱	سرخس	۵/۳۷	۵/۸۳
گناباد	۵/۴۲	۵/۶۹	شمخال	۲/۸۰	۳/۲۹
کاشمر	۶/۳۰	۶/۵۲	ترت حیدریه	۵/۳۰	۵/۵۹
مارشک	۳/۳۴	۳/۹۱	ینگچه	۲/۶۷	۲/۲۶
مشهد	۴/۸۵	۵/۱۴	زشک	۴/۴۰	۴/۵۹



شکل ۳: مقدار محصول در دوره گذشته و آینده با دو سناریو (بر حسب تن در هکتار)

همانطور که در شکل فوق مشاهده می‌شود در کلیه ایستگاه‌ها، مقدار محصول در دوره آینده بیشتر از دوره پایه گذشته بوده و نیز مقادیر محصول در سناریوی ۸/۵ بیشتر از ۲/۶ بوده است. به طوری‌که این افزایش در حدود ۸ درصد برای کلیه ایستگاه‌ها بوده است. همانطور که مشخص است بیشترین و کمترین مقدار تولید محصول در سناریو ۲/۶ به میزان ۶/۳۸ و ۲/۷۶ در ایستگاه‌های سبزوار و ینگجه و در سناریو ۸/۵ به میزان ۶/۷۶ و ۳/۲۶ به ترتیب در ایستگاه‌های درونه و ینگجه بوده است. میزان متوسط محصول در سناریو ۲/۶ و ۸/۵ به ترتیب برابر با ۴/۸۸ و ۵/۲۴ تن در هکتار بوده که نسبت به دوره گذشته (با میانگین ۳/۷۹ تن در هکتار) ۲۹ و ۳۸ درصد افزایش نشان داده است. بیشترین مقدار افزایش محصول در سناریو ۸/۵ نسبت به ۲/۶ در ایستگاه‌های ینگجه، شمخال، مارشک و اریه به میزان ۲۲ تا ۱۴ درصد اتفاق افتاده است. این امر نشان‌دهنده آن است که در سناریو ۸/۵ با گرم‌تر شدن هوا در این ایستگاه‌ها که دارای متوسط دمای کمتری نسبت به استان بودند، عملکرد محصول افزایش محسوس‌تری نسبت به سایر ایستگاه‌ها پیدا خواهد کرد و از تنش‌های سرمای در این ایستگاه‌ها کاسته می‌شود. در سایر ایستگاه‌ها نیز افزایش عملکرد وجود داشته، ولی این افزایش به میزان کمتر از ۸ درصد نسبت به سناریو ۲/۶ بوده است.

علت افزایش مقدار محصول در شرایط تغییر اقلیم آینده مربوط به افزایش دما و افزایش غلظت دی‌اکسید کربن می‌باشد. در مطالعه‌ای در استرالیا مشخص شد که افزایش دما مسئول ۳۰ تا ۵۰ درصد از عملکرد تولیدی گندم بوده است، زیرا روند افزایشی دما از طریق بالابردن دمای حداقل و کاهش تعداد روزهای یخبندان بر عملکرد تاثیر مثبتی داشته است (نیکولاس، ۱۹۹۷). در تحقیقات دیگری نیز افزایش عملکرد محصول در اثر تغییر اقلیم آینده گزارش شده است. از جمله جدیدترین این تحقیقات می‌توان به عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) اشاره کرد. کوچکی و نصیری (۱۳۸۷) در یک بررسی نشان دادند که افزایش دما و غلظت‌های مختلف دی‌اکسید کربن به تنهایی عملکرد گندم آبی در شرایط پتانسیل (بدون محدودیت آب و عناصر غذایی) را افزایش می‌دهد. آن‌ها همچنین بیان کردند که افزایش عملکرد پیش‌بینی شده در صورت عدم تأمین آب و نیتروژن کافی تحقق نخواهد یافت.

### بررسی شاخص‌های حدی موثر بر میزان محصول در دوره آینده

مشابه با دوره گذشته، تحلیل‌هایی بر روی شاخص‌های حدی موثر بر عملکرد در دوره آینده با دو سناریو ۲/۶ و ۸/۵ صورت گرفته است که در جداول ۸ و ۹ نتایج آنها آورده شده است. در این جداول ضرایب رگرسیون به لحاظ آماری در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار بوده است.

جدول ۸: ضرایب رگرسیون شاخص‌های حدی استاندارد شده موثر بر محصول در دوره آینده با سناریو ۲/۶

متغیر وابسته محصول	FD	Tn-SAG	Tx-PAN	SU
ضریب	-۰/۲۷۳	-۰/۱۹۶	۰/۱۴۳	-۰/۱۲۶

جدول ۹: ضرایب رگرسیون شاخص‌های حدی استاندارد شده موثر بر محصول در دوره آینده با سناریو ۸/۵

متغیر وابسته محصول	FD	Tx-PAN	Tn-SAG	Tx10P
ضریب	-۰/۱۸۷	۰/۱۸۷	-۰/۱۲۶	-۰/۱۱۴

همانطور که مشاهده می‌شود شاخص یخبندان در هر دو سناریو به عنوان یک شاخص حدی موثر بر عملکرد انتخاب شده که دارای تاثیر کاهنده بر عملکرد محصول می‌باشد. سازوکار تاثیر یخبندان بر گیاهان بدین صورت است که هنگامی که بافت گیاهان یخ می‌زند، بلورهای یخ دیواره‌های سلول و غشاء را تخریب می‌کنند. اگر یخ‌زدگی سلول بدون تخریب ساختمان باشد، ممکن است سلول در اثر از دست دادن آب بمیرد. چند روز پس از مقاومت در برابر یخ‌زدگی، بافت شروع به خشک شدن کرده و به صورت قهوه‌ای رنگی در می‌آید (مشیری و همکاران، ۱۳۹۳). لذا یخبندان باعث صدمه به گیاهان خواهد شد.

از دیگر شاخص‌های حدی موثر بر میزان عملکرد در دوره آینده (سناریو ۸/۵) و نیز دوره گذشته، Tn-SAG یا وقوع دماهای کمتر از تحمل گیاه در دوره ساقه‌دهی بوده است. این مرحله رشدی زمانی است که برجستگی کوچکی (گره) در ساقه اصلی کمی بالاتر از سطح زمین قابل لمس باشد. در این مرحله تولید پنجه متوقف شده و طول شدن ساقه آغاز می‌گردد. رشد ساقه، برگ‌ها، پنجه‌ها، ریشه‌ها و سنبله‌ها در این مرحله همزمان اتفاق می‌افتد. بنابراین به علت رقابت شدید در سوخت و ساز و جذب آب و مواد غذایی، گیاه شدیداً به تنش‌های محیطی حساس می‌شود (رادمهر، ۱۳۷۶). چنانچه این شاخص را در دوره گذشته و آینده مقایسه کنیم، مشخص می‌شود که علی‌رغم بالاتر رفتن دمای حداقل در آینده و اینکه تعداد فراوانی این شاخص در آینده کمتر شده است، ولیکن با توجه به حساسیت زیاد این مرحله به تنش‌های محیطی، همچنان از شاخص‌های موثر بر عملکرد محسوب شده است.

### ریسک تولید محصول

در قسمت‌های قبل، شاخص‌های حدی موثر بر میزان محصول در استان خراسان رضوی (در دوره گذشته و آینده) شناسایی شدند. لذا در این قسمت به منظور مشخص نمودن نواحی دارای ریسک بیشتر وقوع این شاخص‌ها به پهنه-بندی آنها اقدام شده است.

طبق تعریف مقدار ریسک، از حاصلضرب احتمال وقوع<sup>۱</sup> در میزان خسارت<sup>۲</sup> هر پدیده محاسبه می‌شود (سادات قشمی و همکاران، ۱۳۹۰). نحوه محاسبه ریسک در این تحقیق بدین صورت بوده است که برای محاسبه مقدار ریسک، ابتدا شاخص‌های حدی موثر انتخاب شده در مرحله قبل که دارای ضریب منفی و اثر کاهنده بوده‌اند، استخراج شده و احتمال وقوع این شاخص‌ها در هر ایستگاه در دوره آماری محاسبه شد. مقادیر احتمال وقوع به دست آمده برای هر شاخص برای هر ایستگاه در ضریب مربوطه آن (که در جداول قبلی آورده شده است) ضرب شده و در نهایت مقدار جمع احتمالات وقوع ضرب در ضرایب آنها و تقسیم بر مجموع این ضرایب مقدار ریسک نهایی را به دست می‌دهد. به عبارت دیگر می‌توان طبق رابطه زیر ریسک را محاسبه کرد:

$$Risk = \frac{\alpha_1 \times f_1 + \alpha_2 \times f_2 + \alpha_3 \times f_3 + \dots}{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \dots} \quad (3)$$

در رابطه فوق:

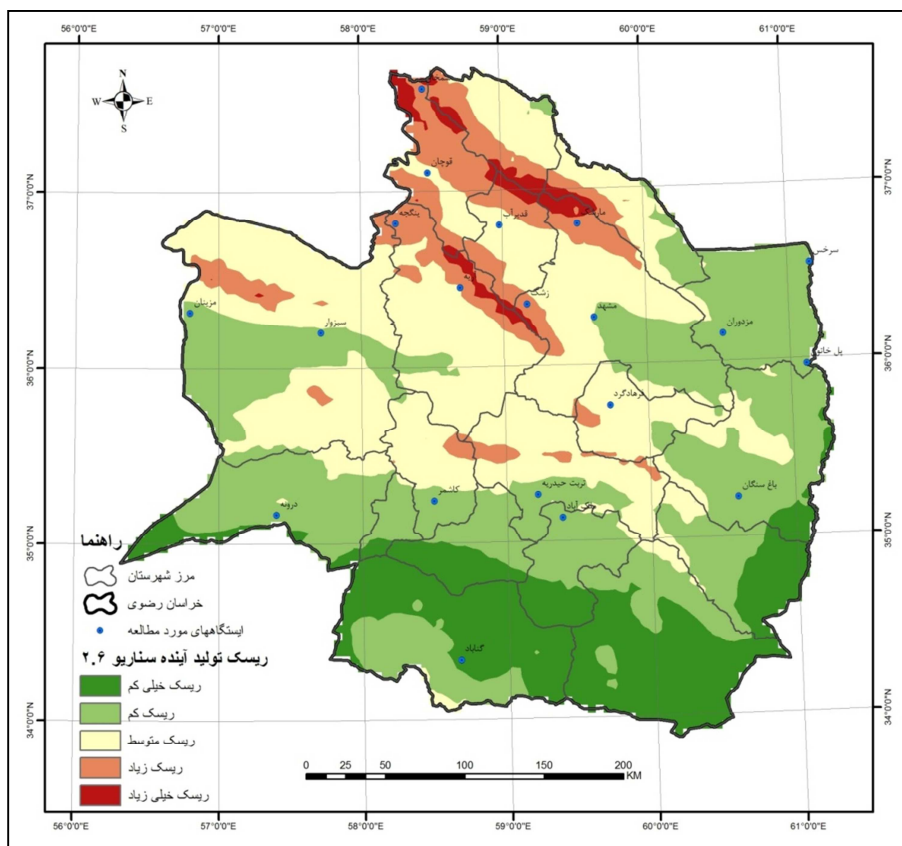
$\alpha_i$  = ضریب رگرسیونی شاخص حدی نرمال شده موثر  $i$  ام،  $f_i$  = احتمال وقوع شاخص حدی  $i$  ام و Risk معرف ریسک کلی از شاخص‌های حدی کاهنده عملکرد می‌باشد.

مقادیر درصد ریسک نهایی در دوره‌های گذشته و آینده پهنه‌بندی شده که در زیر جهت جلوگیری از طولانی شده مطلب، تنها به پهنه‌بندی در دوره آینده با سناریو ۲/۶ اشاره می‌شود. لازم به ذکر است که روند کلی تغییرات در دوره گذشته و نیز سناریو ۸/۵ مشابه با سناریو ۲/۶ می‌باشد.

---

1 - Probability

2 - Loss or Impact



شکل ۴: پهنه‌بندی ریسک تولید گندم در دوره آینده با سناریو ۲/۶

همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود مناطق با ریسک بیشتر تولید، در مناطق شمالی استان دیده می‌شود و به تدریج هر چه از شمال به جنوب استان پیش رویم، ریسک تولید گندم کمتر می‌شود. مساحت نواحی دارای درجه ریسک‌های متفاوت در استان خراسان رضوی محاسبه شده و جدول ۱۰ به جهت مقایسه در دوره‌های مختلف ارائه شده است.

جدول ۱۰: درصد مساحت مناطق با درجه ریسک تولید متفاوت (درصد)

ریسک خیلی زیاد	ریسک زیاد	ریسک متوسط	ریسک کم	ریسک خیلی کم	دوره آماری
۱/۴	۷/۶	۲۹/۶	۳۹/۷	۲۱/۶	دوره گذشته
۱/۹	۹/۰	۳۴/۹	۳۶/۷	۱۷/۵	دوره آینده با سناریو ۲/۶
۲/۰	۹/۲	۳۵/۸	۳۶/۰	۱۷/۱	دوره آینده با سناریو ۸/۵

آمار و ارقام احصاء شده از نقشه‌های ریسک توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان می‌دهد که پهنه‌هایی با ریسک خیلی زیاد در دوره آینده افزایش نسبی خواهند داشت. به‌طوریکه این پهنه‌ها که منطبق بر ناهمواری‌های نیمه‌ی شمالی استان بوده، نسبت به دوره‌ی گذشته روندی افزایشی را تجربه خواهند کرد. به طور مثال پهنه ریسک خیلی زیاد از مقدار  $1/4$  درصد مساحت در دوره گذشته به  $2$  درصد مساحت در دوره آینده با سناریو  $8/5$  افزایش پیدا خواهد کرد. اما نکته قابل تامل، کاهش درصد مساحت مناطقی با ریسک کم و خیلی کم می‌باشد. مطابق نقشه‌های بالا، این مناطق غالباً شامل کمربند پست و کم ارتفاع دشت‌های غربی، جنوبی و شرقی استان می‌باشد که این پهنه‌ها در دوره‌ی آینده کاهش خواهد یافت. به طور مثال، مناطقی با ریسک تولید کم از  $39/7$  درصد استان در دوره گذشته به  $36$  درصد در دوره آینده با سناریو  $8/5$  خواهد رسید.

در مجموع با توجه به ارقام مندرج در جدول فوق می‌توان گفت که اثر تغییر اقلیم باعث خواهد شد که پهنه‌های بیشتری از استان در معرض ریسک بالاتر تولید قرار بگیرند. این امر بدین معنی است که در شرایط آینده از مساحت مناطق مستعد کشت گندم به خصوص در نیمه شمالی استان کاسته شده و مناطق کمتری قابلیت کشت را خواهند داشت. به عبارت دیگر از مساحت مناطق با ریسک کم تولید کاسته شده و مساحت مناطق با ریسک متوسط تا خیلی زیاد افزوده می‌شود.

### نتیجه گیری

با استفاده از مدل واسنجی و ارزیابی شده AquaCrop، مقدار عملکرد گندم در دوره گذشته (۲۰۱۱-۱۹۸۲) و آینده (۲۰۲۱-۲۰۵۰) با دو سناریو RCP2.6 و RCP8.5 شبیه‌سازی شده است. نتایج شبیه‌سازی عملکرد در دوره آینده نشان داده است که عملکرد در سناریو  $2/6$  به میزان  $29$  درصد و در سناریو  $8/5$  به میزان  $38$  درصد نسبت به دوره گذشته افزایش داشته است. علت این افزایش عملکرد مربوط به بیشتر شدن دما و افزایش دی‌اکسیدکربن بوده است. این عوامل می‌توانند صفات فیزیولوژیک و مورفولوژیک متعددی را تحت تأثیر قرار دهد که آنها نیز به نوبه خود قادرند رشد و عملکرد نهایی گیاه را متأثر سازند. در تغییر اقلیم آینده تحت سناریوهای مختلف انتشار، دمای هوا نیز تحت تأثیر غلظت‌های متفاوت دی‌اکسیدکربن این سناریوها قرار می‌گیرد که این تغییرات به نوبه خود، عملکرد گندم را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

خاطر نشان می‌شود که در این تحقیق شرایط کشت پتانسیل گیاه گندم مد نظر بوده است. به عبارت دیگر در این تحقیق شرایط مطلوب کشت به لحاظ آبیاری و اعمال کود و سم مورد نیاز گیاه اعمال گردیده و گیاه کم آبیاری نشده و محدودیت مواد غذایی برای آن در نظر گرفته نشده است. این امر نیز یکی دیگر از علت‌های افزایش عملکرد گندم در این تحقیق بوده است.

مناطق با بیشترین عملکرد در دوره‌های گذشته و آینده تا حدودی جابجا شده و بیشترین تغییرات مربوط به نواحی شرقی استان و در شهرستان‌های سرخس و تربت جام می‌باشد که در دوره گذشته بیشترین مقادیر عملکرد را داشته و در دوره‌های آینده مقادیر عملکرد متوسطی خواهند داشت. علاوه بر این قسمت‌های غربی شهرستان سبزوار، که در

گذشته عملکرد متوسط داشته، دارای افزایش عملکردی در آینده شده و مقادیر حداکثر عملکرد را پیدا خواهند کرد. بر مقدار عملکرد نواحی مرکزی استان نیز افزوده خواهد شد.

در همه دوره‌ها، شاخص‌های تعداد روز یخبندان و تعداد روز با دمای حداقل کمتر از آستانه در دوره ساقه‌دهی بر عملکرد گندم موثر بوده و دارای اثر کاهنده‌ای بوده‌اند.

بر اساس نقشه‌های درجه‌بندی ریسک عملکرد مشخص شده است که نواحی با ریسک خیلی کم در گذشته و آینده تغییر کرده، به‌طوریکه نواحی شرقی استان (شهرستان‌های سرخس و تربت جام) که در گذشته دارای ریسک خیلی کم بوده‌اند، در دوره‌های آینده دارای ریسک متوسط شده‌اند. نواحی مرکزی استان که عمدتاً دارای ریسک کم بوده‌اند، در آینده ریسک متوسطی را تجربه خواهند کرد.

درصد مساحت نواحی با ریسک تولید کم و خیلی کم در دوره‌های آینده کاسته شده و بر مساحت ناحیه‌های با ریسک متوسط، زیاد و خیلی زیاد افزوده می‌شود. این تغییرات در سناریو ۸/۵ نسبت به گذشته بیشتر است. این امر نشان‌دهنده آن است که به رغم افزایش مقدار عملکرد در دوره‌های آینده، از مساحت منطقه‌های مستعد کشت گندم کاسته شده و به عبارت دیگر، مناطق کمتری قابلیت کشت گندم را خواهند داشت.

بر اساس نتایج بدست آمده از این پژوهش می‌توان موارد زیر را برای مطالعات آینده پیشنهاد نمود:

در این تحقیق جهت مدل‌سازی گیاهی و تعیین مراحل رشد گیاه، از روش تعیین دستی و اعمال تعداد روز مشخصی به هر مرحله رشدی صورت گرفته است. پیشنهاد می‌شود در تحقیقی دیگر از روش محاسبه درجه - روز رشد (GDD) برای تعیین طول دوره رشدی مختلف استفاده شده و نتایج آن با این تحقیق مورد مقایسه قرار گیرد.

زمان کشت و برداشت گیاه نیز اثر مهمی بر میزان محصول و دوری از تنش‌های سرمای و گرمایی مربوط به هر منطقه دارد. در این تحقیق فرض شده که زمان کشت و برداشت گیاه برای ایستگاه‌های مختلف از زمان کشت و برداشت مندرج در نرم افزار OPTIWAT تبعیت می‌کنند. بهتر است در تحقیقی جداگانه بررسی همه جانبه‌ای در خصوص ارقام متداول در هر شهرستان یا دشت صورت گرفته و زمان کاشت و برداشت گیاه گندم به عنوان یک گیاه استراتژیک در اختیار محققان قرار گیرد. همچنین پیشنهاد می‌شود تحقیقاتی بر روی زمان‌های کشت مختلف گندم صورت گرفته تا بهترین زمان با توجه به عملکرد بالاتر محصول و نیز احتمال کمتر وقوع شاخص‌های حدی کاهنده عملکرد انتخاب شود.

در این تحقیق شرایط پتانسیل گیاه از لحاظ آبیاری و عملیات زراعی در نظر گرفته شده است. بدین معنی که نیاز آبیاری گیاه به طور کامل تامین می‌شود و تنش کودی و مواد غذایی برای گیاه وجود ندارد. پیشنهاد می‌شود در تحقیقی دیگر شرایط غیرپتانسیل برای رشد گیاه در کنار تنش‌های محیطی مد نظر قرار گرفته و اثر همزمان آن بررسی شود.

با توجه به اینکه در دوره‌های آینده، تغییراتی در دما و بارش مناطق مختلف رخ می‌دهد، لذا پیشنهاد می‌شود این تحقیق برای محصول گندم نیز صورت بگیرد تا بتوان از تغییرات عملکرد و نیز تغییرات مناطق مستعد کشت دیم اطلاع حاصل کرد.

برای بررسی اثر تغییر اقلیم از پروژه CORDEX استفاده شده است. در قلمرو منا و غرب آسیا در این پروژه در حال حاضر تنها یک مدل اقلیمی منطقه‌ای به طور کامل اجرا شده است که از خروجی آن در این مطالعه استفاده شد. در صورت تکمیل این پروژه و اجرای سایر مدل‌ها و ارائه خروجی ترکیب مدل‌ها، می‌توان از آن برای بررسی تغییر اقلیم استفاده نمود که این کار باعث افزایش دقت پیش‌بینی‌ها خواهد شد.

خروجی‌های پروژه CORDEX به صورت پیکسلی می‌باشد. این امر بدان معنا است که مقدار پارامترهای هواشناسی در کلیه پیکسل‌های استان خراسان رضوی (مثلاً در قلمرو جنوب آسیا با رزولوشن  $0.44 \times 0.44$  یا حدوداً ۵۰ کیلومتری) می‌تواند استخراج شود. پیشنهاد می‌شود برنامه‌ای نوشته شده تا بتوان مدل گیاهی AquaCrop را برای هر پیکسل اجرا نموده تا مقدار عملکرد در هر پیکسل از استان مشخص گردد. این عملیات باعث دقیق‌تر شدن نتایج شده و امکان مقایسه روش‌های مختلف پهنه‌بندی را فراهم می‌آورد.

## منابع

- آبخضر حمیدرضا (۱۳۸۱)، تعیین ضرایب حساسیت گندم زمستانه به تنش رطوبتی در مراحل مختلف رشد، رساله دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- امیری ابراهیم؛ بحرانی عبدالله؛ خورسند افشین؛ حق‌جو مهتا (۱۳۹۴)، ارزیابی مدل AquaCrop در پیش‌بینی عملکرد دانه و بیوماس گندم، تحت تنش کم‌آبی، نشریه دانش آب و خاک، سال ۲۵ (۲-۴)، صص ۲۲۹-۲۱۷.
- بابائیان ایمان؛ نجفی نیک زهرا؛ زابل عباسی فاطمه؛ حبیبی نوخندان مجید؛ ادب حامد؛ ملبوسی شراره (۱۳۸۸)، ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه، ۷ (۱۶)، صص ۱۵۲-۱۳۵.
- رادمهر محمد (۱۳۷۶)، تاثیر تنش گرما بر فیزیولوژی رشد و نمو گندم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- سادات قشمی سوده؛ میرسنجری مهرداد؛ شایسته کامران (۱۳۹۰)، روش شناسی ارزیابی ریسک سدها در مرحله بهره‌برداری، مجموعه مقالات همایش ملی علوم محیط زیست و توسعه پایدار، ملایر، دانشگاه ملایر.
- صداقت کردار عبدالله؛ رحیم زاده فاطمه (۱۳۸۶)، تغییرات طول دوره رشد گیاهی در نیمه دوم قرن بیستم در کشور، مجله پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، ۷۵، صص ۱۹۲-۱۸۲.
- عرفانیان مریم؛ انصاری حسین؛ علیزاده امین؛ بنایان اول محمد (۱۳۹۳)، بررسی تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، ۸ (۴)، صص ۸۲۵-۸۱۷.
- علیجانی بهلول؛ روشنی احمد؛ پرک فاطمه؛ حیدری روح‌الله (۱۳۹۱)، روند تغییرپذیری فرین‌های دما با استفاده از شاخص‌های تغییر اقلیم در ایران، مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۱ (۲)، صص ۲۸-۱۷.
- علیزاده امین (۱۳۸۰)، اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ سیزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، دانشگاه امام رضا (ع)، مشهد.

- عینی نرگسه حامد؛ دیهیم فرد رضا؛ صوفی زاده سعید؛ حقیقت مسعود؛ نوری امید (۱۳۹۴)، پیش بینی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل APSIM، نشریه تولید گیاهان زراعی، ۸ (۴)، صص ۲۲۴-۲۰۳.
- کوچکی علیرضا؛ نصیری مهدی (۱۳۸۷)، تاثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری، مجله پژوهش های زراعی ایران، ۶ (۱)، صص ۱۵۳-۱۳۹.
- مسعودیان ابوالفضل؛ دارند محمد (۱۳۹۱)، تحلیل زمانی- مکانی روند روزهای فرین سرد ایران، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷ (۲) (پیاپی ۱۰۵)، صص ۵۶-۳۷.
- مشیری فرهاد؛ طهرانی محمد مهدی؛ شهابی علی اصغر؛ کشاورز پیمان؛ خوگر زهرا؛ فیضی اصل ولی؛ اسدی رحمانی هادی؛ سماوات سعید؛ سدروی محمد حسین؛ رشیدی ناصر؛ سعادت سعید؛ خادمی زهرا (۱۳۹۳)، دستورالعمل مدیریت تلفیقی حاصلخیزی خاک و تغذیه گندم، انتشارات موسسه تحقیقات خاک و آب.
- Akumaga, U., Tarhule, A. and Yusuf, A.A., (2017), Validation and testing of the FAO AquaCrop model under different levels of nitrogen fertilizer on rainfed maize in Nigeria, West Africa. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232 (15): 225-234.
- Caprio, J.M., Quamme, H.A. and Redmond, K.T., (2009), A statistical procedure to determine recent climate change of extreme daily meteorological data as applied at two locations in Northwestern North America. *Climatic Change*, 92: 65-81.
- Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., Massah Bavani, A., Wang, D. and Madani, K. (2013), Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh-Rud river basin. *Science of Total Environment*, 442: 405-419.
- IPCC., (2012), Summary for Policymakers. In: Special Report of Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX). [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (Eds.)], A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, pp. 1-19.
- Kattenberg, A. and Giorgi, F., (2001), The scientific of climate change. The Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 156-159.
- Katz, R.W. and Brown. B.G., (1992), Extreme events in a changing climate: variability is more important than averages. *Climatic Change*, 21 (3): 289-302.
- López-Díaz, F., Conde, C., and Sánchez, O., (2013), Analysis of indices of extreme temperature events at Apizaco, Tlaxcala, Mexico: 1952-2003. *Atmósfera*, 26 (3): 349-358.
- Mirsafi, Z., Sepaskhah, A. R., Ahmadi, H. and Kamgar-Haghighi, A.A., (2016), Assessment of AquaCrop model for simulating growth and yield of saffron (*Crocus sativus* L.), *Scientia Horticulturae*, 211 (1): 343-351.
- Nicholls, N., (1997), Increased Australian wheat yields due to recent climate trends, *Nature*, 387 (6632): 484- 485.
- Peterson, T.C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A. and Plummer, N., (2001), Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001, World Meteorological organization, Technical Document, No. 1071, World Meteorological organization, Geneva.
- Taghavi, F. and Mohammadi, H., (2008), The survey of Linkage between Climate Changes and desertification using Extreme climate index software (case study: Kashan). *Desert*, 13: 9-17.
- Zhang, X., Aguilar, E., Sensoy, S., Melkonyan, H., Tagiyeva, U., Ahmed, N., Kutaladze, N., Rahimzadeh, F., Taghipour, A., Hantosh, T. H., Albert, P., Semawi, M., Karam Ali, M., Said Al-Shabibi, M. H., Al-Oulan, Z., Zatari, T., Khelet, I., Hamoud, S., Sagir, R., Demircan, M., Eken, M., Adiguzel, M., Alexander, L., Peterson, T. C. and Wallis, T., (2005), Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003. *Journal of Geophysical Research*, 110: 1-12.
- Zongxing, L., He, Y., Wang, P., Theakstone, W.H., An, W., Wang, X., Lu, A., Zhang, W., and Cao, W., (2012), Changes in daily climate extremes in southwestern China during 1961-2008. *Global and Planetary Change*, 80-81: 255-272.

## **Impact of Extreme climatic events on Production risk of Winter wheat in Climate Change Condition (Case study: Khorasan Razavi Province)**

**Maryam Erfanian<sup>1</sup>, Hossein Ansari\*<sup>2</sup>, Amin Alizadeh<sup>3</sup>, Mohammed Banayan Aval<sup>4</sup>**

Received: 11-03-2017

Accepted: 11-09-2017

---

### **Abstract**

In recent years, there is much more attention to extreme climatic events. Also, it is proved that changes in intensity and frequency of these events have more destroyer effects on the human health, social and natural systems than changes in the mean climatic situation. The objective of this study was a recognition the effective extreme climatic indexes on winter wheat yield in Khorasan Razavi province. So, daily maximum, minimum temperature and rainfall data of 20 stations of this region were used in the 1982-2011 period. Also, the daily data of CORDEX project in the 2021-2050 with RCP2.6 and RCP 8.5 were analyzed. The yield was simulated with the calibrated and evaluated a model of AquaCrop. Mean yield in the past, future with RCP2.6 and RCP 8.5 were 3.79, 4.88 and 5.24 tons per hectare, respectively. Increase in temperature and CO<sub>2</sub> concentration was the reason of this increase in yield. Results of regression analysis showed that in all periods, effective extreme indexes were temperature-based. The indexes of a number of frost days and days with a minimum temperature lower than the minimum air temperature in the stem period's threshold were effective in all periods. The production risk was calculated based on probability and the impact of extreme climatic indexes. Results showed that the northern and central regions of the Khorasan Razavi province have the high to moderate and the southern parts have low risks. Also, it is concluded that the percent of low to very low risk was decreased and moderate to high risk was increased in the future. This means, however, the yield will increase, but the regions with low risk of extreme events will be decreased.

**Keywords:** Climate change, Risk, Extreme climatic index, Wheat, AquaCrop.

---

<sup>1</sup>- PhD student of irrigation and drainage, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

<sup>2\*</sup>- Professor of irrigation and drainage, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Email: ansariran@gmail.com

<sup>3</sup>- Professor of irrigation and drainage, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

<sup>4</sup>- Professor of Agriculture Department, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.