

## تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر امنیت غذایی در منطقه خراسان

سمیرا شایان مهر، ناصر شاهنوشی فروشانی، محمود صبوخی صابونی، شیدا رستگاری هنبری<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۰۵

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱

### چکیده

تغییر اقلیم به یکی از چالش‌های بشر در سده اخیر مبدل شده است به طوری که بخش کشاورزی یکی از اصلی‌ترین بخش‌های متأثر از این پدیده می‌باشد. این تحقیق به بررسی تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر عملکرد و ریسک عملکرد محصول‌های منتخب و همچنین بر امنیت غذایی در منطقه خراسان می‌پردازد. بدین منظور از مدل داده‌های ترکیبی و رویکرد تابع تولید تصادفی جاست و پاپ برای بررسی اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد محصول‌ها در شهرستان‌های منتخب استفاده شد. همچنین در این تحقیق، روش SDSM برای تولید متغیرهای اقلیمی دمایی بیشینه، دمایی کمینه و بارش با استفاده از خروجی‌های مدل CanESM2 برای سال ۲۰۳۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که متغیرهای دمایی بیشینه، دمایی کمینه و بارش اثر معنی‌داری بر عملکرد محصولات مورد بررسی دارد. به طوری که این عامل‌ها منجر به کاهش تولید گندم آبی، جو آبی و جو دیم در سال ۲۰۳۰ در مقایسه با سال پایه می‌شود. یافته‌ها نشان می‌دهد، در سناریوهای اقلیمی RCP 2.6, 4.5, 8.5 موجودی سرانه گندم از ۱۴۸/۲۲ به ترتیب به ۱۰۴/۴۴، ۱۰۷/۵۱ و ۱۰۹/۸۳، و برای محصول جو از ۷۴/۲۸ به ترتیب به ۴۷/۹۴، ۵۴/۱۹ و ۶۲/۷۹ کیلوگرم به ازای هر نفر کاهش و برای محصول سیب‌زمینی از ۲۶/۲۴ به ترتیب به ۲۵/۳۷، ۲۵/۵۳، ۲۷/۲۴ کیلوگرم به ازای هر نفر تغییر خواهد کرد. با توجه به نتایج به دست آمده پیشنهاد می‌شود راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم همچون سرمایه‌گذاری بر روی فناوری‌های نوین مورد توجه سیاست‌گذاران بخش کشاورزی قرار گیرد.

طبقه‌بندی JEL: Q18، Q54، C10، D81.

واژه‌های کلیدی: متغیرهای اقلیمی، تابع تولید تصادفی، ریسک عملکرد، مدل SDSM.

<sup>۱</sup> به ترتیب: دانشجوی دکتری، استاد (نویسنده مسئول) و استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد. استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه ایالتی اوکلاهما، استیل واتر، اوکلاهما، امریکا

## مقدمه

تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی جهان در سده کنونی است و مهم‌ترین عامل به وجود آورنده آن، افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های انسان است (Shayanmehr et al, 2020a). بررسی‌ها نشان می‌دهد که میانگین دمای کره زمین در طی یک سده اخیر ۰/۸ سلسیوس افزایش یافته‌است؛ به طوری که ۷۵ درصد از افزایش دمای پیش‌آمده در طی سه دهه اخیر رخ داده است (Hansen et al, 2006). گزارش‌های هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> (IPCC) گویای آن است که تغییرات آب و هوایی به شکل شدیدتری ادامه خواهد یافت که این تغییرات اثرهای زیانباری بر بوم سامانه، تنوع زیستی و زندگی بشر خواهد گذاشت (Kotir, 2011). با توجه به وابستگی شدید بخش کشاورزی به شرایط اقلیمی، این بخش می‌تواند بیشترین تأثیر را بپذیرد (Ye et al, 2013). تغییرات اقلیمی از طریق افزایش دما و تغییر در الگوی بارش و همچنین از طریق تغییر در طول دوره رشد گیاه و چرخه محصول، عملکرد و تولید محصول‌های کشاورزی را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Steltzer and Post, 2009). به طوری که نتایج بررسی‌ها و ارزیابی‌های اخیر نشان می‌دهد که اگر اقدامی برای مقابله با گرم شدن دمای زمین انجام نشود، تولید جهانی محصول‌های کشاورزی تا سال ۲۰۸۰ حدود ۱۵/۹ درصد کاهش می‌یابد (Cline, 2017).

ایران در غرب آسیا، منطقه‌ای که در پهنه‌بندی IPCC، جز منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک جهان به شمار آمده، واقع شده‌است (Shayanmehr et al, 2020b). در این منطقه، اثرگذاری‌های منفی تغییر اقلیم بسیار شدید خواهد بود. چون اقلیم خشک و نیمه‌خشک بیش از دیگر اقلیم‌ها نسبت به تغییرپذیری‌های محیطی حساس بوده و آسیب‌پذیری بیشتری دارند (Bannayan et al, 2010). بنابراین، ایران با چالش‌های جدی برای تولید محصول‌های کشاورزی و تأمین امنیت غذایی در آینده با پدیده تغییر اقلیم رو به رو خواهد شد (Ahmadi et al, 2019). افزون بر این، رشد جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا برای غذا و همچنین کم‌یابی و عدم دسترسی به منابع آب می‌تواند بر تولید غذا و تأمین امنیت غذایی در ایران تأثیر شایان توجهی داشته باشد (Shayanmehr et al, 2020a). از این رو، ارزیابی اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر تولید محصول‌های کشاورزی و امنیت غذایی در ایران می‌تواند اطلاعات مناسبی به برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران

---

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

## تغییر اقلیم و پیامدهای... ۹۷

برای تدوین و اجرای سیاست‌های مناسب به منظور کاهش اثرگذاری‌های منفی تغییر اقلیم بر تولید محصول‌های کشاورزی و امنیت غذایی فراهم آورد.

بررسی پیشینه تحقیق در زمینه ارزیابی اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر عملکرد محصول‌های کشاورزی نشان می‌دهد که بررسی‌ها و ارزیابی‌های اغلب از دو گروه مدل؛ (۱) مدل‌های شبیه‌سازی زراعی (Arora et al., 2013; Brown et al., 2011; Gupta et al., 2019; Lone et al., 2010; Lobell et al., 2019; Wei et al., 2012; Sarker et al., 2012) و (۲) مدل‌های رگرسیونی (Sarker et al., 2012; Wei et al., 2012; Doğan & Kan., 2019; Shayanmehr et al., 2020b) استفاده کرده‌اند. مدل‌های شبیه‌سازی زراعی همچون *APSIM*، *SUBSTOR* و *CERES* در آزمایش‌های زراعی کنترل‌شده برای پیش‌بینی اثرگذاری‌های تغییر آب‌وهوا بر عملکرد محصول‌های زراعی تحت سناریوهای اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرند (Sarker et al., 2014; Shayanmehr et al., 2020a). یکی از نقطه‌های ضعف این مدل‌ها این است که تمرکز صرفی بر فیزیولوژی محصول‌های زراعی دارند و اقدام به پیش‌بینی اثرگذاری‌های بالقوه تغییر اقلیم بر عملکرد محصول‌ها بدون در نظر گرفتن رفتار سازگاری کشاورزان با این تغییرپذیری‌ها می‌کند (Finger, 2009). از این رو، نتایج مدل‌های شبیه‌سازی زراعی اغلب اثرگذاری‌های مثبت تغییر اقلیم را کمتر از حد و اثرگذاری‌های منفی تغییر اقلیم را بیش از حد برآورد می‌کند (Mahmood et al., 2019). برخلاف مدل‌های شبیه‌سازی زراعی، مدل‌های رگرسیونی انعطاف‌پذیرتر هستند، زیرا تنها داده‌های تاریخی اقلیمی و عملکرد محصول‌ها را برای برآورد استفاده می‌کند. افزون بر این، با اینکه مدل‌های رگرسیونی برای اعتبارسنجی و ارزیابی‌شان به داده‌های مدیریتی و مزرعه‌ای نیازمند نمی‌باشند، اما برازش مناسبی را مجموعه مشاهده‌های موجود فراهم می‌آورد و بنابراین پایه و شالوده رابطه‌های آینده بین اقلیم و عملکرد را هماهنگ با گذشته در نظر می‌گیرد (Sinnarong et al., 2019; Shayanmehr et al., 2020a).

بررسی پیشینه تحقیق در زمینه پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی بر عملکرد محصول‌های کشاورزی نشان می‌دهد که گروهی از بررسی‌ها با استفاده از سناریوهای کاهش-افزایشی تعیین شده توسط محقق (سناریوهای فرضی)، (Zarei et al., 2019; Meghdadi et al., 2015; Momeni & Zibaei, 2013)، گروهی دیگر از خروجی‌های بزرگ‌مقیاس مدل گردش عمومی<sup>۱</sup> (GCM) استفاده کرده‌اند (Hajarpoor et al., 2014; Nassiri et al., 2006). در نتایج این بررسی‌ها توصیه شده که

---

<sup>1</sup> General Circulation Model (GCM)

برای دستیابی به نتایج قابل اعتمادتر در زمینه اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر عملکرد محصول‌ها از داده‌های بهبودیافته اقلیمی *GCM* برای *RCPs*<sup>۱</sup> استفاده شود. از این رو در این تحقیق از خروجی‌های *CMIP5-CanESM2*<sup>۲</sup> برای پیش‌بینی شرایط اقلیمی آینده استفاده شد. نوآوری این تحقیق در مقایسه با دیگر بررسی و ارزیابی‌های صورت گرفته این است که در این بررسی برای نخستین بار از مدل ریزمقیاس‌نمایی *SDSM*<sup>۳</sup> و داده‌های مدل *CanESM2* (مدل اقلیمی) و مدل داده‌های ترکیبی با رهیافت تابع تولید تصادفی جاست و پاپ (مدل اقتصادی) برای ارزیابی اثرگذاری‌های تغییر اقلیم آینده بر تولید محصول‌ها و امنیت غذایی استفاده شد. منطقه مورد نظر در این تحقیق منطقه خراسان می‌باشد. فعالیت اصلی اقتصادی در منطقه خراسان، کشاورزی و فعالیت‌های مرتبط به آن است که به شدت تحت تأثیر شرایط آب‌وهوایی و اقلیمی منطقه است (Ahmadi et al. 2015). این موضوع ضرورت انجام بررسی و ارزیابی‌هایی در جهت کاهش آسیب‌پذیری محصول‌های کشاورزی در برابر تغییر اقلیم در این منطقه را دوجندان می‌کند. لذا هدف اصلی این بررسی تبیین اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر تولید محصول‌های کشاورزی و امنیت غذایی در منطقه خراسان است. انتظار می‌رود یافته‌های این تحقیق بتواند در تدوین و اجرای سیاست‌های مناسب برای کاهش اثرهای سوء تغییر اقلیم بر تولید غذا و دستیابی به امنیت غذایی منطقه خراسان استفاده شود.

### روش تحقیق

در این بررسی، در آغاز به پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش با استفاده از مدل *SDSM* در قالب سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6*، *RCP 4.5* و *RCP 8.5* برای سال ۲۰۳۰ پرداخته می‌شود. آن‌گاه در قالب مدل رگرسیونی جاست و پاپ داده‌های ترکیبی، پاسخ عملکرد محصول‌های زراعی منتخب (گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و سیب‌زمینی) نسبت به متغیرهای اقلیمی برای سال مورد نظر در قالب سناریوهای اقلیمی مختلف در منطقه خراسان بررسی می‌شود. در مرحله نهایی به بررسی اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر امنیت غذایی در منطقه خراسان پرداخته می‌شود. مرحله‌های انجام تحقیق در شکل ۲ ارائه شده است.

<sup>۱</sup> Representative Concentration Pathways (RCPs)

<sup>۲</sup> Coupled Model Intercomparison Project phase 5-second generation Canadian Earth System Model

<sup>۳</sup> Statistical Downscaling Model (SDSM)

## تغییر اقلیم و پیامدهای... ۹۹



شکل (۲) چارچوب روش تحقیق

Figure (2) the framework of the research methodology

### پیش بینی شرایط اقلیمی آینده با استفاده از مدل SDSM

مدل‌های گردش عمومی (GCMs) به‌عنوان ابزار جامع برای تولید اطلاعات در مورد اقلیم آینده برای سناریوی انتشار معرفی شده‌اند. خروجی‌های این مدل هیچگاه نمی‌توانند به‌طور مستقیم برای پیش‌بینی‌های منطقه‌ای یا نقطه‌ای استفاده شوند، آن‌ها نیازمند ریزمقیاس نمایی هستند تا با اعمال رفتارهای محلی در آن‌ها پیش‌بینی‌هایشان در مقیاس‌های محلی بهبود یابند. از این رو در این بررسی از مدل SDSM برای ریزمقیاس کردن خروجی‌های CanESM2 استفاده شد. مدل CanESM2 تنها مدلی است که پیش‌بینی‌کننده‌های روزانه‌ای را فراهم می‌کند که به‌طور مستقیم در مدل SDSM استفاده می‌شود.

*SDSM* یکی از ابزارهای ریزمقیاس نمایی آماری می‌باشد که توسط Wilby et al. (2002) برای ارزیابی اثرگذاری‌های منطقه‌ای تغییر اقلیم توسعه داده شد. ورودی این مدل داده‌های مشاهده‌ای روزانه اقلیمی (همچون دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش) مربوط به ایستگاه (متغیرهای پیش‌بینی شونده)، متغیرهای بزرگ‌مقیاس *NCEP* (پیش‌بینی کننده) و برون‌داد متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار مختلف برای دوره تحت بررسی آینده می‌باشد. این مدل قابلیت سریع و کم‌هزینه داده‌های ریزمقیاس شده در مقیاس ایستگاهی به صورت روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه را دارد. این مدل شامل شش مرحله می‌باشد: (۱) کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها؛ (۲) تعیین رابطه‌های بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و پیش‌بینی شونده؛ (۳) واسنجی مدل؛ (۴) تولید داده‌های تاریخی و صحت سنجی مدل؛ (۵) تجزیه و تحلیل داده‌ها و (۶) تولید سناریوهای اقلیمی.

### ارزیابی عملکرد مدل

به منظور بررسی عملکرد مدل *SDSM* در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی از معیارهای ضریب همبستگی ( $R$ )، ضریب تعیین ( $R^2$ )، میانگین خطای مطلق ( $MAE$ )، مجذور میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ ) و ضریب نش-ساتکلیف<sup>۱</sup> ( $NSE$ ) و همچنین از نمودارهای مقایسه‌ای استفاده شده است (Rezaei et al, 2013; Shayanmehr et al, 2020b).

### مدل‌های رگرسیون واکنش - عملکرد

در میان الگوهای رگرسیونی، رویکرد تابع تولید جاست و پاپ قابلیت آن را دارد تا چگونگی اثرگذاری متغیرهای مستقل را هم بر میانگین عملکرد و هم بر ریسک عملکرد ارزیابی کند (Sarker et al., 2012). این رویکرد به عنوان یک روش کارآمد در تحلیل اثرگذاری تغییر اقلیم بر عملکرد محصول‌ها در بسیاری از بررسی‌های پیشین استفاده شده است (Palanisami et al., 2011; McCarl et al., 2008; Kim & Pang, 2009; Cabas et al., 2009; Boubacar, 2010). بنابراین در این تحقیق، برای برآورد حساسیت عملکرد محصول‌های منتخب (گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و سیب‌زمینی) در منطقه خراسان نسبت به دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش از رهیافت توسعه داده شده توسط Just and Pope (۱۹۷۸) استفاده می‌شود. این رهیافت

<sup>1</sup> Nash-Sutcliffe coefficient

## تغییر اقلیم و پیامدهای... ۱۰۱

شامل دو جز است: جز اول مرتبط با سطح عملکرد است و جز دوم مربوط به واریانس عملکرد می‌باشد. شکل کلی آن به صورت زیر است:

$$y = h(X, \alpha) + g(X, \beta)\varepsilon \quad (1)$$

که در آن  $y$  عملکرد محصول موردنظر،  $X$  بردار متغیرهای دما (میانگین دمای کمینه و بیشینه در طول فصل رشد) و بارش (میانگین بارندگی تجمعی در طول فصل رشد محصول)،  $h(X, \beta)$  تابع تولید مربوط به میانگین عملکرد و  $g(X, \alpha)$  تابع واریانس عملکرد یا ریسک عملکرد است.  $\beta$  و  $\alpha$  نیز ضرایب مجهول هستند که باید برآورد شوند و  $\varepsilon$  جمله اخلاص رگرسیون با میانگین صفر و واریانس یک است. این تابع بیانگر آن است که میانگین عملکرد و واریانس عملکرد دو جزء جدا می‌باشند که توسط تغییر در متغیرهای اقلیمی توضیح داده می‌شوند.

پارامترهای معادله (۱) را می‌توان از طریق رهیافت  $MLE^1$  و  $FGLS^2$  برآورد کرد (Just and Pope, 1978). بسیاری از مطالعات پیشین از رهیافت  $FGLS$  استفاده کرده‌اند، در حالی که رهیافت  $MLE$  در مواردی که شمار نمونه کم است کارا می‌باشد (Sarker et al., 2014)؛ اما از آنجایی که در این بررسی شمار نمونه بالا می‌باشد رهیافت  $FGLS$  به کار گرفته می‌شود. برای برآورد الگوی جاست و پاپ با استفاده از رهیافت  $FGLS$  سه مرحله بایستی طی شود که به شرح زیر است:

(i) عملکرد هر یک از محصولات زراعی بر روی متغیرهای مستقل به صورت زیر برآورده می‌شود و جز خطا حاصل می‌شود.

$$y = h(X, \alpha) + \eta \quad (2)$$

(ii) لگاریتم مربع  $\eta$  رگرس می‌شود بر روی متغیرهای مستقل به صورت زیر:

$$\ln(\hat{\eta}^2) = g(X, \beta) + \varepsilon \quad (3)$$

(iii) معادله (۲) توسط آنتی لگاریتم ارزش‌های پیش‌بینی شده  $\ln(\hat{\eta}^2)$  به عنوان وزن، تعدیل شده تا اثر ناهمسانی واریانس را رفع کرده و برآورد نهایی  $\alpha$  به دست آید.

$$yg^{-0.5}(X, \hat{\beta}) = h(X, \alpha)g^{-0.5}(X, \hat{\beta}) + \eta g^{-0.5}(X, \hat{\beta}) \quad (4)$$

<sup>1</sup> Maximum Likelihood Estimation

<sup>2</sup> three-step Feasible Generalized Least Squares

که در این معادله  $\alpha$  بیانگر تأثیر عامل‌های اقلیمی بر میانگین عملکرد است. سه شکل تابعی (ترانسلوگ<sup>۱</sup>، درجه دوم<sup>۲</sup> و کابداگلاس<sup>۳</sup>) برای الگوی جاست و پاپ استفاده شده است (Isik & Devadoss, 2006; Sarker et al., 2014). با توجه به اینکه شکل تابعی ترانسلوگ فرضیه‌های جاست و پاپ را نقض می‌کند (Sarker et al., 2014; Tveteros, 1999)؛ بنابراین شکل تابعی درجه دوم و کابداگلاس برای الگوی جاست و پاپ بکار گرفته شد ولی از آنجایی که شکل تابعی کابداگلاس نتایج بهتری را ارائه داد، بنابراین در این بررسی تنها نتایج شکل تابعی کابداگلاس ارائه شده است.

تابع میانگین عملکرد به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\log(y_{it}) = \beta_0 + \alpha_{it} \log(Tmin_{it}) + \lambda_{it} \log(Tmax_{it}) + \eta_{it} \log(P_{it}) + vTrend \quad (5)$$

در حالی که  $i$  و  $t$  نشان‌دهنده شهرستان‌های مورد بررسی و زمان هستند.  $y_{it}$  عملکرد محصول مورد نظر در شهرستان نام در سال  $t$ ام است. Trend متغیر روند زمانی است که به عنوان نمودی از پیشرفت فناوری در نظر گرفته می‌شود.  $Tmin_{it}$  و  $Tmax_{it}$  و  $P_{it}$  به ترتیب بیانگر میانگین دمای کمینه و بیشینه و میانگین بارندگی تجمعی در طول فصل رشد محصول در شهرستان  $i$  در سال  $t$  است.

تابع واریانس عملکرد در یک شکل تابعی کاب-داگلاس به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\ln \eta^2 = \beta_0 + \alpha_{it} \log(Tmin_{it}) + \lambda_{it} \log(Tmax_{it}) + \eta_{it} \log(P_{it}) + vTrend \quad (6)$$

با توجه به هدف بررسی، بایستی در آغاز بررسی شود که آیا ریسک عملکرد وجود دارد یا خیر؟ اگر پسماندها دارای واریانس ثابت نباشد، آن را ناهمسانی واریانس می‌نامند. ریسک عملکرد به عنوان ناهمسانی واریانس معرفی می‌شود. آزمون ناهمسانی واریانس انجام می‌شود و اگر واریانس ناهمسانی تشخیص داده نشد می‌توان آن را دلیلی بر نبود ریسک در نظر گرفت و در صورتی که وجود واریانس ناهمسانی در مدل تأیید شد آن‌گاه می‌توان تابع ریسک عملکرد را برآورد کرد (Tveteros, 1999).

با توجه به اینکه داده‌های این بررسی هم دارای زمان و هم مقطع می‌باشد، بدین جهت برای برآورد تابع‌های میانگین عملکرد و ریسک عملکرد از روش داده‌های ترکیبی استفاده شد. در

<sup>1</sup> Translog

<sup>2</sup> Quadratic

<sup>3</sup> Cobb-Douglas



## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۰۳

روش داده‌های ترکیبی از اطلاعات به‌مراتب بیش‌تری استفاده می‌شود. لذا با افزایش دامنه آمار و اطلاعات، درجه آزادی مدل افزایش‌یافته و برآوردهای به‌مراتب کاراتر هستند. یکی دیگر از برتری‌های استفاده از این مدل، حل تورش برآوردهای معادله‌های مقطعی می‌باشد. این تورش به جهت در نظر نگرفتن بسیاری از متغیرهای مستقل مدل و خطای اندازه‌گیری متغیرها ایجاد می‌شود. استفاده از مدل داده‌های ترکیبی به دلیل افزایش درجه آزادی و بررسی متغیرها در طی زمان، می‌تواند تورش معادله‌ها را کاهش دهد (Gujarati, 2004).

این بررسی، انتخاب مقطع‌های (شهرستان‌ها) بر مبنای دسترسی به داده‌های زراعی و داده‌های ماهانه اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی در دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۹۵ انتخاب شد. در این مرحله به‌منظور تعیین مقدار متغیرهای مستقل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش برای هر یک از مقطع‌ها از اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی استفاده شد. در جدول (۱) شهرستان‌های منتخب برای هر محصول ارائه شده‌است.

جدول (۱) شهرستان‌های منتخب در الگوی داده‌های ترکیبی جاست و پاپ

Table (1) selected counties in the Just-Pope panel data model

سیب‌زمینی	جو دیم	جو آبی	گندم دیم	گندم آبی
Potato	Rainfed barley	Irrigated barley	Rainfed wheat	Irrigated wheat
مشهد، شیروان، بجنورد،	مشهد، شیروان، بجنورد،	مشهد، شیروان، بجنورد، تربت‌حیدریه،	مشهد، شیروان، بجنورد،	مشهد، شیروان، بجنورد، تربت‌حیدریه،
تربت‌حیدریه،	تربت‌حیدریه،	نیشابور، کاشمر،	تربت‌حیدریه،	نیشابور، کاشمر،
نیشابور، کاشمر،	نیشابور، کاشمر،	قوچان، سبزوار،	نیشابور، کاشمر،	قوچان، سبزوار،
قوچان، سبزوار، بیرجند و قائنات	قوچان، سبزوار، بیرجند و قائنات	بیرجند و قائنات	قوچان، سبزوار، بیرجند و قائنات	قوچان، سبزوار، بیرجند و قائنات

## شاخص امنیت غذایی

در این بررسی به پیروی از (2014) and Tariq et al. (2014) and Zulfiqar and Hussain (2014) جهت سنجش سطح امنیت غذایی نسبت به تولید محصول‌های منتخب از شاخص موجودی سرانه<sup>۱</sup> استفاده شد که از تقسیم تولید کل هر یک از محصول‌های کشاورزی تقسیم بر کل جمعیت منطقه خراسان به دست می‌آید. در این بررسی اطلاعات اولیه در زمینه جمعیت منطقه خراسان

<sup>1</sup> Per-capita availability

(شامل استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی) از مرکز آمار ایران به دست آمد. به منظور پیش‌بینی جمعیت برای سال ۲۰۳۰ از رابطه زیر استفاده شد (Abdullah, 2016):

$$P_t = P_0 e^{rt} \quad (7)$$

در این رابطه  $P_t$  جمعیت در سال ۲۰۳۰،  $P_0$  جمعیت در سال پایه (۲۰۱۶)،  $r$  نرخ رشد جمعیت،  $t$  شمار سال‌های مورد پیش‌بینی می‌باشد.

### داده‌ها و اطلاعات تحقیق

داده‌های روزانه مشاهده‌شده دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه مشهد برای دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد. داده‌های واکاوی روزانه بزرگ‌مقیاس در دوره ۲۰۰۵-۱۹۶۱ از مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا ( $NCEP^1$ ) گردآوری شد. داده‌های بزرگ‌مقیاس پیش‌بینی کننده برای مدل  $CanESM2$  از پایگاه مرکز کانادایی مدل‌سازی و تجزیه و تحلیل آب‌وهوا<sup>۲</sup> ( $CCCma$ ) به دست آمد. داده‌های ماهانه مشاهده‌شده دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه‌های موردنظر برای دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۵ از سازمان هواشناسی کشور گردآوری شد. داده‌ها در زمینه عملکرد محصول‌های منتخب در این تحقیق از وزارت جهاد کشاورزی برای دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۵ گردآوری شد. آمار و اطلاعات مربوط به جمعیت منطقه موردبررسی از مرکز آمار ایران به دست آمد.

### منطقه مورد بررسی

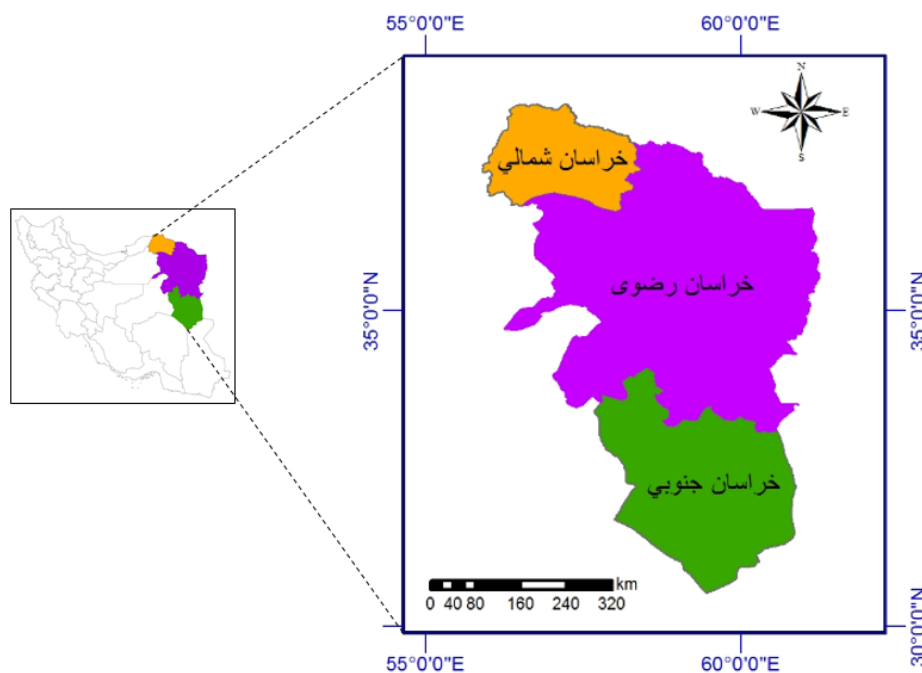
در پهنه‌بندی کشاورزی-بوم‌شناختی ایران، منطقه خراسان شامل سه استان خراسان رضوی، شمالی و جنوبی به‌عنوان یک پهنه در نظر گرفته‌شده است که از لحاظ اقلیم و خاک برای کشاورزی همانند می‌باشند (FAO, 2005). منطقه خراسان دارای گستره‌ای حدود ۲۹۸۴۸۱ کیلومتر مربع (نزدیک به ۱۵ درصد از گستره کشور) و جمعیتی برابر ۸۰۶۶۴۹۱ نفر (در حدود ۱۰ درصد از جمعیت کشور) می‌باشد (Jafari Samimi et al., 2009). فعالیت اصلی اقتصادی این منطقه کشاورزی و فعالیت‌های وابسته به آن است (Ahmadi et al. 2015). منطقه خراسان حدود ۹ درصد از کل تولیدهای زراعی کشور را به خود اختصاص داده‌است. محصول‌های عمده زراعی این منطقه شامل گندم (تولید حدود ۱۱۹۵/۴۰ هزار تن)، جو (تولید حدود ۵۹۹/۱۶ هزار تن) و سیب‌زمینی (تولید حدود ۲۱۱/۶۳ هزار تن) می‌باشد (Ministry of Agricultural Jihad, 2016).

<sup>1</sup> National Center for Environmental Prediction

<sup>2</sup> Canadian Center for Climate Modelling and Analysis

## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۰۵

نتایج بررسی‌های اخیر نشان داد که تغییر اقلیم اثرگذاری‌های زیانباری بر منابع‌های آب کشور به ویژه منطقه خراسان خواهد داشت. همچنین بررسی شاخص خشکسالی  $SPI^1$  برای منطقه‌های کشاورزی-بوم شناختی کشور در طی سال‌های ۱۳۶۰-۱۳۹۵ نشان می‌دهد که در میان ۱۰ منطقه مورد بررسی، منطقه خراسان بیشترین سال‌های خشکسالی را در مقایسه با دیگر منطقه‌های کشور تجربه کرده‌است (Shayanmehr, 2021). بنابراین رخداد پدیده تغییر اقلیم می‌تواند تولید محصول‌های کشاورزی و در نتیجه تضمین امنیت غذایی کشور را با چالش جدی روبه‌رو نماید.



شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه مورد بررسی

Figure (1) the geographical situation of the study area

## نتایج و بحث

### پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی

برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های گزارش پنجم گردش عمومی *CanESM2* در آغاز فایل‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش روزانه در دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) به مدل *SDSM* معرفی شد و

<sup>1</sup>Standardized Precipitation Index (SPI)

آن‌گاه کیفیت داده‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. سپس رابطه‌ها و میزان همبستگی متغیر پیش‌بینی شونده با متغیرهای پیش‌بینی کننده مورد سنجش قرار گرفت. پس از اجرای این مرحله متغیرهایی که بیشترین میزان همبستگی را با متغیر پیش‌بینی شونده داشتند، برابر جدول (۲) انتخاب شدند.

متغیرهای پیش‌بینی کننده انتخاب شده برای واسنجی به مدل معرفی می‌شوند. برای انجام این مرحله از واسنجی سالانه استفاده می‌شود. فایل واسنجی ذخیره شده و از این پس این فایل است که عملیات ریزمقیاس‌نمایی را مدیریت می‌کند. با استفاده از این فایل داده‌های بارش برای دوره صحت‌سنجی (۲۰۰۵-۱۹۹۱) تولید شد. سپس داده‌های تولید شده با داده‌های مشاهده‌ای بر مبنای معیارهای عملکرد ارزیابی شدند.

جدول (۲) متغیرهای پیش‌بینی کننده منتخب برای پیش‌بینی دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش

**Table (2) selected predictors variables for predicting maximum temperature, minimum temperature, and precipitation**

متغیرهای پیش‌بینی کننده NCEP NCEP predictor variables			متغیر اقلیمی Climate variable
tempgl	p500gl	mslpgl	دمای بیشینه
tempgl	p500gl	mslpgl	دمای کمینه
shumgl	s850gl	prcpgl	بارش

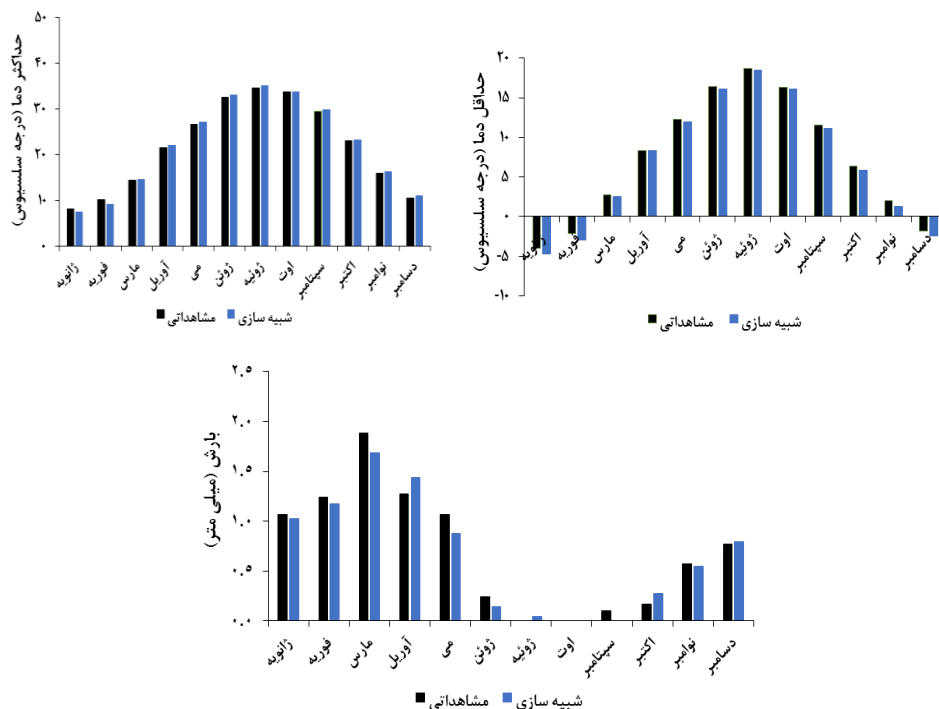
Source: The research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

### صحت‌سنجی مدل SDSM

به منظور ارزیابی و مقایسه دقت روش‌ها و سناریوهای مدل استفاده شده، از دو روش ترسیمی و معیارهای عملکرد استفاده شد. برازش داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله صحت-سنجی (۲۰۰۵-۱۹۹۱) به ترتیب برای ایستگاه مشهد در شکل (۳) ارائه شده است. ارزیابی میانگین ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش نشان داد که سازگاری رضایتمندی بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش وجود دارد که تأییدی بر عملکرد قابل قبول مدل SDSM می‌باشد.

## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۰۷



شکل (۳) اعتبارسنجی مدل SDSM برای متغیرهای اقلیمی از طریق مقایسه میانگین ماهانه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده ایستگاه مشهد در طی دوره (۱۹۹۱-۲۰۰۵)

**Figure (3) Validation of SDSM performance for climate parameters by comparing the monthly average for the measured and estimated data for Mashhad station during 1991–2005.**

در ادامه عملکرد مدل SDSM با استفاده از شاخص‌های  $R$ ،  $RMSE$ ،  $NSE$  و  $MAE$  در دوره صحت‌سنجی (۱۹۹۱-۲۰۰۵) ارزیابی شد که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده است. ارزیابی این شاخص‌ها نشان می‌دهد که مدل دارای عملکرد مناسبی در ریزمقیاس نمایی داده‌های دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش است. ارزش‌های بالای  $R$  ( $0.98 < R$ )،  $R^2$  ( $0.96 < R^2$ ) و  $NSE$  ( $0.92 < NSE$ ) و مقادیر پایین  $RMSE$  ( $2/11 - 0/10$ ) و  $MAE$  ( $1/60 - 0/08$ ) بیانگر آن است که دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش شبیه‌سازی شده در طی مرحله صحت‌سنجی برازش قابل قبولی در ایستگاه داده‌های مشاهده‌ای تاریخی دارا می‌باشد، بنابراین صحت و اسنجی مدل SDSM تأیید می‌شود. به‌طور کلی با توجه به شکل (۳) و نتایج جدول (۳) می‌توان بیان کرد که عملکرد و کارایی

مدل *SDSM* در ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی قابل قبول می‌باشد که با نتایج به دست آمده از تحقیقات گل محمدی و مساح بوانی (۱۳۸۹) و رضایی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد.

جدول (۳) نتایج عملکرد *SDSM*  
**Table (3) SDSM performance results**

MAE	NSE	RMSE	R <sup>2</sup>	R	متغیرهای اقلیمی Climatic variables
0.42	0.99	0.47	0.99	0.99	دمای بیشینه
1.60	0.92	2.11	0.99	0.99	دمای کمینه
0.08	0.96	0.10	0.96	0.98	بارش

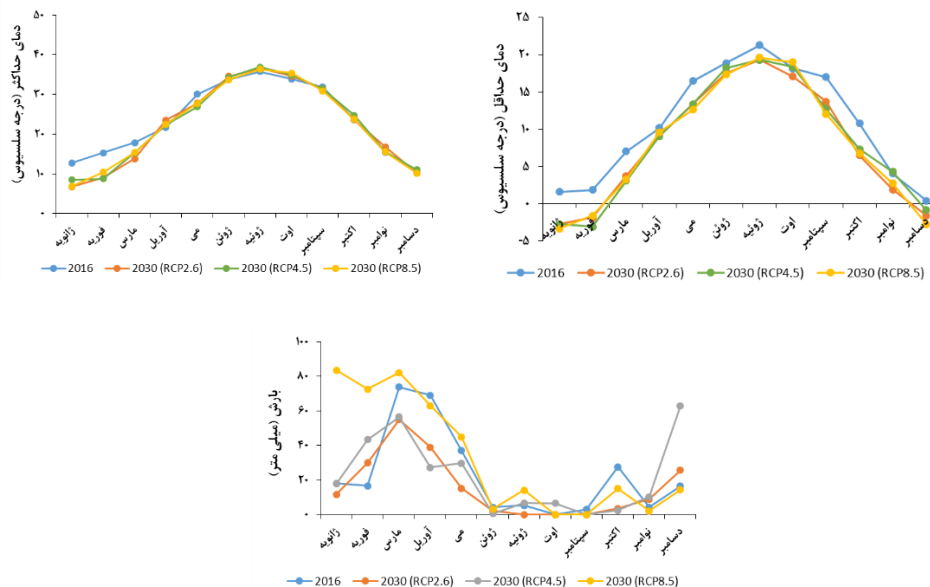
Source: The research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

### تولید سناریوهای *RCP2.6*، *RCP4.5* و *RCP8.5* برای سال ۲۰۳۰ میلادی

شکل (۴) میزان تغییر میانگین ماهانه دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش را برای سال ۲۰۳۰ تحت هر یک از سناریوهای انتشار *RCP2.6*، *RCP4.5* و *RCP8.5* نسبت به سال پایه (۲۰۱۶) در ایستگاه مشهد نشان می‌دهد. همان‌طور که شکل (۴) نشان می‌دهد در ایستگاه مشهد، در ماه‌های آوریل، ژوئن، ژوئیه، اوت، اکتبر و نوامبر دمای بیشینه نسبت به سال پایه افزایش خواهد یافت و بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در سال ۲۰۳۰ مربوط به ماه ژوئیه (حدود ۱/۵ درجه سلسیوس) تحت سناریوی *RCP 8.5* می‌باشد. نتایج در زمینه دمای کمینه در این ایستگاه نشان می‌دهد که دمای کمینه در تمامی ماه‌ها به جز ماه اوت کاهش خواهد یافت. بیشترین کاهش دمای کمینه مربوط به ماه فوریه (حدود ۵ درجه سلسیوس) در سناریوی *RCP 4.5* می‌باشد. در ارتباط با بارش می‌توان بیان کرد که بیشترین کاهش بارش در ماه آوریل (حدود ۴۱/۸ میلی‌متر) و بیشترین افزایش در ماه ژانویه (۶۵/۴ میلی‌متر) می‌باشد. همچنین بیشترین بارش متعلق به سناریوی *RCP 8.5* و مربوط به ماه ژانویه می‌باشد که میزان بارش در این ماه حدود ۸۳/۵ میلی‌متر می‌باشد. در این سناریو در ماه سپتامبر هیچ بارشی وجود نخواهد داشت.

## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۰۹



شکل (۴) مقادیر مشاهده‌ای (سال ۲۰۱۶ میلادی) و پیش‌بینی‌شده (سال ۲۰۳۰ میلادی) متغیرهای

اقلیمی تحت سناریوهای RCP در ایستگاه مشهد

**Figure (3) the observed (2016) and predicted (2030) values for climatic variables under RCP scenario in Mashhad station**

### تأثیر اقلیم بر تولید و امنیت غذایی

در این بخش از تحقیق در آغاز به بررسی آزمون‌های موردنیاز پیش از برآورد تابع‌های واکنش عملکرد همچون آزمون هم خطی، ناهمسانی واریانس و ایستایی پرداخته می‌شود. سپس پس از تعیین روش برآورد، به بررسی نتایج تابع‌های واکنش-عملکرد برای محصول‌های موردبررسی، پرداخته می‌شود. در نهایت تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی منطقه خراسان بررسی می‌شود.

### آزمون‌های پیش از برآورد تابع‌های واکنش-عملکرد

در این تحقیق پیش از برآورد تابع‌های واکنش عملکرد، هم خطی متغیرهای توضیحی با استفاده از عامل تورم واریانس ( $VIF^1$ ) بررسی شد. نتایج نشان داد که بین متغیرها در تابع‌های واکنش-

<sup>1</sup> Variance Inflation Factor

عملکرد همه محصولات این شاخص کوچکتر از ۲/۹۸ می‌باشد بنابراین می‌توان بیان کرد که در این تابع‌ها هم خطی وجود ندارد. همچنین به منظور بررسی وضعیت ایستایی متغیرهای به کار گرفته در مدل، از دو آزمون ایستایی لوین، لین و چو و فیشر استفاده شد. همان‌طور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های ایستایی در زمینه متغیرهای مدل رگرسیون واکنش-عملکرد نشان می‌دهد که همه‌ی متغیرهای موردبررسی در این تابع‌ها ایستا می‌باشند.

جدول (۴) نتایج آزمون ایستایی  
Table (4) Unit root test results

بارندگی Precipitation		دمای کمینه Minimum temperature		دمای بیشینه Maximum temperature		عملکرد Yield		محصول‌ها Crops
لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	لوین، لین و چو Fisher	
208.5*** (0.00)	-3.9*** (0.00)	62.2*** (0.00)	-6.0*** (0.00)	168.4*** (0.00)	-3.3*** (0.00)	90.7*** (0.00)	-2.9*** (0.00)	گندم آبی
208.5*** (0.00)	-3.9*** (0.00)	62.2*** (0.00)	-6.0*** (0.00)	168.4*** (0.00)	-3.3*** (0.00)	42.7*** (0.00)	-2.1*** (0.01)	گندم دیم
200.5*** (0.00)	-3.7*** (0.00)	73.6*** (0.00)	-6.9*** (0.00)	163.4*** (0.00)	-3.5*** (0.00)	116.7*** (0.00)	-3.5*** (0.00)	جو آبی
200.5*** (0.00)	-3.7*** (0.00)	73.6*** (0.00)	-6.9*** (0.00)	163.4*** (0.00)	-3.5*** (0.00)	56.3*** (0.00)	-2.7*** (0.00)	جو دیم
122.7*** (0.00)	-5.3*** (0.00)	209.8*** (0.00)	-7.6*** (0.00)	206.3*** (0.00)	-3.4*** (0.00)	87.8*** (0.00)	-4.3*** (0.00)	سیب‌زمینی

\*\*\* نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح ۱ درصد می‌باشد. اعداد درون پرانتز نشان‌دهنده سطح احتمال می‌باشد.

Source: The research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

در این بررسی برای شناسایی وجود ناهمسانی واریانس در تابع‌های عملکرد محصولات موردبررسی، آزمون بروش پاگان به کار گرفته شد. نتایج این آزمون برای هر یک از تابع‌ها در جدول (۵) ارائه شده است. برابر نتایج این جدول، مقدار آماره این آزمون برای همه تابع‌های عملکرد به جزء محصول گندم آبی معنی‌دار می‌باشد. بنابراین از مدل داده‌های ترکیبی با رویکرد تابع تولید جاست-پاپ برای برآورد تابع‌های عملکردی که دارای ناهمسانی واریانس است، استفاده شده است. همچنین برای تابع‌های عملکردی که ناهمسانی واریانس برای آن تأیید نشده است، از مدل داده‌های ترکیبی استفاده شده است. در ادامه برای انتخاب روش مناسب برای برآورد داده‌ها از آزمون هاسمن استفاده شد. همان‌طور که در جدول (۵) مشاهده می‌شود تابع میانگین عملکرد برای محصولات گندم آبی و دیم با استفاده از روش اثرهای ثابت و برای محصولات



## تغییر اقلیم و پیامدهای... ۱۱۱

جو آبی و دیم و همچنین سیب زمینی با استفاده از روش اثرهای تصادفی برآورد می‌شود. همچنین در تابع‌های واریانس عملکرد محصول‌های گندم دیم، جو دیم و سیب زمینی با استفاده از روش اثرهای تصادفی و محصول جو آبی با استفاده از روش اثرهای ثابت برآورد می‌شوند.

جدول (۵) آزمون‌های ویژگی‌های مدل داده‌های ترکیبی

Table (5) Panel data model specification tests

سیب زمینی Potato	جو دیم Rainfed barley	جو آبی Irrigated barley	گندم دیم Rainfed wheat	گندم آبی Irrigated wheat	آزمون‌ها Tests	
11.78 (0.00)	3.17 (0.07)	5.81 (0.01)	5.00 (0.02)	0.90 (0.34)	آزمون برونش پاگان	ناهمسانی واریانس
3.60 (0.46)	6.52 (0.16)	23.10 (0.00)	2.85 (0.58)	-	آزمون هاسمن	تابع واریانس عملکرد
4.74 (0.31)	7.45 (0.11)	3.47 (0.48)	80.66 (0.00)	34.52 (0.00)	آزمون هاسمن	تابع میانگین عملکرد

Source: The research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

### تابع‌های واکنش-عملکرد

در این مرحله از تحقیق، برای برآورد حساسیت عملکرد محصول‌های زراعی منتخب نسبت به دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش، مدل رگرسیون واکنش-عملکرد به صورت رابطه‌های (۱۰) و (۱۱) با استفاده از مدل داده‌های ترکیبی با رویکرد جاست‌وپاپ برای محصول‌های گندم دیم، جو آبی، جو دیم و سیب زمینی و مدل داده‌های ترکیبی برای محصول گندم آبی برآورد شد. از بین شکل‌های تابعی، تابع کاب داگلاس با توجه به برازش بهتر میانگین و واریانس عملکرد در این تحقیق استفاده شد. لازم به یادآوری است با توجه به شکل لگاریتمی تابع‌های واکنش-عملکرد، ضریب‌های مدل و کشش‌های تابع‌ها یکسان می‌باشند.

نتایج برآوردهای میانگین عملکرد و ریسک عملکرد محصول‌های گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و سیب زمینی در جدول (۶) ارائه شده است. قسمت اول این جدول در زمینه نتایج مربوط به تابع واریانس عملکرد می‌باشد و قسمت دوم این جدول در بردارنده نتایج مربوط به تابع میانگین عملکرد می‌باشد. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌شود در تابع میانگین عملکرد و واریانس عملکرد، آماره Wald نشان‌دهنده معناداری کل مدل است.

نتایج تابع واکنش-عملکرد گویای آن است که دمای بیشینه اثر منفی و معناداری بر عملکرد محصول‌های گندم آبی، گندم دیم، جو آبی و جو دیم دارد یعنی به ازای یک درصد افزایش در دمای بیشینه، عملکرد این محصول‌ها به ترتیب ۴/۶۶، ۳/۰۱، ۲/۷۷ و ۵/۳۲ درصد کاهش می‌یابد.

درحالی که در زمینه محصول سیب زمینی، دمای بیشینه اثر مثبت و معنی داری بر عملکرد این محصول دارد این نتایج با یافته‌های بررسی (Janat Sadeghi et al (2019) در زمینه محصول‌های گندم آبی و جو آبی همخوانی دارد. افزایش دمای کمینه در این منطقه باعث افزایش عملکرد در محصول‌های گندم آبی، گندم دیم، جو آبی و جو دیم و کاهش عملکرد در محصول سیب زمینی می‌شود. ارتباط بین متغیر اقلیمی بارش و عملکرد محصول‌های مورد بررسی به صورت مستقیم می‌باشد به طوری که با افزایش بارش در این منطقه عملکرد محصول‌های مورد بررسی افزایش می‌یابد. این نحوه اثر گذاری برابر با نتایج بررسی (Janat Sadeghi et al (2019) می‌باشد. در این منطقه نیز متغیر روند زمانی اثر مثبتی بر عملکرد محصول‌های گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و سیب زمینی دارد.

نتایج مربوط به واریانس عملکرد نشان می‌دهد که در زمینه محصول گندم دیم، متغیرهای اقلیمی دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش اثر مثبت و معنی داری بر ریسک عملکرد داشته است و عامل‌های فزاینده ریسک هستند. این یافته، نتایج بررسی‌های (Molaei et al (2017) را تأیید می‌کند. همچنین ضریب متغیر روند به عنوان نمودی از فناوری اثر منفی و معنی داری بر واریانس عملکرد محصول گندم دیم دارد. این نتیجه نشان‌دهنده این است که فناوری توانسته است به نقش خود در کاهش ریسک تولید این محصول به درستی عمل کند. در زمینه محصول جو آبی، متغیر دمای بیشینه اثر منفی و معناداری بر واریانس عملکرد این محصول دارد. درحالی که متغیر دمای کمینه با واریانس عملکرد این محصول ارتباط مستقیمی دارد. بارش و فناوری ارتباط معکوسی با واریانس عملکرد محصول جو آبی دارد. به طوری که این عامل‌ها به عنوان متغیرهای ریسک کاهنده در کشت این محصول به شمار می‌آید. نتایج مربوط به محصول جو دیم گویای آن است که اثر متغیر دمای بیشینه اثر منفی و معنی داری بر واریانس عملکرد این محصول دارد. درحالی که متغیر دمای کمینه اثر مثبت و معنی داری بر واریانس عملکرد جو دیم دارد. متغیرهای بارش و فناوری ارتباط معکوسی با واریانس عملکرد محصول جو دیم دارد و به عنوان متغیرهای ریسک- کاهنده معرفی می‌شوند. در زمینه محصول سیب زمینی نتایج نشان می‌دهد که متغیر دمای بیشینه و متغیر روند زمانی ارتباط معکوسی با واریانس عملکرد این محصول دارا می‌باشند. اما متغیرهای دمای کمینه و بارش ارتباط مستقیمی با واریانس عملکرد این محصول دارند و به عنوان عامل‌های ریسک-فزاینده به شمار می‌آیند.

تغییر اقلیم و پیامدهای... ۱۱۳

جدول (۶) نتایج برآورد تابع‌های واریانس و میانگین عملکرد محصول‌های زراعی

Table (6) Estimation results of crop yield variance and mean functions

سیب‌زمینی Potato	جو دیم Rainfed barley	جو آبی Irrigated barley	گندم دیم Rainfed wheat	گندم آبی Irrigated wheat	متغیرها Variables	
-2.91 (5.55)	-9.99*** (3.33)	-4.66** (2.30)	0.66 (3.66)	-	دمای بیشینه	تابع واریانس عملکرد
8.67*** (3.59)	3.70*** (1.10)	0.02 (0.63)	1.18 (1.58)	-	دمای کمینه	
0.19 (0.42)	-0.49 (0.61)	-0.56 (0.79)	0.97 (0.81)	-	بارش	
-0.01 (0.07)	-0.01 (0.05)	-0.03 (0.05)	-0.12* (0.07)	-	روند زمانی	
-16.54 (14.72)	22.23** (9.94)	11.89 (8.87)	-10.66 (10.29)	-	عرض از مبدأ	
0.10	0.16	0.05	0.04	-	R <sup>2</sup>	
9.50**	13.9***	17.7***	16.9***	-	Wald	
2.20*** (0.67)	-5.32*** (1.97)	-2.77*** (0.85)	-3.01*** (0.77)	-4.66* (2.75)	دمای بیشینه	تابع میانگین عملکرد
-2.05* (1.18)	1.38** (0.67)	1.09*** (0.26)	0.04 (0.47)	1.98*** (0.28)	دمای کمینه	
0.11*** (0.04)	0.10 (0.13)	0.46*** (0.07)	0.26*** (0.09)	0.01 (0.07)	بارش	
0.02*** (0.007)	0.01 (0.01)	0.03*** (0.009)	0.01*** (0.005)	0.01*** (0.006)	روند زمانی	
7.40*** (2.44)	23.01*** (5.54)	10.18*** (1.96)	20.91*** (4.79)	14.94*** (2.37)	عرض از مبدأ	
0.99	0.94	0.96	0.95	0.43	R <sup>2</sup>	
8425.3***	2428.5***	594.7***	2041.3***	80.80***	Wald	

Source: The research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

اعداد درون پرانتز نشان‌دهنده انحراف معیار می‌باشد.

\*\*\*، \*\* و \* به ترتیب معنی‌داری در سطح ۱، ۵ و ۱۰ درصد را نشان می‌دهد.

### درصد تغییرپذیری‌ها در عملکرد محصول‌ها

با توجه به ضریب‌های کششی که از برآورد تابع‌های عملکرد به دست آمده عملکرد محصول‌های موردبررسی، شبیه‌سازی شد. بدین صورت که در هر سناریو، درصد تغییرپذیری‌های پیش‌بینی شده

متغیرهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در کشش مربوط به آنها ضرب می‌شود. به این ترتیب میزان درصد تغییرپذیری‌ها در عملکرد در سناریوهای اقلیمی مختلف برای محصول‌های منتخب شبیه‌سازی می‌شود. درصد تغییرپذیری‌های در عملکرد محصول‌های گندم آبی، گندم دیم، جو آبی، جو دیم و سیب‌زمینی در نتیجه تغییر اقلیم و همچنین در نتیجه تغییر اقلیم و فناوری در جدول (۷) ارائه شده است.

همان‌طور که نتایج این جدول نشان می‌دهد در همه سناریوها (هر سه سناریوی اقلیمی و همچنین هر سه سناریوی اقلیمی به همراه فناوری)، عملکرد محصول گندم آبی کاهش می‌یابد. برابر نتایج ارائه‌شده در جدول، با لحاظ کردن فناوری اثرگذاری‌های سو تغییر اقلیم بر عملکرد این محصول کاهش می‌یابد به طوری که در سناریوی *RCP 2.6* عملکرد این محصول  $23/50$  درصد کاهش خواهد یافت اما با لحاظ کردن فناوری، عملکرد این محصول  $20/00$  درصد کاهش خواهد یافت که این نتایج گویای آن است که با کاربرد فناوری بخشی از اثرگذاری‌های منفی تغییر اقلیم بر عملکرد را کاهش خواهد داد.

در زمینه محصول گندم دیم، اعمال سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6*، *RCP 4.5* و *RCP 8.5* موجب افزایش عملکرد محصول گندم دیم به ترتیب به میزان  $11/13$ ،  $15/24$  و  $29/86$  درصد خواهد شد. نتایج نشان می‌دهد که اعمال سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6*، *RCP 4.5* و *RCP 8.5* به همراه تغییر فناوری منجر به افزایش عملکرد در سال  $2030$  به ترتیب به میزان  $14/63$ ،  $18/74$  و  $33/36$  درصد خواهد شد.

نتایج مربوط به محصول جو آبی نشان می‌دهد اثر تغییر اقلیم تحت سناریوهای *RCP 2.6* و *RCP 4.5* منجر به کاهش عملکرد این محصول شده اما سناریوی اقلیمی *RCP 8.5* باعث افزایش عملکرد جو آبی به میزان  $2/79$  درصد خواهد شد. همان‌طور که در جدول قابل مشاهده است در نظر گرفتن تغییر فناوری به همراه تغییر اقلیم، اثرگذاری‌های منفی تغییر اقلیم را در سناریوهای *RCP 2.6* و *RCP 4.5* کاهش خواهد داد و اثرگذاری‌های مثبت تغییر اقلیم را در سناریوی *RCP 8.5* از  $2/79$  به  $13/29$  درصد افزایش خواهد داد.

در زمینه محصول جو دیم نتایج نشان‌دهنده آن است که اعمال سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6* و *RCP 4.5* منجر به کاهش عملکرد این محصول به ترتیب به میزان  $4/71$  و  $1/09$  درصد نسبت به شرایط پایه خواهد شد. درحالی‌که سناریوی *RCP 8.5* منجر به افزایش عملکرد جو دیم به میزان  $0/02$  درصد خواهد شد. اعمال تغییر فناوری به همراه سناریوهای اقلیمی منجر شده است

## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۱۵

تأثیر منفی سناریوی RCP 2.6 به ۱/۲۱ درصد کاهش یافته در حالی که تأثیر منفی سناریوی RCP 4.5 خنثی شده و حتی موجب افزایش عملکرد به میزان ۲/۴۱ درصد خواهد شد. اعمال تغییر فناوری به همراه سناریوی RCP 8.5 موجب بهبود افزایش عملکرد محصول جو دیم از ۰/۰۲ به ۳/۵۲ درصد خواهد شد.

نتایج گویای آن است که اعمال سناریوهای اقلیمی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 موجب افزایش عملکرد محصول سیب زمینی به ترتیب به میزان ۱۷/۱۵، ۱۷/۹۱، ۲۵/۸۱ درصد خواهد شد. به طوری که با لحاظ کردن تغییر فناوری، میزان افزایش در عملکرد این محصول به ترتیب به ۲۴/۱۵، ۲۴/۹۱ و ۳۲/۸۱ درصد خواهد رسید.

جدول (۷) درصد تغییر پذیری ها در عملکرد محصول ها ناشی از سناریوهای اقلیمی و سناریوهای

اقلیمی و فناوری در سال ۲۰۳۰ نسبت به سال پایه

**Table (7) Percentage change in crop yield due to climatic scenarios as well as climatic and technology scenarios in 2030 compared to the base year**

سیب زمینی	جو دیم	جو آبی	گندم دیم	گندم آبی	سناریوها
Potato	Rainfed barley	Irrigated barley	Rainfed wheat	Irrigated wheat	Scenarios
17.15	-4.71	-23.86	11.13	-23.50	RCP 2.6
17.91	-1.09	-12.88	15.24	-21.54	RCP 4.5
28.81	0.02	2.79	29.86	-24.42	RCP 8.5
24.15	-1.21	-13.36	14.63	-20.00	+RCP 2.6 فناوری
24.91	2.41	-2.38	18.74	-18.04	+RCP 4.5 فناوری
32.81	3.52	13.29	33.36	-20.92	+RCP 8.5 فناوری

منبع: یافته‌های تحقیق

## میزان تولید محصول های کشاورزی

در مرحله بعد تغییر پذیری های عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در سناریوهای مورد بررسی، به عملکرد محصول ها در سال پایه اضافه می شود. میزان های به دست آمده، عملکرد محصول ها در هر سناریو را نشان می دهد. آن گاه برای رسیدن به تولید کل در هر سناریو، عملکرد در هر سناریو در سطح زیر کشت هر محصول در سال پایه ضرب می شود. میزان تولید در هر سناریو به تفکیک محصول- های منتخب در جدول (۸) گزارش شده است.

جدول (۸) تولید محصول‌های ناشی از سناریوهای اقلیمی و سناریوهای اقلیمی و فناوری در سال ۲۰۳۰ (هزار تن)

**Table (8) crop production due to climatic scenarios as well as climatic and technology scenarios in 2030 (1000 tons)**

سیب‌زمینی Potato	جو دیم Rainfed barley	جو آبی Irrigated barley	گندم دیم Rainfed wheat	گندم آبی Irrigated wheat	سناریوها Scenarios
247.92	61.80	406.77	340.48	680.28	RCP 2.6
249.53	64.21	465.43	353.07	679.71	RCP 4.5
266.25	65.05	548.66	397.68	675.83	RCP 8.5
262.74	64.04	462.86	351.21	711.40	RCP 2.6+فناوری
264.32	66.48	521.42	363.80	728.83	RCP 4.5+فناوری
281.06	87.77	605.24	408.59	703.22	RCP 8.5+فناوری

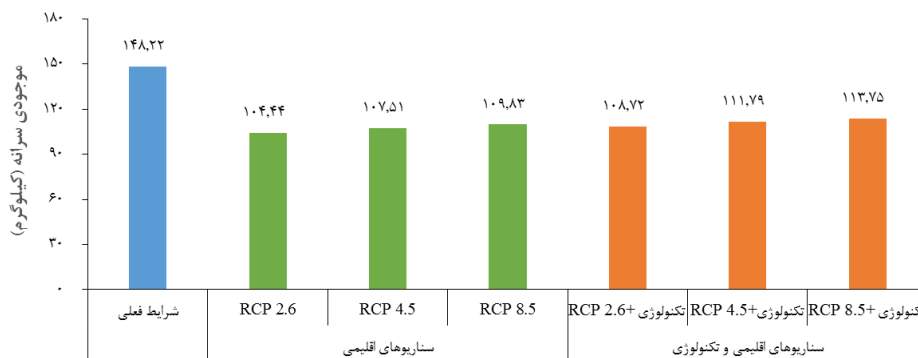
Source: The research findings

منبع: یافته‌های تحقیق

#### موجودی سرانه

سطح موجودی سرانه محصول‌های گندم، جو و سیب‌زمینی در منطقه خراسان در شکل‌های (۵) تا (۷) ارائه شده است. در این منطقه موجودی سرانه سالانه گندم در سال ۲۰۱۶ برابر ۱۴۸/۲۲ کیلوگرم به ازای هر نفر بوده است. اما به دلیل نرخ رشد بالای جمعیت و همچنین رخداد تغییر اقلیم در سال ۲۰۳۰، میزان موجودی سرانه در سناریوهای اقلیمی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 به ترتیب به ۱۰۴/۴۴، ۱۰۷/۵۱ و ۱۰۹/۸۳ کیلوگرم به ازای هر نفر کاهش خواهد یافت. در حالی که با لحاظ کردن تغییر فناوری در کنار تغییر اقلیم و رشد جمعیت در سال ۲۰۳۰، میزان کاهش در موجودی سرانه نسبت به حالت قبل (تغییر اقلیم و رشد جمعیت) کمی تخفیف می‌یابد به طوری که از ۱۰۴/۴۴ به ۱۰۸/۷۲، از ۱۰۷/۵۱ به ۱۱۱/۷۹ و از ۱۰۹/۸۳ به ۱۱۳/۷۵ کیلوگرم به ازای هر نفر افزایش خواهد یافت. در مجموع می‌توان بیان کرد که با رخداد تغییر اقلیم و افزایش جمعیت، موجودی سرانه گندم در سال ۲۰۳۰ نسبت به شرایط پایه کاهش خواهد یافت به طوری که با لحاظ کردن فناوری، باز هم این منطقه شاهد کاهش در موجودی سرانه خواهد بود.

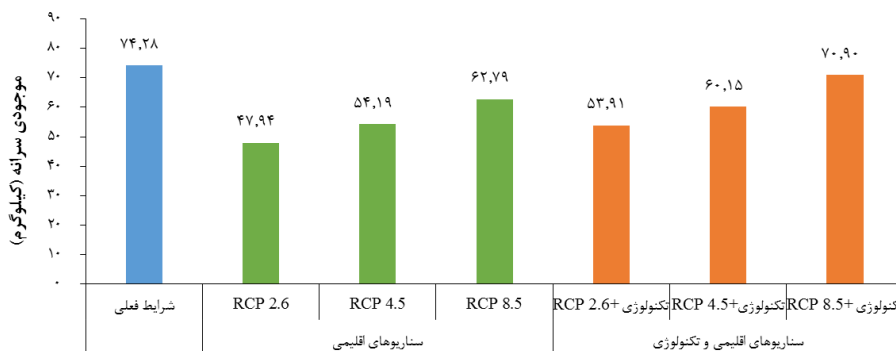
## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۱۷



شکل (۵) موجودی سرانه گندم تحت سناریوهای اقلیمی و همچنین سناریوهای اقلیمی و فناوری در مقایسه با سال پایه

**Figure (5) per capita availability of wheat under climate scenarios as well as climate and technology scenarios compared to the base year**

سطح موجودی سرانه محصول جو در منطقه خراسان در شکل (۶) نشان شده است. همان گونه که در این شکل قابل مشاهده است، موجودی سرانه سالانه جو در سال ۲۰۱۶ برابر ۷۴/۲۸ کیلوگرم به ازای هر نفر بوده است. به دلیل نرخ افزایش جمعیت و همچنین رخداد تغییر اقلیم در سال ۲۰۳۰، میزان موجودی سرانه در سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6*، *RCP 4.5* و *RCP 8.5* به ترتیب به ۴۷/۹۴، ۵۴/۱۹ و ۶۲/۷۹ کیلوگرم به ازای هر نفر کاهش خواهد یافت. این در حالی است که با در نظر گرفتن تغییر فناوری به همراه تغییر اقلیم و رشد جمعیت در سال ۲۰۳۰، میزان کاهش در موجودی سرانه جو نسبت به وضعیت پیشین (تغییر اقلیم و رشد جمعیت) بهبود می یابد به طوری که از ۴۷/۹۴ به ۵۳/۹۱، از ۵۴/۱۹ به ۶۰/۱۵ و از ۶۲/۷۹ به ۷۰/۹۰ کیلوگرم به ازای هر نفر افزایش خواهد یافت. به طور کلی می توان اشاره کرد که به دلیل رخداد تغییر اقلیم و همچنین افزایش جمعیت در سال ۲۰۳۰، موجودی سرانه جو در مقایسه با شرایط پایه کاهش خواهد یافت به طوری که حتی با در نظر گرفتن تغییر فناوری، این منطقه باز هم کاهش در موجودی سرانه را تجربه خواهد کرد.



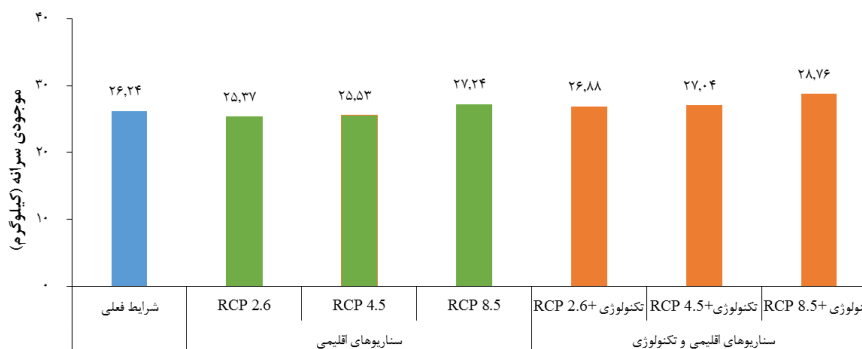
شکل (۶) موجودی سرانه جو تحت سناریوهای اقلیمی و همچنین سناریوهای اقلیمی و فناوری در مقایسه با سال پایه

Figure (6) per capita availability of barley under climate scenarios as well as climate and technology scenarios compared to the base year

موجودی سرانه محصول سیب‌زمینی در منطقه خراسان در شکل (۷) ارائه شده است. برابر این شکل، موجودی سرانه سالانه سیب‌زمینی در این منطقه در سال ۲۰۱۶ برابر ۲۶/۲۴ کیلوگرم به ازای هر نفر بوده است. با اعمال سناریوهای اقلیمی و همچنین لحاظ کردن نرخ رشد جمعیت در سال ۲۰۳۰، میزان موجودی سرانه در سناریوهای اقلیمی RCP 2.6 و RCP 4.5 به ترتیب به ۲۵/۳۷ و ۲۵/۵۳ کیلوگرم به ازای هر نفر کاهش ولی در سناریوی RCP 8.5 به ۲۷/۲۴ کیلوگرم به ازای هر نفر افزایش خواهد یافت. به طوری که با لحاظ کردن تغییر فناوری به همراه تغییر اقلیم و رشد جمعیت در سال ۲۰۳۰، میزان کاهش در موجودی سرانه نسبت به حالت پیشین (تغییر اقلیم و رشد جمعیت) در سناریوی RCP 2.6 و فناوری و همچنین در سناریوی RCP 4.5 و تکنولوژی تخفیف می‌یابد به طوری که از ۲۵/۳۷ به ۲۶/۸۸ و از ۲۵/۵۳ به ۲۷/۰۴ کیلوگرم به ازای هر نفر افزایش خواهد یافت. به طور کلی می‌توان اشاره کرد که به دلیل رخداد تغییر اقلیم و همچنین افزایش جمعیت در سال ۲۰۳۰، موجودی سرانه سیب‌زمینی در مقایسه با شرایط پایه کاهش خواهد یافت (به جز در سناریوی RCP 8.5 که منجر به افزایش در موجودی سرانه از ۲۶/۲۴ به ۲۸/۷۶ شده است). با در نظر گرفتن تغییر فناوری، این منطقه به رغم رخداد تغییر اقلیم، شاهد کاهش در موجودی سرانه سیب‌زمینی نخواهد بود.



## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۱۹



شکل (۷) موجودی سرانه سیب‌زمینی تحت سناریوهای اقلیمی و همچنین سناریوهای اقلیمی و فناوری در مقایسه با شرایط پایه

Figure (7) per capita availability of potato under climate scenarios as well as climate and technology scenarios compared to the base year

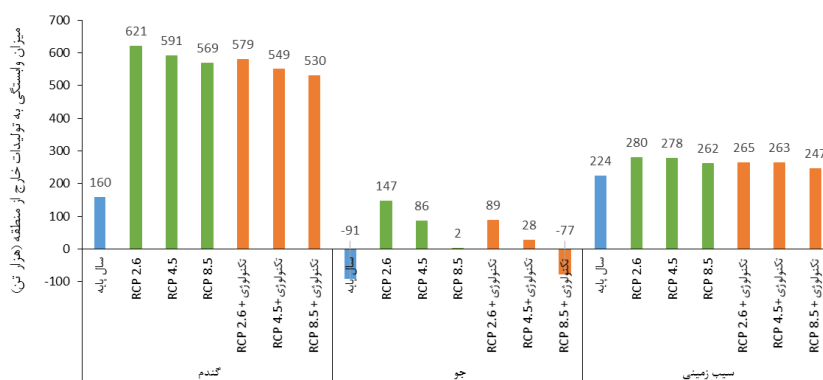
### وابستگی به تولیدهای بیرون از منطقه

شکل (۸) میزان وابستگی منطقه خراسان به تولید محصول‌های (گندم، جو و سیب‌زمینی) دیگر منطقه‌ها را در سال پایه و همچنین در سال ۲۰۳۰ تحت سناریوهای اقلیمی و همچنین سناریوهای اقلیمی و فناوری نشان می‌دهد. این نتایج با توجه به میزان عرضه و تقاضای سال پایه و سال ۲۰۳۰ ناشی از سناریوهای اقلیمی و همچنین سناریوهای اقلیمی و فناوری به‌دست آمده است. در زمینه میزان عرضه در قسمت‌های پیشین توضیح داده شده است ولی باید در زمینه تقاضا بیان نمود که افزایش جمعیت در آن لحاظ شده است.

همان‌طور که در شکل قابل‌مشاهده است در سال پایه میزان وابستگی این منطقه در مورد محصول‌های گندم و سیب‌زمینی به ترتیب حدود ۱۶۰ و ۲۲۴ هزار تن می‌باشد. این در حالی است که این منطقه دارای مازاد عرضه جو می‌باشد و توانایی ارسال این محصول را به دیگر منطقه‌ها به میزان ۹۱ هزار تن دارد. با اعمال سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6*، *RCP 4.5* و *RCP 8.5* میزان وابستگی در محصول گندم به دلیل تغییرپذیری‌ها در میزان عرضه ناشی از تغییر اقلیم و همچنین افزایش تقاضا ناشی از رشد جمعیت از ۱۶۰ هزار تن به ترتیب به ۶۲۱، ۵۹۱ و ۵۶۹ هزار تن افزایش می‌یابد. در زمینه محصول سیب‌زمینی نیز میزان وابستگی به تولیدهای بیرون از منطقه از ۲۲۴ به ترتیب به میزان ۲۸۰، ۲۷۸ و ۲۶۲ هزار تن افزایش خواهد یافت. این منطقه در سال پایه مازاد عرضه جو داشت ولی با اعمال سناریوهای اقلیمی *RCP 2.6*، *RCP 4.5*

و  $RCP 8.5$  برای تأمین نیاز مصرفی منطقه به ترتیب به میزان ۱۴۷، ۸۶ و ۲ هزار تن به تولید جو دیگر منطقه‌ها نیازمند خواهد شد.

نتایج در زمینه اعمال سناریوهای اقلیمی و فناوری گویای آن است که همچنان این منطقه به تولید گندم سایر مناطق نیازمند است، هرچند که با لحاظ کردن فناوری کمی از وابستگی کاسته می‌شود. در ارتباط با جو نیز، لحاظ کردن فناوری به همراه تغییر اقلیم منجر به کاهش وابستگی نسبت به سه سناریوی پیشین (سناریوهای  $RCP 2.6$ ،  $RCP 4.5$  و  $RCP 8.5$ ) شده است تا حدی که در سناریوی  $RCP 8.5$  و تکنولوژی، وابستگی رفع شده و حتی به میزان ۷۷ هزار تن مازاد عرضه دارد که می‌تواند به دیگر منطقه‌ها ارسال کند. نتایج مربوط به محصول سیب‌زمینی گویای آن است که با در نظر گرفتن تکنولوژی به همراه سناریوهای اقلیمی  $RCP 4.5$ ،  $RCP 2.6$  و  $RCP 8.5$  میزان وابستگی نسبت به سه سناریوی پیشین (سناریوهای  $RCP 2.6$ ،  $RCP 4.5$  و  $RCP 8.5$ ) کاهش خواهد یافت و به ترتیب به ۲۶۵، ۲۶۳ و ۲۴۷ هزار تن خواهد رسید. در مجموع می‌توان بیان کرد که به دلیل رخداد تغییر اقلیم میزان وابستگی منطقه خراسان به تولیدهای گندم، جو و سیب‌زمینی دیگر منطقه‌ها افزایش خواهد یافت که با پیشرفت فناوری می‌توان از افزایش در وابستگی کاست. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت یکی از راه‌های کاهش اثرگذاری‌های سوء تغییر اقلیم بر تولید محصول‌ها و تأمین غذای کافی، پیشرفت فناوری است که با سرمایه‌گذاری در فناوری و توسعه فناوری متناسب با شرایط اقلیمی می‌توان اثرگذاری‌های تغییر اقلیم را کاهش داد.



شکل (۸) میزان وابستگی به تولیدهای بیرون از منطقه تحت سناریوهای اقلیمی و همچنین سناریوهای اقلیمی و فناوری در مقایسه با سال پایه

Figure (8) dependence on productions outside the region under climate scenarios as well as climate and technology scenarios compared to base year

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این تحقیق به بررسی و ارزیابی تغییر اقلیم و پیامدهای آن بر تولید و امنیت غذایی در منطقه خراسان در سال ۲۰۳۰ پرداخت. در این تحقیق از تابع تولید تصادفی جاست و پاپ در چارچوب مدل داده‌های ترکیبی به منظور بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر عملکرد و ریسک عملکرد برای دوره ۱۳۸۴-۱۳۹۵ در شهرستان‌های منتخب استفاده شد. همچنین مدل *SDSM* برای تولید متغیرهای اقلیمی دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش با استفاده از خروجی‌های مدل *CanESM2* برای سال ۲۰۳۰ به کار گرفته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که متغیرهای دمای بیشینه دارای اثر منفی ولی دمای کمینه و بارش دارای اثر مثبت بر تولید گندم آبی می‌باشد. نتایج این بخش از تحقیق بیانگر آن است که متغیرهای اقلیمی دارای اثرهای معناداری بر تولید گندم آبی در منطقه خراسان می‌باشد به طوری که رخداد پدیده تغییر اقلیم می‌تواند تولید این محصول را تحت تأثیر قرار دهد.

در زمینه محصول گندم دیم، متغیر دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش به‌عنوان عامل‌های ریسک-فزاینده معرفی شدند. همچنین متغیرهای دمای کمینه، بارش و فناوری به ترتیب دارای ارتباط مستقیمی با تولید این محصول می‌باشد. نتایج پیرامون محصول گندم دیم نشان می‌دهد که پدیده تغییر اقلیم افزون بر این که به‌طور معنادار تولید محصول گندم دیم را تحت تأثیر قرار می‌دهد می‌تواند ریسک تولید این محصول را نیز افزایش دهد از این‌رو تدوین و اجرای سیاست‌های حمایتی برای مدیریت ریسک تولید این محصول همراه با راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم برای تولید پایدار این محصول در آینده امری مهم و ضروری تلقی می‌شود. نتایج برای محصول جو آبی نشان می‌دهد که متغیر دمای کمینه اثر مثبت و متغیرهای بارش، دمای بیشینه و فناوری اثر منفی بر ریسک عملکرد این محصول خواهد گذاشت. همچنین متغیرهای دمای کمینه، بارش و فناوری دارای اثر مثبت و معنی‌داری و متغیر دمای بیشینه اثر منفی و معنی‌داری بر تولید محصول جو آبی دارد. در واقع می‌توان بیان نمود که تولید این محصول نیز، به‌طور معناداری تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم قرار دارد. نتایج این مدل برای محصول جو دیم گویای آن است که متغیر دمای کمینه اثر مثبت و معنی‌داری بر ریسک عملکرد این محصول دارد و دیگر متغیرها دارای اثر منفی بر ریسک عملکرد این محصول می‌باشد. همچنین متغیر دمای بیشینه اثر منفی و معنی‌داری بر تولید محصول جو دیم دارد و متغیرهای دمای کمینه، بارش و فناوری ارتباط مستقیمی با تولید این محصول دارد. از سوی دیگر، نتایج الگوی جاست و پاپ برای محصول

سیب‌زمینی نشان می‌دهد که متغیر دمای کمینه اثر مثبت و معنی‌داری بر ریسک عملکرد این محصول دارد. همچنین متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه، بارش و فناوری دارای اثر معنی‌داری بر تولید این محصول می‌باشند. بنا بر نتایج این بخش می‌توان بیان کرد که تغییر اقلیم اثرگذاری‌های معناداری هم بر ریسک تولید و هم بر میانگین تولید این محصول دارد به طوری که میزان اثرگذاری متغیر دماهای بیشینه و کمینه بر هر دو این مؤلفه‌ها بیش از دیگر متغیرهاست. افزون بر این نتایج نشان می‌دهد که تغییر اقلیم در سال ۲۰۳۰ منجر به کاهش تولید محصول گندم آبی، جو آبی و جو دیم می‌شود، در حالی که این تغییر باعث بهبود تولید محصول سیب‌زمینی و گندم دیم خواهد شد. این نتایج با لحاظ کردن تغییر فناوری نشان می‌دهد که بهبود فناوری قابلیت آن را خواهد داشت تا اثرگذاری‌های منفی تغییر اقلیم بر تولید محصولات آسیب‌پذیر را کاهش دهد. همچنین به دلیل رخ داد افزایش جمعیت در این منطقه و همچنین تغییر اقلیم، موجودی سرانه در سال مورد بررسی برای محصول‌های گندم، جو و سیب‌زمینی کاهش خواهد یافت که این موضوع باعث افزایش وابستگی این منطقه به دیگر منطقه‌های کشور و واردات به منظور تأمین نیاز غذایی می‌شود. به عبارت دیگر، رخداد تغییر اقلیم و افزایش جمعیت می‌تواند تهدیدی برای تأمین امنیت غذایی در منطقه خراسان تلقی شود. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان پیشنهادهای زیر را مطرح کرد:

- نتایج نشان داد که پیشرفت فناوری توانسته است اثرگذاری‌های سوء تغییر اقلیم بر تولید محصول‌های کشاورزی را کاهش دهد و یا خنثی سازد. از این رو سرمایه‌گذاری بر روی بهبود فناوری (بذرهای اصلاح شده مقاوم به خشکی و تغییر روش آبیاری) می‌تواند به عنوان راهکارهای سازگاری با تغییر اقلیم مورد توجه قرار گیرد.

- در شرایطی که تولید محصول‌هایی همچون گندم آبی، جو آبی و جو دیم در اثر تغییر اقلیم در منطقه مورد بررسی کاهش می‌یابد، می‌توان با تصمیم‌سازی در سطح کلان، کشت چنین محصولی را به منطقه‌هایی که شرایط اقلیمی مناسبی برای تولید این محصول‌ها دارند، توسعه داد و با طراحی تجارت منطقه‌ای مناسب بر کاهش تولید ناشی از اقلیم در منطقه مورد نظر چیره شد.

- نتایج این تحقیق نشان داد اثرگذاری‌های تغییر اقلیم به همراه رشد جمعیت می‌تواند دسترسی به محصول‌های گندم، جو و سیب‌زمینی را در آینده کاهش دهد از این رو بازنگری در سیاست‌های افزایش جمعیت در کنار دیگر سیاست‌های سازگاری با تغییر اقلیم لازم است بیشتر مورد توجه قرار گیرد.

## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۲۳

- با توجه به اینکه آب موردنیاز برای تولید غذا در این منطقه وابسته به منابع آب زیرزمینی است که در وضعیت بحرانی قرار دارد و می‌تواند تحت تأثیر متغیرهای اقلیمی قرار گیرد. از این رو، به‌منظور درک صحیح‌تر از وضعیت تولید محصول‌های کشاورزی در آینده، تغییر در موجودی منابع آب و همچنین نیاز آبی محصول‌های کشاورزی در این منطقه، مورد ارزیابی قرار گیرد.

## منابع

- Ahmadi, M., Lashkari, H., Keykhosravi, Gh. and Azadi, M. (2015) Analysis of temperature extreme indicators. In detecting climate change in large Khorasan. *Journal of Geography*. 13(45): 53-75. (In Farsi).
- Aliahmadi, N., Hashemitabar, M. and Hosseini, M.S. (2020) Assessment of the effect of climate change on the production of horticultural products with a randomized production approach, Case Study: Date product. *Journal of agricultural economics research*. 14 (48): 56-82. (In Farsi).
- Arora, V. K., Nath, J. C. and Singh, C. B. (2013) Analyzing potato response to irrigation and nitrogen regimes in a sub-tropical environment using SUBSTOR-Potato model. *Agricultural water management*. 124: 69-76.
- Azad, N., Behmanesh, J., Rezaverdinejad, V. and Tayfeh Rezaie, H. (2018) Climate change impacts modeling on winter wheat yield under full and deficit irrigation in Myandoab-Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 64(5): 731-746.
- Boubacar, I. (2010) The effects of drought on crop yields and yield variability in Sahel (No. 1370-2016-108718).
- Brown, H. E., Huth, N. and Holzworth, D. (2011) A potato model built using the APSIM Plant .NET Framework. In 19th International Congress on Modelling and Simulation. 12-16.
- Cabas, J., Weersink, A. and Olale, E. (2010) Crop yield response to economic, site and climatic variables. *Climatic change*. 101(3): 599-616.
- Cline, W. R. (2007) Global warming and agriculture: Impact estimates by country. Peterson Institute.
- Finger, R. (2009) Modeling farmers' adaptation to climate change—integrating a biophysical and an economic model. In IOP Conference Series. Earth and Environmental Science (Vol. 6, No. 37). IOP Publishing.
- Godfray, H. C. J., Pretty, J., Thomas, S. M., Warham, E. J. and Beddington, J. R. (2011) Linking policy on climate and food. *Science*. 331(6020): 1013-1014.
- Godfray, H. C. J., Pretty, J., Thomas, S. M., Warham, E. J. and Beddington, J. R. (2011) Linking policy on climate and food. *Science*. 331(6020): 1013-1014.
- Gujarati, D. N. (2004) Basic econometrics.
- Gupta, R. and Mishra, A. (2019) Climate change induced impact and uncertainty of rice yield of agro-ecological zones of India. *Agricultural Systems*. 173: 1-11.

- Hajarpoor, A., Soltani, A., Zeinali, E. and Sayyedi, F. (2014) Simulating climate change impacts on production of chickpea under water-limited conditions. *Agriculture Science Developments*. 3(6): 209-217.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W. and Medina-Elizade, M. (2006) Global temperature change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 103(39): 14288-14293.
- Isik, M. and Devadoss, S. (2006) An analysis of the impact of climate change on crop yields and yield variability. *Applied Economics*. 38(7): 835-844.
- Just, R. E. and Pope, R. D. (1979) Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*. 61(2): 276-284.
- Kim, M. K., & Pang, A. (2009) Climate change impact on rice yield and production risk. *Journal of Rural Development/Nongchon-Gyeongje*. 32: 17-29.
- Kochaki, A. (1389) the impacts of climate change on agriculture and natural resources in Iran. *Agricultural sciences and technology journal*. (7): 28-71. (In Farsi).
- Kotir, J. H. (2011) Climate change and variability in Sub-Saharan Africa: a review of current and future trends and impacts on agriculture and food security. *Environment, Development and Sustainability*. 13(3): 587-605.
- Lobell, D. B. and 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.
- Lone, B. A., Tripathi, S., Fayaz, A., Singh, P., Qayoom, S., Kumar, S. and Dar, Z. (2019) Simulating the impact of climate change on growth and yield of maize using CERES-Maize model under temperate kashmir. *Curr. J. Appl. Sci. Technol*. 1: 1-11.
- Mahmood, N., Arshad, M., Kächele, H., Ma, H., Ullah, A. and Müller, K. (2019) Wheat yield response to input and socioeconomic factors under changing climate: Evidence from rainfed environments of Pakistan. *Science of the Total Environment*. 688: 1275-1285.
- McCarl, B. A., Villavicencio, X. and Wu, X. (2008) Climate change and future analysis: is stationarity dying?. *American Journal of Agricultural Economics*. 90(5): 1241-1247.
- Meghdadi, N. and Hajarpoor, A. (2015) Simulating climate change impacts on production of chickpea in Zanzan province. *Journal of Crop Production*. 7(4): 1-22.
- Molaei, M., Sadeghi M. and Javanbakht, O. (2017) The impact of climate parameters on yield and yield risk of rainfed wheat and barley in West Azarbaijan province. *Journal of Agroecology*. 7 (2): 31-45.
- Momeni, S. and Zibaei, M. (2013) The potential impacts of climate change on the agricultural sector of Fars province. *Agricultural Economics and Development*. 27(3): 169-179. (In Farsi).

## تغییر اقلیم و پیامدهای...۱۲۵

- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G. A. and Shahandeh, H. (2006) Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran: (Potentieller Einfluss des Klimawandels auf die Weizenproduktion unter Rainfed-Bedingungen im Iran). *Archives of agronomy and soil science*. 52(1): 113-124.
- Onyekuru, N. A. and Marchant, R. (2016) Assessing the economic impact of climate change on forest resource use in Nigeria: A Ricardian approach. *Agricultural and Forest Meteorology*. 220: 10-20.
- Palanisami, K., Ranganathan, C. R., Kakumanu, K. R. and Nagothu, U. S. (2011) A Hybrid model to quantify the impact of climate change on agriculture in Godavari basin, India. *Energy and Environment Research*. 1(1): 32.
- Rezaei, M., Nohtani, M., Abkar, A., Rezaei, M. and Mirkazehi Rigi, M. (2013) Performance Evaluation of Statistical Downscaling Model (SDSM) in Forecasting Temperature Indexes in Two Arid and Hyper Regions (Case Study: Kerman and Bam). *Journal of Watershed Management Research*. 5(10): 117-131.
- Sarker, M. A. R., Alam, K. and Gow, J. (2014) Assessing the effects of climate change on rice yields: An econometric investigation using Bangladeshi panel data. *Economic Analysis and Policy*. 44(4): 405-416.
- Shayanmehr, S., Rastegari Henneberry, S., Sabouhi Sabouni, M. and Shahnoushi Foroushani, N. (2020a) Climate Change and Sustainability of Crop Yield in Dry Regions Food Insecurity. *Sustainability*. 12(23): 9890.
- Shayanmehr, S., Rastegari Henneberry, S., Sabouhi Sabouni, M. and Shahnoushi Foroushani, N. (2020b) Drought, Climate Change, and Dryland Wheat Yield Response: An Econometric Approach. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17(14): 5264.
- Shyanmehr, S. (2021). Climate Change and Its Impacts on Major Crops Production and Market in Iran. PhD Dissertation. Ferdowsi University of Mashhad.
- Sinnarong, N., Chen, C. C., McCarl, B. and Tran, B. L. (2019) Estimating the potential effects of climate change on rice production in Thailand. *Paddy and Water Environment*. 17(4): 761-769.
- Steltzer, H. and Post, E. (2009) Seasons and life cycles. *Science*. 324(5929): 886-887.
- Tveteros, R. (1999) Production risk and productivity growth: Some findings for Norwegian salmon aquaculture. *Journal of Productivity Analysis*. 12(2): 161-179.
- Wei, T., Cherry, T. L. and Glomrød, S. (2014) Climate change impacts on crop yield: Evidence from China. *Science of the Total Environment*. 499: 133-140.
- Ye, L., Xiong, W., Li, Z., Yang, P., Wu, W., Yang, G. and Tang, H. (2013) Climate change impact on China food security in 2050. *Agronomy for Sustainable Development*. 33(2): 363-374.
- Zarei, A. R., Shabani, A. and Mahmoudi, M. R. (2019) Comparison of the climate indices based on the relationship between yield loss of rain-fed winter wheat and

changes of climate indices using GEE model. *Science of the Total Environment*. 661: 711-722.

Abdullah, M. H., Saboor, A., Baig, I. A. and Arshad, M. (2016) Climate change, risk and food security: an analysis of wheat crop in Pakistan. In *Climate Change Challenge (3C) and Social-Economic-Ecological Interface-Building* (pp. 41-63). Springer, Cham.





---

## Climate Change and Its Consequences on Food Security in Khorasan Region

*Samira Shayanmehr, Naser Shahnoushi Foroushani, Mahmood Sabouhi Sabouni, Shida Rastegari Henneberry*<sup>1</sup>

Received: 23 July.2021

Accepted:26 Nov.2021

---

### Extended Abstract

#### Introduction

Changes in the global climate have become one of the most crucial challenges facing agriculture in the twenty-first century. Climatic change is mainly characterized by a rise in greenhouse gas emissions and global average temperature as well as changes in precipitation levels and patterns. Undoubtedly, these changes affect the growth and productivity of agricultural production, and thus food security in many parts of the world like Iran. At present, supplying sufficient food and meeting food security in Iran relies on the management of climatic variables that affect agricultural production. Therefore, it is necessary to study the effects of climate change on agricultural production and food security in arid and semi-arid regions of this country such as the Khorasan region. Given the importance of this issue, the objective of the current study is to investigate climate change and its impacts on the yield and yield risk of selected crops, as well as on food security in the Khorasan region.

#### Materials and Method

The daily observed data for maximum temperature, minimum temperature, and precipitation is provided from the Meteorological Organization of Iran for 1961–2010. The daily reanalysis data for the period (1961–2005) are obtained from the National Centers for Environmental Prediction (NCEP). The large-scale daily predictors for the CanESM2 model were developed by the CCCma for selected station. These data are used to predict climate parameters under three climatic scenarios (RCP 2.6, RCP 4.5 and 8.5) for 2030. This study used SDSM to downscale GCM-CanESM2 outputs. SDSM model, one of the most widely used models in the world, is applied to downscale future climate projections using the 26 predictors derived from a large-scale climate model. In the current study, a production function technique developed by Just and Pope is applied to investigate the effects of climate

---

<sup>1</sup> Respectively: PhD student, Professor & Professor of Agricultural Economics at Ferdowsi University of Mashhad. Professor of Agricultural Economics at Oklahoma State University, Stillwater, Oklahoma, USA

variables on the mean and variance of crop yields. This technique consists of two parts: the first component is relating to the yield levels and the second part is related to the yield variance.

### **Results and discussion**

The results showed that maximum temperature, minimum temperature, and precipitation have a significant impact on the yield of the studied crops, so these factors will lead to a decrease in the production of irrigated wheat, irrigated barley, and dryland barley in 2030 compared to the base year. Findings indicate that per capita availability of wheat will decrease from 148.22 to 104.44, 107.51, 109.83 and for barley will decrease from 74.28 to 47.94, 54.19, 62.79, and for potato will change from 26.44 to 25.37, 25.53, and 27.24 (kg per person) under climate scenarios RCP2.6, RCP4.5 and RCP8.5, respectively. In addition, the results show that climate change in 2030 will reduce the production of irrigated wheat, barley, and rain-fed barley, while these changes will improve the production of potatoes and rain-fed wheat. Furthermore, the findings of the study reveal that the improvement of technology will be able to reduce the negative effects of climate change on the production of vulnerable products. Also, due to population growth in this region as well as climate change, the per capita availability of crops in 2030 will decrease, which will increase the dependence of this region on other regions of the country and imports to meet food needs.

### **Suggestion**

The results recommend that location-specific adaptation strategies be considered to mitigate the decrease in the yield of irrigated wheat, barley and rain-fed barley crops, and meet food security in the presence of climatic change. Investing in technology (new crop varieties, development irrigation coverage, and increased use of fertilizer) can be considered as an effective policy to reduce the negative effects of climate change on crop production. In addition, supporting population control and climate change mitigation policies can help achieve food security in Iran.

**JEL Classification:** Q54 .Q18 .C10 .D81.

**Keywords:** Climatic variables, stochastic production function, yield risk, SDSM model.