

## تغییر اقلیم و خطرپذیری تولید کشاورزی: مطالعه موردی محصول‌های گندم، جو و

### سیب‌زمینی

#### فهیمة بهرامی مهنه<sup>۱</sup> و محمدرضا نظری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> گروه بازرگانی داخلی، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، تهران، ایران.

<sup>۲</sup> گروه اقتصاد منابع و محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

\*نویسنده مسئول: [mo\\_nazari@sbu.ac.ir](mailto:mo_nazari@sbu.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸

بهرامی مهنه، ف. و م. ر. نظری. ۱۳۹۸. تغییر اقلیم و خطرپذیری تولید کشاورزی: مطالعه موردی محصول‌های گندم، جو و سیب‌زمینی. مجله کشاورزی بوم‌شناختی. ۹ (۱): ۱۰۱-۸۶.

**سابقه و هدف:** تغییر اقلیم نه تنها یک عامل مهم تعیین‌کننده عملکرد میانگین و قابلیت (پتانسیل) تولیدات کشاورزی یک ناحیه است بلکه یک منبع مهم خطرپذیری (ریسک) تولیدات کشاورزی نیز به شمار آمده که منجر به تغییرپذیری‌های غیر قابل انتظار در عملکرد و سطح تولید می‌شود. این امر به نوبه خود فراسنجه (پارامتر)‌های کلیدی بازار یعنی عرضه و تقاضا و در پی آن خطر قیمت محصول‌های را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با اینکه تجزیه و تحلیل تاثیر تغییر اقلیم یک موضوع مهم در رابطه با تولیدات کشاورزی از منظر سیاستگذاری و اتخاذ راهبردهای تطبیق در این بخش به شمار می‌آید، اما متأسفانه بررسی‌های کمی تاکنون در این زمینه در کشور انجام نشده است. از سوی دیگر در بیشتر پژوهش‌های انجام شده نیز بر تاثیر تغییر در فراسنجه (پارامتر)‌های اقلیمی بر میانگین عملکرد گیاهان زراعی تمرکز شده و کمتر به تجربه و تحلیل اثرگذاری‌های این پدیده بر خطرپذیری تولید پرداخته شده است.

**مواد و روش‌ها:** در این بررسی با استفاده از تابع تولید تصادفی معرفی شده توسط جاست و یاپ (۱۹۷۶، ۱۹۷۹) به بررسی تاثیر تغییر در پارامترهای اقلیمی، بر تابع‌ها میانگین و واریانس عملکرد سه محصول زراعی گندم، جو و سیب‌زمینی در پهنه زراعی بوم‌شناختی (اکولوژیکی) شمال غرب کشور برای دوره زمانی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۴ پرداخته شده است. مبنای اساسی این رهیافت بر این پایه استوار است که تابع تولید به دو جزء بنیادی قابل تفکیک است. نخستین جزء به میانگین عملکرد محصول مربوط می‌شود در حالی که جزء دوم به واریانس و نوسان‌های سطح تولید مرتبط است. شبیه‌سازی‌های فراسنجه (پارامتر)‌های اقلیمی و در نتیجه تغییرپذیری‌ها در مولفه‌های میانگین و واریانس عملکرد محصول‌های مورد بررسی، تحت نتایج دو مدل گردش عمومی جو ECHAM3 و EGCM3T63 و دو پیش‌فرض (سناریوی) اقلیمی GA و B1 انجام شده است.

**نتایج و بحث:** پردازش نتایج شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های اقلیمی طی دهه‌های اخیر دو راه‌گزین B1 و GA، نشان داد، تا سه دهه آینده (۱۴۲۰) بر اساس مدل و سناریوی GA - ECHAM3 میزان بارش سالانه در منطقه بوم‌شناختی شمال غرب کشور افزایشی و تا سال ۱۴۵۰ میزان بارش‌ها نسبت به دوره تاریخی پایه کاهش خواهد داشت. اما در شرایط سناریوی B1 در مدل EGCM3T63 میزان بارش سالانه طی هر دو بازه زمانی افزایشی پیش‌بینی شده است. نتایج پیش‌بینی‌ها برای پارامتر دما نیز گویای از گرایش آن به افزایش تحت هر دو مدل گردش عمومی جو و سناریوهای مورد بررسی آن‌هاست. شدت این گرمایش در مدل EGCM3T63 در مقایسه با مدل دیگر به میزان بیشتری پیش‌بینی شده است. نتایج ناشی از شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های عملکرد محصول‌های مورد بررسی به تغییرپذیری‌های اقلیمی

پیش‌بینی شده تحت سناریوهای مختلف گویای کاهش شایان ملاحظه عملکرد این محصول‌ها است که البته درصد کاهش عملکرد برای محصول گندم بیشتر از جو و سیب‌زمینی برآورد شده است. مقایسه میزان درصدهای کاهش عملکرد محصول‌های مختلف در سناریوهای مورد بررسی نیز نشان می‌دهد، که در محدوده تغییرهای پیش‌بینی شده برای پارامترهای اقلیمی بارش و دما، افزایش دما عامل موثرتری در توضیح کاهش عملکرد محصول‌ها نسبت به بارش است. واکنش واریانس محصول‌های زراعی مورد بررسی نسبت به تغییر اقلیم برای محصول سیب‌زمینی با سناریوهای مختلف و برای گندم تحت سناریوی GA-۱۴۲۰ افزایشی برآورد شده است. نتیجه‌گیری: با توجه به کاهش عملکرد محصولات مورد مطالعه تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم تدوین برنامه‌های زراعی به منظور جهت‌گیری الگوی کشت به سمت واریته‌ها یا محصولاتی که کمترین کاهش عملکرد را تحت تاثیر تغییر اقلیم خواهند داشت توصیه می‌گردد. توسعه و تحقیق بیشتر در این زمینه و معرفی ارقام مقاوم به خشکی و گرما می‌تواند یکی از کارهای موثر در این راه باشد. واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، ریسک عملکرد، کشاورزی، پهنه زراعی-اکولوژی شمال غرب.

## مقدمه

تعیین قابلیت‌های عمومی یک منطقه برای تولید محصول‌های کشاورزی می‌باشد بلکه یک منبع مهم در خطرپذیری تولیدات کشاورزی نیز به شمار آمده که باعث نوسان‌ها و تغییرهای غیر انتظاری در تولید می‌شود (Holts *et al.*, 2010). به منظور ارزیابی اثرگذاری‌های ناشی از عامل‌های اقلیمی و تغییر اقلیم بر عملکرد و واریانس تولید، بررسی نتایج پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه در داخل و خارج از کشور ضروری است. اهمیت این بخش به دلیل بررسی دیدگاه‌های نظری و روش‌های تجربی مورد استفاده در الگوسازی رابطه‌های اقلیمی و زراعی در نهایت بهره‌گیری از یافته‌ها و پیشنهادهای کاربردی آنها به منظور بسط و توسعه الگوی تجربی پژوهش است. نتایج بررسی‌های انجام شده تغییر پارامترهای جوی گویای آن است که اقلیم در حال تغییر است و پیامدهای آن نیز قابل درک و معنادار خواهد بود (Shortle *et al.*, 2009; Parry *et al.*, 2007). با این وجود بررسی‌های انجام شده در زمینه اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی نتایج گوناگونی را به همراه داشته است. به عنوان مثال برخی از بررسی‌ها افزایش دما را برای تولیدات کشاورزی در بعضی از کشورهای توسعه یافته سودمند ارزیابی کرده‌اند (Mendelsohn and Denar Shortle *et al.*, 2009). این در حالی است که برخی دیگر در نتایج بررسی‌های خود نشان دادند که گرم شدن دمای جهانی می‌تواند تاثیر زیان آوری بر تولید در برخی کشورهای در حال توسعه (آفریقا، آمریکا، جنوبی و چین) داشته باشد (Mendelsohn, 2009; Feres, 2008).

تغییرپذیری در وضعیت اقلیم به راه‌های مختلف و به طور مستقیم و غیرمستقیم فعالیت‌های بخش کشاورزی را متاثر می‌سازد. آب و درجه حرارت دو عامل اصلی کارکرد سیستم فیزیولوژی و رشد همه گیاهان هستند. افزایش میزان CO<sub>2</sub> و دمای محیط به همراه تغییرپذیری‌های زمانی و مکانی الگوی بارش‌ها به طور بالقوه چگونگی کارکرد این سامانه‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهند (IPCC, 1994, IPCC, WGII, 1996). تغییر اقلیم اثرگذاری‌های چشمگیری روی میزان و الگوی بارش‌ها، میزان تبخیر و تعرق، رواناب سطحی و در نتیجه احتمال رخداد پدیده‌های حدی هیدرولوژیکی دارد (Karamooz and Araghinezagad, 2005). در مقیاس کلی، پیامد این امر افزایش دمای کره‌ی زمین بین ۱/۵ تا ۴/۵ درجه سلسیوس، افزایش تراز آب دریاها و رخداد نوسان‌های شدید آب و هوایی است (Nazari, 2012). این در حالی است که مسیر و شدت تغییرپذیری‌های سالیانه جوی فراتر از توانایی پیش‌بینی‌های کشاورز و خارج از کنترل او می‌باشد. در واقع کشاورزان در لحظه تصمیم‌گیری برای کاشت گیاهان و استفاده از نهاده‌ها به طور معمول هیچ‌گونه دانش و آگاهی نسبت به میزان معین و دقیق محصول ندارند که این امر اساساً به این حقیقت مربوط است که کشاورزی دارای چرخه طولانی تولید بوده و تحت تاثیر شمار زیادی از عامل‌های درونزا و برونزای غیرقابل کنترل و غیرحتمی می‌باشد. هرچند که در طی سال روند تغییرپذیری‌های آن‌ها مشخص می‌باشد، اما بخشی از این تغییرپذیری‌ها ناشی از انتقال میانگین است و بخش دیگر ناشی از نوسان‌های تصادفی می‌باشد. در نتیجه عامل‌های جوی نه تنها از جمله عامل‌های مهم در

پرداخته شده و دیگر محصول‌ها کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند. (Kuchaki et al. (2008) با بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر شاخص‌های اقلیم زراعی (اگر و کلیماتیک) ایران با استفاده از مدل‌های گردش عمومی، تغییرپذیری‌های شایان توجه طول فصل رشد و الگوهای بارش توأم با افزایش دما را در اغلب منطقه‌های کشور پیش‌بینی کرده‌اند. تأثیر این تغییرپذیری‌ها بر تولید برخی محصول‌های زراعی از جمله گندم آبی در شرایط مشهد توسط (Kuchaki et al (2004) و نخود و آفتابگردان در شرایط تبریز بوسیله Kuchaki et al (2006) ارزیابی شده است. در بررسی‌های انجام شده توسط (Kuchaki and Nasiri (2006 کاهش عملکرد گندم دیم در مقیاس ملی برای سال‌های ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰ به ترتیب ۱۳/۸ و ۲۰/۷ درصد پیش‌بینی شده است. نتایج تحقیق Kuchaki and Nasiri (2008 نشان داد که در شرایط اقلیمی آینده دما در همگی منطقه‌های تولید گندم کشور به ویژه شرق و جنوب کشور افزایش خواهد یافت. این تغییر دما باعث خواهد شد تا فراوانی دماهای بالاتر از ۳۰ درجه سلسیوس در طی دوره‌ی گلدهی گندم نسبت به شرایط کنونی به طور شایان ملاحظه‌ای افزایش یابد. از سوی دیگر اگر چه شبیه سازی عملکرد گندم تاثیر مثبت افزایش CO<sub>2</sub> کرد، ولی افزایش دما این اثرگذاری‌ها را جبران کرده و به طور کلی گرمایش ناشی از تغییر اقلیم حتی در صورت دو برابر شدن CO<sub>2</sub> نیز عملکرد گندم را کاهش خواهد داد. شواهد موجود گویای آن است که تغییر الگوهای بارش در ترکیب با افزایش تبخیر ناشی از گرمایش، نیاز آبی گندم را افزایش داده و لذا تحت این شرایط کمبود آب نیز به عنوان یک عامل محدود کننده عملکرد باید مورد توجه قرار گیرد.

(Soltani and Gholipur (2005 با شبیه سازی تاثیر تغییر اقلیم بر رشد، عملکرد و مصرف آب گیاه نخود نشان دادند که در نتیجه تغییرپذیری‌های اقلیمی تحت شرایط دوبرابر شدن غلظت CO<sub>2</sub> ناشی از آن، دوره رشد گیاه کاهش، عملکرد دانه در شرایط دیم افزایش و مصرف آب کاهش می‌یابد. بررسی‌های تغییر اقلیم که در مقیاس جهانی انجام شده است، کاهش ۱۰ تا ۴۰ و ۲۰-۵ درصدی عملکرد را به ترتیب برای غلات دیم و آبی در ایران تا ۵۰ سال آینده گزارش کرده‌اند. (Nazari (2012 در پژوهشی به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد محصول‌های زراعی کشور برای ۱۰ پهنه زراعی- بوم‌شناختی کشور پرداخت. نتایج این بررسی نشان می‌دهد تغییرپذیری‌های اقلیمی در دوره آبی نیاز آبی اغلب

در پژوهشی که توسط (Schlenker and Roberts (2006;2009 که با استناد به مدل پیشنهادی توسط جاست و پاپ انجام شد، نشان دادند که رابطه بین دما و محصول غیرخطی بوده و تاثیر افزایش دما بر محصول در دامنه دمای متعادل مثبت است ولی به محض افزایش دما از ۳۰ درجه سلسیوس به بالا این رابطه به سرعت معکوس می‌شود. (Mosnier et al. (2009 به بررسی تاثیر ریسک متغیرهای جوی بر عملکرد محصول‌های کشاورزی مورد استفاده در تولیدات دامی صنعت دامداری فرانسه پرداختند. آنان با استفاده از داده‌های ترکیبی یا تابلویی (پانل دیتا) و به کارگیری مدل پیشنهادی جاست و پاپ نشان دادند متغیرهای جوی با تحت تاثیر قرار دادن عملکرد محصول‌های کشاورزی تاثیر معناداری بر کارایی راهبرد (استراتژی)‌های تغذیه دام دارند. (Sarker et al. (2012 در مقاله ای به عنوان مقایسه اثرگذاری‌های تغییر اقلیم بر سه رقم برنج Aman، Aus و Boro به بررسی تاثیر متغیرهای جوی بر عملکرد رقم‌های مختلف برنج در بنگلادش پرداختند. نتایج بررسی آنان که با استفاده از مدل جاست و پاپ و به کارگیری داده‌های ترکیبی برای بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۹-۱۹۷۲ بود، نشان داد که اثرگذاری‌های تغییر عامل‌های جوی در میان رقم‌های یاد شده متفاوت است. به گونه ای که میانگین بیشینه دما، خطر تولید را برای رقم Boro افزایش و برای دو رقم دیگر کاهش می‌دهد. همچنین بارش باران خطر را برای وارسته Aman افزایش و برای گونه‌های Aus و Boro کاهش می‌دهد. (Kundouri et al. (2005 در بررسی‌ای با عنوان برآورد تابع تولید با در نظر گرفتن خطر و با استفاده از مدل معرفی شده توسط جاست و پاپ به بررسی تاثیر متغیرهای کیفی همچون کیفیت خاک و فاصله تا بازار و شرایط جوی بر تولید و خطر آن پرداختند. آنان عنوان کردند که لحاظ نکردن عامل‌های یاد شده در تابع تولید می‌تواند برآوردهای ناسازگاری را ارایه دهد که برای برنامه ریزی و سیاست‌گذاری قابل اعتماد نمی‌باشد. (Chen et al. (2004 در بررسی‌های خود با عنوان نوسان محصول تحت تاثیر شرایط جوی عنوان کردند که نوع محصول در برابر تغییر عامل‌های جوی واکنش‌های متفاوتی می‌تواند از خود نشان دهد.

در داخل کشور نیز اگرچه پژوهش‌های زیادی در رابطه با نقش و تأثیر پارامترهای اقلیمی بر عملکرد محصول‌های زراعی انجام شده است اما در شمار اندکی از آن‌ها به شبیه‌سازی آن در شرایط تغییر اقلیم آن هم بیشتر برای گندم

مشخص می سازد. (Chen and Sarker *et al.*, 2012) (Chang, 2005). بر مبنای نتایج بررسی‌های Sarker *et al.*، Chen *et al.* (2012)، saha *et al.* (1997) (2012) و (Arnade and Cooper (2012)، در این نوشتار تابع تولید برای هر یک از سه محصول مورد بررسی به صورت زیر برآورد می‌شود.

$$y_i = f_i(X) + u = f_i(x_i, \beta) + f_i(x_i, \alpha)\varepsilon \quad (2)$$

که در آن  $Y_i$  میزان عملکرد محصول نام  $X_i$  متغیرهای توضیحی اقلیمی می‌باشد. تابع تولید تصادفی که در رابطه (1) نشان داده شده است می‌تواند برای هر یک از محصول‌های در شکل آشکار و جزء خطایی که شرط واریانس همسانی را تضمین می‌کند، برآورد شود تا بدین وسیله به برآورد اثرگذاری‌های واریانس بر عملکرد هم پرداخته شود. بر این مبنای خواهیم داشت:

$$y_i = x_i'\beta + e_i \quad (3)$$

$$E(e_i^2) = \exp(z_i'\alpha) \quad (4)$$

به طوری که  $z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ik})$  بیانگر یک بردار از  $N$  مشاهده روی  $K$  متغیر مستقل،  $\alpha$  یک بردار  $K \times 1$  از ضریب‌های نامعلوم و  $e$  جزء اخلال تصادفی با میانگین و واریانس صفر می‌باشد. در واقع متغیرهای مستقل بکار رفته در الگوی واریانس ( $Z$ ) همان متغیرهای مستقل اقلیمی به کار رفته در الگوی میانگین عملکرد است. در واقع می‌توان برای تابع‌های میانگین و واریانس تولید از متغیرهای مستقل مشابه استفاده کرد (Weersink *et al.*, 2010)

**شبیه سازی تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و واریانس تولید محصول‌های زراعی**

به منظور شبیه‌سازی اقلیم کره زمین از مدل‌های عمومی گردش جو که قادر به پیش‌بینی تغییرپذیری‌های آینده‌ی کره زمین می‌باشند استفاده می‌شود (Xu, 1999). در این پژوهش، شبیه‌سازی‌های تغییر اقلیم با دو راه‌گزین GA و B1 انجام شده است. لازم به یادآوری است در این بررسی با توجه به هدف و آمار و اطلاعات در دسترس از نتایج دو مدل ECHAM3 و EGCM3T63 استفاده شده است. پس از انتخاب سناریوهای مورد نظر، نتایج مربوط به متغیرهای بارش و دمای موجود در خروجی دو مدل منتخب (ECHAM3 - GA و EGCM3T63 - B1) با هر یک از سناریوهای GA و B1 در محدوده پهنه بوم‌شناختی شمال غرب کشور از پایگاه IPCC - DDC طی ۳۰ و ۶۰ سال آینده محاسبه و

محصول‌های را افزایش داده که در صورت تامین نشدن آن از طریق آبیاری عملکرد این محصول‌های کاهش خواهد یافت. درصد کاهش عملکرد برای محصول‌های گندم و جو بیشتر از دیگر محصول‌ها برآورد شده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های عملکرد محصول‌های دیم به تغییرپذیری‌های اقلیمی پیش‌بینی شده با سناریوهای مختلف گویای کاهش شایان توجه عملکرد این محصول‌های در اغلب منطقه‌های کشور است. هر چند که تجزیه و تحلیل تاثیر تغییر اقلیم یک موضوع مهم در رابطه با تولیدات کشاورزی از منظر سیاستگذاری و اتخاذ راهبردهای تطبیق به شمار می‌آید، اما متأسفانه بررسی‌های کمی تاکنون در این زمینه در کشور انجام شده است. در اندک بررسی‌های انجام شده نیز بر واکنش عملکرد میانگین محصول‌های به تغییر اقلیم تمرکز شده (Nazari (2012) و کمتر به موضوع خطر و اثرپذیری آن از تغییرپذیری‌های اقلیم پرداخته شده است. به همین منظور در این بررسی به ارزیابی تاثیر عامل‌های جوی بر عملکرد و خطرپذیری محصول‌های گندم و جو و سیب زمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین عامل‌های موثر بر تولید پرداخته شده است.

## مواد و روش‌ها

### معرفی الگوی جاست و پاپ

به منظور تعیین تاثیر متغیرهای اقلیمی بر میزان (میانگین) عملکرد و نوسان‌های آن (خطر عملکرد) در این بررسی از رهیافت تابع تولید تصادفی که بوسیله Just and Pope (1976; 1979) پیشنهاد شده، استفاده شده است. مبنای اساسی این رهیافت بر این پایه استوار است که تابع تولید به دو جزء بنیادی قابل تفکیک است. نخستین جزء به سطح میانگین محصول مربوط می‌شود در حالی که دومین جزء به واریانس و نوسان سطح محصول مرتبط است (Cabas *et al.*, 2010; Kim and Pang, 2009; Sarker *et al.*, 2012). شکل اصلی تابع تولید تصادفی پیشنهادی توسط جاست و پاپ به صورت زیر می‌باشد.

$$y = f(X) + f(x)\varepsilon \quad (1)$$

در معادله (1)،  $Y$  بیان‌کننده میزان عملکرد محصول  $X$  نشان دهنده متغیرهای توضیحی مدل می‌باشند. برآورد پارامتر  $f(x)$  تاثیر میانگین متغیرهای توضیحی بر عملکرد محصول را مشخص می‌کند. در حالی که برآورد  $h(x)$  اثر عامل‌های یاد شده را بر واریانس یا همان خطر تولید

از تعریف اثر نهایی و کشش محصول درصد تغییر در میانگین و واریانس عملکرد هر یک از محصولات با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم برآورد شده است.

### نتایج و بحث

بر مبنای آزمون ریشه واحد دیکی فولر برای داده‌های ترکیبی (پانل دیتا)، فرض صفر نامانایی برای همه متغیرهای استفاده شده در هر دو مدل میانگین عملکرد و واریانس عملکرد رد شده است. با توجه به هدف تحقیق مبنی بر ارزیابی تاثیر عامل‌های جوی بر عملکرد و واریانس سه محصول گندم، جو و سیب‌زمینی بر مبنای آزمون هاسمن از مدل اثرهای ثابت برای برآورد تابع‌های درصد دوم عملکرد و واریانس محصول‌های یاد شده استفاده شده است که نتایج برآورد پارامترهای مربوطه به آن‌ها در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، ضریب‌های بیشتر متغیرهای وارد شده در الگوهای عملکرد وزنی برای هر سه محصول گندم، جو و سیب زمینی در سطح آماری ۵ درصد و کمتر از آن معنی‌دار هستند. همچنین میزان ضریب‌های تعیین الگوها نیز گویای قابلیت توضیح‌دهندگی مناسب متغیرهای مستقل در توضیح تغییرپذیری‌های عملکرد سالانه‌ی محصول‌های زراعی مورد بررسی است، به گونه‌ای که حدود ۸۰، ۷۰ و ۷۳ درصد از تغییرپذیری‌های سالانه عملکرد وزنی گندم، جو و سیب‌زمینی در این پهنه بوسیله متغیرهای اقلیمی، توان دوم و اثرهای متقابل آن‌ها و نیز متغیر روند زمانی توضیح داده شده است. متغیر روند به عنوان شاخصی از تغییر در فن‌آوری تولید این محصول‌ها در طول زمان در نظر گرفته شده که ضریب‌های مربوط به آن در هر سه تابع عملکرد از نظر آماری معنی‌دار و مثبت تعیین شده است. بدین معنی که عملکرد محصول‌های گندم، جو و سیب زمینی در پهنه زراعی- بوم‌شناختی شمال غرب کشور به دلیل بهبود فناوری تولید، به طور میانگین سالانه به ترتیب در حدود ۲۰، ۱۰ و ۹۰ کیلوگرم افزایش عملکرد داشته‌اند.

برای شبیه‌سازی واکنش عملکرد و واریانس محصول استفاده شده است.

### تصریح الگوی تجربی اقتصادسنجی

به منظور تعیین اثرگذاری‌های جوی بر عملکرد محصول در مرحله نخست با استفاده از تابع تولید تصادفی (معرفی شده توسط جاست و پاپ) پیشنهاد شده و متغیرهای فصلی میانگین بارش و دما و همچنین عملکرد محصول در یک مدل درجه دوم و با استفاده از OLS اقدام به برآورد تابع یاد شده نمودیم.

$$Y_i = \alpha_i + \alpha_i T_i + \beta_i T_i^2 + \delta_i P_i + \mu_i P_i^2 + \vartheta_i P_i T_i + Z + e_i \quad (5)$$

در معادله (۵)،  $Y_i$  عملکرد محصول،  $T_i$  میانگین دمای فصلی،  $P_i$  مجموع بارش فصلی و  $Z$  متغیر روند می‌باشد. در مرحله دوم که شامل برآورد جزء واریانس از تابع تولید تصادفی است از توان دوم جزء اخلاص به دست آمده از معادله عملکرد برای محاسبه تاثیر متغیرهای جوی بر واریانس محصول استفاده می‌شود که بدین منظور از لگاریتم مجذور جزء اخلاص به عنوان متغیر وابسته یا همان واریانس تولید استفاده شده است.

$$\ln e_i^2 = \alpha_i + \alpha_i T_i + \beta_i T_i^2 + \delta_i P_i + \mu_i P_i^2 + \vartheta_i P_i T_i + Z + u \quad (6)$$

در مرحله سوم معادله میانگین عملکرد بوسیله وزن‌هایی که از برآورد معادله واریانس به دست آمده، بار دیگر برآورد می‌شود. بدین ترتیب که از مقادیر پیش بینی شده معادله واریانس آنتی لگاریتم گرفته شده و از این مقادیر به عنوان وزن به منظور تخمین مجدد معادله (۵) استفاده می‌شود. از آنجاکه ضریب‌های متغیرها در الگوهای مورد استفاده در این بررسی، غیرخطی می‌باشند به تنهایی نمی‌توان برای تفسیر و تعیین چگونگی تاثیر متغیرهای جوی بر عملکرد و واریانس محصول، از آن‌ها استفاده کرد. به همین دلیل با استفاده از ضریب‌های برآوردی و به کارگیری تعریف مربوط به کشش که بیانگر درصد تغییرپذیری‌های در میانگین عملکرد و واریانس تولید هر یک از محصول‌های زراعی نسبت به یک درصد تغییر در میزان متغیرهای فصلی اقلیمی بارش و دما می‌باشد، در تحلیل عملکرد متغیرهای یاد شده به کار گرفته شده است. به منظور شبیه‌سازی تاثیر تغییر اقلیم بر عملکرد و واریانس محصول، در آغاز درصد تغییر میزان‌های پارامترهای اقلیمی با سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به شرایط پایه (نرمال) محاسبه و پس از آن با استفاده

جدول ۱- نتایج برآورد توابع واکنش اقلیمی عملکرد محصول در بهنه شمال غرب کشور (استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و کردستان).

**Table 1 . Results of estimation of climatic response functions of product in the northwest of the country (East and West Azarbaijan provinces, Ardebil, Zanjan and Kurdistan).**

	گندم Wheat	جو Barley	سیب زمینی Potato			
	ضریب Coefficient	آماره t Statistics t	ضریب Coefficient	آماره t Statistics t	ضریب Coefficient	آماره t Statistics t
عرضه و عدد y-intercept	13130***	8/73	2816.8***	1.97	1564.6***	11.30
بارش پاییز Autumn precipitation	15.45***	3.63	-8.38***	-3.89	-	-
بارش زمستان Winter precipitation	-6.54***	-2.38	-	-	61.61***	2.73
بارش بهار Spring precipitation	-30.34***	-4.99	-13.83**	-2.16	-	-
بارش تابستان Summer precipitation	-33.09***	-3.52	-19.54***	-5.73	-	-
توان دوم بارش پاییز Autumn precipitation squared	-0.06***	-2.94	-	-	-	-
توان دوم بارش زمستان winter precipitation Squared	0.03***	3.26	0.02***	3.27	-0.27***	-3.19
توان دوم بارش بهار spring precipitation Squared	-	-	-0.02***	-2.38	0.14***	2.59
توان دوم بارش تابستان summer precipitation Squared	0.55*	1.58	-	-	4.38***	3.16
دمای پاییز Autumn temperature	153.70***	5.20	-	-	-	-
دمای زمستان Winter temperature	123.56**	2.14	-	-	-	-
دمای بهار Spring temperature	-919.02***	-5.40	-126.35***	-2.56	-1434.16***	-6.49
دما، تابستان Summer temperature	-80.03***	-2.84	137.83	1.09	12192.75***	-9.07
توان دوم دمای پاییز autumn temperature Squared	-	-	-	-	-	-
توان دوم دمای زمستان winter temperature Squared	-	-	40.62***	3.84	-	-
توان دوم دمای بهار Spring temperature Squared	0.83***	4.48	-	-	-	-
توان دوم دمای تابستان summer temperatures Squared	-	-	-4.22*	-1.56	309.50***	10.20
دمای پاییز در بارش پاییز Autumn temperature in Autumn precipitation	-	-	0.81***	2.98	-	-
دمای زمستان در بارش زمستان Winter temperature in winter precipitation	-0.85*	-1.74	-1.73***	-2.99	-	-
دمای بهار در بارش بهار Spring temperature in spring precipitation	2.16***	5.59	1.43***	4.79	-1.59**	-1.94
دما، تابستان در بارش تابستان Summer temperature in summer precipitation	-	-	-	-	-7.79***	-2.70
متغیر روند Trend variable	204.22***	9.06	101.01***	5.35	933.16***	6.29
ضریب تعیین R <sup>2</sup>	0.79	0.70	0.73			

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Reference: Research findings

\*\*\* معناداری در سطح ۱ درصد \* معناداری در سطح ۵ درصد \* معناداری در سطح ۱۰ درصد

\*\*\* Significantly at the level of 1% \*\* Significantly at the 5% level \* Meaning at 10% level

بارش و دمای تابستان برای گندم و جو تنها مربوط به تیرماه می‌باشد

The season and summer temperatures for wheat and barley are only for July

همان طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود تعداد متغیرهای معنادار در الگوهای واریانس (خطر) و همچنین میزان ضریب‌های تعیین الگوها گویای قابلیت توضیح دهندگی مناسب متغیرهای مستقل در توضیح تغییرپذیری‌های خطر سالانه‌ی محصول‌های زراعی مورد بررسی است، به گونه‌ای که حدود ۶۰، ۴۰ و ۳۷ درصد از تغییرپذیری‌های سالانه واریانس به ترتیب گندم، جو و سیب‌زمینی در این پهنه بوسیله توان اول و دوم متغیرهای اقلیمی و اثرهای متقابل آن‌ها و نیز متغیر روند زمانی توضیح داده شده است. همان طور که در جدول (۲) ملاحظه می‌شود در مقایسه با تابع‌های عملکرد وزنی شمار کمتری از متغیرهای جوی در حالت‌های مختلف بر واریانس هر ۳ محصول تاثیرگذار بوده‌اند، ولی در عین حال بالا بودن نسبی ضریب‌های تعیین الگوها در مجموع گویای تاثیرگذاری معنی‌دار متغیرهای جوی بر خطر محصول‌های زراعی مورد بررسی می‌باشد. البته در این میان واریانس عملکرد محصول گندم با ضریب تعیین حدود ۶۰ درصد بیشترین تاثیر پذیری را از عامل‌های جوی دارد. شایان یادآوری است در الگوی خطر تولید هر ۳ محصول، متغیر روند به عنوان شاخصی از تغییر در فناوری تولید این محصول‌های در طول زمان با علامت منفی و به لحاظ آماری معنادار مشاهده می‌شود. بدین معنی که خطر محصول‌های گندم، جو و سیب زمینی در پهنه زراعی- بوم‌شناختی شمال غرب کشور به دلیل بهبود فناوری تولید، در طول زمان کاهش داشته است که تأییدی بر تاثیر مثبت و معنادار متغیر یاد شده بر عملکرد وزنی محصول‌های نامبرده می‌باشد.

با توجه به رابطه‌های غیرخطی و حضور اثرهای متقابل دما و بارش‌های ماهانه در الگوهای عملکرد و خطر، برای روشن‌تر شدن تاثیر نهایی هر یک از متغیرها و نیز ارزیابی و مقایسه نقش و اهمیت هر یک از آن‌ها در عملکرد محصول‌های، کشش عملکرد محصول‌های مورد بررسی نسبت به هر یک از متغیرهای بارش و دمای محاسبه شده که میزان آن‌ها در جدول (۳) گزارش شده است.

بنابر نتایج به دست آمده، ماهیت و میزان تاثیرگذاری میزان بارش‌ها در فصل‌های مختلف بر عملکرد محصول‌های زراعی به میانگین دمای آن فصل نیز بستگی دارد. به همین نحو، واکنش عملکرد به دمای فصلی نیز تابعی از میزان بارش‌های همان فصل است. برای مثال در تابع عملکرد گندم و جو، بارش‌های بهاره اگر با افزایش دما همراه باشند باعث افزایش عملکرد محصول‌های یاد شده می‌شود. در مورد سیب‌زمینی توان دوم بارش‌های بهاره و تابستانه تاثیر مثبت و معناداری بر عملکرد سیب‌زمینی داشته‌اند. بررسی و تحلیل نشانه‌ها و ضریب‌های پارامترهای دمایی الگوها نیز گویای سازگاری نتایج با واقعیت‌های نظری (تئوریک) و یافته‌های پژوهشی است. همان طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، برای محصول گندم و جو، افزایش دما در دوره‌ی کشت (فصل پاییز)، تاثیری مثبت، معنی‌دار و خطی بر عملکرد این محصول دارد. در مقابل برای دو فصل بهار و تابستان افزایش دما تاثیری منفی بر عملکرد محصول‌های یاد شده داشته‌اند. به دلیل آنکه افزایش دما در این فصل‌ها منجر به افزایش تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاه شده که پیامد آن، کمی ذخیره‌ی رطوبت در خاک و روبه‌رو شدن محصول با تنش خشکی بیشتر در فصل بهار و تابستان است (Ababaei, 2010). متغیرهای خطی دمای بهار و تابستان تاثیر منفی بر عملکرد سیب‌زمینی داشته‌اند. با توجه به این‌که سیب‌زمینی گیاهی سرددوست و حساس به گرما می‌باشد منفی بودن ضریب‌های یاد شده توجیه پذیر می‌باشد (Badri, 2012). همچنین در مواردی که در تابع‌های عملکرد محصول‌های مورد بررسی توان دوم متغیرهای جوی معنادار شده‌اند بدین معنی است که برای دمای میانگین و مجموع بارش هر یک این فصل‌ها به ترتیب میزان‌های بهینه و حدی وجود دارد که برای تأثیرپذیری عملکرد هر یک از محصول‌های از دما و بارش در پیش و پس از این نقطه‌ها متفاوت است.

به منظور برآورد تابع خطرپذیری عملکرد هر یک از محصول‌های گندم، جو و سیب‌زمینی از مجدور باقی‌مانده‌های تابع‌های عملکرد اولیه و متغیرهای مستقل همسان در آن الگوها استفاده شد که نتایج ناشی از این برآورد در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- نتایج برآورد توابع واکنش اقلیمی واریانس محصولات زراعی آبی پهنا شمال غرب (استان‌های آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان و کردستان).

Table 2 . Results of estimation of climatic response functions of irrigation crop in the Northwest Zone (East and West Azarbaijan provinces, Ardebil, Zanjan and Kurdistan).

	گندم	جو	سیب زمینی	آماره t	ضریب	آماره t
	Wheat	Barley	Potato			
	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t	ضریب	آماره t
	Coefficient	Statistics t	Coefficient	Statistics t	Coefficient	Statistics t
میانگین از مبدأ y-intercept	28.49	1.53	-0.12	-0.01	53.69***	3.10
بارش پاییزی Autumn precipitation	-0.03	-1.14	-0.001	-0.11	-	-
بارش زمستانی Winter precipitation	0.10***	5.44	-	-	0.02	1.18
بارش بهاری Spring precipitation	-0.18***	-2.87	0.04	0.83	-	-
بارش تابستانی Summer precipitation	0.06	1.08	0.03	1.15	-1.21***	-3.29
مربع بارش پاییزی Autumn precipitation squared	-0.0001	-0.57	-	-	-	-
مربع بارش زمستانی winter precipitation squared	-0.0004***	-5.75	-0.00003	-0.52	0.00001	0.19
مربع بارش بهاری spring precipitation squared	-	-	-0.0002*	-1.74	-0.0002***	-2.68
مربع بارش تابستانی summer precipitation squared	-0.001	-0.79	-	-	0.008***	2.63
دمای پاییزی Autumn temperature	-0.90***	-3.97	-	-	-	-
دمای زمستانی Winter temperature	1.55***	3.90	-	-	-	-
دمای بهاری Spring temperature	-1.81	-0.74	0.07	0.16	-0.18	-0.86
دمای تابستانی Summer temperature	0.56***	2.82	0.48	0.41	-2.71	-1.76
مربع دمای پاییزی autumn temperature squared	-	-	-	-	-	-
مربع دمای زمستانی winter temperature squared	-	-	-0.04	-0.49	-	-
مربع دمای بهاری Spring temperature squared	-0.002	-0.03	-	-	-	-
مربع دمای تابستانی summer temperatures squared	-	-	-0.006	-0.24	0.04	1.40
دمای پاییزی در بارش پاییزی Autumn temperature in Autumn precipitation	-	-	-0.0004	-0.20	-	-
دمای زمستانی در بارش زمستانی Winter temperature in winter precipitation	-0.001	-0.34	-0.001	-0.37	-	-
دمای بهاری در بارش بهاری Spring temperature in spring precipitation	0.01***	3.01	0.0002	0.08	0.003***	2.69
دمای تابستانی در بارش تابستانی Summer temperature in summer precipitation	-	-	-	-	0.04***	3.38
متغیر روند Trend variable	-0.40***	-2.41	-0.15	-0.88	-0.95***	-5.42
ضریب تعیین R <sup>2</sup>	0.60		0.40	0.37		

ماخذ: یافته‌های تحقیق \*\*\* معناداری در سطح ۱ درصد \*\* معناداری در سطح ۵ درصد \* معناداری در سطح ۱۰ درصد  
Source: The results of the research \*\*\* significant at level 1% \*\* significant at 5% level \* significant at 10% level



جدول ۳- کشش عملکرد محصول‌های عمده زراعی آبی به تغییر اقلیم در منطقه بوم‌شناختی شمال غرب کشور.

Table3. Yield elasticity of major irrigation crops in the Northwest ecological region.

متغیر Variable	گندم Wheat	جو Barley	سیب زمینی Potato
بارش پاییز Autumn precipitation	0.11	0.034	-
بارش زمستان Winter precipitation	-0.04	0.031	0.04
بارش بهار Spring precipitation	0.09	0.12	0.02
بارش تابستان Summer precipitation	-0.05	-0.05	-0.02
دمای پاییز Autumn temperature	0.4	0.2	-
دمای زمستان Winter temperature	-0.03	-0.05	-
دمای بهار Spring temperature	-3.08	0.11	-0.98
دمای تابستان Summer temperature	-0.55	-0.54	1.4

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Reference: Research findings

شدن دانه (خرداد) می‌باشد. اهمیت بارش در این مرحله از رشد گندم به حدی است که در بعضی از بررسی‌ها با استناد به بارش خرداد (ژوئن) منطقه‌های مستعد کشت گندم را مشخص کرده‌اند (Nazari, 2012). در مقابل کشش عملکرد محصول‌های یاد شده نسبت به بارش تیر ماه منفی می‌باشد که علت آن مربوط به بروز بیماری‌های قارچی و همچنین تاخیر در برداشت است که منجر به کاهش عملکرد نیز می‌شود.

در مورد کشش عملکرد گندم و جو نسبت به متغیرهای فصلی دما، اغلب برای دوره‌هایی از رشد که گیاه با تنش آبی بیشتری روبه رو هستند (خرداد و تیر) منفی و به لحاظ کمی بزرگ‌تر به دست آمده‌اند. بنابر نتایج پژوهش، ۱ درصد افزایش دمای تیرماه منجر به کاهش حدود ۰/۵۵ درصدی در عملکرد گندم و جو گندم می‌شود. به بیان دیگر بیشترین تاثیر منفی افزایش دما بر عملکرد گندم و جو، مربوط به ماه‌های همزمان با اواخر دوره‌ی رشد یعنی اواخر فصل بهار و اوایل فصل تابستان است. همان طور که گفته شد، در این ماه‌ها به دلیل پرشدن و رسیدگی دانه، گیاه به شدت به تنش رطوبتی حساس است. بنابراین افزایش دما در کنار کاهش میزان بارش‌ها، به کاهش محصول منجر می‌شود. نتایج (Kuchaki and Nasiri (2008) عامل اصلی کاهش عملکرد گندم در کشور را افزایش دما در زمان تشکیل خوشه و رسیدن گندم معرفی می‌کند. همچنین

کشش عملکرد محصول نسبت به هر یک از متغیرهای اقلیمی که از حاصل ضرب اثر نهایی (مشتق عملکرد نسبت به هر متغیر ارزیابی شده در میانگین داده‌های بارش و دما) در نسبت میزان میانگین هر یک از متغیرهای مستقل بر میزان عملکرد به دست آمده است، بیانگر درصد تغییر عملکرد محصول به ازای یک درصد تغییر در میزان متوسط متغیر اقلیمی مورد نظر است. همین تعریف‌ها در مورد اثر نهایی و کشش واریانس تولید نیز به کار می‌رود. همان طور که ملاحظه می‌شود، کشش عملکرد محصول‌های گندم و جو آبی، نسبت به همه متغیرهای بارش فصلی که در سازگاری با دوره رشد این محصول‌ها می‌باشند، مثبت به دست آمده‌اند که برابر با انتظار است. مقایسه‌ی میزان‌های کشش‌های بارش نشان می‌دهد که در این منطقه مهم‌ترین بارش‌ها برای کشت گندم و جو آبی، به ترتیب بارش‌های ریزش شده در فصل‌های پاییز و بهار هستند. به گونه‌ای که ۱ درصد افزایش در بارش پائیز و بهار به ترتیب ۱۱ و ۹ درصد عملکرد گندم، ۳ و ۱۲ درصد عملکرد جو را در منطقه زراعی- بوم‌شناختی شمال غرب کشور افزایش می‌دهند. فصل پاییز در این منطقه هماهنگ با دوره کشت و جوانه زدن گندم و جو است که از جمله دوره‌های حساس رشد غلات به شمار می‌آیند (Nazari, 2012). فصل بهار در مناطق سردسیر مانند پهنه‌ی شمال غرب کشور، به طور عمده هماهنگ با دوره‌ی گلدهی (اردیبهشت) و با دوره‌ی پر

برای منطقه‌های غرب زاگرس و شمال غرب کشور که در آنها کاهش شدیدتر میزان بارش پیش‌بینی شده (به طور عمد شامل نواحی خوزستان، زاگرس میانی و ناحیه شمال غرب) و نیز برای محصول‌هایی که دوره‌ی رشد آن‌ها همزمان با فصل‌های بارشی سال بوده (برای مثال غلات و یونجه) بیشتر پیش‌بینی شده است. دلیل این امر استفاده بیشتر این محصول‌ها از بارش‌های جوی در تأمین نیاز آبی آن‌هاست. برای مثال دوره‌ی رشد گندم تا حدودی در اغلب منطقه‌های کشور هماهنگ با سه فصل پاییز، زمستان و بهار است که بخش عمده‌ی بارش‌های سالانه در آن‌ها رخ می‌دهد. کاهش بارش در این فصل‌ها بدین معنی است که در این شرایط بخش کمتری از نیاز خالص آبی این محصول با بارش تأمین شده که در این صورت نیاز به آبیاری بیشتری خواهد بود. در مقابل برای محصول‌های تابستانه که به طور عمده دوره‌ی رشد آن‌ها منطبق با فصل‌های خشک و کم باران سال است، در اغلب منطقه‌ها و سناریوها درصد کمبود رطوبت اقلیمی آن‌ها کمتر پیش‌بینی شده است. برای مثال افزایش نیاز آبی سیب زمینی که یک کشت تابستانه در ناحیه شمال غرب کشور است در همه سناریوها نسبت به گندم و یونجه کمتر پیش‌بینی شده است (جدول ۴). دلیل این امر، وابستگی اندک این محصول به تأمین نیاز آبی خود با باران موثر در طول دوره‌ی رشد آن است. در جدول (۴) به کشت خطر عملکرد گندم، جو و سیب‌زمینی در برابر عامل‌های اقلیمی اشاره شده است.

همان‌طور که در جدول بالا ملاحظه می‌شود در مورد محصول گندم کشت واریانس عملکرد نسبت به بارش پائیز منفی است یعنی ۱ درصد افزایش در بارش فصل پائیز به میزان ۵ درصد خطر یا واریانس عملکرد محصول را کاهش می‌دهد. در حالی که افزایش ۱ درصدی بارش پائیز عملکرد محصول را ۰/۱۱ درصد افزایش می‌دهد. همچنین کشت واریانس گندم نسبت به بارش تیرماه مثبت است که در واقع بیان‌کننده‌ی افزایش بارش در تابستان به میزان ۱ درصد، واریانس عملکرد این محصول را در حدود ۴ درصد افزایش می‌دهد. برابر اطلاعات جدول (۴) بارش پائیز و تابستان برای محصول جو همانند محصول گندم بوده و به ترتیب اثرگذاری‌های منفی و مثبتی بر واریانس یا همان خطر عملکرد محصول جو می‌گذارند. کشت واریانس عملکرد محصول سیب‌زمینی نسبت به بارش‌های زمستان، بهار و تابستان مثبت است. در واقع افزایش ۱ درصدی بارش در

کشت عملکرد گندم نسبت به دمای زمستان منفی است. در واقع بالا رفتن دما در فصل زمستان سبب جذب زودتر دمای مورد نیاز برای طی مرحله‌های رشدی و پدیده شناسی (فنونلژی) گیاه و انتقال از یک مرحله به مرحله بعدی رشدی را فراهم می‌کند. پیامد این امر تأمین نشدن نیاز سرمایی غلات برای بهاره‌سازی (ورنالیزه شدن)، کوتاه شدن طول دوره‌ی رشد و افت تولید زیست توده (بیوماس) است (Kuchaki and Nasiri, 2008). همچنین توقف کمتر رشد در طی فصل زمستان، سبب ساقه‌دهی زودتر و طویل شدن در اواخر فروردین شده که این موضوع همراه با بارش‌های تند بهاره احتمال خوابیدگی بوته (ورس) و ازدیاد بعضی از آفات و بیماری‌ها مانند شته‌ها و زنگ زرد را بیشتر می‌کند (Mohammadi Nikpour and Fallah Heravi, 2011). ضمن اینکه افزایش دما در این ماه منجر به افزایش تبخیر و تعرق از سطح خاک و گیاه در این فصل شده که پیامد آن، کمی ذخیره‌ی رطوبت در خاک و رویارویی محصول با تنش خشکی بیشتر در فصل بهار است.

در زمینه محصول سیب‌زمینی کشت عملکرد نسبت به بارش زمستان و بهار مثبت است یعنی ۱ درصد افزایش در بارش زمستان و بهار عملکرد محصول سیب‌زمینی را به ترتیب به میزان ۴ و ۲ درصد افزایش می‌دهند. از مهم‌ترین دلایل مثبت بودن کشت عملکرد نسبت به بارش زمستان، می‌توان به نرم شدن بافت خاک، تماس بهتر غده‌ها با خاک و تهویه مناسب خاک اشاره نمود که منجر به افزایش عملکرد می‌شود (Badri, 2012). اما تاثیر بارش تابستان با توجه به بالا بودن دمای این فصل زمینه بروز بیماری‌های قارچی را فراهم کرده که نتیجه آن کاهش عملکرد سیب زمینی به میزان ۲ درصد در ازای ۱ درصد افزایش در پارامتر یاد شده خواهد بود. از مقایسه نتایج می‌توان استنباط کرد که رفتار گیاهان مختلف نسبت به تغییرپذیری‌های عامل-های جوی یکسان نمی‌باشد. به عنوان مثال سیب زمینی، حساسیت کمتری را به این تغییرپذیری‌ها در مقایسه با گندم از خود نشان می‌دهد. این یافته با نتایج پژوهش Nazari (2012) که نشان داد محصول‌های تابستانه حساسیت کمتری نسبت به تغییرپذیری‌های اقلیم در مقایسه با محصول‌های زمستانه مانند گندم دارند، همخوانی دارد. مقایسه درصد کمبود رطوبت نسبی (افزایش نیاز خالص آبیاری) در طول دوره‌ی رشد برای دیگر محصول‌ها و دیگر منطقه‌ها نشان می‌دهد، میزان تغییر این پارامتر

محصول گندم بیشتر از جو و سیب‌زمینی برآورد شده است. با توجه به بالا بودن ضریب تعیین تابع واریانس محصول گندم این نتیجه دور از انتظار نمی‌باشد. بنابراین بیشترین کاهش عملکرد به میزان ۴۴ درصد برای محصول گندم و با سناریوی GA برای ۳۰ و ۶۰ سال آینده برآورد شده است. همچنین می‌توان استنباط کرد که در محدوده تغییرپذیری‌های پیش‌بینی شده برای پارامترهای اقلیمی بارش و دما، افزایش دما عامل موثرتری در توضیح کاهش عملکرد محصول‌ها نسبت به بارش است. همان طور که ملاحظه می‌شود، به‌رغم پیش‌بینی افزایش بارش‌ها در سناریوهای مختلف برای منطقه زراعی بوم‌شناختی شمال غرب کشور، به دلیل غالب شدن تنش رطوبتی ناشی از افزایش شدید دما بر تأثیر مثبت ناشی از افزایش بارش‌ها، میزان عملکرد در بیشتر موارد کاهش یافته است. بالا بودن کاهش عملکرد نسبت به متغیر دما و همچنین نتایج بررسی‌های Kuchaki *et al.* (2008) تأییدی بر این امر است. همان‌گونه که در جدول (۸) ملاحظه می‌شود واکنش واریانس عملکرد محصول‌های زراعی مورد بررسی نسبت به تغییر اقلیم برای محصول سیب‌زمینی با سناریوهای مختلف و برای گندم تحت سناریوی GA۱۴۲۰ افزایشی برآورد شده است. بالا بودن ضریب تعیین تابع‌های واریانس عملکرد محصول‌های یادشده تأییدی بر این موضوع می‌باشد.

فصل‌های یادشده خطر محصول را به ترتیب در حدود ۲/۴، ۱/۲ و ۱۶/۳ درصد افزایش می‌دهد. از مهم‌ترین دلایلی که می‌توان برای افزایش خطر ناشی از بارش زمستان عنوان کرد به تأخیر افتادن کشت به دلیل عدم امکان ورود به زمین است. از سوی دیگر بارندگی شدید بهار باعث شستشوی املاح و سم‌ها به اعماق زمین شده و باعث ضعیف شدن گیاه و عدم مقاومت در برابر بیماری‌ها می‌شود. بارش‌های شدید تابستان افزون بر شستشوی نمک‌ها و سم‌ها زمینه بروز بیماری‌های قارچی را نیز فراهم می‌کند و از این طریق خطر تولید را افزایش می‌دهند (Badri, 2012).

به منظور محاسبه درصد تغییر عملکرد و واریانس محصول‌های گندم، جو و سیب‌زمینی در برابر تغییر اقلیم از درصد تغییرپذیری‌های میزان متغیرهای اقلیمی نسبت به شرایط نرمال تاریخی با دو راه‌گزین تغییر اقلیم B1 و GA برای سال‌های ۱۴۲۰ و ۱۴۵۰ و اثر نهایی و کاهش عملکرد میانگین و واریانس عملکرد نسبت به تغییر پارامترهای اقلیمی استفاده شده است. نتایج ناشی از این محاسبه‌ها در جدول (۸) گزارش شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود درصد تغییرپذیری عملکرد محصول‌های آبی مورد بررسی به تغییرپذیری‌های اقلیمی پیش‌بینی شده با سناریوهای مختلف گویای کاهش شایان ملاحظه عملکرد این محصول‌ها بوده است. که البته درصد کاهش عملکرد برای

جدول ۴- کاهش خطر عملکرد محصول‌های عمده زراعی به تغییر اقلیم در منطقه بوم‌شناختی شمال غرب کشور.

Table 4. Risk ratio of major crop products to climate change in the Northwest ecological region.

متغیر Variable	گندم Wheat	جو barley	سیب زمینی Potato
بارش پاییز Autumn precipitation	0.11	0.034	-
بارش زمستان Winter precipitation	-4.03	-0.41	-
بارش بهار Spring precipitation	1.77	-0.99	2.39
بارش تابستان Summer precipitation	1.42	0.52	1.18
دمای پاییز Autumn temperature	0.31	0.24	16.27
دمای زمستان Winter temperature	-8.13	-0.27	-
دمای بهار Spring temperature	3.30	-0.86	-
دمای تابستان Summer temperature	-7.13	1.52	3.9

ماخذ: یافته‌های تحقیق

Reference: Research findings

## نتیجه گیری

هرچند که بررسی تأثیر اقلیم روی تولیدات کشاورزی با روش‌های مختلف و البته با نتایج متفاوت انجام شده است. اما ادبیات موضوع در رابطه با تأثیر این تغییرپذیری‌ها بر خطر تولید اندک است. این موضوع به طور مستقیم و غیرمستقیم با امنیت غذایی و فقر در ارتباط می‌باشد. پارامترهای اقلیمی به طور مستقیم فعالیت‌های زراعی را از طریق تغییر در میزان بارش و افزایش دما و در پی آن افزایش تبخیر و تعرق تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای شبیه‌سازی تأثیر این تغییرپذیری‌ها بر عملکرد و واریانس محصول‌های زراعی آبی پهنه بوم‌شناختی شمال غرب کشور از روش اقتصادسنجی برآورد تابع‌های واکنش اقلیمی عملکرد و واریانس عملکرد بر مبنای الگوی پیشنهادی جاست و پاپ استفاده شد. نتایج ناشی از این برآوردها، برای محصول‌های گندم و جو آبی منطقه‌های سردسیر واقع در شمال غرب نشان داد به طور کلی بارش‌های بهار و پائیزه مهم‌ترین بارش‌ها می‌باشند. بنابراین کاهش بارش‌ها در این فصل‌ها به ویژه در ماه‌های اردیبهشت، خرداد و آبان ماه تأثیر منفی بر تولید این محصول‌ها خواهد داشت. در مورد محصول سیب زمینی هم بارش زمستان و بهار تأثیر مثبت و معناداری بر عملکرد دارد. در مقابل واکنش عملکرد این محصول‌ها نسبت به بارش تابستان منفی بوده که در مورد گندم و جو تاخیر در برداشت و در زمینه سیب‌زمینی بروز بیماری‌های قارچی به دلیل بالا بودن دما در فصل تابستان مهم‌ترین علت‌ها عنوان می‌شود. کاهش عملکرد محصول‌های یادشده نسبت به دما در فصل‌های مختلف، متفاوت بوده به طوری که در کل افزایش دما در اواخر دوره رشد گندم، جو و سیب زمینی تأثیر بسیار منفی بر تولید داشته و در مقابل تأثیر افزایش دما در دوره کاشت مثبت تعیین شده است. پردازش نتایج شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های اقلیمی در دهه‌های آتی با استفاده از خروجی دو مدل بزرگ‌مقیاس CGCM3T63 و ECHAM5 و با دو راه‌گزین B1 و GA، نشان داد، تا سه دهه آینده (۱۴۲۰) بر مبنای مدل و سناریوی ECHAM5 - GA میزان بارش سالانه در منطقه بوم‌شناختی شمال غرب کشور افزایشی و تا سال ۱۴۵۰ میزان بارش‌ها نسبت به دوره تاریخی پایه کاهش خواهد داشت. اما با سناریوی B1 در مدل EGCM3T63 میزان بارش سالانه در هر دو بازه زمانی افزایشی پیش‌بینی شده است. نتایج پیش‌بینی‌ها برای

پارامتر دما نیز گویای گرایش آن به افزایش با هر دو مدل گردش عمومی جو و سناریوهای مورد بررسی آنهاست. شدت این گرمایش در مدل EGCM3T63 در مقایسه با مدل دیگر به میزان بیشتری پیش‌بینی شده است. نتایج ناشی از شبیه‌سازی تغییرپذیری‌های عملکرد محصول‌های آبی مورد بررسی به تغییرپذیری‌های اقلیمی پیش‌بینی شده با سناریوهای مختلف گویای کاهش شایان ملاحظه عملکرد این محصول‌ها بوده است که البته درصد کاهش عملکرد برای محصول گندم بیشتر از جو و سیب‌زمینی برآورد شده است. مقایسه میزان درصد کاهش عملکرد محصول‌های مختلف در سناریوهای مورد بررسی نیز نشان می‌دهد، که در محدوده تغییرپذیری‌های پیش‌بینی شده برای پارامترهای اقلیمی بارش و دما، افزایش دما عامل موثرتری در توضیح کاهش عملکرد محصول‌ها نسبت به بارش است. واکنش واریانس محصول‌های زراعی مورد بررسی نسبت به تغییر اقلیم برای محصول سیب‌زمینی با سناریوهای مختلف و برای گندم با سناریوی GA۱۴۲۰ افزایشی برآورد شده است. بنابر نتایج بررسی، پیشنهادهای سیاستی زیر ارائه می‌شود:

۱- نتایج پژوهش نشان داد که منطقه بوم‌شناختی شمال غرب کشور در نتیجه تغییر اقلیم به سمت شرایط گرم و خشک‌تر شدن پیش‌می‌رود. از سوی دیگر با توجه به کاهش عملکرد محصول‌های مورد بررسی با سناریوهای مختلف تغییر اقلیم تدوین برنامه‌های زراعی به منظور جهت‌گیری الگوی کشت به سمت رقم یا محصول‌هایی که کمترین کاهش عملکرد را تحت تأثیر تغییر اقلیم خواهند داشت تأکید می‌شود. توسعه و تحقیق بیشتر در این زمینه و معرفی رقم‌های مقاوم به خشکی و گرما می‌تواند یکی از کارهای موثر در این راه باشد.

۲- با توجه به پیش‌بینی افزایش دما و در پی آن افزایش تبخیر و تعرق، کاهش عملکرد برای محصول‌های آبی بیشتر خواهد بود. در واقع گیاه با تنش رطوبتی روبه‌رو خواهد شد. از آنجا که افزایش دما به ویژه در فصل زمستان منجر به کوتاه شدن دوره ساقه دهی و پنجه رفتن جو و گندم و در نهایت باعث ضعیف شدن گیاه می‌شود، بنابراین تغییر تاریخ کاشت به گونه‌ای که از همزمانی دوره رشد این محصول‌ها با تنش‌های دمایی این فصل تا حد ممکن پرهیز شود می‌تواند به عنوان یک راهکار تطبیقی ساده مطرح باشد. این موضوع می‌تواند به عنوان موضوع‌های تحقیقی و پژوهشی در دستور کار کارشناسان علوم زراعی قرار گیرد.

منابع

- Ababaei, B., Mirzaii, F., Rezaardi-Nezhad, A. and Karimi, B., 2010. The Effect of climate change on wheat yield and its risk analysis (Case study of Marvdasht region of Isfahan). *Water and Soil Knowledge (Agricultural Knowledge)*. 20/1(3), 135-150. (In Persian with English abstract).
- Arnade, C. and Cooper, J., 2012. Acreage response under varying risk preferences. *Journal of Agricultural and Resource Economics*. 37(3), 398-414.
- Babaian, I. and Kohi, M., 2012. Evaluation of agricultural climate indicators under climate change scenarios in selected stations in Khorasan Razavi. *Journal of Water and Soil Science*. 26(4), 595-967. (In Persian with English abstract).
- Badri, A., 2012. A report on potato cultivation. Harmonization Management, Alborz Agricultural Jihad Organization, Alborz, Iran.
- Barnwal, P. and Kotani, K., 2013. Climatic impacts across agriculture crop yield distributions: An application of quantile regression on rice crops in Andhra Pradesh, India. *Journal of Ecological Economics*. 87, 95-109.
- Chang, C.C., 2003. The potential impact of climate change on Taiwan s agriculture. *Agricultural Economics*. 27, 51-64.
- Chen, C.C., McCarl, B.A. and Schimmelpfennig, D.E., 2004. Yield variability as influenced by climate: A statistical investigation. *Clim Change*. 66, 239-261.
- Dehghanpour, A., Dehghanizadeh, R. and Fallahpour, M., 2011. The study of the most important climatic parameters affecting potato crop yield of the country with climate change approach. In *Proceedings 1<sup>st</sup> National Conference on Agricultural Science and the Environment*. Shiraz. 6-8 March 2014. Shiraz, Iran. 1254-1261
- Deschênes, O. and Greenstone, M., 2007. The economic impacts of climate change: Evidence from agricultural output and random fluctuations in weather. *The American Economic Review*. 97(1), 354-385.
- Estern, N., 2006. *The Estern Review on the Economics of Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Féres, J.G., Reis, E.J. and Speranza, J., 2008. Assessing the Impact of Climate Change on the Brazilian Agricultural Sector. In *Proceedings of the 36<sup>th</sup> Brazilian Economics Meeting*, 20 -24 June. Rio Branco, Brazil.
- Hausman, J.A., 1978. Specification tests in econometrics. *Econometrica*. 46 (6), 1251-1271.
- Hope, C., 2005. Integrated assessment models. In D.Helm (Ed.), *Climate Change Policy*. Oxford University Press, Oxford. pp. 77-98.
- IPCC. 2007. Fourth Assessment Report. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat. Geneva, Switzerland. Available on <http://www.ipcc-data.org>. 2007
- IPCC. 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat. Geneva, Switzerland.
- Just, R.E. and Pope, R.D., 1979. Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*. 61(2), 276-284.
- Kamali, G.H., 1996. Severe rainfall changes in different parts of the country in the last ten years. In *Proceedings 1<sup>st</sup> Regional Climate Change Conference*, 21-23 May. Tehran, Iran. 43-44.
- Karamuz, M. and Eragi-Nezhad, S.H., 2005. Long run run off prediction using artificial neural networks and fuzzy inference system. *Iran Water Resources Research*. 1(2), 29-41. (In Persian with English abstract).
- Kemfert, C., 2009. Climate protection requirements- the economic impact of climate change. *Handbook Utility Management*. pp 725-739. DOI: 10.1007/978-3-540-79349-6\_42.
- Koochaki, A. and Nasiri, M., 2008. The effect of climate change with increasing concentration on wheat yield in Iran and assessment of adaptation strategies. *Iranian Journal of Crop Research*. 6(1), 139-153. (In Persian with English abstract).
- Koocheki, A., Nassiri, M., Soltani, A., Sharifi, H. and Ghorbani, R., 2006. Effects of climate change on growth criteria and yield of sunflower and chickpea crops in Iran. *Climate Research*. 30, 247-253.
- Koochaki, A., Nasiri Mahallati, M., Sharifi, H., Zand, A. and Kamali, G.H., 2001. Growth simulation, phenology and production of wheat cultivars due to climate change in Mashhad. *Wildlife Magazine*. 6(2), 117-128.
- Koundouri, P. and Nauges, C., 2005. On production function estimation with selectivity and risk consideration. *Journal of Agriculture and Resource Economics*. 30(3), 597-608.
- Kumbhakar, S.C. and Tsionas, E.G., 2008. Estimation of production risk and risk preference function: A nonparametric approach. *Annals of Operations Research*. 176 (1), 369-378.
- Lippert, C., Krimly, T. and Aurbacher, J., 2009. A Ricardian analysis of the impact of climate change on agriculture in Germany. *Climate Change*. 97, 593-610

- Mendelsohn, R., 2009. The impact of climate change on agriculture in developing countries. *Journal of Natural Resources Policy Research*. 1(1), 5-19.
- Mendelsohn, R. and Dinar, A., 2003. Climate, Water and Agriculture. *Land Economics*. 79(3), 328-341.
- Mohammadi Nikpour, A. and Fallah Heravi, A., 2011. The effects and consequences of climate change on production. *Agriculture Monthly, Agricultural Jihad Ministry*. 31(223), 35-52.
- Mohammadi, A.R.V. and Feznia, F., 2001. Effect of Moisture Stress on Growth and Yield of Two Potato Cultivars. Report of Research Center for Agricultural Research in Semnan. Shahrood, Iran. 45-70.
- Mosnier, C., Reynaud, A., Thomas, A., Lherm. M. and Agabriel, J., 2009. Estimating a production function under production and output price risks: An application to beef cattle in France. LERNA, University of Toulouse, France.
- Nassiri, M., Koocheki, A., Kamali, G.A. and Shahandeh. H., 2006. Potential impact of climate change on rainfed wheat production in Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 52, 113-124. (In Persian with English abstract)
- Nazari, M., 2012. Investigating the economic effects of climate change on Iranian agriculture Sub-branch. Ph.D. Thesis. University of Tehran, Tehran, Iran.
- Nordhaus, W. and Boyer, J., 2000. *Roll the Dice Again: Economic Modeling of Climate Change*. MIT Press, Cambridge
- Parry, M., Arnell, N., Berry, P., Dodman, D., Fankhauser, S. and Hope, C., 2009. *Assessing the Costs of Adaption to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates*. International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, London.
- Parry, M.L., Canziani, O.F., Palutikof, J.P., Van der Linden, P.J. and Hanson, C.E., 2007. *Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working 25 Climate Change 2007*. Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp. 581-615.
- Reddy, K.R., Hodges, H. F. and McKinion, J., 2000. *Impact of Climate Change on Cotton Production: A South-Central Assessment*. Presented at the National Center for Atmospheric Research (NCAR), Boulder, Colorado.
- Reilly, J., 1999. What does climate change mean for agriculture in developing countries? A comment on Mendelsohn and Dinar. *World Bank Obs*. 14, 295-305.
- Sarker, A.R., Alam, K. and Gow, J., 2012. A Comparison of the Effects of Climate Change on Aus, Aman and Boro Rice Yields in Bangladesh: Evidence from Panel Data. In presented at 41<sup>st</sup> Annual conference of economists, 8-12 July, Melburn, Australia.
- Schlenker, W. and Roberts, M.J., 2009. Nonlinear temperature effects indicate severe damages to U.S. Crop yields under climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 106(37), 15594-15598.
- Schlenker, W. and Roberts, M.J., 2006. Nonlinear effects of weather on corn fields. *Review of Agricultural Economics*. 28(3), 391-398.
- Shortle, J., Abler, D., Blumsack, S., Crane, R., Kaufman, Z. and McDill, M., 2009. *Pennsylvania Climate Impact Assessment*. Report to the Department of Environmental Protection. Department of Agricultural Economics and Rural Sociology, Penn State University.
- Soltani, A. and Gholipur, M., 2005. Simulation of the effect of climate change on growth, yield and water consumption of chickpea. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*. 13(2), 69-79. (In Persian with English abstract)
- Weersink, A., Cabas, J.H. and Olale, E., 2010. Acreage response to weather, Yield and Price. *Canadian Journal of Agricultural Economics*. 58, 57-72.
- Wooldridge, J.M., 2002. *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge and London: The MIT Press.
- Xu, C.Y., 1999. From GCMs to river flow: A review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. *Progress in Physical Geogaphy*. 23, 229-249.

## Climate change and the risk of agricultural productions: A case study of wheat, barley and potatoes

Fahimeh Bahrami<sup>1</sup> and Mohammad Reza Nazari<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Domestic Commerce Department, Institute for Trade Studies and Research, Ministry of Industry, Mine and Trade. Tehran, Iran.

<sup>2</sup>Department of Environmental and Natural Resources Economics, Research Institute of Environmental Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

\*Corresponding author: [mo\\_nazari@sbu.ac.ir](mailto:mo_nazari@sbu.ac.ir)

Received: 2018.09.30

Accepted: 2019.01.08

**Bahrami, F. and Nazari, M. R., 2019.** Climate change and the risk of agricultural productions: A case study of wheat, barley and potatoes. *Journal of Agroecology*. 9 (1), 86-101.

**Introduction:** Climate change is not only an important determinant of crop average yield and agricultural production potential in a region, but also is an important source of agricultural production risk, which leads to unexpected changes in yield and production levels. This, in turn, it affects key parameters of the market, supply and demand, and, consequently products prices. Although, the analysis of climate change effects is an important issue in relation to agricultural production from policy making points of view and adaptation strategies (Kundouri *et al*, 2005), but, little quantitative studies have been conducted in this regard so far. On the other hand, in most researches, the impacts of climate changes on average crops yield is estimated, and less attention has been paid to the effects of this phenomenon on the production risk.

**Material and methods:** In this study, using the random production function introduced by Just and Pop (1979, 1976), the effect of changes in climatic parameters on the average crops yield and yield variance was estimated for three crops including wheat, barley and potatoes in the northwestern ecological zone of Iran for the period of 1999 to 2015 years. The basis of this approach is on the fact that the production function can be separated into two basic components. The first component is related to the average yield of the product, while the second component is related to variance and production-level fluctuations (Sarker *et al*, 2012). Climatic parameters simulations and hence the change in the average and the variance of crops yield carried out by using the results of two general circulation models of ECHAM3 and EGCM3T63 and two climatic scenarios, GA and B1.

**Results and discussion:** The results of climate change simulation of two scenarios B1 and GA showed that, up to two future decades (2040), the annual rainfall in the northwestern ecological zone was increased and until the year 2070 will decrease compared to the base historical period. Under the scenario B1 in the model EGCM3T63, the amount of annual precipitation is predicted incremental over both time intervals. The results of predictions for the temperature parameter also indicate that it tends to increase under both general circulation models and scenarios. The intensity of warming in the EGCM3T63 model is more predicted than the other model. The results of the crops yield simulation to the predicted climatic variations under different scenarios indicate a significant reduction in the yield of these products.

The yield reduction for wheat is estimated to be higher than barley and potato. Comparison of cultivars in the percentage of yield reduction in the scenarios also shows that in the range of predicted changes for climate parameters, increasing temperature is a more effective factor in explaining the reduction of yield performance relative to precipitation. The variance response of crops in relation to climate change for potato production under different scenarios and for wheat under scenario 2040-GA has been estimated incremental.

**Conclusion:** Regarding the reduction of yield of products under different scenarios of climate change, it is recommended to develop agronomic plans in order to shift the crop pattern towards varieties or products that have the least yield loss due to climate change. Further development and research in this field and the introduction of drought and heat resistant varieties can be one of the most effective ways in this regard.

**Keywords:** Climate change, Risk of yield, Agriculture, Northwest ecology zone.

### References:

- 
- 
- Just, R.E. and Pope, R.D., 1979. Production function estimation and related risk considerations. *American Journal of Agricultural Economics*. 61(2), 276-284.
- Koundouri, P. and Nauges, C., 2005. On production function estimation with selectivity and risk consideration. *Journal of Agriculture and Resource Economics*. 30(3), 597-608.
- Sarker, A.R., Alam, K. and Gow, J., 2012. A Comparison of the Effects of Climate Change on Aus, Aman and Boro Rice Yields in Bangladesh: Evidence from Panel Data. In presented at 41<sup>st</sup> Annual conference of economists, 8-12 July, Melburn, Australia.