

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیست و دوم، زمستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۰۷

تاریخ بازنگری اولیه مقاله: ۱۳۹۷/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۱۲

صفحات: ۴۰ - ۱۹

بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران

سروش کیانی قلعه سرد^۱، جواد شهرکی^{۲*}، احمد اکبری^۳، علی سردار شهرکی^۴

چکیده

تغییرات اقلیمی تولید کشاورزی و در پی آن عوامل وابسته به کشاورزی مانند امنیت غذایی و رفاه اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این مطالعه با تفکیک قائل شدن میان جنبه‌های مختلف تغییرات اقلیمی اثرات چهار فرض تغییر نرمال اقلیم، تغییر پذیری اقلیم، تغییر اقلیم، تغییر پذیری و تغییر توامان اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۴ بررسی گردید و با استفاده از اطلاعات هزینه‌ای و تولیدی سه محصول شاخص تامین کننده امنیت غذایی در ایران (گندم، برنج و سیب‌زمینی) و با بکارگیری روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP) به این امر پرداخته شد. نتایج این تحقیق حاکی از کاهش شدید درآمد کشاورزان و مازاد رفاه اقتصادی و همچنین افزایش قیمت محصولات تحت فروش چهارگانه بوده است. به ترتیب در چهار فرض مورد بررسی بطور متوسط درآمد کل ۴۳۹۷۹/۴، ۱۲۷۲۴۱/۹، ۱۵۷۹۶۰/۱ و ۲۷۲۳۶۷/۱ میلیون تومان کاهش، میانگین قیمت محصولات مورد بررسی به ترتیب ۳۳۲/۹۵، ۳۴۳/۷، ۵۶۵/۱۸ و ۱۱۶۰/۸۶ هزار تومان افزایش و مازاد رفاه اقتصادی کل به ترتیب ۹۲۷۸۸۴/۴، ۱۵۴۲۴۱۶، ۲۰۱۶۳۸۳ و ۲۳۵۶۷۵۴ میلیون تومان کاهش یافته است. کاهش عوارض ناشی از تغییر اقلیم می‌تواند با تغییر الگوی کشت، استفاده از روش‌های نوین آبیاری و بیابان زدایی صورت بپذیرد.

واژگان کلیدی: تغییر پذیری اقلیم، تغییر اقلیم، امنیت غذایی، ایران.

soroushkiani23@gmail.com

j.shahraki@eco.usb.ac.ir

akbari@eco.usb.ac.ir

a.shahraki65@gmail.com

^۱- دانشجوی دکتری، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

^۲- دانشیار گروه اقتصاد، دانشگاه سیستان و بلوچستان (نویسنده مسئول)

^۳- استاد گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

^۴- استادیار، گروه اقتصاد کشاورزی، دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

امروزه به مساله تغییرات اقلیمی به عنوان یک مساله مشترک جهانی نگریسته می‌شود. مشاهدات یکصد ساله اخیر نشان می‌دهد آب و هوای زمین تغییرات نسبتاً شدیدی را تجربه کرده است. مساله‌ای که می‌توان آن را در بالا رفتن دما، افزایش گازهای گل‌خانه‌ای و کاهش متوسط بارندگی دید (لی و همکاران^۱، ۲۰۱۸). در پنجمین گزارش مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی (IPCC^۲) نیز پیش‌بینی شده که تغییرات آب و هوایی مانند خشکسالی، سیل، طوفان و امواج شدید گرمایی به شکل شدیدتری ادامه خواهد یافت که این تغییرات تأثیر شدیدی بر روی شرایط طبیعی و انسانی در سراسر جهان خواهد گذاشت. انتظار می‌رود این رویدادهای شدید تأثیرات نامطلوبی در دسترسی به آب و تامین آن، زیرساخت‌های اقتصادی، امنیت غذایی و رفاه اقتصادی بویژه در مورد افراد آسیب‌پذیر جهان که اغلب در مناطق روستایی زندگی می‌کنند داشته باشد (IPCC, 2014). این اثرات را می‌توان به دو بخش تغییر اقلیم^۳ و تغییرپذیری اقلیم^۴ تفکیک کرد. اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم علاوه بر تأثیر مستقیم بر عوامل طبیعی، بصورت مستقیم و غیرمستقیم عوامل انسانی و اجتماعی را نیز تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. شاخص‌های آب و هوایی که در زمینه تغییرات اقلیمی در نظر گرفته می‌شوند عبارتند از: دما، بارش، رطوبت، و جهت و شدت باد (دووست و همکاران^۵، ۲۰۱۳). شاخص‌های محیط زیستی کلاسیکی چون روزهای آفتابی و یخبندان، آهک‌های صخره‌ای دریایی و شن‌های روان بیابان نیز در سال‌های اخیر به مجموعه شاخص‌های نمایانگر تغییرات اقلیمی اضافه شده است (زالاسویچ و ویلیامز^۶، ۲۰۱۶). ویژگی‌های اصلی تغییرات اقلیمی عبارت است از: افزایش متوسط دمای جهانی (گرم شدن کره زمین)، تغییرات در پوشش ابر و بارندگی، ذوب شدن کلاهک‌های یخی و یخچال‌های طبیعی و کاهش پوشش برف و افزایش درجه حرارت اقیانوس‌ها و اسیدیته اقیانوس‌ها به دلیل جذب گرما توسط آب دریاها و دی-اکسیدکربن از جو (مهل و همکاران^۷، ۲۰۰۷).

سازمان جهانی هواشناسی تغییرپذیری اقلیم را به عنوان "تغییرات در وضعیت متوسط آماره‌های آب و هوایی در تمام مقیاس‌های زمانی و فضایی" تعریف کرده است. به عبارت دیگر تفاوت آماره‌های آب و هوایی در مقایسه با میانگین آن است. تغییرپذیری اقلیم می‌تواند شامل نوسانات در الگوهای بارندگی، دما و سایر متغیرهای اقلیمی باشد (ولر و ون بارون^۸، ۲۰۱۳). در واقع تفاوت تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم در این است که تغییر اقلیم تغییر بلندمدت و پدیده است و تغییرپذیری یا نوسانات اقلیمی به انحرافی از میانگین بلندمدت عناصر اقلیمی اطلاق می‌گردد.

از آنجا که تغییرپذیری اقلیم بر تامین محصولات غذایی تأثیر می‌گذارد، از طریق آنچه که معمولاً "تغییرات قیمت مواد غذایی ناشی از آب و هوا" نامیده می‌شود، بر امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد. با این حال تأثیر تغییرات قیمت

¹ Li et al.

² Intergovernmental Panel on Climate Change

³ Climate change

⁴ Climate variability

⁵ Dowssett et al.

⁶ Zalasiewicz and Williams

⁷ Meehl et al.

⁸ Wheeler and von Braun

مواد غذایی بر سلامت مواد غذایی منفی نیست. قیمت مواد غذایی بالاتر می‌تواند تهدیدی برای امنیت غذایی باشد چرا که بسیاری از خانوارهای مزرعه، خریداران مواد غذایی هستند (وسن و همکاران^۱، ۲۰۱۷). تغییرپذیری اقلیم ممکن است بر قیمت‌های نهاده و ستانده تأثیر بگذارد، زیرا ممکن است بین تغییرات اقلیمی و قیمت‌های محلی رابطه مستقیم وجود داشته باشد. این تغییرات در آب و هوا مطمئناً محصول را تحت تأثیر قرار می‌دهد. علاوه بر این حتی بدون تغییرات بهره‌وری، تغییرات قیمت با تغییر قدرت خرید بر امنیت غذایی خانوارها تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، تأثیر تغییرپذیری اقلیمی نه تنها از طریق مسیرهای تولید بلکه از طریق تغییرات قیمت نسبی منتقل می‌شود.

خطر کاهش امنیت غذایی از تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های عمده قرن بیست و یکم است. تأثیرات تغییرات اقلیمی بر عملکرد محصول در آماره‌های مختلف قابل مشاهده است (لوبل و همکاران^۲، ۲۰۱۱). تغییرات آب و هوایی عمدتاً از طریق دو بعد بر مصرف مواد غذایی تأثیر می‌گذارد: ۱- ایمنی غذا از طریق زنجیره عرضه و ۲- تأثیر بر سلامت مواد غذایی (کامپبل^۳، ۲۰۱۶) میزان رشد میکروبی در دمای بالا به ویژه در میوه و سبزیجات تازه افزایش می‌یابد و بیماری‌های زیادی بویژه کودکان و سالخوردگان را تهدید می‌کند (لیو و همکاران^۴، ۲۰۱۳).

تغییرپذیری و تغییر اقلیم به دو شکل بر امنیت غذایی تأثیر می‌گذارد: تغییرات در بهره‌وری کشاورزی و تغییرات در اقتصاد جامعه (اکوسوسیال^۵) که به کاهش قدرت خرید مردم و یا «حق الزحمه غذا» منجر می‌گردد. مشاهده می‌شود که گرمایش جهانی احتمالاً طول و بهره‌وری فصل‌های رشد را در عرض‌های بالاتر افزایش می‌دهد اما شرایط رو به رشد در عرض‌های پایین را به شدت کاهش می‌دهد. به عنوان مثال، یک مطالعه حدود ۲۵٪ رشد در عملکرد سیب زمینی در اسکاتلند بین سال‌های ۱۹۶۰ و ۲۰۰۷ را به افزایش دمای این ناحیه نسبت داده است. با این حال، کیفیت خاک در عرض‌های بالا، مانند مناطق کانادایی، برای محصولات کشاورزی نامناسب است و بعید است که این تغییرات در سایر مکان‌ها به طور کامل جبران شود (بوتلر و مک فارلن^۶، ۲۰۱۸). از سوی دیگر تغییرات اقلیمی می‌تواند به سرعت چهار ستون اصلی امنیت غذایی را تحت تأثیر خود قرار دهد: غذای سالم، غذای در دسترس، غذای قابل استفاده و غذای پایدار. تولید مواد غذایی می‌تواند تحت تأثیر این تغییرات با افزایش قیمت مواجه شده و در نتیجه غذا تبدیل به کالایی کمیاب گردد (ویلر و ون برون^۷، ۲۰۱۳). تأثیر تغییر اقلیم بر سود کشاورزی و امنیت غذایی بستگی به مقیاس تغییر اقلیم و اثرات آن بر کشاورزی دارد (جیانگ و گرفتون^۸، ۲۰۱۲). علاوه بر این ثبات عرضه مواد غذایی می‌تواند از طریق تغییرات در میزان بارش ناشی از تغییر اقلیم تحت تأثیر قرار گرفته و در واقع تغییر اقلیم با افزایش شیوع و شدت خشکسالی و یا سیل، دسترسی به مواد غذایی و همچنین قیمت مواد غذایی را تحت

¹ Wossen et al.

² Lobell et al.

³ Campbell et al.

⁴ Liu et al.

⁵ Ecosocial

⁶ Butler and McFarlane

⁷ Wheeler and von Braun

⁸ Jiang and Grafton

تاثیر خود قرار دهد. به عنوان مثال در منطقه کارائیب تغییر اقلیم به این شکل منجر به افزایش چالش امنیت غذایی شده است (گوهر و گاشمن، ۲۰۱۶).

تغییرات آب و هوایی جهانی طی چند دهه اخیر در ایران به شکل محسوسی در افزایش دما و کاهش بارندگی قابل مشاهده است. باتوجه به اقلیم نیمه خشک ایران و همچنین رایج بودن کشاورزی سنتی در این کشور اثرپذیری این اقلیم و بخش کشاورزی از این تغییرات بسیار قابل توجه است.

گندم، برنج و سیبزمینی از محصولات عمده مورد کشت در ایران محسوب می‌گردند. در سال زراعی ۱۳۹۴-۱۳۹۵ سطح زیرکشت گندم در ایران ۵۹۲۸۷۲۸ هکتار و میزان تولید آن ۱۴۵۹۲۰۰۳ تن بوده است. همچنین سطح زیرکشت و تولید برنج (شلتوک) به ترتیب ۵۹۶۰۳۵ هکتار و ۲۹۲۱۰۴۶ تن بوده است. سیب زمینی نیز سطح زیرکشت ۱۵۹۰۶۱ هکتار، ۴۹۹۵۳۲۷ تن تولید داشته است (آمارنامه کشاورزی، ۱۳۹۵). طبق آخرین آمار وزارت بهداشت نان، برنج و سیبزمینی کالاهای مهم امنیت غذایی در سبد مصرفی ایرانیان محسوب می‌گردند (گزارش وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، ۱۳۹۵). بی‌گمان اثرات تغییرات مختلف اقلیمی بر این محصولات، میزان تولید، قیمت، درآمد و به تبع آن امنیت غذایی ناشی از این محصول را تحت تاثیر خود قرار می‌دهد. از این رو مطالعه پیش‌رو در پی پاسخ به این پرسش می‌باشد که میزان اثرپذیری امنیت غذایی از جنبه‌های مختلف تغییر اقلیم چگونه است؟ بی‌گمان شناخت میزان اثرگذاری تغییر اقلیم به تفکیک انواع آن در تولید محصولات اینچنینی که در امنیت غذایی دارای نقش مهمی هستند، جهت سیاست‌گذاری‌های کلان می‌تواند بسیار مفید و حائز اهمیت باشد.

بررسی ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که در ارتباط با بحث تغییر اقلیم و اثر آن بر بخش کشاورزی مطالعات گوناگونی مورد توجه بوده است. هر کدام از پژوهش‌ها جنبه خاصی از مبحث مورد نظر را مورد بررسی قرار داده‌اند. به طور مثال: ابراهیمی خوسفی و همکاران (۱۳۹۲)، در بررسی نقش تغییرات اقلیم بر کشاورزی و امنیت غذایی ضمن تاکید بر این نکته که اولین تاثیر تغییر اقلیم بصورت مستقیم یا غیرمستقیم موجب کمبود آب شده و این امر کاهش تولیدات کشاورزی و در نتیجه به مخاطره افتادن امنیت غذایی در سطح جهان را در پی خواهد داشت، تغییرات اقلیم را موثر بر دوره رشد آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز دانسته که این امر نیز به کاهش تولید محصولات کشاورزی و در نتیجه کاهش امنیت غذایی منجر خواهد گردید.

مومنی و زیبایی (۱۳۹۲) در بررسی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس با استفاده از مدل رگرسیونی نشان دادند که درجه حرارت و بارندگی اثری معنی‌دار و غیر یکنواخت بر عملکرد محصولات بر جای می‌گذارد و همچنین نتایج تطبیقی مطالعه آنان نشان داد که اثرات رفاهی تغییر اقلیم در بیشتر موارد مثبت بوده و اثرات آن بر تولیدکنندگان خیلی معنی‌دارتر از مصرف‌کنندگان بوده است. و اگر کاهش بارندگی با عدم تغییر درجه حرارت همراه باشد رفاه جامعه تا ۱/۵ درصد کاهش پیدا می‌کند، اما رفاه در گرم‌ترین و مرطوب‌ترین سناریو تا ۱۳ درصد افزایش پیدا می‌کند.

امیرنژاد و اسدپور (۱۳۹۶) در بررسی آثار تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران با استفاده از الگوی خودرگرسیون با وقفه-های توزیعی نشان دادند که هم در کوتاه مدت و هم در بلندمدت متغیرهای اقلیمی به همراه سطح زیرکشت رابطه‌ای مثبت و معنادار با تولید گندم داشته و متغیرهای بذر و سرمایه ثابت در ماشین آلات معنی دار نشده‌اند.

اداوی و تدین (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر تولید سیب زمینی در منطقه فریدون شهر اصفهان پرداختند. نتایج این پژوهش نشان داد که عملکرد غده سیب زمینی تحت تاثیر تغییر اقلیم در آینده کاهش خواهد یافت که این کاهش در سناریوی a2 بیشتر از دو سناریوی دیگر بوده است.

احمد و همکاران^۱ (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای با عنوان تغییر اقلیم و آسیب پذیری فقر در تانزانیا اذعان داشتند که تغییر اقلیم می تواند با توجه به پیامدهای مهمی که برای بهره وری کشاورزی دارد صدمات زیادی به هر اقتصادی وارد کند. در تانزانیا، که در آن تولید مواد غذایی و قیمت حساس به آب و هوا است تغییرات اقلیم می‌تواند پیامدهای شدید برای فقر داشته باشد. آن‌ها در این مطالعه با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی اقلیم، مدل آماری و شبیه‌سازی اقتصاد تعادل عمومی به بررسی آسیب‌پذیری مردم تانزانیا از فقر ناشی از تغییر اقلیم پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داده است که تغییرات و بی‌ثباتی اقلیم در گسترش فقر در تانزانیا بسیار موثر بوده است.

ویلیر و ون‌برون^۲ (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای با عنوان تأثیرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی جهانی به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی پرداختند. مطابق این تحقیق با توجه به شرایط تغییر اقلیمی و جهت کاهش آسیب‌های آن نیاز به طراحی یک «سیستم غذای هوشمند اقلیمی» بیش از همیشه احساس می‌گردد.

گوهر و کاشمن^۳ (۲۰۱۶) در بررسی اثرات تغییرات اقلیمی با استفاده از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به این نتیجه دست یافتند که تغییرات اقلیمی و قرار گرفتن در معرض این تغییرات در منابع آب آینده و امنیت غذایی تاثیر منفی دارد. و منجر به افزایش قیمت مواد غذایی خواهد شد. با این حال، برخی از شرایط آب و هوایی را فرصتی برای برخی از تولید کنندگان مواد غذایی دانستند که به برنامه‌های فناورانه پاسخ مثبت دهند تا نتایج و عوارض این شرایط را بهبود بخشند. محققان در پایان راه غلبه بر شرایط تغییر اقلیمی را پیاده سازی و اجرای سیاست‌های اقتصادی و کارآمد مبتنی بر پایداری می‌دانند که این تغییرات بالقوه اقلیمی را در خود لحاظ کرده‌اند.

گویلر و همکاران^۴ (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای با عنوان امنیت غذایی و تغییرات اقلیمی به بررسی تولید ذرت در مکزیک پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرات آب و هوایی می‌تواند نه تنها تولیدات کشاورزی بلکه همچنین توزیع فضایی استفاده از زمین را تغییر دهد. همبستگی خطی ($r = 0.45$) بین میانگین بارندگی سالانه و تولید ذرت در فصل بهار در دوره ۱۹۸۰-۲۰۱۲ وجود دارد. این همبستگی در طول سالهای ۲۰۰۵-۲۰۱۲ قوی‌تر بوده است ($r = 0.91$).

¹ Ahmed et al.

² Wheeler and von Braun

³ Gohar and Cashman

⁴ Guillermo et al.

همانگونه که در این مطالعات مشاهده می‌شود تفکیکی میان اثر تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم وجود ندارد و تنها آثار تغییر اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی سنجیده شده است این در حالی است که این دو با یکدیگر متفاوت بوده و اثرات متفاوتی خواهند داشت. به علاوه در این مطالعه تلاش شده است علاوه بر سنجش مجزای هر یک از این دو تغییر بر رفاه اقتصادی و امنیت غذایی، اثر تغییرات نرمال اقلیم و همچنین اثرات تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم به صورت همزمان و توأمان نیز سنجیده شود. از سوی دیگر در مطالعات فوق از روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت استفاده نگردیده است که در این مطالعه از این روش جهت ارزیابی اثرات استفاده گردیده است.

داده‌ها و روش‌ها

در این تحقیق از تکنیک برنامه‌ریزی ریاضی مثبت برای مدلسازی استفاده گردید. که در ادامه مختصراً تشریح می‌گردد:

برنامه‌ریزی ریاضی مثبت

روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت (PMP)^۱ که برای نخستین بار توسط هاویت مطرح گردید به عنوان رایج‌ترین روش کاربردی برای کالیبراسیون یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی طی سه مرحله انجام می‌گردد:

۱. تصریح مدل برنامه‌ریزی خطی با در نظر گرفتن محدودیت‌های کالیبراسیون

۲. کاربرد مقادیر دوگان مدل مرحله اول جهت تعیین پارامترهای تابع هدف غیرخطی.

۳. کاربرد تابع هدف کالیبره شده در قالب یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی به منظور تحلیل سیاست‌ها.

در مرحله اول محدودیت‌های کالیبراسیون به مجموعه محدودیت‌های منابع یک مدل برنامه‌ریزی خطی اضافه می‌شوند. این محدودیت‌ها سطح فعالیت‌ها را به سطوح مشاهده شده دوره پایه مقید می‌کنند. با فرض حداکثرسازی بازده برنامه‌ای، مدل اولیه به صورت زیر تصریح می‌گردد:

$$\text{Maximize } Z = p'x - c'x \quad (۱)$$

$$\text{Subject to : } AX \leq b [\lambda] \quad (۲)$$

$$x \leq x_0 + \varepsilon \quad [\rho] \quad (۳)$$

$$x \geq 0 \quad (۴)$$

که در آن:

^۱ Positive Mathematical Programming

$Z =$ ارزش تابع هدف، $P =$ بردار $(n \times 1)$ قیمت‌های محصول، $X =$ بردار $(n \times 1)$ غیرمنفی از سطوح فعالیت‌های تولیدی، $C =$ بردار $(n \times 1)$ از هزینه هر واحد فعالیت، $A =$ ماتریس $(m \times n)$ ضرایب فنی در محدودیت‌های منابع، $b =$ بردار $(m \times 1)$ مقادیر منابع در دسترس، $X_0 =$ بردار $(n \times 1)$ غیرمنفی از سطوح مشاهده شده فعالیت‌های تولیدی، $\varepsilon =$ بردار $(n \times 1)$ از اعداد مثبت کوچک برای جلوگیری از وابستگی خطی بین محدودیت‌های ساختاری و محدودیت‌های کالیبراسیون.

$\lambda =$ بردار $(m \times 1)$ از متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های منابع $\rho =$ بردار $(n \times 1)$ از متغیرهای دوگان مربوط به محدودیت‌های کالیبراسیون

تفاوت مدل فوق با مدل برنامه‌ریزی خطی این است که در این مدل محدودیت‌های کالیبراسیون به مدل اضافه شده‌اند (بخشی و همکاران، ۱۳۹۰).

با حل مدل فوق، مقادیر دوگان مربوط به محدودیت‌های مذکور که بیانگر قیمت سایه‌ای محصولات تولید شده می‌باشند، محاسبه می‌شوند. هاویت، پاریس و هاویت، و هکلی بردار مقادیر دوگان ρ مرتبط با محدودیت‌های کالیبراسیون را به عنوان نماینده‌ای از هر نوع خطای تصریح مدل، خطای داده‌ها، خطای همجمعی سازی، رفتار ریسکی و انتظارات قیمتی تفسیر کرده‌اند. در کالیبراسیون یک تابع عملکرد غیرخطی کاهشی، بردار دوگان ρ بیانگر ارزش تولید نهایی و متوسط می‌باشد. علاوه بر آن در کالیبراسیون یک تابع هزینه غیرخطی صعودی، بردار دوگان ρ به عنوان بردار هزینه نهایی تفاضلی تفسیر شده که همراه با بردار (c) هزینه نهایی و واقعی تولید فعالیت مشاهده شده X_0 را معلوم می‌کند. در مرحله دوم، مقادیر دوگان به دست آمده از مرحله اول برای تخمین پارامترهای تابع هدف غیرخطی مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر در این مرحله مقادیر دوگان برای کالیبره کردن پارامترهای تابع هدف غیرخطی بکار می‌روند. در این حالت سطوح فعالیت مشاهده شده در دوره پایه توسط مدل غیرخطی مذکور و بدون محدودیت‌های کالیبراسیون بازتولید می‌شود.

در مرحله سوم روش برنامه‌ریزی ریاضی مثبت تابع هزینه غیرخطی برآورد شده در مرحله قبل در تابع هدف مسأله مورد بررسی قرار داده شده و در یک مسأله برنامه‌ریزی غیرخطی شبیه به مسأله اولیه به استثناء محدودیت‌های کالیبراسیون ولی همراه با سایر محدودیت‌های سیستمی مورد استفاده قرار می‌گیرد (بخشی و همکاران، ۱۳۹۰):

$$\text{Maximize } Z = p'x - d'x - x'Qx/2 \quad (5)$$

$$\text{Subject to : } AX \leq b \quad [\gamma] \quad (6)$$

$$x \geq 0 \quad (7)$$

در اینجا بردار d' و ماتریس Q پارامترهای کالیبره شده تابع هدف غیرخطی را نشان می‌دهند. اکنون مدل غیرخطی کالیبره شده فوق به طور صحیح سطوح فعالیت‌های مشاهده شده در وضعیت پایه و مقادیر دوگان محدودیت‌های منابع را باز تولید می‌کند و جهت شبیه سازی تغییرات در پارامترهای مورد نظر آماده می‌باشد. مدل مرحله سوم در مقایسه با مدل مرحله اول فاقد محدودیت‌های کالیبراسیون بوده و تابع هدف آن نیز غیرخطی می‌باشد. روش

کالیبراسیون ذکرشده در مطالعات متعددی در سطح مزرعه، ناحیه و بخش و کشور در کشورهای توسعه یافته همانند آلمان، فنلاند و ایتالیا و همچنین کشورهای در حال توسعه همچون مصر، ترکیه و مراکش بکار گرفته شده است. چارچوبی که در این زمینه بسط داده خواهد شد تمایز قائل شدن میان تغییرپذیری اقلیم و تغییر اقلیم و بررسی همزمان این دو می‌باشد و بررسی اثرات آن بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی بصورت جداگانه است. تغییرپذیری اقلیم اشاره به نوسانات سالانه در حد بالا و پایین به معنای پارامترهای آب و هوایی مانند بارش در یک منطقه خاص است. در مقابل تغییر اقلیم به عنوان یک تغییر طولانی مدت تعریف شده است که منجر به ایجاد تغییرات طبیعی عمده می‌گردد (کاتز و براون^۱، ۱۹۹۲). در این پژوهش تاثیرات هر دو عامل تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

چارچوب پویای غیرخطی بهینه‌سازی شده در این زمینه به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی کل از فعالیت‌های کشاورزی تحت شرایط تغییرپذیری اقلیم، تغییر اقلیم و این دو با یکدیگر است. در این زمینه چهار فرض در نظر گرفته شده است: فرض تغییر نرمال اقلیم، فرض تغییرپذیری اقلیم، فرض تغییر اقلیم و فرض تغییرپذیری و تغییر اقلیم بصورت همزمان. در این راستا این فروض برای محصول سیب زمینی ایران طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۴ بررسی شده است. مزیت اصلی این چارچوب تجزیه و تحلیل این است که به بررسی تاثیر بالقوه فرضیه‌های اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی در یک ساختار واحد می‌پردازد. این هدف در مطالعه حاضر، با استفاده از نرم افزار GAMS دنبال گردید. همچنین در بخش هزینه‌ها و تولید محصول جهت محاسبه نیاز آبی از نرم افزار CROPWAT استفاده گردید.

مفروضات اقلیم

مفروضات اقلیم در این تحقیق باتوجه به تغییرپذیری و تغییر اقلیم در متوسط بارش سالانه بدست خواهد آمد. از این رو داده‌های بارش ماهانه برای مدت ۱۶ سال طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۳۹۴ جمع‌آوری شده و میانگین سالانه محاسبه گردید. با استفاده از تکنیک توزیع نرمال چهار فرضیه مختلف اقلیمی در نظر گرفته شد. متوسط بارش در هر واحد زمین (هکتار) از طریق معادله زیر برآورد خواهد شد:

$$Pr_{Iksct} = N \sim (\bar{P}_{ct}, S_c) \quad (۸)$$

که بطور متوسط در Pr_{Iksct} ، L بارش برای هر نوع زمین، k تکنولوژی آبیاری، c فروض اقلیم، s روند پارانه‌ها و دوره زمانی t یک تابع از میانگین بارش سالانه (\bar{P}_{ct}) تحت شرایط تغییرپذیری و تغییر اقلیم است. در واقع (\bar{P}_{ct}) برمی-

¹ Katz and Brown

گردد به متوسط بارش در هر هزارمترمکعب (CM) در هکتار و S_c به واریانس در بارش سالانه تحت فرضیات اقلیم اشاره دارد.

فرض اول: تغییر نرمال اقلیم است. که در آن هیچ تغییر یا تغییرپذیری در اقلیم در نظر گرفته نمی‌شود. و تنها میانگین بارش بطور معمول حدود یک میانگین با واریانس $0/05$ توزیع می‌شود. این فرض با سه فرض دیگر در مورد شرایط آب و هوایی مقایسه می‌شود.

فرض دوم: فرضیه تغییرپذیری اقلیم است که در آن تا ۳۰ درصد نسبت به میانگین بارندگی واریانس وجود دارد. فرض سوم: فرضیه تغییر اقلیم است، که در آن میانگین بارش نرمال (\bar{P}_{ct}) ممکن است تا ۵۰ درصد کاهش یابد. اما تغییرات شدیدی در میانگین کلی بارندگی وجود ندارد.

فرض چهارم: دو فرض دوم و سوم را توأم با خود دارد. به نحوی که کاهش متوسط بارندگی تا ۵۰ درصد و واریانس با میانگین تا ۳۰ درصد وجود .

کل حجم آب موجود از بارندگی عبارت است از مساحت کل منطقه به هکتار ضرب در مقدار بارندگی در آن منطقه در هر کدام از فروض آب و هوایی

$$RHS_{cst} = \sum_I \sum_K hectare_{lkst} \times Pr_{lkst} \quad (9)$$

عملکرد محصول و تولید

در شرایط سیل و یا بارندگی‌های شدید گیاهان از بین می‌روند و عملکرد محصولات به صفر می‌رشد. در چارچوب این تحقیق تابع عملکرد ($Yield_{akcst}$) به عنوان یک تابع درجه دوم از بارندگی (ET_{akcst}) است. عرض از مبدا و شیب $\alpha 1_{ak}$ و $\alpha 2_{ak}$ پارامترهای مشابه مورد استفاده جهت استخراج پارامترهای تبخیر و تعرق در معادله (۲) است. علاوه بر این تولیدکل (TP_{akcst}) از هر محصول برای هر تکنولوژی آبیاری از این طریق محاسبه می‌گردد:

$$Yield_{akcst} = \alpha 1_{ak} \times ET_{akcst} + \alpha 2_{ak} \times (ET_{akcst})^2 \quad (10)$$

$$TP_{akcst} = hectare_{akcst} \times Yield_{akcst} \quad (11)$$

اقتصادی

در چارچوب بهینه‌سازی، به بررسی تاثیر شرایط مختلف آب و هوایی بر رفاه اقتصادی حاصل از تولید محصولات کشاورزی پرداخته می‌شود. هر محصول با هزینه‌های تولید مختلف همراه است. فرض بر این است که کشاورزان بدنبال حداکثرسازی درآمد خالص خود با استفاده از منابع مختلف هستند در این صورت پیامدهای اقتصادی تحت تاثیر این تغییرات اقلیم رخ می‌دهد. یک کشاورز می‌تواند یک کاهش در درآمد را از کاهش در عملکرد خود تجربه کند. برای مصرف‌کنندگان مواد غذایی، افزایش تدریجی در قیمت محصولات اثر منفی در مصرف آن‌ها و کاهش مازاد

مصرف را در پی خواهد داشت. برای جبران این امر کشاورز می‌تواند اشکال بهتر و کارآمدتری از آبیاری را در به حداکثر رساندن آب در دسترس (مانند آبیاری قطره‌ای) استفاده کند. با این حال هزینه‌های این امر باید در نظر گرفته شود.

هزینه‌های تولید

تولید محصولات کشاورزی با انواع مختلف هزینه‌ها همراه است. در این پژوهش هزینه متوسط کل در هر هکتار از زمین‌های کشت شده به سه نوع هزینه دسته‌بندی شده و همانطور که در معادله (۱۲) نشان داده شده:

$$ATC_{akcst} = NWC_{akcst} + CC_{akcst} + PC_{akcst} \quad (12)$$

NWC_{akcst} هزینه‌های غیرآبی، CC_{akcst} هزینه‌های سرمایه‌گذاری سیستم آبیاری و PC_{akcst} مربوط به هزینه‌های انرژی پمپاژ است. هزینه‌های غیر آب تولید شامل اجاره زمین، آماده‌سازی زمین، کشت، کنترل علف‌های هرز، آفات و کنترل بیماری، برداشت، حمل و نقل و آبیاری است. هزینه‌های سرمایه‌گذاری سیستم آبیاری اشاره به هزینه‌های خرید، نصب و نگهداری سیستم‌های آبیاری قطره‌ای دارد. هزینه‌های انرژی پمپاژ در ارتباط با پمپاژ می‌باشد. هزینه‌های غیرآبی در هر واحد از زمین به ازای افزایش تولید محصولات افزایش خواهد یافت. بنابراین تابع هزینه غیرآبی را می‌توان بصورت افزایش تدریجی در هزینه نهایی زمین اضافه شده در تولید بیان کرد:

$$NWC_{akcst} = C0_{ak} + C1_{ak} \times \text{hectar}_{akcst} \quad (13)$$

که در آن $C0_{ak}$ هزینه‌های ثابت غیر آب اولین واحد زمین جهت تولید و $C1_{ak}$ نشان‌دهنده اثرنهایی زمین اضافی در متوسط تابع هزینه است.

میانگین هزینه نصب سیستم‌های آبیاری قطره‌ای (CC_{ads})، همان روند است در حالی که هزینه متوسط سالانه نصب یک سیستم آبیاری قطره‌ای بستگی به هزینه خرید (CCS)، نرخ بهره (r)، طول عمر (SL) و میزان یارانه پرداختی توسط دولت است. نرخ بهره در نظر گرفته شده ۱۰ درصد، طول عمر آبیاری قطره‌ای ۱۰ سال و دولت نیز ۵۰ درصد هزینه‌های بکارگیری این سیستم را پرداخت می‌نماید.

$$CC_{ads} = \left\{ \frac{CCS \times r}{1 - \left[\frac{1}{(1+r)^{SL}} \right]} \right\} \times (1 - \text{Subsidy}_s) \quad (14)$$

آبیاری قطره‌ای با افزایش هزینه‌ها مرتبط است. هزینه سرمایه برای نصب، هزینه انرژی پمپاژ و تعرفه آب شارژ شده که بصورت مترمکعب پمپ می‌شود. افزایش عمق پمپاژ هزینه‌های انرژی پمپاژ یک مترمکعب آب را بالا می‌برد. با

¹ Subsidy

فرض راندمان ثابت پمپاژ، معادله (۱۵) هزینه پمپاژ در هر هکتار و هر زمان (PC_{akcst}) برای محصولات تحت آبیاری را نشان می‌دهد. تاثیر فرض تغییرات اقلیم در هزینه پمپاژ، از ضرب هزینه متغیر پمپاژ (Kp_{akcst}) در تغییر عمق پمپاژ ($P.depth_{cst}$) بدست می‌آید.

$$PC_{akcst} = Kp_{akcst} \times P.depth_{cst} \quad (15)$$

درآمد کشاورزان

درآمدخالص در هر هکتار برابر است با عملکرد محصول ($Yield_{akcst}$) ضرب در قیمت محصول (P_{acst}) منهای هزینه‌های متوسط تولید (ATC_{akcst}) و هزینه‌های آب استفاده شده (WC_{adest}). در واقع مجموع درآمد خالص (TNB_{akcst}) برای هر محصول برابر با درآمد خالص در هر هکتار ضرب در کل سطح زیر کشت محصول است. تولید بیشتر محصولات مهم کشاورزی باید قیمت‌های بازار کاهش دهد و از این رو درآمد کشاورز می‌تواند کاهش یابد زیرا محصولات کشاورزی دارای کشتش پایین هستند. تغییر در قیمت محصولات به نیروهای بازار عرضه و تقاضا مرتبط است. برای فروض مختلف قیمت محصولات بصورت نامعین در نظر گرفته شده که توسط مدل حل شده است.

$$TNB_{akcst} = (P_{acst} \times Yield_{akcst} - ATC_{akcst}) \times hectare_{akcst} - WC_{adest} \quad (16)$$

ارزش فعلی ($PTNP_{cs}$) در نرخ تنزیل (r) از کل منافع خالص عبارت است از:

$$PTNP_{cs} = \sum_a \sum_k \sum_t \frac{TNB_{akcst}}{(1+r)^t} \quad (17)$$

مازاد مصرف کننده و امنیت غذایی

مازاد مصرف کننده بخش مهمی از عواقب ناشی از سیاست‌های غذایی بر رفاه اقتصادی است. بویژه هنگامی که این سیاست‌ها تاثیر مستقیم بر قیمت مواد غذایی دارند. در واقع مازاد مصرف کننده می‌تواند برای برآورد سود یا زیان اقتصادی بر روی مزایای مصرفی ناشی از تغییر قیمت در یک دوره زمانی خاص استفاده شود (فریرا و همکاران^۱، ۲۰۱۳). مازاد مصرف کننده را می‌توان در بررسی مشکلات مرتبط با در دسترس بودن منابع طبیعی مانند آب نیز استفاده نمود (بنزاف^۲، ۲۰۱۰). اندازه‌گیری تغییرات رفاه مصرف کننده مربوط به سیاست‌های آبیاری و یا فرض خشکسالی نیاز به اطلاعات در مورد کشتش قیمتی محصول و سطح تولید دارد. برای هر محصول رابطه استاندارد بین منحنی تقاضا و کشتش قیمتی تقاضا برای محاسبه مازاد مصرف کننده نیاز است. تابع معکوس تقاضا می‌تواند این گونه بیان گردد:

¹ Ferreira et al

² Banzhaf

$$P_{acst} = \theta 0_a + \theta 1_a \times \sum_k TP_{akcst} \quad (18)$$

مازاد مصرف کننده از طریق معادله (۱۹) محاسبه می‌گردد. قیمت واقعی با کاهش در دسترس بودن آب برای آبیاری که تحت فرضیات تغییرپذیری و تغییر اقلیم رخ می‌دهد افزایش خواهد یافت.

$$CS_{cs} = \sum_a \sum_t \frac{0.5 \times [(\theta 0_a - P_{acst}) \times \sum_k TP_{akcst}]}{(1+r)^t} \quad (19)$$

داده‌های تحقیق

بسط و بررسی این تحقیق نیازمند مجموعه متفاوتی از داده‌ها و اطلاعات می‌باشد از منابع مختلف است. که این امر نیازمند صرف زمان زیادی جهت یافتن منابع، تهیه و یکپارچه‌سازی داده‌ها بوده است. چارچوب داده‌های اقلیمی می‌تواند بصورت روزانه، هفتگی، ماهانه و یا سالانه و در مقیاس‌های مختلف مکانی مانند شهر، استان و یا کشور در نظر گرفته شود. در این مطالعه داده‌ها بصورت سالانه از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۴ و در گسترده کشوری بررسی گردید. داده‌های مربوط به بخش کشاورزی شامل آب مصرفی محصول، عملکرد محصول، هزینه‌های تولید، قیمت عمده فروشی، هزینه استحصال آب و سایر داده‌های زراعی مانند نیاز آبی محصول می‌باشد. که در این تحقیق از داده‌های آماری محصولات گندم، برنج و سیب‌زمینی به عنوان مهم‌ترین کالاهای موثر در تامین امنیت غذایی استفاده گردید که این داده‌ها از وزارت جهاد کشاورزی اخذ گردید. داده‌های اقلیمی مورد استفاده در این تحقیق نیز عبارتند از: میانگین بارندگی، متوسط حداکثر دما، متوسط حداقل دما، تعداد ساعات آفتابی، درصد رطوبت و سرعت وزش باد. که این اطلاعات نیز از سازمان آب و هواشناسی کشور دریافت گردید.

نتایج و بحث

پس از برآورد مدل‌های تحقیق و محاسبات صورت گرفته نتایج تحقیق به تفکیک سه بخش درآمد، قیمت و مازاد رفاه مصرف کننده ارائه می‌گردد.

کاهش در درآمد خالص

در جدول ذیل کاهش در درآمد تحت فرضیات چهارگانه طی ۱۶ سال آمده است.

جدول ۱: کاهش در درآمد کل کشاورزان (میلیون تومان)

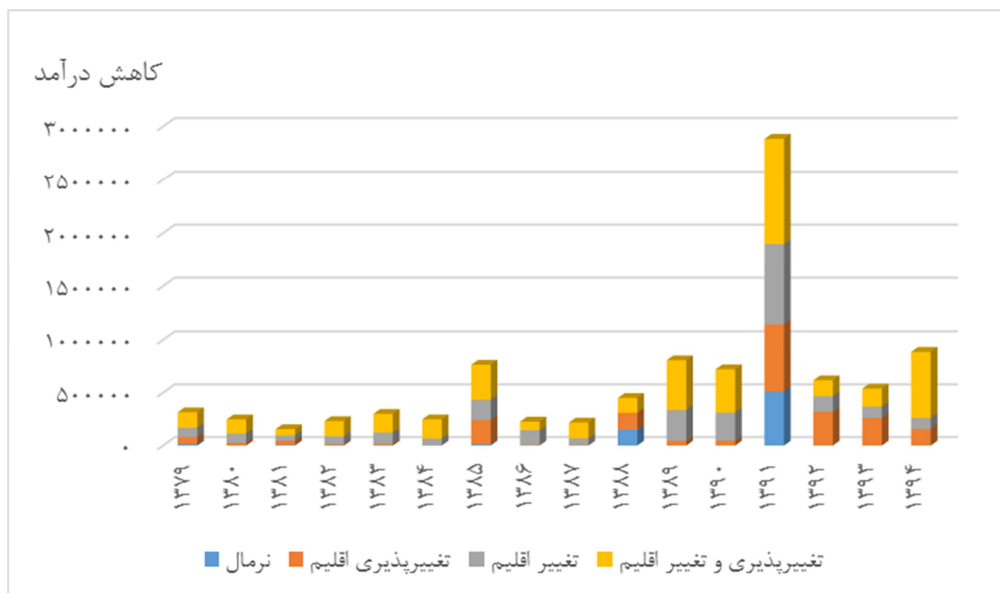
کاهش درآمد کل کشاورزان				سال
فرض ۴ (تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم بصورت توامان)	فرض ۳ (تغییر اقلیم)	فرض ۲ (تغییرپذیری اقلیم)	فرض ۱ (اقلیم نرمال)	
۱۴۴۱۹۷	۹۵۲۶۹/۲	۶۳۹۷۹	۱۴۸۶۴/۲	۱۳۷۹
۱۳۹۷۰۷/۷	۸۷۰۷۵/۷	۳۴۹۷۷/۴	۱۵/۲۸	۱۳۸۰
۶۶۶۹۲/۳	۴۹۶۳۱/۷	۳۷۹۴۴/۸	۶۹۷۹/۷	۱۳۸۱
۱۵۰۱۸۰/۹	۷۲۳۲۳/۳	۱۱۷۲۶/۶۷	۱۹۲۲/۰۲	۱۳۸۲
۱۸۲۵۶۱/۳	۱۰۴۹۳۸/۷	۱۳۸۶۲/۱	۲۲۴۳/۴	۱۳۸۳
۱۸۸۰۰۰/۷	۶۱۶۳۰/۵	۱۹۰۳/۴	۳۰۱/۰۶	۱۳۸۴
۳۲۴۴۸۵/۱	۱۸۷۷۱۱/۳	۲۳۴۵۸۹/۹	۱۲۲۹۵/۷	۱۳۸۵
۸۷۳۲۷/۱	۱۳۹۰۸۳/۶	۴۷۴۳/۶۳	۲۷۱/۱۲	۱۳۸۶
۱۵۵۷۵۷/۷	۶۳۱۴۰/۹	۳۹۵۳/۳۵	۶۳۷/۴	۱۳۸۷
۱۳۷۳۵۱	۳۱۵/۷۴	۱۶۱۹۴۰/۷	۱۵۱۸۲۴	۱۳۸۸
۴۶۱۳۱۵/۱	۲۹۵۴۴۳/۶	۴۴۶۰۶/۷	۲۵/۳۵	۱۳۸۹
۴۰۲۴۴۶/۱	۲۶۸۵۰۱/۶	۴۶۳۹۸	۵۲/۴۶	۱۳۹۰
۹۸۷۸۰۹	۷۵۲۳۲۱/۹	۶۳۳۴۵۶	۵۱۱۴۵۳/۵	۱۳۹۱
۱۴۸۰۴۳	۱۴۴۰۴۳/۳	۳۲۳۴۴۲	۲۵۷/۵	۱۳۹۲
۱۶۷۵۵۵	۱۰۵۰۱۸/۶	۴۶۴۸۷۸	۱۹۶/۲۶	۱۳۹۳
۶۱۴۵۳۵/۵	۱۰۰۹۱۲/۶	۱۶۳۴۶۹/۲	۳۳۱/۷	۱۳۹۴
۲۷۲۳۶۷/۱	۱۵۷۹۶۰/۱	۱۲۷۲۴۱/۹	۴۳۹۷۹/۴	میانگین

منبع: یافته‌های تحقیق

همانگونه که در جدول فوق مشاهده می‌گردد فرض ۴، فرض ۳، فرض ۲ و فرض ۱ به ترتیب بیشترین اثر را بر کاهش درآمد کشاورزان داشته‌اند. طبق فرض اقلیم نرمال در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۸۸، ۱۳۷۹، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۱ بیشترین کاهش در درآمد بخاطر تغییرات نرمال اقلیم ایجاد شده است. و طبق همین فرض سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۲ کمترین اثر را بر کاهش درآمد داشته‌اند. بطور متوسط تحت فرض تغییرات نرمال اقلیم طی ۱۶ سال درآمد کشاورزان ۴۳۹۷۹/۴ میلیون تومان کاهش داشته است.

بر اساس فرض تغییرپذیری اقلیم در سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۲، ۱۳۹۳، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۴ بیشترین کاهش در درآمد اتفاق افتاده است. همچنین بر اساس این فرض سال‌های ۱۳۸۴، ۱۳۸۷، ۱۳۸۶، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ کمترین اثر بر کاهش درآمد را ایجاد کرده‌اند. بر اساس این فرض میانگین کاهش درآمد ۱۶ ساله کشاورزان مبلغ ۱۲۷۲۴۱/۹ میلیون تومان بوده است. تحت فرض تغییر اقلیم که بطور متوسط طی ۱۶ سال ۱۵۷۹۶۰/۱ میلیون تومان کاهش درآمد برای کشاورزان ایجاد کرده است، سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰، ۱۳۸۵ و ۱۳۹۲ به ترتیب بیشترین کاهش در درآمد را ایجاد کرده‌اند و سال‌های ۱۳۸۸، ۱۳۸۱، ۱۳۸۴، ۱۳۸۷ و ۱۳۸۲ به ترتیب کمترین کاهش در درآمد را داشته‌اند.

در فرض وقوع همزمان تغییرپذیری و تغییر اقلیم سال‌های ۱۳۹۱، ۱۳۹۴، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۸۵ به ترتیب بیشترین کاهش و سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۶، ۱۳۸۸، ۱۳۸۰ و ۱۳۷۹ به ترتیب کمترین کاهش در درآمد کشاورزان را ایجاد کرده‌اند. همچنین بطور متوسط طی ۱۶ سال مورد بررسی این فرض ۲۷۲۳۶۷/۱ میلیون تومان کاهش در درآمد ایجاد کرده است. در ادامه روند کاهش درآمد تحت چهار فرض مورد بررسی به شرح نمودار ذیل ارائه می‌گردد.



شکل ۱: کاهش در درآمد کل کشاورزان

منبع: یافته‌های تحقیق

افزایش در قیمت

در جدول ذیل افزایش در قیمت تحت فرضیات چهارگانه طی ۱۶ سال ارائه شده است.

جدول ۲: افزایش در قیمت هر تن محصول (هزار تومان)

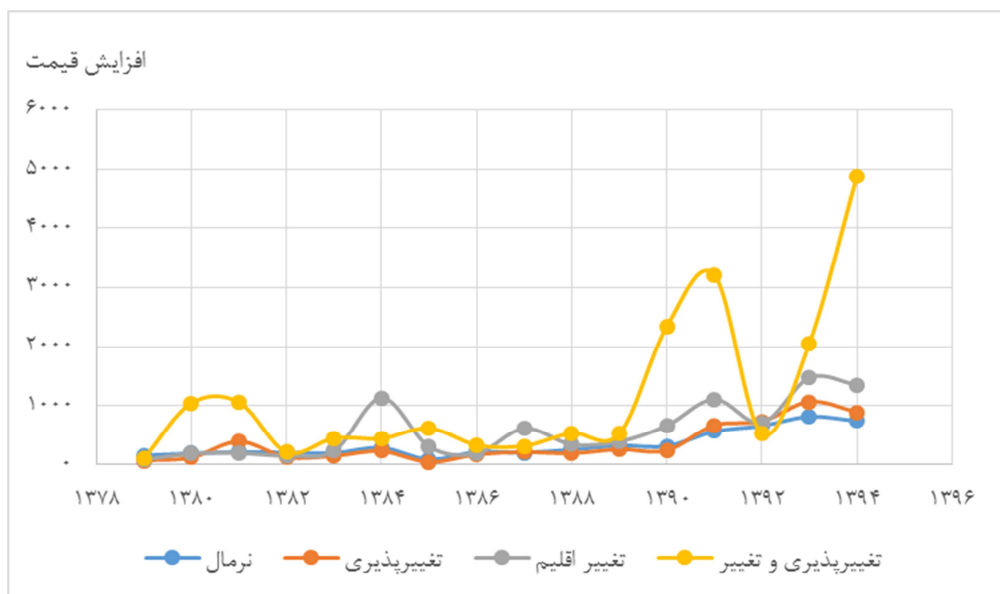
افزایش در قیمت هر تن محصولات				سال
فرض ۴ (تغییر اقلیم و تغییرپذیری اقلیم بصورت توامان)	فرض ۳ (تغییر اقلیم)	فرض ۲ (تغییرپذیری اقلیم)	فرض ۱ (اقلیم نرمال)	
۹۹/۲۲	۷۸/۶۲	۶۷/۷۱	۱۵۰/۲۸	۱۳۷۹
۱۰۳۸/۸۳	۱۸۰/۳۳	۱۱۶/۱۸	۱۸۲/۱۹	۱۳۸۰
۱۰۵۴/۴۹	۱۸۹/۶	۳۸۷/۱۴	۲۰۶/۶۶	۱۳۸۱
۲۰۶/۵	۱۴۸/۱	۱۲۱/۶۵	۱۹۹/۵۵	۱۳۸۲
۴۴۰/۹	۲۲۶/۳۶	۱۴۴/۲۲	۱۹۲/۷۵	۱۳۸۳
۴۲۸/۶۱	۱۱۲۵/۸۲	۲۲۴/۹	۲۷۹/۸	۱۳۸۴
۶۱۱/۶۳	۳۰۰/۱۷	۴۱/۷۲	۸۵/۴	۱۳۸۵
۳۲۵/۹۶	۱۸۲/۵۷	۱۶۸/۸۱	۲۰۶/۶۴	۱۳۸۶
۳۱۰/۹	۶۰۹/۰۶	۲۰۶/۴۷	۱۹۷/۷۲	۱۳۸۷
۵۲۶/۵۶	۳۳۶/۶	۱۸۸/۰۷	۲۴۷/۳۵	۱۳۸۸
۵۱۶/۱۵	۳۸۴/۲	۲۵۴/۲۸	۳۱۷/۳۴	۱۳۸۹
۲۳۳۷/۷	۶۵۶/۶۴	۲۳۸/۱۴	۳۰۸/۶۱	۱۳۹۰
۳۲۰۷/۳۶	۱۱۰۴/۹	۶۶۲/۳	۵۵۶/۱۶	۱۳۹۱
۵۱۷/۱۶	۷۰۰/۸	۷۲۷	۶۵۱/۹	۱۳۹۲
۲۰۶۰/۱۴	۱۴۶۹/۷۸	۱۰۶۴/۲۸	۸۱۰/۸۱	۱۳۹۳
۴۸۸۱/۶۷	۱۳۴۹/۳۴	۸۸۶/۳۱	۷۳۴/۰۵	۱۳۹۴
۱۱۶۰/۸۶	۵۶۵/۱۸	۳۴۳/۷	۳۳۲/۹۵	میانگین

منبع: یافته‌های تحقیق

در جدول فوق افزایش قیمت محصولات تحت فرضیات چهارگانه بررسی شده است. همانگونه که مشاهده می‌گردد طی ۱۶ سال مورد بررسی فرض ۴، فرض ۳، فرض ۲ و فرض ۱ به ترتیب بیشترین اثر را بر افزایش میانگین قیمت سه محصول مورد بررسی داشته‌اند. در شرایط تغییر نرمال اقلیم، سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۸۹ به ترتیب بیشترین افزایش در قیمت و سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۳ و ۱۳۸۷ کمترین افزایش در قیمت را تجربه کرده‌اند. همچنین بصورت میانگین ۳۳۲/۹۵ هزار تومان طی ۱۶ سال مورد بررسی افزایش در قیمت هر تن محصول وجود داشته است.

اما در شرایط تغییرپذیری اقلیم در سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۸۱ به ترتیب شاهد بیشترین افزایش در قیمت سه محصول و در سال‌های ۱۳۸۵، ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ به ترتیب کمترین افزایش در قیمت

محصولات رخ داده است. بطور متوسط در این ۱۶ سال ۳۴۳/۷ هزار تومان تحت فرض تغییرپذیری اقلیم افزایش در قیمت رخ داده است. ولی در شرایط تغییر اقلیم طی ۱۶ سال مورد بررسی ۵۶۵/۱۸ هزار تومان افزایش در قیمت اتفاق افتاده است. تحت این فرض در سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۸۴، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب بیشترین افزایش در قیمت و در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۲، ۱۳۸۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۱ به ترتیب کمترین افزایش در قیمت وجود داشته است. فرض تغییرپذیری و تغییر توامان اقلیم نیز طی ۱۶ سال بطور متوسط ۱۱۶۰/۸۶ هزار تومان افزایش در میانگین قیمت هر تن از این محصولات ایجاد کرده است. در شرایط این فرض سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۱، ۱۳۹۰، ۱۳۹۳ و ۱۳۸۱ به ترتیب بیشترین افزایش در قیمت هر تن و سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۲، ۱۳۸۷، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۴ به ترتیب کمترین افزایش در قیمت هر تن ایجاد شده است. روند این چهار فرض طی ۱۶ سال مورد بررسی بر افزایش قیمت محصول در نمودار شماره ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۲: روند افزایش در قیمت به ازای تن در هکتار

منبع: یافته‌های تحقیق

کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده

در جدول ذیل کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده تحت فرضیات چهارگانه طی ۱۶ سال آمده است.

جدول ۳: کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده (میلیون تومان)

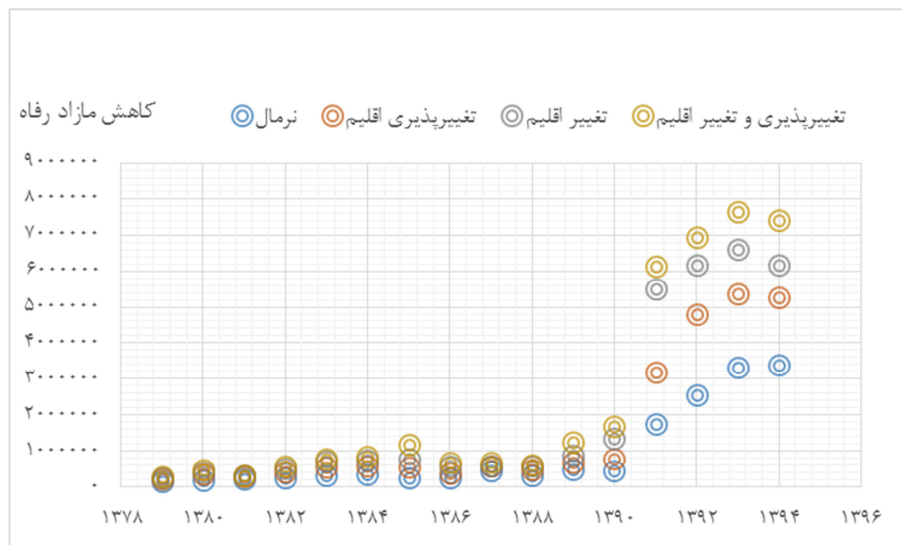
کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده (میلیون تومان)				سال
فرض ۴ (تغییر اقلیم و تغییر پذیری اقلیم بصورت توامان)	فرض ۳ (تغییر اقلیم)	فرض ۲ (تغییر پذیری اقلیم)	فرض ۱ (اقلیم نرمال)	
۲۹۷۵۳۶/۷	۲۶۴۱۷۶/۹	۲۴۲۸۴۲/۷	۱۷۴۲۲۴/۳	۱۳۷۹
۴۹۹۵۷۵/۱	۴۳۷۸۷۱/۷	۳۴۹۶۴۵/۹	۱۸۰۵۰۳/۴	۱۳۸۰
۳۲۸۸۶۰/۷	۳۱۰۹۰۹/۶	۲۹۹۸۶۴/۷	۲۲۲۸۸۲/۷	۱۳۸۱
۵۹۰۲۵۴/۱	۵۳۲۱۲۱/۹	۴۳۳۴۳۵/۳	۲۵۲۷۰۰/۲	۱۳۸۲
۷۹۷۸۰۱/۶	۷۲۲۰۷۷/۶	۵۶۲۸۰۳/۹	۳۲۸۲۷۴	۱۳۸۳
۸۴۴۵۹۴/۳	۷۵۱۰۰۸/۹	۶۰۳۰۹۱/۳	۳۵۱۸۵۹/۶	۱۳۸۴
۱۲۰۴۹۲۹	۸۰۵۶۱۹/۶	۵۵۳۹۷۸/۳	۲۶۹۵۰۶/۸	۱۳۸۵
۶۹۳۶۹۴/۳	۵۷۸۳۱۴/۷	۳۹۹۵۵۹/۶	۲۴۳۹۴۹/۵	۱۳۸۶
۷۰۵۶۰۵/۵	۵۸۴۶۴۴/۸	۵۹۰۷۳۹/۹	۴۷۲۴۲۷/۵	۱۳۸۷
۶۳۰۹۲۵/۴	۵۷۹۳۲۷/۲	۵۰۸۰۳۱/۳	۳۲۵۳۲۳/۸	۱۳۸۸
۱۲۶۱۰۷۸	۸۹۸۷۰۸/۷	۷۰۶۷۷۰/۴	۴۹۱۶۷۱/۶	۱۳۸۹
۱۷۰۹۳۱۶	۱۳۵۱۱۲۸	۷۸۴۶۵۴/۳	۴۷۲۵۳۲	۱۳۹۰
۶۱۲۹۰۷۰	۵۴۹۶۸۸۸	۳۱۸۵۲۸۱	۱۷۷۳۸۰۶	۱۳۹۱
۶۹۴۸۹۹۳	۶۱۷۱۳۱۷	۴۸۰۰۰۴۱	۲۵۵۱۸۵۳	۱۳۹۲
۷۶۵۱۳۴۹	۶۵۹۸۱۹۹	۵۳۸۰۸۶۸	۳۳۲۹۰۶۹	۱۳۹۳
۷۴۱۴۱۱۵	۶۱۷۹۸۱۴	۵۲۷۷۰۵۲	۳۴۰۵۵۶۷	۱۳۹۴
۲۳۵۶۷۵۴	۲۰۱۶۳۸۳	۱۵۴۲۴۱۶	۹۲۷۸۸۴/۴	میانگین

منبع: یافته‌های تحقیق

مطابق جدول فوق طی ۱۶ سال مورد بررسی به مانند دو جدول قبل فرض ۴، فرض ۳، فرض ۲ و فرض ۱ به ترتیب بیشترین تاثیر را بر کاهش مازاد رفاه مصرف کننده داشته‌اند. بر این اساس تحت فرض تغییر نرمال اقلیم در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۹۴، ۱۳۹۳، ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۸۹ به ترتیب بیشترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده و سال‌های ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲ به ترتیب کمترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده را شاهد بوده‌ایم. همچنین بطور متوسط ۹۲۷۸۸۴/۴ میلیون تومان طی ۱۶ سال کاهش مازاد رفاه مصرف کننده تحت این فرض ایجاد شده است. در شرایط تغییر پذیری اقلیم سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۰ به ترتیب بیشترین کاهش در مازاد رفاه

مصرف کننده و سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۱، ۱۳۸۰، ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲ به ترتیب کمترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده را داشته‌اند. طی ۱۶ سال متوسط کاهش مازاد رفاه مصرف کننده تحت این فرض ۱۵۴۲۴۱۶ میلیون تومان بوده است.

در فرض تغییر اقلیم سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۰ به ترتیب بیشترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده و سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۱، ۱۳۸۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۶ کمترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده را داشته‌اند. همچنین متوسط ۱۶ سال مورد بررسی در زمینه کاهش مازاد رفاه مصرف کننده ۲۰۱۶۳۸۳ میلیون تومان بوده است. در فرض تغییرپذیری و تغییر توامان اقلیم سال‌های ۱۳۹۳، ۱۳۹۴، ۱۳۹۲، ۱۳۹۱ و ۱۳۹۰ به ترتیب بیشترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده و سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۱، ۱۳۸۰، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۸ به ترتیب کمترین کاهش در مازاد رفاه مصرف کننده را داشته‌اند. متوسط ۱۶ سال مورد بررسی نیز ۲۳۵۶۷۵۴ میلیون تومان بوده است. که نشان دهنده کاهش متوسط ۲۳۵۶۷۵۴ میلیون تومانی در مازاد رفاه مصرف کنندگان تحت فرض چهارم است. روند این کاهش در نمودار شماره ۳ آمده است.



شکل ۳: روند کاهش مازاد رفاه مصرف کننده

منبع: یافته‌های تحقیق

نتیجه‌گیری

شرایط مختلف آب و هوایی اثرات طبیعی و در پی آن غیرطبیعی بسیاری برجای می‌گذارد. بخش کشاورزی بدلیل وابستگی شدیدی که به پدیده‌های اقلیمی و طبیعی دارد از این تغییرات تاثیر بسیاری می‌پذیرد. در پی این تاثیرپذیری تولید و دنبال آن درآمد، قیمت و مازاد رفاه اقتصادی با تغییرات شدیدی مواجه می‌شود. تغییرات اقلیمی تنها به معنای تغییر اقلیم نبوده و تغییرنرمال اقلیم و تغییرپذیری اقلیم را نیز شامل می‌شود. از این رو هرکدام از این

تغییرات خود تاثیر متفاوتی بر شرایط انسانی و طبیعی خواهد داشت. در این مطالعه برخلاف مطالعات سابق داخلی اثر تغییرات اقلیمی بصورت مجزا و تفکیک شده مورد بررسی قرار گرفته و هر کدام از جنبه‌های گوناگون این تغییرات بر امنیت غذایی مورد سنجش قرار گرفته است. به عبارت دیگر در تحقیقات قبلی بین تاثیرات نسبی تغییرپذیری اقلیم، تغییرات اقلیمی و تاثیر ترکیب این دو تفاوت چندانی دیده نشده است در حالی که در این تحقیق با چهار فرض متفاوت ارزیابی اثرگذاری انجام گرفته است. از این رو در این پژوهش، با یکپارچه سازی داده‌های آب و هوایی و اطلاعات هزینه‌ای و تولیدی کشاورزی، در یک چارچوب غیر خطی پویا به منظور سنجش اثر بر امنیت غذایی تحت چهار فرض آب و هوایی توسعه داده شده و در مورد ایران و محصولات شاخصی در امنیت غذایی (گندم، برنج و سیب‌زمینی) بکار گرفته شده است.

از نتایج حاصل از این پژوهش چندین نتیجه می‌توان گرفته شود. در زمینه اثرات تغییرات اقلیمی بر کاهش درآمد، افزایش قیمت و کاهش رفاه فروض مختلف تغییرنرمال اقلیم، تغییرپذیری اقلیم، تغییر اقلیم و تغییرپذیری و تغییر توامان اقلیم، نتایج نشان می‌دهد که هر سه این موارد از تغییرات مذکور اثرات زیادی دیده است. که عامل اصلی آن کاهش تولید بوده است. از این رو کاهش این اثرات منفی نیازمند اتخاذ روش‌ها و سیاست‌هایی است که مبتنی بر کاهش تاثیرگذاری تغییرات اقلیم بر تولید باشد. نخستین اقدام می‌تواند تغییر الگوی آبیاری و حرکت از کشت دیم به کشت آبی باشد. در واقع اقداماتی مانند آبیاری قطره‌ای و تحت فشار می‌تواند به بهبود وضعیت مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان مواد غذایی با اتخاذ فن-آوری‌های نوین آبیاری می‌تواند علاوه بر عدم تاثیرپذیری شدید از تغییرات اقلیمی، محصول بیشتری تولید کرده و در نتیجه هم خود درآمد بالاتری کسب کنند و هم مصرف‌کنندگان به مواد غذایی بیشتری در بازار دسترسی پیدا کنند. این امر نیازمند حمایت بیشتر دولت از کشاورزان چه از لحاظ امکان مالی فراهم سازی این بسترها و چه از لحاظ بیمه محصولات می‌باشد. تغییر روش‌های کشت و همچنین الگوی کشت و حرکت به سمت روش‌های مدرن آبیاری و محصولات با نیاز آبی کمتر نیز می‌تواند در کاهش عوارض تغییرات اقلیمی موثر باشد. از سوی دیگر مقابله و کاهش عوارض و اثرات تغییر اقلیم نیازمند تدابیر علمی و عملی هم‌چون بیابان‌زدایی و جایگزینی منابع تجدیدپذیر بجای منابع فسیلی در تولید انرژی است. بی‌گمان جلوگیری از افزایش گازهای گلخانه‌ای که اثر بسیار زیادی بر تغییرات اقلیمی دارند بسیار حائز اهمیت است. با تغییر شرایط موجود به سمت بهبود شرایط اقلیمی می‌توان از بسیاری از آثار سو این تغییرات بر شرایط طبیعی و مسائل انسانی هم‌چون رفاه اقتصادی و امنیت غذایی جلوگیری نمود. در زمینه افزایش قیمت‌ها نیز سیاست‌گذاری متناسب با شرایط تولید و کنترل بازار توسط دولت‌ها باید مدنظر باشد.

منابع

ابرهیمی خوسفی؛ ابراهیمی زهره؛ خوسفی مهین؛ ولی عباسعلی؛ رضایی عبدالحسین (۱۳۹۲). پیامدهای تغییر اقلیم بر کشاورزی و امنیت غذایی، نخستین کنفرانس بین المللی اکولوژی سیمای سرزمین، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.

- ادایوی ظهرا؛ تدین محمدرضا، (۱۳۹۶). تأثیر تغییر اقلیم بر تولید سیب‌زمینی در منطقه فریدون‌شهر اصفهان، بوم‌شناسی کشاورزی، جلد ۹، شماره ۴. صص ۱۱۱۷-۱۱۳۵.
- امیرنژاد حمید؛ اسدیپور کردی مریم، (۱۳۹۶). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر تولید گندم ایران، تحقیقات اقتصاد کشاورزی، جلد ۹، شماره ۱. صص ۱۶۳-۱۸۲.
- بخشی علی؛ دانشور کاخکی محمود؛ مقدسی رضا (۱۳۹۰). کاربرد مدل برنامه‌ریزی ریاضی مثبت به منظور تحلیل اثرات سیاست‌های جایگزین قیمت‌گذاری آب در مشهد، نشریه اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۵، شماره ۳. صص ۲۸۴-۲۹۴.
- ترکمان مجتبی؛ کوچکی علیرضا (۱۳۹۴). بررسی اثر گرمایش و تغییر اقلیم آینده بر ویژگی‌های زراعی و تولید سیب‌زمینی در ایران، پایان‌نامه دکترای تخصصی در رشته زراعت و اصلاح نباتات، دانشگاه فردوسی مشهد.
- حسینی سیدصدف؛ نظری محمدرضا؛ عراقی‌نژاد شهاب (۱۳۹۲). بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی با تأکید بر نقش به کارگیری راهبردهای تطبیق در این بخش پژوهش‌های اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران، دوره ۴۴، شماره ۱. صص ۱-۱۶.
- مومنی سکینه؛ زیبایی منصور (۱۳۹۲). اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس، پژوهش‌های اقتصاد و توسعه کشاورزی، جلد ۲۷، شماره ۳. صص ۱۶۹-۱۷۹.
- Ahmed, S.A., Diffenbaugh, N.S., Hertel, T.W., Lobell, D.B., Ramankutty, N., Rios, A.R., Rowhani, P., (2011), Climate volatility and poverty vulnerability in Tanzania. *Glob. Environ. Change Part A: Human Policy Dimens.* Vol. 21, pp 46-55.
- Butler, C., and McFarlane R., (2018), Climate Change, Food Security, and Population Health in the Anthropocene., *Encyclopedia of the Anthropocene*, Vol. 2, pp 453-459.
- Banzhaf, H.S., (2010), Consumer surplus with apology: a historical perspective on nonmarket valuation and recreation demand. *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 2, pp 183-207.
- Campbell, B.M., Vermeulen, S.J., Aggarwal, P.K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., Loboguerrero, A.M., Villegas, J.R., Rosenstock, T., Sebastian, L., Thornton, P.K., Wollenberg, E., (2016), Global Food Security, risks to food security from climate change, Vol 11, pp 34-43.
- Devaux, A., Kromann, P., Ortiz, O. (2014), Potatoes for sustainable global food security. *Potato Research*. (Netherlands). Vol 57, No 3, pp 185-199.
- Ferreira, F.H.G., Fruttero, A., Leite, P.G., Lucchetti, L.R., (2013). Rising food prices and household welfare: evidence from Brazil in 2008. *J. Agric. Econ.* Vol 64, pp 151-176.
- Ford, J.D., (2012). Indigenous health and climate change. *Am. J. Public Health*, Vol 102, No 7, pp 1260 – 1266.
- Gohar, A.A., Cashman, A., (2016). A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare., *Agricultural Systems*. Vol 147, pp 51-64.
- Guillermo, N., Jaramillo, V., Larsen, J., (2018). Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico, *Agricultural and Forest Meteorology*. Volumes 253-254, pp 124-131.
- H.J. Dowsett., Robinson, M.M., (2013), Paleoclimatology, Biological Proxies Planktic Foraminifera, *Earth Systems and Environmental Sciences, Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*, pp 745-754.
- Katz, R.W., Brown, B.G., (1992). Extreme events in a changing climate variability is more important than averages. *Clim. Chang.* Vol 21, pp 289-302.
- Liu, C., Hofstra, N., Franz, E., (2013). Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by *Escherichia coli* O157 and *Salmonella* spp. *Int. J. Food Microbiol.* Vol 163, pp 119- 128.
- Li, Yu, Liu, Yuan, Ye, Wangting, Xu Lingmei, Zhu, Gengrui, Zhang, Xinzhong, Zhang, Chengqi (2018), A new assessment of modern climate change, ChinaAn approach based on paleo-climate, *Earth-Science Reviews*, Vol 177, pp 458-477.
- Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, Vol 333, pp 616-620.
- Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J., Zhao, Z.C. (2007). Global Climate Projections. In: *Climate Change, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Millner, A., (2013). On welfare frameworks and catastrophic climate risks, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol 65, No 2, pp 310-325.
- Stern, N., Dietz, S. (2008). Why economic analysis supports strong action on climate change: a response to the Stern review's critics, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol 2, No 1, pp 94-113.
- Wheeler, T., von Braun, J., (2013), Climate change impacts on global food security. *Science* 341, 508-513.

- Wossen, T., Berger, T., Haile, M.G. & Troost, C. (2017), Impacts of climate variability and food price volatility on household income and food security of farm households in East and West Africa. *Agricultural Systems*.
- UNFCCC ,(2007), Climate Change Secretariat. *Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation In Developing Countries*, UNFCCC Secretariat. Bonn, Germany.
- Uyttendaele, M., Liu, C., Hofstra, N., (2014). Special issue on the impacts of climate change on food safety. *Food Res. Int.* Vol 68, pp 1 – 6.
- Weitzman, M.L., (2009), On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change, *Review of Economics and Statistics*, Vol 91, No 1, pp 1–19.
- Wheeler, T., von Braun, J., (2013), Climate change impacts on global food security. *Science*, Vol341, pp 508–513.
- Zalasiewicz, J.,Williams, M., (2016), *Climate Change, Second Edition: Observed Impacts on Planet Earth*, University of Leicester, Leicester, UK.

Research Article

Investigating the Effects of Climate Change on Food Security of Iran

Soroush Kiani Ghalehsard¹, Javad Shahraki*², Ahmad Akbari³, Ali Sardar Shahraki⁴

Received: 26-02-2018

Revised: 09-04-2018

Accepted: 02-06-2018

Abstract

Climate change affects agricultural production and, consequently, agricultural factors such as food security and economic well-being. In this study, by distinguishing between different aspects of climate change, the effects of four climate change assumptions, climate variability, climate change, variability and climate change on food security and economic well-being during the years of 2001-2016 were investigated and by using the cost and production information of three products of food security index in Iran (wheat, rice and potatoes), using the positive mathematical programming (PMP) method was used. The results of this study showed a sharp decrease in farm incomes and a surplus of economic welfare as well as an increase in the price of the product under the fourfold assumptions. In four assumptions examined, the average of total income 43979.4, 127241.9, 157960.1 and 272367.1 million Tomans was reduced, the price of the desired product 332.95, 343.7, 565.18, and 1160.86 one thousand Tomans was increased, and the total of economic welfare surplus decreased 927884.4, 1542416, 2016383 and 2356754 million Tomans, respectively. Reducing the effects of climate change can be achieved by changing the pattern of cultivation, using modern irrigation methods and desertification.

Keywords: climate variability, climate change, food security, Iran.

¹- PhD student in Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

²*- Associate Professor, Department of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

Email: j.shahraki@eco.usb.ac.ir

³- Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

⁴- Assistant Professor of Agricultural Economics, University of Sistan and Baluchestan, Iran.

References

References (in Persian)

- Amirnejad, H., & Asadpour Kordi, M. (2017). Effects of climate change on wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Economics Research*, 9 (35), 163-182. [In Persian]
- Adavi, Z., & Tadayon, M. (2017). The effect of climate change on potato (*Solanum tuberosum* L.) production in Feridonsahr Region of Isfahan, I: Growth and development. *Agroecology*, 9 (4), 1117-1135. [In Persian]
- Bakhshi, A., Moghaddsi, R., & Daneshvar Kakhki, M. (2011). An application of positive mathematical programming model to analyze the effects of alternative policies to water pricing in Mashhad Plain. *Agricultural Economics & Development*, 25 (3), 284-294. [In Persian]
- Hoseini, S., Nazari, M., & Araghinejad, S. (2013). Investigating the impacts of climate on agricultural sector with emphasis on the role of adaptation strategies in this sector. *Iranian Journal of Agricultural Economics and Development Research*, 44 (1), 1-16. [In Persian]
- Ibrahimi, Z., Khosfi, M., Vali, A., & Rezaei, A. (2013). Impacts of climate change on agriculture and food security. *Proceedings of 1st International Conference on Ecology of Iran*. Isfahan: Isfahan University of Technology. [In Persian]
- Momeni, S., & Zibaei, M. (2013). The potential impacts of climate change on the agricultural sector of Fars Province. *Agricultural Economics & Development*, 27 (3), 169-179. [In Persian]
- Torkaman, M., & Koucheki, A. (2015). A study on the effect of warming and future climate change on the agronomic traits and production of potato in Iran (Ph.D. Dissertation). Mashhad, Iran: Ferdowsi University of Mashhad. [In Persian]

References (in English)

- Ahmed, S.A., Diffenbaugh, N.S., Hertel, T.W., Lobell, D.B., Ramankutty, N., Rios, A.R., Rowhani, P., (2011), Climate volatility and poverty vulnerability in Tanzania. *Glob. Environ. Change Part A: Human Policy Dimens.* Vol. 21, pp 46–55.
- Banzhaf, H.S., (2010), Consumer surplus with apology: a historical perspective on nonmarket valuation and recreation demand. *Annual Review of Resource Economics*, Vol. 2, pp 183-207.
- Butler, C., and McFarlane R., (2018), Climate Change, Food Security, and Population Health in the Anthropocene., *Encyclopedia of the Anthropocene*, Vol. 2, pp 453-459.
- Campbell, B.M, Vermeulen, S.J., Aggarwal, P.K., Corner-Dolloff, C., Girvetz, E., Loboguerrero, A.M., Villegas, J.R., Rosenstock. T., Sebastian, L., Thornton, P.K., Wollenberg, E., (2016), *Global Food Security, risks to food security from climate change*, Vol 11, pp 34-43.
- Devaux, A., Kromann, P., Ortiz, O. (2014), Potatoes for sustainable global food security. *Potato Research*. (Netherlands). Vol 57, No 3, pp 185-199.
- Ferreira, F.H.G., Fruttero, A., Leite, P.G., Lucchetti, L.R., (2013). Rising food prices and household welfare: evidence from Brazil in 2008. *J. Agric. Econ.* Vol 64, pp 151–176.
- Ford, J.D., (2012). Indigenous health and climate change. *Am. J. Public Health*, Vol 102, No 7, pp 1260 – 1266.
- Gohar, A.A., Cashman, A., (2016). A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare., *Agricultural Systems*. Vol 147, pp 51-64.
- Guillermo, N., Jaramillo, V., Larsen, J., (2018). Food security and climate change: the case of rainfed maize production in Mexico, *Agricultural and Forest Meteorology*. Volumes 253–254, pp 124-131.
- H.J. Dowsett., Robinson, M.M., (2013), *Paleoceanography, Biological Proxies Planktic Foraminifera, Earth Systems and Environmental Sciences*, *Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition)*, pp 745-754.
- Katz, R.W., Brown, B.G., (1992). Extreme events in a changing climate variability is more important than averages. *Clim. Chang.* Vol 21, pp 289–302.
- Li, Yu, Liu, Yuan, Ye, Wangting, Xu Lingmei, Zhu, Gengrui, Zhang, Xinzhong, Zhang, Chengqi (2018), A new assessment of modern climate change, China An approach based on paleo-climate, *Earth-Science Reviews*, Vol 177, pp 458–477.
- Liu, C., Hofstra, N., Franz, E., (2013). Impacts of climate change on the microbial safety of pre-harvest leafy green vegetables as indicated by *Escherichia coli* O157 and *Salmonella* spp. *Int. J. Food Microbiol.* Vol 163, pp 119– 128.
- Lobell, D.B., Schlenker, W., Costa-Roberts, J., (2011). Climate trends and global crop production since 1980. *Science*, Vol 333, pp 616-620.

Meehl, G.A., Stocker, T.F., Collins, W.D., Friedlingstein, P., Gaye, A.T., Gregory, J.M., Kitoh, A., Knutti, R., Murphy, J.M., Noda, A., Raper, S.C.B., Watterson, I.G., Weaver, A.J., Zhao, Z.C. (2007). Global Climate Projections. In: Climate Change, The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Millner, A., (2013). On welfare frameworks and catastrophic climate risks, *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol 65, No 2, pp 310-325.

Stern, N., Dietz, S.(2008), Why economic analysis supports strong action on climate change: a response to the Stern review's critics, *Review of Environmental Economics and Policy*, Vol 2, No 1, pp 94–113.

Tirado, M.C., Clarke, R., Jaykus, L.A., McQuatters-Gollop, A., Franke, J.,M., (2010). Climate change and food safety: a review. *Food Res.* Vol 43, pp 1745 –1765. Wheeler, T., von Braun, J., (2013), Climate change impacts on global food security. *Science* 341, 508–513.

UNFCCC,(2007), Climate Change Secretariat. Climate Change: Impacts, Vulnerabilities and Adaptation In Developing Countries, UNFCCC Secretariat. Bonn, Germany.

Uyttendaele, M., Liu, C., Hofstra, N., (2014). Special issue on the impacts of climate change on food safety. *Food Res. Int.* Vol 68, pp 1 – 6.

Weitzman, M.L., (2009), On modeling and interpreting the economics of catastrophic climate change, *Review of Economics and Statistics*, Vol 91, No 1, pp 1–19.

Wheeler, T., von Braun, J., (2013), Climate change impacts on global food security. *Science*, Vol 341, pp 508–513.

Wossen, T., Berger, T., Haile, M.G. & Troost, C. (2017), Impacts of climate variability and food price volatility on household income and food security of farm households in East and West Africa. *Agricultural Systems*.

Zalasiewicz, J.,Williams, M., (2016), Climate Change, Second Edition: Observed Impacts on Planet Earth, University of Leicester, Leicester, UK.