اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال ۲۹، شمارهٔ ۱۱۴، تابستان ۱۴۰۰

DOI: 10.30490/AEAD.2021.352780.1288

مقاله پژوهشی

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی: مطالعهٔ موردی دشت همدان– بهار

فاطمه معززی[۱]*، سیدحبیب‌الله موسوی*[۲]*، غلامرضا یاوری*[۳]*، مهرداد باقری*[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۸

چکیده

امروزه، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در حفظ ثبات و پایداری توسعه اقتصادی منطقه‌ای و ملی پدیده تغییرات اقلیمی و پیامدهای آن است که تهدیدی جدی برای نظام‌های طبیعی، منابع آب و رفاه اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود. از این‌رو، درک رابطه بین تغییرات اقلیمی و متغیرهای اقتصادی-

---

۱- دانشجوی دکتری و مربی گروه اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
(f_moazzezi@yahoo.com)

۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه اقتصاد کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
(shamosavi@modares.ac.ir)

۳- دانشیار گروه اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (gr.yavari@gmail.com)

٤- استادیار گروه اقتصاد و توسعه کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. (mehrdad.bagheri3@gmail.com)

اجتماعی مانند امنیت غذایی و رفاه اقتصادی که در مطالعات اخیر، کمتر بدان پرداخته شده، ضروری است. هدف مطالعهٔ حاضر ارزیابی آثار رفاهی و امنیت غذایی تغییرات اقلیمی در دشت همدان- بهار بود. در این راستا، متغیرهای بارندگی و دما در افق ۲۰۷۰ بر اساس سناریوهای اقلیمی منتخب پیش‌بینی شد و سپس، با برآورد تابع واکنش عملکرد، محاسبهٔ تغییرات عملکرد ناشی از پارامترهای آب‌وهوایی ؛ و در نهایت، با تدوین یک الگوی برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی شامل ابعاد اقتصادی، زراعی و هواشناسی، اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر رفاه اقتصادی و امنیت غذایی تحت سناریوهای اقلیمی منتخب در افق ۲۰۷۰ در مقایسه با سال پایه (۲۰۱۸) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که تغییرات اقلیمی با کاهش دسترسی به آب، از یک سو، با کاهش تولید و افزایش قیمت موادغذایی، موجب کاهش مازاد رفاه مصرف‌کننده می‌شود و از سوی دیگر، موجب افزایش درآمد خالص مزرعه خواهد شد، اما همچنان در تمامی سناریوها رفاه اقتصادی کل کاهش خواهد یافت؛ بنابراین، حتی با تغییرات خوش‌بینانه اقلیم، رفاه مصرف‌کننده و به تبع آن، امنیت غذایی کاهش می‌یابد. همچنین، بر پایهٔ یافته‌های پژوهش حاضر، بیشترین کاهش مازاد مصرف‌کننده در تمامی سناریوها مربوط به محصولات راهبردی تأمین‌کننده امنیت غذایی خواهد بود؛ با این حال، با اتخاذ راهبرد سازگاری بهبود راندمان آبیاری در سناریوهای مورد بررسی به مقادیر مختلف، زیان رفاهی ناشی از تغییر اقلیم به‌طور کامل خنثی خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: *امنیت غذایی، رفاه اقتصادی، مازاد مصرف‌کننده، تغییر اقلیم، دشت همدان- بهار.*
طبقه‌بندی JEL : C22, C61, Q18, Q25, Q54

مقدمه

امروزه، تغییرات آب‌وهوا و افزایش میانگین دمای جهانی همراه با پیامدهای آن تهدیدی جدی برای نظام‌های طبیعی و رفاه اجتماعی و اقتصادی محسوب می‌شود(Smith et al., 2009). تغییر اقلیم، به‌دلیل اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر زیست‌بوم‌های طبیعی و زراعی (Wang, 2012)، از یک سو و نظام‌های اجتماعی- انسانی (Feola et al., 2015)، از سوی دیگر، مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. در این میان، بخش کشاورزی، به‌دلیل تعاملات گسترده با

محیط و وابستگی زیاد به آب، به ویژه نسبت به تغییرات آب‌وهوا بسیار حساس است (Lotze-Campen et al., 2012)؛ و با توجه به تأثیرپذیری مستقیم آن از تغییر دما، بارش و غلظت دی‌اکسید کربن انباشته‌شده در جو زمین (Al-Hasan and Mattar, 2013)، بیشترین تأثیر را از پدیده تغییر اقلیم می‌پذیرد (Pradhan et al., 2015; Walthall et al., 2012). این موضوع، به‌طور مستقیم، از طریق تغییر در شرایط بوم‌شناختی- زراعی و تاثیر بر بهره‌وری و عملکرد محصولات و به‌طور غیرمستقیم، با تأثیر بر رشد و توزیع درآمد و در نتیجه، تقاضا برای محصولات کشاورزی، بر تولید مواد غذایی تأثیر می‌گذارد (World Bank, 2010). بنابراین، با چشم‌انداز ادامه گرم شدن کره زمین، پیامدهای این آسیب می‌تواند برای مناطق فقیرنشین قابل توجه باشد. در بیشتر کشورهای در حال توسعه، حدود هفتاد درصد از مردم به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم به بخش کشاورزی وابسته‌اند و بیشتر این جمعیت در مناطق خشک و نیمه‌خشک زندگی می‌کنند که در حال حاضر، با شرایط آب‌وهوایی بسیار بی‌ثبات روبه‌رو هستند (Yadav et al., 2015). در این زمینه، لوبل و همکاران (Lobell et al., 2011) نشان دادند که افزایش دما، همراه با تغییرات بارش، اثرات گوناگون بر کشاورزی در جهان داشته است. همچنین، بر پایه نتایج پژوهش وان براون (Von Braun, 2007)، گرم شدن کره زمین تا سال ۲۰۸۰ موجب کاهش عملکرد و تولید غلات در برخی کشورهای جنوب آسیا خواهد شد. افزون بر این، نتایج پژوهش پری و همکاران (Parry et al., 2004) نشان داد که تغییرات آب‌وهوایی با تغییر غلظت CO_2 و O_3 در جو و الگوی دما و بارندگی به‌طور مستقیم بر نرخ رشد بهره‌وری کشاورزی و در دسترس بودن مواد غذایی و در نتیجه، امنیت جهانی غذا تأثیر خواهد گذاشت.

پیش‌بینی می‌شود که در آینده، شرایط اقلیم جهانی با ایجاد نوسانات بیشتر در عملکرد محصولات کشاورزی باعث نوسان در عرضه و قیمت مواد غذایی خواهد شد و در نهایت، بر ثبات تولید مواد غذایی و امنیت غذایی تأثیرگذار خواهد بود (Junk, 2013). به‌طور کلی، غذا، از غلات گرفته تا حبوبات و دانه‌های روغنی، برای رشد و رفاه انسان از اهمیت ویژه برخوردار است (Misselhorn et al., 2012). بدون شک، پیچیدگی امنیت غذایی جهانی که در حالت

عادی نیز چالش‌برانگیز است، در شرایط تغییر اقلیم، با چالشی بزرگ‌تر مواجه خواهد شد. بنابراین، جهان در تأمین مواد غذایی مناسب، سالم، ایمن و با کیفیت از نظر تغذیه‌ای برای همه افراد با مشکلات عظیم روبه‌رو خواهد بود (Redden et al., 2014).

از نگاهی دیگر، تأثیر تغییرات اقلیمی در کشاورزی، با تغییر در الگوهای تولید و قیمت‌ها، بر تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان تأثیر می‌گذارد و سودآوری تولید محصولات کشاورزی و سهم درآمد صرف‌شده برای غذا را تغییر می‌دهد (Singh and Vatta, 2013; Hertel and Rosch, 2010). توزیع اثرات تغییر اقلیم بر مازادهای اقتصادی نه‌تنها در نتیجه ویژگی‌های مکانی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر عملکرد محصول بلکه با واکنش الگوهای جهانی کاربری اراضی و تجارت و همچنین، متعادل‌سازی مازاد مصرف‌کننده و تولیدکننده (یعنی، سود و زیان) تعیین می‌شود. اگر قیمت مواد غذایی به‌دلیل تأثیر تغییرات اقلیمی افزایش یابد، خانوارها نه‌تنها باید درآمد بیشتری برای مصرف مواد غذایی صرف کنند، بلکه ممکن است با ریسک کمبود مواد غذایی و دسترسی ناکافی به مواد غذایی نیز مواجه شوند (Von Braun, 2007). قیمت‌های بالاتر، از یک سو، قدرت خرید مصرف‌کننده مواد غذایی را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر، اثرات منفی افزایش قیمت مواد غذایی بر مصرف‌کنندگان به‌ندرت به‌طور مساوی توزیع می‌شود (Ferreira et al., 2013). افزون بر این، فقرا و افراد فاقد زمین بیش از همه از افزایش قیمت مواد غذایی رنج خواهند برد (Gohar et al., 2013). بر این اساس، ضرورت مطالعه پیامدهای تغییرات عملکرد ناشی از تغییر اقلیم در بازارهای کشاورزی و رفاه اقتصادی بیشتر آشکار می‌شود (Moore et al., 2017).

در این خصوص، اثرات تغییر اقلیم بر رفاه اقتصادی و امنیت غذایی ناشی از محصولات کشاورزی در مقیاس منطقه‌ای با اندازه‌گیری تغییر در «مازاد مصرف‌کننده» و «مازاد تولیدکننده» قابل بررسی است. به همین منظور، برخی مطالعات به بررسی پیامدهای تغییرات عملکرد ناشی از آب‌وهوا در بازارهای کشاورزی و رفاه اقتصادی پرداخته‌اند. مور و همکاران (Moore et al., 2017)، با برآورد اثرات کل تغییرات عملکرد ناشی از آب‌وهوا، به تحلیل رفاه اقتصادی پرداخته و به‌جای بررسی توزیع تأثیر بین عوامل مختلف بازار(یعنی، تولیدکنندگان و مصرف کنندگان)،

توزیع در مناطق با در نظر گرفتن چهار محصول (ذرت ، گندم ، برنج و سویا) را بررسی کرده‌اند. استوانویچ و همکاران (Stevanović et al., 2016)، با تمرکز بر اثرات توزیعی تغییرات اقلیمی در مناطق جغرافیایی و عوامل اقتصادی، نشان دادند که تغییرات آب‌وهوا باعث روند عمدتاً مثبت در مازاد تولیدکننده و روند منفی در مازاد مصرف‌کننده جهانی در پایان قرن حاضر می‌شود. کالوین و همکاران (Calvin et al., 2020) با تمرکز بر پیوند بین واکنش‌های بیوفیزیکی و نتایج بازار و رفاه اقتصادی، نشان دادند که پیامدهای تغییر اقلیم بر عملکرد کشاورزی موجب تغییر در رفاه اقتصادی خواهد شد و این تغییر، طی قرن ۲۱، به اوج خود می‌رسد. گهر و کاشمان (Gohar and Cashman, 2016)، با اضافه کردن بخش هیدرولوژی منابع آب به بخش بیوفیزیکی عملکرد گیاه و تمایز قائل شدن بین تغییرپذیری آب‌وهوا و تغییر اقلیم، نشان دادند که تغییرپذیری آب‌وهوا و تغییر اقلیم باعث کاهش دسترسی به آب و اثرات نامطلوب بر مازاد مصرف‌کننده و امنیت غذایی می‌شود؛ اما افزایش قیمت محصولات، برای برخی از تولیدکنندگان مواد غذایی، بسته به نوع محصول تولیدی و فناوری آبیاری، فرصت کسب منافع بیشتر را فراهم می‌کند. در این میان، برخلاف نتایج پژوهش‌های یادشده، آتاوانیچ و مک‌کارل (Attavanich and McCarl, 2011) نشان دادند که قیمت تمام محصولات تا سال ۲۰۵۰ تمایل به افزایش خواهد داشت و علی‌رغم افزایش در مازاد مصرف‌کننده در تمام مناطق، مازاد تولیدکننده در مناطق مختلف ایالات متحده ناهمگن خواهد بود و در مجموع، کاهش می‌یابد، اما رفاه کل جامعه روند افزایشی خواهد داشت. در مطالعه‌ای دیگر، گُهر و همکاران (Gohar et al., 2019)، بر اساس سناریوهای RCP 2.6 ، RCP4.5 و RCP8.5، به ارزیابی اقتصادی تأثیر بالقوه تغییر اقلیم بر کمیابی آب زیرزمینی و ارزش اقتصادی آن، امنیت غذایی و معیشت کشاورزی پرداخته‌اند. نتایج این مطالعه نشان داد که تغییرات اقلیمی وابستگی به زمان‌های اضافی آبیاری با آب زیرزمینی را افزایش می‌دهد و موجب افزایش ارزش نهایی آبیاری با آب زیرزمینی خواهد شد؛ همچنین، قیمت مواد غذایی افزایش می‌یابد و منجر به تأثیر منفی بر امنیت غذایی و کاهش معیشت کشاورزی می‌شود. الکامو و همکاران (Alcamo et al., 2007)، با بررسی اثر تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی روسیه از دیدگاه امنیت

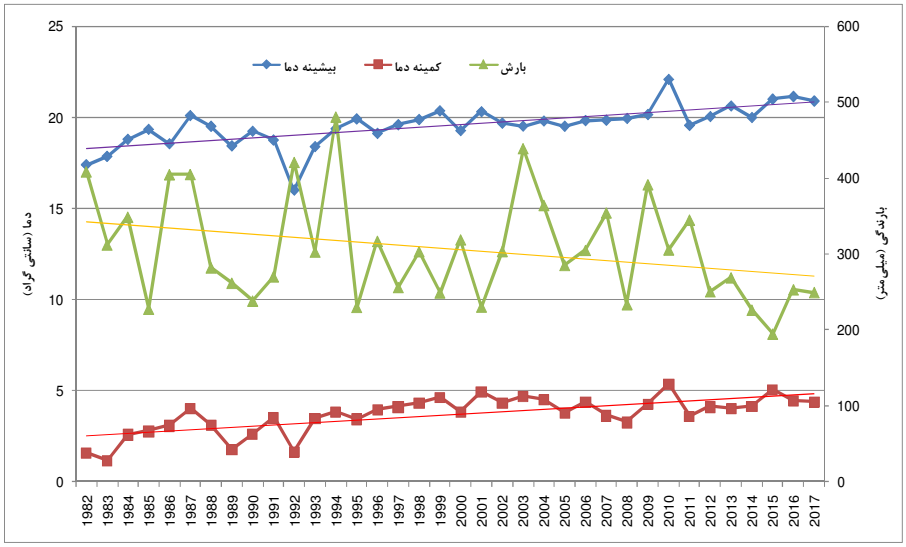
غذایی و کفایت منابع، نشان دادند که تغییر اقلیم برای تولید محصولات عمدهٔ گندم، سیب‌زمینی، ذرت و جو در این کشور تهدیدی جدی به‌شمار می‌رود؛ از سوی دیگر، این کشور در شرایط فعلی به‌طور متوسط در هر دهه، دو تا سه سال با کمبود مواد غذایی روبه‌روست که این میزان در دههٔ ۲۰۲۰ دو برابر و در دههٔ ۲۰۷۰ سه برابر خواهد شد.

در ایران، مؤمنی و زیبایی (Momeni and Zibaei, 2013) با برآورد اثرات بالقوهٔ تغییر اقلیم بر بخش کشاورزی استان فارس، نشان دادند که در بیشتر موارد، اثرات رفاهی تغییر اقلیم مثبت و اثرات آن بر تولیدکنندگان خیلی بیشتر از مصرف‌کنندگان است. خلیلیان و همکاران (Khalilian et al., 2014)، در بررسی اثرات رفاهی ناشی از تغییر در پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی، نشان دادند که در صورت کاهش بارندگی توأم با افزایش درجه حرارت، مازاد رفاه مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان و در نتیجه، مازاد رفاه کل جامعه کاهش می‌یابد؛ همچنین، مصرف‌کنندگان نسبت به تولیدکنندگان رفاه بیشتری را از دست می‌دهند. حسینی و همکاران (Hoseini et al., 2013) نشان دادند که بر اساس سناریوی بدبینانه، در نتیجه کاهش بارش و افزایش درجه حرارت، عرضه محصولات کشاورزی کاهش یافته و منجر به افزایش بیشتر سطح قیمت‌ها شده است؛ این افزایش قیمت‌ها تولیدکنندگان را در وضعیت رفاهی بهتری نسبت به شرایط عادی و حتی نسبت به شرایط خوش‌بینانه قرار داده، اما در مقابل، مقدار کل زیان رفاهی افزایش یافته و اغلب آن متوجه مصرف کنندگان شده است.

در زمینه آثار تغییر اقلیم بر امنیت غذایی در داخل کشور، نیکویی (Nikouei, 2012)، در بررسی استفاده پایدار از منابع آب و پاسخ‌گویی به اهداف امنیت غذایی، نشان داد که سیاست تخصیص و استفاده بهینه از آب موجب بهبود راندمان مصرف آب و امنیت غذایی خواهد شد. بارانی و کرمی (Barani and Karami, 2019)، با بررسی تأثیر تغییرات آب‌وهوایی بر مصرف سرانه غذایی در مناطق بوم‌شناختی کشاورزی ایران، نشان دادند که کل تولید باغبانی با افزایش دما، تبخیر و تعرق و سرعت باد کاهش می‌یابد و از این‌رو، با کاهش مصرف سرانه غذا، امنیت غذایی کاهش خواهد یافت.

با بررسی این مطالعات، ملاحظه شد که نتایج اثرات رفاهی ناشی از تغییرات اقلیمی بسته به مناطق مختلف و مقیاس تاثیر آب‌وهوا و بخش کشاورزی می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین، با درک بهتر تأثیرات خالص تغییرات اقلیمی بر عوامل اقتصادی در مناطق مختلف در راستای حفظ و افزایش خوداتکایی به تولیدات داخل و تمرکز بر راهبردهای کاهندهٔ آسیب‌های تولید، می‌توان به اجرای سیاست‌های مناسب برای مقابله با تأثیرات احتمالی بر بخش کشاورزی کمک کرد.

با توجه به موقعیت جغرافیایی خشک و نیمه‌خشک ایران و همچنین، بارندگی کمتر از یک‌سوم متوسط جهانی، تبخیر بیش از سه برابر متوسط جهانی، توزیع نامناسب بارندگی و سهم بسیار پایین کشور از آب‌های شیرین، پیش‌بینی می‌شود که در آینده، ایران در معرض آسیب‌پذیری جدی ناشی از تغییرات اقلیمی باشد (Madani, 2014; Moridi, 2017) . در این میان، استان همدان و به‌ویژه منطقه مورد مطالعه (دشت همدان- بهار) یکی از مناطق عمده تولید محصولات کشاورزی است که بر پایهٔ آمار سازمان هواشناسی کل کشور، در دو دههٔ اخیر، تغییر شرایط اقلیمی این دشت به‌صورت افزایش دما و کاهش بارندگی بوده، که روند تغییرات یادشده در نمودار ۱ ارائه شده‌است. از سوی دیگر، نتایج تحقیقات مختلف حاکی از وقوع پدیده تغییر اقلیم به‌صورت افزایش میانگین دما و کاهش میانگین بارندگی در آینده در این منطقه است (Amiri et al., 2015; Karimi Kakhki and Sepehri, 2011; Movahedi et al., 2013; Zareabyaneh et al., 2015). این در حالی است که در دشت همدان- بهار، منابع آب زیرزمینی مهم‌ترین منبع تأمین‌کنندهٔ آب (بیش از هشتاد درصد آب مورد نیاز کشاورزی و پنجاه درصد آب شرب شهری) بوده و در سال‌های اخیر، برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در این دشت موجب منفی شدن بیلان آبی آن شده است (IWRM, 2009). در صورت تداوم این روند، انتظار می‌رود که میزان دسترسی به نهادهٔ آب و نیز عملکرد اغلب محصولات در این دشت دستخوش تغییر شود، که خود به ایجاد تغییر در سطح زیر کشت، تولیدات مواد غذایی و در پی آن، به بروز نوسان‌هایی در عرضهٔ محصولات کشاورزی و تأثیرپذیری شاخص‌های اقتصادی درآمد تولیدکنندگان، رفاه مصرف‌کنندگان و در نهایت، به امنیت غذایی خواهد انجامید.



نمودار ۱- میزان سالانه مشخصه‌های آب‌وهوایی دشت همدان- بهار

بررسی پژوهش‌های پیش‌گفته گویای آن است که نبود قطعیت، ضرورت انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی در سطوح منطقه‌ای و محلی را روشن می‌سازد. در این مطالعات، بینش‌هایی مهم در مورد واکنش‌های اقتصادی به تغییرات اقلیمی در بخش کشاورزی ارائه می‌شود، اما شکاف‌هایی هنوز باقی است. در مطالعات یادشده، تنها اثرات سناریوهای اقلیمی گزارش چهارم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم[۱] بررسی شده و البته به مسئله امنیت غذایی توجهی نشده است. از این‌رو، پژوهش حاضر، با تدوین الگویی مناسب و با در نظر گرفتن پیوند بین واکنش عملکرد محصول و پیامدهای بازار مانند سطح زیر کشت، تولید، مصرف و قیمت و نیز پیوند بین پیامدهای بازار و تغییرات رفاه اقتصادی، به تحلیل و ارزیابی آثار رفاهی و امنیت غذایی تغییرات اقلیمی بر

۱. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

اساس سناریوهای گزارش‌های چهارم و پنجم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم در دشت همدان- بهار می‌پردازد [۲].

مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر اثرات احتمالی تغییرات اقلیم دشت همدان- بهار را در ابعاد اقتصادی، زراعی و هواشناسی با برآورد تابع عملکرد محصول نسبت به متغیرهای اقلیمی، پیش‌بینی تغییرات آب‌وهوایی و شبیه‌سازی این برآوردها در یک مدل اقتصادی ارزیابی کرده و سپس، برخی اقدامات سازگاری را برای مقابله با تغییرات آب‌وهوایی مورد بررسی قرار داده است. بدین منظور، از چارچوب بهینه‌سازی غیرخطی برای به حداکثر رساندن رفاه اقتصادی کل فعالیت‌های کشاورزی بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم استفاده شده است.

سناریوهای اقلیمی

در زمینه بررسی جامع مسئله تغییر اقلیم، هیئت بین دولتی تغییر اقلیم تاکنون چندین گزارش منتشر کرده که مبنای مطالعات تغییر اقلیم است. در مدل‌های ارزیابی گزارش چهارم، از سنایورهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و در گزارش پنجم، از سناریوهای جدید مبتنی بر واداشت تابشی[۳] استفاده شده است. در گزارش چهارم، سناریوی اصلی B1، B2، A1 و A2، به‌ترتیب، نماینده خوش‌بینانه‌ترین تا بدبینانه‌ترین حالت انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند و در گزارش پنجم، مجموعهٔ جدید سناریوهای RCP8.5، RCP6.0، RCP4.5 و RCP2.6 جایگزین سناریوهای پیشین شده‌اند. در حال حاضر، معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی، مدل‌های جهانی گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر[۴] است که با مبنا قرار دادن سناریوهای

۲- در بخش روش تحقیق، توضیحات کامل در مورد سناریوهای گزارش چهارم و پنجم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم ارائه شده است.

۳. Radiative forcing

۴. Atmosphere-Ocean General Circulation Model (AOGCM)

غیراقلیمی انتشار گازهای گلخانه‌ی (B1، B2، A1 و A2) و سناریوهای واداشت تابشی (RCP2.6، RCP4.5، RCP6.0 و RCP8.5)، به‌ترتیب، منتج از گزارش‌های چهارم و پنجم هیئت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)، به ترسیم چشم‌اندازی از تغییرات اقلیمی در آینده می‌پردازد (IPCC, 2014). در مطالعهٔ حاضر، از خروجی‌های مدل HadCM3 در دو سناریوی خوش‌بینانه (B1) و بدبینانه (A2) و از خروجی‌های مدل HadGEM2 در دو سناریوی خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) برای پیش‌بینی تغییرات بارندگی و دما استفاده شده و سپس، با بهره‌گیری از داده‌های دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۲، شبیه‌سازی تغییرات آنها برای افق ۲۰۷۰ صورت گرفته است. شایان یادآوری است که دو مدل HadCM3 و HadGEM2 از مدل‌های گردش عمومی اقیانوس- اتمسفر به‌شمار می‌روند که به‌ترتیب، در گزارش‌های چهارم و پنجم، از آنها استفاده شده است. در سناریوی بدبینانه A2، کشورهای دنیا به‌صورت واگرا و مستقل از هم عمل می‌کنند، جمعیت دنیا به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد و توسعهٔ اقتصادی «منطقه‌محور» است و بنابراین، غلظت CO_2 روند افزایشی داشته و در سال ۲۱۰۰، به ۸۷۵ بخش در میلیون (پی‌پی‌ام)[۵] می‌رسد. در سناریوی خوش‌بینانه B1، کشورهای جهان «واگرا و دوستدار محیط زیست» در نظر گرفته می‌شوند و جمعیت به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد، اما سرعت رشد آن کمتر از سناریوی A2 است؛ همچنین، تغییرات فناوری نسبت به سناریوهای خانوادهٔ A کمتر و پراکنده‌تر خواهد بود و غلظت CO_2 تا نیمه قرن جاری به اوج خود و در سال ۲۱۰۰، به ۵۳۸ پی‌پی‌ام می‌رسد. در سناریوی خوش‌بینانه RCP2.6، واداشت تابشی در اواسط قرن جاری به حدود ۳/۱ رسیده و سپس، کاهش یافته و به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. غلظت CO_2 تا قبل از سال ۲۱۰۰ به ۴۹۰ پی‌پی‌ام می‌رسد و سپس، کاهش می‌یابد. در سناریوی بدبینانه RCP8.5، واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد و بعد از آن نیز افزایش می‌یابد و غلظت CO_2 به ۱۳۷۰ پی‌پی‌ام تا سال ۲۱۰۰ می‌رسد (IPCC, 2014).

۵. parts per million (ppm)

عملکرد و تولید محصول

در زمینه تعیین رابطه عملکرد محصول زراعی با متغیرهای آب‌وهوایی مانند دما و بارندگی، توابع مختلف مطرح شده و به‌کار رفته است (Attavanich and McCarl, 2011; Shi et al., 2013 ;Ozkan and Akcaoz, 2002 ;Mosavi et al., 2020 ;Chang, 2002). در مطالعه حاضر، به‌دلیل انعطاف‌پذیری و انطباق بیشتر فرم تابعی درجهٔ دوم با روابط غیر خطی بین پارامترهای اقلیمی و عملکرد محصول، برای تابع عملکرد، از فرم درجه دوم استفاده شد و به روش حداکثر آنتروپی تعمیم‌یافته[۶]، برآورد تابع واکنش عملکرد محصولات مختلف مطابق رابطه (۱) صورت گرفت و سپس، تغییرات کل در عملکرد از مجموع تغییرات ناشی از تغییر دما و تغییر بارش در سناریوهای مختلف اقلیمی برای افق ۲۰۷۰ به‌دست آمد.

$$Y_{tj} = f(Te_{ts}, Te_{ts}^2, R_{ts}, R_{ts}^2, VTe_{st}, VR_{ts}, T) \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، Y بیانگر مقدار عملکرد محصول j در سال t، Te_{ts} میانگین درجه حرارت فصل s ام $s = \{1,2,3,4\}$ در سال t، R_{ts} مجموع بارندگی فصل sام در سال t، و VTe_{ts}، VR_{ts} به‌ترتیب بیانگر انحراف درجه حرارت و بارندگی از مقدار میانگین بلندمدت آنها و T متغیر روند زمانی (معرف تغییر در فناوری تولید محصولات زراعی در طول زمان) است.

مدل اقتصادی

چارچوب بهینه‌سازی، تاثیر سناریوهای اقلیمی بر منابع آب و رفاه اقتصادی حاصل از تولید محصولات کشاورزی را ارزیابی می‌کند. فرض بر این است که کشاورزان، با استفاده از منابع آب در دسترس، به‌دنبال به حداکثر رساندن درآمد خالص مزرعه خود و مصرف‌کنندگان مواد غذایی به‌دنبال حداکثرسازی مازاد رفاه خود بر اثر تغییرات اقلیمی هستند.

---

۶. General Maximum Entropy (GME)

درآمد خالص مزرعه

درآمد خالص در هر هکتار برابر با عملکرد محصول ضرب در قیمت محصول (P_j) منهای هزینه متوسط تولید (ATC_j) است. مجموع درآمد خالص (TNB_j) برای هر محصول برابر با درآمد خالص هر هکتار ضرب در کل زمین‌های آبیاری‌شده از آن محصول است. از آنجا که تولید محصول بیشتر باید قیمت‌های بازاری محصولات را کاهش دهد، بنابراین، به‌دلیل کم‌کشش بودن اکثر محصولات کشاورزی و همچنین، وابسته بودن قیمت محصول به نیروهای عرضه و تقاضای بازار، درآمد مزرعه کاهش خواهد یافت (Gohar and Cashman, 2016; Gohar et al., 2019). از این‌رو، در اینجا، قیمت محصولات به‌عنوان یک عامل درون‌زا در نظر گرفته می‌شود و توسط مدل حل خواهد شد.

$$TNB_t = \sum_j TNB_{tj} = \sum_j \{(P_{tj} * Y_{tj} - ATC_{tj}) * hec_{tj}\} \quad (۲)$$

تولید کل هر محصول (TP_{tj}) از حاصل‌ضرب عملکرد در سطح زیر کشت (hec_{tj}) در قالب رابطه (۳) به‌دست می‌آید. شایان یادآوری است که سطح زیر کشت هر محصول برای سال‌های آتی و در سناریوهای مختلف، پس از حل مدل اقتصادی به‌دست می‌آید.

$$TP_{tj} = hec_{tj} * Y_{tj} \quad (۳)$$

مازاد مصرف‌کننده و امنیت غذایی

از مازاد مصرف‌کننده می‌توان برای برآورد اثر (سود یا زیان) اقتصادی بر منافع مصرف‌کننده ناشی از تغییر قیمت در یک دوره زمانی خاص و همچنین، برای بررسی مشکلات مربوط به دسترسی به منابع طبیعی همچون آب استفاده کرد. اندازه‌گیری تغییرات در رفاه مصرف‌کننده در ارتباط با سیاست‌های آب آبیاری یا تغییرات اقلیمی نیازمند اطلاعات مربوط به کشش قیمتی محصول و سطح تولید موجود است که از آن، برای تعیین تابع تقاضای محصول و پارامترهای آن استفاده می‌شود. تابع تقاضای معکوس را می‌توان به‌صورت رابطه (۴) بیان کرد:

$$P_{tj} = \theta_0 + \theta_1 TP_{tj} \quad (۴)$$

برای هر محصول، رابطه استاندارد بین منحنی تقاضا و کشش قیمتی تقاضا می‌تواند برای محاسبه مازاد مصرف‌کننده استفاده شود. با استفاده از رابطه (۵)، مازاد مصرف‌کننده برابر است با نصف تفاوت قیمت حداکثر (ذخیره‌ای) و قیمت واقعی (درون‌زا) ضرب در کل مقدار تولیدشده از یک محصول خاص (Gohar and Cashman, 2016; Gohar et al., 2015).

$$CS_t = CS_{tj} = \sum_j \{0.5 * [(\theta_0 - P_{tj}) * TP_{tj}]\} \quad (۵)$$

رفاه اقتصادی

در مطالعه حاضر، به پیروی از مطالعات گهر و کاشمان (Gohar and Cashman, 2016) و گهر و همکاران (Gohar et al., 2019)، رفاه کل مربوط به مواد غذایی و آب به‌عنوان مجموع مازاد مصرف‌کننده به اضافهٔ درآمد مزرعه تعریف می‌شود. تعریف رفاه کل جامعه در این روش یک شیوهٔ تحلیلی سنتی (کلاسیک) است. هر دو مؤلفه رفاه اقتصادی اهمیت دارد و منعکس‌کنندهٔ درآمد حاصل از تولید مواد غذایی و همچنین، منافع حاصل از مصرف آن است. در این تحلیل، مبادله بین مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان با تنظیم مدل برای به حداکثر رساندن مجموع جبری مازاد مصرف‌کننده در قالب رابطه (۵) و درآمد مزرعه در قالب رابطه (۲) با تخصیص منابع آب و زمین در دسترس بررسی شده است.

کالیبراسیون مدل

مدل تحلیل سیاستی باید قادر به بازسازی سطوح مشاهده‌شده در سال پایه باشد. از این‌رو، در دهه‌های گذشته، رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی[۷]، برای کالیبره کردن چارچوب بهینه‌سازی و فائق آمدن بر ویژگی نرماتیو بودن، توسط هاویت (Howitt, 1995) معرفی شد که امروزه، به‌طور گسترده، از آن برای کالیبراسیون مسائل تخصیص منابع آب استفاده می‌شود

۷. Positive Mathematical Programming (PMP)

Gohar and Cashman, 2016; Gohar et al., 2015; Cortignani and Severini, 2009;) (He et al., 2006; Medellín-Azuara et al., 2012. مهم‌ترین مزیت استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی اثباتی (PMP) توانایی تولید آن در ایجاد تغییر هموار و ملایم ناشی از اجرای سیاست‌های جدید در مواجهه با تغییرات آب‌وهوایی است (Gohar et al., 2015). این روش برای توضیح واکنش تولیدکنندگان نسب به تغییرات اقلیمی و ارزیابی اثرات آن بر کشاورزی در سطح مزرعه و منطقه بسیار مناسب است. بر این اساس، در مطالعهٔ حاضر، با استفاده از رویکرد PMP، به بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر ابعاد کشاورزی در دشت همدان- بهار پرداخته شده است.

آمار و اطلاعات مورد نیاز (داده‌های هواشناسی) شامل مقادیر روزانه بارش، دمای حداقل، حداکثر و ساعت آفتابی ایستگاه سینوپتیک همدان(فرودگاه) طی دوره ۲۰۱۸-۱۹۸۲ از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد؛ همچنین، بخشی از داده‌های کشاورزی و منابع آب از بانک‌های اطلاعاتی شرکت آب منطقه‌ای شهرستان‌های همدان و بهار، سازمان جهاد کشاورزی استان همدان و مرکز آمار ایران و بخشی دیگر نیز از طریق تکمیل پرسشنامه از کشاورزان منطقه در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶جمع‌آوری شد. داده‌های مربوط به کشش قیمتی تقاضا برای محصولات برگرفته از مطالعات مختلف بوده است (Sabouhi and Ahmadpour, 2012; Paroon, 2018). محصولات مورد بررسی شامل هجده محصول بوده که در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶، در دشت همدان- بهار کشت شده‌است. برای تحلیل اطلاعات، از نرم‌افزارهای GAMS و LARS-WG استفاده شد.

نتایج و بحث

برای دستیابی به اهداف مطالعه، ابتدا با استفاده از مدل مولد داده‌های هواشناسی LARSWG، پیش‌بینی و شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک فرودگاه همدان در سناریوهای مختلف اقلیمی برای افق ۲۰۷۰ انجام شد. نتایج مربوط به اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی بارش و دما در سناریوهای خوش‌بینانه B1(سناریوی ۱)، بدبینانه A2 (سناریوی ۲)، خوش‌بینانه RCP2.6 (سناریوی ۳) و بدبینانه RCP8.5 (سناریوی ۴) طی افق ۲۰۷۰ در جدول ۱

حاکی از کاهش بارش و افزایش دمای سالانه در تمامی سناریوها برای افق یادشده است، به‌گونه‌ای که متوسط بارندگی سالانه بر اساس سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، ۶/۷۵، ۱۷/۱۴، ۵/۱۸ و ۱۸/۴۴ درصد نسبت به سال پایه (سال ۲۰۱۸) کاهش خواهد یافت. بیشترین و کمترین کاهش بارندگی، به‌ترتیب، با بیش از هجده و پنج درصد نسبت به سال پایه مربوط به سناریوهای ۴ و ۳ است. بر این اساس، در افق ۲۰۷۰، با مقایسه سناریوهای موسوم به خوش‌بینانه، متغیر بارش در سناریوی ۱ کاهش بیشتری را نسبت به سناریوی ۳ و در سناریوهای موسوم به بدبینانه، سناریوی ۲ کاهش کمتری را نسبت به سناریوی ۴ نشان می‌دهد. این مقایسه نشان می‌دهد که افزایش واداشت تابشی (افزایش گرمایش جهانی) در سناریوهای گزارش پنجم در مقایسه با افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سناریوهای گزارش چهارم دارای اثرات بدبینانه اقلیمی شدیدتری است.

برخلاف بارندگی، تغییرات متوسط دمای سالانه در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، ۸/۳۹، ۱۲/۱۳، ۷/۵ و ۱۳/۶ درصد افزایش نسبت به سال پایه خواهد داشت. بیشترین افزایش دما براساس سناریوهای گزارش چهارم برای سناریو ۲، ۱۲/۱۳ درصد و بر اساس گزارش پنجم برای سناریو ۴، ۱۳/۶ درصد در دوره آتی مشاهده می‌شود. در مقابل کمترین افزایش دما نیز مربوط به دو سناریوی خوش‌بینانه ۱ و ۳، به‌ترتیب، به میزان ۸/۳۹ و ۷/۵ درصد است. بنابراین، با مقایسه تمامی سناریوها، بیشترین افزایش دما در سناریوی ۴ و کمترین افزایش در سناریوی ۳ مشاهده می‌شود. بر اساس نتایج این بخش، می‌توان گفت که دلیل شدت بیشتر تغییرات اقلیمی در سناریوی ۴ نسبت به سناریوی ۲ افزایش غلظت بیشتر CO_2 تا سال ۲۱۰۰ است (۱۳۷۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با ۸۷۵ پی‌پی‌ام). در سناریوهای خوش‌بینانه نیز میزان افزایش غلظت CO_2 در سناریوی ۳ نسبت به سناریوی ۱ کمتر است (۴۹۰ پی‌پی‌ام در مقایسه با ۵۳۸ پی‌پی‌ام).

نتایج جدول ۲ نشان می‌دهد که عملکرد برخی از محصولات از جمله گوجه فرنگی، خیار، هندوانه، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای و هندوانه دیم در هر چهار سناریو افزایش خواهد یافت. بیشترین افزایش عملکرد، به‌ترتیب، مربوط به گوجه‌فرنگی و خیار و کمترین افزایش مربوط به هندوانه دیم و

ذرت علوفه‌ای است. نکته حائز اهمیت افزایش بیشتر این محصولات در سناریوهای بدبینانه نسبت به سناریوهای خوش‌بینانه است. سناریوی ۳ کمترین و سناریوی ۴ بیشترین افزیش عملکرد را برای این محصولات خواهد داشت. در مورد محصول ذرت، وضعیت متفاوت است و سناریوی ۲ کمترین و سناریوی ۱ بیشترین افزایش را نشان می‌دهد، گرچه این میزان افزایش عملکرد خیلی ناچیز است. عمده محصولاتی که افزایش عملکرد یافته‌اند، از محصولات صیفی و جالیزی هستند. این افزایش را می‌توان به نشانهٔ حساسیت عملکرد آنها نسبت به دما و بارندگی دانست که متناسب با سناریوهای مختلف، افزایش دما و کاهش بارندگی موجب افزایش عملکرد آنها می‌شود و در واقع، این دو افزایش همدیگر را تقویت می‌کنند. در این زمینه، نتایج مطالعهٔ حاضر با نتایج پژوهش‌های لوبل و فیلد (Lobell and Field, 2007)، مور و لوبل (Moore and Lobell, 2015)، مدلین- آزوارا و همکاران (Medellín-Azuara et al., 2012)، سلطانی و موسوی (Soltani and Mousavi, 2016) و موسوی و همکاران (Mosavi et al., 2020) مطابقت دارد.

عملکرد سایر محصولات شامل گندم، جو، کلزا، یونجه، عدس، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی و سیر در هر چهار سناریو کاهش نشان می‌دهد. بیشترین کاهش عملکرد در هر دو سناریوی بدبینانه ۲ و ۴ مربوط به محصول جو دیم، به‌ترتیب، با ۶ و ۶/۵ درصد و در دو سناریوی خوش‌بینانه ۱ و ۳ مربوط به نخود آبی، به‌ترتیب، با ۳/۵ و ۳ درصد کاهش است. کمترین کاهش عملکرد در سناریوهای ۲، ۳ و ۴ مربوط به محصول عدس دیم و در سناریوی ۱ مربوط به نخود دیم است. اکثر محصولاتی که با کاهش عملکرد مواجه شده، نسبت به دما و بارندگی، به‌ترتیب، حساسیت منفی و مثبت داشته‌اند. بنابراین، با کاهش بارندگی و افزایش دما، برآیند اثر تغییرات آنها بر عملکرد منفی شده است. افزون بر نتایج یادشده، اثرات تغییر اقلیم در سناریوهای مختلف بر عملکرد محصولات راهبردی گندم، جو، علوفه، سیب‌زمینی و دانه‌های روغنی منجر به کاهش عملکرد آنها شده است. کاهش عملکرد این محصولات می‌تواند در آینده، با کاهش دسترسی به مواد غذایی، امنیت غذایی را به خطر بیندازد.

جدول ۱- درصد تغییرات بارش و دما در سناریوهای مختلف اقلیمی در افق ۲۰۷۰

محصول	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴
بارش	-۶/۷۵	-۱۷/۱۴	-۵/۱۸	-۱۸/۱۴
دما	۸/۳۹	۱۲/۱۳	۷/۵	۱۳/۰۶

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۲- درصد تغییرات عملکرد محصولات در سناریوهای مختلف اقلیمی در افق ۲۰۷۰

محصول	درصد تغییرات عملکرد			
	سناریوی ۱	سناریوی ۲	سناریوی ۳	سناریوی ۴
یونجه	-۰/۸۱	-۲/۰۷	-۰/۶۲	-۲/۲۲
جو	-۲/۳۲	-۴/۶۶	-۱/۹۲	-۵/۰۱
لوبیا	-۲/۸	-۴/۵۱	-۲/۴۵	-۴/۸۵
خیار	۲/۲۸	۴/۲۱	۱/۹۳	۴/۵۳
سیر	-۱/۶۳	-۳/۶۶	-۱/۳۱	-۳/۹۴
ذرت علوفه‌ای	۰/۸۸	۰/۷۸	۰/۸۵	۰/۸۴
نخود	-۳/۴۶	-۵/۵۱	-۳/۰۴	-۵/۹۳
سیب‌زمینی	-۱/۰۵	-۳/۴۱	-۰/۷۲	-۳/۶۷
کلزا	-۱/۲۷	-۱/۶۴	-۱/۱۶	-۱/۷۷
چغندر	۱/۲۱	۲/۷۵	۰/۹۷	۲/۹۵
گوجه‌فرنگی	۲/۸۸	۴/۷۱	۲/۵۲	۵/۰۷
هندوانه	۱/۷	۲/۰۱	۱/۵۷	۲/۱۷
گندم	-۱/۴۴	-۲/۲۹	-۱/۲۶	-۲/۴۶
جو دیم	-۲/۹۷	-۶	-۲/۴۵	-۶/۴۶
عدس دیم	-۰/۴۱	-۰/۴۲	-۰/۳۸	-۰/۴۶
هندوانه دیم	۰/۵۶	۱/۱	۰/۴۶	۱/۱۸
گندم دیم	-۱/۴۵	-۳/۵۵	-۱/۱۲	-۳/۸۲
نخود دیم	-۰/۲۳	-۰/۱۷	-۰/۲۲	-۰/۱۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

پیش از ارائه نتایج شبیه‌سازی و بررسی اثرات سناریوهای تغییر اقلیم بر متغیرهای الگوی پایه، به‌منظور اعتباربخشی به نتایج مدل، ابتدا در جدول ۳، ترکیب الگوی کشت فعلی بر اساس سال پایه ۹۷-۱۳۹۶ و نتایج کالیبراسیون مدل PMP در بازتولید الگوی پایه ارائه شده است. همان‌گونه

که مشاهده می‌شود، مدل توانسته است به‌خوبی بر داده‌های سال پایه تطبیق یابد و الگوی کشت پایه را بازتولید کند.

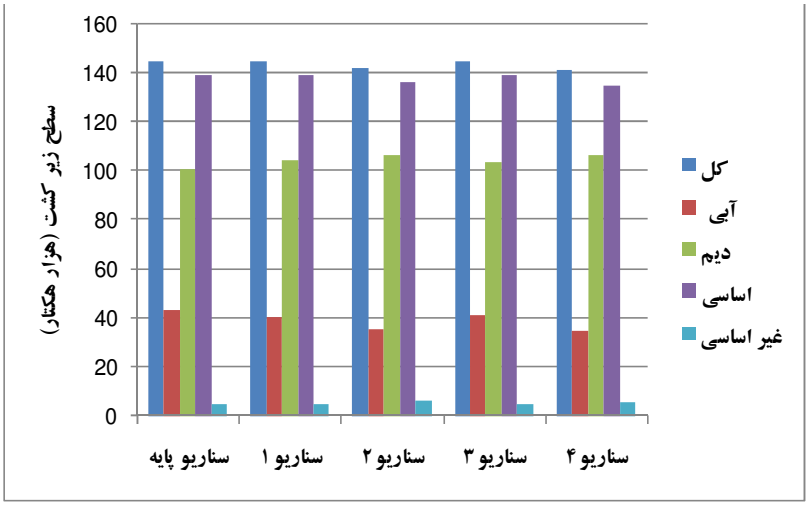
جدول ۳- مقایسه الگوی کشت فعلی (سال پایه ۹۷-۱۳۹۶) و الگوی کشت کالیبره‌شده در مدل PMP

محصول	الگوی کشت (هکتار)	
	فعلی	کالیبره‌شده
یونجه	۸۴۸۲	۸۴۸۱/۱۵
جو	۱۰۳۶۱	۱۰۳۵۵/۱۴
لوبیا	۱۵	۱۴/۹۹۹
خیار	۳۵۷	۳۵۶/۹۶
سیر	۱۹۳۵	۱۹۳۴/۸۱
ذرت علوفه‌ای	۳۰۳	۳۰۲/۹۷
نخود	۶۸	۶۸/۹۹
سیب‌زمینی	۹۶۰۱	۹۶۰۰/۰۴
کلزا	۲۱۶	۲۱۵/۹۸
چغندر	۱۳۲	۱۳۱/۹۹
گوجه‌فرنگی	۱۸	۱۷/۹۹۸
هندوانه	۳۰۱	۳۰۰/۹۷
گندم	۱۳۳۴۱	۱۳۳۳۹/۶۷
جو دیم	۱۵۶۶۰	۱۵۶۵۷/۴۳
عدس دیم	۵۷	۵۶/۹۹
هندوانه دیم	۶	۵/۹۹۹
گندم دیم	۸۲۹۳۵	۸۲۹۲۸/۳۱
نخود دیم	۱۱۳۵	۱۱۳۴/۸۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

در ادامه، با اعمال عملکرد جدید محصولات و همچنین، اعمال محدودیت جدید منابع آب در دسترس در مدل اصلی، اثرات تغییرات اقلیمی در سناریوهای مختلف اقلیمی بر مفاهیمی مهم مانند مصرف آب، سطح زیر کشت محصولات، میزان تولید، سود ناخالص کشاورزان، قیمت محصولات، مازاد مصرف‌کننده، رفاه اقتصادی و در نهایت، بر امنیت غذایی شبیه‌سازی و بررسی شد. بر اساس نمودار ۲، سطح زیر کشت کل محصولات آبی و دیم در سناریوی پایه، به‌ترتیب،

بیش از ۴۵ و ۹۹ هزار هکتار است. چنانچه وضعیت اقلیمی مطابق سناریوهای اقلیمی ۱، ۲، ۳ و ۴ در افق ۲۰۷۰ بر دشت همدان- بهار حاکم شود، کل سطح زیر کشت آبی نسبت به شرایط پایه، به‌ترتیب، ۴۶۳۳، ۹۲۶۵، ۳۹۰۴ و ۱۰۳۶۳ هکتار کاهش و کل سطح زیر کشت دیم، به‌ترتیب، ۴۶۳۳، ۶۶۷۵، ۳۹۰۴ و ۶۶۷۵ هکتار افزایش خواهد یافت. علی‌رغم این تغییرات، سطح زیر کشت کل در سناریوهای خوش‌بینانه ۱ و ۳ ثابت مانده، اما در سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴ به‌ترتیب ۲۵۹۰ و ۳۶۸۸ هکتار کاهش یافته است. به‌طور کلی، این تغییر در الگوی محصولات دیم و آبی نتیجه کاهش در منابع آب در دسترس در سناریوهای اقلیمی است که با توجه به نیاز آبی محصولات آبی، این جایگزینی صورت پذیرفته و بخشی از زمین‌های کشت آبی به‌صورت دیم کشت می‌شود و منجر به افزایش سطح زیر کشت دیم خواهد شد. البته بررسی روند تغییر سطح زیر کشت آبی و دیم محصولات طی سال‌های گذشته (۱۳۹۷-۱۳۹۰) در منطقه مورد مطالعه نیز این نتایج را تأیید می‌کند.



نمودار ۲- آثار سناریوهای تغییر اقلیم بر سطح زیر کشت در دشت همدان- بهار در افق ۲۰۷۰

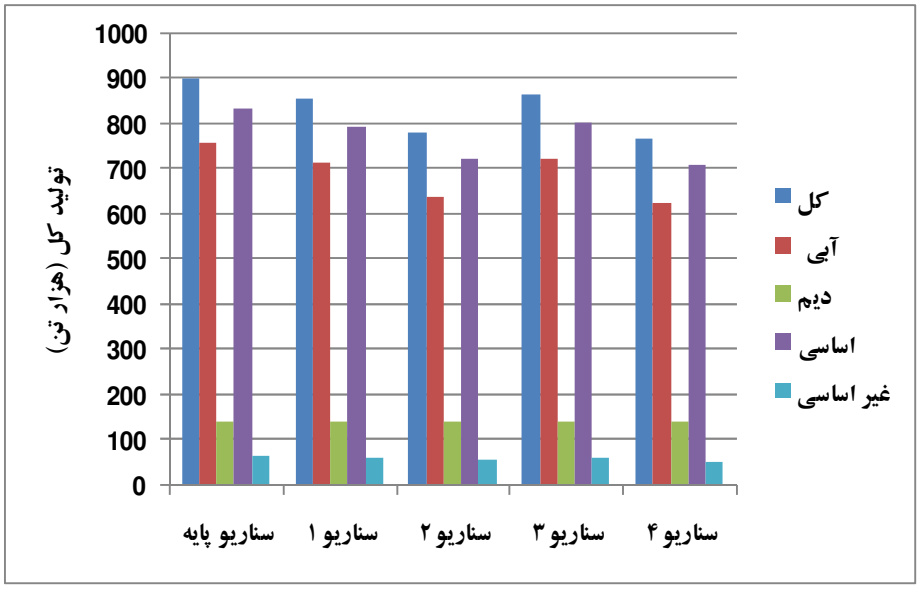
افزون بر نتایج یادشده، نمودار ۲ بیانگر تغییرات سطح زیر کشت محصولات راهبردی (اساسی) و غیرراهبردی (غیراساسی) در سناریوهای اقلیمی است. در سناریوی پایه، از ۱۴۵ هزار هکتار سطح زیر کشت کل، حدود ۱۴۱ هزار هکتار به کشت محصولات راهبردی و حدود چهار هزار هکتار آن به محصولات غیرراهبردی اختصاص دارد. این مسئله، اهمیت و نقش مهم محصولات غذایی اساسی را در منطقه مورد مطالعه و همین‌طور، در درآمد کشاورزان نمایان می‌سازد. با اعمال سناریوهای اقلیمی، سطح زیر کشت محصولات راهبردی در سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴ با شدت بیشتر نسبت به سناریوهای خوش‌بینانه ۱ و ۳ کاهش و سطح زیر کشت محصولات غیرراهبردی افزایش خواهد یافت. بر اساس شاخص سطح زیر کشت محصولات راهبردی در افق ۲۰۷۰، امنیت غذایی نسبت به شرایط سال پایه کاهش خواهد یافت.

طبق نمودار ۳، حجم تولید کل محصولات در دشت همدان- بهار در دوره آتی در سناریوهای اقلیمی کاهش خواهد یافت، به‌گونه‌ای که در سناریوی بدبینانه ۴ با بیشترین میزان کاهش، مقدار تولید کل از ۹۰۲ هزار تن در الگوی پایه به ۷۶۷ هزار تن و در سناریوی خوش‌بینانه ۳، با کمترین میزان کاهش، به ۸۶۸ هزار تن کاهش خواهد یافت. این مقدار کاهش در تولید به‌ویژه در سناریوهای خوش‌بینانه ۱ و ۳ که سطح زیر کشت کل ثابت مانده، قابل تأمل است. این مسئله خاطرنشان می‌کند که جایگزینی محصولات دیم به‌جای محصولات آبی و افزایش سطح زیر کشت آنها حتی با وجود ثابت ماندن سطح زیر کشت کل، نتوانسته اثرات سوء تغییرات اقلیم را در این سناریوها جبران کند. روند کاهشی مشابه در مقدار تولید کل محصولات آبی در سناریوهای اقلیمی قابل مشاهده است. اما مقدار تولید کل محصولات دیم، علی‌رغم افزایش سطح زیر کشت آنها، تنها در سناریوهای ۱ و ۳ افزایش جزئی داشته و در سناریوهای ۲ و ۴ با کاهش جزئی مواجه شده است. بنابراین، برآیند تغییرات حجم تولید محصولات دیم و آبی حکایت از چیره شدن کاهش در تولید کل محصولات دارد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان دلیل عدم توانایی محصولات دیم افزایش‌یافته در جبران و خنثی کردن کاهش تولید کل محصولات

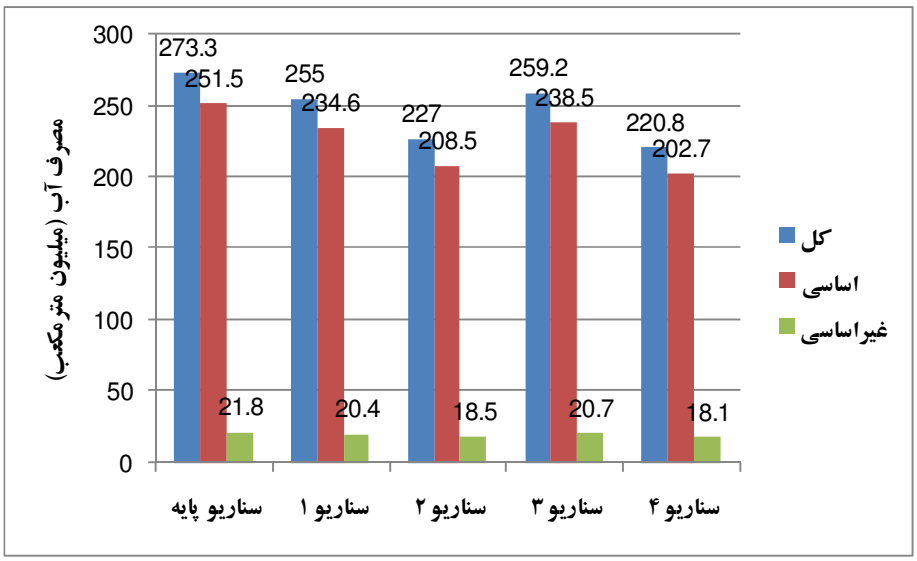
ناشی از تغییرات اقلیمی را از یک سو، کمتر بودن عملکرد محصولات دیم نسبت به محصولات آبی و از سوی دیگر، کاهش عملکرد آنها در سناریوهای اقلیمی بیان کرد.

با توجه به نمودار ۳، از ۹۰۲ هزار تن تولید کل محصولات در سال پایه، ۸۳۴ هزار تن آن محصولات راهبردی است. با وقوع تغییرات اقلیمی، تولید کل محصولات راهبردی به تبع کاهش سطح زیر کشت و عملکرد آنها، روند کاهشی نشان می‌دهد. طبق نمودار ۳، روند کاهش تولید محصولات راهبردی مشابه روند کاهشی تولید کل محصولات در سناریوهای مختلف است. بر این اساس، در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، ۳۹، ۱۰۸، ۳۰ و ۱۲۱ هزار تن کاهش در تولید کل محصولات راهبردی برای افق ۲۰۷۰ اتفاق خواهد افتاد. تولید کل محصولات غیرراهبردی نیز در سناریوهای مختلف کاهش جزئی نشان می‌دهد. به‌طورکلی، تغییرات اقلیمی منجر به کاهش کل تولیدات و همین‌طور، تولید محصولات تأمین‌کنندهٔ امنیت غذایی (راهبردی) خواهد شد. بر این اساس، عرضه محصولات کشاورزی و مواد غذایی در تأثیر تغییرات اقلیمی کاهش خواهد یافت، که این کاهش در سناریوهای بدبینانه شدیدتر خواهد بود. بنابراین، طبق شاخص تولید در دشت همدان- بهار، وقوع تغییرات اقلیمی در آینده برخی از ابعاد امنیت غذایی از جمله در دسترس بودن و ثبات و پایداری عرضه مواد غذایی را تهدید خواهد کرد.

نمودار ۴ نشان می‌دهد که وقوع تغییرات اقلیمی در آینده کاهش در منابع آب و دسترسی به آب را در پی خواهد داشت. بر این اساس، میزان آب مصرفی برای کل محصولات در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، ۱۸/۳، ۴۶/۲، ۱۴ و ۵۲/۵ میلیون مترمکعب و برای کل محصولات راهبردی، به‌ترتیب، ۱۶/۹، ۴۳، ۱۳ و ۴۸/۹ میلیون مترمکعب با کاهش مواجه خواهد شد. بنابراین، تأثیر اصلی تغییرات اقلیمی بر منابع آب و میزان دسترسی به آب است و به تبع آن، همان‌گونه که در نمودار ۲ ملاحظه شد، موجب تغییر در توزیع مجدد زمین می‌شود.



نمودار ۳- آثار سناریو های تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی در دشت همدان- بهار در افق ۲۰۷۰



نمودار ۴- آثار سناریو های تغییر اقلیم بر مصرف آب کشاورزی در دشت همدان- بهار در افق ۲۰۷۰

امنیت غذایی و رفاه اقتصادی

در بخش قبل، به بررسی شاخص‌های سطح زیر کشت، تولید کل و مصرف آب پرداخته شد. در این بخش، از نتایج به‌دست‌آمده برای بررسی آثار تغییر اقلیم بر امنیت غذایی و رفاه اقتصادی، از شاخص‌های قیمت موادغذایی، مازاد مصرف‌کننده، درآمد خالص تولیدکننده و رفاه اقتصادی (مجموع سود خالص مزرعه + مازاد مصرف‌کننده) استفاده شده است. در جدول ۴، نتایج تأثیر سناریوهای اقلیمی بر قیمت محصولات آمده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، تغییر در شرایط اقلیمی و به تبع آن، تغییر در عرضه آب، تغییراتی را به صورت افزایش در قیمت همه محصولات تحت سناریوهای مختلف ایجاد خواهد کرد. تحت شرایط تغییر اقلیم بر اساس نتایج پیش‌گفته، تغییر عملکردها و تغییر سطوح زیر کشت، تغییر در تولید را با برآیند کاهش کل تولید محصولات کشاورزی رقم خواهد زد. این کاهش تولید موجب کاهش عرضه و در نهایت، سبب افزایش قیمت تمامی محصولات کشاورزی کشت‌شده در دشت همدان- بهار در افق ۲۰۷۰ خواهد شد (جدول ۴). برای نمونه، قیمت گندم به‌عنوان یک محصول راهبردی در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، با افزایش ۱۵۱۰، ۲۱۱۰، ۱۴۱۰ و ۲۴۶۰ تومانی نسبت به سال پایه مواجه خواهد شد. این نکته قابل ذکر است که در این برآورد، تنها اثرات تغییر در عرضه محصولات (تولید داخلی محصولات) ناشی از تغییرات اقلیمی مد نظر قرار گرفته و تاثیر سایر عوامل در نظر گرفته نشده است. به دیگر سخن، اثرات عواملی چون واردات و تورم بر قیمت‌ها لحاظ نشده است. این افزایش قیمت‌ها هر چند ممکن است موجب افزایش درآمد کشاورزان شود، اما بدون شک، به تحمیل فشار بر مصرف‌کنندگان با کاهش مازاد مصرف‌کننده و رفاه مصرف‌کنندگان خواهد انجامید و امنیت غذایی آنها را به‌طور جدی تهدید خواهد کرد.

جدول ۴- تغییر در قیمت هر محصول در سناریوهای اقلیمی در دشت همدان- بهار (تومان)

محصول	قیمت پایه	سناریو			
		۱	۲	۳	۴
یونجه	۱۱۱۰	۱۲۸۰	۱۸۲۰	۱۲۱۰	۱۹۳۰
جو	۱۲۱۰	۱۴۰۰	۱۹۱۰	۱۳۱۰	۲۰۶۰
لوبیا	۵۱۲۰	۶۹۹۰	۱۱۳۱۰	۶۴۶۰	۱۲۱۸۰
خیار	۲۵۲۰	۵۶۸۰	۵۷۶۰	۵۶۷۰	۵۷۸۰
سیر	۲۹۶۰	۵۲۲۰	۵۳۷۰	۵۲۰۰	۵۴۰۰
ذرت علوفه‌ای	۲۶۰	۳۵۰	۴۱۰	۳۴۰	۴۲۰
نخود	۴۶۲۰	۶۹۴۰	۹۱۵۰	۶۵۷۰	۹۷۴۰
سیب‌زمینی	۱۲۲۰	۲۴۸۰	۲۵۳۰	۲۴۷۰	۲۵۴۰
کلزا	۳۴۹۰	۵۶۴۰	۶۶۴۰	۵۴۴۰	۶۹۷۰
چغندر	۳۷۰	۲۷۰	۳۶۰	۲۶۰	۳۶۰
گوجه‌فرنگی	۱۸۴۰	۶۴۳۰	۶۷۰۰	۶۴۰۰	۶۷۶۰
هندوانه	۶۹۰	۱۲۶۰	۱۴۰۰	۱۲۴۰	۱۴۳۰
گندم	۱۳۰۰	۱۵۱۰	۲۱۱۰	۱۴۱۰	۲۲۶۰

مأخذ: یافته‌های پژوهش

علی‌رغم افزایش قیمت تمامی محصولات در تمام سناریوهای تغییر اقلیم، درآمد خالص کشاورزان برای برخی محصولات از جمله خیار، هندوانه، گوجه‌فرنگی و چغندرقند با کاهش مواجه شده ، که این کاهش در سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴ شدیدتر است (جدول ۵). نکته حائز اهمیت این است که تنها تغییرات عملکرد این چهار محصول در تمامی سناریوهای اقلیمی مثبت بوده، اما این افزایش عملکرد همراه با افزایش قیمت نتوانسته اثرات کاهش سطح زیر کشت و کاهش مقدار تولید را برای محصولات جبران کند. بنابراین، دلیل کاهش درآمد کشاورزان در محصولات یادشده را می‌توان افزایش هزینه‌های تولید بر اثر تغییرات اقلیمی دانست. اما در مورد سایر محصولات، علی‌رغم کاهش عملکرد آنها تحت تاثیر تغییرات اقلیمی، افزایش قیمت‌های آنها موجب خنثی شدن اثرات کاهش سطح زیر کشت و تولید شده و در نهایت، درآمد خالص

مزرعه در سناریوهای تغییر اقلیم افزایش یافته است. دلیل این افزایش درآمد نیز بی‌کشش بودن تقاضای این محصولات و کمتر بودن درصد کاهش تولید در مقایسه با درصد افزایش قیمت آن محصولات است. بنابراین، با فرض تداوم تغییر اقلیم، کاهش مداوم عملکرد محصولات باعث کاهش عرضه کل محصولات خواهد شد، که به قیمت‌های بسیار بالاتر و در نتیجه، درآمد خالص اضافی برای کشاورزان خواهد انجامید. در این میان، می‌توان به محصولات یونجه، گندم، جو، سیب‌زمینی، ذرت و سیر اشاره کرد که از محصولات راهبردی به‌شمار می‌روند و با داشتن سهم زیادی از سطح زیر کشت منطقه، در ایجاد درآمد نیز نقش بالایی دارند.

جدول ۵- تغییر در درآمد خالص تولیدکننده در سناریوهای اقلیمی در دشت همدان- بهار

(میلیون تومان)

محصول	سناریو			
	۱	۲	۳	۴
یونجه	۱۵۴۰۴	۳۱۷۲۶	۱۲۲۱۳	۳۳۵۲۶
جو	۸۵۲۹	۱۵۱۳۲	۶۹۸۲	۱۶۲۴۱
لوبیا	۱۹	۱۸	۱۶	۱۱
خیار	-۶۳	-۲۳۳	-۴۷	-۲۷۶
سیر	۱۳۴	۳۰۰	۱۰۴	۳۲۳
ذرت علوفه‌ای	۱۸۰	۳۸۴	۱۴۱	۴۱۶
نخود	۹۷	۲۷۰	۸۲	۲۵۰
سیب‌زمینی	۱۳۸۳	۴۰۳۶	۱۰۴۸	۴۵۹۵
کلزا	۶۸	۷۴	۵۸	۵۸
چغندر	-۴۶۶	-۱۳۳۲	-۳۴۲	-۱۳۳۲
گوجه‌فرنگی	-۳۰	-۱۲۲	-۲۳	-۱۴۱
هندوانه	۸	-۱۱۱	۱۰	-۱۵۹
گندم	۵۴۵۰	۱۳۹۲۳	۴۰۹۹	۱۵۳۰۴

مأخذ: یافته‌های پژوهش

مازاد مصرف‌کننده روی دیگری از سکه تحلیل رفاه اقتصادی است و انتظار است که در مقایسه با درآمد مزرعه، روندی معکوس داشته باشد. ادغام درآمد مزرعه و مازاد مصرف‌کننده

از این طریق ماهیت رقابتی بین تمایل و منافع مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان را نشان می‌دهد. طبق جدول ۶، در سناریوی خوش‌بینانه ۳ تغییراقلیم، کاهش کمتری در رفاه مصرف‌کنندگان در نتیجه افزایش قیمت‌ها اتفاق می‌افتد. با این حال، بیشترین کاهش رفاه مصرف‌کننده طی این سناریو مربوط به محصول یونجه (با ۲۲۸۷۷ میلیون تومان) است و سپس، جو، گندم و سیب‌زمینی در رتبه‌های بعدی قرار دارند. از سوی دیگر، سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴ تغییر اقلیم، از طریق قیمت‌های بالاتر و در دسترس بودن کمتر مواد غذایی، بر مصرف‌کنندگان تأثیر منفی می‌گذارند. برخی از محصولات زراعی که به درآمد خالص بالاتر مزرعه کمک می‌کنند، اکنون می‌توانند سبب کاهش مازاد مصرف‌کنندگان شوند. کاهش در مازاد مصرف‌کنندگان در سناریوی ۱ نسبت به سناریوهای ۲ و ۴ کمتر و نسبت به سناریوی ۳ بیشتر است. به‌طور کلی، برای اکثر محصولات، مازاد مصرف‌کننده به‌ترتیب در سناریوهای ۴، ۲، ۱ و ۳ بیشترین کاهش را نشان می‌دهد. توجه به این نکته حائز اهمیت است که در کلیه سناریوهای اقلیمی، برای بیشتر محصولات زراعی به‌جز نخود، میزان کاهش مازاد مصرف‌کننده بزرگ‌تر از افزایش درآمد مزرعه است. نکته حائز اهمیت دیگر آن است که بیشترین کاهش مازاد مصرف‌کننده در تمامی سناریوها مربوط به محصولات راهبردی است که امنیت غذایی را تأمین می‌کنند.

در تحلیل حاضر، درآمد خالص تولیدکننده به‌عنوان شاخصی از رفاه تولیدکننده، مازاد مصرف‌کننده به‌عنوان شاخصی از رفاه مصرف‌کننده و در نهایت، مجموع این دو شاخص به‌عنوان رفاه اقتصادی در نظر گرفته می‌شود. بر اساس نتایج جدول ۷، درآمد خالص کل تولیدکننده در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، ۳۱، ۶۴، ۲۴ و ۶۹ میلیارد تومان افزایش را در افق ۲۰۷۰ تجربه خواهد کرد. کمترین و بیشترین افزایش، به‌ترتیب، مربوط به سناریوهای ۳ و ۴ خواهد بود. افزون بر این، میزان افزایش درآمد در سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴ بیش از دو برابر سناریوهای خوش‌بینانه است. در این دو سناریو، علی‌رغم کاهش بیشتر در میزان بارش‌ها و افزایش بیشتر در دما و از این‌رو، کاهش بیشتر عرضه محصولات کشاورزی، تولیدکنندگان در وضعیت رفاهی بهتری نسبت به شرایط عادی و حتی نسبت به دو سناریوی دیگر قرار خواهند گرفت. دلیل آن را می‌توان در کنار کشش‌ناپذیری تقاضا برای اکثر محصولات زراعی، افزایش بیشتر درصد تغییر قیمت‌ها در مقایسه

با درصد تغییر تولید محصولات زراعی دانست که با غلبه بر کاهش عملکرد و سطح زیر کشت ناشی از تغییرات آب‌وهوا، درآمد بیشتری را نصیب تولیدکنندگان خواهد کرد. از سوی دیگر، تغییرات درآمد خالص مزرعه با تغییرپذیری در معیشت مصرف‌کننده مرتبط است. نتایج مازاد کل مصرف‌کنندگان بیانگر کاهش در تمامی سناریوهای اقلیمی است (جدول ۷)؛ اما میزان کاهش آن در سناریوهای خوش‌بینانه بسیار کمتر از سناریوهای بدبینانه است، به‌گونه‌ای که در سناریوهای خوش‌بینانه ۱ و ۳، رفاه کل مصرف‌کننده، به‌ترتیب، ۶۵ و ۵۰ و در سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴، به‌ترتیب، ۱۷۱ و ۱۹۵ میلیارد تومان کاهش را در افق ۲۰۷۰ تجربه خواهد کرد. بنابراین، در سناریوهای بدبینانه، کل زیان رفاهی مصرف‌کننده نسبت به سناریوهای خوش‌بینانه افزایش یافته است. بر این اساس، حتی با تغییرات ملایم و خوش‌بینانه آب‌وهوا، رفاه مصرف‌کننده و به تبع آن، امنیت غذایی آنها تهدید خواهد شد؛ قطعاً دلیل اصلی این جریان، کاهش عرضه مواد غذایی و افزایش قیمت‌ها خواهد بود که در پی تغییرات اقلیم، رخ خواهد داد. افزون بر نتایج یادشده، نتایج رفاه اقتصادی در جدول ۷ مشابه رفاه مصرف‌کننده در تمامی سناریوها کاهش را نشان می‌دهد. در سناریوهای بدبینانه، کل زیان رفاه اقتصادی نسبت به سناریوهای خوش‌بینانه افزایش یافته و عمده آن هم متوجه مصرف‌کنندگان خواهد بود؛ دلیل این کاهش چیره شدن میزان کاهش رفاه مصرف‌کننده بر افزایش درآمد خالص تولیدکننده است. بنابراین، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، در صورت وقوع تغییرات اقلیمی در افق آتی، ابتدا مصرف‌کنندگان در مقایسه با تولیدکنندگان متضرر می‌شوند و سپس، رفاه کل جامعه کاهش می‌یابد. نتایج برخی مطالعات مانند آتاوانیچ و مک‌کارل (Attavanich and McCarl, 2011)، خلیلیان و همکاران (Khalilian et al., 2014)، گهر و کاشمان (Gohar and Cashman, 2016)، استوانوویچ و همکاران (Stevanović et al., 2016)، مور و همکاران (Moore et al., 2017) و کالوین و همکاران (Calvin et al., 2020) نیز مؤید نتایج یادشده است.

جدول ۶- تغییر در مازاد مصرف‌کننده در سناریوهای اقلیمی در دشت همدان- بهار (میلیون تومان)

محصول	سناریو			
	۱	۲	۳	۴
یونجه	-۲۹۵۴۰	-۷۴۸۵۷	-۲۲۸۷۷	-۸۳۳۰۹
جو	-۱۷۴۸۸	-۳۵۰۶۹	-۱۴۲۶۵	-۳۹۶۱۶
لوبیا	-۵۵	-۱۳۹	-۴۲	-۱۵۳
خیار	-۱۹۷	-۶۶۱	-۱۴۷	-۷۶۹
سیر	-۱۱۵۶	-۳۴۵۷	-۸۶۷	-۴۰۳۷
ذرت علوفه‌ای	-۵۰۸	-۱۳۰۲	-۳۸۸	-۱۴۸۳
نخود	-۶۶	۳۳۴	-۴۴	۲۸۸
سیب‌زمینی	-۶۴۲۸	-۲۰۶۷۸	-۴۸۱۲	-۲۴۰۶۸
کلزا	-۳۷۱	-۷۷۱	-۲۸۶	-۸۹۲
چغندر	-۲۸۷	-۵۲۵	-۲۲۹	-۵۲۵
گوجه‌فرنگی	-۲۷	-۹۹	-۲۰	-۱۱۲
هندوانه	-۵۹۵	-۱۶۶۹	-۴۵۲	-۱۹۰۵
گندم	-۸۳۴۳	-۳۲۴۲۰	-۵۶۰۸	-۳۸۸۰۷

مأخذ: یافته‌های پژوهش

جدول ۷- مازاد کل مصرف‌کننده، درآمد خالص کل تولیدکننده و رفاه اقتصادی کل در سناریوهای اقلیمی در دشت همدان- بهار (میلیارد تومان)

سناریو	پایه	۱	۲	۳	۴
درآمد تولیدکننده	۱۸۴۶/۲	۱۸۷۶/۹	۱۹۱۰/۳	۱۸۷۰/۵	۱۹۱۵
مقدار تغییر	-	۳۰/۷	۶۴/۱	۲۴/۳	۶۸/۹
درصد تغییر	-	۱/۷	۳/۵	۱/۳	۳/۷
مازاد مصرف‌کننده	۱۳۶۵	۱۲۹۹/۹	۱۱۹۳/۷	۱۳۱۴/۹	۱۱۶۹/۶
مقدار تغییر	-	-۶۵/۱	-۱۷۱/۳	-۵۰	-۱۹۵/۴
درصد تغییر	-	-۴/۸	-۱۲/۵	-۳/۷	-۱۴/۳
رفاه اقتصادی	۳۲۱۱/۱	۳۱۷۶/۸	۳۱۰۳/۹	۳۱۸۵/۴	۳۰۸۴/۶
مقدار تغییر	-	-۳۴/۳	-۱۰۷/۲	-۲۵/۷	-۱۲۶/۵
درصد تغییر	-	-۱/۱	-۳/۳	-۰/۸	-۳/۹

مأخذ: یافته‌های پژوهش

راهبرد بهبود راندمان آبیاری

به‌منظور بررسی مساعدت اقدامات سازگاری برای کاهش اثرات تغییراقلیم، راهبرد تطبیقی بهبود راندمان آبیاری استفاده شد. برای به‌کار گیری این راهبرد، راندمان آبیاری به میزان ده درصد در مدلPMP افزایش یافت و مجدداً مدل در سناریوهای مختلف تغییر اقلیم حل شد. نتایج شبیه‌سازی این راهبرد در جدول ۸ نشان می‌دهد که همگام با وقوع پدیده تغییراقلیم، بهبود راندمان آبیاری به میزان ده درصد می‌تواند اثرات منفی تغییرات اقلیم را در تمامی سناریوها کاهش دهد، به‌گونه‌ای که در سناریوهای خوش‌بینانه ۱ و ۳، تغییرات منفی در رفاه مصرف‌کننده و رفاه اقتصادی کل نه‌تنها خنثی بلکه مثبت نیز شده است، اما در سناریوهای بدبینانه ۲ و ۴، بهبود ده درصد راندمان آبیاری، علی‌رغم افزایش رفاه مصرف‌کننده و رفاه اقتصادی نسبت به قبل، تنها بخشی از اثرات منفی تغییر اقلیم را کاهش داده است. افزون بر این، بهبود راندمان آبیاری موجب تعدیل افزایش درآمد تولیدکننده نسبت به قبل شده و در سناریوهای ۱و ۳، به‌ترتیب، افزایش ۱/۷ و ۱/۳ درصدی ناشی از تغییر اقلیم را به کاهش ۰/۸ و ۱/۳ درصدی و در سناریوهای ۲ و ۴، افزایش ۳/۵ و ۳/۷ درصدی را به افزایش ۲/۱ و ۲/۶ درصد موجب شده است. بنابراین، به‌کارگیری این راهبرد، با افزایش عملکرد و صرفه‌جویی در مصرف آب، موجب افزایش تولید نسبت به شرایط تغییر اقلیم خواهد شد و متعاقب آن، موجب تعدیل افزایش قیمت محصولات ناشی از تغییرات اقلیمی می‌شود، که به کاهش درآمد کشاورزان نسبت به قبل خواهد انجامید. نکته مهم در پی وقوع این تغییرات، بهبود رفاه مصرف‌کنندگان، رفاه اقتصادی جامعه و در نهایت، بهبود امنیت غذایی جامعه است. به‌منظور بررسی بهتر نقش راهبرد سازگاری راندمان آبیاری در حذف اثرات منفی تغییر اقلیم، تحلیل حساسیت نرخ راندمان آبیاری صورت گرفت که بر پایهٔ نتایج آن در سطر آخر جدول ۶، اگر در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴، به‌ترتیب، ۴/۷، ۲۰/۸، ۵/۵ و ۲۴/۱ درصد بهبود در راندمان آبیاری رخ دهد، اثرات تغییر اقلیم به‌طور کامل خنثی خواهد شد. به دیگر سخن، علی‌رغم وقوع تغییرات اقلیمی و کاهش منابع آبی، منافع جامعه در افق ۲۰۷۰ نسبت به حال تثبیت خواهد شد.

جدول ۸- درصد تغییر مازاد مصرف‌کننده، درآمد خالص تولیدکننده و رفاه اقتصادی کل پس از بهبود راندمان آبیاری (ده درصد) و نرخ سربه‌سر راندمان آبیاری در سناریوهای اقلیمی

سناریو	پایه	۱	۲	۳	۴
درآمد تولیدکننده	۱۸۴۶/۲	-۰/۸	۲/۱	-۱/۳	۲/۶
مازاد مصرف‌کننده	۱۳۶۵	۱/۹	-۶/۲	۳/۱	-۸/۱
رفاه اقتصادی	۳۲۱۱/۱	۰/۳	-۱/۵	۰/۶	-۲
نرخ سربه‌سر	-	۴/۷	۲۰/۸	۵/۵	۲۴/۱

مأخذ: یافته‌های پژوهش

نتیجه گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف تحلیل و ارزیابی پیامدهای رفاهی و امنیت غذایی تغییرات اقلیم در دشت همدان- بهار در سناریوهای ۱، ۲، ۳ و ۴ (به‌ترتیب، B1، A2، RCP2.6 و RCP8.5) در افق ۲۰۷۰ طرح‌ریزی شد. بر پایهٔ نتایج به‌دست‌آمده، تغییرات اقلیمی در افق ۲۰۷۰ موجب کاهش بارش و افزایش دمای سالانه خواهد شد که این تغییر به‌طور بالقوه، بسته به علامت و مقدار کشش عملکرد محصولات نسبت به دما و بارش، در برخی محصولات (مانند گوجه‌فرنگی، خیار، هندوانه، چغندرقند، ذرت علوفه‌ای و هندوانه دیم) موجب افزایش عملکرد و در برخی محصولات (مانند گندم، جو، کلزا، یونجه، عدس، نخود، لوبیا، سیب‌زمینی و سیر) موجب کاهش عملکرد در هر چهار سناریو خواهد شد. همچنین، نتایج بیانگر کاهش سطح زیر کشت و حجم تولید محصولات آبی و محصولات راهبردی در تمامی سناریوها به‌ویژه در سناریوهای بدبینانه است.

به‌طور کلی، تغییرات اقلیمی اثرات مهمی بر دسترسی به آب، قیمت‌ها، رفاه مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و رفاه اقتصادی دارد. تغییر اقلیم با کاهش دسترسی به آب و کاهش عملکرد، موجب کاهش تولید و افزاش قیمت مواد غذایی خواهد شد. قیمت‌های بالاتر، از یک سو، با کاهش قدرت خرید، مصرف‌کنندگان مواد غذایی را در سطوح پایین‌تری از مصرف قرار می‌دهد و با توجه به کشش‌ناپذیری تقاضا برای اکثر کالاهای کشاورزی نسبت به

قیمت، کاهش در عرضه با افزایش قیمت بیشتری همراه خواهد شد که اثرات نامطلوبی بر مازاد مصرف‌کننده به‌ویژه در سناریوهای ۲ و۴ ایجاد می‌کند و از سوی دیگر، فرصت افزایش درآمد مزرعه را برای اکثر تولیدکنندگان مواد غذایی بسته به نوع محصول تولیدشده فراهم می‌کند. بر این اساس، حتی با تغییرات ملایم و خوش‌بینانه آب‌وهوا، رفاه مصرف‌کننده و به تبع آن، امنیت غذایی کاهش می‌یابد. بخشی از این زیان رفاهی مصرف‌کنندگان توسط منافع افزایش‌یافتهٔ تولیدکنندگان جبران خواهد شد، اما به‌دلیل چیره شدن میزان کاهش رفاه مصرف‌کننده بر افزایش درآمد تولیدکننده، جبران کامل این زیان میسر نخواهد شد. با این تفاسیر، رفاه اقتصادی کل در تمامی سناریوها مسیر کاهشی را در پیش خواهد گرفت و عمده این کاهش هم متوجه مصرف‌کنندگان خواهد بود. در حالی که قیمت‌های بالاتر محصولات زراعی و مواد غذایی باعث افزایش درآمد مزرعه و کاهش مازاد مصرف‌کننده می‌شود، افزایش مازاد مصرف‌کننده نیاز به پایین آمدن قیمت آن محصولات دارد. بنابراین، تا حدی، یک تضاد سنتی (کلاسیک) بین درآمد مزرعه و امنیت غذایی وجود دارد که افزایش یکی منجر به کاهش دیگری خواهد شد و برعکس.

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، پیشنهاد می‌شود که اقدامات لازم برای سرمایه‌گذاری و توسعه نظام‌های نوین آبیاری در راستای بهبود راندمان آبیاری و تطبیق با شرایط تغییر اقلیم توسط کشاورزان در سال‌های آینده انجام گیرد. قطعاً این‌گونه سرمایه‌گذاری‌ها نیازمند اقدامات متعدد در مزارع است که چه‌بسا هزینه‌هایی را به کشاورزان تحمیل کند. از این‌رو، برای جبران هزینه‌های تحمیلی به کشاورزان، حمایت دولت به‌صورت تسریع در پرداخت تسهیلات ارزان و کمک‌های بلاعوض ضروری است که از این رهگذر، ضمن حمایت از تولید، رفاه مصرف‌کنندگان و رفاه کل جامعه نیز بهبود خواهد یافت.

افزون بر این، پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، برای تطبیق با شرایط تغییر اقلیم، راهبردهای دیگری مانند روش‌های کم‌آبیاری، فناوری‌های بذر اصلاح‌شده و پربازده نیز ارزیابی شود. همچنین، در مطالعهٔ حاضر، به‌دلیل محدودیت دسترسی به اطلاعات لازم و محدودیت زمان و گستردگی حوزهٔ مورد بررسی، تنها به تقاضای آب کشاورزی پرداخته شد و تقاضای آب برای

مصارف دیگر (شرب و صنعت) از منابع آب زیرزمینی آبخوان دشت همدان- بهار مغفول مانده است. از این‌رو، توصیه می‌شود که در مطالعات آتی، با در نظر گرفتن رشد سالانه جمعیت، تقاضای پویای آب برای مصارف یادشده نیز به مدل مطالعه حاضر اضافه و سپس، اثرات تغییرات اقلیمی بر رفاه، امنیت غذایی و منابع آب بررسی شود.

منابع

1. Al-Hasan, A.A.S. and Mattar, Y.E.S. (2013). Mean runoff coefficient estimation for ungauged streams in the Kingdom of Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, 7: 2019-2029.
2. Alcamo J., Dronin N., Endejan M. and Kirilenko A.P. 2007. A new assessment of climate change impacts on food production shortfalls and water availability in Russia. *Global Environmental Change*, 17(3-4): 429-444.
3. Amiri, M.J., Karbasi, A.R., Zoghi, M. and Sadat, M. (2015). Detection of climate changes by mann-kendall analysis and drought indexes (case study: Agh Gol wetland). *Journal of Environmental Studies*, 41(3): 545-561. DOI: 10.22059/jes.2015.55896. (Persian)
4. Attavanich, W. and McCarl, B.A. (2011). The effect of climate change, CO_2 fertilization, and crop production technology on crop yields and its economic implications on market outcomes and welfare distribution. Selected Paper prepared for presentation at the Agricultural & Applied Economics Association's 2011 AAEA & NAREA Joint Annual Meeting, Pittsburgh, Pennsylvania, July 24-26, 2011.
5. Barani, N. and Karami, A. (2019). The impacts of climate change on total agronomical production in tenfold agro-ecological zones of Iran. *Journal of Agricultural Economics and Development*, 33(1): 95-107. (Persian)
6. Calvin, K., Mignone, B.K., Kheshgi, H.S., Snyder, A.C., Patel, P., Wise, M., . . . Edmonds, J.A.E. (2020). Global market and economic welfare implications of changes in agricultural yields due to climate change. Climate *Change Economics*, 11(01): 2050005. DOI: 10.1142/S2010007820500050.
7. Chang, C.-C. (2002). The potential impact of climate change on Taiwan's agriculture. *Agricultural Economics*, 27: 51-64. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2002.tb00104.x
8. Cortignani, R. and Severini, S. (2009). Modeling farm-level adoption of deficit irrigation using Positive Mathematical Programming. *Agricultural Water Management*, 96(12): 1785-1791.

9. Feola, G., Lerner, A., Jain, M., Montefrio, M.J. and Nicholas, K. (2015). Researching farmer behaviour in climate change adaptation and sustainable agriculture: lessons learned from five case studies. *Journal of Rural Studies*, 39: 74-84. DOI:10.1016/j.jrurstud.2015.03.009.
10. Ferreira, F.H.G., Fruttero, A., Leite, P.G. and Lucchetti, L.R. (2013). Rising food prices and household welfare: evidence from Brazil in 2008. *Journal of Agricultural Economics*, 64(1), 151-176. DOI: 10.1111/j.1477-9552.2012.00347.x.
11. Gohar, A.A., Amer, S.A. and Ward, F.A. (2015). Irrigation infrastructure and water appropriation rules for food security. Journal of Hydrology, 520: 85-100. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.11.036.
12. Gohar, A.A. and Cashman, A. (2016). A methodology to assess the impact of climate variability and change on water resources, food security and economic welfare. *Agricultural Systems*, 147: 51-64. Available at https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.05.008.
13. Gohar, A.A., Cashman, A. and Ward, F.A. (2019). Managing food and water security in Small Island States: new evidence from economic modelling of climate stressed groundwater resources. *Journal of Hydrology*, 569: 239-251.
14. Gohar, A.A., Ward, F.A. and Amer, S.A. (2013). Economic performance of water storage capacity expansion for food security. *Journal of Hydrology*, 484: 16-25. Available at https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.01.005.
15. He, L., Tyner, W.E., Doukkali, R. and Siam, G. (2006). Policy options to improve water allocation efficiency: analysis on Egypt and Morocco. *Water International*, 31(3): 320-337.
16. Hertel, T. and Rosch, S. (2010). Climate change, agriculture, and poverty. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 32(3): 355-385.
17. Hoseini, S.S., Nazari, M. and 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 (IJAEDR)*, 44(1). (Persian)
18. Howitt, R.E. (1995). Positive mathematical programming. *American Journal of Agricultural Economics*, 77(2): 329-342.
19. IPCC (2014). Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge, UK and NY, USA: Cambridge University Press. Available at https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg2.

20. IWRM (2009). Annual report of groundwater resources of Hamadan-Bahar Plain. Iran Water Resources Management (IWRM), Regional Water Company of Hamadan (RWCH). Available at http://www.hmrw.ir. (Persian)
21. Junk, W.J. (2013). Current state of knowledge regarding South America wetlands and their future under global climate change. *Aquatic Sciences*, 75(1): 113-131. DOI: 10.1007/s00027-012-0253-8.
22. Karimi Kakhki, M. and Sepehri, A. (2011). Climate change trends during two periods in Hamedan and Tabriz. *Water and Soil Science (Agricultural Science)*, 20/1(4): 143-155. (Persian)
23. Khalilian, S., Shemshadi, K., Mortazavi, S.A. and Ahmadian, M. (2014). Investigating welfare effect of climate change on the wheat products in Iran. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 28(3): 292-300. (Persian)
24. Lobell, D., Bänziger, M., Magorokosho, C. and Vivek, B. (2011). Nonlinear heat effects on African maize as evidenced by historical yield trials. *Nature Climate Change*, 1(1): 42-45.
25. Lobell, D. and Field, C. (2007). Global scale climate-crop yield relationships and the impacts of recent warming. *Environmental Research Letters*, 2: 014002. DOI: 10.1088/1748-9326/2/1/014002
26. Lotze-Campen, H., Müller, C., Popp, A. and Füssel, H.-M. (2012). Food Security in a Changing Climate. In: Climate Change, Justice and Sustainability, pp. 33-43.
27. Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4): 315-328. DOI: 10.1007/s13412-014-0182-z.
28. Medellín-Azuara, J., Howitt, R. and Harou, J. (2012). Predicting farmer responses to water pricing, rationing and subsidies assuming profit maximizing investment in irrigation technology. *Agricultural Water Management*, 108: 73-82.
29. Misselhorn, A., Aggarwal, P.K., Ericksen, P., Gregory, P., Horn-Phathanothai, L., Ingram, J. and Wiebe, K. (2012). A vision for attaining food security. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4: 7-17. DOI: 10.1016/j.cosust.2012.01.008.
30. Momeni, S. and Zibaei, M. (2013). Possible impacts of climate change on the agricultural sector of Fars province. *Journal of Economics and Agricultural Development*, 27(3): 169-179. (Persian)
31. Moore, F.C., Baldos, U., Hertel, T. and Diaz, D. (2017). New science of climate change impacts on agriculture implies higher social cost of carbon. *Nature Communications*, 8(1): 1607. DOI: 10.1038/s41467-017-01792-x.

32. Moore, F.C. and Lobell, D.B. (2015). The fingerprint of climate trends on European crop yields. Proceedings of the National Academy of Sciences of USA, 112(9): 2670-2675. DOI: 10.1073/pnas.1409606112.
33. Moridi, A. (2017). State of water resources in Iran. *International Journal of Hydrology*, 1(4): 111-114. DOI: 10.15406/ijh.2017.01.00021.
34. Mosavi, S.H., Soltani, S. and Khalilian, S. (2020). Coping with climate change in agriculture: evidence from Hamadan-Bahar Plain in Iran. *Agricultural Water Management*, 241: 106332. DOI: https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106332.
35. Movahedi, S., Sabziparvar, A.A., Masoodian, A. and Maryanji, Z. (2013). Investigating the changes of seasonal rainfall pattern in Hamedan province. *Geographical Researches Quarterly Journal*, 28(2): 33-48. (Persian)
36. Nikouei A. (2012). Integrated economic-hydrologic modeling of water allocation and use in Zayandeh-Roud river basin with emphasis on evaluation of environmental and drought policies. Shiraz University, Shiraz, Iran, 271pp. (Persian)
37. Ozkan, B. and Akcaoz, H. (2002). Impacts of climate factors on yields for selected crops in the southern Turkey. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 7(4): 367-380.
38. Paroon, S. (2018). Evaluation of yield and welfare effects caused by changes in the climate factors and predicting their effects on the selected agricultural products: a case study of Hormozgan province. PhD Thesis, Payame Noor University, Tehran, Iran. (Persian)
39. Parry, M.L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. and Fischer, G. (2004). Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socio-economic scenarios. *Global Environmental Change*, 14(1): 53-67.
40. Pradhan, N.S., Sijapati, S. and Bajracharya, S.R. (2015). Farmers' responses to climate change impact on water availability: insights from the Indrawati Basin in Nepal. *International Journal of Water Resources Development*, 31(2): 269-283. DOI: 10.1080/07900627.2015.1033514.
41. Redden, R.J., Hatfield, J.L., Prasad, V., Ebert, A.W., Yadav, S.S. and O'Leary, G.J. (2014). Temperature, climate change, and global food security. *Temperature and Plant Development*, 8: 181-202.
42. Sabouhi M. and Ahmadpour M. (2012). Estimation of Iran agricultural products demand functions using mathematical programming (application of maximum entropy method). *Journal of Agricultural Economics*, 6(1): 71-91. (Persian)

43. Shi, W., Tao, F. and Zhang, Z. (2013). A review on statistical models for identifying climate contributions to crop yields. *Journal of Geographical Sciences*, 23(3): 567-576.
44. Singh, J. and Vatta, K. (2013). Rise in food prices and changing consumption pattern in rural Punjab. *Current Science*, 1022-1027.
45. Smith, J.B., Schneider, S.H., Oppenheimer, M., Yohe, G.W., Hare, W., Mastrandrea, M.D., . . . Magadza, C.H. (2009). Assessing dangerous climate change through an update of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) "reasons for concern". *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(11): 4133-4137.
46. Soltani, S. and Mousavi, S.H. (2016). Evaluating the potential effects of climate changes on yield and value-added in the agricultural sector in Hamedan-Bahar Plain. *Agricultural Economics Research*, 8(30): 95-112. (Persian)
47. Stevanović, M., Popp, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J.P., Müller, C., Bonsch, M., . . . Weindl, I. (2016). The impact of high-end climate change on agricultural welfare. *Science Advances*, 2(8): e1501452. DOI: 10.1126/sciadv.1501452.
48. Von Braun, J. (2007). The world food situtation: new driving forces and required actions: Food Policy Report, International Food Policy Research Institute (IFPRI). Available at http://dx.doi.org/10.2499/0896295303.
49. Walthall, C., Hatfield, J., Backlund, P. and Lengnick, L. (2012). Climate change and agriculture in the United States: effects and adaptation. USDA Technical Bulletin.
50. Wang, W.W. (2012). Three essays on climate change impacts, adaptation and mitigation in agriculture. Ph.D Dissertation, Texas AandM University.
51. World Bank (2010). World development report 2010 : development and climate change. Washington, DC: World Bank. Available at: https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/4387.
52. Yadav, S.S., Hunter, D., Redden, R., Nang, M., Yadava, D.K. and Habibi, A.B. (2015). Impact of climate change on agriculture production, food and nutritional security. In: Redden, R. (et al.) (eds.) Crop wild relatives and climate change. Wiley-Blackwell. pp. 1-23. ISBN: 978-1-118-85433-4
53. Zareabyaneh, H., Mehran, A. and Akhavan, S. (2015). Evaluation of virtual water trade volume of main crops in Hamadan province. *Iranian Water Research Journal*, 9(3 /18): 151-161. (Persian)