



# به‌زرعی کشاورزی

دوره ۲۳ ■ شماره ۴ ■ زمستان ۱۴۰۰

صفحه‌های ۸۸۲-۸۷۱

DOI: 10.22059/jci.2021.320843.2531

مقاله پژوهشی:

## تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران: پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور با استفاده از مدل SSM-iCrop2

علیرضا نهبندانی<sup>۱\*</sup>، مجتبی ساداتی<sup>۲</sup>، مهدی گودرزی<sup>۳</sup>، افشین سلطانی<sup>۴</sup>

۱. دانش‌آموخته دکتری، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲. استاد، گروه زیست‌شناسی، دانشگاه امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۳. دانش‌آموخته کارشناسی، کارشناس امنیت غذایی، سازمان پدافند غیرعامل کشور، تهران، ایران.

۴. استاد، گروه زراعت، دانشکده تولید گیاهی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۴/۱۳

### چکیده

خطر کاهش امنیت غذایی ناشی از تغییرات اقلیمی یکی از چالش‌های عمده قرن بیست و یکم است. این مطالعه با هدف پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیمی انجام گرفت. در این پژوهش پتانسیل عملکرد و تولید ۱۷ گیاه زراعی (گندم، جو، برنج، لوبیا، کلزا، نخود، ذرت دانه‌ای، پنبه، عدس، سیب‌زمینی، کنجد، سویا، چغندر قند، نیشکر، آفتابگردان، یونجه و ذرت علوفه‌ای) در سطح کل کشور در شرایط فعلی (دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) و دو سناریوی اقلیمی آینده خوش‌بینانه (افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد دما همراه با افزایش ۱۴ درصد بارش دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) با استفاده از مدل گیاهی SSM-iCrop2 برآورد شد. نتایج نشان داد سناریوی بدبینانه باعث کاهش پتانسیل تولید گندم و حبوبات (حدود ۱ درصد) و سناریوی خوش‌بینانه باعث افزایش پتانسیل تولید این محصولات (به ترتیب ۴ و ۲ درصد) می‌شود. هر دو سناریوی تغییر اقلیم باعث کاهش پتانسیل تولید برنج، سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی و گیاهان قندی (به ترتیب ۴، ۱۰، ۵ و ۷ درصد) می‌شود. همچنین، پتانسیل تولید گیاهان علوفه‌ای در هر دو سناریوی تغییر اقلیم بدبینانه و خوش‌بینانه (به ترتیب ۲ و ۳ درصد) افزایش می‌یابد. نتایج حاکی از آن بود که مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات عملکرد گیاهان زراعی در اقلیم آینده کاهش طول دوره رشد، کارایی استفاده از تشعشع و کارایی تعرق خواهند بود. به‌طور کلی، گیاهان گندم، جو، سیب‌زمینی و نیشکر بیش‌تر از سایر گیاهان تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفتند.

**کلیدواژه‌ها:** بارش، دما، شرایط آبی، شرایط دیم، کارایی استفاده از تشعشع، کارایی تعرق.

## The Impact of Climate Change on Iran's Food Security: Predicting the Potential Yield and Production of Strategic Crops based on SSM-iCrop2 model

Alireza Nehbandani<sup>1\*</sup>, Mojtaba Saadati<sup>2</sup>, Mahdi Goodarzi<sup>3</sup>, Afshin Soltani<sup>4</sup>

1. Former Ph.D. Student, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. Professor, Department of Biology, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

3. Former B.Sc. Student, Food security expert of Passive Defense Organization, Tehran, Iran.

4. Professor, Department of Agronomy, Faculty of Plant Production, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Received: April 24, 2021

Accepted: July 4, 2021

### Abstract

Food security reduction due to climate change is one of the most important challenges in the 21st century. This study has been carried out to predict the potential yield and production of the country's strategic crops examining various climate change scenarios. It has estimated the potential yield and production of 17 crops (namely, wheat, barley, rice, common bean, rapeseed, chickpea, grain maize, cotton, lentil, potato, sesame, soybean, sugar beet, sugarcane, sunflower, alfalfa, and Silage maize) under current conditions (between 2005 and 2014) as well as two climatic scenarios (optimistic: 1.5 °C increase in temperature with 14% increase in precipitation period 2005-2014; pessimistic: 1.5 °C increase in temperature and 14% decrease in precipitation period 2005-2014) applying SSM-iCrop2 model. The results show that the pessimistic scenario has reduced the potential production of wheat and legumes for about 1%, while the optimistic one has increased the potential production of these crops (4% and 2%, respectively). Both climate change scenarios has reduced the potential production of rice, potato, oilseeds, and sugar crops (4%, 10%, 5%, and 7%, respectively). Furthermore, the potential production of Silage maize has been increased in both climate change scenarios (by 2% and 3%, respectively). The results also show that the major factors to alter crop yield could be the growing season duration, radiation use efficiency, and transpiration efficiency. In general, wheat, barley, potato, and sugarcane have been affected more by climate change than other crops.

**Keywords:** Irrigated conditions, precipitation, radiation use efficiency, rainfed conditions, temperature, transpiration efficiency.

## ۱. مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی به‌طور عمده از طریق تغییر در میانگین بارش و دما و همچنین با ایجاد رویدادهای شدیدی مانند سیل و خشکسالی‌های طولانی مدت می‌توانند تأثیر زیادی بر کشاورزی داشته باشند (Kiani et al., 2020). قرارگیری ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان باعث شده همواره با کم‌آبی و خشکسالی‌های متناوب روبه‌رو باشد. بررسی شاخص‌هایی مانند افزایش دما و کاهش بارش در ایران نشان داده از سال ۱۳۵۵ تا سال ۱۳۹۵ دمای کشور نسبت به میانگین بلندمدت ۱/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش و از سال ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۵ بارش کشور نسبت به میانگین بلندمدت ۱۴ درصد کاهش داشته است (Water Research Institute, 2019). بدون تردید بروز این تغییرات قابل توجه اقلیمی، پیامدهایی را بر تولید محصولات زراعی در کشور خواهد داشت که در مقیاس ملی کم‌تر مورد بررسی قرار گرفته است. در شرایط کنونی، مواجهه با اثرات تغییر اقلیم و تأکید بر سازگاری با آن برای تأمین امنیت غذایی جمعیت در حال رشد کشور ضروری است. بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی پتانسیل عملکرد و تولید ۱۷ گیاه زراعی (گندم، جو، برنج، لوبیا، کلزا، نخود، ذرت دانه‌ای، پنبه، عدس، سیب‌زمینی، کنگد، سویا، چغندر قند، نیشکر، آفتابگردان، یونجه و ذرت علوفه‌ای) در سطح کل کشور در شرایط فعلی (دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) و دو سناریوی اقلیمی آینده خوش‌بینانه (افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد دما همراه با افزایش ۱۴ درصد بارش دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) و بدبینانه (افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد دما همراه با کاهش ۱۴ درصد بارش دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳) با استفاده از مدل گیاهی SSM-iCrop2 انجام شد.

## ۲. مواد و روش‌ها

این پژوهش از نوع کاربردی و به‌روش توصیفی - تحلیلی انجام شد. گردآوری اطلاعات از وزارت جهاد کشاورزی،

عملکرد محصولات زراعی (مقدار تولید در هر منطقه) معیار مهمی برای مباحث مختلف از امنیت غذایی تا انرژی پایدار است. افزایش بهره‌وری در سال‌های اخیر، به‌طور عمده از طریق افزایش عملکرد، تنش‌ها در بازارهای کشاورزی را کاهش داده و OECD/FAO (2020) پیش‌بینی کرده که در میان‌مدت قیمت محصولات حالت پایداری داشته باشند. انتظار می‌رود تقاضا برای محصولات کشاورزی، که به‌طور عمده ناشی از رشد جمعیت و افزایش تقاضا برای گوشت و سوخت‌های زیستی توسط کشورهای در حال توسعه است، منجر به افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی شود (Cardoso et al., 2019; Hovhannisyann & Grigoryan, 2016; Kuiper et al., 2016). این در حالی است که عرصه محصولات کشاورزی تحت فشارهای فزاینده‌ای از سوی تغییرات اقلیمی و تلاش‌ها برای کاهش اثرات تغییر اقلیمی قرار دارد. انتظار می‌رود تغییرات اقلیمی تولید محصولات غذایی مهم را کاهش داده و منجر به افزایش قیمت جهانی مواد غذایی شود (Wiebe et al., 2015). یکی از پیامدهای توافق پاریس، تصویب گسترده چارچوبی برای اقدامات جهانی برای مقابله با تغییرات اقلیمی بود (UNFCCC, 2015). Hasegawa et al. (2018) بیان داشتند که سیاست‌های در نظر گرفته‌شده در این توافق بیش‌تر از آن که منجر به کاهش تأثیرات منفی تغییر اقلیم شود بر امنیت غذایی جهان تأثیر منفی خواهد داشت. مطالعات نشان داده که با افزایش عملکرد می‌توان تأثیرات منفی بر امنیت غذایی را کاهش داد به‌طوری‌که Doelman et al. (2019) عنوان کردند که با افزایش ۹ درصد بهره‌وری محصولات زراعی می‌توان اثر اجرای سیاست‌های تغییر اقلیمی بر امنیت غذایی را کاهش داد. بنابراین، مطالعه تأثیر تغییرات اقلیمی بر عملکرد محصولات در حال حاضر تبدیل به موضوعی حساس در امنیت غذایی و قیمت محصولات کشاورزی شده است.

تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران: پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور با استفاده از مدل SSM-iCrop2

کشور از مدل گیاهی SSM-iCrop2 (Soltani *et al.*, 2020) استفاده شد. این مدل قابلیت استفاده برای طیف وسیعی از گیاهان زراعی در سطح کشور را دارد. این مدل توانایی شبیه‌سازی مراحل فنولوژی، گسترش و پیری برگ، توزیع ماده خشک، موازنه نیتروژن گیاه، تشکیل عملکرد و موازنه آب خاک را دارد. پاسخ فرایندهای گیاهی به عوامل محیطی مانند تشعشع خورشیدی، CO<sub>2</sub>، دما، آب قابل دسترس و تفاوت در خصوصیات ژنتیکی ارقام در مدل در نظر گرفته شده است. مدل شبیه‌سازی را به صورت روزانه انجام می‌دهد و از اطلاعات قابل دسترس آب و هوا و خاک استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که این مدل اثر آفات، بیماری‌ها و علف‌های هرز و نیز کمبود عناصر غذایی را روی گیاه در نظر نمی‌گیرد و فرض می‌کند این عوامل به صورت مؤثر مدیریت می‌شوند. توضیحات کامل در مورد معادلات به کار رفته در مدل را می‌توان در مقاله Soltani *et al.* (2020) مشاهده کرد. پارامتریابی و ارزیابی این مدل در کشور انجام شده و نتایج آن در سایت اطلس جهانی خلأ عملکرد موجود می‌باشد (<http://www.yieldgap.org/iran>). برای استفاده از این مدل نیاز به اطلاعات هواشناسی روزانه، اطلاعات خاک و پارامترهای گیاهی می‌باشد.

#### اطلاعات هواشناسی

در هر یک از ۳۱ استان کشور یک ایستگاه هواشناسی شاخص (ایستگاهی که بیش‌ترین اراضی زراعی استان در محدوده آن قرار دارد) انتخاب شد و اطلاعات هواشناسی روزانه (شامل دمای حداقل، دمای حداکثر، بارش و تعداد ساعت آفتابی روزانه) برای دوره زمانی ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ از سازمان هواشناسی کشور تهیه شدند. لیست ایستگاه‌های هواشناسی شاخص هر استان و وضعیت پراکنش آن‌ها در سطح کشور در جدول (۱) و شکل (۱) آورده شده است.

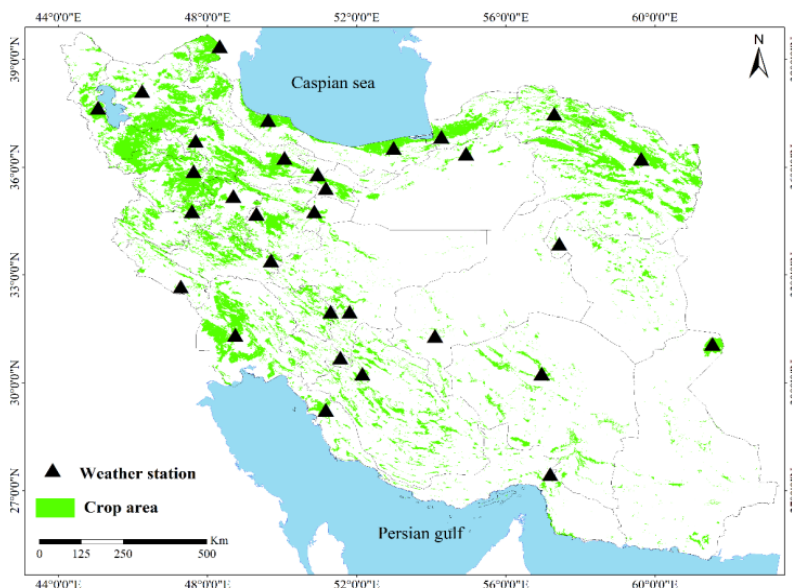
سازمان هواشناسی کشور، منابع اینترنتی، مقالات و طرح‌های پژوهشی صورت گرفت. در ادامه شرح مراحل اجرای پژوهش آورده شده است.

#### گیاهان زراعی استراتژیک کشور

بر اساس گزارش انستیتو تحقیقات تغذیه‌ای و صنایع غذایی کشور (Salehi *et al.*, 2014) محصولات غذایی موجود در سبد غذایی کنونی مردم ایران شامل گندم، برنج، سیب‌زمینی، حبوبات، سبزیجات، میوه، روغن، شکر، گوشت قرمز (گوشت گاو و گوشت گوسفند)، گوشت سفید (مرغ و ماهی)، شیر و تخم‌مرغ می‌باشند. در این مطالعه، مجموعه‌ای از گیاهان زراعی کشور که برای تأمین نیاز سبد غذایی مطلوب وزارت بهداشت مورد استفاده قرار گرفته و متوسط سطح زیرکشت (سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۶) آن گیاه در کشور بیش از ۵۰ هزار هکتار بودند به عنوان گیاه زراعی استراتژیک در نظر گرفته شدند. بر این اساس نان و ماکارانی موجود در سبد غذایی غالباً از گندم تهیه می‌شوند. حبوبات عمده مورد استفاده در کشور شامل نخود، عدس و لوبیا است. اصلی‌ترین محصولات روغنی کشور شامل کلزا، سویا، کنجد، آفتابگردان و پنبه است. شکر نیز از چغندر قند و نیشکر تهیه می‌شود. هم‌چنین، گوشت قرمز، گوشت سفید، تخم‌مرغ و لبنیات که از دام و طیور تهیه می‌شوند به طور غیرمستقیم وابسته به گیاهان علوفه‌ای شامل جو، ذرت و یونجه است. در این مطالعه تمامی گیاهان زراعی ذکر شده در سبد غذایی کشور (گندم، جو، برنج، لوبیا، کلزا، نخود، ذرت، دانه‌ای، پنبه، عدس، سیب‌زمینی، کنجد، سویا، چغندر قند، نیشکر، آفتابگردان، یونجه و ذرت علوفه‌ای) مورد بررسی قرار گرفتند.

#### شبیه‌سازی رشد، نمو و عملکرد گیاهان زراعی

جهت پیش‌بینی رشد و عملکرد گیاهان زراعی استراتژیک



شکل ۱. پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی و اراضی زراعی در کشور

#### اطلاعات خاک

در هر استان یک اطلاعات خاک غالب (بافت خاکی که بیش‌تر اراضی زراعی استان در محدوده آن قرار دارد) هر استان شامل آلبيدو، شماره منحنی خاک، فاکتور زه‌کشی، مقدار آب خاک در حالت اشباع، مقدار آب در ظرفیت زراعی و مقدار آب قابل استخراج از طرح پژوهشی Soltani *et al.* (2018) استخراج گردید.

رویشی که در زمان پرشدن دانه به بذر منتقل می‌شوند، محتوای رطوبتی دانه) و موازنه آب خاک (عمق اولیه ریشه در زمان سبزشدن، کسر واحد دمایی برای شروع رشد ریشه، کسر واحد دمایی برای پایان رشد ریشه، بیش‌ترین عمق مؤثر ریشه، ضریب کارایی تعرق) از نتایج Soltani *et al.* (2020) استخراج شد.

#### سناریوهای تغییر اقلیم

در این مطالعه دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه در نظر گرفته شد. در سناریوی بدبینانه روند فعلی تغییر اقلیم در کشور ادامه داشته و افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد دما و کاهش ۱۴ درصد بارش رخ خواهد داد. در سناریوی خوش‌بینانه فرض شد افزایش دما همراه با وقوع ترسالی (افزایش ۱/۵ درجه سانتی‌گراد دما و افزایش ۱۴ درصد بارش) باشد. با اعمال تغییرات دما و بارش ذکرشده در داده‌های هواشناسی واقعی سال‌های ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳ ایستگاه‌های هواشناسی شاخص، داده‌های هواشناسی برای شرایط آینده و تحت هر سناریو تولید شدند.

#### پارامترهای گیاهی

پارامترهای گیاهی موردنیاز مدل SSM-iCrop2 شامل فنولوژی (دماهای کاردینال فنولوژی، واحد دمایی لازم برای سبزشدن، شروع رشد بذر، پایان رشد بذر، رسیدگی فیزیولوژیکی و رسیدگی برداشت)، تغییرات سطح برگ (واحد دمایی برای شاخص سطح برگ حداکثر، واحد دمایی برای شروع پیری برگ، ضریب سرعت پیرشدن برگ‌ها) تولید و توزیع ماده خشک (دماهای کاردینال تولید ماده خشک، ضریب خاموشی، کارایی استفاده از تشعشع)، تشکیل عملکرد (شاخص برداشت، کسری از ماده خشک اندام‌های

تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران: پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور با استفاده از مدل SSM-iCrop2

جدول ۱. ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب در هر استان

ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ایستگاه	استان
۲۳	۳۱,۳۴	۴۸,۷۴	اهواز	خوزستان
۲۲۰۱	۳۰,۲۵	۵۲,۱۵	سپیدان	فارس
۹۹۹	۳۶,۲۴	۵۹,۶۳	مشهد	خراسان رضوی
۱۷۵۴	۳۰,۲۶	۵۶,۹۶	کرمان	کرمان
۱۳۲۸	۳۷,۶۶	۴۵,۰۶	ارومیه	آذربایجان غربی
۲۳	۳۶,۵۴	۵۲,۹۹	ساری	مازندران
۱۶۸۰	۳۵,۲۰	۴۸,۶۹	نوژه	همدان
۱۲۷۹	۳۶,۲۶	۵۰,۰۶	قزوین	قزوین
۱۳۶۱	۳۸,۱۲	۴۶,۲۴	تبریز	آذربایجان شرقی
۱۸۵۸	۳۱,۹۸	۵۱,۸۱	شهرضا	اصفهان
۹۹۰	۳۵,۴۲	۵۱,۱۷	فرودگاه امام خمینی	تهران
۱۳	۳۶,۸۵	۵۴,۲۷	هاشم آباد	گلستان
۱۰۱	۳۹,۳۷	۴۸,۳۲	بيله سوار	اردبیل
۴۸۹	۳۱,۰۹	۶۱,۵۴	زابل	سیستان و بلوچستان
۱۷۰۰	۳۴,۷۸	۴۷,۵۸	سنقر	کرمانشاه
۲۰۲۲	۳۳,۴۱	۴۹,۷۰	الیگودرز	لرستان
۱۲۸۵	۳۶,۷۴	۴۷,۶۸	ماه نشان	زنجان
۱۸۸۳	۳۵,۸۹	۴۷,۶۲	بیجار	کردستان
۲۲۰	۲۷,۴۶	۵۷,۱۹	رودان	هرمزگان
۱۷۴۱	۳۴,۷۱	۴۹,۳۱	کمیجان	مرکزی
۹۰	۲۹,۲۵	۵۱,۱۷	برازجان	بوشهر
۱۲۹۳	۳۵,۸۱	۵۰,۹۵	کرج	البرز
۱۳۲۵	۳۶,۳۸	۵۴,۹۳	شاهرود	سمنان
۱۰۶۵	۳۷,۴۹	۵۷,۳۰	بجنورد	خراسان شمالی
۲۲۶۰	۳۱,۹۸	۵۱,۳۰	بروجن	چهارمحال و بختیاری
۹-	۳۷,۳۲	۴۹,۶۲	رشت	گیلان
۲۳۲	۳۲,۶۸	۴۷,۲۸	دهلران	ایلام
۲۱۰۰	۳۱,۳۱	۵۴,۱۰	گاریز	یزد
۱۸۱۶	۳۰,۷۰	۵۱,۵۶	یاسوج	کهگیلویه و بویراحمد
۸۷۹	۳۳,۸۷	۵۷,۴۳	بشرویه	خراسان جنوبی
۸۷۹	۳۴,۷۷	۵۰,۸۶	قم	قم

### محاسبه عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک در سطح کشور

ابتدا عملکرد (منظور از عملکرد در گندم، جو، لوبیا، کلزا، نخود، ذرت دانه‌ای، عدس، کنجد، پنبه، سویا و آفتابگردان، دانه در سیب‌زمینی و چغندر قند، غده در یونجه و ذرت علوفه‌ای، کل اندام هوایی گیاه است) برای هر یک از ایستگاه‌های هواشناسی شاخص استان‌ها با استفاده از مدل محاسبه شد. در ادامه، با توجه به سطح زیرکشت هر گیاه در هر استان، میانگین وزنی عملکرد و هم‌چنین مقدار تولید هر گیاه در سطح کشور برآورد شد.

برای انجام پژوهش حاضر از نرم‌افزار ArcGIS (نسخه ۱۰/۸)، نرم‌افزار Office (نسخه ۲۰۱۹) و مدل گیاهی SSM-iCrop2 استفاده شد.

### ۳. نتایج و بحث

بررسی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که در شرایط کشت آبی، از نظر تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد، گیاهان را می‌توان در دو دسته قرار داد؛ دسته اول شامل گندم، چغندر قند، سیب‌زمینی، عدس، نخود، کلزا، جو، لوبیا، برنج، آفتابگردان، نیشکر، سویا، کنجد، پنبه و ذرت دانه‌ای در شرایط کشت آبی هستند که هر دو سناریوی تغییر اقلیم (سناریوی ۱/۵ درجه افزایش دما + ۱۴ درصد کاهش بارش و سناریوی ۱/۵ درجه افزایش دما + ۱۴ درصد افزایش بارش) باعث کاهش پتانسیل عملکرد این گیاهان خواهد شد اما در سناریوی افزایش دما و بارش مقدار کاهش عملکرد اندکی بیش‌تر از سناریوی افزایش دما و کاهش بارش خواهد بود (جدول ۲). در این دسته بیش‌ترین درصد کاهش عملکرد به‌ترتیب مربوط به نیشکر، سیب‌زمینی، کنجد، کلزا، سویا، جو و گندم (بین ۵/۵ تا ۱۳/۸ درصد) بوده و در سایر گیاهان درصد کاهش عملکرد کم‌تر از ۵ درصد بود. دسته دوم گیاهان یونجه و

ذرت علوفه‌ای در کشت آبی هستند که در هر دو سناریو شاهد افزایش عملکرد خواهیم بود و این مقدار حدود ۴ درصد خواهد بود (جدول ۲).

در شرایط آبی، تأثیر نهایی تغییر اقلیم بر عملکرد حاصل تأثیر نسبی از طریق دو مکانیسم و برآیند آن‌ها است که عبارت هستند از: ۱- میزان کاهش عملکرد در اثر کوتاه‌شدن فصل رشد به‌دلیل افزایش دما و ۲- منفی یا مثبت‌بودن تأثیر تغییرات دما در طول فصل رشد بر فتوسنتز و تولید گیاه که خود بستگی به رژیم دمایی فعلی محیط دارد. در دسته اول گیاهان زراعی آبی کاهش عملکرد مرتبط با کوتاه‌شدن فصل رشد به‌دلیل افزایش دما بود. در دسته دوم علت افزایش عملکرد یونجه، که گیاهی چندساله است، می‌تواند مربوط به افزایش روزهای مناسب برای رشد گیاه به‌دلیل افزایش دما باشد. هم‌چنین، در گیاه ذرت علوفه‌ای افزایش دما باعث افزایش کارایی استفاده از تشعشع در این گیاه شده و عملکرد افزایش یافته است. *Menzel et al.* (2006) با مطالعه ۵۴۲ گونه گیاهی در ۲۶ کشور اروپا که شامل ۱۲۵ هزار سری زمانی بود نشان دادند که در فاصله سال‌های ۱۹۷۱ تا ۲۰۰۰ میلادی در ۷۸ درصد موارد سرعت نمو به‌دلیل بالا رفتن دما افزایش یافته و طول مراحل کوتاه‌تر شده است. کوتاه‌تر شدن طول دوره رشد ناشی از افزایش دما در اغلب گیاهان زراعی باعث کاهش عملکرد می‌شود، زیرا تابش کم‌تری جذب شده و زمان کم‌تری برای تجمع ماده خشک در اختیار گیاه خواهد بود (Fulco & Senthold, 2006). البته افزایش دما در مناطقی که با محدودیت فصل رشد مواجه هستند مطلوب خواهد بود. به‌عنوان مثال، در دانمارک سطح زیرکشت ذرت از ۱۱ هزار هکتار در سال ۱۹۹۳ به ۱۲۰ هزار هکتار در سال ۲۰۰۵ افزایش یافته که ناشی از افزایش دما در طی دوره رشد این گیاه و در نتیجه مناسب‌شدن شرایط تولید بوده است (Kjellstrom, 2005). *Zhao et al.* (2017) گزارش کردند که

تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران: پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور با استفاده از مدل SSM-iCrop2

اول گیاهان دیم بهاره و تابستانه شامل سویا، آفتابگردان، لوبیا، پنبه، عدس و کنجد هستند. در این گیاهان هر دو سناریوی تغییر اقلیم باعث کاهش عملکرد خواهد شد، اما در سناریوی افزایش دما و کاهش بارش مقدار کاهش عملکرد اندکی بیش‌تر خواهد بود (جدول ۳).

به‌ازای هر درجه سانتی‌گراد افزایش دما در سطح جهان، به‌طور متوسط عملکرد جهانی گندم ۶ درصد، برنج ۳ درصد، ذرت ۷ درصد و سویا ۳ درصد کاهش می‌یابد. در شرایط کشت دیم، از نظر تأثیر تغییر اقلیم بر عملکرد، گیاهان را می‌توان در دو دسته قرار داد؛ دسته

جدول ۲. پتانسیل عملکرد، طول دوره رشد، تشعشع رسیده و کارایی استفاده از تشعشع در گیاهان زراعی آبی در شرایط فعلی و درصد تغییر آن‌ها در شرایط ۱/۵ درجه افزایش دما + ۱۴ درصد کاهش بارش (سناریوی ۱) و ۱/۵ درجه افزایش دما + ۱۴ درصد افزایش بارش (سناریوی ۲) نسبت به شرایط فعلی با استفاده از مدل SSM-iCrop2

گیاه	فعلی				سناریوی ۱				سناریوی ۲			
	کارایی استفاده از تشعشع (g/MJ)	تشعشع رسیده (MJ/m <sup>2</sup> )	طول دوره رشد (day)	پتانسیل عملکرد (kg/ha)	درصد تغییر در کارایی استفاده از تشعشع	درصد تغییر در تشعشع رسیده	درصد تغییر طول دوره رشد	درصد تغییر در پتانسیل عملکرد	درصد تغییر در کارایی استفاده از تشعشع	درصد تغییر در تشعشع رسیده	درصد تغییر طول دوره رشد	درصد تغییر در پتانسیل عملکرد
جو	۱/۸۲	۳۳۲۷	۲۲۲	۶۸۵۴	-۵/۷	-۵/۹	-۹/۱	-۸/۲	۰/۵	-۸/۰	-۱۰/۱	-۳/۷
لوبیا	۱/۹۸	۲۵۷۲	۱۰۹	۴۳۷۲	-۳/۷	-۱۰/۱	-۸/۰	۰/۵	-۸/۸	-۷/۰	-۶/۳	-۸/۵
کلزا	۱/۸۲	۳۱۴۲	۲۲۴	۵۳۹۲	-۷/۹	-۳/۶	-۵/۹	-۱/۱	-۸/۸	-۱۰/۰	-۶/۳	-۸/۵
نخود	۱/۷۷	۲۳۵۶	۱۱۹	۲۷۷۹	-۳/۶	-۳/۶	-۱۰/۰	-۱/۱	-۰/۶	-۷/۱	-۵/۹	-۴/۴
ذرت دانه‌ای	۳/۱۸	۳۴۸۴	۱۵۶	۱۴۴۹۵	-۰/۶	-۵/۸	-۲/۴	-۶/۶	-۲/۴	-۲/۴	-۵/۸	-۰/۶
پنبه	۱/۳۵	۳۶۷۵	۱۵۹	۶۴۳۹	-۳/۰	-۷/۵	-۵/۰	-۱/۵	-۱/۵	-۴/۹	-۶/۹	-۲/۹
عدس	۱/۸۵	۲۴۶۲	۱۱۶	۳۰۰۹	-۳/۴	-۵/۲	-۶/۳	-۰/۵	-۰/۵	-۶/۳	-۵/۲	-۳/۸
سیب‌زمینی	۲/۰۸	۳۱۵۴	۱۴۴	۶۲۳۹۸	-۹/۹	-۲/۸	-۳/۵	-۸/۷	-۳/۵	-۳/۵	-۲/۸	-۱۰/۰
کنجد	۱/۰۸	۳۰۹۹	۱۲۹	۲۷۲۹	-۹/۰	-۰/۸	۰	-۶/۵	۰	۰	-۰/۸	-۹/۱
سویا	۱/۶۹	۲۴۱۴	۱۳۱	۴۳۹۳	-۷/۵	-۶/۱	-۳/۸	-۵/۹	-۳/۸	-۳/۸	-۶/۱	-۷/۶
چغندر قند	۲/۲۴	۴۴۵۵	۱۹۷	۱۰۸۴۷۰	-۱/۱	-۳/۶	-۲/۳	۰	-۲/۳	-۲/۳	-۳/۶	-۱/۴
نیشکر	۲/۲۳	۶۷۶۵	۳۶۰	۱۲۶۷۹۶	-۱۳/۵	۰	-۰/۱	-۱۶/۱	-۱۶/۱	۰	۰	-۱۳/۸
آفتابگردان	۱/۴۲	۳۱۲۱	۱۵۳	۴۷۰۱	-۴/۷	-۱۹/۶	-۱۱/۴	۲/۸	-۱۱/۴	-۱۱/۴	-۱۹/۶	-۴/۷
برنج	۲/۲۱	۲۴۹۸	۱۲۴	۸۰۳۳	-۴/۳	-۶/۵	-۴/۴	-۱/۴	-۴/۴	-۴/۴	-۶/۵	-۴/۳
گندم	۱/۸۵	۳۱۹۸	۲۱۳	۸۳۶۳	-۴/۸	-۶/۱	-۸/۸	-۵/۹	-۵/۹	-۸/۸	-۶/۱	-۵/۵
یونجه	۱/۹۵	۵۲۵۱	۲۷۵	۳۰۲۶۳	۴/۰	۳/۶	۳/۴	-۳/۱	۳/۴	۳/۴	۳/۶	۴/۰
ذرت علوفه‌ای	۳/۲۰	۳۰۷۰	۱۴۴	۹۰۰۰۹	۳/۹	-۳/۵	-۲/۲	۱/۳	-۲/۲	-۳/۵	-۳/۵	۳/۹

کاهش کارایی تعرق است. اما در گیاهان زراعی دیم دسته دوم با وجود کاهش طول دوره رشد گیاه شاهد افزایش عملکرد هستیم که علت آن اثر مثبت دما بر افزایش کارایی تعرق گیاه است. اثر مثبت تغییر اقلیم بر عملکرد نخود دیم در مراغه (Soltani & Gholipour, 2006)، نخود دیم در زنجان (Hajarpoor et al., 2016)، گندم دیم در خراسان شمالی (Zarakani et al., 2014)، گندم دیم در منطقه غرب و شمال غرب ایران (Mohammadi et al., 2020) و گندم دیم در فارس (Rafiee et al., 2019) در سایر مطالعات گزارش شده است. شایان ذکر است که بارش‌های کشور به‌طور عمده در فصل‌های پاییز، زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهند، لذا کاهش طول فصل رشد و زودرسی در گیاهان زراعی دیم دسته دوم ممکن است موجب فرار گیاه از خشکی و در نتیجه باعث افزایش عملکرد شده باشد.

در این دسته بیش‌ترین درصد کاهش عملکرد به‌ترتیب مربوط به آفتابگردان، پنبه، کنجد، سویا، لوبیا و عدس (بین ۲/۸ تا ۱۰ درصد) خواهد بود. گروه بعدی گیاهان دیم پاییزه شامل گندم، سیب‌زمینی، یونجه، جو، کلزا، نخود و نیشکر است که در هر دو سناریو شاهد افزایش عملکرد خواهیم بود، اما در سناریوی افزایش دما و بارش مقدار افزایش عملکرد بیش‌تر خواهد بود (جدول ۳). در این گروه بیش‌ترین درصد افزایش عملکرد به‌ترتیب مربوط به گندم، سیب‌زمینی، نیشکر، جو، یونجه، نخود و کلزا (بین ۴/۱ تا ۲۳/۶ درصد) بود. در شرایط دیم، اثر تأثیر تغییر اقلیم مشابه شرایط آبی است با این تفاوت که کاهش طول فصل رشد در اثر افزایش دما در شرایط دیم لزوماً تأثیر منفی نداشته و حتی می‌تواند دارای تأثیر مثبت باشد. در گیاهان زراعی دیم دسته اول کاهش عملکرد مربوط به کاهش دوره رشد گیاه و

جدول ۳. پتانسیل عملکرد آب محدود، طول دوره رشد و کارایی تعرق گیاهان زراعی دیم در شرایط فعلی و درصد تغییر آن‌ها در شرایط ۱/۵ درجه افزایش دما + ۱۴ درصد کاهش بارش (سناریوی ۱) و ۱/۵ درجه افزایش دما + ۱۴ درصد افزایش بارش (سناریوی ۲)

(۲) نسبت به شرایط فعلی با استفاده از مدل SSM-iCrop2

گیاه	سناریوی ۲			سناریوی ۱			فعلی		
	درصد تغییر در کارایی تعرق	درصد تغییر در طول دوره رشد	پتانسیل عملکرد در درصد تغییر در	درصد تغییر در کارایی تعرق	درصد تغییر در طول دوره رشد	پتانسیل عملکرد در درصد تغییر در	کارایی تعرق (g/mm)	طول دوره رشد (day)	پتانسیل عملکرد (kg/ha)
آفتابگردان	-۶/۵	-۴/۷	-۵/۱	-۶/۱	-۵/۹	-۱۰/۰	۲/۷۷	۸۵	۱۲۰۶
پنبه	-۶/۰	-۴/۸	-۷/۳	-۶/۶	-۵/۶	-۹/۸	۳/۳۱	۱۲۵	۲۷۱۴
سویا	-۶/۲	-۳/۷	-۶/۲	-۵/۵	-۳/۷	-۷/۱	۳/۲۵	۱۳۴	۳۱۴۳
عدس	-۰/۳	-۵/۱	-۱/۲	-۰/۳	-۵/۱	-۲/۸	۳/۵۶	۱۱۸	۱۴۱۳
کنجد	-۵/۸	-۳/۱	-۷/۲	-۵/۸	-۳/۱	-۷/۲	۲/۲۶	۹۷	۵۴۳
لوبیا	-۴/۸	-۷/۵	-۴/۹	-۴/۵	-۷/۵	-۵/۷	۳/۵۵	۱۰۶	۲۳۸۴
جو	۲/۲	-۵/۱	۱۵/۳	۵/۰	-۶/۰	۲/۰	۵/۹۸	۲۱۵	۲۶۹۲
سیب‌زمینی	۰/۹	-۷/۰	۱۸/۰	۱/۹	-۷/۵	۱۱/۴	۷/۰	۱۹۹	۳۳۰۴۸
کلزا	۱/۲	-۵/۳	۴/۱	۱/۸	-۵/۸	-۰/۲	۴/۹۰	۱۸۹	۳۵۳۷
گندم	۲/۰	-۵/۰	۲۳/۶	۵/۰	-۵/۴	۷/۰	۵/۶۰	۲۲۲	۲۳۲۹
نخود	-۱/۸	-۴/۸	۸/۰	-۰/۹	-۴/۸	۱/۶	۳/۳۴	۱۰۴	۱۳۳۹
نیشکر	-۵/۲	۰	۱۷/۶	-۵/۲	۰	۱۷/۶	۶/۷۰	۳۶۱	۱۲۵۷۹۷
یونجه	۰/۳	۰	۹/۶	۰/۵	۰	۱/۲	۳/۶۸	۳۶۴	۷۸۸۴



به‌صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش خواهد یافت که البته میزان درصد کاهش عملکرد گندم بیش‌تر از جو و سیب‌زمینی خواهد بود و افزایش دما عامل مؤثرتری در توضیح کاهش عملکرد محصولات نسبت به بارش است. Izadi *et al.* (2019) عنوان کردند که در دوره زمانی ۲۰۶۵-۲۰۴۶ تحت سناریوی تغییر اقلیم A2 عملکرد سیب‌زمینی در شرایط بدون تنش حدود ۵ درصد افزایش می‌یابد، اما در شرایط تنش آبی عملکرد کاهش خواهد یافت.

بررسی سناریوها نشان داد که تغییرات پتانسیل تولید گندم و حبوبات (نخود، لوبیا و عدس) مشابه بوده به‌طوری‌که ترکیب افزایش دما و کاهش بارش باعث کاهش ۱ درصد در پتانسیل تولید این محصولات در کشور خواهد شد. در مقابل ترکیب افزایش دما و افزایش بارش تأثیر مثبتی بر پتانسیل تولید گندم و حبوبات داشته و شاهد افزایش به‌ترتیب ۴ و ۲ درصد در پتانسیل تولید کشور خواهیم بود (جدول ۴). تغییرات پتانسیل تولید برنج، سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی (کلزا، سویا، آفتابگردان، پنبه، کنجد) و گیاهان قندی (نیشکر و چغندر قند) مشابه یکدیگر بوده به‌طوری‌که در هر دو سناریوی تعریف‌شده در این محصولات شاهد کاهش به‌ترتیب ۴، ۱۰، ۵ و ۷ درصد پتانسیل تولید خواهیم بود (جدول ۴). پتانسیل تولید گیاهان علوفه‌ای (یونجه، جو و ذرت) در هر دو سناریوی موردبررسی افزایش خواهد یافت. به‌طوری‌که پتانسیل تولید در سناریوی ترکیب افزایش دما و کاهش بارش و سناریوی ترکیب افزایش دما و بارش به‌ترتیب ۲ و ۳ درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۴). در مجموع، بررسی سناریوهای تغییر اقلیمی نشان داد در سناریوی بدبینانه پتانسیل تولید محصولات زراعی استراتژیک کشور ۲/۱- درصد کاهش خواهد یافت و در سناریوی خوش‌بینانه تأثیر منفی افزایش دما کاهش یافته و پتانسیل تولید ۰/۶- درصد کاهش خواهد یافت.

اکثر مطالعات تغییر اقلیم در کشور کاهش عملکرد گیاهان زراعی را پیش‌بینی کرده‌اند. Koocheki & Nassiri mahallati (2008) در بررسی تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO<sub>2</sub> بر عملکرد گندم در ایران بیان داشتند. اگرچه غلظت CO<sub>2</sub> تأثیر منفی افزایش درجه حرارت را تا حدودی تعدیل می‌کند، اما در شرایط اقلیمی سال ۲۰۵۰، عملکرد گندم آبی در مناطق مختلف در محدوده‌ای بین ۱۴ تا ۲۱ درصد کاهش خواهد یافت. Koocheki & Nassiri mahallati (2010) گزارش کردند تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ باعث کاهش طول فصل رشد همراه با کاهش قابل توجه شاخص برداشت، عملکرد دانه گندم را بین ۲۲ تا ۳۲ درصد کاهش خواهد داد. Alijani *et al.* (2012) تأثیر تغییرات زمانی درجه حرارت و بارندگی بر عملکرد گندم در ایران پرداختند و نشان دادند که متغیر بارندگی اثر مثبت و درجه حرارت اثر منفی بر عملکرد گندم دارد. Nehbandani & Soltani (2016) گزارش کردند افزایش دو تا سه درجه دما نسبت به شرایط کنونی باعث افزایش عملکرد سویا به میزان ۲۰ گرم در مترمربع شده و افزایش سه تا هشت درجه دما باعث کاهش عملکرد سویا به میزان ۲۵۰ تا ۴۰۰ گرم در مترمربع خواهد شد. Koocheki & Nassiri mahallati (2016) عنوان کردند که میانگین عملکرد گندم، ذرت، نخود و چغندر قند در سال ۲۰۵۰ در مناطق مختلف کشور به‌ترتیب ۱۸/۶، ۱۹/۱، ۶/۶ و ۲۰ درصد کاهش خواهد یافت. Shirdeli *et al.* (2019) بیان کردند که در افق‌های آتی عملکرد ذرت علوفه‌ای به‌دلیل کاهش طول دوره رشد کاهش خواهد یافت. Gholipoor & Soltani (2009) گزارش کردند که تغییر اقلیم در سال ۲۰۵۰ باعث کاهش عملکرد نخود آبی و افزایش عملکرد نخود دیم خواهد شد. Bahrami & Nazari (2019) در شبیه‌سازی تغییر اقلیم بر گندم، جو و سیب‌زمینی آبی بیان داشتند که عملکرد

جدول ۴. پتانسیل تولید گندم، برنج، حبوبات، سیب‌زمینی، دانه‌های روغنی، گیاهان علوفه‌ای و گیاهان قندی در شرایط فعلی، ۱/۵ درجه افزایش دما+ ۱۴ درصد کاهش بارش (سناریوی ۱) و ۱/۵ درجه افزایش دما+ ۱۴ درصد افزایش بارش (سناریوی ۲) با استفاده از مدل

پتانسیل فعلی (Mt)	سناریوی ۱ (Mt)	سناریوی ۲ (Mt)
گندم	۲۷,۹۹	۲۹,۰۰
برنج	۴,۵۱	۴,۳۱
حبوبات	۱,۳۵	۱,۳۸
سیب‌زمینی	۱۰,۱۰	۹,۱۰
دانه‌های روغنی	۱,۶۱	۱,۵۳
گیاهان قندی	۲۲,۵۱	۲۰,۸۷
گیاهان علوفه‌ای	۳۹,۸۰	۴۱,۰۵

پرشدن دانه شود (Hajarpoor *et al.*, 2016). بنابر نتایج این مطالعه باید برنامه‌های سازگاری در شرایط کشت آبی گیاهان گندم، جو، سیب‌زمینی، کلزا، نیشکر، کنجد و سویا و در شرایط کشت دیم گیاهان آفتابگردان، پنبه، کنجد، سویا، لوبیا و عدس باید در اولویت برنامه‌های سازگاری بیش‌تر بر روی این محصولات متمرکز شود.

#### ۴. نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در طی چند دهه آینده پیامدهای ناشی از تغییر اقلیم در شرایط کشت آبی عملکرد گندم، چغندر قند، سیب‌زمینی، عدس، نخود، کلزا، جو، لوبیا، برنج، آفتابگردان، نیشکر، سویا، کنجد، پنبه و ذرت دانه‌ای و در شرایط دیم عملکرد سویا، آفتابگردان، لوبیا، پنبه، عدس و کنجد کاهش خواهند یافت. به‌طور کلی، تولید سیب‌زمینی و گیاهان قندی بیش‌ترین کاهش و تولید گندم و گیاهان علوفه‌ای بیش‌ترین افزایش را نشان دادند. اتخاذ راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم مانند تغییر تاریخ کاشت، تولید ارقام با طول دوره رشد رویشی کوتاه‌تر و مقاوم به دماهای بالا با اولویت‌دادن به گندم، جو، سیب‌زمینی، کلزا، نیشکر، کنجد و سویا در شرایط کشت آبی و آفتابگردان، پنبه، کنجد، سویا، لوبیا و عدس در شرایط

اتخاذ راهبردهای سازگاری با تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای می‌تواند اثر این تغییرات را تعدیل نماید. با توجه به این نکته که محدودیت کشت زود هنگام در بهار به علت بارندگی و یخ‌زدگی زمین در آینده کاهش خواهد یافت، بنابراین به‌نظر می‌رسد که تسریع در کاشت یک راه‌کار مؤثر سازگاری جهت کسب منفعت از شرایط اقلیمی آینده باشد (Luo *et al.*, 2009). افزایش عملکرد از طریق تغییر تاریخ کاشت به‌علت تطبیق بهتر دوره رشد گیاه با فصل رشد بوده که در اثر تغییر اقلیم جابه‌جا شده است. در این شرایط اثرات منفی دماهای بالا بر عملکرد به‌ویژه در طول دوره پرشدن دانه که باعث کاهش شاخص برداشت می‌شود، کاهش خواهد یافت. هم‌چنین، به‌دلیل وجود دماهای پایین‌تر در طی مراحل رشدی گیاه، کارایی تعرق افزایش خواهد یافت. فرار از تنش خشکی انتهای فصل در شرایط تسریع در کاشت نیز از دیگر دلایل افزایش عملکرد خواهد بود (Hajarpoor *et al.*, 2016). هم‌چنین، به‌علت وجود تنش خشکی انتهای فصل در مناطق دیم کشور، ارقام با طول دوره رشد رویشی کوتاه‌تر می‌توانند عملکرد بیش‌تری داشته باشند. در واقع اصلاح ارقام در جهت زودرسی با کاهش دوره رشد رویشی می‌تواند باعث مصرف کم‌تر آب در طول دوره رویشی و ذخیره آن جهت استفاده در مراحل زایشی و

تأثیر تغییر اقلیم بر امنیت غذایی ایران: پیش‌بینی پتانسیل عملکرد و تولید گیاهان زراعی استراتژیک کشور با استفاده از مدل SSM-iCrop2

- Systems*, 90, 159-179.
- Gholipour, M., & Soltani, A. (2009). Future climate impacts on chickpea in Iran and ICARDA. *Research Journal of Environmental Sciences*, 3, 16-28.
- Hajarpour, A., Meghdadi, N., Soltani, A., & Kamkar, B. (2016). Assessment of the adaptation strategies in rainfed chickpea in response to future climate change in Zanjan province. *Agroecology*, 8, 169-181. (In Persian)
- Hasegawa, T., Fujimori, S., Havlík, P., Valin, H., Bodirsky, B.L., Doelman, J.C., Fellmann, T., Kyle, P., Koopman, J.F., Lotze-Campen, H., & Mason-D'Croz, D. (2018). Risk of increased food insecurity under stringent global climate change mitigation policy. *Nature Climate Change*, 8, 699-703.
- Hovhannisyanyan, S.V., & Grigoryan, K.A. (2016). The main problems and features of the global and local meat production. *Annals of Agrarian Science*, 14, 315-318.
- Izadi, Z., Nasrolahi, A.H., & Borujeni, H. (2019). Simulation of climate change effects on potato crop yield using AquaCrop plant growth model. *Irrigation & Water Engineering*, 9, 143-158. (In Persian)
- Kiani, S., Shahraki, J., Akbari, A., & Sardar Shahraki, A. (2020). The Effect of Climate Change on Iran's Agricultural Production: A Case Study of Wheat Crop. *Applied Field Crops Research*, 32, 109-127. (In Persian)
- Kjellsrom, E. (2005). Recent and future signature of climate change in Europe. *Ambio*, 33, 193-198.
- Koochaki, A., & Nassiri mahalati, M. (2008). Impacts of climate change and CO<sub>2</sub> concentration on wheat yield in Iran and adaptation strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 6, 139-154. (In Persian)
- Koocheki, A., & Kamali, G. (2010). Climate Change and Rainfed Wheat Production in Iran. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8, 508-515. (In Persian)
- Koocheki, A., & Nassiri Mahallati, M. (2016). Climate Change Effects on Agricultural Production of Iran: II. Predicting Productivity of Field Crops and Adaptation Strategies. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14, 1-20. (In Persian)
- Kuiper, M., Shutes, L., Verma, M., Tabeau, A., & van Meijl, H. (2018). Exploring the impact of alternative population projections on prices, growth and poverty developments. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Publications*, 51p.
- کشت دیم می‌تواند پیامدهای منفی تغییر اقلیم را کاهش دهد. با وجود عدم قطعیت‌هایی که در پیش‌بینی‌های مبتنی بر مدل‌سازی وضعیت آینده وجود دارد، در حال حاضر این مدل‌ها تنها ابزار موجود برای مطالعات تغییر اقلیم می‌باشند. از سوی دیگر، باید به این نکته توجه داشت که تأثیر تغییرات اقلیمی در شرایط کنترل‌شده و یا در هنگام شبیه‌سازی به مراتب کم‌تر از شرایط واقعی مزرعه است، زیرا در شرایط طبیعی وجود انواع تنش‌های زنده و غیرزنده محیطی ممکن است باعث تشدید اثرات تغییر اقلیم شوند. با وجود این نگرانی‌ها، با اتخاذ راه‌کارهای مناسب می‌توان تولید گیاهان زراعی را به شرایط اقلیمی آینده سازگار کرد.

## ۵. تشکر و قدردانی

از حمایت‌های سازمان پدافند غیرعامل کشور در طول انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

## ۶. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

## ۷. منابع

- Alijani, F., Karbasi, A., & Mozafari, M. (2012). Survey of the Effects of Climate Change on Yield of Irrigated Wheat in Iran. *Agricultural Economic & Development*, 19, 143-153. (In Persian)
- Bahrami, F., & Nazari, M. (2019). Climate change and the risk of agricultural productions: A case study of wheat, barley and potatoes. *Journal of Agroecology*, 9, 86-101. (In Persian)
- Cardoso, L.C., Bittencourt, M.V., Litt, W.H., & Irwin, E.G. (2019). Biofuels policies and fuel demand elasticities in Brazil. *Energy policy*, 128, 296-305.
- Doelman, J.C., Stehfest, E., Tabeau, A., & van Meijl, H. (2019). Making the Paris agreement climate targets consistent with food security objectives. *Global Food Security*, 23, 93-103.
- Fulco, L., & Senthold, A. (2006). Climate change impacts on wheat production in a Mediterranean environment in Western Australia. *Agricultural*

- Luo, Q., Bellotti, W., Williams, M., & Wang, E. (2009). Adaptation to climate change of wheat growing in South Australia: analysis of management and breeding strategies. *Agriculture, ecosystems & environment*, 129, 261-267.
- Menzel, A., Sparks, T. H., Estrella, N., Koch, E., Aasa, A., Ahas, R., Alm-Kubler, K., Bissolli, P., Braslavská, O.G., Briede, A., Chmielewski, F. M., Crepinsek, Z., Curnel, Y., Dahl, A., Defila, C., Donnelly, A., Filella, Y., Jatczak, K., Mage, F., Mestre, A., Nordli, O., Penuelas, J., Pirinen, P., Remisova, V., Scheifinger, H., Striz, M., Susnik, A., Van Vliet, A. J. H., Wielgolaski, F. E., Zach, S., & Züst, A. N. A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12, 1969-1976.
- Mohammadi, E., Movahedi, S., Mohammadi, R., & Golegari, S. (2020). Investigation of Climate Change Occurrence and its Impact on Rainfall Wheat Phenology in West and Northwest of Iran. *Climatological research*, 43, 159-170.
- Nehbandani, A., & Soltani, A. (2016). Simulate the Effect of Climate Change on Development, Irrigation Requirements and Soybean Yield in Gorgan. *Water & Soil*, 30, 77-87. (In Persian)
- OECD - Organisation for Economic Co-operation and Development. (2018). Meeting Policy Challenges for a Sustainable Bioeconomy. *OECD Publishing*, 177p.
- Rafiee, Z., Habibollah, S., & Khalilian, S. (2019). The Investigation of Climate Change Effect on Agricultural Production Risk; the Case of Wheat in Fars Province. *Agricultural Economics*, 13, 87-110.
- Salehi, F., Abdullahi, Z., & Abdullahi, M. (2014). Food basket desirable for Iranian society. *Permanent Thought Publications*, 58p. (In Persian)
- Shirdeli, A., Lotfi, F., Khani Temelieyeh, Z., Fakhimi, P., & Salehi, M. (2019). The Effect of Climate Change on Sorghum's Yield in the Abhar Plain. *Environment & Water Engineering*, 4, 343-356. (In Persian)
- Soltani, A., & Gholipoor, M. (2006). Simulating the impact of climate change on growth, yield and water use of chickpea. *Journal of Agricultural Science and Natural Resource*, 13, 1-12.
- Soltani, A., Alimaghani, S.M., Nehbandani, A., Torabi, B., Zeinali, E., Dadrasi, A., Zand, E., Ghassemi, S., Pourshirazi, S., Alasti, O., & Hosseini, R.S. (2020). SSM-iCrop2: A simple model for diverse crop species over large areas. *Agricultural Systems*, 182, 102855.
- Soltani, A., Nehbandani, A., Alimaghani, M., Dadarsi, A., Torabi B., & Ahmadi, M. (2020). Parameterization and evaluation of SSM-iCrop2 model to simulate the growth and yield of crops and horticulture. Research Project. *Agricultural Research, Education and Extension Organization*. (In Persian)
- Soltani, A., Nehbandani, A., Dadresi, A., Alimqam, M., Zeinali, A., & Torabi b. (2018). Ecological agronomic zoning of the country for plant production. Research Project. *Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources*. (In Persian)
- UNFCCC. (2015). United Nations Framework Convention on Climate Change, Adoption of the Paris Agreement. *Proposal by the President*. Water Research Institute. (2019). The trend of precipitation and temperature changes in Iran and other countries (especially neighboring countries). *Specialized meeting on the perspective of climate change in the country*. (In Persian)
- Wiebe, K., Lotze-Campen, H., Sands, R., Tabeau, A., van der Mensbrugge, D., Biewald, A., Bodirsky, B., Islam, S., Kavallari, A., Mason-D'Croz, D., & Müller, C. (2015). Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios. *Environmental Research Letters*, 10, 085010.
- Zarakani, F., Kamali, G., & Chizari, A. (2014). The effect of climate change on the economy of rain fed wheat (a case study in Northern Khorasan). *Journal of Agroecology*, 2, 301-310.
- Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., & Durand, J.L. (2017). Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114, 9326-9331.