**مقاله پژوهشی**

**علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و چهارم، شماره دوازده، اسفند ماه ۱۴۰۱ (۱۰۷-۹۳)**

# ارزیابی اثرات سناریوهای SSP از بروندادهای اقلیمی مدل‌های جفت شده میان مقایسه‌ای فاز ششم (CMIP6) بر منابع آب و کشاورزی منطقه هشتگرد با رویکرد اعمال راهبرد تطبیقی

**مصطفی رضایی زمان** [۱]

**علیرضا مساح بوانی** [۲ *]

armassah@ut.ac.ir

**سامان جوادی** [۲]

**تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۴** **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۶/۲۲**

**چکیده**

**زمینه و هدف:** با توجه به وضعیت نه‌چندان مناسب شرایط منابع آب کشور و نیز پدیده تغییراقلیم و تأثیرات آن، شبیه‌سازی وضعیت تغییر اقلیم در آینده و ارزیابی اثرات آن به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و مقابله با آن می‌تواند اهمیت بسزایی در تصمیم‌گیری‌های آینده داشته باشد. در این راستا به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و سود جستن از اثرات احتمالی مثبت آن در حوضه‌های آبریز، راهبرهای مختلف سازگاری ارائه می‌شود.

در این تحقیق تطبیق با تغییر اقلیم در بخش کشاورزی تحت جدیدترین سناریوهای تغییر اقلیم CMIP6-SSP مورد بررسی و ارزیابی قرارگرفته و با توجه به ویژگی‌های منطقه هشتگرد و مخاطراتی که کشاورزی منطقه را تهدید می‌کند، تلاش دارد تا نگاه جامعی به این سیستم داشته باشد. بدین منظور راهبردهای سازگاری برای کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم در بخش کشاورزی مورد ارزیابی قرار گرفت.

**روش بررسی:** بدین منظور از مدل SWAT برای شبیه‌سازی و ارزیابی راهبرد تطبیقی در منطقه هشتگرد در سال ۱۳۹۸ استفاده شد. برای مدل‌سازی شرایط تغییر اقلیم در منطقه از مدل اقلیمی NorESM2-MM مربوط به گزارش ششم IPCC و سناریوهای مختلف SSP (SSP1.26, SSP2.54, SSP3.70. SSP 5.85) بهره گرفته شد و با ریزمقیاس، داده‌های دمای حداقل، حداکثر و بارش برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۴۹ تولید گردید. پس از محاسبه تغییرات دما و بارندگی نسبت به شرایط حاضر، مقادیر این تغییرات به‌منظور بررسی

۱- دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان تهران، پاکدشت.

۲- دانشیار گروه مهندسی منابع آب، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. * (مسوول مکاتبات)

تأثیر آن بر منابع آب منطقه هشتگرد، به مدل SWAT اعمال گردید و مقادیر تنش آبی، عملکرد محصولات در شرایط اعمال تغییر اقلیم برآورد گردید.

**یافته‌ها:** نتایج حاکی از افزایش متوسط تنش آبی و همچنین کاهش عملکرد محصولات به‌غیراز محصول ذرت در همه سناریوهای SSP بود. پس از ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در منطقه، به‌منظور تطبیق با این تغییرات در بخش کشاورزی، راهبرد تغییر الگوی کشت از محصولات گوجه‌فرنگی و یونجه با نیاز آبی بالا با محصولات گندم و جو که قابلیت سازگاری بالاتر و نیاز آبی کمتر دارند و همچنین در تغییر الگوی کشت دوم، به ذرت خوشه‌ای به‌عنوان محصول مقاوم‌به‌گرمایش زمین، پیشنهاد و با معیارهای چون تغییرات تنش آبی و عملکرد محصولات نسبت به شرایط ادامه وضع موجود (BAU[1]) ارزیابی شد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** نتایج نشان داد، تغییر الگوی کشت به گندم و جو موجب کاهش تنش آبی محصولات منطقه شده‌است. به‌طورکلی در راهبرد تغییر الگوی کشت، افزایش عملکرد هر سه محصول گندم ، جو و ذرت نسبت به راهبرد BAU را در پی داشت. در راهبرد تغییر الگوی کشت به ذرت خوشه‌ای کاهش قابل‌توجه تنش آبی و به‌تبع آن عملکرد قابل‌قبول این محصول برآورد شد. که این افزایش عملکرد به دلیل کاهش تنش‌های آبی ناشی از افزایش آب قابل‌دسترس می‌باشد.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، مدل SWAT، تنش آبی، راهبرد تطبیقی، سناریوهای SSP، هشتگرد.

1- Bussines As Usual

*J. Env. Sci. Tech., Vol 24, No.12, March, 2023*

# Evaluation of the effects of SSP scenarios of Coupled Model resources and Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) on water agricultural crop in Hashtgerd region with the approach of applying an adaptation strategy

**Mostafa Rezaee Zaman**[1]
**Ali Reza Massah Bavani** [2 *]
armassah@ut.ac.ir
**Saman Javadi**[2]

Admission Date: September 13, 2022 Date Received: January 4, 2022

**Abstract**

**Background and Objective:** Considering the not very suitable state of the country's water resources as well as the phenomenon of climate change and its effects, simulating the state of climate change in the future and evaluating its effects in order to reduce vulnerability and deal with it can be very important in future decisions. In this regard, in order to reduce the negative effects of climate change and benefit from its possible positive effects in watersheds, various adaptation strategies are presented. In this research, adaptation to climate change in the agricultural sector under the CMIP6-SSP climate change scenarios has been investigated and evaluated. Considering the characteristics of the Hashtgerd region and the risks that threaten agriculture in the region, this research tries to have a comprehensive view of this system. For this purpose, adaptation strategies to reduce the negative effects of climate change in the agricultural sector were evaluated.

**Material and Methodology:** In this research, the SWAT model was used to simulate and evaluate the adaptive strategy in Hashtgerd region in 2018. To model climate change conditions in the region, the NorESM2-MM climate model related to the 6th IPCC report and different SSP scenarios (SSP1.26, SSP2.54, SSP3.70, SSP 5.85) were used and minimum and maximum temperature data and the precipitation were downscaled for the years 2020 to 2049. After calculating the changes in temperature and rainfall compared to the current conditions, the values of these changes were applied to the SWAT model in order to investigate its effect on the water resources of Hashtgerd region. Finally, the values of water stress and crop performance were estimated under the conditions of climate change.

**Findings:** The results indicated an average increase in water stress and also a decrease in yield of crops other than corn in all SSP scenarios. After evaluating the effects of climate change in the region, in order to adapt to these changes in the agricultural sector, two adaptation strategies were used 1) The

1- PhD Candidate of Water Resources Engineering, Department of water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Iran. *(*CorrespondingAuthor*)

strategy of changing the cultivation pattern from tomato and alfalfa crops to wheat and barley and 2) Changing the cultivation pattern from tomato and alfalfa to corn. These strategies were evaluated with criteria such as changes in water stress and yield of crops compared to BAU conditions.
**Discussion and Conclusion:** The results showed that changing the cultivation pattern to wheat and barley has reduced the water stress of regional crops. In general, in the strategy of changing the cultivation pattern, the yield of all three crops, wheat, barley and corn, was increased compared to the BAU strategy. In the strategy of changing the cultivation pattern to corn, a significant reduction in water stress was estimated and, accordingly, the yield of this product was acceptable. This increase in performance is due to the reduction of water stress caused by the increase in available water.

**Keyword**: Climate change, SWAT model, Water stress, Adaptive strategy, SSP scenarios, Hashtgerd.

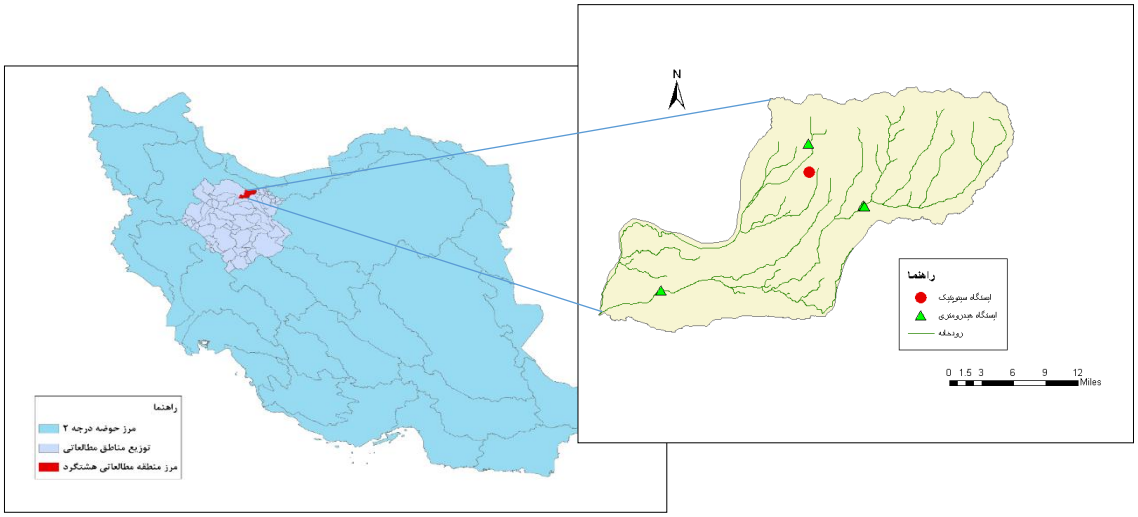
**مقدمه**

تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهم پیش‌روی بشر در قرن ۲۱ می‌باشد، که به‌واسطه افزایش گازهای گلخانه‌ای در جو کره زمین ایجاد می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد. این افزایش گازهای گلخانه‌ای باعث می‌شود متغیرهای اقلیمی کره زمین، به‌ویژه مؤلفه‌های بیلان منابع آب تحت تأثیر قرار گیرد. بنابراین پیش‌بینی می‌شود تغییر اقلیم باعث افزایش دما و به‌واسطه آن افزایش تبخیر و تعرق در حوزه‌های آبریز و کاهش رواناب در سطح حوضه‌ها، حتی با افزایش اندک بارش گردد(۱). پیش‌بینی می‌شود که کشورهای درحال‌توسعه بیشترین تأثیر از تغییرات دما و افزایش رویدادهای حدی آب و هوایی و محدودیت منابع برای تطبیق با این تغییرات را متحمل شوند(۲). همچنین تغییرات اقلیمی، تغییرات قابل‌توجهی در تولید و عملکرد محصولات کشاورزی ایجاد کرده است و حتی با کاهش قابل‌توجه انتشار گازهای گلخانه‌ای در سراسر جهان، تغییرات ادامه خواهد یافت(۳). ریچاردسون در تحقیقی تغییر اقلیم و عدم امنیت غذایی را دو چالش عمده قرن ۲۱ مطرح کرد(۴). بنابراین هر تغییری در عملکرد محصولات کشاورزی تحت پدیده تغییر اقلیم در آینده می‌تواند امنیت غذایی را با چالش جدی مواجه سازد. در این خصوص در مطالعه‌ای که توسط بویر صورت گرفته، گزارش‌شده که تغییرات اقلیمی از سال ۱۹۸۲ تاکنون ۷۰٪ عملکرد محصولات را کاهش داده است. از طرفی افزایش روزافزون جمعیت جهان موجب افزایش تقاضا برای تولید محصولات کشاورزی بیشتر می‌شود(۵). کاهش بهره‌وری محصولات نشان‌دهنده تهدید اصلی برای امنیت غذایی، به‌ویژه در شرایط افزایش سریع جمعیت جهان است(۶). بنابراین باید سیاست‌ها و راهبردهای درستی در نظر گرفته تا بتوان به چالش‌های تحمیل‌شده توسط تغییرات اقلیمی بر امنیت غذایی پرداخت. ازجمله این راهبردها، روش‌های سازگاری و کاهش است(۷). برای اطمینان از امنیت غذایی، اقدامات کشاورزی، ارقام محصولات زراعی و رویکردها و نگرش‌های عمومی باید تغییر کنند. در این راستا به‌منظور کاهش اثرات منفی تغییر اقلیم و سود بردن از اثرات احتمالی مثبت آن در حوزه‌های آبریز، محققان به ارائه راهبردهای مختلف سازگاری می‌پردازند.

**مواد روش‌ها**

**منطقه مطالعاتی**

محدوده مطالعاتی هشتگرد در نیمه شمالی حوزه آبریز دریاچه نمک واقع شده است، مساحت ارتفاعات و دشت در این محدوده به ترتیب ۵۹۳ و ۵۳۱ کیلومترمربع و حداکثر و حداقل ارتفاع به ترتیب ۵۲۵۲ و ۱۱۰۰ متر می‌باشد. این حوضه بین طول های جغرافیایی ۵۰/۳ تا ۵۱ درجهٔ شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۵/۷ تا ۳۶/۱ درجهٔ شمالی گسترده است مصارف آب دشت هشتگرد در بخش‌های شرب، صنعت و کشاورزی از منابع آب سطحی و زیرزمینی تأمین می‌شود .عمدهٔ آب سطحی منطقهٔ مطالعه شده از رودخانهٔ کردان تأمین می‌شود. آب سفره‌های زیرزمینی نیز اغلب از چاه‌ها برداشت می‌شود(۸).




**شکل۱- نقشه زیرحوضه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری در منطقه هشتگرد**

Figure 1. Map of the sub-basin and location of synoptic and hydrometery stations in hashtgerd region

با توجه به این‌که برای بررسی چشم‌انداز تغییرات متغیرهای اقلیمی (بارش، دمای حداکثر و دمای حداقل) با مدل‌های GCM نیاز به آمار درازمدت می‌باشد، برای این منظور ایستگاه‌های سینوپتیک کرج و هشتگرد انتخاب و داده‌های دوره آماری طی سال‌های ۱۹۸۵تا ۲۰۱۹ مورداستفاده قرار گرفت. همچنین بازده سالانه محصولات از ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ همراه با نیاز آبی گزارش‌شده از محصولات منطقه موردمطالعه انجام شد (۸) و (۹). در ادامه نیز تغییرات دما و بارش تحت تأثیر تغییر اقلیم برای ایستگاه سینوپتیک هشتگرد محاسبه شد. برای شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب نیز آمار آب‌سنجی ۳ ایستگاه هیدرومتری فشند، ده‌صومعه و نجم آباد طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ به‌کار گرفته شد. تمامی فرایندهای شبیه‌سازی در مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۸ انجام شد. موقعیت این ایستگاه‌ها در جدول ۱ و شکل ۱ آمده است.

**جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورداستفاده در تحقیق**

Table 1 .Charactisic of meteorological stations used in the research

| ایستگاه | نوع | طول | عرض | ارتفاع (متر) | دوره آماری |
|---|---|---|---|---|---|
| فشند | هیدرومتری | ۴۶/۰۴ | ۳۵/۴ | ۱۳۰۰ | ۲۰۱۹-۱۹۹۰ |
| کردان | هیدرومتری | ۴۶/۱۶ | ۳۶/۶۳ | ۱۳۱۱ | ۲۰۱۹-۱۹۹۰ |
| کردان | هیدرومتری | ۴۵/۱۷ | ۳۶/۷۶ | ۱۳۸۵ | ۲۰۱۹-۱۹۹۰ |

به استناد داده‌های سازمان جهاد کشاورزی استان البرز، در منطقهٔ هشتگرد شانزده گیاه زراعی مختلف در گسترهٔ ۳۵۸۱۸ هکتار کشت می‌شوند که حدود ۱۳۱ میلیون مترمکعب آب مصرف می‌کنند .در این میان حدود ۸۰ درصد از سطح زیر کشت گیاهان زراعی متعلق به چهار گیاه زراعی شامل گندم، جو، ذرت و یونجه است که در کل ۱۷۰ میلیون مترمکعب (یعنی حدود ۸۰ درصد آب مصرفی گیاهان زراعی منطقه) از مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهند. جدول ۲ نیز الگو، سطح و تاریخ کشت را برای منطقه هشتگرد نشان می‌دهد.

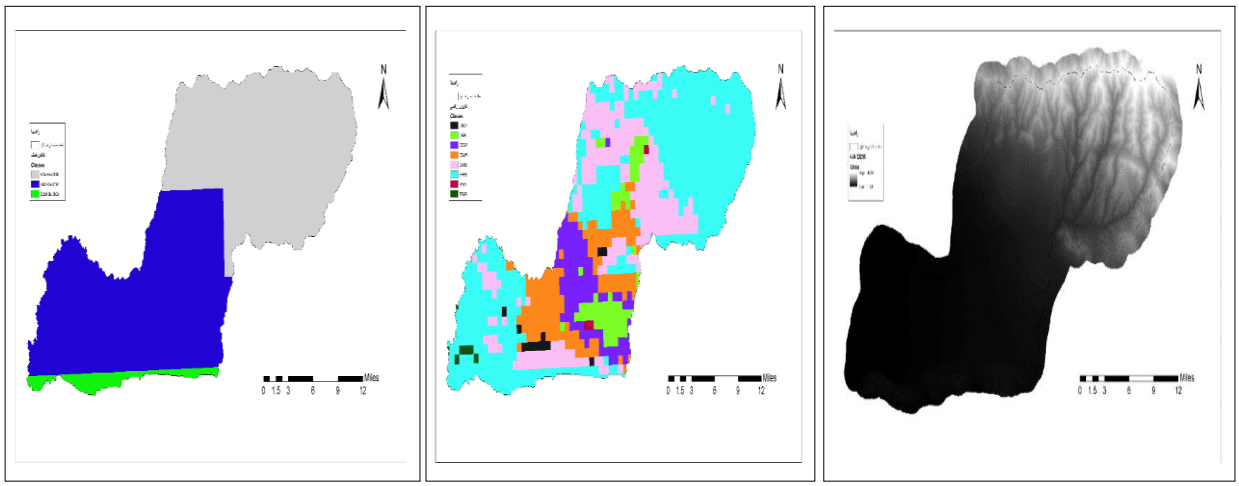
**جدول۲- سطح زیر کشت آبی(هکتار) محصولات عمده محدوده مطالعاتی به همراه تاریخ کشت، برداشت و میزان کود دهی مصرفی سالانه (کیلوگرم در هکتار) (۹).**

Table2 .Irrigated area (ha) of crops of study area along with planting date, harvest and annual fertilizer consumption (kg / ha)

| محصول | سطح زیر کشت | تاریخ کشت | تاریخ برداشت | مقدار مصرف کود | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | نیتروژن | فسفر |
| گندم | ۶۵۲۷ | ۱۰دی | ۲۰خرداد | ۱۲۰ | ۱۴۰ |
| جو | ۴۶۸۴ | ۱۰دی | ۲۰خرداد | ۱۲۰ | ۱۴۰ |
| ذرت | ۲۴۳۵ | ۱۰اردیبهشت | ۱۰شهریور | ۲۵۰ | ۲۵۰ |
| یونجه | ۹۳۷ | ۱۰ اسفند | ۲۰ مهر | ۲۵۰ | ۲۵۰ |
| گوجه‌فرنگی | ۱۳۱۱ | ۲۰فروردین | ۲۰شهریور | ۴۵۵ | ۴۵۵ |
| انگور | ۵۵۹۰ | ۱اردیبهشت | ۲۰مرداد | ۲۵۰ | ۲۵۰ |
| هلو | ۸۳۸۶ | ۲۰فروردین | ۱۰مهر | ۲۵۰ | ۲۵۰ |

**شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه**

برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی منطقه موردمطالعه، از مدل SWAT استفاده شد. مدل SWAT به‌جای در نظر گرفتن روابط رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، نیازمند اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت و کاربری زمین‌ها در سطح حوضه است (۱۰). این مدل شامل تعداد نسبتاً بالایی از پارامترها برای قرار دادن ماژول‌های مختلف خود مانند رشد محصول، آب زیرزمینی و مسیر رودخانه است.



**شکل ۲- الف) لایه DEM ب) لایه کاربری اراضی ج) لایه خاک مورد استفاده برای اجرای مدل SWAT**

Figure 2. a) DEM layer b) Land use layer c) Soil layer

آماده‌سازی و واسنجی مدل SWAT از اهمیت بالایی برخوردار است. بدین منظور علاوه بر داده‌های اقلیمی، مدل به نقشه‌های رقومی ارتفاع (DEM)، خاک و کاربری اراضی (شکل ۲) نیاز دارد. از مراحل مهم در تنظیم مدل، تشکیل HRU ها هستند که نهایتاً در این تحقیق تعداد ۲۰۵ عدد برای منطقه موردمطالعه انتخاب گردید.

**شبیه‌سازی عملکرد محصولات کشاورزی در مدل SWAT**

با توجه به این‌که یکی از شاخص‌های ارزیابی این تحقیق عملکرد محصولات کشاورزی تحت تأثیر تغییر اقلیم می‌باشد، شبیه‌سازی این قسمت از اهمیت زیادی برخوردار است. در مدل SWAT برای شبیه‌سازی عملکرد محصول ابتدا برای هرروز، پتانسیل رشد توده گیاهی برای گیاهان مختلف محاسبه و سپس رشد واقعی توده گیاهی با توجه به تنش‌های مختلف اعم از آب، حرارتی، و مواد مغذی، برآورد می‌شود. درنهایت در زمان برداشت، قسمتی از توده گیاه به‌عنوان عملکرد آن محصول در هر HRU برآورد می‌گردد روابط (۱) به ترتیب نحوه برآورد عملکرد در محصولات غیر غده‌ای و غده‌ای را نشان می‌دهد:

$$yld = HI * bio_{ag} \quad HI \geq 1 \text{ اگر} \qquad yld = \left(1 - \frac{1}{1+HI}\right) * bio \quad HI \geq 1 \text{ اگر} \qquad (۱)$$

که در این رابطه yld (kg/ha) عملکرد محصول، HI شاخص برداشت و bio مقدار کل توده گیاهی در روز برداشت می‌باشد.

**تنش‌های آبی محصولات در SWAT**

مدل SWAT چهار نوع تنش شامل آبی، حرارتی، نیتروژن و فسفر را در عملکرد نهایی گیاه دخالت می‌دهد. در این مطالعه فرض بر این بود که محصولات تحت شرایط مطلوب نیتروژن و فسفر کشت می‌شوند و تنش آب (wstrs) تنها پیامدهای تغییر اقلیم در نظر گرفته می‌شوند. تنش آبی: wstrs در مدل SWAT به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$wstrs = 1 - \frac{E_{t.act}}{E_t} = 1 - \frac{W_{actualup}}{E_t} \qquad (۲)$$

جایی که $E_t$ و $E_{t.act}$، به ترتیب حداکثر تبخیر و تعرق گیاه و مقدار واقعی تبخیر و تعرق برای یک روز معین هستند. محدوده مقادیر از ۰ تا ۱ می‌باشد و مقدار صفر به معنی پتانسیل تعرق محصول می‌باشد

**اعمال تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و کشاورزی منطقه مطالعاتی به‌وسیله مدل SWAT**

تغییر اقلیم در مدل SWAT با تغییر در ورودی داده‌های مدل (بارندگی، دما، تابش خورشید، رطوبت، سرعت باد، تبخیر و تعرق پتانسیل ) شبیه‌سازی می‌شود. SWAT به کاربر اجازه می‌دهد تا در هر زیر حوضه بارندگی، دما، تابش خورشید، رطوبت و سطح دی‌اکسید کربن را تنظیم کند. که این عمل به این صورت انجام می‌گیرد که:

$$T_{mn} = T_{mn} + adj_{tmp} \qquad T_{mx} = T_{mx} + adj_{tmp} \qquad R_{day} = R_{day} * \frac{adj_{pcp}}{100} \qquad (۳)$$

که $R_{day}$ مقدار باندگی در زیرحوضه بر حسب میلی‌متر و $adj_{pcp}$ درصد تغییرات در بارندگی، $T_{mx}$ ماکزیمم دما بر حسب درجه سلسیوس و $adj_{tmp}$ تغییر در دما و $T_{mn}$ دمای حداقل روزانه بر حسب سلسیوس و $adj_{tmp}$ تغییر در دما می‌باشد.

**تغییر اقلیم**

در این پژوهش از بین برونداهای مختلف اقلیمی مدل‌های جفت شده میان مقایسه‌ای فاز ششم (CMIP6)، مدل اقلیمی NorESM2-MM که بیشترین ضریب تبیین ($R^2$) را با ایستگاه سینوپتیک هشتگرد داشت، انتخاب شد. مدل NorESM2-MM مدل جفت شده سیستم زمین، کشور نروژ و شامل یک ماژول متفاوت برای فیزیک شیمی آئروسل، ازجمله تعامل با ابر و تشعشع است. تفکیک‌پذیری شبکه این مدل ۱۰۰ کیلومتر است. خروجی دما و بارش این دو مدل توسط نرم‌افزار GISبرای نزدیک‌ترین سلول به ایستگاه مشاهداتی در منطقه استخراج شد. جهت ریزمقیاس نمایی از تبدیل CDF[1] غیر پارامتری استفاده شد. CDFt یک روش آماری مبتنی برنگاشت چندکی(Quantile Mapping) است (۱۱).

1- Cumulative Distribution Functions

همچنین در این تحقیق از تلفیقی از سناریوهای مختلف (SSP) استفاده شد. این سناریوها در ۵ دسته قرار گرفتند که با عنوان SSP1 تا SSP5 شناخته می‌شوند. اطلاعات بیشت در این زمینه در منابع (۱۲) و (۱۳) قابل دسترسی است.

**راهبردهای سازگاری**

سازگاری به تعدیل در سامانه‌های اکولوژیکی، اجتماعی یا اقتصادی در پاسخ به محرک‌های اقلیمی واقعی یا مورد انتظار و اثرات یا تأثیرات آن‌ها اشاره دارد(۱۴). به تغییرات در فرآیندها، شیوه‌ها و ساختارها برای تعدیل آسیب‌های احتمالی یا بهره‌مندی از فرصت‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی اشاره دارد. به بیان ساده، کشورها و جوامع باید راه‌حل‌های سازگاری را توسعه دهند و اقداماتی را برای پاسخ به اثرات تغییرات اقلیمی که در حال حاضر اتفاق می‌افتد و همچنین آماده شدن برای اثرات آتی را اجرا کنند(۱۴).

**نتایج و بحث**

**واسنجی و صحت سنجی مدلSWAT**

واسنجی و صحت سنجی مدل SWAT به‌منظور شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوزه آبریز هشتگرد با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های آب‌سنجی فشند، ده صومعه و نجم آباد طی سال های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ انجام گرفت. جهت ارزیابی عملکرد مدل از ۲ شاخص ضریب تبیین $R^2$ و ضریب نش NASH استفاده گردید که نتایج آن‌ها در جدول ۳ آمده است.

**جدول ۳-نتایج واسنجی و اعتبار سنجی مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری**

Table 3. Results of model calibration and validation for hydrometric stations

| شماره / رودخانه | | ایستگاه | واسنجی | | | صحت سنجی | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | طول دوره آماری | $R^2$ | NS | طول دوره | $R^2$ | NS |
| ۱ | فشند | فشند | ۲۰۱۶-۱۹۹۰ | ۰/۸۱ | ۰/۷۵ | ۲۰۱۹-۲۰۱۷ | ۰/۷۲ | ۰/۶۶ |
| ۲ | کردان | ده صومعه | ۲۰۱۶-۱۹۹۰ | ۰/۸۳ | ۰/۸۱ | ۲۰۱۹-۲۰۱۷ | ۰/۷۷ | ۰/۷۱ |
| ۳ | کردان | نجم آباد | ۲۰۱۶-۱۹۹۰ | ۰/۷۱ | ۰/۵۸ | ۲۰۱۹-۲۰۱۷ | ۰/۵۱ | ۰/۴۳ |

به‌منظور شبیه‌سازی هر چه‌بهتر و واقعی‌تر عملکرد محصولات، برخی پارامترهای گیاهی که در پایگاه داده‌های مدل SWAT قرار دارند، مورد تعدیل قرار گرفت. درنهایت مقادیر بهینه پارامتراهای فوق برآورد و در جدول ۴ ارائه‌شده‌اند. همچنین عملکرد شبیه‌سازی‌شده محصولات در جدول ۵ قابل‌مشاهده است.

**جدول۴- مقادیر نهایی پارامترهای گیاهی مؤثر بر عملکرد**

Table 4. Final Values Of Crop Growth And Crop Yield Parameters In Swat Model

| پارامتر / محصول | گندم | جو | ذرت | یونجه | گوجه‌فرنگی | انگور | هلو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| HVSTI(بی‌بعد) | ۰/۴ | ۰/۴ | ۰/۶۵ | ۱/۹ | ۱/۲ | ۱/۶ | ۰/۶ |
| BLAI($m^2/m^2$) | ۵ | ۴/۵ | ۶ | ۶ | ۵ | ۵/۵ | ۵/۵ |
| FRGRW1(بی‌بعد) | ۰/۰۵ | ۰/۱۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱۵ | ۰/۱ |
| FRGRW2(بی‌بعد) | ۰/۴۵ | ۰/۴۵ | ۰/۱۵ | ۰/۵ | ۰/۳ | ۰/۳۵ | ۰/۴ |

**جدول۵-عملکرد شبیه‌سازی محصولات با مدل SWAT و عملکرد واقعی محصولات( ارقام به تن در هکتار)**

Table 5. Crop yield observation and simulation in swat model(ton/ha)

| محصول / عملکرد | گندم | جو | ذرت | یونجه | گوجه‌فرنگی | انگور | هلو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شبیه‌سازی‌شده | ۴/۱ | ۵/۳ | ۳۸ | ۱۰/۴ | ۳۰ | ۱۷ | ۳۰/۱ |
| مشاهداتی | ۴/۷ | ۴/۳ | ۳۵ | ۹/۵ | ۳۳/۵ | ۱۹ | ۳۰ |

**ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر هیدرولوژی و کشاورزی منطقه مطالعاتی**

**ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش**

در جدول ۶ نتایج حاصل از ریزمقیاس نمایی داده‌های تاریخی بروندادهای فاز ششم با مقادیر مشاهداتی ایستگاه هشتگرد آورده شده است همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار ضریب تبیین $R^2$ برای پارامترهای دمای حداقل و دمای حداکثر نشان از همبستگی مناسب بین مدل و داده‌های مشاهداتی دارند و مدل اقلیمی انتخاب‌شده، جهت بازتولید داده‌ها و شبیه‌سازی سناریوهای آینده مناسب می‌باشد. پس از حصول اطمینان از نتایج صحت‌سنجی مدل، داده‌های اقلیمی پیش‌بینی‌شده برای دمای حداقل، حداکثر، متوسط و بارش مطابق روابط ۳ محاسبه گردید.

**جدول۶- نتایج ارزیابی صحت سنجی مدل اقلیمی با داده‌های مشاهداتی ایستگاه هشتگرد**

Table 6.The results of validation of climate model with the observational data of Hashtgerd station

| نام مدل | پارامتر اقلیمی | ضریب R2 |
|---|---|---|
| NorESM2-MM | دمای حداقل | /۸۸ |
| | دمای حداکثر | /۸۷ |

**ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد محصولات کشاورزی**

در شرایط ایده‌ال در صورت مهیا بودن آب کافی و دمای مناسب، گیاه به حداکثر عملکرد خود می‌رسد ولی در واقعیت تنش آبی و دمایی همواره همراه گیاه می‌باشد. این فاکتور در مدل SWAT با تأثیرگذاری بر شاخص برداشت (HVST) بر عملکرد محصولات شبیه‌سازی‌شده تأثیر می‌گذارد تنش آبی وارد بر در طول دوره رشد و نحوه محاسبه این شاخص‌ها در روابط ۲ آورده شده است.

در جدول ۷ درصد تغییرات عملکرد محصولات کشاورزی تحت سناریوهای مختلف اقلیمی آورده شده است. مشاهده می‌شود در همه محصولات کاهش عملکرد را شاهد خواهیم بود که این کاهش عملکرد اگر ناشی از افزایش دمای حداکثر باشد مدت‌زمان پر شدن دانه و یا وزن دانه را کاهش می‌دهد و یا اگر ناشی از افزایش دمای حداقل باشد، تنفس شبانه را افزایش می‌دهد و موجب کاهش مقدار مواد آلی موجود برای رشد و نمو محصول می‌شود که در هر حالت انتظار کاهش عملکرد محصول را می‌توان متصور شد(۱۵).

**جدول ۷-درصد تغییرات عملکرد(تن/هکتار) محصولات در شرایط حاضر و تحت سناریوهای مختلف SSP در مدل NorESM2-MM سال ۲۰۲۱-۲۰۵۰**

Table 7- Percentage of crop yield changes (tons / hectare) in the current conditions and under different ssp scenarios in NorESM2-MM model 2021-2050

| محصول / متوسط عملکرد | گندم | جو | ذرت | یونجه | گوجه‌فرنگی | انگور | هلو |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ۴/۱ | ۵/۳ | ۳۸ | ۱۰/۴ | ۳۰ | ۱۷ | ۳۰/۱ |
| SSP126 | -۴ | -۶/۲ | +۴ | -۲/۳ | -۲/۸ | -۰/۶ | -۸/۴ |
| SSP245 | -۹ | -۸ | +۳/۲ | -۰/۴ | -۰/۹ | -۱/۸ | -۹ |
| SSP370 | -۱۱ | -۱۱ | +۵ | -۲ | -۰/۹ | -۱/۵ | -۵/۶ |
| SSP585 | -۱۲ | -۱۳ | +۳/۹ | -۳/۹ | -۲ | -۵/۶ | -۹/۷ |

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، محصول ذرت برخلاف سایر محصولات با افزایش عملکرد همراه بوده که این موضوع می‌تواند ناشی از این باشد که ذرت برخلاف غلات ( گندم و جو) احتیاج به گرما و حرارت زیاد خورشید دارد به همین دلیل حرارت، عامل محدودکننده رشد و نمو این گیاه محسوب می‌شود. جوانه‌زنی در ذرت از دمای ۱۰-۸ درجه سلسیوس در عمق کاشت شروع می‌شود. مناسب‌ترین درجه حرارت در طول دوره رشد بین ۳۵-۳۰ درجه سلسیوس می‌باشد و بنابراین فزایش هم‌زمان دما و بارش تأثیر مثبتی بر محصول داشته و به همین دلیل عملکرد ذرت افزایش را نشان می‌دهد(۱۶).

**راهبرد تطبیق با تغییر اقلیم**

با توجه به این‌که بخش کشاورزی بیشترین مصرف‌کننده آب در این منطقه می‌باشد، اصلی‌ترین راهبرد در تطبیق با تغییر اقلیم در این منطقه کاربر روی این بخش خواهد بود که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. به‌منظور ارزیابی راهبرد تطبیقی، تأثیر آن با معیارهایی چون تنش آبی و عملکرد محصولات بررسی و نتایج با وضعیت موجود حوضه تحت عنوان BAU مقایسه می‌گردد. در راهبرد BAU تنها شرایط اقلیمی تحت سناریوهای اقلیمی تغییر می‌کند و سایر عوامل مدیریتی مانند وضعیت موجود خواهد بود. راهبردی که در این تحقیق در نظر گرفته‌شده است تغییر الگوی کشت می‌باشد.

**ادامه مدیریت وضع موجود (BAU)**

این راهبرد درواقع تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر منطقه مطالعاتی را بدون هرگونه راهکار و بر اساس شرایط مدیریت فعلی را نشان می‌دهد. ازآنجایی‌که این راهبرد مبنای مقایسه راهبردهای بعدی خواهد بود، ابتدا برای سال‌های آتی ۲۰۲۱ تا ۲۰۵۰ تحت سناریوهای مختلف اقلیمی SSP اجرا و مقادیر تنش آبی و عملکرد محصولات مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این ارزیابی در جدول ۸ ارائه‌شده است. با توجه به جدول، مقادیر شاخص عملکرد برای هر سناریوی SSP با ضرب مقادیر عملکرد هر محصول در سطح زیر کشت همان محصول و در انتها جمع مقادیر مربوط به هر سناریو محاسبه گردید. همچنین شاخص تنش آبی نیز با جمع مقادیر تنش هر محصول در سناریوی مربوطه در نظر گرفته‌شده. از نتایج می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین عملکرد کل محصولات در منطقه تحت مدل اقلیمی NorESM2-MM مربوط به سناریو SSP 1.26 و کمترین مربوط به سناریو SSP5.85 به ترتیب با مقادیر ۱۹۸۸۰۵ و ۱۹۳۳۰۹ تن می‌باشد. همچنین مجموع تنش آبی که محصولات طی دوره رشد با آن مواجه می‌شوند برای این مدل در سناریو SSP1.26 کمترین مقدار خود یعنی ۱۹۴ و نبش‌ترین مقدار آن در سناریو SSP5.85 برابر ۲۶۵ روز پیش‌بینی گردید.

**راهبرد اول جایگزین کردن گندم و جو با سایر محصولات و راهبر دوم جایگزین کردن درت خوشه ای و ارزیابی راهبردها**

در این راهبرد محصولات گندم و جو به دلیل مهم و راهبردی بودن این محصولات در امنیت غذایی و البته نیاز آبی کمتر جایگزین محصولاتی با نیاز آبی بالا شامل یونجه و گوجه‌فرنگی می‌شوند البته سطح زیر کشت محصولات باغی بدون تغییر در نظر گرفته شد. همچنین با توجه به این‌که محصول ذرت عملکرد مناسبی داشته، سطح زیر کشت آن تغییر داده نشد. بدین ترتیب سطح زیر کشت جدید به ۷۶۵۱ و ۵۸۰۷ هکتار ارتقاء می‌یابد، نتایج اجرای مدل SWAT و برآورد معیارهای مورداشاره در جدول ۹ قابل‌مشاهده هستند. طبق نتایج، با اعمال راهبرد تغییر الگوی کشت، مقادیر تنش آبی در همه سناریوها نسبت به راهبرد BAU به‌طور فراوانی کاهش یافت به‌طوری‌که کمترین مقدار آن ۶۰ و بیشترین مقدار ۱۰۸ روز برای منطقه مطالعاتی برآورد شد. که این موضوع با توجه به تغییر سطح زیر کشت محصولات با نیاز آبی بالا به محصولات با نیاز آبی کمتر منطبق می‌باشد. از طرفی عملکرد کلی محصولات در همه سناریوهای اقلیمی کمتر پیش‌بینی‌شده است که این موضوع به خاطر تفاوت عملکرد تن در هکتار محصول گندم با حدود ۵ تا ۶ تن در هکتار در مقایسه با گوجه و یونجه با عملکرد متوسط بین ۱۰ تا ۳۵ تن در هکتار می‌باشد. در سناریو دوم با حفظ گندم و جو، سطح زیر کشت سایر محصولات زراعی به ذرت خوشه‌ای اختصاص داده شد. دلیل انتخاب ذرت خوشه‌ای مقاوم بودن این محصول به تغییر اقلیم و از طرفی اهمیت این محصول در مصرف دامی و انسانی است(۱۷). بدین ترتیب ۱۵۸۹۳ هکتار سطح زیر کشت ذرت خوشه‌ای ایجاد شد. نتایج اجرای مدل SWAT و برآورد معیارهای مدنظر در جدول ۹ قابل‌مشاهده هستند. با توجه به نتایج، در این راهبرد تحت همه سناریوهای اقلیمی تنش آبی کاهش چشمگیری یافته به‌طوری کمترین مقادیر به ترتیب ۱۶ و ۱۷ روز در سال تحت سناریوهای SSP2.45 و SSP1.26 برآورد شده است. به همین ترتیب عملکرد قابل قبولی نیز تحت همه سناریو اقلیمی مشاهده می‌شود.

**جمع‌بندی و نتیجه‌گیری**

تحقیق حاضر تلاشی بود برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم در منطقه مطالعاتی هشتگرد و ارائه روش‌شناسی در محیط SWAT برای ارزیابی راهبرد سازگاری با آن. بررسی سایر تحقیقات مشابه انجام‌شده درزمینه تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب و کشاورزی، این تحقیقات افزایش CO2 و به‌تبع آن افزایش نسبی مقدار دما و نیز کاهش مقدار جریان آب سطحی به دلیل توزیع نامناسب زمانی و مکانی بارش و ذوب زودهنگام برف‌ها در مناطق کوهستانی را پیش‌بینی کرده و آثار مخرب آن را روی منابع آب در نظر گرفته‌اند صرفاً اثرات این پدیده مورد ارزیابی قرارگرفته است و درواقع هیچ‌گونه راهکاری جهت کاهش اثرات منفی پدیده تغییر اقلیم در آن‌ها ارائه نشده است (۱۹،۱۸). در همین راستا پاره‌ای از تحقیقات به بررسی راهکارهایی برای سازگاری با این پدیده به‌منظور مقابله یا کاهش تأثیرات آن در سرتاسر جهان انجام شد که اغلب این راهکارها که در بخش کشاورزی اعمال‌شده بود که می‌توان به تحقیق بونویچ و همکاران (۲۰۱۹) و لیو و همکاران (۲۰۱۹) اشاره کرد(۲۱،۲۰). در این تحقیق سعی شد از جدیدترین سناریوهای اقلیمی فاز ششم (SSP) بهره برده و به ارزیابی اثرات آن پرداخته شود. بدین منظور اطلاعات خروجی مدل NorESM2-MM تحت سناریوهای مختلف SSP برای بررسی چشم‌انداز منطقه در شرایط آتی مورد استفاده قرار گرفتند.

نهایتا نتایج زیر از این تحقیق قابل ارائه می‌باشد:

در این تحقیق راهبرد تطبیقی تغییر الگوی کشت با توجه به تحلیل اسناد بالادستی مورد توجه و ارزیابی قرار گرفت(۲۲). همچنین با توجه به مطالعات کاگو و همکاران (۲۰۲۱) در انتخاب محصولات جایگرین، شاخص‌هایی چون راهبردی بودن محصول در امنیت غذایی آینده، نیاز آبی و مقاوم بودن محصول به گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی موردبررسی قرار گرفت(۲۳). در راهبرد اول تغییر سطح زیر کشت گوجه‌فرنگی و یونجه به گندم و جو موردبررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که این راهبرد موجب کاهش مجموع تنش آبی محصولات منطقه شده‌است هرچند مقدار مجموع کل عملکرد محصولات در منطقه کمتر از راهبرد BAU شد که این موضوع به خاطر میزان پایین‌تر محصولات گندم و جو نسبت به گوجه و یونجه می‌باشد. در راهبرد تغییر الگوی کشت دوم سطح زیر کشت به

ذرت خوشه‌ای که یکی از غلات مهم در تغذیه انسان و دام و از طرفی یک محصول مقاوم‌به‌گرمایش زمین، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از کاهش قابل‌توجه تنش آبی این محصول و عملکرد قابل‌قبول آن نسبت به راهبرد BAU بود.نهایتاً یافته-های این تحقیق نشان داد که تغییر الگوی کشت راهکاری اساسی برای کاهش مصرف آب در بخش کشاورزی است به‌طوری‌که در تحقیق بابائیان و همکاران (۲۰۲۱) تغییر الگوی کشت به‌عنوان قوی‌ترین اقدام تطبیقی با تغییر اقلیم عنوان‌شده است(۲۴). بدیهی است که در تعریف الگوی کشت جدید بحث‌های اقتصادی و اجتماعی بیشتری دخیل هستند که خارج از افق کاری این تحقیق می‌باشد. ولی با توجه به وابستگی قابل‌توجه امنیت غذایی به این محصولات راهبردی و توصیه در سایر مطالعات و تحقیقات به‌عنوان محصول مناسب جهت سازگاری با تغییر اقلیم در این تحقیق نیز گندم و جو به‌عنوان محصولات راهبردی و ذرت خوشه‌ای محصولی مقاوم به تغییرات اقلیمی پیشنهاد و مورد ارزیابی قرار گرفت.

**جدول۸- مقادیر عملکرد وتنش آبی در راهبرد BAU برای دوره ۲۰۲۱-۲۰۵۰ تحت سناریوهای مختلف SSP**

Table 8. Crop yield and water stress values in BAU strategy for 2021-2050 period under SSP scenarios

| محصول | سطح‌زیر‌کشت(هکتار) | عملکرد(تن درهکتار) | | | | تنش آبی(روز در طول دوره رشد) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مدل NorESM2-MM | | | | مدل NorESM2-MM | | | |
| | | SSP126 | SSP245 | SSP370 | SSP858 | SSP126 | SSP245 | SSP370 | SSP858 |
| گندم | ۶۵۲۷ | ۳/۹ | ۳/۷ | ۳/۶ | ۳/۵ | ۳۶/۱ | ۴۱/۱ | ۴۴/۳ | ۵۰/۱ |
| جو | ۴۶۸۴ | ۴/۹ | ۴/۸ | ۴/۷ | ۴/۵ | ۲۸/۹ | ۵۶ | ۵۷/۷ | ۶۹ |
| یونجه | ۹۳۶ | ۱۰/۱ | ۱۰/۳ | ۱۰/۲ | ۹/۹ | ۵۵/۶ | ۵۸/۸ | ۶۳/۱ | ۶۵/۲ |
| ذرت | ۲۴۳۵ | ۳۹/۵ | ۳۹/۲ | ۳۹/۹ | ۳۹/۴ | ۳۱ | ۳۵ | ۳۲ | ۳۳/۱ |
| گوجه‌فرنگی | ۱۳۱۱ | ۳۰/۸ | ۳۰/۲ | ۳۰/۲ | ۳۰/۷ | ۴۳/۲۴ | ۴۶/۹ | ۴۹/۳ | ۴۸ |
| راهبرد BAU:جمع کل∑ | | ۱۹۸۸۰۵ | ۱۹۵۴۷۶ | ۱۹۵۸۵۴ | ۱۹۳۳۰۹ | ۱۹۴ | ۲۳۷ | ۲۴۶ | ۲۶۵ |

**جدول ۹- مقادیر عملکرد وتنش آبی در راهبرد تغییر الگوی کشت به گندم و جو و تغییر الگوی کشت به ذرت خوشه‌ای برای دوره ۲۰۲۱- ۲۰۵۰تحت سناریوهای مختلف SSP**

Table 9. Crop yields and water stress in crop pattern change strategy to wheat and barley and crop pattern change strategy to surgum for the period 2050-2021 under SSP scenarios

| محصول | سطح‌زیر‌کشت(هکتار) | عملکرد(تن درهکتار) | | | | تنش آبی(روز در طول دوره رشد) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | مدل NorESM2-MM | | | | مدل NorESM2-MM | | | |
| | | SSP126 | SSP245 | SSP370 | SSP858 | SSP126 | SSP245 | SSP370 | SSP858 |
| گندم | ۷۶۵۱ | ۵/۴ | ۵/۳ | ۴/۲ | ۳/۹ | ۲۹ | ۳۳ | ۷۶/۶ | ۳۹ |
| جو | ۵۸۰۷ | ۶/۷ | ۶/۳ | ۶/۵ | ۶/۱ | ۲۷/۳ | ۳۲ | ۳۴/۱ | ۳۷ |
| ذرت | ۲۴۳۵ | ۴۵ | ۴۴/۱ | ۴۴ | ۴۳/۷ | ۲۸ | ۲۷ | ۲۹/۹ | ۳۲ |
| جمع‌کل‌راهبرد تغییرالگوی کشت | | ۱۸۹۷۹۷ | ۱۸۴۵۱۷ | ۱۷۷۰۱۵ | ۱۷۱۶۷۱ | ۸۴ | ۹۲ | ۱۰۰ | ۱۰۸ |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | به گندم و جو ∑ | |
| ۲۶ | ۲۱ | ۱۶ | ۱۹ | ۵۲ | ۵۴ | ۵۸/۳ | ۵۷/۱ | ۱۵۸۹۳ | ذرت خوشه‌ای |
| ۲۶ | ۲۱ | ۱۶ | ۱۹ | ۸۲۶۴۳۶ | ۸۵۸۲۲۲ | ۹۲۶۵۶۱ | ۹۰۷۴۹۰ | جمع‌کل‌راهبر تغییر الگوی کشت به ذرت خوشه‌ای ∑ | |


**References**

1. Allen M, Antwi-Agyei P, Aragon-Durand F, Babiker M, Bertoldi P, Bind M, Brown S, et al. Technical Summary: Global warming of 1.5° C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5° C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty.
2. Aryal JP, Sapkota TB, Khurana R, Khatri-Chhetri A, Rahut DB, Jat ML. Climate change and agriculture in South Asia: Adaptation options in smallholder production systems. Environment, Development and Sustainability. 2020 Aug;22(6):5045-75.
3. Shukla PR, Skea J, Calvo Buendia E, Masson-Delmotte V, Pörtner HO, Roberts DC, Zhai P, Slade R, Connors S, Van Diemen R, Ferrat M. IPCC, 2019: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems.
4. Richardson KJ, Lewis KH, Krishnamurthy PK, Kent C, Wiltshire AJ, Hanlon HM. Food security outcomes under a changing climate: impacts of mitigation and adaptation on vulnerability to food insecurity. Climatic change. 2018 Mar;147(1):327-41.
5. Boyer JS. Plant productivity and environment. Science. 1982 Oct 29;218(4571):443-8.
6. 6. Rogelj J, Den Elzen M, Höhne N, Fransen T, Fekete H, Winkler H, Schaeffer R, Sha F, Riahi K, Meinshausen M. Paris Agreement climate proposals need a boost to keep warming well below 2 C. Nature. 2016 Jun;534(7609):631-
7. Anderson R, Bayer PE, Edwards D. Climate change and the need for agricultural adaptation. Current opinion in plant biology. 2020 Aug 1;56:197-202.
8. Statistical yearbook alborz agriculture organization. plan and budget organization.2015 [Persian].
9. Water resource balance report hashtger region 4105. iran water resource company.2013. (In Persian)
10. Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, Williams JR. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development 1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association. 1998 Feb;34(1):73-89.
11. Naseri E, Masah B A, Saadi T. Evaluating the efficiency of GCM models in estimating the average temperature of Alborz province during the statistical period of 1985-2015. 6th Regional Conference on Climate Change, Tehran. 2018. (In Persian)
12. Frame B, Lawrence J, Ausseil AG, Reisinger A, Daigneault A. Adapting

global shared socio-economic pathways for national and local scenarios. Climate Risk Management. 2018 Jan 1;21:39-51.

13. Riahi K, Van Vuuren DP, Kriegler E, Edmonds J, O'neill BC, Fujimori S, Bauer N, Calvin K, Dellink R, Fricko O, Lutz W. The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. Global environmental change. 2017 Jan 1;42:153-68.
14. Singh PK, Chudasama H. Pathways for climate resilient development: Human well-being within a safe and just space in the 21st century. Global Environmental Change. 2021 May 1;68:102277.
15. Klink K, Wiersma JJ, Crawford CJ, Stuthman DD. Impacts of temperature and precipitation variability in the Northern Plains of the United States and Canada on the productivity of spring barley and oat. International Journal of Climatology. 2014 Jun;34(8):2805-18.
16. Luo Q. Temperature thresholds and crop production: a review. Climatic change. 2011 Dec;109(3):583-98.
17. Talwar HS, Elangovan M, Patil JV. Sorghum-A potential crop to adapt to future climate change scenario.
18. Corwin DL. Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. European Journal of Soil Science. 2021 Mar;72(2):842-62.
19. Kukal MS, Irmak S. Climate-driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the US Great Plains agricultural production. Scientific reports. 2018 Feb 22;8(1):1-8.
20. Aryal JP, Sapkota TB, Khurana R, Khatri-Chhetri A, Rahut DB, Jat ML. Climate change and agriculture in South Asia: Adaptation options in smallholder production systems. Environment, Development and Sustainability. 2020 Aug;22(6):5045-75.
21. Boonwichai S, Shrestha S, Babel MS, Weesakul S, Datta A. Evaluation of climate change impacts and adaptation strategies on rainfed rice production in Songkhram River Basin, Thailand. Science of the Total Environment. 2019 Feb 20;652:189-201.
22. Ministry of Energy.Development of national strategies and programs for adapting to climate change in the water sector, departmental studies Second: Studies of national approaches and high-level laws effective on adaptation to climate change. Deputy Water and Water Resources Department Office Water and wastewater macro planning. , 2019.
23. Kogo BK, Kumar L, Koech R. Climate change and variability in Kenya: a review of impacts on agriculture and food security. Environment, Development and Sustainability. 2021 Jan;23(1):23-43.
24. Babaeian F, Delavar M, Morid S, Srinivasan R. Robust climate change adaptation pathways in agricultural water management. Agricultural Water Manage.