



## Predicting the Changes of Climatic Parameters in Alborz Province by Using the LARS-WG Model with Risk Management Approach

Sorayya Navid<sup>1\*</sup> , MohammadReza Jahansouz<sup>2</sup> , Saeid Soufizadeh<sup>3</sup> , Mahdi Ghafari<sup>4</sup> 

<sup>1,2</sup> Ph.D and professor of crop ecology, Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

<sup>3</sup> Assistant Professor of agronomy, Agoecology, Environmental Sciences Research Institute, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

<sup>4</sup> Ph.D student of weed science, Department of Agronomy and Plant Breeding, University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

Article Info	ABSTRACT
<b>Article type:</b> Research article	The climate change and the consequent decrease in agricultural production has greatly affected the food security of different regions of the world, including arid and semi-arid regions, and has become one of the concerns of researchers. In order to predict the changes of some climatic parameters of Alborz province in the different scenarios (RCP2.6, RCP4.5 & RCP8.5) and periods (2024-2040, 2041-2060 & 2061-2080) LARS-WG and HadCM3 statistical models was applied. To predict changes in the climatic variables (minimum and maximum temperatures, precipitation, radiation and the number of frost days), 35-year climate data (1985-2020) of Alborz province was used as the base period and input of LARS-WG model. The accuracy of the LARS-WG model for the simulation of temperature (minimum & maximum) and radiation was excellent and for the simulation of precipitation was very good. The investigation of climate variables during optimistic to pessimistic scenarios and climate periods showed that with the increase of CO <sub>2</sub> from 18 to 86%, minimum temperature will increase by 10 to 43%, maximum temperature will increase by 6 to 21%, precipitation will increase by 2 to 20% and radiation will increase 0 to 3% and the number of frost days will decrease by 22 to 62%. In Alborz province, the minimum temperature compared to the variables of maximum temperature and precipitation showed a greater difference and decrease compared to the base period, especially in the cold months of the year. Due to the possibility of increased rainfall in Alborz province, which may be in the form of hail or showers, which, if it coincides with the flowering and sensitive stage of plants, production may decrease. In this regard, suitable adaptation strategies for the region should be adopted to reduce the negative effects of changes in the desired climatic parameters.
<b>Article history:</b> Received: 03 Feb 2024 Revised: 13 Mar 2024 Accepted: 14 Apr 2024	
<b>Keyword:</b> Precipitation Number of frost days Climate change Climate scenarios Downscaling models.	

**Cite this article:** Navid, S., Jahansouz, M.R., Soufizadeh, S., & Ghafari, M. (2024). Predicting the changes of climatic parameters in alborz province by using the lars-wg model with risk management approach. The Quarterly Journal of Insurance & Agriculture, 13(1), 1-18.

<sup>1</sup> **Email:** Navid.sroayya@ut.ac.ir (Corresponding Author)

<sup>2</sup> **Email:** Jahansouz@ut.ac.ir

<sup>3</sup> **Email:** S\_soufizadeh@sbu.ac.ir

<sup>4</sup> **Email:** Mahdi.ghafari@ut.ac.ir

## پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی در استان البرز با استفاده از مدل لارس با رویکرد مدیریت ریسک

ثریا نوید\*<sup>۱</sup> (ID)، محمدرضا جهانسوز<sup>۲</sup> (ID)، سعید صوفی‌زاده<sup>۳</sup> (ID)، مهدی غفاری<sup>۴</sup> (ID)

<sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> به ترتیب دانش‌آموخته دکتری و استاد اکولوژی گیاهان زراعی، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

<sup>۳</sup> استادیار زراعت، گروه اگرواکولوژی، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

<sup>۴</sup> دانشجوی دکتری علوم علف‌های هرز، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
<b>نوع مقاله:</b> پژوهشی	پدیده تغییر اقلیم، امنیت غذایی مناطق مختلف جهان از جمله مناطق خشک و نیمه‌خشک را به شدت تحت تأثیر قرار داده است. در این راستا، جهت پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان البرز در سناریوهای مختلف (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) و دوره‌های اقلیمی آینده (۲۰۴۰-۲۰۲۴، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) از مدل لارس و الگوی HadCM3 استفاده شد. بدین منظور از داده‌های اقلیمی دوره پایه استان (بازه زمانی ۱۹۸۵-۲۰۲۰) که شامل دماهای کمینه و بیشینه، بارش، تشعشع و تعداد روزهای یخبندان) بودند، به‌عنوان ورودی نرم‌افزار لارس استفاده گردید. دقت مدل لارس با استفاده از داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده دوره پایه و با استفاده از روش کیو تست ارزیابی شد. دقت مدل لارس برای شبیه‌سازی دما (کمینه و بیشینه) و تشعشع از درجه عالی و برای متغیر بارش از درجه خیلی خوب برخوردار بود. بررسی پارامترهای اقلیمی طی سناریوهای خوش‌بینانه تا بدبینانه و دوره‌های اقلیمی آینده نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۱۸ تا ۸۶ درصد، دمای کمینه ۱۰ تا ۴۳ درصد، دمای بیشینه شش تا ۲۱ درصد، بارش دو تا ۲۰ درصد و تشعشع صفر تا ۳ درصد افزایش و تعداد روزهای یخبندان ۲۲ تا ۶۲ درصد کاهش خواهد یافت. در منطقه موردنظر دمای کمینه نسبت به پارامترهای دمای بیشینه و بارش کاهش بیشتری را نسبت به دوره پایه به‌خصوص در ماه‌های سرد سال نشان داد. از طرفی دیگر با توجه به احتمال افزایش بارش‌ها در استان البرز (که ممکن است به شکل رگبار یا وقوع تگرگ باشد)، در صورتی که با مرحله گلدهی و حساس گیاهان پاییزه مصادف باشد، باعث خسارت و کاهش محصول می‌شود. بنابراین جهت مدیریت ریسک و کاهش اثرات منفی تغییرات پارامترهای اقلیمی موردنظر بر میزان تولید اراضی کشاورزی این استان، بایستی راهکارهای سازگاری مناسب منطقه اتخاذ گردد.
<b>تاریخچه مقاله:</b> تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۱/۲۶	
<b>کلمات کلیدی:</b> بارش تعداد روزهای یخبندان تغییر اقلیم سناریوهای اقلیمی مدل ریزمقیاس	
<b>استناد:</b> نوید، ث، جهانسوز، م، صوفی‌زاده، س، و غفاری، م. ۱۴۰۳. پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی در استان البرز با استفاده از مدل لارس با رویکرد مدیریت ریسک. فصلنامه بیمه و کشاورزی، ۱۳ (۱)، ۱-۱۸.	

## مقدمه

بر اساس تعریف سازمان جهانی هواشناسی<sup>۱</sup>، تغییر اقلیم به تغییرات رفتار آب و هوایی یک منطقه نسبت به رفتاری که در طول یک افق زمانی بلندمدت از اطلاعات ثبت شده در آن منطقه مورد انتظار است، گفته می‌شود. سازمان خواروبار و کشاورزی ملل متحد<sup>۲</sup>، با توجه به چشم‌انداز امنیت غذایی، پیش‌بینی نموده است که در آینده به دلیل وقوع پدیده تغییر اقلیم و به تبع آن افزایش دما و کاهش منابع آبی، میزان تولیدات بخش کشاورزی با نوسانات زیادی روبه‌رو خواهد شد (FAO, 2020). محققان گزارش کردند که پدیده‌ی تغییر اقلیم، تولیدات کشاورزی مناطق مختلف جهان را به شدت تحت تأثیر قرار داده که اثر افزایش دما و به تبع آن کاهش بارندگی‌ها در مناطق مختلف کره زمین متفاوت می‌باشد (Pastor *et al.*, 2015; Anderson, 2016; Tao *et al.*, 2015). اثر تغییر اقلیم در برخی از مناطق جهان به‌ویژه نواحی واقع در عرض‌های شمالی بالاتر از ۵۵ درجه مثبت (Ray *et al.*, 2015) و در مناطق گرم و خشک بسیار شدید و منفی می‌باشد (Burke *et al.*, 2018). محققان اظهار داشتند که افزایش دمای مناطق خشک طی پدیده‌ی تغییر اقلیم به علت کاهش طول فصل رشد و تنش گرمایی باعث کاهش تولید محصولات کشاورزی خواهد شد (Lohani *et al.*, 2020). در مطالعه‌ی دیگر گزارش شد که میزان تولید گیاهان زراعی توسط عوامل متعددی محدود می‌شود که از جمله می‌توان به محدود بودن طول فصل رشد به علت وجود دمای نامناسب پایین و بالا، خشکی و توزیع نامناسب بارندگی یا رقابت برای استفاده از زمین توسط سایر گیاهان اشاره کرد (Innes *et al.*, 2015; Van Ittersum *et al.*, 2016). در این راستا با توجه به اینکه کشور ایران در کمربند خشک و نیمه‌خشک قرار دارد؛ تغییر متغیرهای اقلیمی ممکن است تولیدات بخش کشاورزی را تحت تأثیر قرار دهد؛ بنابراین بررسی وضعیت اقلیمی مناطق مختلف کشور امری بسیار ضروری است که نتایج به‌دست‌آمده برنامه‌ریزان کشور را قادر خواهد ساخت تا با اطلاع از وضعیت اقلیمی آینده، سیاست‌گذاری خود را بسته به شرایط هر منطقه در جهت مدیریت ریسک و کاهش خلأهای تولید هماهنگ نمایند.

بررسی تغییرات پارامترهای اقلیمی در مناطق مختلف، به‌وسیله مدل‌های گردش عمومی جو<sup>۳</sup> و بر اساس سناریوهای مختلف انجام می‌گیرد که تلفیق نتایج با مدل‌های شبیه‌سازی رشد گیاه، امکان پیش‌بینی عملکرد گیاهان زراعی را در شرایط اقلیمی آینده فراهم می‌سازد (Li *et al.*, 2015). مدل‌های اقلیمی تلاش می‌کند تا فرآیندهایی که روی اقلیم تأثیر می‌گذارند را شبیه‌سازی کرده و بر اساس آن اقلیم را برای سال‌های آینده پیش‌بینی کند. در واقع، این مدل‌ها معتبرترین ابزار برای بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و می‌توانند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی‌مدت با استفاده از سناریوهای تأییدشده هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۴</sup> مدل‌سازی کنند (Li *et al.*, 2015; Rezaei *et al.*, 2015).

مدل‌های گردش عمومی جو بر پایه قوانین فیزیکی که به‌وسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند، استوار بوده و بزرگ‌مقیاس هستند. بزرگ‌ترین مشکل استفاده از مدل‌های گردش عمومی بزرگ‌مقیاس بودن سلول محاسباتی

<sup>1</sup> World Meteorological Organization (WHO)

<sup>2</sup> Food Organization Agriculture (FAO)

<sup>3</sup> General Circulation Models (GCM)

<sup>4</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

آن‌هاست که کل کره زمین را به صورت موزاییکی در نظر می‌گیرند و در خشکی‌ها دقت افقی این موزاییک‌ها حدوداً ۲۵۰ کیلومتر است. برای حل این مشکل از مدل‌های ریزمقیاس نمایی<sup>۱</sup> استفاده می‌شود تا پیش‌بینی‌های صورت گرفته در مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای، با لحاظ رفتار اقلیمی مشاهداتی منطقه یا ایستگاه مورد مطالعه صورت پذیرد. لارس<sup>۲</sup> از مدل‌های مشهور و معتبر تصادفی جهت ریزمقیاس نمایی‌های آماری متغیرهای اقلیمی می‌باشد. نرم‌افزار لارس مدل شبیه‌سازی سری - زمانی آب‌وهوای روزانه یک ایستگاه است. این مولد، با استفاده از داده‌های آب‌وهوایی مشاهداتی در ایستگاه مفروض، پارامترهای توزیع‌های احتمالاتی متغیرهای آب‌وهوایی و نیز با دست‌یابی به رابطه بین آن‌ها، داده‌های مربوط به دوره آینده را تولید می‌کند. محققان در ارزیابی مدل لارس در شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان گلستان در دوره‌ی ۲۰۱۵-۱۹۹۳ میلادی گزارش کردند که کارکرد مدل لارس در مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی ایستگاه‌های تحت بررسی مناسب بوده و می‌توان از آن جهت بازسازی داده‌های ایستگاه‌ها در دوره‌ی گذشته و یا آینده بهره جست (Meshkati et al., 2011). محققان با مقایسه سه مدل WM<sub>2</sub>، WM و LARS-WG گزارش کردند که مدل لارس در سطح اطمینان قابل‌قبول‌تری (۹۵ درصد)، اقدام به تولید داده‌های اقلیمی نموده است (Mavromatis & Hansen, 2015). در این راستا، پژوهش حاضر با هدف پیش‌بینی میزان تغییرات پارامترهای اقلیمی (دما، بارش، تشعشع و یخبندان)، در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی آینده در استان البرز با استفاده از مدل اقلیمی لارس انجام شد.

## روش پژوهش

استان البرز سی و یکمین استان ایران است که با مساحت ۵۸۳۳ کیلومترمربع، کمتر از نیم درصد (۰/۳۱ درصد)، از وسعت کشور را به خود اختصاص داده است. استان البرز در دامنه جنوبی رشته‌کوه البرز و از نظر موقعیت جغرافیایی بین مدارهای ۳۵°۳۱ تا ۳۶°۱۲ عرض شمالی و ۵۰°۱۱ تا ۵۱°۲۹ طول شرقی و متوسط ارتفاع ۱۳۲۰ متر از سطح آب‌های آزاد واقع شده است. این استان به مرکزیت کرج از شمال با استان مازندران، از غرب با استان قزوین، از شرق و جنوب شرقی با استان تهران و از جنوب غربی با استان مرکزی همسایه است و شهرستان‌های آن شامل کرج، ساوجبلاغ، نظرآباد، طالقان و چهارباغ می‌باشد. جنوب استان به دلیل مجاورت با دشت، آب‌وهوای گرم و خشک دارد و این ویژگی خاص این منطقه به شمار می‌رود که از یک‌سو به رشته‌کوه‌های پربرف البرز می‌رسد و از سوی دیگر به حاشیه یکی از خشک‌ترین بیابان‌های ایران منتهی می‌شود. رژیم بارندگی استان البرز در مجموع مدیترانه‌ای است، یعنی در طول فصل‌های پاییز و زمستان بیش از ۷۰ درصد بارندگی‌های سالیانه ریزش می‌کند و در فصل‌های خشک که از اواسط خرداد تا اوایل مهرماه ادامه دارد، کمتر از پنج درصد بارندگی سالیانه استان نازل می‌گردد. به‌طور کلی نیز میزان نوسان بارش سالانه در استان حدود ۲۵۰ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه هوا ۱۴ درجه سانتی‌گراد است که بیشینه و کمینه دما به ترتیب ۳۸ و ۱۶- درجه سانتی‌گراد است (اداره‌کل هواشناسی استان البرز، ۱۴۰۲).

<sup>1</sup> Downscaling models

<sup>2</sup> LARS-WG

زلحاظ جمعیتی نیز حدود ۵/۲ میلیون نفر در این استان ساکن می‌باشند که در مقایسه با جمعیت کشور در آخرین آمار سال ۱۳۸۹ حدود پنج درصد از جمعیت کل کشور را شامل می‌شود.

در تحقیق حاضر جهت پیش‌بینی میزان تغییرات متغیرهای اقلیمی در استان البرز در آینده از نسخه ششم مدل لارس استفاده شد. از ویژگی‌های مهم نسخه ششم مدل لارس این است که این ابزار از مدل‌های GCM موجود در گروه مدل‌های جفت شده CMIP5 و سناریوهای RCP<sup>۱</sup> که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم سازمان ملل متحد در گزارش پنجم ارائه کرده است، پشتیبانی می‌کند. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم، در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود<sup>۲</sup> از سناریوهای جدید RCP به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است (IPCC, 2018). سناریوهای جدید انتشار نیز دارای چهار خط سیر کلیدی بانام‌های RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 و در سه دوره زمانی (۲۰۲۴-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱)، می‌باشند که بر اساس میزان واداشت تابشی<sup>۳</sup> آن‌ها در سال ۲۱۰۰ نام‌گذاری شده‌اند.

ورودی‌های مدل لارس چهار پارامتر هواشناسی دماهای کمینه و بیشینه (درجه سانتی‌گراد)، بارش (میلی متر) و تابش خورشیدی (مگا ژول بر مترمربع بر روز) بود. بدین منظور، داده‌های هواشناسی روزانه استان البرز از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ از بانک داده‌های سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. از آنجایی که شدت تشعشع روزانه در بسیاری از ایستگاه‌های هواشناسی کشور ثبت نمی‌شود، لذا برای دستیابی به مقادیر این متغیر با در اختیار داشتن طول ساعات آفتابی اقدام به شبیه‌سازی آن با استفاده از رابطه آنگستروم (رابطه ۱)، شد.

$$Rs = [a + b (n/N)] \times Ra \quad \text{رابطه ۱-}$$

در رابطه بالا،  $Rs$  نشان‌دهنده تشعشع،  $n$  ساعات آفتابی،  $N$  طول روز و  $Ra$  تابش فرازمینی می‌باشد. پارامترهای  $a$  و  $b$  ضرایب آنگستروم کالیبر شده محلی هستند.

فرآیند تولید داده‌های مصنوعی و پیش‌بینی با الگوی لارس در سه مرحله‌ی کالیبره کردن الگو، ارزیابی الگو و تولید (شبیه‌سازی) داده‌های مصنوعی انجام می‌شود (Zaid & Waqed, 2013). بدین منظور پس از آماده کردن فایل‌های ورودی و صحت‌سنجی داده‌ها، کالیبره و ارزیابی مدل با مقایسه‌ی داده‌های هواشناسی مشاهده‌شده با مولد داده‌های هواشناسی موجود ایستگاه از طریق گزینه کیو تست<sup>۴</sup> انجام شد. نتایج کیو تست نشان داد، با توجه به اینکه مدل لارس برای شبیه‌سازی دما و تشعشع از دقت عالی و برای متغیر بارش از دقت خیلی خوبی برخوردار بود، بنابراین با انتخاب مدل، سناریو و تعیین دوره زمانی موردنظر، پیش‌بینی‌ها انجام شد. در نرم‌افزار لارس، مدل‌های گردش عمومی مختلفی طراحی شده است که محققان گزارش کردند برای ارزیابی تغییرات پارامترهای اقلیمی مناطق مختلف از مدل HadCM3 از مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم هادلی<sup>۵</sup> انگلستان می‌توان استفاده نمود (Martin et al., 2010). الگوی HadCM3 دارای تفکیک افقی ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی تا ۳/۷ درجه طول جغرافیایی و ۱۹ لایه و مؤلفه

<sup>1</sup> Representative Concentration Pathway (RCP)

<sup>2</sup> Fifth Assessment Report (AR5)

<sup>3</sup> Radiative forcing

<sup>4</sup> Qtest

<sup>5</sup> Hadley

اقیانوسی آن دارای تفکیک افقی ۱/۲۵ در ۱/۲۵ درجه و شامل ۲۰ لایه است. در پژوهش حاضر با استفاده از مدل HadCM3 و سه سناریو اقلیمی (خوش‌بینانه، متوسط و بدبینانه) و داده‌های دوره پایه، پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های زمانی آینده نزدیک، آینده متوسط و آینده دور انجام شد (جدول ۱). در نهایت نتایج حاصل از مدل برای متغیرهای دماهای کمینه و بیشینه، بارش و تشعشع به نرم‌افزار اکسل انتقال داده شد و پس از رسم نمودارهای موردنظر، روند تغییرات میانگین داده‌های ماهانه و سالانه دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه در استان البرز بررسی شد. برای تعیین تعداد روزهای یخبندان در استان موردنظر، با توجه به اینکه محصول اصلی استان البرز در کشت‌های پاییزه گندم، جو و کلزا می‌باشد، لذا برحسب دمای پایه این محصولات برای جوانه‌زنی و استقرار، روزهای با دمای کمتر از صفر درجه سانتی‌گراد به‌عنوان روزهای یخبندان در نظر گرفته شدند.

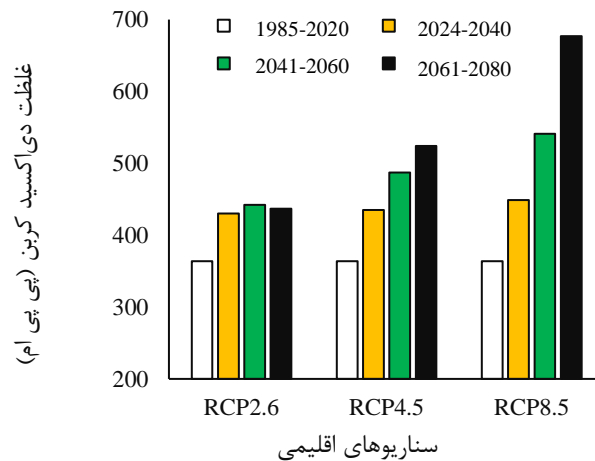
جدول ۱- سناریوها و دوره‌های اقلیمی مورد مطالعه در پژوهش حاضر

توضیحات	غلظت CO <sub>2</sub> در دوره‌های اقلیمی			سناریوی اقلیمی
	آینده دور (۲۰۶۰-۲۰۸۰)	آینده متوسط (۲۰۴۱-۲۰۶۰)	آینده نزدیک (۲۰۲۴-۲۰۴۰)	
این سناریو توسط گروه مدل‌سازی IMAGE از مؤسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است و دربرگیرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است. مطابق با این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۱/۳ وات بر مترمربع و در انتهای قرن به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌رسد. برای رسیدن به این سطح واداشت تابشی بایستی گازهای گلخانه‌ای به میزان قابل توجهی کاهش یابند.	۴۳۷	۴۴۲	۴۳۰	خوش‌بینانه (RCP2.6)
سناریوی مذکور توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.	۵۲۴	۴۸۷	۴۳۵	متوسط (RCP4.5)
این سناریو توسط گروه مدل‌سازی MESSAGE در مؤسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی اتریش توسعه و طراحی شد. بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد.	۶۷۷	۵۴۱	۴۴۹	بدبینانه (RCP8.5)

## یافته‌ها و بحث

### تغییرات متغیرهای اقلیمی در استان البرز تحت سناریوهای مختلف در دوره‌های پایه و آینده غلظت دی‌اکسید کربن

شکل ۱ نشان‌دهنده غلظت دی‌اکسید کربن در استان البرز، در سناریوها و دوره‌های اقلیمی مورد مطالعه می‌باشد که میزان آن از ۳۶۳ پی‌پی‌ام در دوره پایه به ۴۳۰ تا ۴۳۷ پی‌پی‌ام در سناریوی اقلیمی خوش‌بینانه (RCP2.6)، ۴۳۵ تا ۵۲۴ پی‌پی‌ام در سناریوی اقلیمی متوسط (RCP4.5) و ۴۴۹ تا ۶۷۷ پی‌پی‌ام در سناریوهای بدبینانه (RCP8.5)، افزایش پیدا خواهد کرد. از این‌رو، در ادامه تغییرات متغیرهای اقلیمی مختلف در غلظت‌های ۱۸ تا ۸۶ درصد دی‌اکسید کربن بررسی شد.

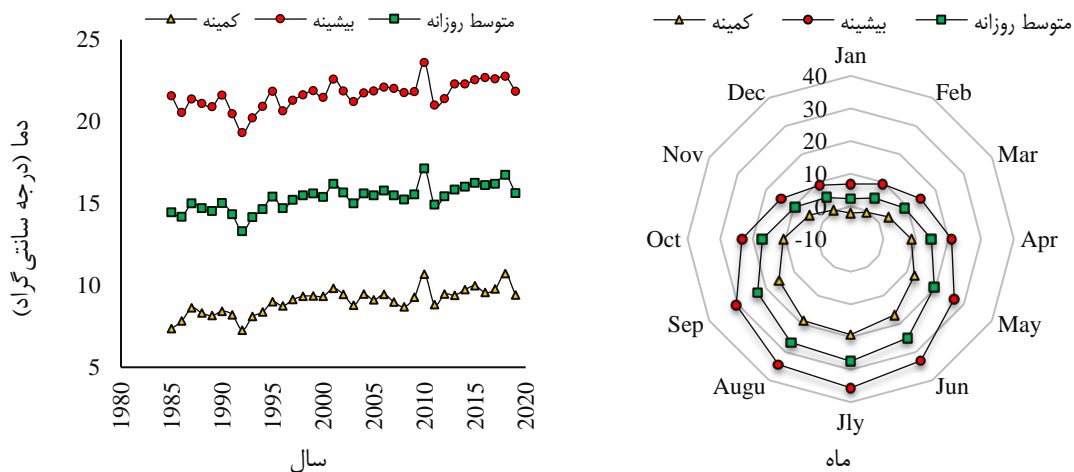


شکل ۱- غلظت دی‌اکسید کربن در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مختلف در استان البرز

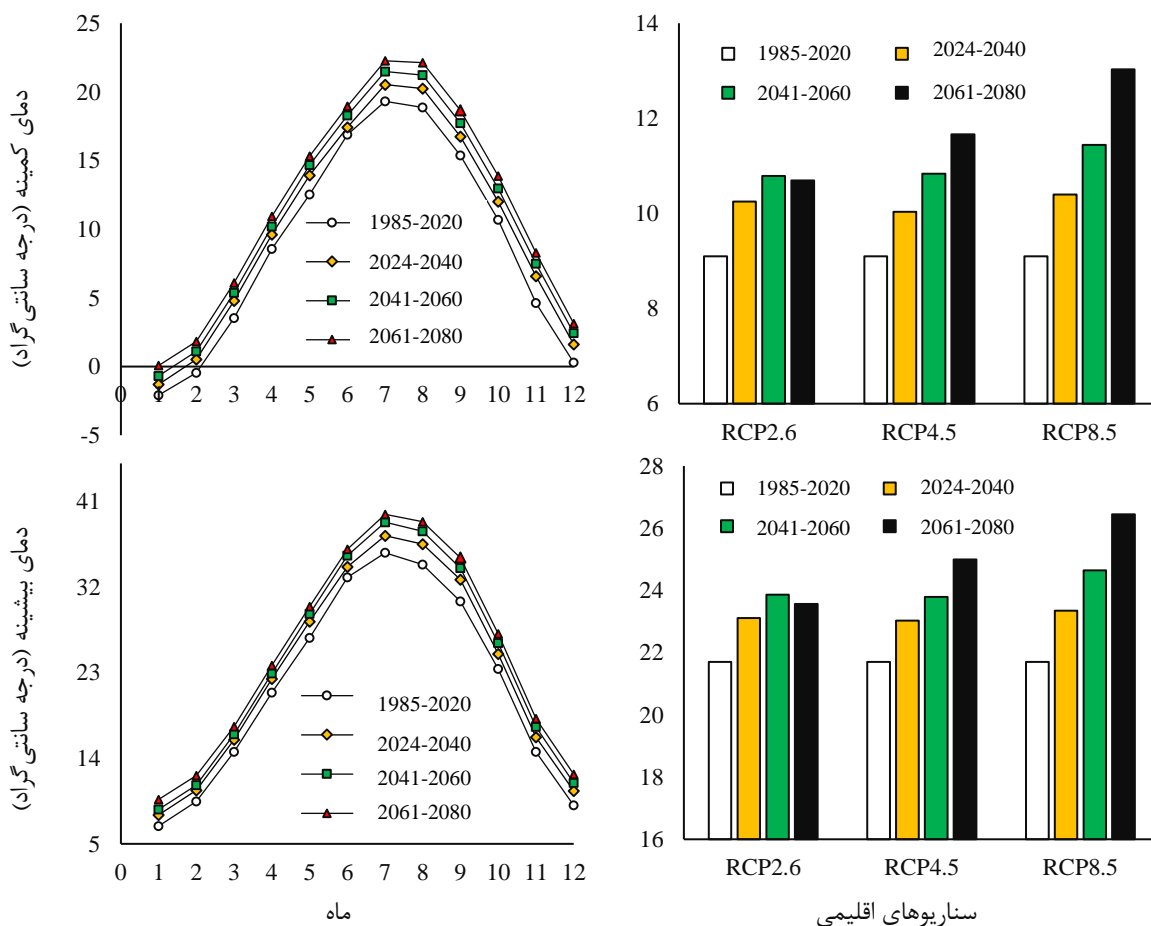
### دما (کمینه و بیشینه)

طی سال‌های اخیر دماهای کمینه و بیشینه در استان البرز افزایش یافته، به طوری که در سال ۲۰۱۰ بیشترین افزایش دمایی مشاهده شد (شکل ۲). میزان افزایش و اختلاف دمای کمینه و بیشینه نیز به ترتیب در ماه‌های جون (خرداد و تیر)، جولای (تیر و مرداد) و آگوست (مرداد و شهریور)، بیشتر از سایر ماه‌ها بود (شکل ۲). کمترین اختلاف دمایی نیز در ماه‌های دسامبر (آذر و دی) تا فوریه (بهمن و اسفند)، مشاهده شد. داده‌های حاصل از شبیه‌سازی نشان داد که در سال‌های آتی در همه سناریوهای مورد مطالعه (RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5)، دماهای کمینه و بیشینه در استان البرز نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت (شکل‌های ۳ و ۴). دماهای کمینه و بیشینه به ترتیب با ۴۳ و ۲۱ درصد در دوره اقلیمی آینده دور (۲۰۹۹-۲۰۶۱) و سناریو بدبینانه (RCP8.5)، بیشترین افزایش را نسبت خواهد داشت (جدول ۳). لازم به ذکر است که در تمامی دوره‌ها و سناریوهای مورد مطالعه دمای کمینه (۱۰ تا ۴۳ درصد)، بیشتر از دمای بیشینه (۶ تا ۲۱ درصد)، افزایش خواهد یافت (جدول ۳)، لذا نتایج نشان داد که اختلاف دمای کمینه در آینده دور نسبت به آینده نزدیک، متوسط و دوره پایه بیشتر از دمای بیشینه خواهد بود (شکل ۴). در دوره‌های اقلیمی آینده اختلاف دمای بیشینه و کمینه استان البرز نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت.

دمای کمینه در تمام ماه‌های سال به‌غیر از ماه‌های ژانویه و فوریه (دی تا اسفند) و دمای بیشینه در تمام ماه‌های سال افزایش خواهد یافت که میزان افزایش دمای کمینه در ماه‌های دسامبر و نوامبر (آذر تا دی) و دمای بیشینه در ماه‌های دسامبر و ژانویه (آذر تا بهمن) بیشتر از سایر ماه‌های سال خواهد بود (جدول ۲). در آینده نزدیک (۲۰۴۰-۲۰۲۴)، در سناریو RCP4.5 میزان افزایش دمای کمینه در ماه‌های آگوست (مرداد و شهریور) و مارس (فروردین و اردیبهشت) و دمای بیشینه در تمام ماه‌های سال بیشتر از سناریوهای خوش‌بینانه (RCP2.6) و بدبینانه (RCP8.5) خواهد بود (جدول ۲). تحقیقات نشان داد که تأثیر تغییر اقلیم بر کشاورزی، تنها محدود به افزایش متوسط مقادیر درجه حرارت و بارش نمی‌شود و فراوانی و شدت تغییر متغیرهای هواشناسی در فصل رشد از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشد که بدون تردید درجه حرارت هوا مهم‌ترین پارامتر هواشناسی است که فرآیندهای مختلف رویشی و زایشی گیاهان را تحت کنترل دارد (Hatfield, 2018).



شکل ۲- تغییرات سالانه و ماهانه دماهای کمینه، بیشینه و متوسط روزانه در دوره پایه (سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۲۰) در استان البرز



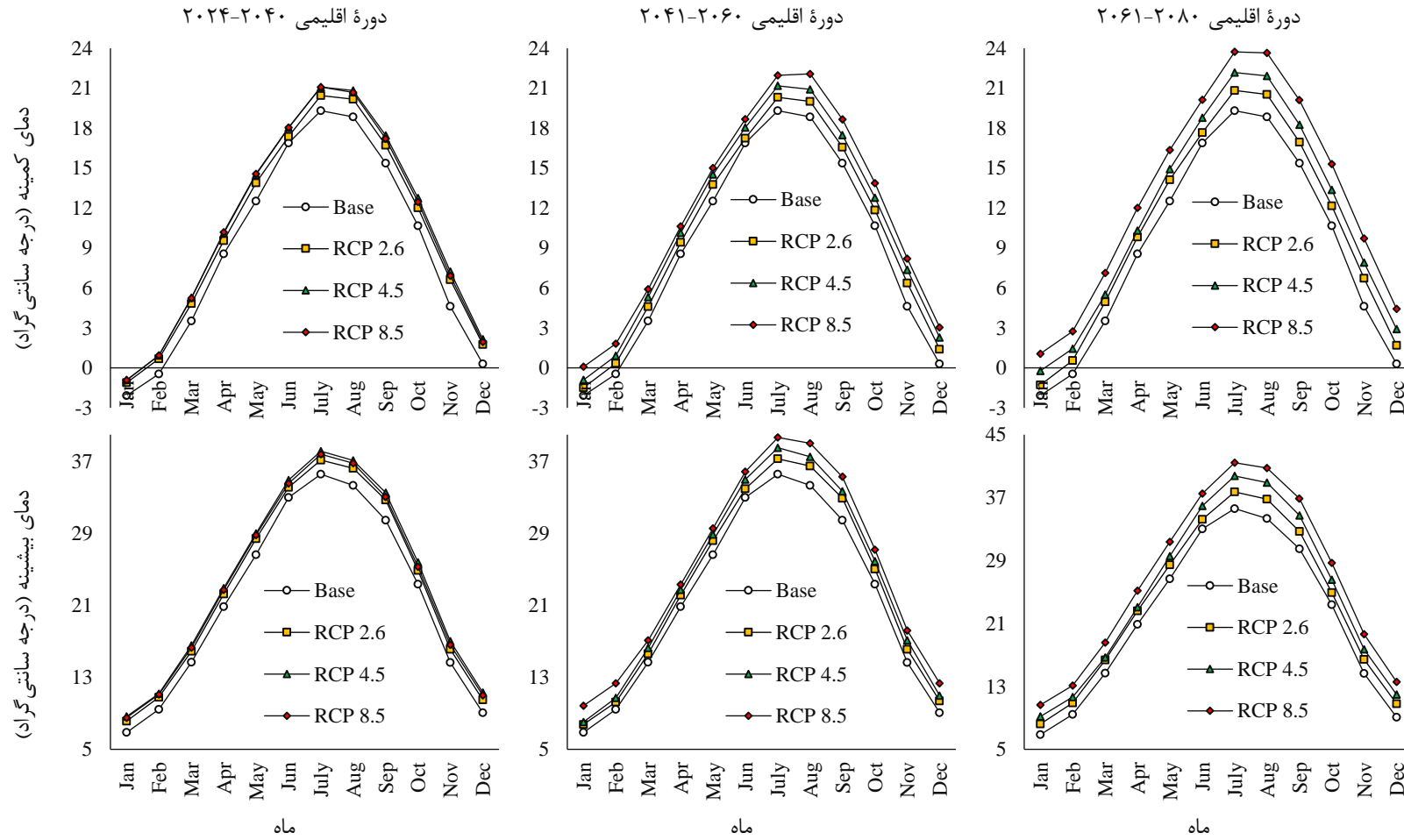
شکل ۴- پیش‌بینی تغییرات سالانه و ماهانه دماهای کمینه و بیشینه در دوره‌های اقلیمی آینده و سناریوهای مختلف در استان البرز



جدول ۲- پیش‌بینی درصد تغییرات ماهانه دماهای کمینه و بیشینه در دوره و سناریوهای اقلیمی مختلف در استان البرز

دما	دوره اقلیمی	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
		RCP2.6	+۴۷/۱	+۱۴۰/۰	+۳۶/۶	+۱۱/۷	+۱۰/۹	+۲/۹	+۵/۹	+۶/۹	+۸/۹	+۱۲/۶	+۴۳/۳	+۵۰۲/۴
	۲۰۲۴-۲۰۴۰	RCP4.5	+۵۷/۱	+۱۸۰/۱	+۴۹/۵	+۱۸/۱	+۱۵/۵	+۶/۸	+۹/۲	+۱۰/۴	+۱۳/۶	+۱۹/۶	+۵۶/۴	+۶۳۴/۸
		RCP8.5	+۵۷/۱	+۱۸۰/۰	+۴۸/۲	+۱۸/۸	+۱۶/۳	+۶/۹	+۹/۲	+۹/۷	+۱۱/۹	+۱۶/۷	+۴۹/۷	+۵۶۲/۷
		RCP2.6	+۴۷/۶	+۱۸۰/۰	+۳۰/۲	+۱۰/۰	+۹/۹	+۲/۲	+۵/۲	+۶/۱	+۷/۸	+۱۱/۱	+۳۷/۶	+۳۷۹/۶
کمینه	۲۰۴۱-۲۰۶۰	RCP4.5	+۵۷/۱	+۲۸۰/۰	+۵۰/۲	+۱۸/۶	+۱۶/۰	+۶/۹	+۹/۷	+۱۱/۰	+۱۳/۷	+۱۹/۸	+۵۹/۰	+۶۷۸/۱
		RCP8.5	+۱۰۴/۸	+۴۶۰/۰	+۹	+۲۴/۲	+۱۹/۸	+۱۰/۶	+۱۳/۷	+۱۷/۱	+۲۱/۴	+۳۰/۰	+۷۷/۳	+۹۴۰/۵
		RCP2.6	+۳۸/۱	+۲۰۰/۰	+۴۰/۱	+۱۴/۸	+۱۲/۸	+۴/۶	+۷/۹	+۸/۸	+۱۰/۳	+۱۴/۱	+۴۵/۲	+۴۸۲/۰
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	RCP4.5	+۹۰/۵	+۳۸۰/۰	+۵۶/۰	+۲۰/۴	+۱۹/۲	+۱۱/۲	+۱۴/۹	+۱۶/۳	+۱۸/۸	+۲۵/۲	+۷۰/۶	+۸۹۴/۷
		RCP8.5	+۱۵۲/۴	+۵۴۰/۰	+۱۰۱/۷	+۴۰/۳	+۳۰/۶	+۱۹/۲	+۲۲/۹	+۲۵/۴	+۳۰/۸	+۴۳/۴	+۱۱۰/۱	+۹۰۰/۱
		RCP2.6	+۱۸/۴	+۱۴/۱	+۸/۴	+۶/۷	+۶/۶	+۳/۴	+۴/۴	+۵/۶	+۷/۳	+۶/۶	+۱۰/۰	+۱۵/۷
	۲۰۲۴-۲۰۴۰	RCP4.5	+۲۵/۹	+۱۸/۳	+۱۲/۸	+۹/۹	+۸/۹	+۵/۹	+۷/۲	+۸/۱	+۱۰/۰	+۱۰/۴	+۱۶/۱	+۲۴/۷
		RCP8.5	+۲۴/۰	+۱۷/۴	+۱۱/۱	+۹/۰	+۸/۲	+۴/۷	+۶/۲	+۷/۲	+۸/۴	+۸/۲	+۱۳/۴	+۲۱/۴
		RCP2.6	+۱۳/۱	+۸/۴	+۶/۵	+۶/۰	+۵/۸	+۲/۹	+۴/۸	+۶/۲	+۸/۰	+۷/۲	+۱۰/۰	+۱۴/۷
	۲۰۴۱-۲۰۶۰	RCP4.5	+۱۷/۰	+۱۳/۵	+۱۰/۹	+۹/۰	+۸/۴	+۶/۰	+۸/۳	+۹/۳	+۱۰/۵	+۱۰/۹	+۱۶/۹	+۲۰/۹
بیشینه		RCP8.5	+۴۳/۴	+۳۰/۶	+۱۶/۸	+۱۱/۷	+۱۱/۰	+۸/۷	+۱۱/۵	+۱۳/۷	+۱۵/۸	+۱۶/۴	+۲۴/۱	+۳۶/۱
		RCP2.6	+۱۹/۷	+۱۵/۵	+۱۱/۴	+۸/۳	+۶/۷	+۳/۷	+۶/۰	+۷/۱	+۷/۳	+۶/۶	+۱۲/۱	+۱۹/۰
	۲۰۶۱-۲۰۸۰	RCP4.5	+۳۳/۵	+۲۳/۳	+۱۳/۷	+۱۰/۴	+۱۰/۹	+۸/۹	+۱۱/۷	+۱۳/۲	+۱۳/۹	+۱۳/۷	+۲۰/۹	+۳۱/۹
		RCP8.5	+۵۴/۹	+۳۸/۸	+۲۶/۶	+۲۰/۵	+۱۷/۷	+۱۳/۶	+۱۶/۴	+۱۸/۷	+۲۰/۹	+۲۲/۹	+۳۴/۰	+۴۹/۸

\* علامت مثبت (+) نشان‌دهنده افزایش متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد.



شکل ۳- پیش‌بینی تغییرات ماهانه دماهای کمینه و بیشینه در دوره‌های و سناریوهای اقلیمی مختلف در استان البرز

جدول ۳- پیش‌بینی درصد تغییرات متغیرهای اقلیمی در دوره و سناریوهای مختلف در استان البرز

دوره اقلیمی	سناریوی اقلیمی	دمای کمینه	دمای بیشینه	بارش	تشعشع	تعداد روزهای یخبندان	غلظت دی‌اکسید کربن
۲۰۲۴-۲۰۴۰	RCP2.6	+۱۲/۶	+۶/۵	+۱۳/۹	+۲/۱	-۲۸/۸	+۱۸/۱
	RCP4.5	+۱۰/۲	+۹/۹	+۸/۱	+۱/۶	-۲۲/۱	+۱۹/۵
	RCP8.5	+۱۴/۲	+۸/۵	+۲/۹	+۰/۳	-۲۷/۱	+۲۳/۴
۲۰۴۱-۲۰۶۰	RCP2.6	+۱۸/۵	+۹/۹	+۱۰/۷	+۳/۱	-۳۵/۹	+۲۱/۵
	RCP4.5	+۱۹/۱	+۹/۶	+۲۵/۴	+۱/۲	-۳۵/۹	+۳۳/۸
	RCP8.5	+۲۵/۷	+۱۳/۵	+۸/۳	+۱/۸	-۴۳/۶	+۴۸/۷
۲۰۶۱-۲۰۸۰	RCP2.6	+۱۷/۵	+۸/۵	+۲۰/۵	+۲/۲	-۳۴/۱	+۲۰/۱
	RCP4.5	+۲۸/۱	+۱۵/۱	+۱۷/۵	+۸/۱	-۴۷/۵	+۴۴/۰
	RCP8.5	+۴۳/۲	+۲۱/۸	+۱۳/۸	+۳/۲	-۶۲/۵	+۸۶/۰

\* به ترتیب علامت‌های منفی (-) و مثبت (+) نشان‌دهنده کاهش و افزایش متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد.

## بارش

نوسانات بارندگی در طی سال‌های اخیر در منطقه بسیار زیاد بود (شکل ۵). بخش اعظم بارش‌ها در ماه‌های مارس (اسفند و فروردین)، آوریل (فروردین و اردیبهشت)، نوامبر (آبان و آذر) و دسامبر (آذر و دی)، اتفاق افتاده که مصادف با مرحله رشد رویشی و گلدهی گیاهان زراعی پاییزه اعم از گندم و جو می‌باشد. کمترین میزان بارش نیز در ماه‌های جون (خرداد و تیر) تا سپتامبر (شهریور و مهر) مشاهده شد که از جمله ماه‌های گرم سال بودند (شکل ۶). نتایج شبیه‌سازی داده‌ها نشان داد که میزان بارش‌های استان البرز در سناریوهای مورد مطالعه نسبت به دوره پایه حدود ۲ تا ۲۵ درصد افزایش خواهد یافت (جدول ۴). در تمامی دوره‌های مورد مطالعه، کمترین میزان افزایش بارش نسبت به دوره پایه در سناریو بدبینانه RCP8.5 مشاهده شد (شکل ۷). در دوره‌های آینده متوسط و دور بیشترین افزایش بارش در سناریو اقلیمی RCP4.5 و در آینده نزدیک نیز در سناریو اقلیمی RCP2.6 مشاهده خواهد شد (شکل ۸)؛ بنابراین، در سناریوی بدبینانه با توجه به افزایش بیشتر دماهای کمینه و بیشینه، میزان افزایش بارش‌ها نسبت به سناریو خوش‌بینانه کمتر خواهد بود (شکل ۷).

میزان بارش‌ها در ماه‌های فوریه تا آوریل (بهمن تا فروردین) و جولای تا آگوست (تیر تا مرداد) و همچنین اکتبر (مهر و آبان) کاهش خواهد یافت. در سایر ماه‌ها میزان بارش افزایش خواهد یافت که بیشترین میزان افزایش بارش‌ها در سپتامبر (۱۵ شهریور تا ۱۵ مهر) اتفاق خواهد افتاد. عباسی و همکاران (Abassi et al., 2010)، طی بررسی تغییرات آب‌وهوایی خراسان جنوبی در دوره اقلیمی ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از مدل ECHO-G گزارش کردند که در دوره مذکور میزان بارش استان چهار درصد افزایش، تعداد روزهای یخبندان کاهش و میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت بود. همچنین اظهار داشتند که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتی‌گراد خواهد بود. محققان طی بررسی تغییرات اقلیمی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از مدل ریزمقیاس لارس گزارش کردند که به‌طور میانگین در کشور سالانه میزان بارش نه درصد کاهش و میانگین سالانه دما حدود ۰/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت (Abassi et al., 2015).

جدول ۴- پیش‌بینی درصد تغییرات ماهانه بارش در دوره و سناریوهای اقلیمی مختلف در استان البرز

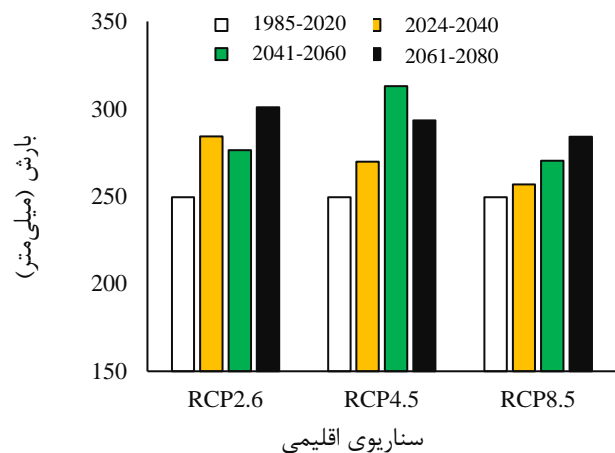
دوره اقلیمی	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۲۴-۲۰۴۰	RCP2.6	+۹/۴	-۱۴/۴	+۲۱/۴	-۴/۹	+۱۰/۶	+۵۰/۲	+۹/۴	+۴/۶	+۱۱۸/۲	-۷/۴	+۲۰/۰	+۱۶/۲
	RCP4.5	+۴/۹	-۱۴/۵	+۱۷/۰	-۵/۹	+۱۲/۲	+۴۲/۰	+۱/۳	+۱۴/۱	+۱۳۴/۱	-۵/۵	+۱۵/۶	+۷/۱
	RCP8.5	+۹/۱	-۱۴/۶	+۱۹/۸	-۱۰/۵	+۳۰/۴	+۶۹/۰	+۱۶/۱	+۱۶/۴	+۱۶۳/۳	+۷/۰	+۳۱/۲	+۱۴/۴
۲۰۴۱-۲۰۶۰	RCP2.6	+۹/۴	-۱۵/۴	+۱۰/۷	-۱۰/۸	+۱۲/۱	+۴۹/۳	-۵/۲	-۱۲/۲	+۱۰۱/۷	-۱۴/۲	+۱۰/۷	+۱۰/۸
	RCP4.5	+۳۷/۳	-۳/۲	+۲۲/۱	-۰/۹	+۱۸/۱	+۳۶/۶	-۱۴/۰	-۱۲/۷	+۱۱۸/۸	-۰/۳	+۳۴/۲	+۴۲/۹
	RCP8.5	+۳/۵	-۳/۹	+۳۱/۲	+۲/۰	+۱۷/۸	+۴۰/۲	-۱۳/۰	-۱۳/۶	+۱۱۳/۰	-۲/۰	+۲۶/۸	+۹/۳
۲۰۶۱-۲۰۸۰	RCP2.6	۰/۰	-۲۵/۰	-۱/۳	-۷/۸	+۱۱/۱	+۴۳/۴	-۵/۹	-۷/۱	+۱۲۹/۷	-۱۰/۷	+۶/۰	+۴/۰
	RCP4.5	+۱۲/۰	-۱۲/۶	+۱۴/۹	-۸/۱	+۵/۲	+۲۱/۰	-۲۹/۰	-۳۴/۴	+۸۵/۵	-۱۲/۴	+۱۰/۸	+۸/۷
	RCP8.5	+۱۸/۷	+۳/۰	+۲۳/۶	-۶/۳	+۱۰/۱	+۲۸/۸	-۲/۷	-۲۸/۳	+۸۵/۲	-۱۴/۵	+۱۱/۷	+۱۱/۰

\* به ترتیب علامت‌های منفی (-) و مثبت (+) نشان‌دهنده کاهش و افزایش متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد.

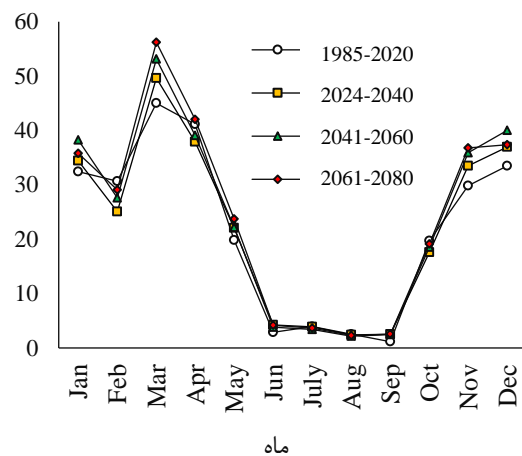
## تشعشع

طی سال‌های اخیر میزان تشعشع منطقه در دوره پایه افزایش یافت (شکل ۹) که به تبع آن نیز دماهای کمینه و بیشینه منطقه افزایش یافته است (شکل ۱). نتایج پیش‌بینی نشان داد که در تمام دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مورد مطالعه میزان تشعشع در استان البرز نسبت به دوره پایه به‌طور جزئی (صفر تا ۳ درصد) افزایش خواهد یافت (شکل ۱۰ و جدول ۵). در سناریو بدبینانه (RCP8.5) و دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۸ در ماه‌های گرم سال (جولای تا اکتبر (تیر تا آبان))، میزان افزایش تشعشع منطقه نسبت به دوره پایه و سایر سناریوها و دوره‌های مورد مطالعه بیشتر خواهد بود (شکل‌های ۱۱ و ۱۲ و جدول ۵).

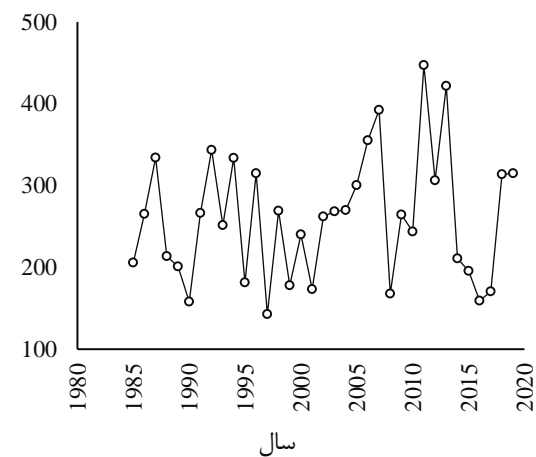
به‌طور کلی در ماه‌های آوریل تا نوامبر (فروردین تا آذر)، تشعشع منطقه در تمامی سناریوها و دوره‌ها افزایش و در ماه‌های دسامبر تا فوریه (آذر تا بهمن) کاهش پیدا خواهد کرد (جدول ۵). با توجه به افزایش تشعشع منطقه و به تبع آن افزایش دماهای کمینه و بیشینه در اوایل رشد گیاهان پاییزه اعم از گندم و جو، انتظار می‌رود که تاریخ فنولوژیک این گیاهان به‌خصوص مراحل جوانه‌زنی، استقرار و پنجه‌زنی آن‌ها بهتر انجام شود. محققان در پژوهشی با تأیید توانایی مدل LARS-WG برای شبیه‌سازی اقلیمی متغیرهای دما، تابش و بارش در ایستگاه سینوپتیک سنندج در دوره ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۹ به پیش‌بینی آن‌ها بر مبنای سناریوی A2 در ۲۰ سال آینده پرداختند (Khalili Aghdam *et al.*, 2012). بر اساس نتایج آن‌ها، مقادیر میانگین دماهای کمینه و بیشینه و بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۳ درجه سانتی‌گراد و شش میلی‌متر افزایش خواهد یافت.



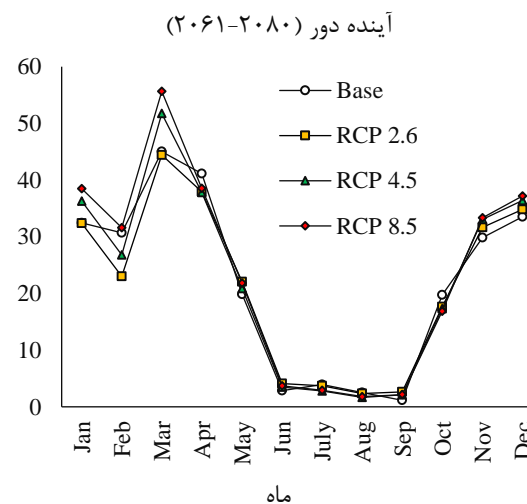
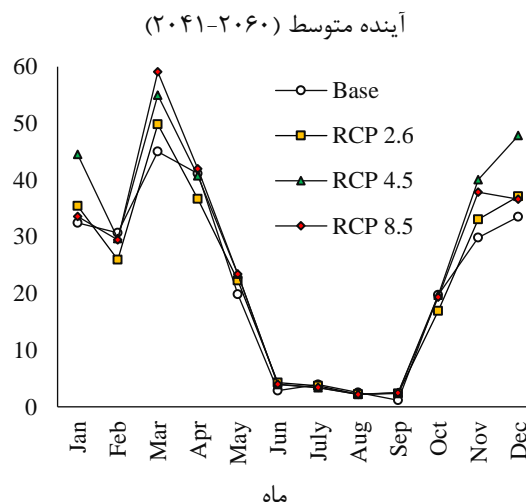
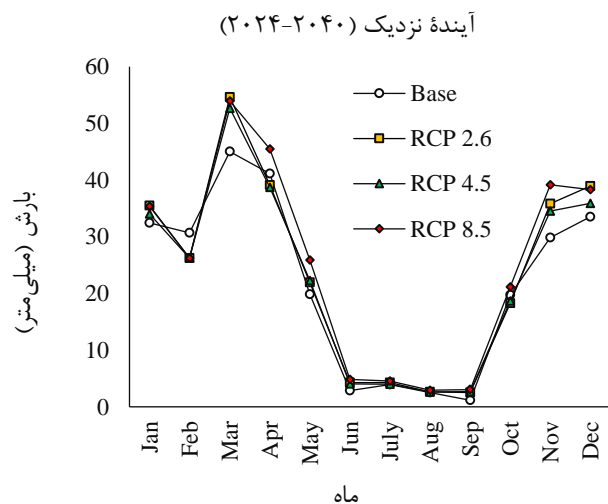
شکل ۷- تغییرات بارش در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی آینده در استان البرز



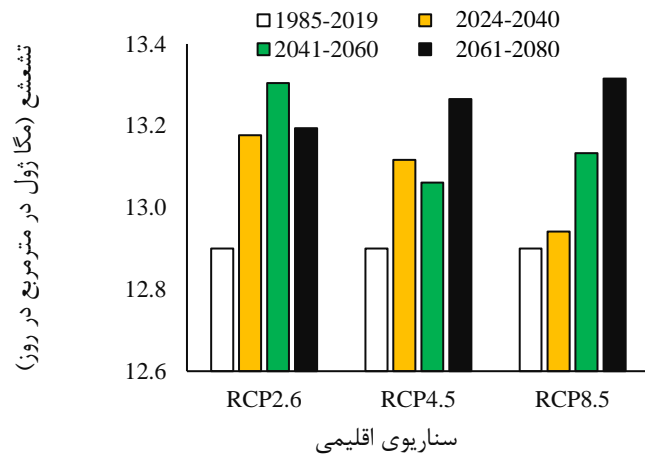
شکل ۶- تغییرات ماهانه بارش در دوره‌های پایه و آینده در استان البرز



شکل ۵- تغییرات سالانه بارش در دوره پایه در استان البرز

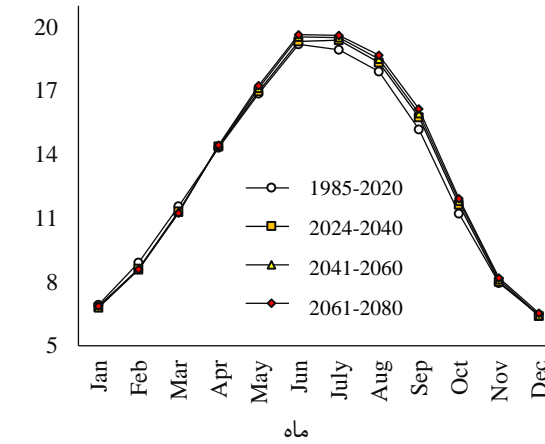
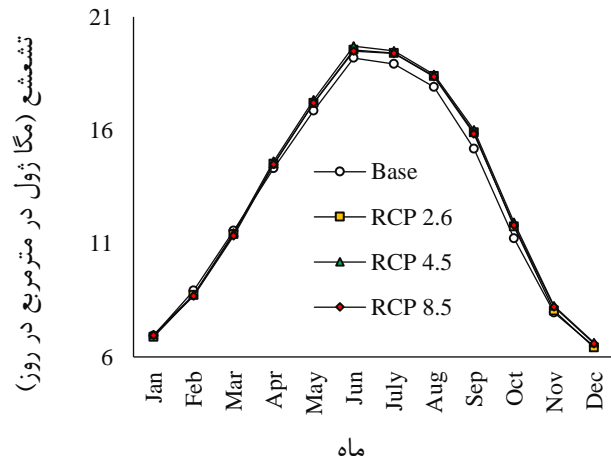


شکل ۸- پیش‌بینی تغییرات ماهانه بارش در دوره‌های اقلیمی آینده و سناریوهای مختلف در استان البرز



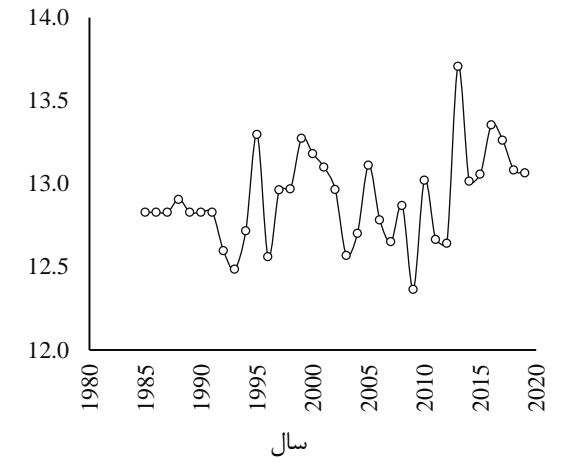
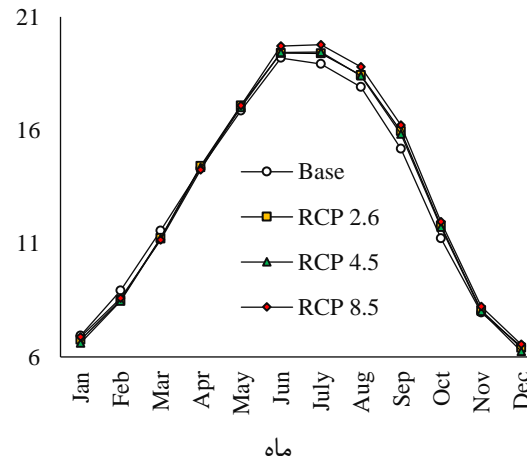
شکل ۱۱- تغییرات تشنش در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی آینده در استان البرز

آینده نزدیک (۲۰۲۴-۲۰۴۰)



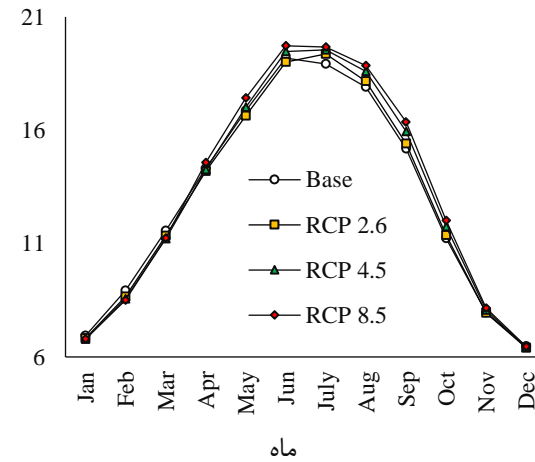
شکل ۱۰- تغییرات ماهانه تشنش در دوره‌های پایه و آینده در استان البرز

آینده متوسط (۲۰۴۱-۲۰۶۰)



شکل ۹- تغییرات سالانه تشنش در دوره پایه در استان البرز

آینده دور (۲۰۶۱-۲۰۸۰)



شکل ۱۲- پیش‌بینی تغییرات ماهانه تشنش در دوره‌های اقلیمی مختلف در استان البرز

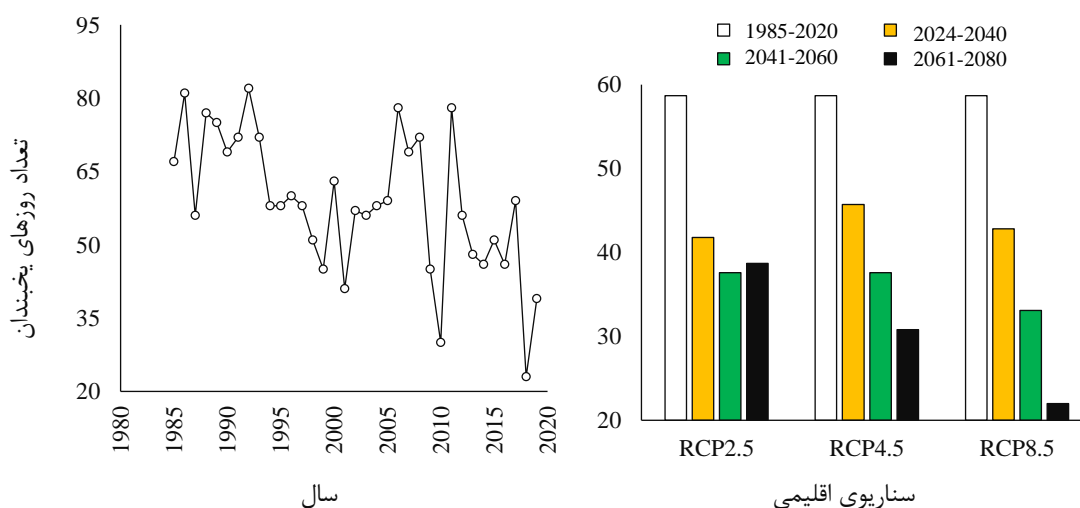
جدول ۵- پیش‌بینی درصد تغییرات ماهانه تشعشع در دوره و سناریوهای اقلیمی مختلف در استان البرز

دوره اقلیمی	سناریوی اقلیمی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۲۴-۲۰۴۰	RCP2.6	-۰/۸	-۲/۲	-۱/۴	+۱/۴	+۲/۰	+۱/۹	+۲/۵	+۲/۷	+۴/۸	+۴/۷	+۱/۱	-۰/۹
	RCP4.5	+۰/۷	-۲/۰	-۰/۸	+۲/۲	+۲/۸	+۲/۷	+۳/۱	+۳/۱	+۵/۵	+۶/۳	+۳/۸	+۲/۴
	RCP8.5	+۰/۳	-۲/۶	-۱/۹	+۱/۲	+۲/۰	+۱/۶	+۲/۴	+۲/۵	+۴/۴	+۵/۲	+۳/۳	+۱/۸
۲۰۴۱-۲۰۶۰	RCP2.6	-۲/۶	-۴/۷	-۲/۸	+۰/۷	+۱/۳	+۱/۲	+۲/۴	+۲/۹	+۵/۱	+۵/۱	+۱/۳	-۰/۹
	RCP4.5	-۴/۵	-۵/۲	-۳/۰	+۰/۳	+۰/۸	+۱/۳	+۲/۸	+۲/۸	+۴/۴	+۴/۴	+۰/۸	-۳/۳
	RCP8.5	-۰/۷	-۳/۷	-۳/۵	+۰/۵	+۱/۴	+۲/۸	+۴/۵	+۵/۰	+۶/۹	+۶/۵	+۳/۴	+۱/۳
۲۰۶۱-۲۰۸۰	RCP2.6	-۱/۵	-۲/۹	-۱/۹	-۰/۹	-۱/۳	-۰/۹	+۲/۳	+۱/۵	+۱/۵	+۱/۳	-۰/۱	-۱/۰
	RCP4.5	-۲/۲	-۴/۱	-۳/۰	-۰/۴	+۰/۹	+۱/۵	+۳/۳	+۳/۸	+۵/۱	+۴/۷	+۱/۵	-۰/۷
	RCP8.5	-۲/۰	-۴/۶	-۲/۸	+۱/۸	+۳/۴	+۲/۸	+۴/۰	+۵/۳	+۷/۸	+۷/۱	+۲/۶	-۰/۱

\* به ترتیب علامت‌های منفی (-) و مثبت (+) نشان‌دهنده کاهش و افزایش متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد.

### تعداد روزهای یخبندان

طی سال‌های اخیر تعداد روزهای یخبندان در استان البرز کاهش یافته است (شکل ۱۳) که از دلایل آن افزایش دماهای کمینه و بیشینه (شکل ۱) و افزایش تشعشع می‌باشد (شکل ۹). در تمام سناریوها و دوره‌های اقلیمی آینده نیز، تعداد روزهای یخبندان سالانه در استان البرز حدود ۲۲ تا ۶۲ درصد کاهش خواهد یافت (جدول ۳). لازم به ذکر است که میزان کاهش تعداد روزهای یخبندان در سناریو اقلیمی بدبینانه (RCP8.5) و آینده دور (۲۰۸۰-۲۰۶۱) نسبت به دوره پایه بیشتر خواهد بود (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). نتایج همچنین نشان داد که تعداد روزهای یخبندان در استان البرز در ماه نوامبر و دسامبر (آبان تا دی) که مصادف با مراحل اولیه رشد گیاهان پاییزه می‌باشد، بیشتر از سایر ماه‌های سال کاهش خواهد یافت (جدول ۶). محققان گزارش کردند که میانگین متغیرهای دمایی در بازه اقلیمی آینده نسبت به بازه‌ی گذشته افزایش خواهد یافت (Sobhany & Fateminiya, 2014) که میزان افزایش در فصول بهار و پاییز بیش از فصول زمستان و تابستان است (Tavousi et al., 2012).

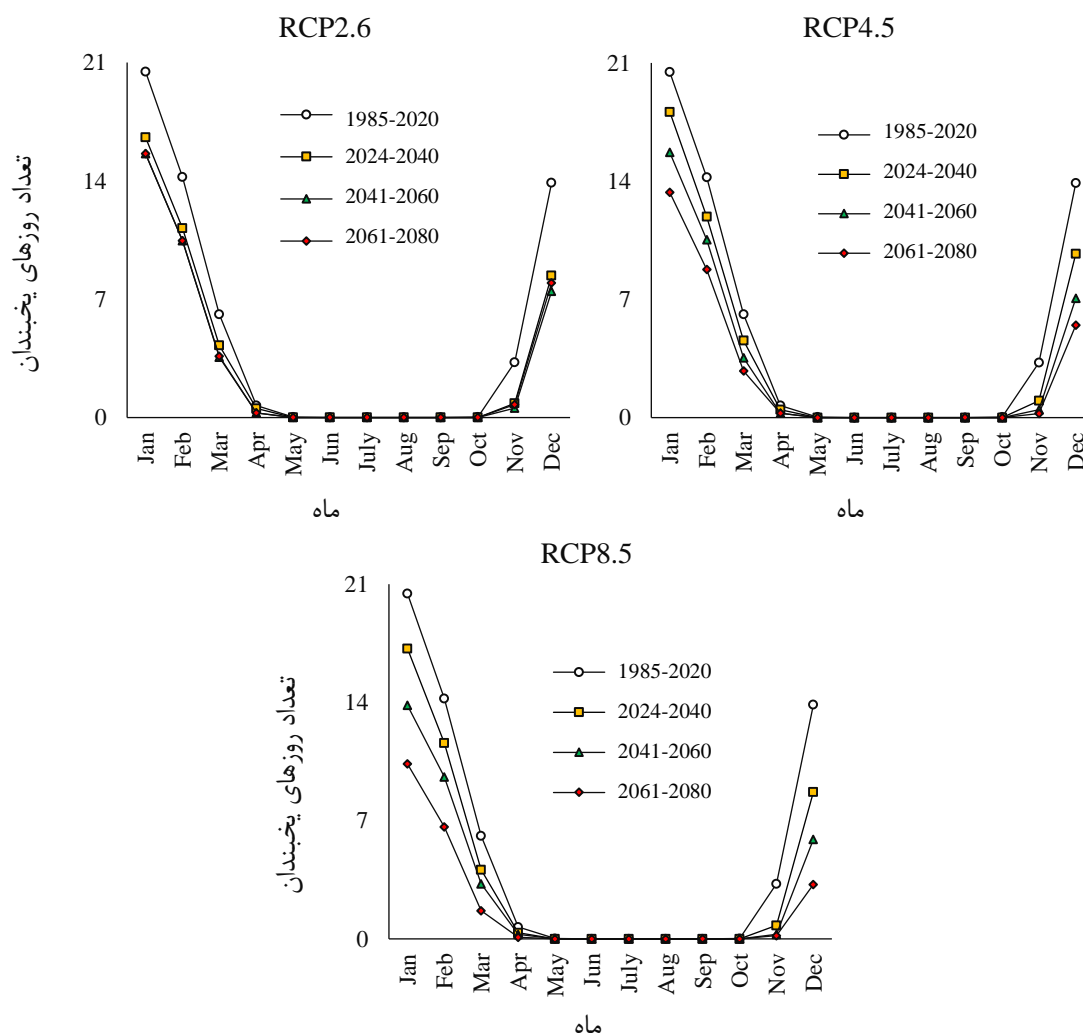


شکل ۱۳- تغییرات سالانه تعداد روزهای یخبندان در دوره‌های پایه و آینده در استان البرز

جدول ۶- پیش‌بینی درصد تغییرات ماهانه تعداد روزهای یخبندان در دوره و سناریوهای مورد مطالعه در استان البرز

دوره اقلیمی	سناریو	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	جون	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۲۴-۲۰۴۰	۲/۶	-۱۹/۰	-۲۱/۳	-۳۰/۲	-۲۵/۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۷۴/۴	-۳۹/۵
	۴/۵	-۱۱/۵	-۱۶/۴	-۲۵/۳	-۳۴/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۶۹/۳	-۳۰/۱
	۸/۵	-۱۵/۹	-۱۸/۵	-۳۲/۹	-۴۸/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۷۵/۴	-۳۷/۳
۲۰۴۱-۲۰۶۰	۲/۶	-۲۳/۷	-۲۶/۴	-۴۱/۷	-۶۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۸۲/۶	-۴۶/۲
	۴/۵	-۲۳/۳	-۲۶/۰	-۴۲/۲	-۶۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۸۵/۷	-۴۹/۱
	۸/۵	-۳۲/۴	-۲/۵	-۴۶/۶	-۶۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۹۱/۸	-۷۵/۵
۲۰۶۱-۲۰۸۰	۲/۶	-۲۳/۷	-۲۶/۴	-۴۰/۶	-۶۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۷۶/۵	-۴۲/۶
	۴/۵	-۳۴/۸	-۳۸/۴	-۵۴/۸	-۶۲/۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۹۲/۸	-۶۰/۶
	۸/۵	-۴۹/۳	-۵۳/۴	-۷۲/۷	-۸۶/۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	-۹۳/۹	-۷۶/۷

\* به ترتیب علامت‌های منفی (-) و مثبت (+) نشان دهنده کاهش و افزایش متغیرهای اقلیمی مورد مطالعه در دوره‌های آینده نسبت به دوره پایه می‌باشد.



شکل ۱۴- پیش‌بینی تغییرات ماهانه تعداد روزهای یخبندان در دوره‌ها و سناریوهای اقلیمی مختلف در استان البرز

### نتیجه‌گیری

بررسی روند تغییرات متغیرهای اقلیمی در استان البرز نشان داد که با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن از ۱۸ تا ۸۶ درصد در سناریوها (RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5) و دوره‌های اقلیمی آینده (۲۰۲۴-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰)، دمای کمینه ۱۰ تا ۴۳ درصد، دمای بیشینه ۶ تا ۲۱ درصد، بارش ۲ تا ۲۰ درصد و تشعشع صفر



تا ۳ درصد افزایش و تعداد روزهای یخبندان ۲۲ تا ۶۲ درصد کاهش خواهد یافت. بیشترین تغییرات پارامترهای مذکور در سناریوی بدبینانه (RCP8.5)، آینده دور (۲۰۸۰-۲۰۶۱)، ماه‌های آبان تا آذر (مصادف با مراحل اولیه رشد گیاهان پاییزه استان) و اواسط اسفند تا اردیبهشت‌ماه (مصادف با مراحل ساقه‌روی و گلدهی)، اتفاق خواهد افتاد. افزایش دما در نیمه سرد سال سبب کاهش برف و باران در زمستان خواهد شد، در نتیجه حجم رواناب‌های ناشی از ذوب برف کاهش یافته و ذخایر آب‌های زیرزمینی نیز تغییر می‌کند. بنابراین تغییرات پارامترهای مذکور بر روند رشد و استقرار گیاهان زراعی، تاریخ‌های فنولوژیک و پاسخ‌های مورفولوژیک و فیزیولوژیک گیاهان پاییزه منطقه می‌تواند اثرات مثبت یا منفی داشته باشد.

با توجه به احتمال افزایش بارش‌ها در برخی از ماه‌های سال و امکان وقوع بارش به شکل رگبار و یا تگرگ، در صورت مصادف شدن با مرحله حساس گیاهان رایج منطقه، ممکن است سبب خسارت و کاهش محصول تولیدی شود؛ لذا بایستی تمهیدات لازم جهت کاهش اثرات منفی این امر صورت پذیرد. در این راستا با توجه به اینکه کشاورزان قادر نیستند شرایط اقلیمی را کنترل نمایند؛ از این‌رو، با اتخاذ راهکارهای سازگاری مناسب با شرایط اقلیمی منطقه (استفاده از روش‌های آبیاری مناسب، مدیریت عناصر غذایی، انتخاب تاریخ و تراکم کاشت مطلوب، انتخاب رقم و گیاهان سازگار و متحمل، فعالیت‌ها و تکنولوژی‌های مناسب کاشت محصولات زراعی) می‌توان اثرات منفی تغییر اقلیم بر رشد، نمو و تولید محصولات کشاورزی را کاهش داد.

## سپاسگزاری

پژوهش حاضر از رساله دوره دکتری تخصصی و دفاع شده در دانشگاه تهران و با همکاری دانشگاه شهید بهشتی استخراج شده است. در این راستا نویسندگان مراتب تشکر صمیمانه خود را از مسئولان آموزشی و پژوهشی گروه زراعت و اصلاح نباتات دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران اعلام می‌نمایند.

## منابع (References)

- Abassi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., & Borhani, R. (2015). Climate change assessment over Zagros during 2010-2039 by using statistical downscaling of ECHO-G model. *Research Journal Of Medical Sciences*, 18(4), 218-233. <https://doi.org/10.3923/erj.2011.149.155>.
- Anderson, W.K. (2016). Closing the gap between actual and potential yield of rain fed wheat. The impacts of environment, management and cultivar. *Field Crops Research*, 116, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.11.016>.
- Burke, M.B., Lobell, D.B., & Guarino, L. (2018). Shifts in African crop climates by 2050, and the implications for crop improvement and genetic resources conservation. *Global Environment Change*, 19 (3), 317-325. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.04.003>.
- FAO. (2020). Food and Agricultural Organization of the United Nations (FAO), FAO Statistical Database, from <http://faostat.fao.org>.
- Hatfield, J. (2018). Radiation interception, extinction coefficient and use efficiency of wheat crop at various irrigation and nitrogen levels in a semiarid location. *Agronomy Journal*, 23(5), 416-425. <https://doi.org/10.1007/s40502-018-0400-x>.

- Innes, P.J., Tan, D.K.Y., Van Ogtrop, F., & Amthor, J.S. (2015). Effects of high-temperature episodes on wheat yields in New South Wales, Australia. *Agricultural and Forest Meteorology*, 208, 95-107. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.018>.
- Khalili Aghdam, N., Mosaedi, A., Soltani, A., & Kamkar, B. (2012). Evaluation of ability of LARS-WG model for simulating some weather parameters in Sanandaj. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 19(4), 85-102. <https://doi.org/10.3354/cr029003>.
- Li, Z.T., Yang, J.Y., Drury, C.F., & Hoogenboom, G. (2015). Evaluation of the DSSAT-CSM for simulating yield and soil organic C and N of a long-term maize and wheat rotation experiment in the Loess Plateau of Northwestern China. *Agriultural Systems*, 135, 90-104. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.12.006>.
- Lohani, N., Singh, M.B., & Bhalla, P.L. (2020). High temperature susceptibility of sexual reproduction in crop plants. *Journal of Experimental Botany*, 71, 555–568. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz426>.
- Martin, G.M., Ringer, M.A., Pope, V.D., Jones, A., Dearden, C., & Hinton, T.J. (2006). The physical properties of the atmosphere in the new Hadley Centre global environmental model, HadGEM1, model description and global climatology. *Journal of Climate*, 19, 1274–1301. <https://doi.org/10.1175/jcli3636.1>.
- Mavromatis, T., & Hansen, J.W. (2015). Interannual variability characteristics and simulated crop response of four stochastic weather generators. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109(4), 283-296. [https://doi.org/10.1016/s0168-1923\(01\)00272-6](https://doi.org/10.1016/s0168-1923(01)00272-6).
- Meshkati, A.H., Kordjazi, M., & Babaeian, I. (2011). Evaluation of LARS-WG model in simulation of some observed meteorological parameters in golestan province (1993-2007). *Journal of Geographical Sciences*, 16(19), 81-96. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2708441/v1>.
- Pastor, A.V., Palazzo, A., Havlik, P., Biemans, H., Wada, Y., Obersteiner, M., Kabat, P., & Ludwig, F. (2019). The global nexus of food trade water sustaining environmental flows by 2050. *Nature Sustainability*, 13, 1-15. <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0287-1>.
- Ray, D.K., Gerber, J.S., MacDonald, G.K., & West, P.C. (2015). Climate variation explains a third of global crop yield variability. *Nature Communications*, 6, 5989. <https://doi.org/10.1038/ncomms6989>.
- Rezaei, E.E., Siebert, S., & Ewert, F. (2015). Intensity of heat stress in winter wheat phenology compensates for the adverse effect of global warming. *Environmental Research Letters*, 10 (2), 12-24. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/2/024012>.
- Sobhany, B., & Fateminiya, F.S. (2014). Modelling of climatic parameters in province of southern Khorasan. *Physical Geography Research Quarterly*, 46(3), 9-11. (In persian with English Abstract).
- Tao, F., Zhang, S., Zhang, Z., & Rotter, R.P. (2015). Temporal and spatial changes of maize yield potentials and yield gaps in the past three decades in China. *Agricultural and Ecosystems Environmental*, 208, 12–20. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.020>.
- Tavousi, T., Khosravi, M., & Zahraei, A. (2012). Predication of Frost In Zabol Region Based on Simulations of General Circulation Model. *Journal of Natural Environment Hazards*, 1(2), 29-48.
- Van ittersum, M.K., Van bussel, L.G., Wolf, J., Grassini, P., Van wart, J., Guilpart, N., Claessens, L., Van oort, P.A.J., & Cassman, K.G. (2016). Can sub Saharan Africa feed itself? *National Academic Science*, 113, 16964-14969. <https://doi.org/10.1201/9780367809188-6>.
- Zaid, M., & Waqed, H. (2022). Climate change and the projection of future temperature and precipitation in southern Iraq using a LARS-WG model. *Journal of Ecological Studies*, 8(1), 4205-4218. <https://doi.org/10.1007/s40808-022-01358-x>.