

## تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره

۲۰۲۲-۲۰۱۳

سیده شیما پورعلی حسین<sup>۱\*</sup> و علیرضا مساح بوانی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی - منابع آب، دانشگاه تهران، ایران  
<sup>۲</sup> دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۲/۲/۸، پذیرش نهایی: ۹۲/۴/۱۱)

### چکیده

از جمله آثار پدیده تغییر اقلیم، افزایش دما، و نیز کاهش مقدار بارش در برخی مناطق جهان از جمله ایران است و لذا بررسی اثرات این پدیده ضروری می‌نماید. در این تحقیق، پس از برداشت داده‌های مشاهداتی ماهانه دما و بارش ۱۵ ایستگاه هواشناسی در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲، داده‌ها با کمک روش‌های گوناگون درون‌یابی و انتخاب بهترین روش، برای سلول‌های ۰/۵ در ۰/۵ درجه تولید شد. پس از پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برای دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ به‌صورت ماهانه با شانزده مدل جفت شده، گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM) تحت سناریوهای A1B، A2 و B1، و ریزمقیاس‌نمایی مکانی داده‌ها در مقیاس ۰/۵ در ۰/۵ درجه با کمک روش Bias Correction/Spatial Downscaling، به‌منظور بررسی عدم قطعیت و تحلیل مخاطره پیش‌بینی‌ها، داده‌ها با استفاده از روش مقیاس الگو، برای ۴۶ سناریوی دیگر نیز تولید شدند. با محاسبه دما و بارش برای سطوح متفاوت مخاطره مشخص شد که در سطح مخاطره ۱۰ درصد دما ۲/۹-۳/۱۵ درجه افزایش، و مقدار بارش ۷۵-۱۵۰ میلی‌متر کاهش خواهد داشت. در سطح ۲۵ درصد دما ۲/۱-۲/۲۵ درجه افزایش، مقدار بارش در برخی نقاط کاهش و در برخی دیگر تا ۵۰ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد. در سطح ۵۰ درصد، دما تقریباً ۱/۲ درجه افزایش خواهد داشت، و در مورد بارش نیز افزایش مقدار پیش‌بینی می‌شود؛ به‌طوری‌که مقدار بارندگی سالانه در منطقه با مخاطره ۵۰ درصد، تقریباً بین ۵۲۵ تا ۳۵۰ میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، درون‌یابی، ریزمقیاس‌نمایی، عدم قطعیت، مقیاس الگو، AOGCM

## Risk analysis and assessment of impacts of climate change on temperature and precipitation of East Azerbaijan in 2013-2022

Pooralihosein, SH.<sup>1</sup> and Massah Bavani, A. R.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Agriculture Engineering-Water Resources Student, University of Tehran, Iram

<sup>2</sup>Associate Professor, Irrigation and Drainage Engineering Department, Faculty of Aboureihan, University of Tehran, Iran

(Received: 28 Apr 2013, Accepted: 02 Jul 2013)

### Summary

One of the most important impact of climate change is reduction of precipitation in some areas including Iran. Hence, climate change studies are essential in these areas. Besides, according to IPCC, some meteorological stations of Iran, such as Tabriz (capital of East Azerbaijan Province) have showed a downward trend in precipitation. Therefore, East Azerbaijan Province was selected as the study area in this survey. It is one of the north-western provinces with cold dry climate. Firstly, monthly temperature and precipitation

observed data over 1981-2012 were gathered from 15 meteorological stations of the region, and they were produced for 0.5-degree cells by interpolation methods and selecting the most appropriate one based on the amount of corresponding errors (RMSE and ME). Thereafter, monthly precipitation and temperature data for 2013-2022 were projected using 16 Atmosphere-Ocean General Circulation Models (AOGCMs) under A2B, A2 and B1 SRES scenarios, and downscaled by Bias Correction/Spatial Downscaling technique at 0.5-degree cells. After applying pattern scaling method on monthly temperature and precipitation data, in order to produce future data under more scenarios, monthly climatic variables were calculated for 10, 25 and 50 percent risk, and risk analysis was done based on the computed parameters. The pattern scaling technique used in this study calculates the variable under a desired scenario, from the base scenario (A2 in this study) with a linear equation in which the global temperature rise was calculated by a model named MAGICC.

Assessing observed climatic variables showed that western parts of the province had lower precipitation and higher temperature, while eastern parts had higher precipitation. However, south-western cells also experienced a better situation. Mean annual temperature over 1981-2012 was between 7.5-13.5 degrees Centigrade, and annual precipitation was 260 to more than 310 millimeters. Moreover, despite precipitation fluctuations over 1981-2012, annual precipitation of the first years is higher than the last years.

After applying pattern scaling method and accessing future monthly precipitation and temperature data under 49 scenarios for 16 AOGCMs, temperature and precipitation boxplots of each month were produced for each month. Results showed that precipitation is right-skewed in all months and all cells. The outliers of March and April are less than others, while August outliers are numerous. Comparing boxplots of temperature and precipitation indicated that outliers of temperature data are much less than precipitation, i.e. uncertainties of AOGCMs and downscaling to project temperature are less than precipitation.

The monthly precipitation and temperature data were calculated for 10, 25 and 50 percent risk and the monthly temperature-risk and precipitation-risk line charts were produced for each cell. The amount of monthly temperature and precipitation with higher and lower risk showed a significant difference. Furthermore, projections with lower risk have less difference and they indicate almost one prediction.

According to the areal interpolated maps of the future mean annual precipitation and temperature, the least temperature will be around Sarab station, and the highest temperature will be near Malekan and Bonab stations. Furthermore, maps showed that the amount of temperature will increase by moving west. Moreover, by moving from high risk to lower risks, the amount of temperature increases about one degree Centigrade. Western regions will experience lower precipitation with all levels of risk, and the maximum annual precipitation will be seen in north-eastern spots.

The difference between the predicted and observed temperature and precipitation with 10, 25 and 50 percent risk for each cell was calculated and their spatial distribution maps were produced by applying different interpolation methods and selecting the best method. It is predicted that temperature will increase 2.9-3.15 degrees Centigrade with 10 percent risk, and the rise amount is bigger in the western areas. Precipitation will decrease about 75 to 150 millimeters. Temperature will increase 2.1-2.25 degree Centigrade with 25 percent risk, and the amount of precipitation in some areas will be lower and in some others will rise even up to 50 millimeters. The temperature with 50 percent risk is projected to increase about 1.2 degree Centigrade, and precipitation will also aggrandize.

In conclusion, the temperature increase in the next decade will be bigger in the

southern areas of the province, and precipitation amount of north-western and western areas will experience higher precipitation. The results of this study confirm other research done by others before, indicating the least amount of observed precipitation was in Sarab station. By having these results for future periods the decision makers of this field will have a better vision, and so they will be able to sufficiently plan for the future.

In addition to this research, some suggestions are proposed as follows to improve and strengthen the results: (i) past and future drought assessment in the area with different drought indexes, (ii) presenting a more logic relationship between temperature and precipitation because of relatively low correlation between temperature and precipitation and so not being linear, or applying models ensemble and comparing the results with this survey, (iii) using daily temperature and precipitation instead of monthly data to improve the results.

**Keywords:** AOGCM, Climate Change, Downscaling, Interpolation, Pattern Scaling, Uncertainty

## ۱ مقدمه

همکاران، (۲۰۰۷). توزیع مکانی اثرات ناشی از تغییر اقلیم، یکنواخت نیست (هس و همکاران، ۲۰۰۸) و لذا برآورد متغیرهای اقلیمی برای دوره آتی در مقیاس منطقه‌ای ضروری است (روستینوجا و همکاران، ۲۰۰۳). در زمینه پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره آتی، از جمله تحقیقات صورت گرفته، تحقیق بوبرگ و همکاران (۲۰۱۰) است که با آزمون هفت مدل منطقه‌ای تحت سناریوی A1B برای هشت منطقه اروپا در قرن ۲۱، کاهش روزهای بارش متوسط و افزایش روزهای بارش شدید را نتیجه گرفتند. در چین نیز چن و همکاران (۲۰۱۱) با وزن‌دهی به پنج مدل برتر AOGCM از ۲۸ مدل، افزایش معنی‌دار دما و بارش در نیمه و پایان قرن ۲۱ را نتیجه گرفتند. در ایران نیز آشفته و مساح بوانی (۱۳۸۹) با مقایسه دما و بارش حوضه آیدوغموش در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۹ نسبت به ۱۹۷۱-۲۰۰۰ با مدل HadCM3 تحت سناریوی A2، روشن ساختند که دما ۱/۵-۴ درجه افزایش، بارش در زمستان و پاییز کاهش، و در سایر فصول افزایش می‌یابد. روشن و همکاران (۱۳۹۱) با آزمون مدل‌های گوناگون برای شبیه‌سازی مقادیر دما و بارش مشاهداتی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ نسبت به ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۱

با توجه به اینکه همبستگی معنی‌داری بین گرمایش جهانی و توسعه صنعتی و اجتماعی-اقتصادی وجود دارد (له تروت و همکاران، ۲۰۰۷)، راه مستقیم کند ساختن روند گرمایش و تغییر اقلیم، کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و تلاش برای سازگاری با اثرات تغییر اقلیم است (میشل، ۲۰۰۳؛ شلزینگر، ۲۰۱۱). تغییر اقلیم تأثیرات متعددی بر مقدار، شدت و فراوانی بارش می‌گذارد، و گرمایش نیز با شتاب بخشیدن به خشک شدن زمین، منجر به افزایش فراوانی و شدت خشک‌سالی‌ها می‌شود (له تروت و همکاران، ۲۰۰۷) که خسارت سالانه شش تا هشت میلیارد دلار آمریکا را به دنبال دارد (کالانکا، ۲۰۰۷). در مناطقی که متوسط مقدار بارندگی آنها کاهش می‌یابد (نواحی جنب گرمسیری و عرض جغرافیایی میانی مانند ایران)، پیش‌بینی می‌شود که شدت بارش افزایش، ولی فراوانی آن کاهش یابد؛ همچنین این مناطق در تابستان خشک‌تر خواهند بود و این بیانگر مخاطره بیشتر رخ دادن پدیده خشک‌سالی است (میشرا و سینگ، ۲۰۱۱). به گزارش IPCC در ایران نیز مقدار بارش در تعدادی از ایستگاه‌ها از جمله تبریز (مرکز استان آذربایجان شرقی) رو به کاهش اعلام شده است (کروز و

ایران، دریافتند که هیچ‌یک از مدل‌ها به تنهایی قادر به شبیه‌سازی صحیح اقلیم کشور نیستند و باید از ترکیب آنها استفاده شود (این روش را میشل و همکاران (۱۹۹۹) و کنت و بونومو (۲۰۰۶) نیز به کار برده‌اند). در نتیجه با ترکیب مدل GISS-EH و CNRM-CM3 برای بارش و INMCM-30 برای افزایش دما و بارش را به ترتیب برای سال ۲۰۲۵ و ۲۰۵۰،  $1/3$  و  $2/5$  درجه، و  $2/5$  و  $3/7$  درصد محاسبه کردند. محمدی و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از MAGICC SCENGEN و تقسیم ایران به ۳۰ منطقه، تغییرات دما و بارش را تحت ۸ سناریو برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۲۵، ۲۰۷۵ و ۲۱۰۰ بررسی کردند و دریافتند که در همه آنها دما رو به افزایش، و بارش نیز در همه نواحی کشور رو به کاهش است. سلیمانی نادگانی و همکاران (۱۳۹۰) دما و بارش به شهر را با مدل CGCM3 تحت سناریوی A2 در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ شبیه‌سازی کردند و با ریزمقیاس‌نمایی تناسبی، دریافتند که بارندگی در پاییز افزایش، و در زمستان و بهار کاهش خواهد یافت.

با توجه به اینکه مدل‌های AOGCM برای مقیاس کوچک اطمینان کمتری دارند، استفاده از سایر روش‌ها مانند مدل‌های منطقه‌ای، و یا انواع روش‌های ریزمقیاس‌نمایی برای تحقیقات عدم قطعیت توصیه می‌شود (راندال و همکاران، ۲۰۰۷). در این زمینه، مقایسه‌ای بین بازه تفاوت مدل‌های TAR و AR4، (گروه کاری اول IPCC TAR، ۲۰۰۱؛ IPCC-TGICA، ۲۰۰۷) در تولید رواناب حوضه قره‌سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و با کمک دو مدل بارش-رواناب مفهومی IHACRES و SIMHYD صورت گرفت و مشخص شد که مدل‌های AR4 ضمن مدیریت بیشتر عدم قطعیت، نتایج کاربردی‌تری به دست می‌دهند (کمال و مساح بوانی، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱). نتایج تحقیق دیگری با واسنجی دو مدل

هیدرولوژی نام برده، برای ۱۰۰ سری زمانی و دوره پایه، حاکی از تأثیر قابل توجه عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژی و تأثیر کمتر نوسانات اقلیمی در برآورد رواناب یک حوضه تحت تأثیر اقلیم است (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹). عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها در تحقیقی، با بررسی خشک‌سالی حوضه قره‌سو و تولید ۱۰۰ سری زمانی بارش روزانه برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹، نشان داد که حوضه در دوره آتی شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشک‌سالی نسبت به دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) خواهد بود (گل محمدی و مساح بوانی، ۱۳۹۰). همچنین، در حوضه آیدوغوش، آذربایجان شرقی، طی تحقیقی عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها در نظر گرفته شد و تأثیر تغییر اقلیم بر سیلاب حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج، افزایش دما و کاهش بارش را نشان می‌دهد (آشسته و مساح بوانی، ۱۳۸۸).

تحقیقات عدم قطعیت و تحلیل مخاطره پیش‌بینی‌های متغیرهای اقلیمی در دوره آتی به منظور عرضه برنامه مدیریت منابع آب، اهمیت زیادی دارد. لذا، در این تحقیق با انتخاب استان آذربایجان شرقی و بررسی اثر تغییر اقلیم بر مقادیر دما و بارش منطقه، عدم قطعیت‌های موجود در نظر گرفته و در نهایت بارش و دما برای مقادیر متفاوت مخاطره عرضه می‌شود.

## ۲ مواد و روش‌ها

### ۱-۲ منطقه مورد بررسی

استان آذربایجان شرقی یکی از استان‌های ایران، واقع در گوشه شمال غرب کشور است که از نظر جغرافیایی در محدوده ۴۵ درجه و هفت دقیقه تا ۴۸ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی، و ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۲۶ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). آب‌وهوای استان به‌طور کلی سرد و خشک است، ولی به

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی برداشت داده‌های دما و بارندگی.

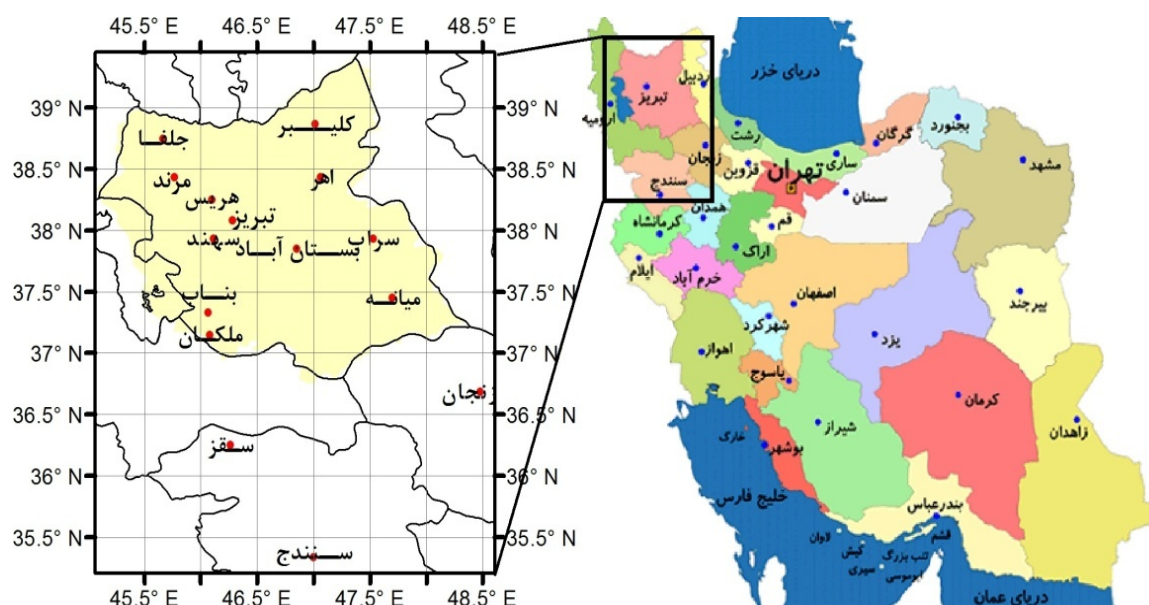
نام ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه)	عرض جغرافیایی (درجه)	ارتفاع از سطح دریا (متر)
تبریز	۴۶/۳	۳۸/۱	۱۳۶۱
مرند	۴۵/۸	۳۸/۴	۱۵۵۰
اهر	۴۷/۱	۳۸/۴	۱۳۹۰
سراب	۴۷/۵	۳۷/۹	۱۶۸۲
جلفا	۴۵/۷	۳۸/۷	۷۳۶
میانه	۴۷/۷	۳۷/۴	۱۱۱۰
سهند	۴۶/۱	۳۷/۹	۱۶۴۱
بناب	۴۶/۱	۳۷/۳	۱۲۹۰
کلیبر	۴۷/۰	۳۸/۹	۱۱۸۰
هریس	۴۶/۱	۳۸/۲	۱۹۵۰
بستان آباد	۴۶/۸	۳۷/۸	۱۷۵۰
ملکان	۴۶/۱	۳۷/۲	۱۳۰۲
سقز	۴۶/۳	۳۶/۲	۱۵۲۳
زنجان	۴۸/۵	۳۶/۷	۱۶۶۳
سنندج	۴۷	۳۵/۳	۱۳۷۳

علت توپوگرافیکی، اقلیم‌های متفاوتی دارد (سازمان حفاظت محیط زیست). از نظر تقسیمات حوزه‌های آبریز، حوزه‌های ارس، سفیدرود - قزل‌اوزن و دریاچه ارومیه پهنه استان را پوشش می‌دهند و بیشترین مساحت استان در محدوده حوزه دریاچه ارومیه قرار گرفته است (بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران).

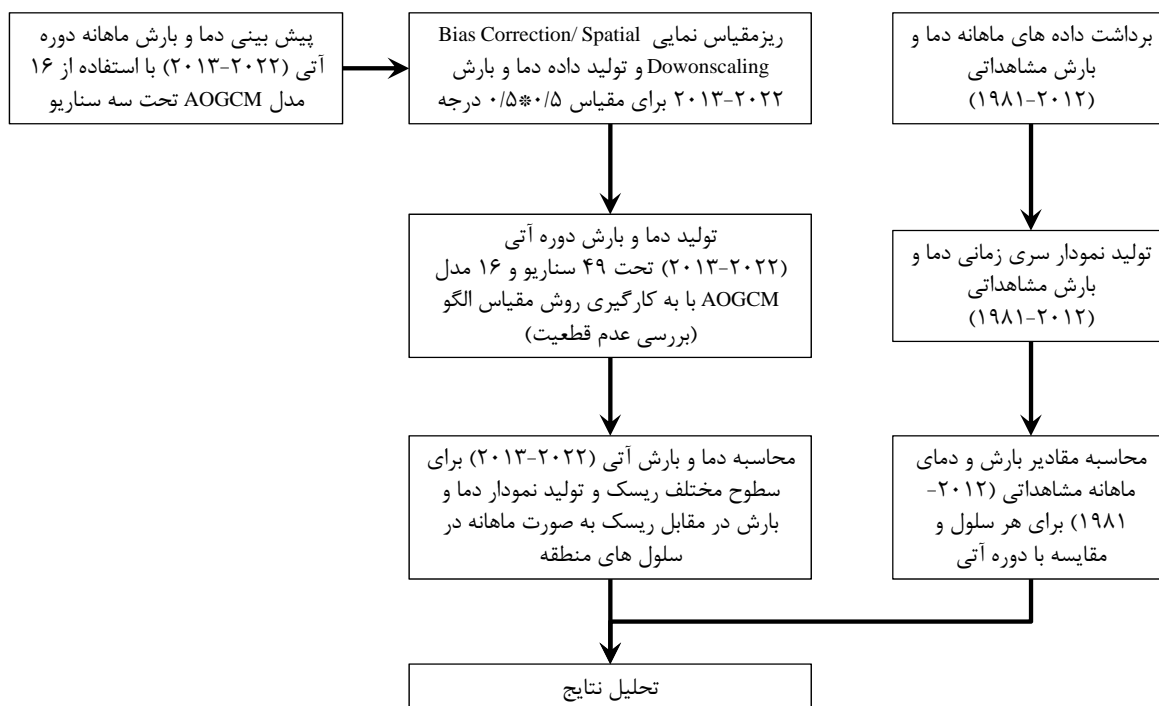
داده‌های دما و بارش از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی موجود در منطقه (جدول ۱) بین سال‌های ۱۹۸۱-۲۰۱۲ برداشت شد تا داده‌های مشاهداتی اقلیمی منطقه، مورد تحلیل قرار گیرد و با پیش‌بینی‌های دوره آتی مقایسه شود. موقعیت جغرافیایی این ایستگاه‌ها نیز در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

## ۲-۲ روش‌ها

مراحل تحقیق به صورت نمودار گردشی عرضه شده است (شکل ۲) که در بخش‌های بعد به توضیح آنها پرداخته می‌شود.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد بررسی و ایستگاه‌های هواشناسی.



شکل ۲. نمودار گردشی مراحل تحقیق.

۱-۲-۲-۲ سناریوهای اقلیمی و مدل‌های جفت شده  
گردش عمومی جو-اقیانوس

سناریو معمولاً یک توضیح منطقی و معقول موقعیت جهان در آینده (IPCC، ۱۹۹۴) است. سناریوها، ابزار مناسبی هستند که با آنها می‌توان تأثیر واداشت‌های گوناگون بر انتشار گازها در آینده را محاسبه، و عدم قطعیت‌های مربوط را ارزیابی کرد. رایج‌ترین راه تولید سناریوها، مدل‌های جفت شده گردش عمومی جو - اقیانوس (Atmosphere-Ocean General Circulation Model - AOGCM) است (میرنز و همکاران، ۲۰۰۳). مدل‌های AOGCM در واقع GCMهای پیشرفته‌ای هستند و به صورت دینامیکی و سه‌بعدی، مدل‌های اقیانوس را به مدل‌های جو ارتباط می‌دهند (IPCC-TGICA، ۲۰۰۷). در این تحقیق، داده‌های ماهانه دما و بارش سلول‌های منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با ۱۶ مدل AOGCM (جدول ۲) تحت سه سناریوی، A1B، B1، 2

اما از آنجاکه مدل‌های پیش‌گفته قادر به عرضه متغیرهای اقلیمی در مقیاس مناسب نیستند (مارر و همکاران، ۲۰۰۲؛ میرنز و همکاران، ۲۰۰۳)، و نیز به علت منطبق نبودن مقیاس مکانی مدل اقلیمی و مدل هیدرولوژیکی (وود و همکاران، ۲۰۰۴) در اکثر تحقیقات، می‌باید داده‌ها ریزمقیاس شوند. در اینجا از داده‌های ریزمقیاس شده به روش Spatial Downscaling/Bias Correction در مقیاس ۰/۵ در ۰/۵ درجه استفاده شده است (http://gdo- (dcp.ucllnl.org).

امکان اینکه هریک از مسیرهای انتشار گازها در آینده دنبال شود، عدم قطعیت زیادی دارد (IPCC، ۲۰۰۰). در ضمن متغیر بودن خود اقلیم به‌طور طبیعی نیز از عوامل عدم قطعیت است (لو و هالم، ۲۰۰۲؛ راجه و موجودمدار، ۲۰۱۰). لذا مطالعه عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها ضروری است.

هالم، ۲۰۰۲). سناریوهای این نرم‌افزار شامل سناریوهای SRES با پسوند AIM (مانند A1B-AIM) و سناریوی میانه این شش عدد (P50) و سناریوهای دارای خط‌مشی اقلیمی (policy) با پسوند MES، سناریوهایی با پسوند‌های ASF, HIMI و مانند آن است. در ۱۰ سناریوی دیگر، انتشار گاز کربن دی‌اکسید منجر به رسیدن تمرکز در سطح ثابت xxx می‌شود، که با WRExxx (با در نظر گرفتن بازخورها و عکس‌العمل‌ها بر چرخه کربن) یا xxxNFB (بدون در نظر گرفتن بازخورها) مشخص می‌شوند. در مجموع ۴۹ سناریو در ارزیابی عدم قطعیت لحاظ شده است.

### ۲-۲-۳ محاسبه دما و مخاطره دوره آبی برای سطوح مخاطره مختلف

برای تحلیل مخاطره پیش‌بینی‌های صورت گرفته، با توجه به مقدار دما و بارش ماهانه پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با ۱۶ مدل و تحت ۴۹ سناریو، داده‌های دما در هر ماه از هر سال به صورت نزولی، و داده‌های بارش به صورت صعودی مرتب شده و صدک‌های موردنظر (۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد) برای هر یک به دست آمده است که بیانگر سطوح مخاطره متفاوت است. به عبارتی، مخاطره ده درصد، در واقع صدک دهم داده‌های مرتب شده است. لازم به ذکر است که با به کارگیری روش مقیاس الگو برای بررسی عدم قطعیت و تحلیل مخاطره، ۷۸۴۰ داده در هر ماه برای دما/بارش (۱۶ مدل، ۴۹ سناریو، ۱۰ سال) دخیل بوده است. در مورد بررسی‌های سالانه دما و بارش دوره آبی نیز به همین روش عمل شده است.

### ۲-۲-۴ روش‌های درونیابی و معیار انتخاب روش بهتر

برای تولید داده در مقیاس ۰/۵ در ۰/۵ درجه، و پهنه‌بندی

### ۲-۲-۲ مقیاس‌بندی الگو (Pattern Scaling)

به منظور بررسی عدم قطعیت پیش‌بینی‌های دوره آبی، پارامتر کردن پیشرفته مدل‌های اقلیمی، و یا استفاده از تعداد زیاد نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها پیشنهاد شده است (بلنکینساپ و فولر، ۲۰۰۷). یکی از روش‌های مطرح شده در تحقیقات، روش مقیاس‌بندی الگو است که با دخیل ساختن تعداد سناریوهای بیشتر از تعداد اولیه اجرا شده مدل‌های AOGCM (جدول ۲)، بدون نیاز به اجرای گران‌قیمت مدل‌های منطقه‌ای (RCM) و یا AOGCM‌ها، بین نتایج مدل‌ها برون/درونیابی می‌کند (گروه کاری اول IPCC TAR، ۲۰۰۱). بنابراین، داده‌ها تحت سناریوهای بیشتری محاسبه می‌شوند و مسیرهای بیشتری برای روند تغییر انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه تغییر اقلیم، مد نظر قرار می‌گیرد که این بیانگر عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها است. در اینجا به منظور پوشش عدم قطعیت ناشی از گازهای گلخانه‌ای، روش مقیاس‌بندی الگوی عرضه شده سِتیر و همکاران (۱۹۹۰) استفاده شده است. همچنین، سناریوی A2 به علت فرض انتشار به نسبت زیاد گازهای گلخانه‌ای (میشل، ۲۰۰۳)، در حکم سناریوی مبنا انتخاب شد.

$$\Delta T_{A1F1,s} = \left\langle \frac{\Delta T_{A1F1}}{\Delta T_{A2}} \right\rangle \Delta T_{A2,s} \quad (1)$$

$$\Delta R_{A1F1,s} = \left\langle \frac{\Delta T_{A1F1}}{\Delta T_{A2}} \right\rangle \Delta R_{A2,s} \quad (2)$$

که در آنها،  $\Delta T$  و  $\Delta R$ ، تغییرات دما و بارش،  $\langle \rangle$  نشان‌دهنده نسبت میانگین جهانی اختلاف دما در سناریوی انتشار موردنظر به سناریوی مبنا، و زیرنویس S بیانگر مقدار محاسباتی مدل موردنظر است. برای محاسبه نسبت میانگین جهانی اختلاف دما، به علت هزینه زیاد اجرای AOGCM‌ها و زمان‌بر بودن آن، مدل MAGICC توسعه داده شده است که میانگین دمای جو زمین را تحت سناریوهای متفاوت تا سال ۲۱۰۰ را به دست می‌دهد (لو و

(دما، بارش و مانند آن) انتخاب شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (E_i - O_i)^2} \quad (3)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum (E_i - O_i) \quad (4)$$

که در آن،  $E_i$  مقدار محاسباتی توسط روش در ایستگاه  $i$ ، و  $O_i$  متناظر مشاهداتی آن در ایستگاه و  $n$  تعداد ایستگاهها است (جیانگ و همکاران، ۲۰۱۲). به عبارت دیگر، با استفاده از این معیارها، داده‌های موجود با داده‌های محاسباتی توسط هر روش درون‌یابی مقایسه می‌شود و روش درون‌یابی با کمترین میانگین خطای مجذور مربعات (RMSE) و نیز کمترین خطای میانگین (ME) به منزله روش مناسب در هر پارامتر (مانند دما، بارش و مانند آن) انتخاب و نقشه پهنه‌بندی مربوط تولید می‌شود.

مقدار دما و بارش در هر یک از ۳۸۴ ماه دوره مشاهداتی (۱۹۸۱-۲۰۱۲) و آتی، انواع روش‌های درون‌یابی وزن‌دهی معکوس فاصله (Inverse Distance Weighting - IDW)، چندجمله‌ای (Global/Local Polynomial Interpolation)، توابع شعاعی (Radial Basis Functions) «شامل تابع نواریاریک منتظم کامل (Completely Regularized Spline - CRS)، نواریاریک با کشش (Spline with Tension - ST)، مولتی‌کوادریک (Multiquadric - MQ)، مولتی-کوادریک معکوس (Inverse Multiquadric - IMQ) و نواریاریک صفحه نازک (Thin Plate Spline - TPS)» و کریگینگ معمولی، ساده و جهانی (Ordinary/Simple/Universal Kriging) به کار رفته است؛ و بر مبنای ME, RMSE بهترین آن برای هر مورد

جدول ۲. مدل‌های AOGCM استفاده شده در این تحقیق (راجه و موجودمدار، ۲۰۱۰).

مدل	کشور حامی	تفکیک پذیری (درجه در درجه)		سناریوهای مدل
		جَو	اقیانوس	
BCCR-BCM2.0	نروژ	۱/۹×۱/۹	۰/۵-۱/۵×۱/۵	A1B, A2, B1
CCSM3	امریکا	۱/۴×۱/۴	۰/۳-۱×۱	A1B, A2, B1
CGCM3.1(T47)	کانادا	~۲/۸×۲/۸	۱/۹×۱/۹	A1B, A2, B1
CNRM-CM3	فرانسه	~۱/۹×۱/۹	۰/۵-۲×۲	A1B, A2, B1
CSIRO-Mk3.0	استرالیا	~۱/۹×۱/۹	۰/۸×۱/۹	A1B, A2, B1
ECHAM5MPI-OM	آلمان	~۱/۹×۱/۹	۱/۵×۱/۵	A1B, A2, B1
ECHO-G	آلمان/کره	~۳/۹×۳/۹	۰/۵-۲/۸×۲/۸	A1B, A2, B1
GFDL-CM2.0	امریکا	۲/۰×۲/۵	۰/۳-۱×۱	A1B, A2, B1
GFDL-CM2.1	امریکا	۲/۰×۲/۵	۰/۳-۱×۱	A1B, A2, B1
GISS-ER	امریکا	۴×۵	۴×۵	A2, B1
INM-CM3.0	روسیه	۴×۵	۲/۰×۲/۵	A1B, A2, B1
IPSL-CM4	فرانسه	۲/۵×۳/۷۵	۲×۲	A1B, A2, B1
MIROC3.2(medres)	ژاپن	~۲/۸×۲/۸	۰/۵-۱/۴×۱/۴	A1B, A2, B1
MRI-CGCM2.3.2	ژاپن	~۲/۸×۲/۸	۰/۵-۲/۰×۲/۵	A1B, A2, B1
PCM	امریکا	~۲/۸×۲/۸	۰/۵-۰/۷×۱/۱	A2, B1
UKMO-HadCM3	انگلستان	۲/۵×۳/۷۵	۱/۲۵×۱/۲۵	A1B, A2, B1



## ۳ نتایج و بحث

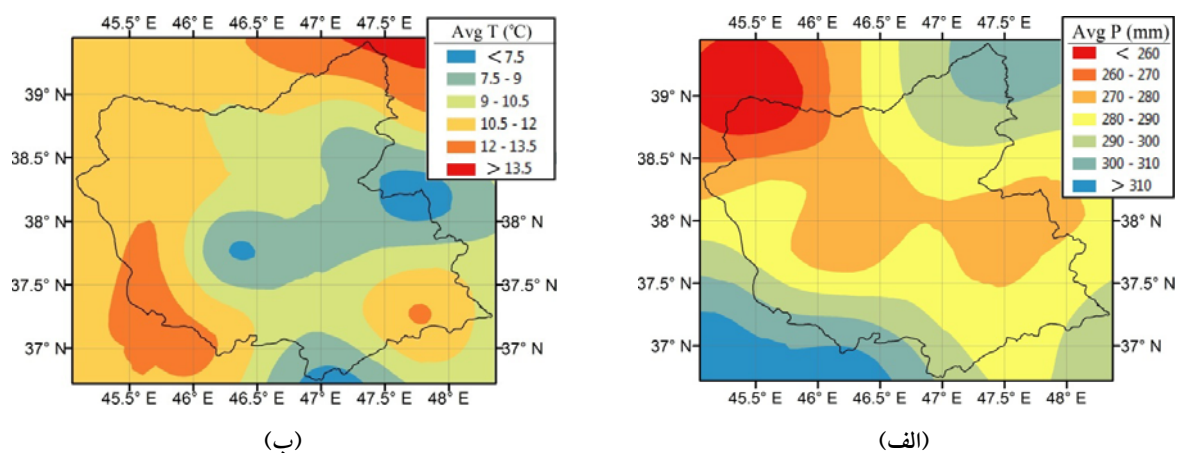
## ۱-۳ بررسی متغیرهای اقلیمی در دوره مشاهداتی

(۱۹۸۱-۲۰۱۲)

پس از برداشت داده‌های ماهانه دما و بارش مشاهداتی در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲ از ایستگاه‌های منطقه، برای بررسی ماهانه متغیرهای اقلیمی، داده‌های هر ماه با روش‌های متفاوت، و انتخاب برترین روش درون‌یابی در هر ماه درون‌یابی شد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی متوسط درازمدت دما و بارش استان در این دوره با کمک بهترین روش درون‌یابی (طبق روش بیان شده در بخش ۲-۲-۴) به دست آمده است (شکل ۳). روش درون‌یابی انتخاب شده براساس معیارها در هر دو نقشه متوسط دما و بارش، روش شعاعی (CRS) است. همان‌طور که مشاهده می‌شود،

مناطق غربی استان بارش کمتر و دمای بیشتر، و قسمت‌های شرقی بارندگی بیشتری داشته است. البته مناطق جنوب غرب استان نیز وضعیت آب و هوایی بهتری نسبت به شمال غرب داشته است. به‌طور متوسط مقدار دمای سالانه منطقه در این دوره، ۷/۵-۱۳/۵ درجه و مقدار بارش سالانه ۲۶۰ میلی‌متر تا بیش از ۳۱۰ میلی‌متر بوده است.

علاوه بر مقایسه سلول به سلول، نمودار متوسط بارش سالانه در ۳۲ سلول استان، در دوره ۱۹۸۱-۲۰۱۲، و نیز متوسط کل بارش سالانه استان در شکل ۴ آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار بارش سالانه در ابتدای دوره دارای مقادیر بیشتری است که البته در کل دوره ۳۲ ساله، استان به‌طور متوسط نوسانات بارش را شاهد بوده است.



شکل ۳. الف) بارش متوسط سالانه (mm) و ب) میانگین دمای سالانه (°C) مشاهداتی در منطقه.

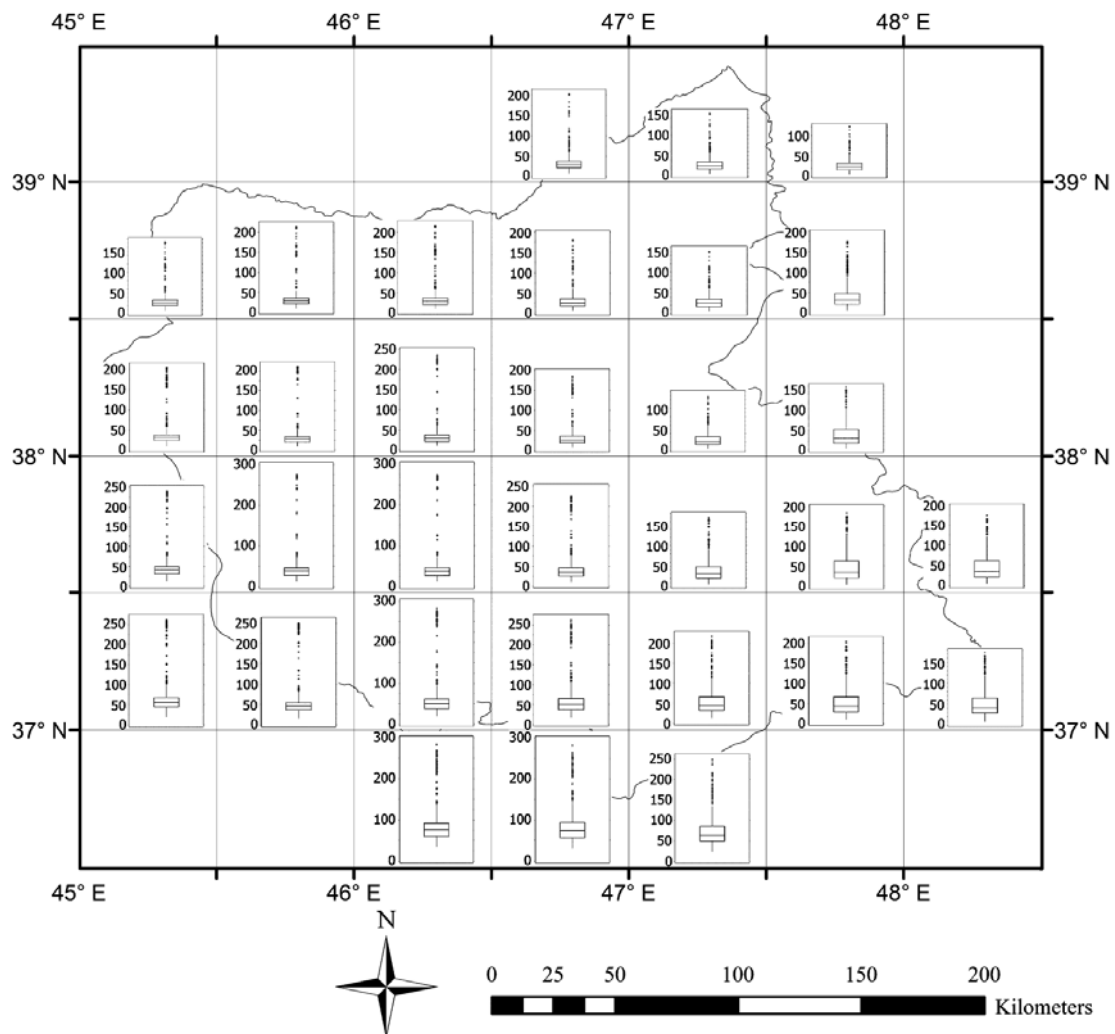


شکل ۴. نمودار سری زمانی بارش سالانه مشاهداتی (۱۹۸۱-۲۰۱۲).

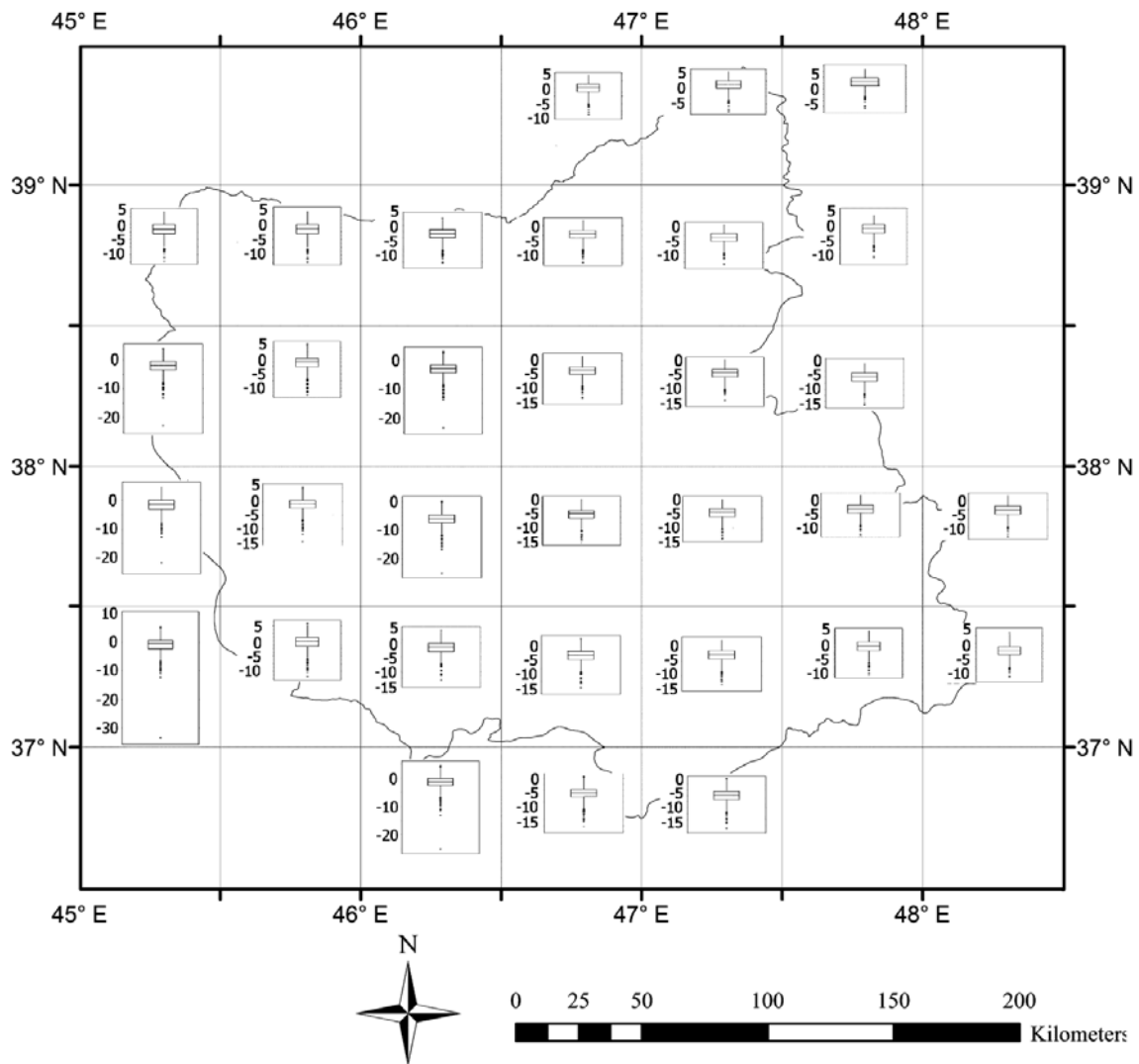
جعبه‌ای (Boxplot) در هر سلول، نمایانگر ۷۸۴۰ داده (دما/بارش در هر ماه از کل دوره ده سال آبی محاسبه شده با ۱۶ مدل تحت ۴۹ سناریو)، چارک اول (ضلع پایین مستطیل)، چارک دوم (میانه - خط وسط مستطیل)، چارک سوم (ضلع بالای مستطیل) و داده‌های پرت (نقاط مشخص شده با علامت ضربدر) دما/بارش در هر ماه در آن سلول است. برای نمونه، نمودارهای جعبه‌ای درازمدت ماه ژانویه در ۳۲ سلول منطقه مورد تحقیق در شکل‌های ۵ و ۶ آورده شده است.

۲-۳ دما و بارش منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های مربوط

پس از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دما و بارش ماهانه پیش‌بینی شده برای دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با ۱۶ مدل تحت سه سناریوی A1B, A2 و B1 در نظر گرفتن عدم قطعیت، داده‌ها با کمک روش مقیاس الگو تحت ۴۹ سناریو و ۱۶ مدل AOGCM در هر سلول محاسبه و نمودارهای جعبه‌ای دما و بارش ۱۰ ساله دوره آبی برای هر ماه تولید شد که این موارد به صورت سلول به سلول در سطح استان به دست آمده است. به عبارت دیگر، هر نمودار



شکل ۵. نمودار جعبه‌ای بارش منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ (ماه ژانویه).



شکل ۶. نمودار جعبه‌ای دمای منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ (ماه ژانویه).

### ۳-۳ تحلیل مخاطره پیش‌بینی دما و بارش دوره آتی

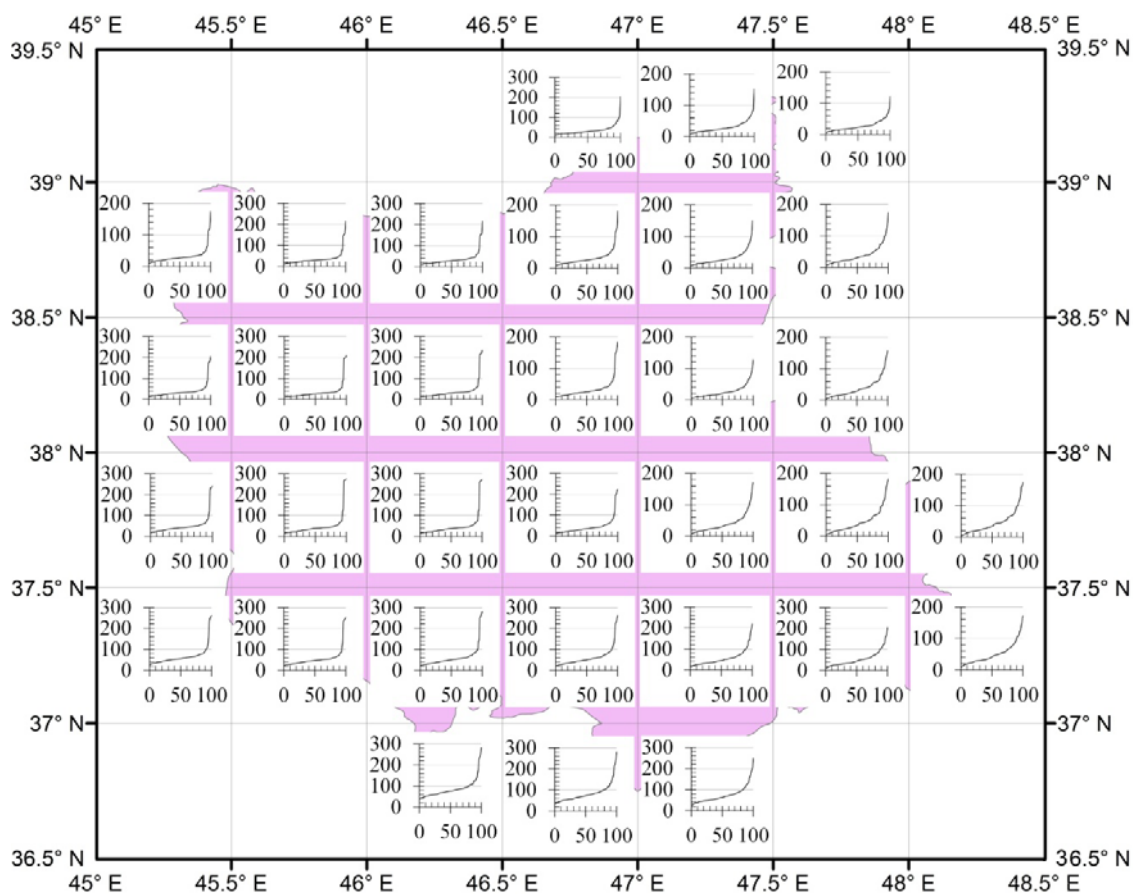
(۲۰۲۲-۲۰۱۳)

پس از محاسبه دما و بارش ماهانه برای سطوح مخاطره متفاوت با داده‌های ۱۶ مدل تحت ۴۹ سناریو به دست آمده به روش مقیاس الگو که توضیح این روش و سناریوهای مورد استفاده در بخش ۲-۲ آمد، در ده سال دوره آتی (۷۸۴۰ داده دما/بارش برای هر ماه از دوره آتی)، نمودارهای بارش-مخاطره، و دما-مخاطره به صورت ماهانه طبق روش توضیح داده شده در بخش ۲-۲ برای

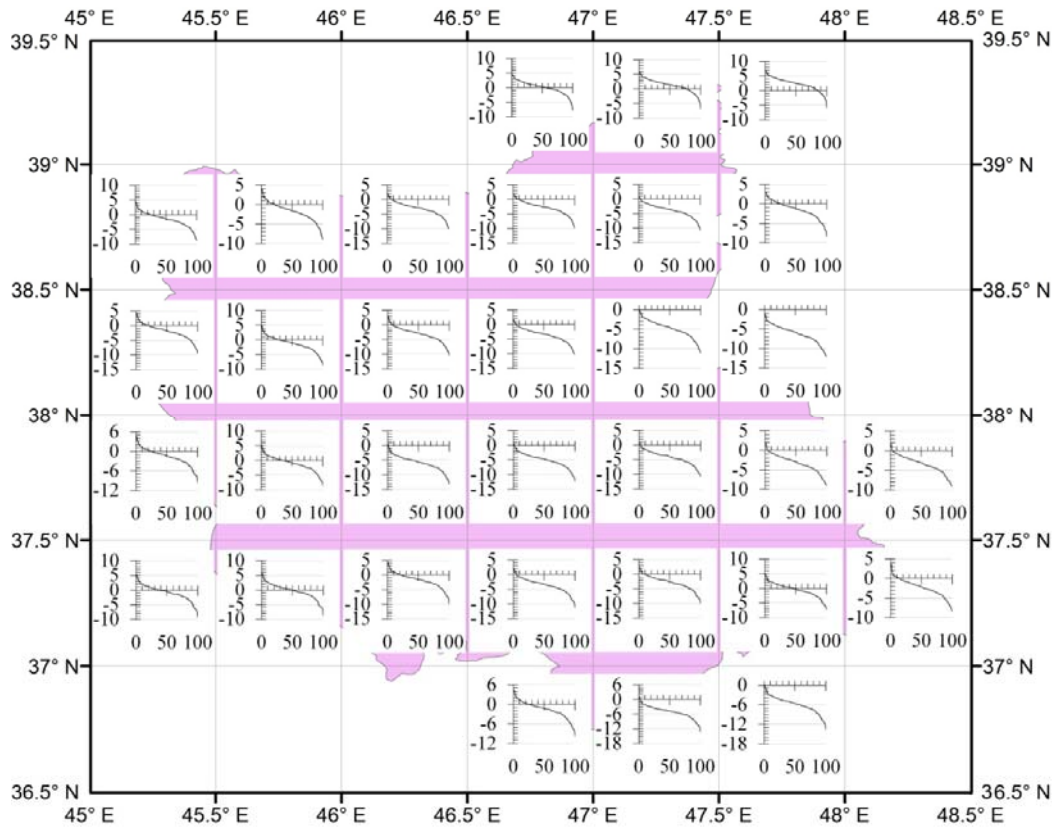
طبق نتایج، بارش در همه نقاط و در همه ماه‌ها، چاوله به راست است. تعداد داده‌های پرت بارش در ماه مارس کمتر از سایر ماه‌ها است و بعد از آن ماه آوریل قرار دارد؛ در حالی که داده‌های پرت موجود در ماه اوت بسیار زیاد است. با مقایسه نمودارهای جعبه‌ای دما و بارش، می‌توان اظهار کرد که داده‌های دما به نسبت بارش، داده‌های پرت کمتری دارد. به عبارتی، عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و روش ریزمقیاس‌نمایی استفاده شده، برای پیش‌بینی دما کمتر از عدم قطعیت این برآوردها در مورد بارش است.

بسیار زیاد) پیش‌بینی می‌شود. در مورد دما نیز سطوح برای مخاطره کمتر دمای ماه ژانویه تبریز ۳ درجه خواهد بود، در حالی که برای سطوح مخاطره ۹۰ درصد این مقدار منهای ۵ سلسیوس و تا منهای ۱۱ درجه در سطح مخاطره بسیار زیاد پیش‌بینی می‌شود. با توجه به نقشه‌ها می‌توان گفت که اختلاف بارش و دمای پیش‌بینی شده در سطوح مخاطره کم و زیاد، بزرگ است. این تفاوت در ماه مارس و آوریل کمتر، و در اوت بیشتر است. در ضمن مقدار پیش‌بینی‌ها در سطوح مخاطره کم (کمتر از ۵۰ درصد) تقریباً نشان‌گر یک مقدار دما و بارش است (در نمودار بارش این گفته مشهودتر است) و یا حداقل می‌توان گفت که در این سطوح مخاطره، پیش‌بینی‌ها به یکدیگر نزدیک‌ترند.

سلول‌های استان تولید شده است. برای نمونه نمودارها در ماه ژانویه در دو شکل ۷ و ۸ مشاهده می‌شود که در آن محور افقی نشان‌دهنده سطوح مخاطره متفاوت برحسب درصد، و محور عمودی در شکل ۷ بارش برحسب میلی‌متر، و در شکل ۸ دما برحسب درجه سلسیوس است. در واقع نمودارهای مخاطره-دما و مخاطره-بارش مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌ها تحت سناریوهای گوناگون برای هر ماه را در هر سلول نشان می‌دهند. برای مثال، در سلولی که تبریز در آن واقع می‌شود (ردیف سوم، سومین سلول از شرق) تا حدود ۹۰ درصد مخاطره مقادیر بارش پیش‌بینی شده برای ماه ژانویه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲، بین ۱۵ تا ۵۰ میلی‌متر است و در دهک بالایی مقادیر بالاتری برای بارش ماه ژانویه (تا حدود ۲۳۰ میلی‌متر برای مخاطره



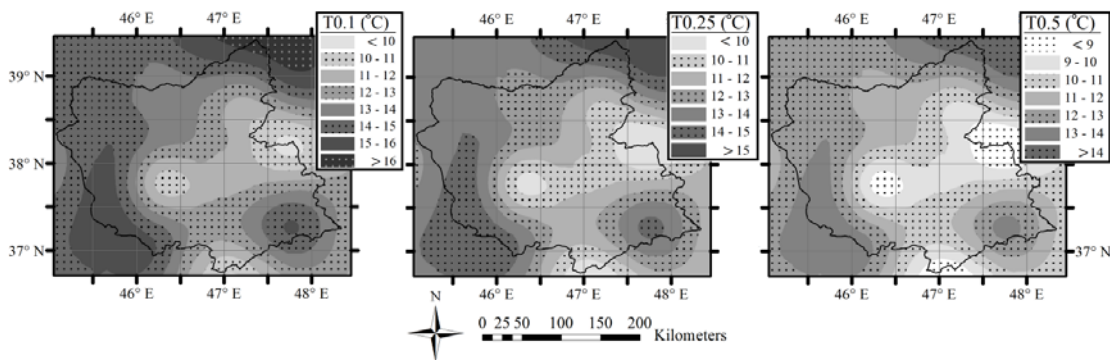
شکل ۷. نمودار بارش-مخاطره منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ (ماه ژانویه).



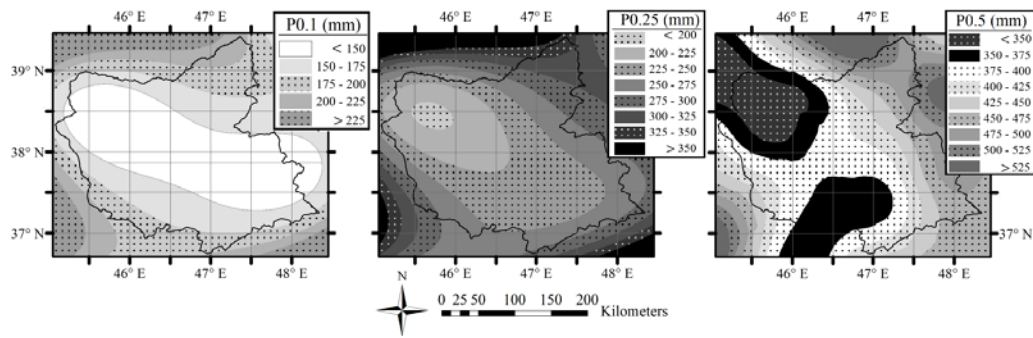
شکل ۸. نمودار دما-مخاطره منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ (ماه ژانویه).

۰/۲۵ و ۰/۵) نمایش داده شده است. روش‌های درونیابی مناسب که نقشه‌ها براساس آن تهیه شده است، در دما با مخاطره ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد، و نیز بارش با مخاطره ۵۰ درصد، روش شعاعی (CRS)، و در بارش با مخاطره ۱۰ و ۲۵ درصد روش چندجمله‌ای Global Polynomial Interpolation به دلیل خطای کمتر است.

سپس، دما و بارش هر سلول در سه سطح مخاطره ۱۰، ۲۵ و ۵۰ درصد در نظر گرفته می‌شود، و ادامه تحقیق بر این اساس صورت می‌گیرد. پهنه‌بندی دما و بارش متوسط سالانه دوره آبی در این سطوح مخاطره در شکل‌های ۹ و ۱۰ با انتخاب بهینه روش‌های درونیابی رسم شده است. در راهنمای نقشه‌ها سطوح مخاطره به صورت اعشار (۰/۱)،



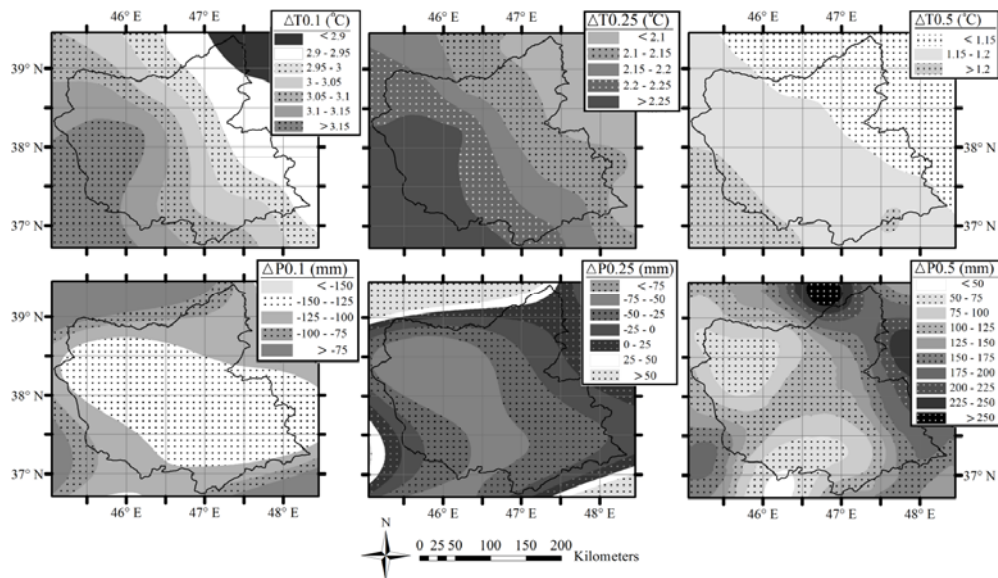
شکل ۹. پهنه‌بندی میانگین دمای سالانه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ در سطوح متفاوت مخاطره.



شکل ۱۰. پهنه‌بندی متوسط بارندگی سالانه منطقه در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ در سطوح متفاوت مخاطره.

کمک بهترین روش درونیابی رسم شده است (شکل ۱۱) و در راهنمای نقشه‌ها، مقدار مخاطره به صورت اعشار (۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۵) نشان داده شده است. در این نقشه‌ها، روش انتخابی درونیابی اختلاف دما با مخاطره ۱۰ درصد و ۵۰ درصد، روش شعاعی (ST)، و اختلاف دما با مخاطره ۲۵ درصد روش شعاعی (MQ) بوده است. همچنین، نقشه پهنه‌بندی اختلاف بارش با مخاطره ۱۰ و ۲۵ درصد به روش چندجمله‌ای Global Polynomial Interpolation درجه ۴، و اختلاف بارش با مخاطره ۵۰ درصد با روش کریجینگ ساده تولید شده است.

با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی، کمترین مقدار دما در مناطق شرقی، اطراف ایستگاه سراب و بیشترین میانگین دما در حوالی ایستگاه ملکان و بناب (مشخص در شکل ۱) خواهد بود. دما با حرکت به سمت غرب افزایش می‌یابد. در ضمن با حرکت از مخاطره زیاد به کم، دما تقریباً یک درجه بیشتر می‌شود. همچنین، بارش نواحی غربی همه سطوح مخاطره نسبت به شرق استان کمتر، و حداکثر بارش در شمال شرق منطقه است. در گام بعد، پهنه‌بندی اختلاف متوسط دما و بارش سالانه دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲ با متوسط دوره مشاهداتی نظیر آن (متوسط دما و بارش سالانه ۱۹۸۱-۲۰۱۲) نیز با



شکل ۱۱. اختلاف متوسط دمای ماهانه و بارش سالانه در ده سال آبی در سطوح متفاوت مخاطره با مقدار مشاهداتی.

بارش در سلولی که تبریز در آن واقع است (سطح مخاطره ۵۰٪)، آورده می‌شود (جدول ۳). همان‌گونه که در جدول دیده می‌شود، بارش سلول تبریز در سه ماه اوت، ژوئیه و سپتامبر، به ترتیب (از کم به زیاد) دارای کمترین مقادیر است، و در ماه‌های مارس، آوریل و مه (اسفند، فروردین و اردیبهشت) بیشترین درصد وجود خواهد داشت. همچنین ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر با متوسط ۸/۶۹ درصد، در مرتبه بعد قرار دارند. در سایر سلول‌ها نیز با کمی اختلاف (جابه‌جایی ترتیب بیشترین ماه‌ها و یا کمترین ماه‌ها) شرایط مشابه این سلول است. همچنین این شرایط در سطوح مخاطره دیگر نیز با اندکی تفاوت برقرار است.

برای بررسی دقیق‌تر، بارش به صورت فصلی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور بررسی فصلی بارش در منطقه، نمودار ستونی مقدار بارش فصول در هر سلول رسم شده است که برای نمونه در دو سلول (تبریز و اولین سلول از سمت راست بالا که پُرباران‌ترین سلول بوده است) در سطح مخاطره ۵۰٪ آورده شده است (شکل ۱۲).

جدول ۳. توزیع ماهانه بارش (مخاطره ۵۰٪) ایستگاه تبریز در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲.

ماه	بارش تجمعی ماهانه (mm)	میانگین درصد توزیع بارش
ژانویه	۳۰/۲۵	۸/۱۷
فوریه	۳۲/۳۴	۸/۷۳
مارس	۵۸/۵۲	۱۵/۸۰
آوریل	۵۶/۱۴	۱۵/۱۵
مه	۵۲/۲۰	۱۴/۰۹
ژوئن	۲۷/۲۲	۷/۳۵
ژوئیه	۵/۲۰	۱/۴۰
اوت	۲/۵۴	۰/۶۹
سپتامبر	۹/۵۹	۲/۵۹
اکتبر	۳۳/۱۵	۸/۹۵
نوامبر	۳۱/۴۴	۸/۴۹
دسامبر	۳۱/۹۳	۸/۶۲

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، دما در سطح ۱۰ درصد مخاطره در استان تقریباً ۲/۹-۳/۱۵ درجه افزایش خواهد داشت و این تغییرات در قسمت‌های غربی استان بیشتر است. مقدار بارش نیز ۷۵-۱۵۰ میلی‌متر کاهش خواهد داشت. در سطح ۲۵ درصد مخاطره، دما تقریباً ۲/۱-۲/۲۵ درجه افزایش، و مقدار بارش در برخی نقاط کاهش و در برخی تا ۵۰ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. در سطح مخاطره ۵۰ درصد، مقدار دما تقریباً ۱/۲ درجه افزایش خواهد داشت، و در مورد بارش نیز افزایش مقدار بارش پیش‌بینی می‌شود. لازم به ذکر است که مخاطره ۱۰ درصد در این تحقیق یعنی شرایط در نظر گرفتن ۹۰ درصد خطر ازسوی تصمیم‌گیرندگان منطقه برای دوره‌های آتی، و مخاطره ۲۵ درصد یعنی در نظر گرفتن خطر ۷۵ درصد. بنابراین، در نظر گرفتن مخاطره ۱۰ درصد شرایط سخت‌تری را برای دوره‌های آتی متصور خواهد بود. لذا دما بیشتر از مخاطره ۲۵ درصد افزایش نشان می‌دهد. این امر دقیقاً مانند در نظر گرفتن مخاطره طراحی سرریز است که هرچه قدر مخاطره بیشتر باشد، دبی طراحی کمتر می‌شود.

به‌طور کلی می‌توان گفت که در ده سال آینده، افزایش دما در نقاط جنوبی استان بیشتر خواهد بود و بارش نیز در قسمت‌های شمال غرب و غرب افزایش بیشتری نشان می‌دهد. نتایج این تحقیق، با نتایج تحقیق دیگری در استان که با محاسبه شاخص خشک‌سالی، شدیدترین خشک‌سالی را در سراب دیدند (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۸۲) مطابق است (در اینجا با مقایسه بارندگی‌ها مشخص شد که سراب کمترین مقدار بارش را داشته است). با در اختیار داشتن پیش‌بینی‌های دوره آتی، تصمیم‌گیرندگان در این زمینه با دقت و اطمینان بیشتری برای آینده برنامه‌ریزی می‌کنند.

توزیع ماهانه بارش در سطوح متفاوت در هر سلول صورت گرفته است و از ۳۲ سلول موجود، توزیع ماهانه

داشت، و در مورد بارش نیز افزایش مقدار پیش‌بینی می‌شود؛ به طوری که مقدار بارندگی سالانه در منطقه با مخاطره ۵۰ درصد، تقریباً بین ۵۲۵ تا ۳۵۰ میلی‌متر پیش‌بینی می‌شود. مطالعه و بررسی مخاطره و تحلیل اثر تغییر اقلیم بر متغیرهای اقلیمی به مدیران برای تصمیم‌گیری بهتر در زمینه منابع آب و سایر بخش‌های منابع طبیعی کمک شایانی می‌کند. لذا، انجام چنین تحقیقاتی در مناطق مختلف ضروری می‌نماید.

### مراجع

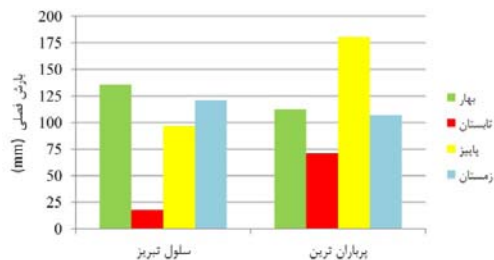
آشفته، پ. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۸، تاثیر عدم قطعیت تغییر اقلیم بر رژیم سیلاب مطالعه موردی حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی، م. تحقیقات منابع آب ایران، ۵(۲)، ۲۷-۳۹.

آشفته، پ. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۹، تاثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر مطالعه موردی حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی، م. علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۴(۵۳)، ۲۵-۳۹.

اکبرزاده، ی.، صادقی شقاقی، ف. و حسین بابایی، م.، ۱۳۸۲، تحلیل مکانی شاخص خشک‌سالی SPI در استان آذربایجان شرقی طی دوره آماری (۲۰۰۶-۱۹۸۷)، همایش منطقه‌ای بحران آب و خشک‌سالی، رشت - ایران.

روشن، غ.، خوش اخلاق، ف. و عزیزی، ق.، ۱۳۹۱، آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی مقادیر دما و بارش، تحت شرایط گرمایش جهانی، م. جغرافیا و توسعه، ۱۰(۲۷)، ۱۹-۳۶.

سلیمانی ننادگانی، م.، پارس‌نژاد، م.، عراقی نژاد، ش. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۹۰، تاثیر تغییر اقلیم بر نیاز خالص آبیاری و عملکرد گندم دیم، م. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۲)، ۳۸۹-۳۹۷.



شکل ۱۲. نمودار ستونی توزیع بارش فصلی (مخاطره ۵۰٪) در دو سلول استان در دوره ۲۰۱۳-۲۰۲۲.

همان‌طور که از نمودارها نیز می‌توان استنباط کرد، بارش در فصل بهار به بیشترین مقدار خود در سال می‌رسد. به علت تفاوت اقلیمی در نقاط گوناگون استان، فصل بعدی که بیشترین مقدار بارندگی را دارد، بین زمستان و پاییز متغیر است. با این حال، کمترین مقدار بارندگی فصلی مربوط به تابستان است.

### ۴ نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا داده‌های مشاهداتی ماهانه دما و بارش از ۱۵ ایستگاه هواشناسی برای دوره زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۲، با انتخاب بهترین روش، برای سلول‌های ۰/۵ در ۰/۵ درجه تولید شد. با پیش‌بینی دما و بارش ماهانه برای دوره ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۲ توسط شانزده مدل جفت شده گردش عمومی جو-اقیانوس (AOGCM) تحت سناریوهای A2، A1B و B1، و ریزمقیاس‌نمایی مکانی داده‌ها در مقیاس ۰/۵ در ۰/۵ درجه، بررسی عدم قطعیت و تحلیل مخاطره پیش‌بینی‌ها با کمک روش مقیاس الگو، و وارد نمودن ۴۶ سناریوی دیگر انجام شد. در سطح مخاطره ۱۰ درصد دما ۲/۹-۳/۱۵ درجه افزایش، و مقدار بارش ۷۵-۱۵۰ میلی‌متر کاهش، هم‌چنین در سطح ۲۵ درصد دما ۲/۱-۲/۲۵ درجه افزایش، مقدار بارش در برخی نقاط کاهش و در برخی دیگر تا ۵۰ میلی‌متر افزایش خواهد یافت. در سطح ۵۰ درصد، دما تقریباً ۱/۲ درجه افزایش خواهد



- occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes?, *Global and Planetary Change*, **57**(1-2), 151-160.
- Chen, W., Jiang, Z. and Li, L., 2011, Probabilistic projections of climate change over China under the SRES A1B scenario using 28 AOGCMs, *Climate*, **24**(17), 4741-4756.
- Cruz, R. V., Harasawa, H., Lal, M., Wu, S., Anokhin, Y., Punsalmaa, B., Honda, Y., Jafari, M., Li, C. and Huu Ninh, N., 2007, *Asia. climate change 2007: impacts, adaptation and vulnerability. contribution of working group II to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., van der Linden, P. J. and Hanson, C. E., Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 469-506.
- Hess, J. J., Malilay, J. N. and Parkinson, A. J., 2008, Climate change the importance of place, *American Journal of Preventive Medicine*, **35**(5), 468-478.
- IPCC, 1994, IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations, prepared by working group II [Carter, T.R., Parry, M. L., Harasawa, H. and Nishioka, S. (eds.)] and WMO/UNEP, CGER-IO15-'94, University College -London, UK and Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan, pp. 1-59.
- IPCC, 2000, Summary for policymakers, in Nakicenovic, N. and Swart, R. (eds.), *Emissions Scenarios*, Cambridge University Press.
- IPCC TAR WG1, 2001, Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguera, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C. A. ed, *Climate Change 2001: The scientific basis, contribution of working group I to the third assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge University Press, pb: 0-521-01495-6.
- IPCC-TGICA, 2007, General guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment, Version 2, prepared by Carter TR on behalf of the intergovernmental panel on climate change, task group on data and scenario support for impact and climate assessment, pp. 1-66.
- Jiang, S., Ren, L., Hong, Y., Yong, B., Yang, X., Yuan, F. and Ma, M., 2012, Comprehensive evaluation of multi-satellite precipitation products with a dense rain gauge network and optimally merging their simulated occurrence in the Alpine region: How severe are becoming the extremes?, *Global and Planetary Change*, **57**(1-2), 151-160.
- کمال، ع. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۸۹، تاثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی، م. آب و خاک، **۲۴**(۵)، ۹۲۰-۹۳۱.
- کمال، ع. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۹۰، ارزیابی عدم قطعیت مدل‌های AOGCM-AR4 و مدل‌های هیدرولوژی در برآورد دما، بارش و رواناب حوضه قره سو تحت تاثیر تغییر اقلیم، م. پژوهش آب ایران، **۵**(۹)، ۳۹-۵۰.
- کمال، ع. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۹۱، مقایسه عدم قطعیت مدل‌های تغییر اقلیم AOGCM-TAR و AOGCM-AR4 در تاثیر بر رواناب حوضه در دوره آتی، م. فیزیک زمین و فضا، **۳۸**(۳)، ۱۷۵-۱۸۸.
- گل محمدی، م. و مساح بوانی، ع.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشک‌سالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم، م. آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، **۲۵**(۲)، ۳۱۵-۳۲۶.
- محمدی، ح.، مقبل، م. و رنجبر، ف.، ۱۳۸۹، مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، م. جغرافیا (فصلنامه علمی - پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، **۸**(۲۵)، ۱۲۵-۱۴۲.
- بانک اطلاعاتی آماری داده‌های هواشناسی ایران، <http://www.irimo.ir/>
- سازمان حفاظت محیط زیست، <http://as.doe.ir/portal/home/>
- Blenkinsop, S. and Fowler, H. J., 2007, Changes in drought frequency, severity and duration for the British Isles projected by the PRUDENCE regional climate models, *Hydrology*, **342**(1-2), 50-71.
- Boberg, F., Berg, P., Gutowski, W. J. and Christensen, J. H., 2010, Improved confidence in climate change projections of precipitation further evaluated using daily statistics from ENSEMBLES models, *Climate Dynamics*, **35**(7), 1509-1520.
- Calanca, P., 2007, Climate change and drought

- for describing future climates, *Climatic Change*, **60**(3), 217-242.
- Raje, D. and Mujumdar, P. P., 2010, Hydrologic drought prediction under climate change: uncertainty modeling with Dempster-Shafer and bayesian approaches, *Advances in Water Resources*, **33**(9), 1176-1186.
- Randall, D. A., Wood, R. A., Bony, S., Colman, R., Fichefet, T., Fyfe, J., Kattsov, V., Pitman, A., Shukla, J., Srinivasan, J., Stouffer, R. J., Sumi, A. and Taylor, K. E., 2007, Climate models and their evaluation. in: *climate change 2007: the physical science basis. contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L., (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 589-662.
- Ruosteenoja, K., Carter, T. R., Jylhä, K. and Tuomenvirta, H., 2003, Future climate in world regions: an intercomparison of model-based projections for the new IPCC emissions scenarios. The Finnish Environment Institute, pp. 1-81.
- Ruosteenoja, K., Tuomenvirta, H. and Jylhä, K., 2006, GCM-based regional temperature and precipitation change estimates for Europe under four SRES scenarios applying a super-ensemble pattern-scaling method, *Climatic Change*, **81**(1), 193-208.
- Santer, B. D., Wigley, T. M. L., Schlesinger, M. E. and Mitchell, J. F. B., 1990, Developing climate scenarios from equilibrium GCM results, Rep. No. 47, Max-Planck-Institut-für Meteorologie, Hamburg, pp. 1-29.
- Schlesinger, W. H., 2011, Climate change, Interpretation, **65**(4), 378-390.
- Wood, A. W., Leung, L. R., Sridhar, V. and Lettenmaier, D. P., 2004, Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs, *Climatic Change*, **62**(1), 189-216.
- [http://gdo-dcp.ucllnl.org/downscaled\\_projections/dcpInterface.html](http://gdo-dcp.ucllnl.org/downscaled_projections/dcpInterface.html)
- <http://www.ipcc.ch>
- hydrological flows using the Bayesian model averaging method, *Hydrology*, **452-453**(1), 213-225.
- Kennett, E. J. and Buonomo, E., 2006, Methodologies for pattern scaling across the full range of RT2A GCM ensemble members, Met office, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, pp. 1-14.
- Le Treut, H., Somerville, R., Cubasch, U., Ding, Y., Mauritzen, C., Mokssit, A., Peterson, T. and Prather, M., 2007, Historical overview of climate change. in: *climate change 2007: the physical science basis, contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* [Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M. and Miller, H. L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 93-127.
- Li, Y. and Ye, W., 2011, Applicability of ensemble pattern scaling method on precipitation intensity indices at regional scale, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, **8**, 5227-5261.
- Lu, X. and Hulme, M., 2002, A short note on scaling GCM climate response patterns, AIACC regional study teams, USA, pp. 1-7.
- Maurer, E. P., Wood, A. W., Adam, J. C., Lettenmaier, D. P. and Nijssen, B., 2002, A long-term hydrologically-based data set of land surface fluxes and states for the conterminous United States, *Climate*, **15**(22), 3237-3251.
- Mearns, L. O., Giorgi, F., Whetton, P., Pabon, D., Hulme, M. and Lal, M., 2003, Guidelines for use of climate scenarios developed from regional climate model experiments, Date Distribution Centre of IPCC TGCI A.
- Mishra, A. K. and Singh, V. P., 2011, Drought modeling – a review, *Hydrology*, **403**(1-2), 157-175.
- Mitchell, J. F. B., Johns, T. C., Eagles, M., Ingram, W. J. and Davis, R. A., 1999, Towards the construction of climate change scenarios, *Climatic Change*, **41**(3-4), 547-581.
- Mitchell, T. D., 2003, Pattern scaling an examination of the accuracy of the technique