

## The Modeling of Future Precipitation Changes under Climate Change in the Southern Coasts of Caspian Sea

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Original Research

#### Authors

Jafarzadeh F. \**PhD*,  
Khorshiddoust A.<sup>1</sup> *PhD*,  
Sarraf B.<sup>1</sup> *PhD*,  
Ghermezcheshmeh B.<sup>1</sup> *PhD*

#### How to cite this article

Jafarzadeh F, Khorshiddoust A, Sarraf B, Ghermezcheshmeh B. The Modeling of Future Precipitation Changes under Climate Change in the Southern Coasts of Caspian Sea. Geographical Researches Quarterly Journal. 2018;33(3):106-123.

\*Department of Climatology, Faculty of Planning & Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

<sup>1</sup>Department of Climatology, Soil & Water Conservation Institute, Tehran, Iran

#### \*Correspondence

Address: Sadaf 2, Velayat 2 Alley, Imam Township, Bonab, East Azarbaijan, Iran. Postal code: 5551911111

Phone: 04137738886

Fax: -

Jafarzadeh1@gmail.com

#### Article History

Received: October 8, 2017

Accepted: September 16, 2018

ePublished: December 09, 2018

### ABSTRACT

**Introduction and Background** Precipitation is the most important parameter affecting various aspects of social, economic and natural resources. A study of future changes in rainfall is possible through the prediction of climate models.

**Aims** In the present study, future changes in the rainfall of the southern coasts were investigated for proper planning in the southern coast of the Caspian Sea.

**Methodology** The future precipitation of selected stations in the southern shores of the Caspian Sea using the LARS-WG model and observations of precipitation data during the base period and using climatic fluctuations derived from the HadCM3 general circulation model under the scenarios A2, B1 and A1B during the period was modeled in the period between 2011-2039.

**Conclusion** Results showed that simulated rainfall has a high correlation with observational precipitation in the base period. Based on the MBE and MAE criteria, the error rates obtained for simulated precipitation during the base period are high in the fall season. According to the results, the model of rainfall changes in southern shores in the following period was drawn using scenarios A2, B1 and A1B, according to which the rainfall will increase in all stations of the region. The percentage of precipitation increase in stations Anzali, Astara, Babolsar, Gorgan, Noshahr, Ramsar and Rasht based on scenario A2 will be 0.3, 7.9, 2.2, 1.4, 8.7, 0.8, 7.6%, and based on the A1B scenario, 9.3%, 12.12%, 12.4%, 4.7%, 13.9%, respectively and based on the B1 scenario will be 8.7, 9.7, 6, 5/11, 7/3, 3/5, 6/13 percent.

**Keywords** Precipitation; Climate Change; Modeling; LARS-WG; Southern Coast of the Caspian Sea

### CITATION LINKS

[Ahmadi, et al.; 2016] Comparing the performance ...; [Awal, et al.; 2016] Analysis of potential future ...; [Babaian et al.; 2009] Climate Change Assessment ...; [Bahri & Zahedi; 2016] Investigation of climate change ...; [Barzegari & Maleki; 2016] Prediction and comparison of climate ...; [Bian et al.; 2017] Assessment on the effect ...; [Butterworth, et al; 2016] An analysis of the potential ...; [Dalghandi; 2016] Investigation of climate change ...; [Delavar, et al; 2014] Evaluation of climate change ...; [Esquivel-Arriaga, et al; 2016] Methodological approach to quantify ...; [Eyni Nargese, et al.; 2015] Predicting the impacts of climate ...; [Ghermezcheshmeh; 2013] Investigating the effect of uncertainty ...; [Gilanipour & Gholizadeh; 2016] Prediction of rice water requirement ...; [Hejazizadeh, et al.; 2015] Simulation of climate variables ...; [IPCC; 2014] Guidance note for lead authors ...; [Jahanbakhsh Asl, et al; 2013] Frequency analysis of climate ...; [Jalili, et al; 2016] Assessment of climate change ...; [Kazemirad & Mohammadi; 2015] Assessing the appropriate model ...; [Khorshiddoust, et al.; 2014] Analysis and comparison ...; [Mekonnen & Disse; 2016] Analyzing the future climate ...; [Osman, et al.; 2014] Expected future precipitation ...; [Racsko, et al; 1991] A serial approach to local stochastic ...; [Rashidian & Ebrahimi; 2016] Investigating Climate Change ...; [Rezaei Banafsheh, et al, 2015] Investigate of climate change impacts ...; [Salami, et al; 2016] The effect of uncertainty of general ...; [Samadi, et al.; 2011] SDSM ability in simulate ...; [Semenov & Stratonovitch; 2010] Use of multi-model ensembles ...; [Semenov; 2008] Simulation of extreme weather ...; [Semenov, et al; 2010] ELPIS: a dataset of local-scale ...; [Shahni Danesh, et al; 2016] Climate change impact assessment ...; [Towfiqul Islam, et al; 2017] Drought hazard evaluation in boro paddy cultivated areas ...; [Zamani Nuri, et al; 2014] Assessment of climatic parameters ...

## فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال سی و سوم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۷، شماره پیاپی ۱۳۰

Jafarzadeh F. PhD

دکتر فاطمه جعفرزاده، گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Khorshiddoust AM. PhD

دکتر علی محمد خورشیددوست، استاد، گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Sarraf B. PhD

دکتر بهروز ساری صراف، استاد، گروه اقلیم شناسی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

Ghermezcheshmeh B. PhD

دکتر باقر قرمز چشمه، استادیار، گروه اقلیم شناسی، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

F.jafarzadeh1@gmail.com

## مدل سازی تغییرات آبی بارش های سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۷/۱۶

پذیرش نهایی: ۱۳۹۷/۶/۲۵

DOI: 10.29252/geores.33.3.106

### چکیده

**مقدمه:** بارش مهم ترین پارامتر تأثیرگذار بر جنبه های مختلف اجتماعی، اقتصادی و منابع طبیعی است. بررسی تغییرات آبی پارامتر اقلیمی بارش از طریق پیش برآورد مدل های اقلیمی میسر می شود.

**هدف:** در پژوهش حاضر تغییرات آبی بارش سواحل جنوبی جهت نیل به برنامه ریزی های صحیح در منطقه سواحل جنوبی دریای خزر بررسی می گردد.

**مواد و روش ها:** بارش های آبی ایستگاه های منتخب سواحل جنوبی دریای خزر با استفاده از مدل LARS-WG و داده های مشاهداتی بارش در دوره پایه و به کمک نوسانات اقلیمی حاصل از مدل گردش عمومی HadCM3 تحت سناریوهای A2، B1 و A1B در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ مدل سازی شد.

**نتیجه گیری:** نتایج نشان داد بارش شبیه سازی شده انطباق بالایی با بارش مشاهده ای در دوره پایه دارد. بر اساس معیارهای MBE و MAE مقادیر خطای به دست آمده برای بارش شبیه سازی شده در دوره پایه در فصل پاییز زیاد است. با توجه به نتایج به دست آمده، مدل تغییرات بارش سواحل جنوبی در دوره آبی با استفاده از سناریوهای A2، B1 و A1B ترسیم گردید که بر اساس آن در تمام ایستگاه های منطقه مقدار بارش افزایش خواهد یافت. درصد افزایش بارش در ایستگاه های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت بر اساس سناریوی A2، به ترتیب ۰/۳، ۷/۹، ۲/۲، ۱/۴، -۸/۷، ۰/۸، ۶/۷ درصد، همچنین بر اساس سناریوی A1B، به ترتیب ۹/۳، ۱۲، ۱۲، ۱۲/۴، ۴/۱، ۶/۷، ۱۳/۹ درصد و بر اساس سناریوی B1 به ترتیب ۸/۷، ۹/۷، ۶/۵، ۱۱/۵، ۳/۷، ۵/۳، ۱۳/۶ درصد خواهد بود.

**واژگان کلیدی:** بارش، تغییر اقلیم، مدل سازی، LARS-WG، سواحل جنوبی دریای خزر

### مقدمه

افزایش گازهای گلخانه ای طی واکنش های متقابل اقلیمی، در نهایت موجب افزایش تبخیر از سطح دریا و به دنبال آن افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان خواهد شد که تحت عنوان تغییر اقلیم شناخته می شود. اما پاسخ تمامی نقاط کره زمین به پدیده گرمایش به صورت افزایش بارش نخواهد بود. به دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط نیز با کاهش بارش مواجه خواهند شد (Babaian et al., 2009). تغییر اقلیم بزرگ ترین چالشی است که بشر در قرن اخیر با آن روبرو است. تغییر اقلیم

به دنبال خود اثرات جبران‌ناپذیری بر روی بخش‌ها مختلف کشاورزی، منابع آبی و انرژی و صنعت و توریسم خواهد داشت (IPCC, 2014). اتخاذ تصمیمات در رابطه با تخصیص آب در بخش‌ها مختلف و مدیریت منابع آبی نیازمند در دست داشتن اطلاعات تغییر اقلیم (اغلب دما و بارش) می‌باشد. بنابراین بررسی علل تغییر اقلیم و چگونگی روند آن در گذشته و آینده می‌تواند بخشی از مسائل و مشکلات را که در آینده گریبان‌گیر جوامع انسانی خواهد بود را روشن نماید.

معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های GCM<sup>۱</sup> (مدل‌های گردش عمومی جو) می‌باشد. برای استفاده از خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو در مقیاس مناسب و یا در مقیاس ایستگاهی، ریزمقیاس‌نمایی لازم خواهد بود (Semenov, 2008). ریزمقیاس به روش‌های مختلفی ممکن است. برای ریزمقیاس‌نمایی نیاز به انتخاب روش مناسب ریزمقیاس‌نمایی می‌باشد (Ghermezcheshmeh, 2013). معمولاً ریزمقیاس‌نمایی به دو روش دینامیکی و آماری صورت می‌گیرد. ریزمقیاس‌نمایی آماری رابطه آماری بین پارامترهای اقلیمی منطقه‌ای و پارامترهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی جو ایجاد می‌کند. این ارتباط آماری با کمک پیش‌بینی‌کننده‌های حاصل از GCM بر مبنای ساخت سناریو می‌باشد (Semenov & Stratonovitch, 2010). بارش از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر بخش‌های مختلف اقتصاد، صنعت، کشاورزی و منابع طبیعی در سواحل جنوبی دریای خزر است، تغییر اقلیم مهم‌ترین پدیده‌ای است که بر اقلیم و به تبع آن بر بارش نواحی مختلف تأثیر می‌گذارد. لذا در این پژوهش اثر تغییر اقلیم بر روی پارامتر بارش سواحل جنوبی دریای خزر سنجیده می‌شود. در این راستا از مدل گردش عمومی HadCM3 به همراه سناریوهای A2 و B2 و A1B و روش ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG برای پیش‌بینی بارش ایستگاه‌های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت در دوره مابین ۲۰۱۱-۲۰۳۹ استفاده می‌شود.

مطالعات مختلفی در رابطه با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو جهت بررسی تأثیر تغییر اقلیم انجام‌یافته است، از آن جمله سمونوف<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۰) یک سری داده در مقیاس روزانه را به کمک سناریوهای اقلیمی برای اروپا مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش توانایی مدل LARS-WG در بازتولید داده‌های اقلیمی برای منطقه مورد مطالعه بررسی شد. پژوهش بیانگر این است که سناریوی آب‌وهوای تولیدشده توسط LARS-WG برای یک شبکه از این منطقه، نزدیک به داده‌های ثبت‌شده در ایستگاه‌های موجود در منطقه است (Semenov, Donatelli, Stratonovitch, Chatzidaki, & Baruth, 2010).

صمدی و همکاران (۲۰۱۱) توانایی SDSM در شبیه‌سازی پیش‌بینی‌کننده‌های اقلیمی برای تشخیص اقلیم استان خراسان را مورد بررسی قرار دادند. دوره ۲۰۰۱-۱۹۶۱ برای ارزیابی دوره مورد مطالعه، انتخاب شد. نتیجه نشان داد که این مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی پیش‌بینی شونده‌ها مانند حداقل و حداکثر دما و بارش وجود دارد و تفاوت معنی‌داری با مقدار ۰/۵ خطاهای بحرانی وجود ندارد (Samadi, Ehteramian, & Sarraf, 2011). عثمان<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۱۴) مقادیر بارش عراق در شرایط تغییر اقلیم در آینده را شبیه‌سازی کردند. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مدل LARS-WG، نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۹۹ و در دوره‌های دسامبر-فوریه و سپتامبر-نوامبر، بارش روند افزایشی خواهد داشت (Osman, Al-Ansari, Adbellatif, Al-Jawad, & Knutsson, 2014). توفیق‌السلام<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۷) شدت رویدادهای حدی خشکی را در غرب بنگلادش با استفاده از سه مدل GCM در شرایط اقلیم فعلی و شرایط تغییر اقلیم در آینده را بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که بر اساس مدل‌های مورد استفاده از جمله مدل LARS-WG، شدت خشکی‌ها در مناطق شمال غرب افزایش و در مناطق جنوب غرب

1 General Circulation Model

2 Semenov

3 Osman

4 Towfiqeslam

کاهش خواهد داشت (Towfiqul Islam, Shen, Hu, & Rahman, 2017). اسکویول<sup>۱</sup> آریاگا و همکاران (۲۰۱۶)، اثر تغییرات اقلیمی را با استفاده از مدل LARS-WG بر روی محصولات کشاورزی دورانگویی اسپانیا مطالعه کردند. نتایج نشان داد که در شرایط تغییر اقلیم در آینده میزان افزایش بارش بر اساس سناریوهای A2 و A1B در حدود ۰/۱ درصد خواهد بود. میزان تغییرات دمای کمینه و دمای بیشینه مشابه بارش خواهد بود (Esquivel-Arriaga, Sánchez-Cohen, López-Santos, Velásquez-Valle, & Bueno-Hurtado, 2016).

باترورث<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۶) اثر تغییر اقلیم بر روی شیوع بیماری دنگو را در ایالت کالیفرنیا آمریکا بررسی کردند. ایشان در این پژوهش با استفاده از مدل LARS-WG داده های مدل اقلیم جهانی را برای منطقه مورد مطالعه خود ریزمقیاس کردند و دریافتند که در شرایط تغییر اقلیم در سال های آینده شرایط برای گسترش این بیماری آماده تر خواهد بود (Butterworth, Morin, & Comrie, 2016). مکانن<sup>۳</sup> و دیسه (۲۰۱۶) تغییرات اقلیمی حوضه نیل آبی را با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG و SDSM بررسی کردند. جمع بندی تمام نتایج حاصل از مدل های مورداستفاده مبنی بر این است که روند بارش و دمای بیشینه و دمای کمینه در دهه های آینده افزایشی خواهد بود (Mekonnen & Disse, 2016). رشیدیان و ابراهیمی (۲۰۱۶) تغییرات اقلیمی ایستگاه فارس را در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ با استفاده از شبیه سازی داده ها و با استفاده از داده های IPCC بررسی کردند. نتایج نشان داد که دما در حدود ۱ درجه افزایش خواهد یافت و بارش در حدود ۲۳/۹ درصد افزایش خواهد یافت (Rashidian & Ebrahimi, 2016).

شاهنی دانش و همکاران (۲۰۱۶)، اثر تغییرات اقلیمی را بر روی منابع آب ایران با استفاده از مدل های دینامیکی و آماری از جمله مدل لارس مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که افزایش دما باعث افزایش تبخیر و در نتیجه باعث افزایش بارش و افزایش سیل خواهد شد. میزان سیل در زمستان افزایش و در بهار کاهش خواهد یافت (Shahni Danesh, Ahadi, Fahmi, Nokhandan, & Eshraghi, 2016). گیلانی پور و قلی زاده (۲۰۱۶) نیاز آبی را در شرایط تغییر اقلیم و با استفاده از ریزمقیاس نمایی و شبیه سازی داده های اقلیم جهانی با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی لارس بررسی کردند. ایشان به این نتیجه رسیدند که در شرایط تغییر اقلیم در دهه های آینده آب مورد نیاز محصول و آب مورد نیاز آبیاری هر دو روند رو به پایین را نشان می دهد (Gilanipour & Gholizadeh, 2016). زمانی نوری و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهش خود تحت عنوان بررسی عدم قطعیت پارامترهای آب و هوایی با استفاده از مدل های متفاوت ریزمقیاس نمایی از مدل LARS-WG تحت سناریوی A2 استفاده کردند. مدل نشان داد که کاهش بارش در آینده نزدیک و افزایش بارش در آینده (در مقیاس میانی و دور) ممکن است (Zamani, Nuri, Farzaneh, & Espanayi, 2014). آوال<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی اقلیم و رویدادهای حدی اقلیمی آینده در حوضه برازوس تگزاس از روش مولدهای مصنوعی LARS-WG و از سناریوهای A2 و A1B برای بررسی تغییرات احتمالی در دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۱ استفاده کردند. بر اساس این پژوهش قسمت های شمالی و جنوبی حوضه کاهش شدیدی در بارش دریافتی خواهند داشت و دمای کمینه و دمای بیشینه افزایش خواهد یافت (Awal, Bayabil, & Fares, 2016). بیان<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۷) اثر تغییر اقلیم را بر روی حوضه اصلی یانگ تزه در چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که میانگین دمای سالانه در دوره های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ روند افزایشی خواهد داشت. تغییر در میانگین بارش سالانه در بازه ۱/۱۸- درصد الی ۶۶/۱۴ درصد تغییر می کند (Bian et al., 2017). دلاور و همکاران (۱۳۹۳) در بررسی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه، نقش تغییر اقلیم بر تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه را تحت سناریوی A2 و B2 و به کمک الگوی ریزمقیاس نمایی LARS-WG تحلیل کردند.

1 Esquivel

2 Butterworth

3 Mekanen

4 Awal

5 Beyan

نتایج تحلیل نشان داد که تراز آب دریاچه در سال‌های آینده روند کاهشی را خواهد داشت (Delavar, Babaei, & Fattahi, 2014). جهانبخش و همکاران (۱۳۹۳)، دوره‌های برگشت دما و بارش حدی تبریز را در شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند و دریافتند که کمترین مقدار سالانه درجه حرارت حداکثر روند افزایشی و تعداد روزهای با بارش مساوی یا بالاتر از ۱۰ میلی‌متر روند نزولی نشان می‌دهد (Jahanbaksh Asl, Khorshiddoust, Dinpashoh, & Sarafrouzeh, 2013). خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۳) روند تغییرات شاخص‌های حدی دما و بارش را با توجه به تأثیر تغییر اقلیم بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که در دوره بارش‌های شدید و بلندمدت روند کاهشی با شیب ضعیف خواهند داشت (Khorshiddoust, Zanganeh, & Zarei, 2014). احمدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی تحت عنوان مقایسه عملکرد مدل‌های Lars و Reg-cm4 در شبیه‌سازی و پس پردازش داده‌های سالانه دما و بارش در خراسان، به‌منظور شبیه‌سازی بارش و دما، از مدل‌های فوق استفاده کردند. نتایج بیانگر این است که در شبیه‌سازی داده‌های بارش سالانه، مدل LARS-WG جوابگو می‌باشد (Ahmadi, Lashkari, & Keykhosravi, & Azadi, 2016). در پژوهش پیش‌بینی اثرات تغییر اقلیم بر عملکرد گندم آبی استان فارس با استفاده از مدل EPSIM که توسط عینی نرگسه و همکاران (۱۳۹۴) انجام شد، برای تولید پارامترهای اقلیمی برای منطقه از مدل LARS-WG استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل LARS-WG به‌خوبی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش منطقه را شبیه‌سازی کرد (Eyni, Nargese, Deyhimfard, Haghighat, & Nouri, 2015). در ارزیابی مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌بینی تغییرات اقلیمی استان گیلان توسط کاظمی راد و محمدی (۱۳۹۴) خروجی مدل گردش عمومی HadCM3 با استفاده از مدل LARS-WG ریزمقیاس گردید. نتایج کاهش میانگین بارندگی در حدود ۱۵/۲ میلی‌متر را نشان می‌دهد (Kazemirad & Mohammadi, 2015). حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۴) متغیرهای اقلیمی استان سمنان را با سناریوهای مدل گردش عمومی جو شبیه‌سازی کردند. در این پژوهش از مدل LARS-WG به همراه سناریوهای A2، A1B و B1 استفاده شد. نتایج مبین این است که انطباق و همپوشانی نسبتاً بالایی بین داده‌های مشاهداتی در دوره پایه با داده‌های شبیه‌سازی شده در آینده وجود دارد (Hejazizadeh, Hoseini, & Karbalyi Dorri, 2015). رضایی بنفشه و همکاران (۱۳۹۴) در بررسی اثر تغییر اقلیم از مدل HadCM3 و سناریوهای A2، B1 و A1B به همراه مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG استفاده کردند. بر اساس نتایج پژوهش بر اساس هر سه سناریوی مورد استفاده بالاترین درصد کاهش بارش در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت و سپتامبر و هم‌زمان با اوج مصرف آب‌های زیرزمینی می‌باشد (Rezaei Banafsheh, Jalali Anzorudi, & Zarghami, 2015).

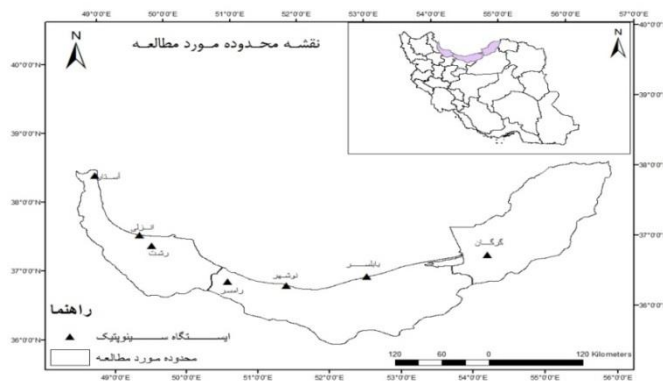
جلیلی و همکاران (۱۳۹۵) اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب زیرزمینی دشت اسلام‌آباد و بهینه‌سازی تخصیص سطح اراضی آن را مورد بررسی قرار دادند. به‌منظور تولید داده‌های هواشناسی دوره آتی در منطقه، مدل LARS-WG مورد واسنجی قرار گرفت. نتایج نشان داد که متغیرهای بارش، دمای بیشینه و کمینه و ساعات آفتابی در شرایط تغییر اقلیم تغییر می‌کند (Jallili, Moradi, & Bozorg Haddad, 2016). برزگری بنادکوک و ملکی نژاد (۱۳۹۵) تغییرات اقلیمی مناطق دشتی و کوهستانی استان یزد را در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۰ مطالعه کردند. نتایج بررسی با استفاده از سناریوهای A2 و A1B، نشان داد توزیع بارش در آینده در هر دو ایستگاه دچار تغییراتی خواهد بود و بیشتر، تیپ بارش بهاره را خواهیم داشت (Barzegari & Maleki, 2016). بصری و زاهدی (۱۳۹۵) در مطالعه اثرات تغییر اقلیم بر رژیم هیدرولوژیکی جریان سطحی رودخانه حوضه آراز کوسه، از مدل LARS-WG تحت سناریوی A2 استفاده کردند و دریافتند که در دهه‌های آتی دمای منطقه افزایش و مقدار بارش کاهش خواهد یافت (Bahri & Zahedi, 2016). دلقدندی (۱۳۹۵) اثرات ریسک تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق شاهرود را با استفاده از داده‌های مدل اقلیمی جهانی AOGCM و با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی LARS-WG بررسی کرد. نتایج نشان داد در دوره آتی (۲۰۴۵-۲۰۱۶) میزان تبخیر و تعرق ۴/۵ درصد افزایش خواهد یافت (Dalghandi, 2016). تأثیر عدم قطعیت خروجی مدل‌های اقلیمی

از جمله مدل LARS-WG در پیش بینی تغییرات تراز سطح آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت همدان-بهار) توسط سلامی و همکاران (۱۳۹۵) بررسی شد. نتایج مبنی بر این است که در ۳۰ سال آینده آبخوان دشت همدان- بهار از بین خواهد رفت (Salami, Naseri, & Massah Bavani, 2016).

تاکنون مطالعاتی در رابطه با بررسی اثر تغییر اقلیم بر روی پارامترهای اقلیمی کشور انجام گرفته ولی علی رغم اهمیت منطقه مورد مطالعه و موضوع تغییر اقلیم، مطالعه جامعی در رابطه با تأثیر تغییر اقلیم بر روی بارش های سواحل جنوبی دریای خزر انجام نگرفته است. مطالعات انجام گرفته یا در سطح یک ایستگاه انجام یافته و یا در حد سنجش توانایی مدل های گردش عمومی بوده است. سواحل دریای خزر علی رغم دریافت بارش های فراوان در اکثر سال ها با کمبود آب مواجه است. پس ضروری می نماید تا با شناخت کافی از مکانیسم بارش های منطقه و اثر اقلیم جهانی، مقدار تغییرات شرایط اقلیمی منطقه مطالعه و شرایط جهت بهبود برنامه ریزی برای استفاده از بارش های منطقه فراهم شود، در راستای اهمیت موضوع تغییر اقلیم، پژوهش حاضر درصدد است تأثیر تغییر اقلیم بر روی بارش های منطقه را بررسی و مقادیر بارش روزانه را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ مدل سازی نماید.

## مواد و روش ها

منطقه پژوهش سواحل جنوبی دریای خزر است که در حدفاصل ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی ۴۸/۵ تا ۵۶ درجه شرقی واقع شده است. ویژگی مهم منطقه وقوع بارش های همیشگی و رطوبت دائمی منطقه است به طوری که مرطوب ترین منطقه در ایران به شمار می رود. شکل ۱ موقعیت محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد.



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه (سواحل جنوبی دریای خزر)

برای بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در محدوده پژوهش، از ۵ ایستگاه سینوپتیک واقع در منطقه با طول دوره آماری مناسب (۱۹۶۱-۲۰۱۰) استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
انزلی	۴۹/۴۷	۳۷/۴۷	-۲۶
آستارا	۴۸/۸۷	۳۸/۴۲	-۱۸
بابلسر	۵۲/۶۵	۳۶/۷۲	-۲۱
گرگان	۵۴/۲۷	۳۶/۸۵	۱۳/۳
نوشهر	۵۱/۳۰	۳۶/۳۹	-۲۰/۹
رامسر	۵۰/۶۷	۳۶/۹۰	-۲۰
رشت	۴۹/۶۵	۳۷/۲۰	۳۶/۷

آزمون Run-test جهت بررسی همگنی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج بیانگر این بود که داده‌ها در سطح ۹۵ درصد تصادفی بوده و قابل قبول می‌باشند. برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در محدوده سواحل جنوبی دریای خزر از داده‌های بارش به صورت روزانه استفاده شد. همچنین داده‌های مدل HadCM3 از سایت CCCSN<sup>۱</sup> مورد استفاده قرار گرفت. جهت ریزمقیاس نمایی پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه از روش ریزمقیاس نمایی آماری LARS-WG تحت سناریوهای A1B، B1، A2 و استفاده گردید. مدل LARS-WG مولد آب‌وهوایی بر اساس سری‌ها است، که می‌تواند برای شبیه‌سازی داده‌های اقلیمی در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی شرایط حاضر و آتی مورد استفاده قرار گیرد. این مدل با استفاده از داده‌های اقلیمی مشاهداتی در یک ایستگاه، پارامترهای توزیع احتمالاتی متغیرهای آب‌وهوایی و نیز داده‌های آب‌وهوایی مربوط به آینده را با استفاده از دستیابی به رابطه بین آن‌ها تولید می‌کند. این مدل با انتخاب تصادفی مقادیر از توزیع‌های مناسب برای تولید سری‌های زمانی با طول دلخواه مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور هر متغیر اقلیمی  $v$ ، مقدار  $v_i$  متناظر با احتمال  $p_i$  از رابطه ۱ محاسبه می‌شود.

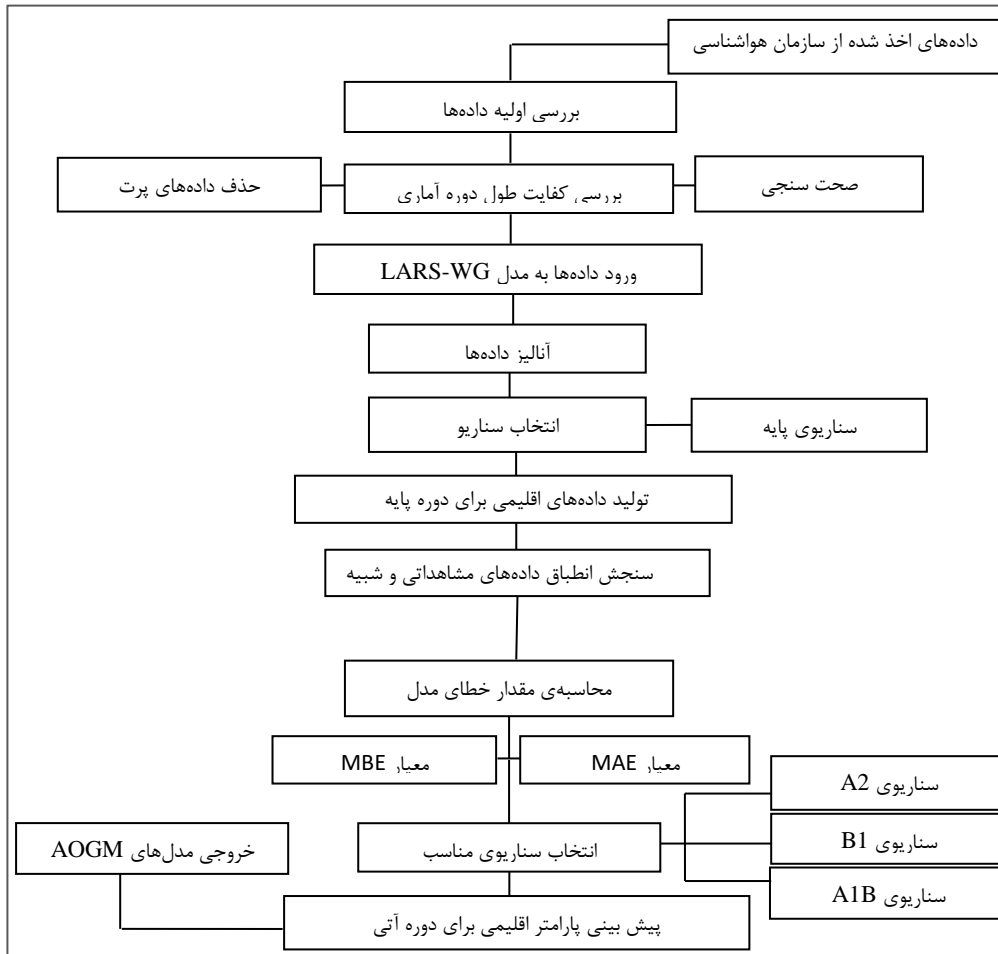
$$i = 0, \dots, n \quad V_i = \min\{v: p(v \text{ obs} \leq v) \geq P_i\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $P(v \text{ obs})$  معرف احتمال به دست آمده از داده مشاهداتی است. برای هر متغیر اقلیمی دو مقدار  $p_0$  و  $p_n$  به ترتیب برابر ۰ و ۱ با مقادیر متناظر  $v_0 = \min\{v \text{ obs}\}$  و  $v_n = \max\{v \text{ obs}\}$  ثابت می‌باشند (Racsko, Szeidl, & Semenov, 1991). پس از اجرای سناریوی حالت پایه مدل برای دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۹) اجرا گردید، جهت پیش‌بینی اقلیمی از سناریوهای A1B، B1، A2 و استفاده گردید. پس از صحت‌سنجی و تعیین میزان تطابق مدل با داده‌های مشاهده‌ای، مقادیر بارش و دمای کمینه و دمای بیشینه از لحاظ نرمال بودن توزیع مورد آزمون قرار گرفتند، این مرحله با استفاده از فایل خروجی مدل LARS-WG انجام گرفت. این بخش از پژوهش با استفاده از آزمون‌های آماری MAE<sup>۲</sup> و MBE<sup>۳</sup> طبق روابط ۲ و ۳ انجام گرفت.

$$MAE = \frac{\sum O_i - S_i}{n} \quad MBE = \frac{1}{N} \sum (S_i - O_i)$$

در این روابط  $S$  مقادیر شبیه‌سازی شده توسط مدل،  $O$  نشان‌دهنده مقادیر واقعی، اندیس  $i$  ماه‌های سال و  $n$  تعداد ماه‌های سال است که برابر ۱۲ می‌باشد. سپس درصد افزایش یا کاهش مقادیر بارش توسط سناریوهای A1B، B1 و A2 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ محاسبه گردید. مراحل مختلف انجام پژوهش در شکل ۲ آورده شده است.

1 Canadian Climate Change Scenarios Network  
2 Mean Absolute Error  
3 Mean Basin Error



شکل ۲- الگوریتم مراحل انجام پژوهش

## یافته ها

ویژگی های آماری هر کدام از ایستگاه های منتخب، بررسی و نتایج مربوط به آن در جدول ۲ آورده شده است.

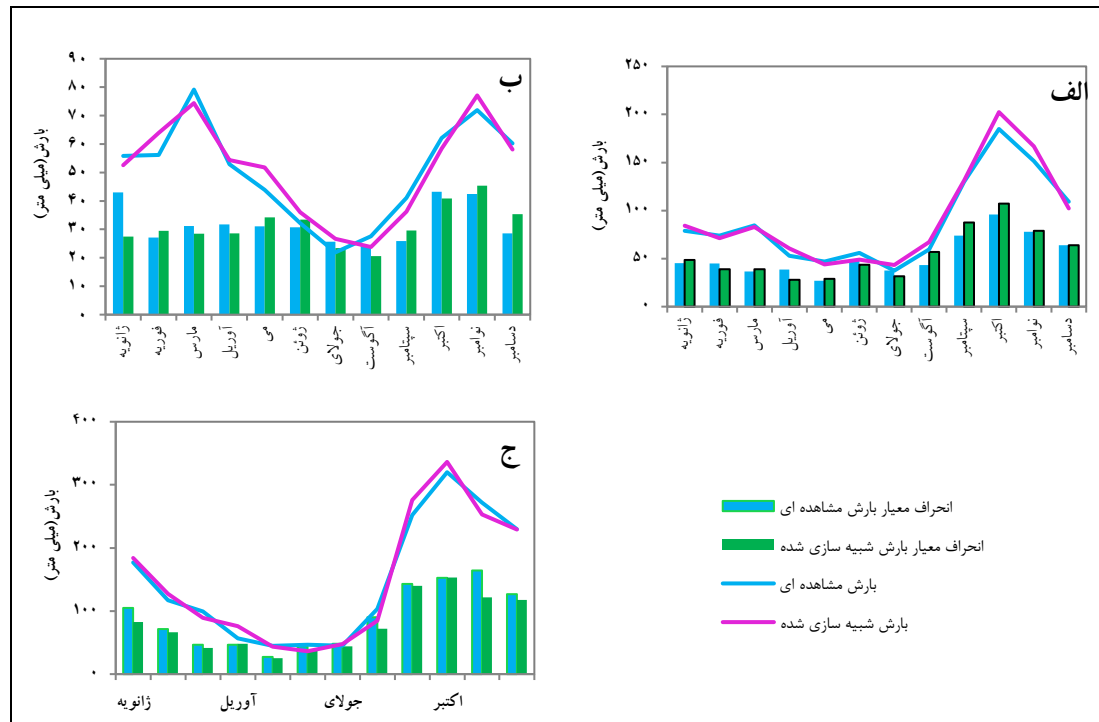
جدول ۲- خصوصیات آماری ایستگاه های مورد مطالعه

ایستگاه	واریانس	چولگی	کشیدگی	حداکثر	مجموع	میانگین بارش سالانه
انزلی	۱۵۱۵۰۰	۰/۳۴	-۰/۰۹	۳۵۳	۶۷۳۴۳	۱۶۴۲
آستارا	۳۴۷۵۸/۳	۰/۲۴	۰/۴۶	۹۴	۲۰۸۰۰	۱۳۰۰
بابلسر	۲۱۲۶۰	۰/۴۴	-۰/۴۸	۲۱۹	۳۶۴۳۹	۸۸۸
گرگان	۸۴۴۷/۵	۰/۱۳	-۰/۳۷	۶۲	۱۱۰۷۵	۳۲۱
نوشهر	۲۵۵۷۳۲	-۰/۵۲	-۱/۴۴	۲۰۸	۲۴۱۰۲	۹۶۴
رامسر	۱۰۱۸۰۶	۰/۵۳	-۰/۵۰	۲۷۳	۴۶۱۸۸	۱۱۲۶
رشت	۵۰۷۰۶/۲	-۰/۱۴	۰/۰۲	۱۸۸	۴۶۲۲۴	۱۳۰۲

همان گونه که از نتایج جدول برمی آید، در مجموع ایستگاه انزلی و رشت به ترتیب با ۱۶۴۲ و ۱۳۰۲ میلی متر بارش بیشترین بارش را در منطقه دریافت کرده اند. از بین ایستگاه های مورد بررسی کمترین بارش در ایستگاه گرگان (۳۲۱ میلی متر) دریافت شده است. حداکثر بارش روزانه دریافت شده ۳۵۳ میلی متر و در ایستگاه انزلی می باشد.



پس از انتخاب ایستگاه‌های مناسب، داده‌های بارش آن‌ها بررسی و گپ موجود در داده‌ها اصلاح و داده‌های پرت حذف شدند. پس از بررسی اولیه داده‌ها، سری روزانه پارامتر اقلیمی بارش تنظیم و تولید شد. پس از تولید سری‌های روزانه مدل LARS-WG اجرا گردید. پس از آنالیز داده‌های ورودی و بررسی‌های آماری اولیه، سناریوی حالت پایه برای داده‌های مشاهده‌ای اجرا و داده‌های اقلیمی برای پارامترهای اقلیمی مورد بررسی شبیه‌سازی گردیدند. نتایج حاصل به صورت نمودارهای آماری بررسی و میزان انطباق داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های شبیه‌سازی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج به دست آمده بارش برای ایستگاه بابلسر، گرگان و انزلی به عنوان نمونه در این قسمت در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده. (الف) ایستگاه بابلسر، (ب) ایستگاه گرگان، (ج) ایستگاه انزلی

صحت سنجی مدل بر اساس مقادیر بارش مشاهده‌ای و مقادیر بارش شبیه‌سازی شده توسط مدل لارس با استفاده از سناریوی حالت پایه نشان‌دهنده تطابق ۹۵ درصدی مدل با مقادیر مشاهده‌ای بارش در تمامی ایستگاه‌های منطقه است. در تمامی ایستگاه‌های بررسی شده داده‌های شبیه‌سازی شده بسیار شبیه به داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه می‌باشد. به طوری که واریانس داده‌های شبیه‌سازی شده بسیار اندک است.

همان‌گونه که از نتایج مدل برمی‌آید در تمام مواقع سال نتایج مدل با واریانس بسیار کم در محدوده داده‌های مشاهده‌ای قرار دارد. در مدل‌سازی بارش دوره پایه، مقادیر نزدیک به بارش مشاهده‌ای شبیه‌سازی گردید. همان‌گونه که در شکل ۳ آورده شده است، نتایج شبیه‌سازی بیانگر این است که در ماه‌هایی از سال که نوسان بارش مشاهده‌ای زیاد است، مقادیر انحراف معیار بارش شبیه‌سازی شده نیز زیاد برآورد گردیده است. در تمامی ایستگاه‌ها در طی تمامی ماه‌ها به غیر از ماه‌های فصل پاییز انحراف معیار بارش شبیه‌سازی شده اندک است. دلیل انحراف معیار بالای بارش در طی ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر ورود توده‌های باران‌زا و وقوع بارش‌های شدید و ناگهانی در منطقه است. مدل در شبیه‌سازی بارش در مواقعی از سال که بارش‌های ناگهانی اتفاق افتاده است ضعیف عمل کرده است، پژوهش‌های دیگران از جمله قرمز چشمه (۱۳۹۲) نیز نشان داد که مدل در شبیه‌سازی داده‌های حداکثر به خصوص در ماه‌های مرطوب از توانایی خوبی برخوردار نیست (Ghermezcheshmeh, 2013). پس از صحت سنجی و تعیین میزان تطابق مدل با داده‌های مشاهده‌ای، مقادیر بارش از لحاظ نرمال بودن توزیع مورد آزمون قرار

گرفتند. بررسی نوع توزیع آماری داده ها توسط آزمون کلموگروف اسمیرونوف انجام گرفت و نتایج حاصل برای پارامتر بارش در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳- آزمون نرمال بودن توزیع داده های بارش بر اساس مدل کلموگروف - اسمیرونوف

		ماه/میلادی											
جزئیات	آماره های آزمون	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
ایستگاه	N	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
انزلی	KS	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۵	۰/۰۴	۰/۲۴	۰/۱۰	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴
	P-VALUE	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۳	۱	۰/۴۴	۰/۹۹	۱	۱	۱
آستارا	N	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
	KS	۰/۱۴	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۱۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۳
	P-VALUE	۰/۹۶	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۷	۱	۱	۱	۱
بابلسر	N	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
	KS	۰/۰۴	۰/۰۴	۰/۱۷	۰/۰۶	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۲۳	۰/۰۵	۰/۰۵
	P-VALUE	۱	۱	۰/۸۴	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۴۸	۱	۱
گرگان	N	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
	KS	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۶	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۷
	P-VALUE	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۱
رامسر	N	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
	KS	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۱۷	۰/۰۷	۰/۳۷	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۱۰	۰/۰۴
	P-VALUE	۱	۱	۰/۹۹	۱	۱	۰/۸۳	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱
رشت	N	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲	۱۲
	KS	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۱۰	۰/۰۷	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۱۱	۰/۰۵
	P-VALUE	۱	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	۱

بر اساس مقادیر محاسبه شده، درجه آزادی در تمام ماه های سال ۱۲ است، این بدان معنی است که درجه تغییرپذیری آن زیاد است. محدوده نرمال ks در حدود ۰/۰۵ و بالاتر از آن است. بنابراین اگر آماره آزمون بزرگ تر مساوی ۰/۰۵ به دست آمده آید، در این صورت دلیلی برای رد فرض صفر مثبتی بر اینکه داده نرمال است، وجود نخواهد داشت. به عبارت دیگر توزیع داده ها نرمال خواهد بود. در اکثر ماه های سال مقادیر ks محاسبه شده بالاتر از این محدوده قرار دارد و بیانگر آن است که داده های بارش از توزیع نرمال تبعیت می کند این مسئله با توجه به p-value پایین بیانگر این است که فرض  $H_0$  در این مسئله پذیرفته می شود. خصوصیات داده های مشاهده ای و شبیه سازی شده توسط مدل جهت تعیین اینکه آیا تفاوت های آماری قابل توجهی بین این دو گروه از داده ها وجود دارد یا نه، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این بخش از پژوهش با استفاده از آزمون های آماری MAE و MBE (طبق فرمول ۲ و ۳) اقدام به مقایسه میانگین های ماهانه خطای محاسبه شده برای هر کدام از سناریوهای شبیه سازی شده توسط مدل LARS-WG گردید.

برای محاسبه خطا (MBE) ابتدا مجموع بارش ماهانه مشاهده ای و HadCM3 در هر سال استخراج گردید. سپس اختلاف بین هر یک از مدل ها با مشاهده ای محاسبه و در نهایت از خطای به دست آمده میانگین گرفته شد. محاسبه قدر مطلق خطا (MAE) نیز همانند محاسبه خطا صورت گرفت. فقط قدر مطلق اختلاف ماهانه دوره بین مشاهده ای و هر یک از مدل های NCEP و

HadCM3 در هر سال محاسبه گردید و میانگین دوره به عنوان قدر مطلق خطا منظور گردید. مقادیر MAE و MBE در جدول ۴ آورده شده است.

جدول ۴- مقادیر MBE و MAE ماهانه

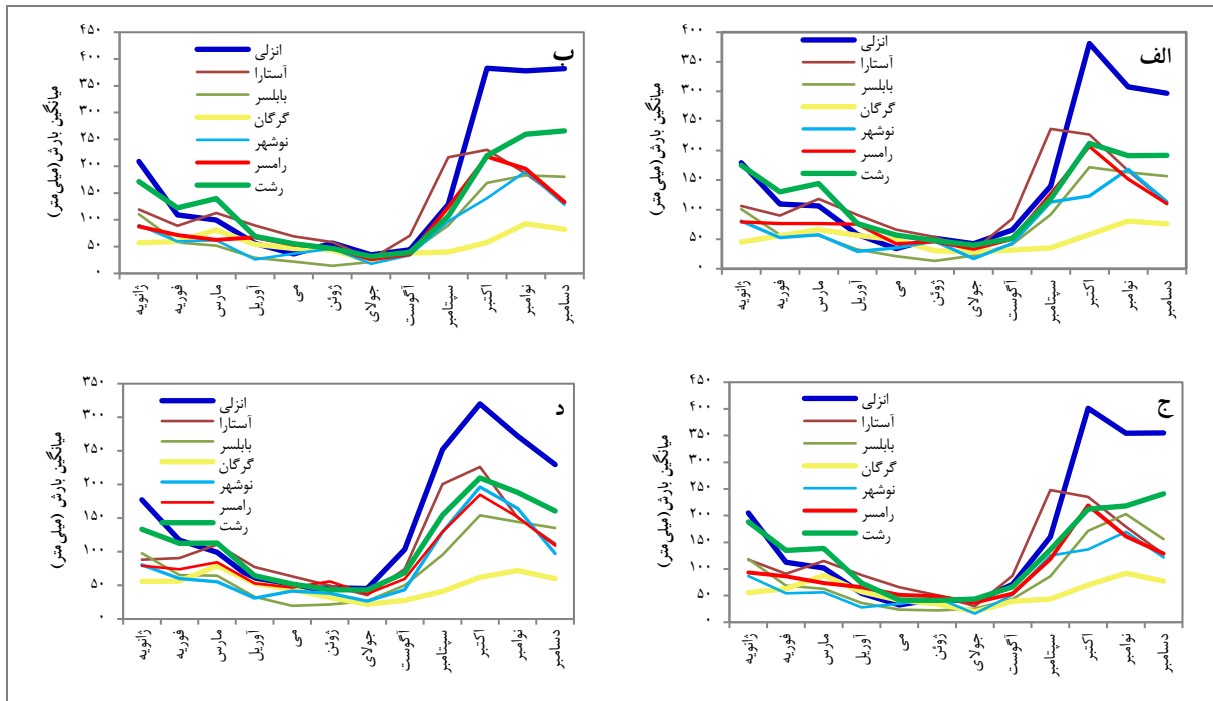
ایستگاه	سناریو	خطا	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
انزلی	پایه	MBE	-۱۱/۲	۳/۵	۰/۶	۱۱/۵	-۳/۶	-۲/۳	۲/۹	۱۵/۱	-۱۳/۱	-۱۹	۱۴/۲	۵/۴
		MAE	۸۹/۳	۶۷/۱	۵۵/۳	۳۱/۱	۲۸/۱	۴۶/۳	۵۶/۶	۹۰/۴	۱۷۱	۱۵۶	۲۰۲	۱۲۲
آستارا	پایه	MBE	-۱۱/۵	-۱/۵	-۰/۴	۳۹/۷	-۴/۵	۱۴/۳	۲۴/۶	۱۰/۳	-۱۴/۷	-۱۹/۱	۲۲/۷	-۱۰/۴
		MAE	۵۵/۸	۵۷/۹	۴۷/۲	۶۷	۳۶/۷	۳۹/۳	۵۱/۱	۸۵/۴	۱۳۰	۹۵/۵	۷۹	۶۵/۶
بابلسر	پایه	MBE	۱/۴	۲	-۲/۱	۱۰/۱	۰/۸	-۲/۷	۵/۹	-۰/۶	۱۸/۶	۶/۳	۱۷/۲	۲/۴
		MAE	۵۵/۶	۲۹/۶	۴۱/۶	۲۸/۳	۱۸/۶	۲۲/۶	۲۸	۵۲/۲	۸۲/۳	۹۷/۳	۸۴/۲	۷۰/۹
گرگان	پایه	MBE	۵	۰/۹	-۴/۴	۲/۵	۱/۶	-۰/۹	۵/۱	-۵/۲	۱/۱	-۱۱/۵	۱۸/۴	-۳/۱
		MAE	۳۶/۵	۲۶/۹	۳۶/۴	۲۳/۳	۴۰/۵	۲۹/۹	۲۳/۱	۲۲/۹	۳۲/۷	۴۶	۶۱/۲	۳۰/۸
نوشهر	پایه	MBE	۶/۹	۳/۶	-۲/۲	۸/۲	۰/۹	۲/۳	-۳/۴	-۱۳/۹	-۳۸/۳	-۱/۴	۱۰/۲	-۶/۶
		MAE	۵۲/۵	۴۹/۶	۴۰/۹	۳۴/۱	۳۸/۶	۴۲/۵	۲۱/۶	۳۲/۶	۱۰۹	۱۳۰	۱۰۰	۶۲/۹
رامسر	پایه	MBE	۲/۶	-۳	-۵/۷	۸/۸	-۶/۷	-۶/۲	۱۲/۵	-۲/۲	۴/۱	۵/۸	۱۲/۴	-۱۲/۷
		MAE	۴۳/۷	۴۵/۹	۳۶/۴	۳۳/۸	۳۰/۵	۵۳	۳۴/۹	۵۴/۴	۱۰۳	۱۰۰	۹۳/۳	۶۲/۳
رشت	پایه	MBE	-۱	۴/۳	-۶/۱	۱۵/۷	-۰/۴	۹/۹	-۱۲/۴	۴/۴	-۱۱	-۵/۴	۲۱/۱	-۱۶/۶
		MAE	۸۲/۶	۷۵/۱	۵۵/۲	۵۳/۴	۳۹/۲	۴۸	۴۰/۷	۵۵	۸۸/۷	۱۰۹	۱۲۴	۷۵/۳

جدول ۴، اختلاف بارش مشاهده‌ای و برآوردی توسط مدل LARS-WG را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده مقدار خطا در اکثر ایستگاه‌ها و در اکثر ماه‌های سال کم بوده است. در ماه‌های سپتامبر، نوامبر و دسامبر مقدار خطای برآورد شده بیشتر از سایر ماه‌ها است. رفتار تغییرات ماهانه خطا در ایستگاه‌های مختلف متفاوت بوده است. رفتار فصلی و یا ماهانه اختلاف‌ها می‌تواند ناشی از تغییرات شرایط جوی باشد، به طوری که در ماه‌های فصل زمستان با توجه به بارش نسبتاً زیاد ولی به دلیل فراگیر بودن بارش‌ها، خطای مدل کم و همگون است. در ماه‌هایی که توده‌های باران‌زا از مناطق مختلف به منطقه وارد می‌شود، شرایط بارش بسیار پیچیده می‌شود و به همین دلیل در این ماه‌ها میزان خطا نیز بیشتر می‌شود (Ghermezcheshmeh, 2013). مقدار خطای محاسبه‌ای مدل توسط آزمون‌های MBE و MAE در تمام ایستگاه‌ها محاسبه گردید. با توجه به اینکه ترسیم نمودارهای اقلیمی هر آزمون برای تک‌تک ایستگاه‌ها (به دلیل تعدد ایستگاه‌ها) میسر نبود، لذا نتایج آزمون‌های فوق مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از محاسبه مقادیر خطا، به صورت تحلیل حداکثر و حداقل خطای ماهانه به دست آمده در هر یک از ایستگاه‌ها توسط هر دو آزمون MBE و MAE و سناریوی پایه طبقه‌بندی گردید. همچنین تعداد تکرار هر ماه در طبقه‌بندی حداکثر و حداقل خطای ایستگاه‌ها محاسبه و همراه که تکرار بیشتری داشت به همراه تعداد تکرار ماه در تمام ایستگاه‌ها، در جدول ۵ آورده شد.

جدول ۵- حداکثر و حداقل اختلاف مدل با مقادیر مشاهده ای بر اساس معیارهای MAE و MBE

حداقل اختلاف		حداکثر اختلاف			
سناریوی پایه		سناریوی پایه			
MBE	MAE	MBE	MAE		
۰/۶	۲۸/۱	۱۵/۱	۲۰۲	مقدار	انزلی
مارس	می	آگوست	نوامبر	ماه	
۰/۴	۳۶/۷	۳۹/۷	۱۳۰	مقدار	آستارا
مارس	می	آوریل	سپتامبر	ماه	
۰/۶	۱۸/۶	۱۸/۶	۹۷/۳	مقدار	بابلسر
آگوست- می	می	سپتامبر	اکتبر	ماه	
۰/۹	۲۲/۹	۱۸/۴	۶۱	مقدار	گرگان
فوریه-ژوئن	آگوست	نوامبر	نوامبر	ماه	
۰/۹	۲۱/۶	-۳۸/۳	۱۳۰	مقدار	نوشهر
می	ژوئیه	سپتامبر	اکتبر	ماه	
-۲/۲	۳۰/۵	-۱۲/۷	۱۰۳	مقدار	رامسر
آگوست	می	دسامبر	سپتامبر	ماه	
۰/۴	۳۹/۲	-۱۶/۶	۱۲۴	مقدار	رشت
می	می	دسامبر	نوامبر	ماه	
بهار	بهار	پاییز	پاییز	فصل	
می	می	سپتامبر- دسامبر	نوامبر	ماه	
۳	۵	۴	۳	تعداد	

مقدار حداکثر اختلاف بین مقادیر بارش مشاهده ای و مقادیر برآوردی توسط سناریوی پایه، توسط معیارهای محاسبه خطای MAE و MBE مورد آزمون قرار گرفت، نتایج بیانگر این است که بر اساس هر دو معیار، مقدار خطای محاسبه مدل LARS-WG در فصل پاییز زیاد است. بر اساس معیار MBE ما سپتامبر و دسامبر و بر اساس معیار MAE ماه نوامبر کم دقت ترین برآورد را دارا هستند. حداقل خطای مدل در فصل بهار بوده است، به طوری که بر اساس هر دو معیار در فصل بهار و در ماه می حداقل خطای مدل به دست آمد. پس از محاسبه مقادیر خطا، اختلاف بین مقادیر بارش مشاهده ای و بارش محاسبه شده توسط سناریوهای A1B، A2 و B1 در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ محاسبه گردید. مقادیر محاسبه شده در جدول ۶ آورده شده است. نمودار بارش مشاهده ای و بارش به دست آمده توسط سناریوهای A2، A1B و B1 در شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- مقادیر بارش: الف) بارش محاسبه شده توسط سناریوی A2، ب) بارش محاسبه شده توسط سناریوی B1، ج) مقادیر بارش محاسبه شده توسط سناریوی A1B، د) بارش مشاهده‌ای در دوره پایه

جدول ۶- اختلاف بین میانگین بارش مشاهده‌ای با سناریوهای A2، A1B و B1 در دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱

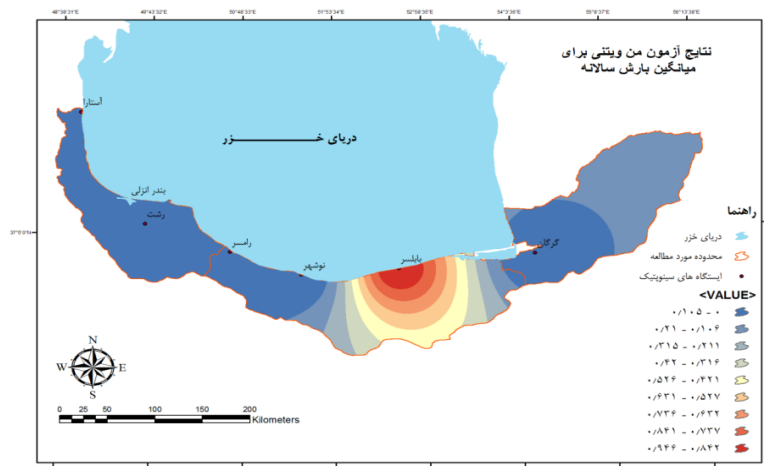
ایستگاه	اختلاف بارش مشاهده‌ای و بارش محاسبه‌ای (میلی‌متر)			وضعیت	میانگین سالانه درصد تغییر بارش		
	سناریوی A2	سناریوی A1B	سناریوی B1		سناریوی A2	سناریوی A1B	سناریوی B1
انزلی	۷	۱۶۵	۱۵۴	افزایشی	۰٪/۳	۹٪/۳	۸٪/۷
آستارا	۱۰۲	۱۵۵	۱۲۵	افزایشی	۷٪/۹	۱۲٪	۹۵٪/۷
بابلسر	۲۰	۱۰۹	۵۹	افزایشی	۲٪/۲	۱۲٪	۶٪/۵
گرگان	۹	۷۵	۷۰	افزایشی	۱٪/۴	۱۲٪/۴	۱۱٪/۵
نوشهر	-۸۴	-۴۰	-۳۶	کاهشی	٪-۸/۷	٪-۴/۱	٪-۳/۷
رامسر	۹	۷۲	۵۷	افزایشی	۰٪/۸	۶٪/۷	۵٪/۳
رشت	۹۱	۱۸۸	۱۸۳	افزایشی	۶٪/۷	۱۳٪/۹	۱۳٪/۶

بر اساس جدول ۶ و نتایج سناریوی A2، کمترین میزان اختلاف بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در ایستگاه انزلی، سپس گرگان و رامسر و به ترتیب ۷، ۹ و ۹ میلی‌متر است. بیشترین اختلاف بارش در حدود ۸۴- میلی‌متر و مربوط به ایستگاه نوشهر است. نتایج به دست آمده توسط سناریوهای A1B و B1 مشابه هم هستند. بر اساس تمام سناریوها، مقادیر بارش به دست آمده برای ایستگاه نوشهر کمتر از بارش مشاهده‌ای و در سایر ایستگاه‌ها بیشتر از بارش دریافت شده در دوره پایه است. میزان عدم قطعیت برآوردهای به دست آمده در پژوهش مورد بررسی قرار گرفت. تغییرات زمانی و مکانی پارامتر بارش از توزیع نرمال تبعیت نمی‌کند. به این دلیل برای بررسی و مقایسه آن باید از روش‌های ناپارامتریک استفاده شود (Ghermezcheshmeh, 2013). در این پژوهش از روش ناپارامتریک من - ویتنی برای مقایسه ماهانه و سالانه بارش مشاهده‌ای و برآوردی در ایستگاه‌های مورد بررسی در منطقه استفاده گردید. داده‌های بارش دوره آتی شبیه‌سازی گردید و سپس با استفاده از آزمون من - ویتنی عدم قطعیت مدل محاسبه شد. فرض  $H_0$  آزمون بر این استوار است، که بین داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های

برآوردی توسط مدل اختلاف معنی داری وجود ندارد و بر اساس فرض  $H_1$  بین داده های مشاهده ای و داده های برآوردی توسط مدل اختلاف معنی دار، وجود دارد. نتایج به دست آمده بر اساس برآورد هر دو معیار MAE و MBE پهنه بندی گردید (جدول ۷ و شکل ۵). با توجه به نتایج به دست آمده در ایستگاه انزلی، در ماه های فوریه و اوت، در ایستگاه آستارا در ماه های ژانویه، فوریه، مارس، می، اوت، اکتبر، نوامبر و دسامبر، در ایستگاه بابلسر در ماه های ژانویه، فوریه، آوریل، می، ژوئن، اوت، سپتامبر، اکتبر، در ایستگاه نوشهر در ماه های ژانویه، فوریه، ژوئن، در ایستگاه رامسر در ماه های فوریه، آوریل، می، ژوئن، اوت، اکتبر و دسامبر و در ایستگاه رشت در ماه های ژانویه، فوریه، آوریل، می، اوت، سپتامبر، اکتبر و دسامبر، مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهده ای بارش اختلاف معنی داری نداشته است.

جدول ۷- سطح معنی داری ماهانه بارش ایستگاه های منتخب بر اساس آزمون من - ویتنی

ایستگاه	ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
انزلی		۰/۱۰	۰/۳۲	۰/۱۰	۰/۰۳۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۶۳۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰
آستارا		۰/۸۹	۰/۷۲	۰/۱۶	۰/۰۰۱	۰/۰۷۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰	۰/۲۵۴	۰/۰۰۰	۰/۴۹۱	۰/۰۸۶	۰/۵۳۹	۰/۰۰۰
بابلسر		۰/۲۶	۰/۲۸	۰/۱۰	۰/۱۵۰	۰/۰۹۴	۰/۱۷۸	۰/۰۹۴	۰/۹۴۶	۰/۰۱۷	۰/۷۲۰	۱/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۹۴۶
گرگان		۰/۰۸	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۷۶۹	۰/۷۰۱	۰/۳۷۶	۰/۰۰۴	۰/۴۰۱	۰/۳۰۲	۰/۸۶۷	۰/۰۰۴	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹
نوشهر		۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	۰/۱۵۰	۰/۰۰۷	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۶	۰/۰۰۰
رامسر		۰/۰۴	۰/۷۶	۰/۰۰	۰/۳۰۶	۰/۱۶۴	۰/۷۶۹	۰/۰۰۸	۰/۱۰۴	۰/۰۲۲	۰/۲۲۰	۰/۰۰۸	۰/۶۱۶	۰/۰۲۷
رشت		۰/۷۳	۰/۸۰	۰/۰۲	۱/۰۰۰	۰/۸۳۹	۰/۰۲۴	۰/۰۱۶	۰/۰۵۰	۰/۰۶۸	۰/۱۰۵	۰/۰۰۱	۰/۵۵۰	۰/۰۰۹

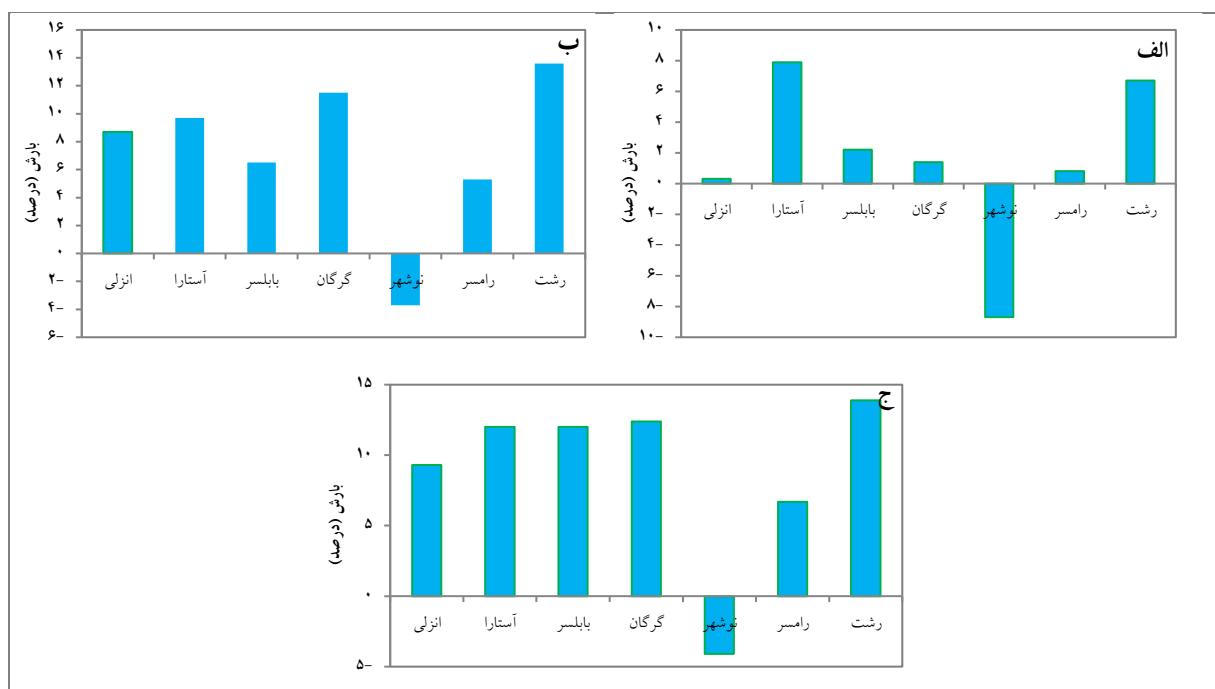


شکل ۵- پهنه بندی اختلاف بارش ایستگاه های منتخب بر اساس آزمون من - ویتنی

## مدل سازی بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹

در پژوهش حاضر به دلیل اهمیت بارش در برنامه ریزی منطقه ای تأثیرپذیری این پارامتر از اقلیم جهانی، در مقیاس منطقه ای مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا داده های مشاهده ای بارش ایستگاه های منطقه بررسی و نمودار ماهانه بارش هر کدام ترسیم شد. بر اساس داده های مشاهده ای مورد استفاده، بیشترین مقدار بارندگی در ایستگاه انزلی به ترتیب در فصول پاییز (۸۲۱ میلی متر)، تابستان (۴۰۰ میلی متر)، زمستان (۳۹۳ میلی متر) و بهار (۱۴۷ میلی متر) می باشد. در ایستگاه آستارا بیشترین مقدار بارش در فصول پاییز، تابستان، زمستان و بهار به ترتیب معادل ۴۸۸، ۳۱۰، ۲۸۹ و ۱۹۰ میلی متر است. بیش از ۵۰ درصد بارش در ماه های

سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر دریافت شده است. در ایستگاه بابلسر مقادیر بارش دریافتی فصول پاییز (۴۳۳ میلی‌متر)، زمستان (۲۲۷ میلی‌متر)، تابستان (۱۷۲ میلی‌متر) و بهار (۷۴ میلی‌متر) است. در بقیه ایستگاه‌ها نیز بیشترین مقدار بارش در فصل پاییز و در ماه‌های سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر رخ داده است. پس از بررسی اولیه داده‌ها سناریوی پایه برای داده‌های روزانه بارش اجرا شد و داده‌های مذکور برای دوره پایه شبیه‌سازی گردید (شکل ۳). بر اساس شکل فوق و با توجه به انطباق کامل داده‌های شبیه‌سازی شده، داده‌های بارش با استفاده از سناریوهای A1B و B1، A2، B1 و A1B شبیه‌سازی گردید (شکل ۴). بر اساس نتایج فوق مقادیر خطای ایستگاه محاسبه و سپس مقدار حداکثر و حداقل خطا در ماه‌های مختلف محاسبه شد، که بر اساس آن در تمامی ایستگاه‌های منطقه، حداکثر خطای مدل در فصل پاییز و حداقل خطا در فصل بهار به دست آمد.



شکل ۶- مدل تغییرات درصدی بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹:

(الف) بر اساس سناریوی A2، (ب) بر اساس سناریوی B1، بر اساس سناریوی A1B



شکل ۷- مدل مقادیر سالانه بارش بر اساس سناریوهای A2، B1 و A1B

در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹

با توجه به نتایج به دست آمده مدل تغییرات بارش سواحل جنوبی در دوره آتی مطابق شکل ۶ و ۷ با استفاده از سناریوهای A2، B1 و A1B ترسیم گردید که بر اساس آن در تمام ایستگاه‌های منطقه مقدار بارش افزایش خواهد یافت. درصد افزایش

بارش در ایستگاه های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت بر اساس سناریوی A2، به ترتیب ۰/۳، ۷/۹، ۲/۲، ۱/۴، ۸/۷، ۰/۸، ۶/۷ درصد، همچنین بر اساس سناریوی A1B، به ترتیب ۹/۳، ۱۲، ۱۲، ۱۲/۴، ۴/۱، ۶/۷، ۱۳/۹ درصد و بر اساس سناریوی B1 به ترتیب ۸/۷، ۹/۷، ۶/۵، ۱۱/۵، ۳/۷، ۵/۳، ۱۳/۶ درصد خواهد بود.

## نتیجه گیری

بارش به عنوان مهم ترین پارامتر اقلیمی نقش بسیار مهمی در کشاورزی، شرب، صنعت، اقتصاد و زندگی مردم دارد. تمام سیستم های استفاده از منابع آبی بر اساس شرایط فعلی بارندگی در مناطق مختلف دنیا بنا نهاده شده است، که در شرایط تغییر اقلیم در آینده و تغییرات مثبت و منفی مقادیر بارش دریافتی، تمام سیستم های وابسته به آن باید بر اساس شرایط آتی بارش، برنامه ریزی شوند. در ایران و از جمله در منطقه مورد مطالعه در شرایط فعلی، استفاده کامل و صحیح از مقدار بارش دریافتی به عمل نمی آید. مقدار زیادی از بارش قبل از استفاده از دسترس خارج می شود و مقادیر زیادی از بارش دریافتی سبب سیل و وارد آمدن خسارت به منابع طبیعی و انسانی می شود. در مورد برنامه ریزی های اساسی منابع آب ضروری می نماید تا با مطالعه تغییرات احتمالی اقلیم آینده، نسبت به محاسبه و مدل سازی بارش اقدام گردد تا بنا به ضرورت انجام برنامه ریزی های پایه و ماهیت آن که نیازمند صرف زمان طولانی برای اجرایی شدن می باشند نسبت به اخذ تصمیمات مقتضی در زمان مناسب اقدام گردد. مطابق باهدف فوق در پژوهش حاضر مقادیر بارش آتی (۲۰۳۹-۲۰۱۱) با استفاده از خروجی مدل گردش عمومی جو و روش ریزمقیاس گردانی LARS-WG برای سواحل جنوبی دریای خزر (شامل ایستگاه های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت) ریزمقیاس گردید و بارش روزانه دریافتی در دوره آتی با استفاده از سناریوهای A2، B1 و A1B شبیه سازی گردید. با توجه به نتایج به دست آمده در مرحله انطباق سنجی مدل (شکل ۳)، داده های مشاهده ای و داده های شبیه سازی شده در دوره پایه کاملاً نزدیک به هم می باشد و این نشانگر انطباق کامل داده های شبیه سازی شده و داده های بارش روزانه در دوره پایه می باشد. نتایج تعیین نرمال بودن توزیع آماری مقادیر بارش بیانگر این بود که بر اساس آماره آزمون کلموگروف اسمیرونوف و بر اساس P-VALUE محاسبه شده برای بارش در تمامی ایستگاه ها، مقادیر سطح معنی داری نشان نمی دهد. این بدین معنی است که با توجه به آماره آزمون و با توجه به این که در محدوده کمتر از ۰/۰۵ قرار دارد، مقادیر بارش از توزیع نرمال تبعیت نمی کند، این مسئله به این دلیل است که بارش یک پارامتر تصادفی است و به طور معمول از توزیع نرمال برخوردار نیست.

نتایج بررسی مقادیر خطا با استفاده از معیارهای MBE و MAE نشان داد که در تمام ایستگاه های منطقه بیشترین خطای به دست آمده در فصل پاییز و در ماه های سپتامبر، نوامبر و دسامبر و حداقل خطا در فصل بهار و در ماه می بوده است. به نظر می رسد دلیل خطای زیاد در ماه های فصل پاییز به دلیل ورود توده هوای مختلف با منشأ متفاوت و ایجاد ناپایداری در منطقه است. حداقل خطای فصل بهار نیز به دلیل کم بارش بودن این فصل است. با توجه به نتایج پژوهش های انجام یافته دیگر، در مواقعی از سال که ناپایداری جوی بر مناطق حاکم است، دقت مدل نیز کاهش می یابد (Ghermezcheshmeh, 2013). بر اساس پژوهش کاظمی راد و محمدی (۱۳۹۴) نیز که از مدل LARS-WG به همراه سناریوی A2 و B1 برای شبیه سازی بارش های دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ در ایستگاه های منتخب انزلی، اردبیل، آستارا، قزوین، منجیل، رامسر، رشت و زنجان استفاده شده است، مقدار بارش در دوره آتی در ایستگاه های انزلی، رامسر و رشت افزایش خواهد داشت (Kazemirad & Mohammadi, 2015). همچنین بحری و زاهدی (۱۳۹۵) در پژوهش خود در رابطه با ارزیابی اثر تغییر اقلیم در حوضه آبریز آراز کوسه (محدوده استان گلستان) به این نتیجه رسیدند که در منطقه مورد مطالعه مقادیر بارش دریافتی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۱ افزایش خواهد یافت، که از این جهت نتایج پژوهش حاضر در راستای نتایج پژوهش های پیشین در منطقه مورد مطالعه است (Bahri & Zahedi, 2016). بر اساس نتایج بررسی میزان عدم قطعیت برآورد، بیشترین قطعیت برآورد در ایستگاه بابلسر و کم ترین میزان قطعیت



در ایستگاه انزلی به دست آمد. در پژوهش حاضر، مقایسه نتایج بارش شبیه‌سازی شده توسط سناریوهای A2، B1 و A1B با بارش مشاهده‌ای ایستگاه‌های منطقه نشان داد که در تمام ایستگاه‌ها در دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۳۹) بارش افزایش خواهد یافت. تنها در ایستگاه نوشهر مقدار بارش دریافتی در حدود ۵ درصد کاهش خواهد یافت. مقدار بارش در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۹ بر اساس نتایج تمام سناریوهای مورداستفاده، میانگین درصد افزایش بارش در ایستگاه‌های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت بر اساس سناریوی A2، به ترتیب ۰/۳، ۰/۹، ۰/۷، ۲/۲، ۱/۴، ۸/۷-، ۰/۸، ۶/۷ درصد، همچنین بر اساس سناریوی A1B، به ترتیب ۹/۳، ۱۲، ۱۲، ۱۲/۴، ۴/۱-، ۶/۷، ۱۳/۹ درصد و بر اساس سناریوی B1 به ترتیب ۸/۷، ۹/۷، ۶/۵، ۱۱/۵، ۳/۷-، ۵/۳، ۱۳/۶ درصد خواهد بود.

**سهم نویسندگان:** فاطمه جعفرزاده (نویسنده اول، مسئول) نگارنده بحث اصلی، تحلیل گر (۵۰٪)، علی محمد خورشیددوست (نویسنده دوم)، تحلیل گر (۱۵٪)، بهروز ساری صراف (نویسنده سوم)، پژوهشگر کمکی (۱۵٪)، باقر قرمز چشمه (نویسنده چهارم)، پژوهشگر کمکی، تحلیل گر (۲۰٪)

### منابع و مآخذ

- Ahmadi, M., Lashkari, H., Keykhosravi, G., & Azadi, M. (2016). Comparing the performance of LARS\_WG and RegCM4 models in simulating and post-processing of annual temperature and rainfall data in Great Khorasan. *Geographic Information Journal*, 25(98), 157-170. [DOI:10.22131/SEPEHR.2016.22144]. (Persian)
- Awal, R., Bayabil, H. K., & Fares, A. (2016). Analysis of potential future climate and climate Extremes in the Brazos Headwaters basin, Texas. *Water*, 8(12), 603. [DOI:10.3390/w8120603]
- Babaian, I., Najafineik, Z., Abbasi, F., Habeibei, M., Adab, H., & Malbisei, S. (2009). Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model. *Geography and Development Journal*, 7(16), 135-152. [DOI:10.22111/GDIJ.2009.1179]. (Persian)
- Bahri, M., & Zahedi, E. (2016). Investigation of climate change impacts on streamflow regime of a river Arazkoosheh river basin. *Researches in Geographical Sciences*, 16(42), 109-132. (Persian)
- Barzegari, F., & Maleki, H. (2016). Prediction and comparison of climate changes in mountainous and plain regions during 2010-2030 (case study: Yazd- Ardakan watershed). *Journal of the Earth and Space Physics*, 42(1), 171-182. [DOI:10.22059/JESPHYS.2016.55319]. (Persian)
- Bian, H., Lü, H., Sadeghi, A. M., Zhu, Y., Yu, Z., Ouyang, F., . . . Chen, R. (2017). Assessment on the effect of climate change on streamflow in the source region of the Yangtze River, China. *Water*, 9(1), 70. [DOI:10.3390/w9010070]
- Butterworth, M. K., Morin, C. W., & Comrie, A. C. (2016). An analysis of the potential impact of climate change on dengue transmission in the southeastern United States. *Environmental health perspectives*, 125(4), 579-585. [DOI:10.1289/EHP218Cited]
- Dalghandi, M. (2016). Envestigation of climate change effect on potential evapotranspiration. *Irrigation and Water Engineering*, 6(23), 156-167. (Persian)
- Delavar, M., Babaei, O., & Fattahi, E. (2014). Evaluation of climate change impacts on Urmia lake water level fluctuations. *Climatology Research Journal*, 1393(19), 53-65. (Persian)
- Esquivel-Arriaga, G., Sánchez-Cohen, I., López-Santos, A., Velásquez-Valle, M. A., & Bueno-Hurtado, P. (2016). Methodological approach to quantify the effect of changing climate patterns on bean crop yield in the State of Durango. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 15(1), 17-28.
- Eyni Nargese, H., Deyhimfard, R., Haghghat, S., & Nouri, O. (2015). Predicting the impacts of climate change on irrigated wheat yield in Fars province using APSIM model. *Production of Crops Journal*, 8(4), 203-224. (Persian)
- Ghermezcheshmeh, B. (2013). *Investigating the effect of uncertainty of downscaling of GCM models on temperature and precipitation*. (PhD Thesis), Tabriz University. (Persian)
- Gilanipour, J., & Gholizadeh, B. (2016). Prediction of rice water requirement using FAO-CROPWAT model in North Iran under future climate change. *Preprints*, 1-9. [DOI:10.20944/preprints201610.0134.v1]
- Hejazizadeh, Z., Hoseini, S. M., & Karbalyi Dorri, A. Z. (2015). Simulation of climate variables in semnan province with the general circulation model scenarios. *Geography and Environment Journal*, 4(15), 1-24. (Persian) [DOI:10.22067/geo.v4i3.44214]

- IPCC. (2014). *Guidance note for lead authors of the IPCC fifth assessment report on consistent treatment of uncertainties*. Cambridge University Press. Retrieved from [https://pure.mpg.de/rest/items/item\\_2147184/component/file\\_2147185/content](https://pure.mpg.de/rest/items/item_2147184/component/file_2147185/content)
- Jahanbaksh Asl, S., Khorshiddoust, A. M., Dinpashoh, Y., & Sarafrouzeh, F. (2013). Frequency analysis of climate extreme events in Zanjan, Iran. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 27(7), 1637-1650.
- Jallili, K., Moradi, H., & Bozorg Haddad, O. (2016). Assessment of climate change impacts on water resources in Islam Abad aquifer and land allocation optimization. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 5(11), 117-131. (Persian)
- Kazemirad, L., & Mohammadi, H. (2015). Assessing the appropriate model for forecasting climate change in Gilan province. *Geography and Environmental Hazard Journal*, 4(16), 55-74. [DOI:10.22067/geo.v4i4.38892]. (Persian)
- Khorshiddoust, A. M., Zanganeh, S., & Zarei, Y. (2014). *Analysis and comparison trend of changes in temperature and precipitation index in Kermanshah*. Paper presented at the Thirty -Second Gathering and the first international congress of earth sciences, Tehran. (Persian)
- Mekonnen, D. F., & Disse, M. (2016). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River Basin (UBNRB) using statistical downscaling techniques. *Hydrology and Earth System Sciences Discuss*, 22, 2391-2408. [DOI:10.5194/hess-22-2391-2018]
- Osman, Y., Al-Ansari, N., Adbellatif, M., Al-Jawad, S., & Knutsson, S. (2014). Expected future precipitation in central Iraq using LARS-WG stochastic weather generator. *Engineering*, 6(13), 948-959. [DOI:10.4236/eng.2014.613086]
- Racsko, P., Szeidl, L., & Semenov, M. (1991). A serial approach to local stochastic weather models. *Ecological Modelling*, 57(1), 27-41. [DOI:10.1016/0304-3800(91)90053-4]
- Rashidian, L., & Ebrahimi, A. (2016). Investigating Climate Change Trend Based on Data Simulation and IPCC Scenario during 2010-2030 AD: Case Study of Fars Province. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*, 10(8), 836-841.
- Rezaei Banafsheh, M., Jalali Anzorudi, T., & Zarghami, M. (2015). Investigate of climate change impacts on groundwater level in Tasuj basin by statistical downscaling method. *Water Resources Research Journal*, 11(2), 97-105. (Persian)
- Salami, H., Naseri, H. R., & Massah Bavani, A. R. (2016). The effect of uncertainty of general circulation models on forecasting of groundwater level changes. *Earth Science Research Journal*, 7(2), 56-69. (Persian)
- Samadi, S., Ehteramian, K., & Sarraf, B. S. (2011). SDSM ability in simulate predictors for climate detecting over Khorasan province. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 19, 741-749. [DOI:10.1016/j.sbspro.2011.05.193]
- Semenov, M., & Stratonovitch, P. (2010). Use of multi-model ensembles from global climate models for impact assessments of climate change. *Inter-Research Climate Research*, 41(1), 1-14. [DOI:10.3354/cr00836]
- Semenov, M. A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, 35(3), 203-212.
- Semenov, M. A., Donatelli, M., Stratonovitch, P., Chatzidaki, E., & Baruth, B. (2010). ELPIS: a dataset of local-scale daily climate scenarios for Europe. *Climate Research*, 44(1), 3-15.
- Shahni Danesh, A., Ahadi, M. S., Fahmi, H., Nokhandan, M. H., & Eshraghi, H. (2016). Climate change impact assessment on water resources in Iran: applying dynamic and statistical downscaling methods. *Journal of Water and Climate Change*, 7(3), 551-577. [DOI:10.2166/wcc.2016.045]
- Towfiqul Islam, A. R. M., Shen, S., Hu, Z., & Rahman, M. A. (2017). Drought hazard evaluation in boro paddy cultivated areas of western Bangladesh at current and future climate change conditions. *Advances in Meteorology*, 2017, 1-12. [DOI:10.1155/2017/3514381]
- Zamani Nuri, A., Farzaneh, M., & Espanayi, K. (2014). Assessment of climatic parameters uncertainty under effect of different downscaling techniques. *International Research Journal of Applied and Basic Sciences*, 8(9), 1316-1320.