



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر  
فصلنامه‌ی علمی فضای جغرافیایی

سال بیستم، شماره‌ی ۷۰  
تابستان ۱۳۹۹، صفحات ۵۹-۳۷

علی محمد خورشیددوست<sup>۱</sup>  
فاطمه جعفرزاده<sup>۲\*</sup>

## پیش بینی و تحلیل تغییرات بارش سواحل جنوبی دریای خزر به منظور برنامه‌ریزی محیطی با استفاده از مدل SDSM

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۰۲

### چکیده

بارش به‌عنوان مهم‌ترین عنصر اقلیمی سواحل جنوبی دریای خزر از توزیع زمانی و مکانی پیچیده‌ای برخوردار است. یکی از مهم‌ترین عوامل موثر در بارش‌های جوی، تغییرات اقلیمی است. در پژوهش حاضر اثر تغییرات اقلیمی بر روی بارش سواحل جنوبی دریای خزر بررسی گردید. بدین منظور داده‌های بارش ۳۲ ایستگاه باران‌سنجی و ۷ ایستگاه سینوپتیک در طی دوره‌ی آماری ۲۰۰۱-۱۹۶۱ از وزارت نیرو و سازمان هواشناسی و داده‌های مدل اقلیمی جهانی AOGCM از سایت تغییر اقلیم آمریکا گرفته شد. همچنین داده‌های مدل Had CM3 از وب‌سایت کانادایی CCCSN اخذ گردید. داده‌ها، مورد کنترل کیفی قرار گرفت و صحت داده‌ها بررسی شد. سپس ایستگاه‌های دارای طول دوره‌ی آماری بیش از ۳۰ سال برای پژوهش انتخاب گردید. پس از آماده‌سازی داده‌ها، از مدل SDSM و سناریوهای انتشار A2 و B2 برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های بارش استفاده شد. مقدار خطای برآورد مدل توسط معیارهای MBE و MAE محاسبه گردید و سپس حداقل و حداکثر دقت مدل در مقیاس ماهانه ارزیابی گردید. تغییرات درصدی مقادیر بارش دوره‌ی آتی (۲۰۰۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره‌ی پایه محاسبه گردید. نتایج یافته‌های بررسی بارش منطقه نشان می‌دهد؛ مدل NCEP در برآورد مقدار بارش انطباق بهتری با داده‌های بارش مشاهده‌ای

۱- گروه اقلیم‌شناسی گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز.

\*۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشگاه تبریز. (نویسنده مسئول).

دارد. برآورد بارش سناریوهای A2 و B2 به غیر از ماه‌های پربارش، نزدیک به بارش مشاهده‌ای است. بیش‌ترین خطای برآورد مدل Had CM3 بر اساس معیارهای MAE و MBE، در فصل پاییز اتفاق افتاده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، در مجموع درصد بارش دریافتی دوره‌ی آتی در فصول مختلف تغییر خواهد یافت. لازم می‌نماید برنامه‌ریزی‌های دقیق و مفید برای دوره‌ی آتی، جهت استفاده‌ی صحیح از مقادیر بارش دریافتی در منطقه، با آگاهی از درصد تغییرات دوره‌ی آتی صورت گیرد.

**کلید واژه‌ها:** تغییرات اقلیمی، بارش، ریزمقیاس نمایی، مدل SDSM، سواحل جنوبی دریای خزر.

#### مقدمه

در سال‌های اخیر نوسانات شدید بارش قسمت‌های مختلف کشور را متاثر کرده است. در نواحی جنوبی دریای خزر نیز، بارش به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم اقلیمی، تحت تاثیر نوسانات اقلیمی از جنبه‌های مختلف دچار تغییراتی شده است و از ابعاد مختلف اقلیمی، هیدرولوژیکی، اقتصادی، کشاورزی و... نیازمند بررسی‌های دقیق و مطلوب جهت برنامه‌ریزی می‌باشد (Ghayour et al., 2011: 7). مناطق اقلیمی مختلف ایران به درجات متفاوت از نوسانات اقلیمی جهانی متاثر شده‌اند. در نواحی جنوبی دریای خزر بیش‌تر بارش‌ها به‌صورت بارش‌های سنگین دریافت می‌شود، و قسمت اعظم این بارش‌ها قبل از این‌که مورد استفاده قرار گیرد، یا از دسترس خارج می‌شود و یا باعث وارد آمدن خسارات فراوان می‌شود. در حال حاضر در این منطقه بسیاری از برنامه‌ریزی‌های استفاده از منابع آب بر اساس میزان دریافت فعلی بارش صورت می‌گیرد، در صورتی که اگر در دهه‌های آتی بارش منطقه کاهش یابد بسیاری از این برنامه‌ریزی‌ها و طرح‌ها از لحاظ اقتصادی مورد تردید قرار خواهند گرفت و یا اگر بارش در این مناطق بیش‌تر از میزان دریافت فعلی باشد؛ با مطالعه دقیق می‌توان برنامه‌ریزی‌های سودمندی برای دوره‌های آتی انجام داد. در سال‌های اخیر نوسانات اقلیمی پارامترهای اقلیمی نواحی مختلف دنیا را تحت تاثیر قرار داده‌اند. موضوع مهم میزان و نحوه‌ی تاثیر نوسانات اقلیمی در این نواحی می‌باشد. برای برنامه‌ریزی‌های مفید و بسیار دقیق، مطالعه اثر نوسانات اقلیم جهت مشخص نمودن میزان اثر نوسانات اقلیمی در دهه‌های آتی با در نظر گرفتن تمام شرایط اقلیمی و با به‌کارگیری مدل‌های مناسب و سناریوهای دقیق از الزامات برنامه‌ریزی‌های آتی در این منطقه می‌باشد. لذا این پژوهش درصدد است تا اثر نوسانات اقلیم را بر روی بارش این منطقه با به‌کارگیری مدل‌های مناسب مورد ارزیابی قرار دهد. در مطالعات ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل‌های موجود، وسعت محدوده پیش‌بینی متغیرها در این مدل‌ها (بررسی محدوده‌هایی در حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع) است که با توجه به تغییرات توپوگرافی و اقلیم در این محدوده، نمی‌توان از نتایج حاصله مستقیماً در مقیاس ایستگاهی استفاده نمود. برای رفع این نقیصه، روش‌های مختلفی جهت تولید سناریوهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای ایجاد شده‌اند که به آن‌ها ریزمقیاس گردانی گفته می‌شود. ریزمقیاس نمایی به روش‌های مختلف آماری و

دینامیکی ممکن است. برای ریزمقیاس نمایی نیاز به انتخاب روش مناسب ریزمقیاس نمایی می باشد (Ghermez Cheshmeh 2013: 11). در این پژوهش از مدل آماری  $SDSM^3$  جهت ریزمقیاس نمایی داده های اقلیمی منطقه ی مورد مطالعه استفاده گردید. در زمینه ی بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی پارامترهای اقلیمی با استفاده از مدل های اقلیمی پژوهش های چندی در نقاط متعدد جهان انجام گرفته است، از آن جمله؛ (Sarraff and Samadi 2010) در پژوهش خود، توانایی  $SDSM$  در شبیه سازی پیش بینی کننده های اقلیمی برای تشخیص اقلیم استان خراسان را مورد بررسی قرار دادند. دوره 2001-1961 برای ارزیابی دوره مورد مطالعه، انتخاب شد. نتیجه نشان داد که توانایی خوبی در شبیه سازی پیش بینی شونده ها مانند حداقل و حداکثر دما و بارش وجود دارد و تفاوت معنی داری با مقدار 0/5 خطاهای بحرانی وجود ندارد. (Dehghanipour and Hasanzadeh 2011) از مدل  $SDSM$  برای ریزمقیاس نمایی بارش و دمای ایستگاه تبریز استفاده کردند و نتایج حاصل از مطالعه ی ایشان نشان داد که مدل  $MSDS^4$  توانایی مناسبی را در کوچک مقیاس نمودن داده های دما، تبخیر و بارش دارد. در پژوهش (Sarraff 2013) که در رابطه با مدل سازی بارش در غرب و جنوب غربی دریای خزر انجام گرفته است، میزان بارش ماهانه، فصلی و سالانه ی منطقه مورد مطالعه تهیه شد. مطالعات نشان داد که بیش ترین اثر سیستم های دریای خزر روی منطقه مورد مطالعه در ماه اکتبر، نوامبر و دسامبر (فصل پاییز) است و در این مواقع باعث وقوع بارش های سنگین در منطقه می شود. (2014) Khorshiddoust and Ghermez cheshmeh اثرات تغییرات اقلیمی بر اقلیم ایران را با استفاده از مدل های ریزمقیاس نمایی مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که خطا در تخمین بارش با فاصله از مرکز شبکه رابطه معنی داری دارد، در حالی که خطا در حداکثر درجه حرارت به ارتفاع ایستگاه مربوط است. (Dehghan and Fathian 2014) در ارزیابی مقایسه ای مدل های  $SDSM$ ،  $LARS-WG^5$  و  $IDW^6$ ، از سه مدل فوق برای ریزمقیاس کردن داده های دما و بارش ایستگاه پارس آباد استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که در مورد برآورد بارش، نتایج سه مدل فوق نتایج متفاوت قابل توجهی با هم دارند. (Zolgharnein et al 2014) از داده های مدل  $SDSM$  برای ریزمقیاس نمایی داده های بارش و دما استفاده کردند. ایشان دریافتند که عملکرد  $SDSM$  در برآورد بارش و دما بهتر از  $IARS-WG$  است، به جز این که مدل  $SDSM$  طول دوره ی تر و خشک را کمی نادیده می گیرد. (Abkar and Habibnejhad 2014) حساسیت مدل ریزمقیاس نمایی  $SDSM$  به داده های باز تحلیل شده در مناطق خشک را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که میانگین خطای مطلق حاصل از داده های بازتحلیل شده ی مدل  $CGCM^7$  برای متغیرهای دمایی متوسط حداکثر و حداقل و متوسط دمای روزانه به ترتیب معادل با 11، 5/4 و 7/4 برابر حالتی است که از داده های مدل HadCM3 استفاده می شود. همچنین، (Jahanbakhsh et al 2019) و (Taghiloo et al 2019) با استفاده از روش

4- Material Safety Data Sheet

5- Stochastic weather generator

6- Inverse Distance Weighting

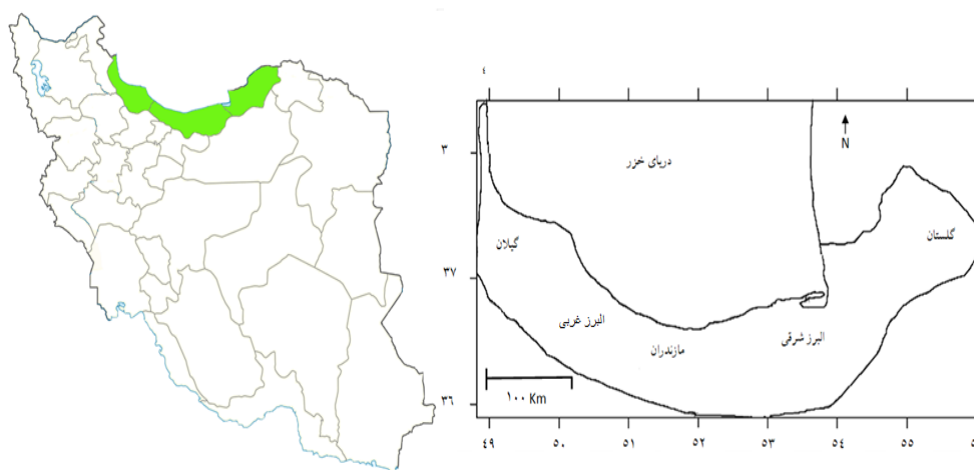
7- Coupled General Circulation Model

ریزمقیاس نمایی، تغییرات پارامترهای اقلیمی دما و بارش را مورد بررسی قرار دادند. (۲۰۱۵) Ghemchu et al روند کنونی و آینده‌ی بارش منطقه‌ی ووردا در اتوپیا با استفاده سناریوهای A2 و B2 مدل HADCM3 را بررسی کردند. بر اساس یافته‌های پژوهش، بارش سالانه در تمامی ایستگاه‌ها در شرایط فعلی روند افزایشی را نشان می‌دهد، در حالی که سناریوهای اقلیمی A2 و B2، در دوره‌ی آینده با اطمینان ۹۵ درصد، در تمامی ایستگاه‌ها کاهش محسوس بارندگی را پیش‌بینی می‌کنند. مطالعه‌ی (۲۰۱۵) Gutam که بر پایه‌ی ریزمقیاس نمایی خروجی داده‌های GCM استوار است، نتایج نشان داد که در دوره‌ی آتی، بارش‌های زمستانی در مقایسه با فصل پاییز کاهش بیشتری خواهد داشت. (۲۰۱۵) Shrestha تغییرات اقلیم بر روی بارش حوضه‌ی کارنالی در نپال را با استفاده از مدل SDSM، بررسی کرد. بررسی تغییرات اقلیمی برای سه دوره‌ی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) و (۲۰۶۱-۲۰۷۰) و (۲۱۰۰-۲۰۷۱) انجام شد. مقایسه‌ی بارش میانگین سالانه، در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، الگوی افزایشی را نشان داد. (۲۰۱۵) Hearth et al اثر تغییر اقلیم بر روی بارش منطقه‌ی ماهاولی سریلانکا را با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی SDSM بررسی کردند. بر اساس نتایج، مجموع بارش سالانه، حداکثر بارش سالانه و میانگین بارش سالانه تحت سناریوی A2 روند افزایشی را نشان می‌دهد. در مطالعه (۲۰۱۵) Ildormi اثر تغییرات آب و هوایی در تغییرات بارش حوضه آبخیز قره‌سو با استفاده از داده‌های HadCM3 تجزیه و تحلیل شد. نتایج نشان می‌دهد که در طول ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و بر اساس سناریوهای A2، B1 و A1B میانگین بارش فصلی در تمام فصول کاهش خواهد داشت. (۲۰۱۵) Shukla مقادیر بارش را با استفاده از مدل SDSM و کالیبراسیون و اعتبارسنجی متغیرهای بزرگ‌مقیاس جوی به‌وسیله‌ی سناریوی A2 مورد مطالعه قرار داد. نتایج نشان داد که میانگین دما و بارش در دوره‌ی آتی (۲۰۹۹-۲۰۱۰) افزایش خواهد داشت. (۲۰۱۵) Sobhani and Babaian نتایج دو الگوی ریزمقیاس نمایی SDSM و LARS-WG را با در نظر گرفتن تحلیل عدم قطعیت روی بارش روزانه تحلیل کردند، نتایج کلی نشان داد که مدل SDSM توانایی بهتری در برآورد دمای دو ایستگاه تبریز و ارومیه دارد، در حالی که نتایج دو مدل در تخمین بارش مشابه است. (۲۰۱۵) Rezayi et al در مطالعه‌ی خود مقادیر بارش مدل بزرگ‌مقیاس جوی HADCM3 را با استفاده از روش ریزمقیاس نمایی SDSM برای منطقه‌ی کرمان برآورد کردند. با توجه به نتایج مدل SDSM، بارش سالانه‌ی ایستگاه کرمان تا سال ۲۰۹۹ کاهش می‌یابد. در پژوهش (۲۰۱۶) Saraf، مدل ریزمقیاس نمایی SDSM به‌عنوان ابزاری برای ریزمقیاس نمایی آماری داده‌های هواشناسی در منطقه‌ی گوداواری هند مورد استفاده قرار گرفته است، تمامی سناریوهای هر دو مدل جهانی (GCM) و (HADCM3) افزایش بارش و دما در دوره‌های آتی را برآورد کردند. (۲۰۱۶) Nigatu et al جهت بررسی اثر تغییرات اقلیمی بر روی موازنه‌ی آب دریاچه‌ی تانا در اتیوپی از داده‌های اقلیمی جهانی GCM و HADCM3 استفاده کردند. نتایج نشان داد؛ بر اساس هر دو سناریو مقدار بارش در آینده افزایش خواهد داشت. (۲۰۱۶) Sarraf and Jalali در مطالعه‌ی خود اثر گرمایش جهانی بر اقلیم شهرهای واقع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بیانگر این بود که بارش متوسط در منطقه در حدود ۴ میلی‌متر در سال کاهش یافته است. (۲۰۱۶) Ajamzadeh and mollyinia اثرات تغییر اقلیم بر رواناب و بارش حوضه‌ی فیروزآباد در

استان فارس را با استفاده از مدل SDSM، ریزمقیاس کردند. نتایج مدل نشانگر این بود که میزان افزایش بارش در حدود ۲ الی ۱۲ درصد می باشد. در مطالعه‌ای که توسط Worku (۲۰۱۶) جهت بررسی تغییرات اقلیمی و تاثیر آن بر روی بارش‌های حوضه رودخانه نیل آبی انجام شد، داده‌های بارش از مدل اقلیم جهانی (GCM) و مدل HADCM3 اخذ گردید. مدل‌ها احتمال افزایش بارش در حوضه نیل آبی در آینده را تخمین زدند. موضوع تغییر اقلیم و تاثیر آن بر روی پارامترهای اقلیمی مناطق مختلف، از مسائل اساسی مورد توجه پژوهشگران است. در مناطق مختلف دنیا پژوهش‌های مختلفی در رابطه با تعیین میزان اثر تغییرات اقلیمی در حال حاضر و پیش‌بینی مقادیر پارامترهای اقلیمی با در نظر گرفتن اثرات گسترده‌ی تغییر اقلیم انجام گرفته است. آنچه واضح است، تغییر اقلیم در مناطق مختلف اثرات متفاوتی داشته است، چنانچه در برخی از مناطق با بارش‌های شدید و در برخی مناطق با کاهش بارش و افزایش دما در ارتباط است. در این میان بررسی اثر دقیق پدیده‌ی تغییر اقلیم بر روی منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ آگاهی از تغییرات آبی پارامتر بارش به منظور برنامه‌ریزی‌های آبی امری ضروری است.

#### مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه نواحی جنوبی دریای خزر در کشور ایران است که به‌طور تقریبی بین عرض جغرافیایی ۳۶ تا ۳۸ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۸/۵ تا ۵۶ درجه شرقی قرار دارد. این منطقه شامل استان‌های گیلان، مازندران و گلستان است. این محدوده در نیمه شمالی کشور ایران و نیمه جنوبی کمربند معتدله کره زمین واقع شده است. ناحیه سواحل جنوبی خزر مرطوب‌ترین ناحیه ایران به‌شمار می‌رود. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure 1: Geographical location of the study area

در مطالعه‌ی حاضر داده‌های مورد استفاده از دو منبع اخذ گردید: ۱- داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه از وزارت نیرو و سازمان هواشناسی: داده‌های ۳۲ ایستگاه باران‌سنجی و ۷ ایستگاه سینوپتیک از وزارت نیرو و سازمان هواشناسی اخذ گردید. داده‌ها از لحاظ صحت و دقت مورد بررسی قرار گرفتند و سپس داده‌های پرت حذف و داده‌های مفقود بازسازی گردید. در انتخاب ایستگاه‌ها، از ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سنجی که طول دوره آماری آن‌ها حداقل ۳۰ سال می‌باشد، استفاده شد. از بین تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، از هر استان ۳ ایستگاه انتخاب و نتایج آن‌ها در پژوهش آورده شد. در جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد استفاده درج شده است.

جدول ۱- اطلاعات جغرافیایی ایستگاه‌های باران‌سنجی  
Table 1- Geographic Information of Rainfall Stations

استان	ایستگاه	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	طول دوره
گیلان	هرابر سموش	باران‌سنجی	۵۰.۱۸	۳۶.۵۹	۸۰	۱۹۶۶-۲۰۰۱
گیلان	رشت	سینوپتیک	۴۹.۶۵	۳۷.۲	۰	۱۹۶۶-۲۰۰۱
گیلان	شاندرمن ماسال	باران‌سنجی	۴۹.۰۹	۳۷.۲۲	۶۰	۱۹۶۶-۲۰۰۱
گلستان	گرگان وشمگیر	باران‌سنجی	۵۴.۴۴	۳۷.۱۲	۱۲	۱۹۶۶-۲۰۰۱
گلستان	اینچه برون	باران‌سنجی	۵۴.۴۳	۳۷.۲۷	۱۰	۱۹۷۴-۲۰۰۱
گلستان	تمرگرگان	باران‌سنجی	۵۵.۳۰	۳۷.۲۹	۱۳۲	۱۹۶۶-۲۰۰۱
مازندران	آبلو	باران‌سنجی	۵۳.۲۹	۳۶.۶۴	۵۰	۱۹۶۹-۲۰۰۱
مازندران	گلوگاه	باران‌سنجی	۵۲.۶۵	۳۶.۳۰	۲۰۰	۱۹۶۶-۲۰۰۱
مازندران	تیرتاش	باران‌سنجی	۵۳.۷۲	۳۶.۷۲	۳۰	۱۹۶۹-۲۰۰۱

۲- خروجی مدل جهانی AOGCM: در این پژوهش از مدل HADCM3 استفاده گردید، این مدل از سایت IPCC قابل دریافت می‌باشد و شامل ۳ سری داده در برگزیده‌ی سناریوهای A2 و B2 و داده‌های NCEP می‌باشد که در

قالب ۲۶ عنصر پیش‌بینی کننده‌ی اقلیمی ارایه گردیده است. داده‌های اخذ شده دارای دقت ۳/۷۵ طولی و ۲/۵ عرضی می‌باشند و جهت استفاده موقعیت سلول مورد نظر در منطقه باید مشخص گردد.

داده‌های اخذ شده‌ی مدل جهانی AOGCM به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن در مقیاس منطقه‌ای قابل استفاده نیست و باید به وسیله‌ی مدل‌های ریزمقیاس نمایی، کوچک‌مقیاس گردیده و سپس مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش از مدل SDSM برای ریزمقیاس نمایی داده‌های بارش استفاده گردید. مدل ریزمقیاس نمایی SDSM بر اساس روابط آماری، تکنیک‌های رگرسیون چندگانه‌ی خطی بین متغیرهای بزرگ‌مقیاس و متغیرهای اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی پایه‌گذاری شده است. ابتدا مدل متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ی NCEP را کالیبره و آنالیز نموده و سپس بر اساس مدل ایجاد شده، پیش‌بینی کننده‌های GCM ها، پیش‌بینی شونده‌ی مورد نظر را شبیه‌سازی می‌نماید. در این مدل ابتدا متغیر پیش‌بینی شونده (بارش) با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی، کوچک‌مقیاس شده و سپس در محل ایستگاه مجدداً تولید گردید.

مدل SDSM عمل ریزمقیاس نمایی داده‌های GCM را در هفت مرحله‌ی خاص و جدا به شرح زیر تقسیم می‌کند: الف- کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها ب- غربالگری متغیرهای پیش‌بینی کننده ج- کالیبره کردن مدل د- تولید داده‌های آب‌وهوا ه- تحلیل‌های آماری و- نمودارسازی برای خروج مدل ز- تولید سناریو با استفاده از پیش‌بینی کننده‌های مدل اقلیمی،

در مرحله‌ی کنترل کیفیت داده‌ها، کیفیت داده‌های بارش در قسمت کنترل کیفی مدل بررسی شد. سپس در بخش غربالگری مدل، از بین ۲۶ پیش‌بینی کننده، در حدود ۴ تا ۶ مورد که بیش‌ترین همبستگی را با متغیر بارش داشتند انتخاب گردید. در این قسمت از تحقیق در حدود ۵۰ درصد از متغیرهایی که رابطه‌ی معنی‌دار با متغیر بارش نداشتند حذف شدند و از ۱۲ متغیر باقی‌مانده بر اساس میزان همبستگی، ضریب R و R جزیی حدود ۴ تا ۶ متغیر به‌عنوان متغیرهای پیش‌بینی کننده انتخاب گردیدند. در این مرحله مقدار R جزیی هر یک از پیش‌بینی کننده‌ها سنجیده شده و در نهایت در رابطه با بارش پیش‌بینی کننده‌هایی انتخاب شدند که مجموع مقدار R جزیی آن‌ها بیش‌تر از ۰/۳ بود. در مرحله‌ی واسنجی مدل، پیش‌بینی کننده‌های بزرگ‌مقیاس ناحیه‌ای (مانند فشار از سطح دریا) و داده‌های مشاهده‌ای مستقل ایستگاه (بارش) با استفاده از معادله‌ی رگرسیونی خطی چند جمله‌ای و لگاریتم ساده دوجمله‌ای برای تنظیم مدل مورد استفاده قرار گرفتند. در مرحله‌ی تولید داده‌های آب‌وهوای مصنوعی، تولید داده‌ها با استفاده از متغیرهای مشاهده‌ای بزرگ‌مقیاس جوی انجام گرفت. در این مرحله داده‌ها به‌صورت سری زمانی بررسی شده و ۷۵ درصد آن برای واسنجی و ۲۵ درصد آن برای اعتبار سنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. پس از خلاصه‌سازی داده‌های اعتبار سنجی نمودار ماهانه‌ی هر یک از متغیرهای آماری ترسیم و اختلاف آن‌ها مورد بررسی

قرار گرفت در صورتی که آماره‌های میانگین، حداکثر و واریانس مقادیر برآوردی مناسب تشخیص داده شدند، سناریوهای GCM ریزمقیاس گردیدند.

پس از اعتبارسنجی مدل بر اساس پارامترهای مدل رگرسیونی که در مرحله‌ی واسنجی مدل به دست آمده است، داده‌های سناریوهای مختلف GCM (HADCM3 سناریوی A2 و B2) شبیه‌سازی گردیدند. در این مرحله برای دوره‌ی حاضر و آتی سری زمانی تولید گردید. در نهایت در دوره حاضر با داده‌های مشاهده‌ای مانند بخش اعتبار سنجی عمل شد و دقت سناریوی A2 و B2 تحلیل شد؛ و برای دوره‌ی آتی نیز بر اساس دوره‌های تعریف شده توسط IPCC خلاصه‌سازی صورت گرفت.

در مرحله بعد، خصوصیات آماری دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده توسط مدل جهت تعیین این‌که آیا تفاوت‌های آماری قابل توجهی بین این دو گروه از داده‌ها وجود دارد یا نه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این بخش از پژوهش با استفاده از تست‌های آماری و پارامترهای آماری MAE<sup>۸</sup> و MBE<sup>۹</sup> اقدام به مقایسه میانگین‌های ماهانه هر کدام از پارامترهای هواشناسی در حالت واقعی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM گردید (فرمول ۱ و ۲).

$$MBE = \frac{1}{N} \sum (S_i - O_i) \quad \text{فرمول (۱)}$$

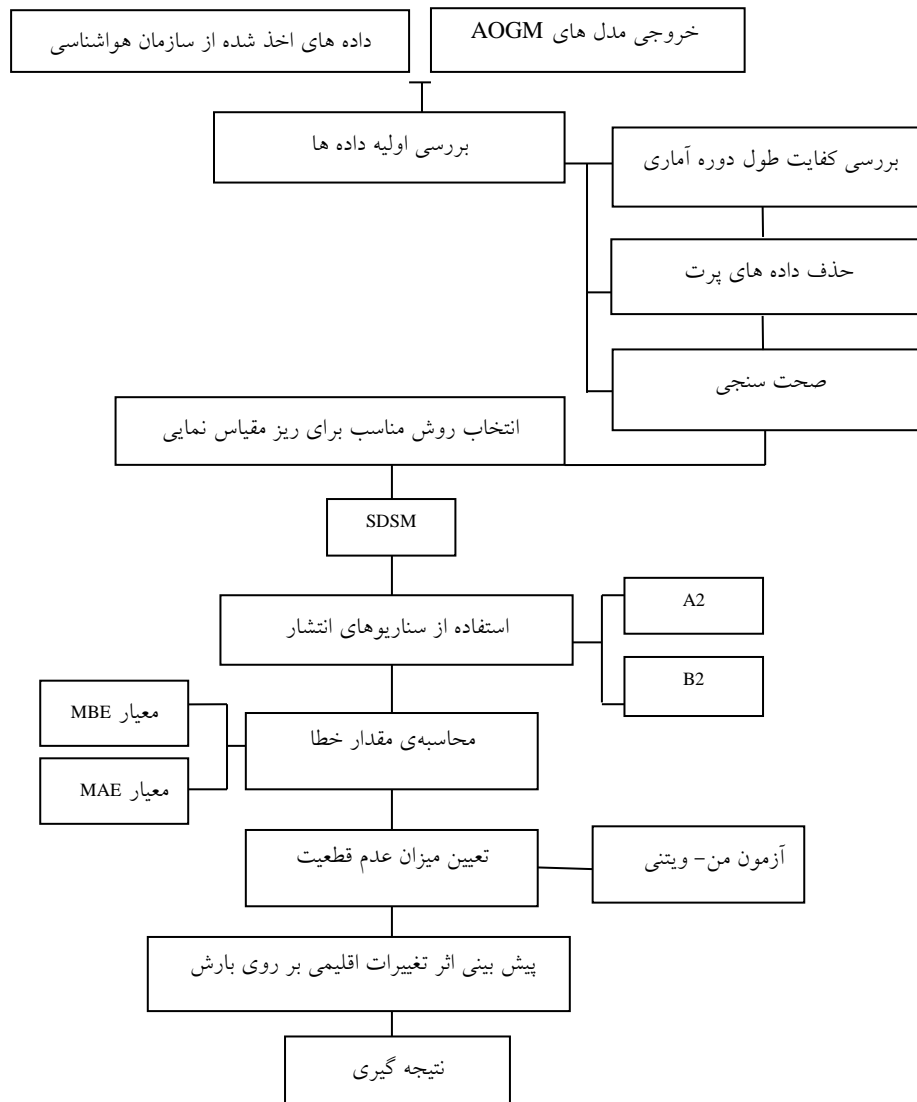
$$MAE = \frac{\sum O_i - S_i}{n} \quad \text{فرمول (۲)}$$

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.

پس از محاسبه‌ی مقدار خطای محاسبه‌ی سناریوهای A2 و B2 مدل HadCM3، حداکثر و حداقل دقت مدل در فصول و ماه‌های مختلف سال با استفاده از محاسبه‌ی تعداد تکرار ماه‌هایی که حداکثر و حداقل خطا در آن‌ها به دست آمده بود، سنجیده شد. در مرحله‌ی آخر، درصد بارش دریافتی مشاهده‌ای در فصول مختلف محاسبه شد و با مقادیر درصدی بارش فصلی برآورد شده برای دوره‌ی آتی توسط سناریوهای مدل HadCM3 مقایسه و درصد تغییرات دوره‌ی آتی به دست آمد. مراحل مختلف انجام پژوهش در فلوچارت شکل (۲) آورده است.

8- Mean Absolute Error

9- Mean Basin Error



شکل ۲: فلوچارت مراحل مطالعه

Figure 2: Flowchart of Study

## یافته ها و بحث

خصوصیات آماری ایستگاه‌های منتخب منطقه در جدول (۲) آورده شده است که بر اساس آن بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار میانگین بارش سالانه به ترتیب در ایستگاه‌های هرابرسموش و اینچه برون و معادل ۱۳۲۳ و ۲۲۲ میلی‌متر محاسبه شده است. حداکثر بارش روزانه در ایستگاه رشت و معادل ۱۸۸ میلی‌متر بوده است. واریانس بارش ایستگاه هرابرسموش بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها است که با توجه به این‌که مقدار بارش آن نیز بیش‌تر از سایر ایستگاه‌ها بوده است مقدار واریانس به‌دست آمده پذیرفته است.

جدول ۲- خصوصیات مهم آماری ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 2- Statistical Information of Selected Stations

ایستگاه	واریانس	چولگی	کشیدگی	حداکثر	مجموع	میانگین بارش سالانه
هرابر سموش	۷۶۰۲۳/۸	-۰/۰۱	۱/۰۰	۱۸۰	۴۵۳۵۷	۱۳۲۳
رشت	۵۰۷۰۶/۲	-۰/۱۴	۰/۰۲	۱۸۸	۴۶۲۲۴	۱۳۰۲
شاندرمن ماسال	۳۴۰۴۷/۵	۱/۰۶	۱/۶	۱۷۷/۶	۳۴۴۰۰	۹۶۹
گرگان وشمگیر	۸۴۴۷/۵	۰/۱۳	-۰/۳۷	۶۲	۱۱۰۷۵	۳۲۱
اینچه برون	۲۱۰۱/۷	۰/۴۶	۰/۲۶	۴۶	۵۵۶۱	۲۲۲
تمر گرگان	۱۸۸۶۰/۳	-۰/۲۱	۰/۶۰	۷۰	۱۷۱۷۱	۴۹۰
آبلو	۴۳۴۵۷/۵	۰/۶۳	۱/۶۸	۹۲	۲۱۶۷۸	۶۶۷
گلوگاه	۲۲۶۴۵/۷	۰/۹۴	۱/۱۸	۱۶۵	۲۹۳۰۴	۱۱۱۰
تیرتاش	۱۵۱۰۷/۸	-۰/۴۹	۰/۷۲	۱۲۳/۵	۱۸۶۴۱	۵۷۲

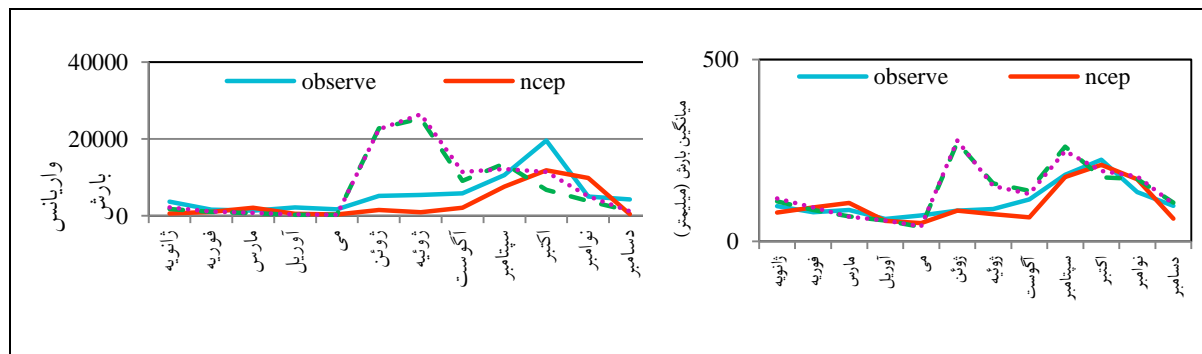
در مرحله‌ی انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها، متغیرهای پیش‌بینی کننده‌ای که قوی‌ترین همبستگی را داشتند، با استفاده از ایجاد همبستگی بین متغیرهای پیش‌بینی کننده و متغیرهای پیش‌بینی شونده، در هر ایستگاه غربالگری و انتخاب گردید (جدول ۳) که با توجه به آن، پرتکرارترین متغیرهای پیش‌بینی کننده در ایستگاه‌های مورد مطالعه، متغیرهای تاوایی در ۵۰۰ هکتوپاسکال (تعداد تکرار: ۶ ایستگاه)، متوسط دما در ارتفاع دو متری (تعداد تکرار: ۵ ایستگاه)، رطوبت ویژه یا نسبی در ۸۵۰ هکتوپاسکال (تعداد تکرار: ۶ ایستگاه) و ژئوپتانسیل ۵۰۰ هکتوپاسکال (تعداد تکرار: ۴ ایستگاه) بوده است.

جدول ۳- پیش‌بینی کننده‌های نهایی NCEP ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 3- Final predictors of NCEP in Selected Stations

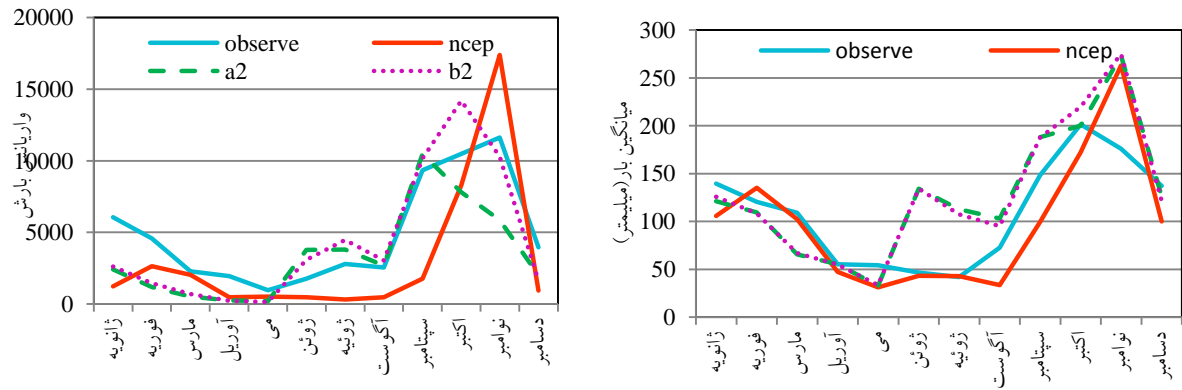
ایستگاه	متغیرهای پیش‌بینی کننده	مقدار R جزیی
هرابر سموش	Ncepp_faf- Ncepp_zaf- nceptempaf- Ncepp8_zaf- nceprhumaf-Ncepp5-zaf	۰/۴
رشت	Ncepp_faf- Ncepp_zaf-Ncepp5_faf	۰/۴
شاندرمن ماسال	Ncepp_faf- Ncepp_zaf- nceprhumaf- Ncepp500af-Ncepp_5faf	۰/۴
گرگان	Ncepp5_zaf- Nceptempaf- Ncepr850af- Nceprhumaf- Ncepp8zhaf	۰/۴
اینچه برون	Ncepp_uaf- Ncepp_zhaf- Nceptempaf- Ncepp8zhaf- Ncepr850af-Ncepp5_uaf	۰/۵
تمر گرگان	Ncepp5_zaf- Nceptempaf- Ncepr850af-Ncepp8zhaf	۰/۴
آبلو	Ncepp_zhaf- Ncepp5_uaf- Ncepr850af- Ncepp500af- Ncepp8zhaf-Ncepp5_zaf	۰/۴
گلوگاه	Ncepp5_faf- Nceptempaf- Ncepp500af- Ncepp8zhaf- Ncepr850af- Ncepp5_zaf	۰/۶
تیرتاش	Ncepr850af- Ncepp5_zaf- Ncepp500af- Ncepp8zhaf- Ncepp5_uaf	۰/۵

میانگین بارش مشاهده‌ای و مقادیر برآوردی مدل‌های NCEP و سناریوهای A2 و B2 مدل HadCM3 برای دوره‌ی پایه مقایسه و نتایج به دست آمده در قالب نمودار به تفکیک هر ایستگاه در شکل‌های (۲ تا ۱۹) آورده شده است. براساس نتایج به دست آمده، در ایستگاه هرابر سموش واریانس داده‌ها به غیر فصل پاییز بسیار کم و بسیار نزدیک به داده‌های مشاهداتی می‌باشد. مقادیر بارش محاسبه شده توسط مدل NCEP، سناریوهای A2 و B2 نیز به غیر از فصول تابستان و پاییز نزدیک مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. در ایستگاه رشت، بارش مشاهده‌ای فصل پاییز بیش‌تر از سایر فصول است، واریانس بارش مشاهده‌ای نیز در فصل پاییز زیاد است. واریانس مدل NCEP و HadCM3 در ماه نوامبر زیاد است ولی در سایر ماه‌ها کم و مشابه داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه است. نمودار میانگین و واریانس بارش ایستگاه شاندرمن ماسال بیانگر اینست که فصل پاییز پربارش‌ترین فصل سال است، مقدار نوسان بارش نیز در این فصل بیش‌تر از سایر فصول است. در این ایستگاه واریانس مدل NCEP در ماه‌های می، آگوست و نوامبر بیش‌تر از سایر ماه‌هاست. در اغلب ماه‌ها واریانس بسیار کم است. در ایستگاه گرگان و شمگیر، درکل بیش‌ترین بارش در فصل زمستان دریافت شده است. کم‌ترین مقدار بارش نیز در فصل تابستان رخ داده است. واریانس مدل NCEP و HadCM3 در تمامی ماه‌ها به غیر از ماه‌های پربارش فصل زمستان، بسیار اندک و داده‌ها بسیار نزدیک به داده‌های مشاهده‌ای است. در ایستگاه اینچه برون بارش محاسبه شده توسط مدل NCEP مشابه داده‌های مشاهده‌ای است. واریانس داده‌های برآورد شده در فصل زمستان زیاد است و به غیر از آن در سایر فصول داده‌های برآوردی بسیار نزدیک به داده‌های مشاهده‌ای است. در ایستگاه تمرگران نیز مقدار بارش محاسبه شده توسط هر دو سناریوی A2 و B2 به غیر از فصل زمستان در سایر فصول نزدیک به داده‌های مشاهده‌ای است. واریانس مدل در تمامی ماه‌ها بسیار اندک است. در ایستگاه آبلو بیش‌ترین مقدار بارش دریافتی در فصل پاییز رخ داده است و به همین علت نوسان بارش و هم واریانس بارش محاسبه شده نیز در این فصل زیاد است. در این ایستگاه واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی پس از فصل پاییز در فصل زمستان نیز زیاد است. در ایستگاه گلوگاه، واریانس داده‌های محاسبه شده توسط مدل NCEP به غیر از فصل پاییز در سایر فصول بسیار کم و مشابه داده‌های مشاهده‌ای است. در ایستگاه تیرتاش نیز، واریانس بارش در فصل پاییز و همزمان با وقوع بارش‌های فراوان، بیش‌تر از سایر فصول سال است.



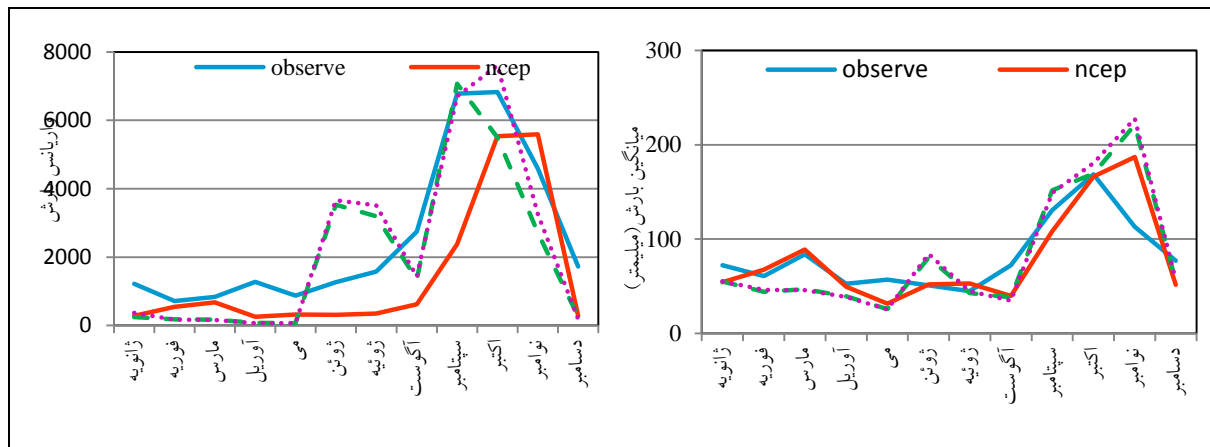
شکل ۲: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه هرابر

Figure 2: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Haraber station



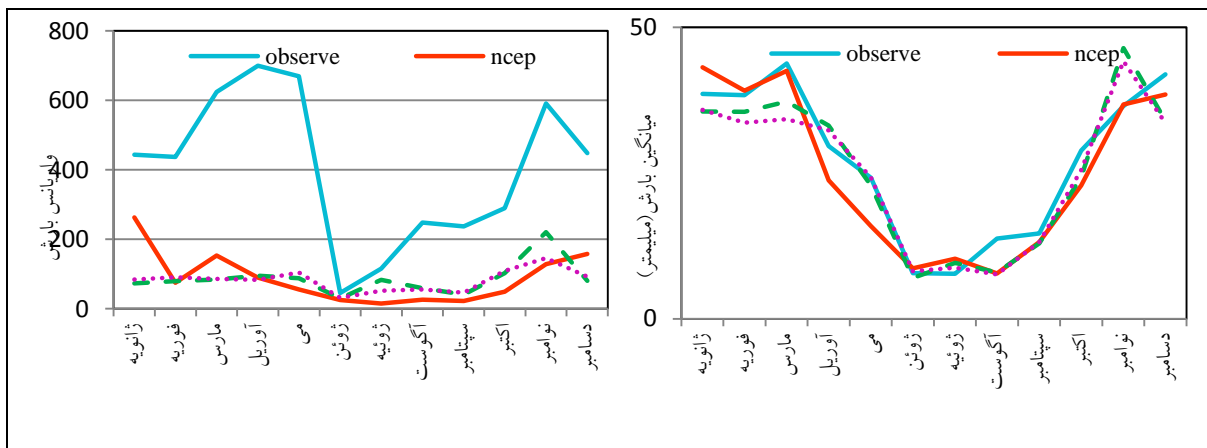
شکل ۳: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه رشت

Figure 3: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Rasht station



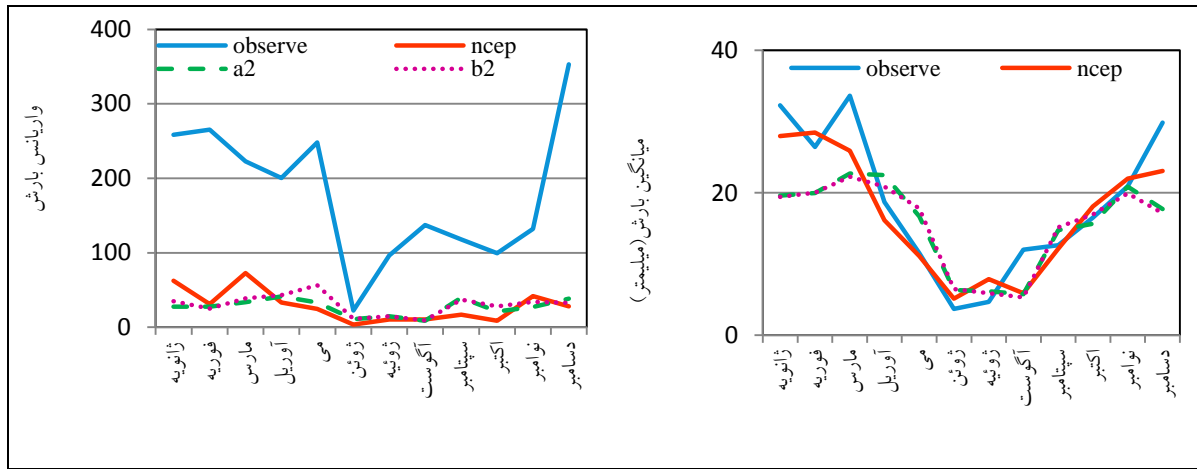
شکل ۴: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه شاندرمن

Figure 4: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Shanderman station



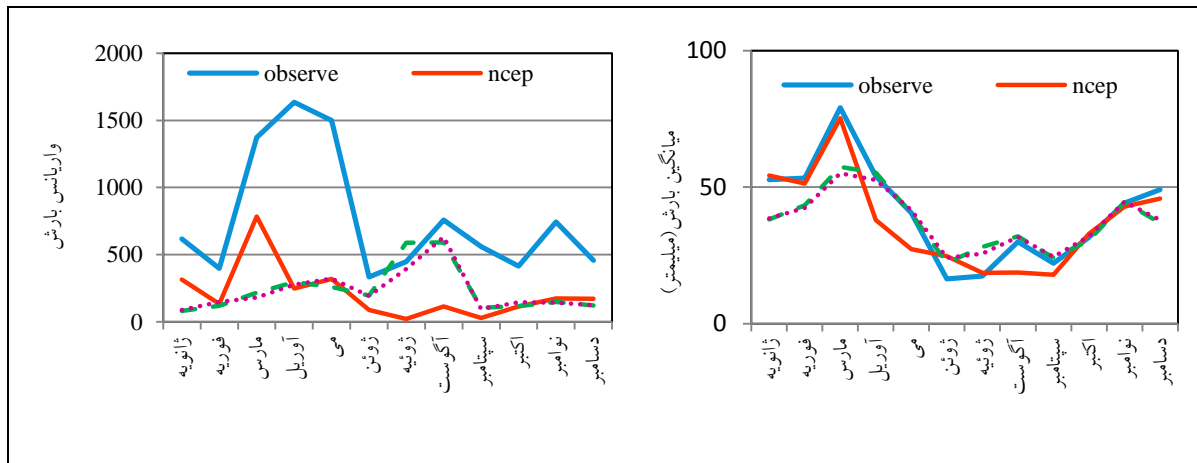
شکل ۵: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه گرگان

Figure 5: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Gorgan station



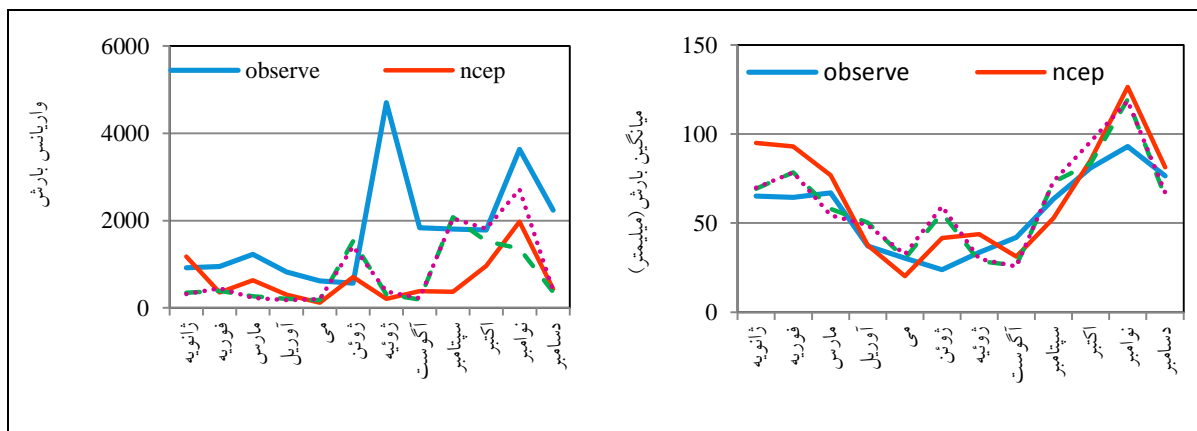
شکل ۶: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه اینچه برون

Figure 6: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Inchehbroon station



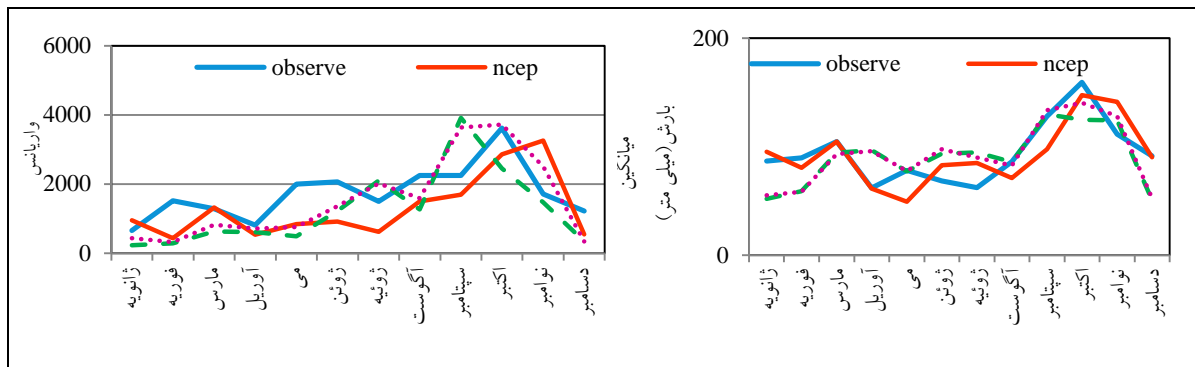
شکل ۷: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه اینچه برون

Figure 7: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Inchehbroon station



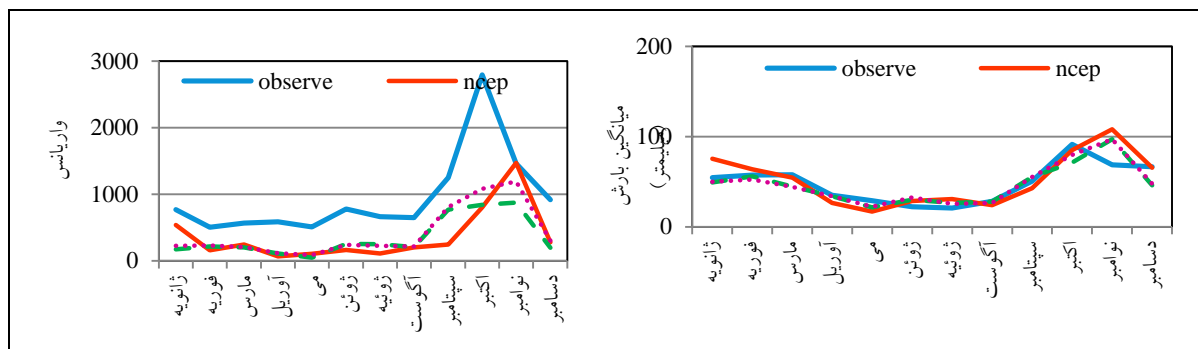
شکل ۸: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه آبلو

Figure 8: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Abaloo station



شکل ۹: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه گلوگاه

Figure 9: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Galoogh station



شکل ۱۰: میانگین و واریانس بارش مشاهده‌ای و برآوردی ایستگاه تیرتاش

Figure 10: Mean and variance of observed and estimated precipitation of Tirtash station

برای محاسبه‌ی خطا (MBE) ابتدا مجموع بارش ماهانه‌ی مشاهده‌ای و HADCM3 در هر سال استخراج گردید. سپس اختلاف بین هر یک از مدل‌ها با مشاهده‌ای محاسبه و در نهایت از خطای به‌دست آمده میانگین گرفته شد. محاسبه‌ی قدر مطلق خطا (MAE) نیز همانند محاسبه خطا صورت گرفت. فقط قدر مطلق اختلاف ماهانه دوره بین مشاهده‌ای و مدل HADCM3 در هر سال محاسبه گردید و میانگین دوره به‌عنوان قدر مطلق خطا منظور گردید. نتایج مدل‌های فوق در جدول شماره‌ی ۴ آورده شده است. مقدار خطای محاسبه‌ای مدل SDSM توسط آزمون‌های MBE و MAE در تمام ایستگاه‌های باران‌سنجی منطقه 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 و نتایج حاصل از محاسبه‌ی مقادیر خطا، به‌صورت تحلیل حداکثر و حداقل خطای ماهانه‌ی به دست آمده در هر یک از ایستگاه‌ها توسط هر دو آزمون MBE و MAE و سناریوهای A2 و B2 طبقه‌بندی گردید. همچنین تعداد تکرار هر ماه در طبقه‌بندی حداکثر و حداقل خطای ایستگاه‌ها محاسبه و هر ماه که تکرار بیشتری داشت به همراه تعداد تکرار ماه در تمام ایستگاه‌ها، در جدول (۵) آورده شد؛ که با توجه به آن در مجموع با توجه به نتایج معیار MBE در محاسبه‌ی خطای ایستگاه‌های مورد مطالعه، خطای برآورد سناریوی A2 در فصل پاییز زیاد بوده است. حداکثر خطا در این فصل در ماه نوامبر به‌دست آمد.

جدول ۴- خطای ماهانه‌ی برآورد متغیر اقلیمی بارش بر اساس معیارهای

Table 4- Monthly Error for Estimated Rainfall MBE و MAE

استان	ایستگاه	سناریو	خطا	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	
گیلان	هراند مسوش	A2	MBE	۱۲/۱	۹/۳	-۱۶/۳	-۳/۸	-۳۱/۳	۱۳۷	۵۵/۴	۱۷/۹	۱۱۴	-۴۳/۶	۳۶/۶	۱۱/۱	
		MAE	۴۷/۲	۳۸/۶	۲۹/۴	۳۱/۳	۴۴/۸	۱۸۲	۱۰۰	۸۰/۷	۱۷۲	۱۱۴	۶۴/۸	۵۴/۳		
	رشت	B2	MBE	۲۴/۹	۱۴/۴	-۱۸/۲	-۴/۶	-۲۷	۱۵۲	۴۱/۱	-۲/۷	۹۱/۸	-۱۴/۸	۴۶/۶	۴/۹	
		MAE	۵۳/۹	۴۰/۴	۳۶/۵	۳۶/۴	۳۷	۱۶۵	۹۴/۴	۸۴/۴	۱۶۱	۸۴/۴	۱۴۵	۸۱/۶	۴۹	
	گیلان	رشت	A2	MBE	-۲۱/۶	-۱۶	-۳۸/۸	-۱۴/۱	-۳۰/۳	۵۸/۳	۱۹/۹	-۲۳/۷	۲۵/۴	۱۱/۹	۸۹/۶	-۲۴/۱
			MAE	۳۱/۴	۲۵/۱	۴۱/۷	۲۵/۷	۳۳/۲	۷۰	۴۳/۲	۴۲/۲	۴۳/۷	۹۳/۳	۷۶/۶	۱۰۵	۴۰
شاندیز		B2	MBE	-۱۸/۱	-۱۶/۲	-۳۹/۳	-۱۳/۵	-۲۹/۳	۶۶/۳	۱۷/۱	-۲۹/۸	۲۲/۳	۲۶/۹	۹۲/۷	-۲۴/۴	
		MAE	۳۰/۷	۲۶/۸	۴۱/۸	۲۸	۳۱/۹	۲۸	۷۳/۶	۴۸/۵	۴۵/۶	۹۰/۳	۹۲/۷	۱۰۷	۳۹/۳	
گیلان		شاندیز	A2	MBE	-۱۹/۲	-۱۲/۹	-۴۶/۴	-۰/۳	-۲۰/۷	۸۴/۶	۶۵/۶	۲۳/۵	۳۸/۸	۲/۸	۹۳/۳	-۱۲/۳
			MAE	۷۰/۲	۶۱	۵۸/۹	۳۲/۲	۳۴/۲	۹۸/۲	۸۳/۶	۸۳/۶	۵۶	۱۱۳	۹۴/۲	۱۳۳	۵۹/۵
	ماسال	B2	MBE	-۱۵/۴	-۱۵/۲	-۴۴/۹	-۰/۵	-۲۰/۳	۸۴/۶	۸۴/۶	۵۷/۱	۱۵/۴	۴۰/۳	۲۷/۶	۹۷/۷	-۱۹/۲
		MAE	۶۳/۲	۶۷/۴	۵۸/۸	۳۵/۸	۳۰/۹	۸۸/۷	۷۵/۷	۵۶/۱	۷۵/۷	۱۱۹	۱۲۷	۱۳۳	۵۶/۸	
	گیلان	گرگان و شمشگیر	A2	MBE	۰/۹	-۶/۳	-۴/۱	۴/۲	-۴	۲/۵	۳/۴	-۵/۸	۱/۷	۰/۰۳	۵/۵	-۱۴/۴
			MAE	۱۱/۹	۱۷/۶	۱۷/۵	۱۷/۲	۱۶/۱	۸/۶	۱۳/۵	۱۳/۵	۹/۹	۱۲/۱	۱۳/۳	۲۴/۴	۲۰/۹
ایبجه برون		B2	MBE	۰/۸	-۷	-۵/۱	۲/۳	-۴/۴	۳/۱	۳/۱	۲	-۵/۸	۲/۵	-۰/۱	۵/۵	-۱۵/۷
		MAE	۱۲/۷	۱۷/۹	۱۹	۱۷/۸	۱۶/۸	۸/۳	۱۲	۸/۳	۹/۸	۱۳/۴	۱۴/۴	۱۴/۴	۲۱/۴	
گیلان		ایبجه برون	A2	MBE	-۱۱/۸	-۴/۹	-۱۱/۲	۵/۷	۵/۵	۱	۱/۸	-۵/۵	۰/۸	-۰/۹	۰/۴	-۱۱/۲
			MAE	۱۴	۱۳/۴	۱۶/۲	۱۳	۱۴	۴/۹	۴/۹	۵/۶	۹	۱۱	۶/۵	۱۰	۱۵
	نیریز	B2	MBE	-۱۲/۱	-۶/۲	-۱۴	۳/۷	۶/۴	۱/۵	۱/۵	-۷/۶	۲/۲	۲/۱	-۰/۱	-۱۲/۳	
		MAE	۱۶/۱	۱۵/۸	۱۸/۶	۱۴/۶	۱۴/۶	۱۴/۶	۴/۸	۵/۳	۴/۸	۹/۵	۱۲/۴	۱۱/۹	۱۴/۳	
	گیلان	نیریز	A2	MBE	-۱۳/۹	-۱۰/۸	-۲۱/۹	۱	-۲	۶	۱۱	-۲/۴	۰/۶	۰/۰۴	۰/۳	-۱۱
			MAE	۲۴	۱۸/۹	۳۵	۳۵	۲۶	۲۰/۳	۲۶	۲۰/۳	۲۹	۲۱/۸	۱۹	۱۷/۷	۲۴
گلرگاه		B2	MBE	-۱۴/۹	-۱۲/۲	-۲۴/۶	-۲	-۰/۷	۸	۸	-۲	-۲	۰/۲	۲	-۱۰	
		MAE	۲۳	۲۰	۳۸	۳۷	۲۹	۲۹	۲۴	۲۴/۷	۲۴	۲۴	۲۰	۱۵/۵	۲۱/۶	
مازندران		آبوا	A2	MBE	-۱/۲	۸/۳	-۱۲	۹/۶	-۰/۹	۲۷/۶	-۹/۱	-۲۰	۷/۶	۴/۵	۳۰/۸	-۱۳/۴
			MAE	۲۹/۹	۲۹/۹	۳۴/۴	۳۰	۲۱/۲	۳۷/۳	۳۸/۹	۳۷/۳	۳۲/۲	۴۷/۵	۴۶/۹	۵۷/۶	۳۸/۶
	گلرگاه	B2	MBE	۰/۱	۸/۴	-۱۷	۷/۸	۱/۴	۳۳/۶	-۷/۳	-۲۰/۹	۷/۸	۲۰/۹	۱۸/۹	-۱۰/۵	
		MAE	۲۸/۲	۳۵/۷	۳۳/۸	۳۱/۸	۲۱	۳۹/۹	۳۹/۶	۳۹/۶	۳۲/۹	۴۹/۳	۵۰	۵۰/۹	۳۷/۵	
	مازندران	گلرگاه	A2	MBE	-۲۳/۹	-۲۶/۳	-۹/۵	۳۱/۷	۰/۱	۱۹/۸	۳۴/۹	-۰/۵	۷/۷	-۲۱/۱	۱۷/۲	-۳۶/۳
			MAE	۳۷/۸	۳۷	۴۱	۳۷/۲	۴۴/۳	۴۹/۹	۴۹/۹	۵۶/۸	۴۴	۵۶/۸	۶۲/۵	۳۹/۵	۴۸/۶
نیریز		B2	MBE	-۲۸/۸	-۲۹/۳	-۱۱/۳	۳۳/۱	۱	۲۴	۲۴	-۵/۹	۱۳/۴	۵	۲۶/۷	-۳۴/۱	
		MAE	۳۵	۴۲/۵	۳۸/۴	۴۱/۹	۴۳	۵۳/۳	۵۵/۷	۴۵/۱	۵۵/۷	۵۸/۲	۷۳/۳	۵۵/۸	۴۱/۱	
نیریز		نیریز	A2	MBE	-۵/۷	-۲/۳	-۱۲/۱	-۱/۱	-۶/۷	۶/۷	۴/۴	-۱/۵	۲/۹	-۱۸/۷	۳۰/۵	-۱۸/۹
			MAE	۲۳/۷	۱۹/۳	۲۸/۴	۲۰/۷	۱۶/۶	۲۵/۶	۲۷	۲۷	۲۲	۳۱/۵	۵۰/۸	۳۸/۱	۳۲/۴
	MBE		-۵	-۵/۴	-۱۳/۹	-۰/۹	-۶/۲	۹/۸	-۶/۲	۳/۳	-۳/۳	۳/۴	-۷	۳۱/۵	-۱۵/۹	
	MAE		۲۵/۸	۲۰/۴	۲۵/۴	۲۰/۶	۱۸/۴	۲۵/۹	۲۵/۲	۲۲	۲۳/۲	۲۲	۴۸/۱	۴۳/۶	۳۱	

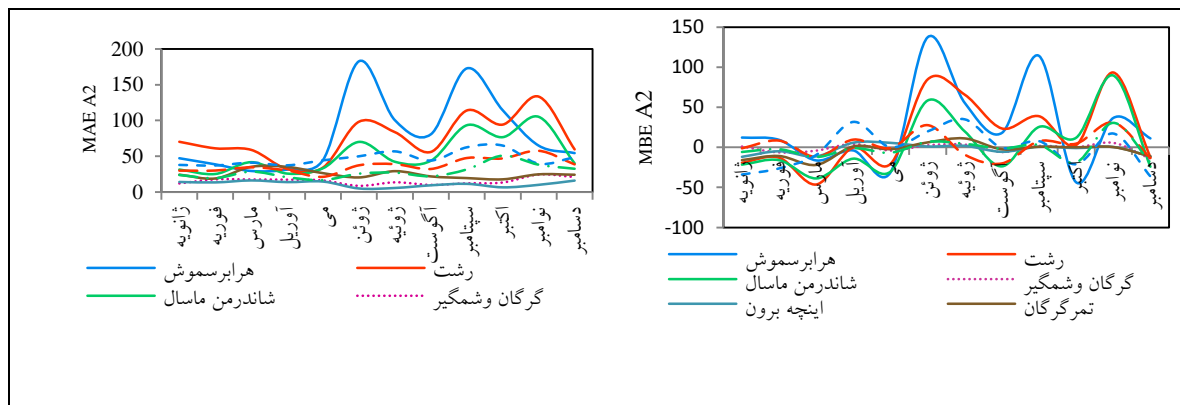
جدول ۵- حداکثر و حداقل اختلاف محاسبه شده بر اساس معیار MBE و MAE در ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 5- Estimated Minimum and Maximum Error Based on MBE and MAE Indexes

حداقل اختلاف				حداکثر اختلاف					
سناریوی B2		سناریوی A2		سناریوی B2		سناریوی A2			
MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE	MBE	MAE		
-۲/۷	۳۶/۴	-۳/۸	۲۹/۴	۱۵۲	۱۶۵	۱۳۷	۱۸۲	مقدار	هرابرسموش
	آوریل	آوریل	مارس	ژوئن	ژوئن	ژوئن	ژوئن	ماه	
-۱۳/۵	۲۶/۸	۱۱/۹	۲۵/۱	۹۲/۷	۱۰۷	۸۹/۶	۱۰۵	مقدار	رشت
	آوریل	اکتبر	فوریه، آوریل	نوامبر	نوامبر	نوامبر	نوامبر	ماه	
۰/۵	۳۰/۹	۰/۳	۳۲/۲	۹۷/۷	۱۳۳	۹۳/۳	۱۳۳	مقدار	شاندرمن ماسال
	می	آوریل	آوریل	نوامبر	نوامبر	نوامبر	نوامبر	ماه	
-۰/۱	۸/۳	۰/۳	۸/۶	-۵/۸	۲۲/۱	-۶/۳	۲۴/۴	مقدار	گرگان و شمگیر
	ژوئن	سپتامبر	ژوئن	نوامبر	نوامبر	فوریه	نوامبر	ماه	
-۰/۰۱	۴/۸	۰/۴	۴/۹	-۱۲/۱	۱۸/۶	-۱۱/۸	۱۶/۲	مقدار	اینچه برون
	نوامبر	نوامبر	ژوئن	ژانویه	مارس	ژانویه	مارس	ماه	
۰/۲	۱۵/۵	۰/۰۴	۱۷/۷	-۲۴/۶	۳۸	-۱۳/۹	۲۹	مقدار	تمرگران
	اکتبر	اکتبر	اکتبر	مارس	مارس	ژانویه	ژوئیه	ماه	
۰/۱	۲۱	-۰/۹	۲۱/۲	۳۳/۶	۵۰/۹	۳۰/۸	۵۷/۶	مقدار	آبلو
	می	می	می	ژوئن	نوامبر	نوامبر	نوامبر	ماه	
۱	۳۵	۰/۱	۳۷	۳۳/۱	۷۳/۳	۳۴/۹	۶۴/۹	مقدار	گلوگاه
	می	می	فوریه	آوریل	اکتبر	ژوئیه	اکتبر	ماه	
-۰/۹	۱۸/۴	-۱/۱	۱۹/۳	۳۱/۵	۴۳/۶	۳۰/۵	۳۸/۱	مقدار	تیرتاش
	آوریل	آوریل	فوریه	نوامبر	نوامبر	نوامبر	نوامبر	ماه	
	بهار	بهار	زمستان	پاییز	پاییز	پاییز	پاییز	فصل	فصل
	آوریل	آوریل	فوریه	نوامبر	نوامبر	نوامبر	نوامبر	ماه	ماه
۳	۳	۳	۳	۴	۵	۴	۵	تعداد	تعداد

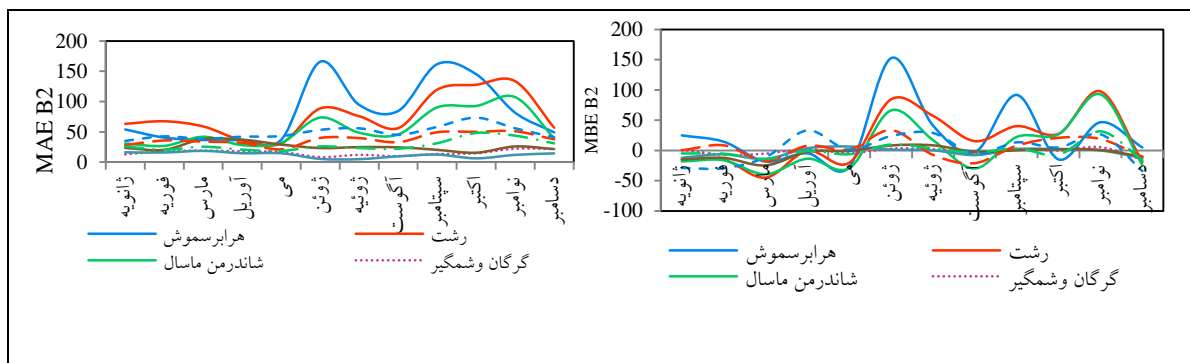
بر اساس نتایج معیار MAE و سناریوی A2 نیز، خطای برآورد در فصل پاییز و در ماه نوامبر زیاد بوده است. حداکثر خطای برآورد سناریوی B2 با استفاده از معیارهای MBE و MAE در فصل پاییز و در ماه نوامبر به دست آمد. حداقل خطای هر دو سناریو با استفاده از معیارهای فوق سنجیده شد. نتایج بیانگر این است که، خطای برآورد سناریوی A2 با توجه به محاسبات معیار MBE در فصل بهار و در ماه آوریل کم‌تر از سایر فصول و ماه‌های سال بوده است. با توجه به معیار MAE نیز دقت برآورد در فصل زمستان و در ماه فوریه بیش‌تر از سایر ماه‌ها به دست آمد. حداقل خطای برآورد سناریوی B2 با توجه به محاسبات هر دو معیار در فصل بهار و به ترتیب در ماه‌های آوریل و می به دست آمد. مقدار خطای برآورد مدل HadCM3 با استفاده از معیارهای MBE و MAE در ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه محاسبه و سپس با هم مقایسه گردید، نتایج به دست آمده در نمودارهای ۲۰ تا ۲۳ آورده

شده است. نتایج به دست آمده به خوبی بیانگر این است که در تمام ایستگاه‌ها در مواقعی از سال که بارش مشاهده‌ای دریافت شده زیاد بوده، مقدار خطای برآورد نیز زیاد بوده و مدل با دقت کم‌تری برآورد کرده است و نتایج هر دو معیار MAE و MBE در برآورد خطا به خوبی مبین این موضوع است. بدین ترتیب دقت برآورد هر دو سناریوی A2 و B2 در تمام ایستگاه‌ها در فصل پاییز کم است. در استان گلستان حداکثر میزان بارش دریافتی در فصل زمستان است، مطابق نمودار نیز حداکثر مقدار خطای برآورد مدل در ایستگاه‌های این استان در فصل زمستان مشاهده می‌شود. در ایستگاه‌های استان گیلان و مازندران از آنجایی که حداکثر بارش دریافتی در فصل پاییز است، دقت مدل نیز در این ایستگاه‌ها در فصل پاییز کم بوده است. در ایستگاه‌های استان گیلان از آنجایی که پس از فصل پاییز، مقدار بارش دریافتی فصل تابستان نیز زیاد است و از آنجایی که بیش‌تر بارش‌های این فصل به صورت بارش‌های شدید دریافت شده است، مدل توانایی تطابق کم‌تری در برآورد مقادیر بارش دوره‌ی پایه داشته است و در ایستگاه‌های شاندرمن ماسال، رشت و هرابرسموش خطای برآورد هر دو سناریو در ماه‌های فصل تابستان نیز زیاد است. همچنین با توجه به نتایج به دست آمده حداکثر خطا در ایستگاه‌های استان گیلان و حداقل خطا در ایستگاه‌های استان گلستان به دست آمد.



شکل ۱۱: مقایسه‌ی خطای برآورد سناریوی A2 توسط معیار MBE

Figure 11: Comparison of A2 scenario estimation error by MBE and MAE indices



شکل ۱۲: مقایسه‌ی خطای برآورد سناریوی B2 توسط معیار MBE

Figure 12: Comparison of B2 scenario estimation error by MBE and MAE indices

درصد بارش فصلی مشاهده‌ای برای هر کدام از ایستگاه‌ها محاسبه و همراه با مقادیر درصدی محاسبه شده توسط هر دو سناریوی A2 و B2 برای دوره‌ی آتی (۲۰۰۱-۲۱۰۰) مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در جدول (۷) نتایج فوق به صورت درصد آورده شده است. همان‌گونه که از نتایج بر می‌آید، درصد بارش فصل پاییز در استان‌های گیلان و مازندران بیش‌تر از سایر فصول است. در استان گلستان نیز درصد بارش دریافتی فصل زمستان بیش‌تر است. مقادیر درصدی بارش دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی مشاهده‌ای تغییراتی را نشان می‌دهد، از جمله بارش‌های فصل زمستان در اکثر ایستگاه‌های مورد مطالعه کاهش یافت و بر مقدار بارش فصل پاییز افزوده خواهد شد. جدول ۶- مقادیر درصدی بارش فصلی محاسبه شده توسط سناریوهای A2 و B2 در دوره‌ی آتی (۲۰۰۱-۲۱۰۰) و مقایسه با

## دوره‌ی مشاهده‌ای

Table 6- Estimated Seasonal Rain Percentage Based on A2 and B2 scenarios in Future with observed period

تیر تاش		گلوگاه		آبلو		تمرگران		اینچه برون		گرگان		شاندرمن		رشت		هرابر سمش		
B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	B2 سناریوی	A2 سناریوی	زمستان
مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	مشاهده‌ای	بهار
۲۷٪	۲۷٪	۲۹٪	۱۹٪	۲۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۲۹٪	۳۳٪	۳۳٪	۳۸٪	۳۴٪	۳۳٪	۳۳٪	۳۷٪	۳۷٪	۳۷٪	۱۵٪
۱۵٪	۱۵٪	۲۴٪	۳۳٪	۱۸٪	۱۳٪	۱۵٪	۱۳٪	۲۶٪	۲۶٪	۲۴٪	۲۴٪	۱۶٪	۲۰٪	۲۰٪	۱۹٪	۱۵٪	۱۵٪	۱۷٪
۱۷٪	۱۷٪	۲۵٪	۳۲٪	۲۵٪	۱۵٪	۱۴٪	۲۱٪	۱۴٪	۱۴٪	۱۱٪	۸٪	۸٪	۱۱٪	۳۳٪	۲۴٪	۲۵٪	۲۵٪	۴۱٪
۳۲٪	۳۲٪	۳۲٪	۳۲٪	۳۲٪	۴۲٪	۴۱٪	۳۷٪	۲۷٪	۲۵٪	۲۹٪	۳۲٪	۳۶٪	۳۵٪	۳۳٪	۴۷٪	۳۷٪	۴۰٪	تابستان
۱۸٪	۱۸٪	۱۹٪	۱۸٪	۱۹٪	۱۸٪	۱۹٪	۱۸٪	۱۹٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	۱۸٪	پاییز
۲۰٪	۲۰٪	۲۰٪	۲۰٪	۲۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	۳۰٪	

## نتیجه‌گیری

به طور کلی مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی در برآورد مقادیر بارش به دلیل پیچیدگی فرآیند بارش و تغییرات زمانی و مکانی آن ضعیف عمل می‌کنند. براساس نتایج به‌دست آمده، در ایستگاه‌های استان گیلان و مازندران واریانس بارش برآوردی توسط مدل HadCM3 در فصل پاییز و همزمان با دریافت حداکثر بارش در این موقع از سال زیاد بوده است و مدل از دقت کم‌تری در برآورد مقادیر بارش برخوردار بوده است. در استان گلستان با توجه به این‌که بیشینه‌ی بارش دریافتی در فصل زمستان است، دقت برآورد مدل نیز در این فصل پایین بوده است بطور کلی در تمام فصول همزمان با رخداد بارش‌های ناگهانی و افزایش نوسان بارش مشاهده‌ای، نوسان بارش‌های محاسبه‌ای توسط مدل‌های NCEP و HadCM3 نیز زیاد است. (نمودارهای ۲ تا ۱۹).

با توجه به محاسبه‌ی حداکثر و حداقل خطای ایستگاه‌ها توسط معیارهای MAE و MBE، حداکثر خطای برآورد مدل HadCM3 توسط هر دو معیار در فصل پاییز و در ماه نوامبر به دست آمد. حداقل خطای برآورد نیز توسط هر دو معیار در فصل بهار و ماه‌های آوریل و می و سپس در فصل زمستان به دست آمد. اختلاف بارش مشاهده‌ای و برآوردی مدل HadCM3 بر اساس معیار MAE و MBE در کل ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه مقایسه گردید که بر اساس آن، حداکثر خطا در ایستگاه‌های استان گیلان و حداقل خطا در ایستگاه‌های استان گلستان به دست آمد. بیش‌ترین مقدار خطا در ایستگاه هرابر سموش محاسبه گردید. با توجه به نتایج به دست آمده مقادیر خطا با توجه به وضعیت مورفو اقلیمی منطقه نیز قابل توجیه است (جدول ۵).

نتایج مقایسه‌ی درصدی بارش‌های مشاهده‌ای در دوره‌ی پایه با مقادیر برآوردی دوره‌ی آتی نشان داد که؛ در مجموع درصد بارش دریافتی در فصول مختلف در ایستگاه‌های مورد بررسی تغییرات محسوسی خواهد داشت، به طوری که درصد بارش دریافتی فصل زمستان از کل بارش سالانه در دوره‌ی مذکور در تمام ایستگاه‌های مورد مطالعه، کاهش خواهد یافت. مقدار کاهش درصد بارش در استان گیلان در حدود ۵/۵ درصد، در استان گلستان ۴/۵ درصد، در استان گلستان در حدود ۲ درصد خواهد بود. درصد بارش دریافتی فصل پاییز در تمام منطقه افزایش خواهد یافت. این مقدار در استان گیلان ۴/۵ درصد، در استان گلستان در حدود ۲ درصد و در استان مازندران در حدود ۲/۵ درصد خواهد بود. همچنین از سهم بارش‌های دریافتی فصل تابستان کاسته خواهد شد این در حالی است که سهم بارش دریافتی فصل بهار در حدود ۱/۵ درصد در استان گیلان، ۲/۵ درصد در استان گلستان و در حدود ۲/۵ درصد در استان مازندران افزایش خواهد داشت (جدول ۶). یافته‌های پژوهش بیانگر این است که در کل در برنامه‌ریزی‌های آتی در منطقه، نقش عوامل اقلیمی، از جمله درصد و مقادیر بارش حال حاضر و تغییرات آن در دوره‌های آتی باید مورد استفاده‌ی صحیح قرار گیرد. بر اساس تحلیل‌های انجام شده در پژوهش، در مجموع درصد بارش دریافتی فصل پاییز در منطقه افزایش خواهد یافت، این در حالی است که فصل پاییز پربارش‌ترین فصل منطقه است و در حال حاضر نیز مقادیر زیادی از بارش‌های دریافتی این فصل از سال، قبل از برنامه‌ریزی و استفاده‌ی صحیح از دسترس خارج می‌گردد. پس لازم می‌نماید برنامه‌ریزی‌های دقیق و مفید جهت استفاده‌ی صحیح از مقادیر بارش دریافتی و مدیریت بهینه در منطقه با استفاده از نتایج چنین پژوهش‌هایی صورت گیرد.

در ایران و در سایر مناطق دنیا نیز در رابطه با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی بارش و سایر پارامترهای اقلیمی، با استفاده از مدل SDSM، پژوهش‌هایی انجام گرفته است. در تمام پژوهش‌های انجام گرفته، توانایی مدل SDSM در بررسی اثر تغییرات اقلیمی تایید شده است. پژوهش‌ها بیانگر انطباق خوب مدل و برآورد دقیق بارش در ماه‌ها و فصلی است که بارش به صورت یکنواخت در طول دوره‌ی معین (فصل یا سال) توزیع شده است و رویداد ناگهانی بارش اتفاق نیفتاده باشد. در صورتی که هر زمان در دوره‌ی مورد مطالعه بارش‌های دریافت شده به صورت

ناگهانی و خارج از روال عادی ماه یا فصل مورد نظر دریافت شده باشد مدل توانایی کم‌تری در انطباق و برآورد مقادیر بارش داشته است. این پژوهش نیز نتایج پژوهش‌های انجام گرفته‌ی قبلی را تایید می‌کند. پیشنهاد می‌شود بررسی اثرات تغییر اقلیم با استفاده از مدل‌های جهانی مانند SDSM و برآورد مقادیر بارش، با در نظر گرفتن اثر سایر عوامل، از قبیل عوامل موثر محلی نیز سنجیده شود.

## References

- Abkar, A., Habibnejad, M., Soleimani, K., Naghavi, H., (2014), "Sensitivity of SDSM downscaling model to the analyzed data in arid areas", *Khoshk Boom Quarterly*, 2: 11-27.
- Ajamzadeh, A., Mollayinia, M., (2016), "Evaluation The Effects of Climate Change on River Runoff Fars Firozabad With Downscaling Atmospheric Circulation Model Outputs Using SDSM and LARS-WG", *Iran Water Resources Research*, 12: 95-109.
- Behyar, M., Kheirandish, M., Zamanian, M., (2016), "Study of the effects of climate change on the number of days of the first autumn frost and the last spring frost in Iran using the downscaling of SDSM", *Journal of Climate Research Shenasi*, 15: 128-117.
- Campozano, L., Tenelanda, D., Sanchez, E., Samaniego, E., Feyen, J., (2016), "Camparison of Statistical Downscaling Methods for Monthly Total Precipitation: Case study for the Paute River Basin in Southern Ecuador", *Hindawi Publishing Corporation Advances in Meteorology*, 13: 43-52.
- Dehghan, Z., Fathian, F., Islamian, S., (2015), "Comparative evaluation of SDSM, IDW and LARS-WG models for simulation and micro-scale of temperature and precipitation", *Journal of Soil and Water Research*, 5: 1997-1390.
- Dehghanipour, A., Hassanzadeh, M., Attari, J., Iraqinejad, Sh., (2011), "Evaluation of SDSM model capability in downscaling of precipitation, temperature and evaporation, Case study: "Tabriz Synoptic Station", *11th National Irrigation Seminar And evaporation reduction, Kerman, Shahid Bahonar University*, [https://www.civilica.com/Paper-ABYARI11-ABYARI11\\_286.html](https://www.civilica.com/Paper-ABYARI11-ABYARI11_286.html).
- Gautam, N., Arora, M., Goel, N., (2015), "Prediction of Precipitation for Considering Climate Change and GCM Outputs:Satluj River", *Journal of Ecopersia*, 4: 757-765.
- Gemechu, T., Wakbulcho, G., Rao, G., Adamu, A., (2015), "The current and Future Trend of Rainfall and Its Variability in Adami-Tulu Jidokombolocha Woreda, Central Rift Valley of Ethopia", *Journal of Environment and Earth Scienc*, 22: 54-65.
- Ghayyur, H., Masoudian, A., Azadi, M., Nouri, H., (2011), "Temporal and spatial analysis of rainfall events on the southern coests of the Caspian Sea", *Geographical Research Quarterly*, 100: 16772-16802.
- Hearth, H., Dayananda, R., (2015), "Climate Change Impact Precipitation in Upper Mahaweli Basin, 6th International Conference onStructural Engineering and Construction Management, (11th-13th December 2015), Candy,Sri Lanka.
- Ildormi, A., (2015), "Evaluation of the Climate Change Effects on Stroom Flow Using HADCM3, ECHAM4 and Neural Network Case study: Gorganroud GHarehsou Watershed", *Natural History England* , 144: 124-138.
- Jahanbakhsh, S., Khorshidoust, A., Dinpajoo, Y., Sarafrozeh, F., (2014), "Trend analysis and estimation of return periods of temperature and precipitation in Tabriz", *Journal of Geography and Planning*, 50: 133 -107.
- Jahanbakhsh, S., Tadayoni, M., Asadi, M., Dadashi, A., (2019), "Modeling and Predicting Spatial Temperature Changes in Iran Based on REGCM4 Regional Mid-Scale Model", *Journal of Geographical Space*, 67: 79-98.

- Karamaui, A., Ifaadassan, I., Babaiqi, A., Messouli, M., Khebizam, A., (2016), "Analysis of the Water Supply- Demand Relationship in the Middle Draa Valley, Morocco, Under Climate Change and Socio-Economic Scenarios", *Journal of Scientific Research and Reports*, 9: 213-22.
- Nigatu, Z., Rientjes, T., A, H., (2016), "Climate Change on Lake Tanas Water Balance, Ethiopia", *American Journal of Climate Change*, 5: 27-37.
- Pourasghar, F., Tozuka, T., Jahanbakhsh, S., Sarraf, B., Ghaem, H., & Yamagata, T., (2012), "The Interannual Precipitation Variability in the Southern Part of Iran as Linked to Large-Scale Climate Modes", *Journa of Climate Dynamics*, 39: 2329-2341.
- Rasouli, A., Rezaei Banafsheh, M., Massah Boani, A., Khorshidoost, A., Gharmez Cheshmeh, B., (2014), "Study of the effect of morpho-climatic factors on the accuracy of Lars-WG model downscaling" *Journal of Science and Engineering Watershed Management of Iran*, 4: 19-9.
- Rezaei Banafsheh, M., Rasouli, A., Survey of Boani, A., Khorshidoost, A., Qarem Cheshmeh, B., (2014), "Assessment of Uncertainty Due downscaling of GCM Models on Temperature and Precipitation Elements, Case Study: Lake Basin Urmia", PhD thesis, University of Tabriz.
- Rezaei, M., Nahtani, M., Moghadamnia, A., Abkar, A., Rezaei, M., (2015), "Comparison of artificial neural network and SDSM methods in downscaling the annual rainfall size simulated with HadCM3, a case study: Kerman, Ravar and Rabar", *Water Resources Engineering Quarterly*, 24: 40-25.
- Samadi, S., Sari Sarraf, B., (2011), "SDSM Ability in Simulate Predictors for Climate Detecting over Khorasan Province", *Procedia- Social and Behavioral Sciences*, 19: 741-749.
- Saraf, V., Regulwar, D., (2016), "Assesment of Climate Change for Precipitation and Temprature Using Statistical Downscaling Methods in Upper Godavari River Basin, India", *Journal of Water Resource and Protection*, 8: 31-45.
- Sarraf, B., Jalali, I., Sarafrozeh, F., (2015), "Effects of global warming on the climate of cities located in Lake Urmia", *Quarterly Journal of Urban Ecology Research*, 2: 33-48.
- Sarraf, B., Sobhani, M., Hosseini, A., (2012), "Modeling of rainfall in the west and southwest of the Caspian Sea using spatial interpolation methods in GIS environment", *Journal of Geography and Development*, 30: 34-23.
- Shrestha, H., Bhattarai, U., Nanda, K., Adhikarid, S. M., Devkota, L., (2015), "Impact of Climate Change on Precipitation in the Karanali Basin, Nepal", *Journal of Water and Climate Change*, 4: 422-439.
- Shukla, R., (2015), "Statistical Downscaling of Climate Change Scenarios of Rainfall and Temprature over Indira Sagar Canal Command Area in Madhay Pradesh, India. *Proceedings of the 2015 IEEE 14th International Conference on Machine Learning and Applications, IEEE Computer Society*, 313-317.
- Sobhani, B., Islahi, M., Babaian, A., (2015), "Efficiency of SDSM and LARS-WG microscale exponential models in simulating meteorological variables in the catchment area of Lake Urmia", *Journal of Natural Geography*, 45-499.
- Taghiloo, M., Alijani, B., Asakereh, H., (2019), "Study of the efficiency of the regional climate model (RegCM) in simulating the temperature and precipitation of some selected cities Iran) Case Study: 2015-2010 Period)", *Journal of Geographical Space*, 68: 95-110.

- Worku, L., (2015), "*Climate Changr Impact on Variability of Rainfall Intensity in Upper Blue Nile Basin*", Ethiopia. Second NASA-GHA Workshop on Seasonal Prediction Hydro-Climatic Extremes in Greater Horn of Africa.
- Zulkarnain, H., Shamsudin, S., Harun, H., (2014), "Application of SDSM and LARS-WG for Simulating and Downscaling of Rainfall and Temprature", *Theoretical and Applied Climatology*, 116: 243-257.