

همراه با بارش خیلی سنگین ۲۵ میلی‌متر در دوره پایه و دوره آبی حاکمی از آن بود که در مجموع در تمام ایستگاه‌های منطقه در دوره آبی بر تعداد روزهای بارش سنگین ۲۵ میلی‌متر افزوده خواهد شد.

کلید واژه‌ها: بارش‌های سنگین، تغییر اقلیم، سواحل جنوبی دریای خزر، شاخص‌های حدی بارش، R-Climdex.

مقدمه

تغییر اقلیم یکی از بزرگترین مسایل پیش روی بشر در قرن ۲۱ است. در سال ۱۹۹۵ هیات بین دولتی تغییرات آب‌وهوا (IPCC) در دومین گزارش خود تاکید کرد که اثرات انسانی به طور قابل توجهی اقلیم جهانی را تحت تاثیر قرار داده است. یکی از نتایج این تغییرات، افزایش میانگین دمای جهانی در حدود ۰/۷ درجه سلسیوس از نیمه دوم قرن گذشته است. مطالعات جدید نشان می‌دهد که افزایش درجه حرارت از دوره قبل از انقلاب صنعتی به ۰/۸۵ درجه سلسیوس رسیده است. تغییر در میانگین دما، توزیع احتمال آن را در آینده تغییر می‌دهد که می‌تواند تمام اکوسیستم را تحت تاثیر قرار دهد. این گرمایش جهانی سبب تغییر در نمایه‌های حدی اقلیمی و افزایش شدت و فراوانی وقوع رویدادهای حدی اقلیمی (سیل، خشکسالی، دماهای بالا و...) می‌شود. نمایه‌های حدی اقلیمی توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO) به عنوان پدیده‌های اقلیمی و هواشناسی نادر که فراتر یا فروتر از یک حد آستانه‌اند تعریف شده است. تغییرات در پدیده‌های اقلیمی حدی مانند دوره‌های طولانی روزهای داغ و یا روزهای بارش سنگین، آثار و آسیب‌های شدیدتری از تغییرات در میانگین‌های اقلیمی بر جوامع انسانی و محیط می‌گذارد. به همین علت مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی جوی مهم است [۱۱]. با توجه به پیچیدگی و ماهیت جهانی سیستم اقلیم، انجام فعالیت‌های مشارکتی جهت نظارت و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی ضروری است. در چهار چوب فعالیت‌های سازمان جهانی هواشناسی، پروژه‌های مشترکی بین کمیسیون اقلیم شناسی (CCL) و سازمان بررسی تغییرپذیری و پیش‌بینی پذیری اقلیم (CLIVAR) و برنامه تحقیقات جهانی (WCRP) در زمینه پایش و آشکارسازی تغییر اقلیم و نمایه‌های آن انجام شد. این پروژه‌های مشترک اقدام به نظارت و تعریف شاخص‌های اقلیمی ۲۷ هسته‌ای کرده است که عمده تاکید آن بر

پیش‌بینی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر تحت شرایط تغییر اقلیم در دوره‌های ۱۳۸۹-۱۴۰۸

علی محمد خورشید دوست^۱، بهروز ساری صراف^۲، باقر قرمز چشمه‌آو فاطمه جعفرزاده^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۰۳

چکیده

بارش‌های سنگین جزو مهمترین رویدادهای حدی اقلیمی هستند و چنانچه برنامه‌ریزی صحیح در خصوص آن به عمل نیاید ضمن وارد آوردن آثار مخرب زیست محیطی و اقتصادی، بدون بهره‌برداری از دسترس خارج خواهد شد. در پژوهش حاضر تغییرات آبی بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر با در نظر گرفتن تغییرات اقلیمی جهانی در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ پیش‌بینی گردید. به این منظور تغییرات الگوی بارش‌های ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن بر اساس داده‌های روزانه‌ی هفت ایستگاه سینوپتیک (انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت) مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های روزانه‌ی بارش در دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۶۱، پس از بررسی صحت و دقت آن‌ها، با استفاده از مدل LARS-WG شبیه‌سازی شد. پس از کنترل تطابق مقادیر شبیه‌سازی شده با داده‌های دوره‌ی حاضر، بارش روزانه در دوره‌ی آبی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) پیش‌بینی شد. سه شاخص مربوط به بارش‌های سنگین ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر، توسط مدل R-Climdex، برای دوره‌ی مشاهده‌ای و دوره‌ی محاسبه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت، نتایج نشان داد که در دوره‌ی آبی در مجموع در تمام ایستگاه‌های منطقه، از تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر کاسته خواهد شد. مقایسه‌ی میانگین تعداد روزهای همراه با بارش خیلی سنگین ۲۰ میلی‌متر و بیشتر از آن بیانگر این بود که؛ در دوره‌ی آبی در تمام ایستگاه‌های منطقه بر تعداد روزهای بارش بسیار سنگین ۲۰ میلی‌متر و بیشتر از آن افزوده خواهد شد. همچنین نتایج مقایسه و تحلیل تعداد روزهای

- ۱- استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز
- ۲- استاد اقلیم شناسی گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه تبریز
- ۳- استادیار پژوهشی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی
- ۴- نویسنده مسئول و دکترای اقلیم شناسی، دانشگاه تبریز، پست الکترونیک: f.jafarzadeh1@gmail.com

کندال و مدل R-Climdex مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که روند بارش‌های سنگین در شمال غرب این ایستگاه افزایشی است. مکاشا و همکاران [۱۴] مقادیر حدی بارش و دمای سه ایستگاه باران سنجی در اتیوپی را بررسی کردند، نتایج پژوهش ایشان حاکی از آن بود که تعداد روزها و شب‌های گرم افزایش یافته و همچنین مطابق نتایج بدست آمده، روند بارش ایستگاه افزایشی بود. کراپر و همکاران [۵] روند تغییرات اقلیمی را با استفاده از نمایه‌های مدل R-Climdex بررسی کردند، ایشان دریافتند که روند کلی و سالانه‌ی بارش در دوره‌ی آتی مثبت است. آویلا و همکاران [۲] روند اخیر مقادیر بارش جنوب برزیل را مطالعه کردند. در راستای هدف پژوهش، مقادیر بارش منطقه در طی دوره‌ی ۲۰۱۴-۱۹۷۸ توسط مدل R-Climdex بررسی شد، بر اساس نتایج بدست آمده؛ روند مقادیر بارش در کلیه‌ی فصول به غیر از زمستان افزایشی بود. ماریگی و همکاران [۱۳] روند رویدادهای حدی اقلیمی دما و بارش را در مناطق خشک و نیمه خشک جنوب شرق کینیا مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج بیانگر این بود که مقادیر بارش سالانه و تعداد روزهای همراه با بارش کاهش یافته است. اثرات تغییر اقلیم بر بارش حوضه‌ی کارنال در نپال توسط شرستا و همکاران [۲۰] مورد ارزیابی قرار گرفت، بر اساس نتایج بدست آمده، در طی دهه‌های آتی مقادیر بارش منطقه افزایش خواهد یافت. وانگ و همکاران [۲۲] در پژوهش خود تحت عنوان بررسی تغییرات رویدادهای حدی مغولستان دریافتند که، در مجموع مقادیر بارش منطقه از غرب به شرق روند کاهشی داشته است. دانوما [۶] در پژوهش خود تحت عنوان اثر تغییر اقلیم بر روی سیلاب‌های مناطق شهری، نمایه‌های مدل R-Climdex را محاسبه نمود. نتایج محاسبه‌ی شاخص PRCPTOT نشانگر روند افزایشی مقادیر کل بارش سالانه‌ی منطقه‌ی مورد مطالعه بود. شرستا و همکاران [۲۱] تغییرات مشاهده شده در دما و بارش حوضه‌ی رودخانه‌ی کوشی را در دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۷۵ مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاکی از روند مثبت روزهای گرم، شب‌های گرم و دمای سالانه‌ی حوضه‌ی مورد مطالعه بود. گامال [۹] در پژوهش خود با عنوان بررسی نمایه‌های اقلیمی و رویدادهای حدی منطقه‌ی پنینسولای مصر، از داده‌های روزانه‌ی مدل CRCM4 استفاده کرد. بر اساس نتایج؛ روند نمایه‌های SU35، TR20، TX90 و TN90 افزایشی بود. با توجه به اقلیم کوهستانی منطقه‌ی هیمالیا در نپال و حساسیت و تاثیرپذیری آن از مقادیر بارش و به تبع آن، جریان سطحی و سیلاب، کارکی و همکاران [۱۰] تغییرات بارش نپال را در شرایط تغییر اقلیم بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند بارش در پایکوه‌ها و مناطق کم ارتفاع منفی و تعداد روزهای بارانی کاهش یافته است. عرفانیان و همکاران [۸] تغییرات شاخص‌های حدی هواشناسی در استان خراسان رضوی را بررسی کردند. بر اساس نتایج حاصله، در منطقه مورد مطالعه تعداد روزهای یخبندان، روزهای یخی و وقوع دوره‌های سرد کاهش یافته است. رحیم‌زاده و همکاران [۱۷] تغییرپذیری رویدادهای حدی بارش و دمای ایران در

رویدادهای شدید اقلیمی است. نتیجه‌ی این فعالیت مشترک تولید بسته‌ی نرم‌افزاری R-Climdex است که در بستر محیط نرم‌افزاری R قابل اجرا می‌باشد. در طی سال‌های گذشته، توجه فزاینده‌ای به بررسی تغییرات رویدادهای حدی در سطح جهانی، منطقه‌ای و ملی شده است. تاثیرات اجتماعی و زیست‌محیطی رویدادهای حدی در مقیاس محلی زیاد بوده، می‌تواند مناطق خاصی را شدیداً تحت تاثیر قرار دهد [۱۷]. به نظر می‌رسد به تبع تغییرات اقلیمی، مقادیر حدی بارش نیز در مناطق مختلف تغییر کند، لذا پژوهش حاضر درصدد است تا تغییرات مقادیر بارش‌های سنگین سواحل جنوبی دریای خزر را در شرایط تغییر اقلیم در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ پیش بینی نماید. طبق تعریف CCL/CLIVAR، بارش‌های روزانه‌ی بیشتر و مساوی ده میلی‌متر جزو بارش‌های سنگین و بارش‌های بیشتر و مساوی ۲۰ میلی‌متر و ۲۵ میلی‌متر جزو بارش‌های خیلی سنگین طبقه‌بندی می‌شود. در این راستا، بارش‌های سنگین دوره‌ی پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) با استفاده از مدل R-Climdex بررسی و تحلیل می‌شود (منظور از واژه‌ی بارش‌های سنگین در این پژوهش، بارش‌های مساوی یا بیشتر از ده میلی‌متر، بیست میلی‌متر و بیست و پنج میلی‌متر است) و سپس مقادیر بارش برای آینده (۲۰۳۰-۲۰۱۱)، با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3 به همراه داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در سواحل جنوبی دریای خزر و داده‌های اولیه‌ی تولید شده بوسیله‌ی مدل LARS-WG شبیه‌سازی و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. تحلیل تغییرات روند رویدادهای حدی اقلیمی در پاسخ به تغییرات فراگیر اقلیمی جهان، توسط برخی از محققان در نقاط مختلف مورد توجه قرار گرفته است، از آن جمله، سانتوس [۱۸] روند مقادیر حدی بارش و دمای ایالت یوتای آمریکا را مورد بررسی قرار داد. در این پژوهش که از مدل R-Climdex جهت بررسی مقادیر حدی بارش و دمای منطقه استفاده شد، نتایج بیانگر افزایش دما و بارش در قرن گذشته بود. سانتوس [۱۹] تغییرات اخیر مقادیر بارش و دمای ایستگاه ساوانای برزیل را مورد بررسی قرار داد. بررسی وی نشان داد که مقادیر دمای روزانه روند افزایشی داشته است، همچنین تعداد روزهای با بارش سنگین کاهش یافته است. اثر تغییرات اقلیمی بر روی مقادیر حدی دما و بارش تايلند، توسط مایجانندی و همکاران [۱۲] مورد مطالعه قرار گرفت، جهت انجام پژوهش، مقادیر روزانه‌ی دما و بارش از خروجی مدل‌های MMS-RCM اخذ گردید. بررسی نشان داد که بیشتر مناطق شمال، شرق و شمال شرق تايلند در فصول مرطوب، مرطوب‌تر خواهند بود. ملانژاد و همکاران [۱۵] تغییرات رویدادهای حدی بارش شمال غرب ایران را در شرایط تغییر اقلیم و با استفاده از مدل R-Climdex مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس نتایج، ۹۰ درصد روزهای همراه بارش سنگین (R10mm)، و ۸۵ درصد از روزهای همراه با بارش خیلی سنگین (R20mm) در طی دوره‌ی مطالعه از روند منفی برخوردار بوده‌اند. نگویان و هوانگ [۱۶] روند بارش‌های سنگین ایستگاه هو چی مین را در دوره‌ی بین ۲۰۱۳-۱۹۸۰ با استفاده از روش من

ویژگی‌های جغرافیایی آن (جدول ۱) آورده شده است. آمار بارش روزانه‌ی مشاهده‌ای هفت ایستگاه سینوپتیک واقع در سواحل جنوبی دریای خزر جهت تهیه‌ی سری زمانی ماهانه و سالانه‌ی ۱۱ شاخص بارش سنگین در طی دوره‌ی ۲۰۱۰-۱۹۶۱ جمع‌آوری گردید. با استفاده از پایگاه داده‌های ایجاد شده، داده‌های غیرواقعی از جمله مقادیر منفی بارش و داده‌های پرت شناسایی و حذف گردید. از بین ۲۷ پارامتر ارائه شده توسط گروه CCL/CLIVAR (بخش تحقیقات هواشناسی کانادا) تحت عنوان مدل R-Climdex، ۱۱ پارامتر آن مربوط به بارش می‌باشد که در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفت.

جدول ۱. موقعیت جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های منتخب

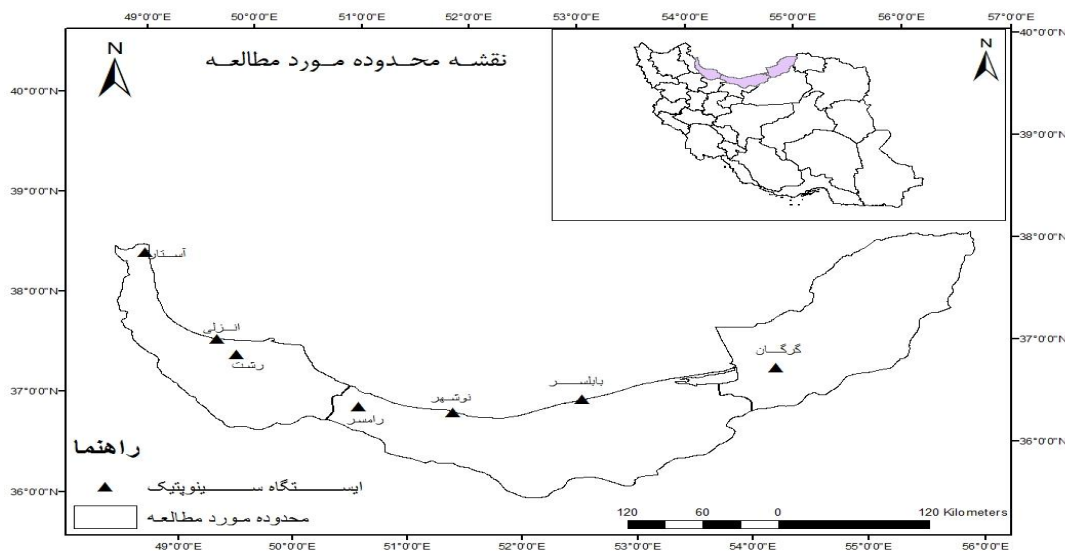
Table 1. Geographic location and elevation of selected stations

ارتفاع/متر	طول	عرض	ایستگاه	Station
Height(m)	Longitude	latitude		
-26	49.46	37.46	انزلی	Anzali
-18	48.86	38.41	آستارا	Astara
-21	52.65	36.71	بابلسر	Babolsar
13	54.26	36.85	گرگان	Gorgan
-21	51.50	36.65	نوشهر	Noshahr
-20	50.66	36.9	رامسر	Ramsar
0	49.65	37.2	رشت	Rasht

شرایط تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر را بررسی کردند، در این مطالعه روند بارش سالانه در روزهای مرطوب (PRCPTOT) مثبت ارزیابی شد. برنا و جهان [۴] در پژوهش خود با عنوان مطالعه روند تغییرات شاخص‌های حدی اقلیمی دما و بارش در جنوب غرب ایران، دریافتند که روند دمای منطقه افزایش و روند بارش کاهش یافته است. دشت بزرگی و همکاران [۷] شاخص‌های حدی اقلیمی خوزستان را با استفاده از سناریوی RCP و مدل R-Climdex شبیه‌سازی کردند، بر اساس نتایج بدست آمده شاخص‌های دوره‌ی سرد سال روند کاهشی و شاخص‌های دوره‌ی گرم، روند افزایشی را نشان می‌دهد. بر اساس پژوهش‌های پیشین، بررسی رویدادهای حدی در تمام دنیا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و امروزه به دلیل اثرات گسترده‌ی اقتصادی و اجتماعی رویدادهای اقلیمی، گرایش به مطالعه‌ی آن‌ها زیادتر شده است. تحلیل شاخص‌های بارش در شرایط تغییر اقلیم در اغلب کشورهای توسعه یافته صورت گرفته است، ولی در مناطقی که متأثر از سیستم‌های مختلف بارش باشد، کمتر بررسی شده است. منطقه‌ی سواحل جنوب دریای خزر نیز به دلیل موقعیت خود، تحت تاثیر اثرات گسترده‌ی این سیستم‌ها قرار دارد. لذا در این تحقیق سعی شده است تا با توجه به اهمیت موضوع، مقادیر بارش‌های سنگین در دوره‌ی آتی در سواحل جنوبی دریای خزر پیش‌بینی شود تا بتوان بر اساس نتایج آن برنامه‌ریزی‌های جامعی جهت کاهش اثرات نامطلوب و همچنین استفاده‌ی بهینه از شرایط پیش روی به عمل آورد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش هفت ایستگاه سینوپتیک از سه استان کشور مورد استفاده قرار گرفت. موقعیت هر یک از ایستگاه‌ها (شکل ۱)، به همراه



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک

Figure 1. Location of Synoptic stations

نتایج

ویژگی‌های آماری مقادیر بارش منطقه ارزیابی و نتایج ارائه گردید (جدول ۲)

با توجه به جدول (۲) ایستگاه انزلی و گرگان به ترتیب با میانگین سالانه‌ی ۱۷۶۴ میلی‌متر و ۶۰۴ میلی‌متر، بیشترین و کمترین مقدار بارش را در بین ایستگاه‌های منطقه در طول دوره‌ی آماری داشتند. مقدار واریانس بارش در ایستگاه نوشهر حدود ۲۵۵۷۳۲ و بیشتر از سایر ایستگاه‌هاست که نشان‌دهنده‌ی تغییرپذیری بیشتر پارامتر بارش در این ایستگاه می‌باشد.

مدل R-Climdex عملیات تحلیل روند رویدادهای حدی عنصر بارش را در دوره‌ی مشاهده‌ای و دوره‌ی آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) با بکارگیری داده‌های مشاهده‌ای و داده‌های برآوردی مدل LARS-WG تحت سه سناریوی A1B، A2، و B1 انجام داد. مقادیر خطای شیب، سطح معناداری و مقدار R2 شاخص‌های بارش سنگین منطقه محاسبه شد (جدول ۳).

با توجه به جدول (۳) در ایستگاه انزلی، در دوره‌ی حاضر، شیب برآورد شده برای تعداد روزهای همراه با بارش ۱۰ میلی‌متر، ۲۰ میلی‌متر و ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن با شیب ملایم منفی است. خطای شیب بسیار اندک بوده و با توجه به مقدار p-value بدست آمده معنی‌دار بدست نیامد. شیب برآورد شده‌ی مجموع سالانه‌ی بارش در روزهای تر (PRCPTOT)، معادل ۳/۰۸- بدست آمد که با توجه به مقادیر خطای شیب و p-value معنی‌دار نیست. شیب روند بارش‌های سنگین محاسبه شده (R2mm، R10mm، R20mm) در ایستگاه انزلی در دوره‌ی آتی به ترتیب و با شیب ملایم ۰/۰۵، ۰/۰۳ و ۰/۰۳ مثبت است. شیب روند مجموع بارش سالانه نیز مثبت برآورد

از بین ۱۱ شاخص ارائه شده، سه شاخص مربوط به بارش‌های سنگین، در پژوهش حاضر بررسی و تحلیل شد. برای تهیه‌ی سری زمانی هر کدام از شاخص‌ها و همچنین برای تعیین روند هر یک از شاخص‌ها از مدل R-Climdex استفاده گردید.

جهت بررسی روند پارامتر اقلیمی بارش در محیط نرم افزار R-Climdex از آزمون من کندال استفاده گردید. پس از انتخاب سناریوها و GCMهای مناسب برای تحلیل شرایط آتی، مدل LARS-WG جهت ریزمقیاس‌نمایی مورد استفاده قرار گرفت. برای ارزیابی دقت مدل جهت شبیه‌سازی تغییرات بارش در منطقه، ابتدا مقادیر بارش با استفاده از مدل LARS-WG برای دوره‌ی آماری پایه (۲۰۱۰-۱۹۶۱) شبیه‌سازی شد.

پس از انتخاب مدل مناسب ریزمقیاس‌نمایی، داده‌های مشاهده‌ای اخذ شده از سازمان هواشناسی مورد تحلیل قرار گرفت و ویژگی‌های آماری داده‌های بارش بررسی شد. جهت تولید داده‌های دوره‌ی آتی با استفاده از مدل LARS-WG ابتدا باید توانایی مدل در تولید داده‌های دقیق سنجیده شود. جهت بررسی توانمندی مدل، ابتدا، داده‌های بارش در دوره‌ی مشاهده‌ای شبیه‌سازی گردید و سپس داده‌های تولید شده با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه و میزان تشابه داده‌ها سنجیده شد. در مرحله‌ی بعدی داده‌های دوره‌ی آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۱) توسط مدل تولید گردید. داده‌های مشاهده‌ای اخذ شده از سازمان هواشناسی و داده‌های تولید شده برای دوره‌ی آتی به عنوان پایگاه داده‌های اولیه‌ی مدل R-Climdex مورد استفاده قرار گرفت. داده‌های دوره‌ی مشاهده‌ای توسط مدل انتخاب و تجزیه و تحلیل شد و سه شاخص مربوط به بارش‌های سنگین ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر محاسبه گردید، سپس داده‌های دوره‌ی آتی توسط مدل انتخاب و تحلیل گردید.

جدول ۲. خصوصیات آماری ایستگاه‌های منتخب

Table 2. The statistical characteristics of the selected stations

مشخصات ایستگاه	دوره آماری / سال	واریانس	چولگی	حداکثر بارش / میلی‌متر	مجموع بارش / میلی‌متر	میانگین بارش سالانه / میلی‌متر
Station	Period / year	Variance	Skewness	Maximum Rainfall / mm	Total Rainfall / mm	Average of annual Rainfall (mm)
انزلی	1961-2009	108030.6	0.731	353	86447	1764
آستارا	1986-2009	33177.2	0.254	97	30712	1279
بابلسر	1961-2009	24222.4	0.551	219	44471	907
گرگان	1961-2009	32202.4	3.149	88	32667	604
نوشهر	1977-2009	255732.4	-0.254	208	24102	964
رامسر	1961-2009	36113.3	-0.232	99	57527	1065
رشت	1961-2009	61200.7	0.642	170	72603	1344

جدول ۳. مقادیر شیب خط، خطای شیب و سطح معنی داری شاخص های بارش سنگین در دوره ی مشاهده ای و دوره ی آتی
 Table 3. Values of slope, slope of error and significant level of index rainfall heavy of level significant a and error slope, slope of Values .3 Table

شاخص حدی بارش Extreme Rainfall Index											
شاخص PRCPTOT		دوره ی آتی			دوره ی حاضر				جزئیات		
PRCPTOT Index		Future			Current period				Station		
آتی	مشاهده ای	current	R25mm	R20mm	R10mm	R25mm	R20mm	R10	Test	آزمون	ایستگاه
Future											
0.48	-3.08		0.03	0.05	0.2	-0.01	-0/06	-0.06	Slope estimate	شیب	
13.15	3.33		0.27	0.27	0.33	0.05	0.05	0.07	Slope error	خطای شیب	انزلی
0.97	0.35		0.87	0.85	0.55	0.73	0.26	0.41	P-value	سطح اطمینان	
0	1.8		0.1	0.2	1.9	0.2	2.7	1.5	R ₂	R ₂	
0.79	0.45		0.03	0.03	0.32	0.15	0.12	-0.02	Slope estimate	شیب	آستارا
11.09	5.51		0.19	0.20	0.32	0.12	0.15	0.18	Slope error	خطای شیب	Astara
0.94	0.93		0.87	0.88	0.33	0.22	0.43	0.90	P-value	سطح اطمینان	
0	0		0.1	0.1	5.2	6.6	2.9	0.1	R ₂	R ₂	
0.94	1.23		-0.04	-0.06	0.16	0.06	0.06	-0.01	Slope estimate	شیب	بابلسر
9.26	1.84		0.13	0.17	0.23	0.03	0.03	0.05	Slope error	خطای شیب	Babolsar
0.92	0.50		0.76	0.72	0.5	0.05	0.08	0.77	P-value	سطح اطمینان	
0.1	0.9		0.5	0.7	2.6	7.8	6.1	0.2	R ₂	R ₂	
-1.60	-5.6		-0.07	0.05	0.10	-0.06	-0.08	-0.20	Slope estimate	شیب	گرگان
4.10	1.39		0.07	0.08	0.13	0.02	0.03	0.04	Slope error	خطای شیب	Gorgan
0.70	0		0.30	0.50	0.44	0.01	0.01	0	P-value	سطح اطمینان	
0.8	23.7		5.8	2.5	3.3	11	11	30.7	R ₂		
0.42	21.65		-0.07	-0.02	-0.16	0.34	0.4	0.54	Slope estimate	شیب	نوشهر
6.15	13.53		0.11	0/12	016	0.17	0.20	0.36	Slope error	شیب	Noshahr
0.94	0.12		0.50	0.87	0.32	0.06	0.06	0.15	P-value	خطای شیب	
0	10		2.5	0.1	5.5	14.6	14.3	8.7	R ₂	سطح اطمینان	
-1.45	-4.83		0.02	-0.06	-0.24	-0.05	-0.06	-0.07	Slope estimate	شیب	رامسر
7.51	1.77		0.10	0.11	0.23	0.02	0.03	0/05	Slope error	خطای شیب	Ramsar
0.84	0.009		0.83	0.57	0.32	0.07	0/06	0/15	P-value	شیب	
0.2	12.3		0.2	1.8	5.3	5.8	6.3	3/8	R2	خطای شیب	
0.6	-0.59		0.12	0.28	0.17	-0.01	-0.01	-0.06	Slope	سطح اطمینان	
7.64	2.18		0.14	0.18	0.24	0.04	0.05	0.07	Slope estimate	شیب	رشت
0.93	0.78		0.40	0.13	0.49	0.68	0.85	0.37	P-value		
0	0.2		3.9	11.9	2.7	0.3	0.1	1.5	R2		

شیب روند برآورد شده برای تعداد روزهای همراه با بارش ۱۰ و ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر، در ایستگاه رشت در دوره‌ی حاضر، دارای شیب بسیار ملایم منفی است (به ترتیب، -۰/۰۶، -۰/۰۱ و -۰/۰۱) و روند شیب شاخص PRCPTOT نیز منفی است (-۰/۵۹). روند رویدادهای حدی بارش در این ایستگاه در دوره آتی با شیب ملایم مثبت و افزایشی است.

در شکل (۲) تراکم بارش‌های بیشتر از یک میلی‌متر ایستگاه انزلی در دوره‌ی پایه (A) و دوره‌ی آتی (B) بعنوان نمونه آورده شده است. بیشترین مقدار تراکم بارش دریافتی مربوط به بارش‌های ۱ تا ۲۵ میلی‌متر بوده و بارش‌های بیشتر از ۲۵ میلی‌متر از تراکم کم برخوردار بود. حداکثر مقدار بارش روزانه‌ی دریافتی در ایستگاه انزلی ۳۵۰ میلی‌متر بوده است. حداکثر مقدار بارش روزانه‌ی دوره‌ی آتی در این ایستگاه معادل ۲۰۰ میلی‌متر برآورد شده است. بررسی تراکم بارش‌های پیش‌بینی شده در دوره‌ی آتی نشانگر اینست که حداکثر فراوانی وقوع بارش، به بارش‌های با شدت کمتر از ۲۵ میلی‌متر اختصاص دارد.

در شکل (۳) توزیع سالانه‌ی بارش در روزهای همراه با بارش در طی دوره‌ی حاضر در ایستگاه انزلی به عنوان نمونه آورده شده است. تغییرات توزیع سالانه و ماهانه‌ی بارش ایستگاه انزلی بیانگر اینست که بیشترین مقدار بارش در ماه‌های فصل پاییز و کمترین مقدار در فصل بهار دریافت شده است. همچنین واریانس بارش در فصل پاییز زیاد است. نمودار توزیع بارش در دوره‌ی آتی (شکل ۴) نشان‌دهنده‌ی اینست که حداکثر بارش‌های دوره‌ی آتی در فصل پاییز دریافت خواهد شد. جداول بارش نیز در فصول گرم تابستان و بهار روی خواهد داد.

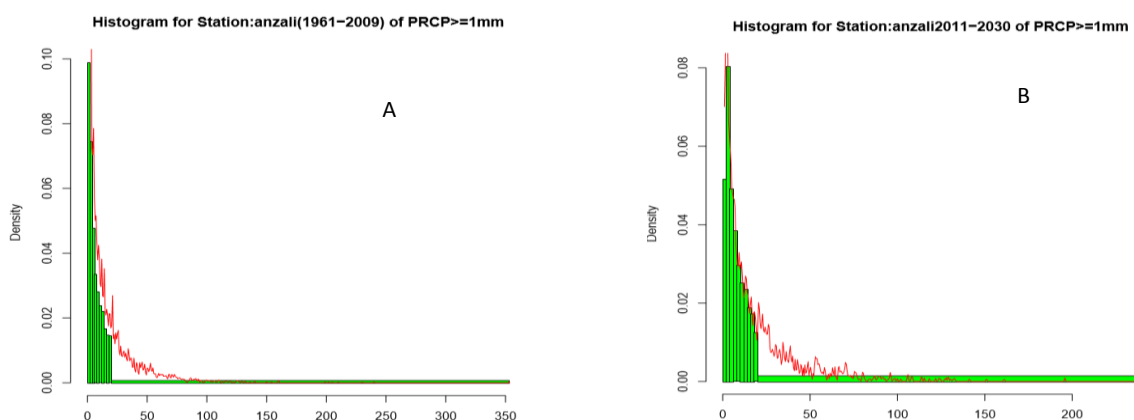
از آنجایی که بررسی شیب روند مقادیر بارش‌های سنگین ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر در دوره‌ی پایه و مقایسه‌ی آن با دوره‌ی آتی نمی‌تواند بخوبی تبیین‌کننده‌ی تغییرات آتی بارش‌های سنگین منطقه باشد، بدین جهت میانگین شاخص‌های فوق در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی محاسبه و جهت تحلیل مورد استفاده قرار گرفت و نتایج در شکل ۵ آورده شده است.

شده است. در ایستگاه آستارا، در مجموع، شیب برآورد شده‌ی بارش سالانه در دوره‌ی حاضر مثبت و معادل ۰/۳۵ بر آورد گردید. شیب برآورد شده‌ی بارش ۱۰ میلی‌متر شیب ملایم -۰/۰۲- کاهشی را نشان داد. تعداد روزهای با بارش مساوی و بیشتر از ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر در دوره‌ی حاضر با شیب ملایم ۰/۱۲ و ۰/۱۵ افزایشی بدست آمد. در این ایستگاه در دوره‌ی آتی مقدار شاخص PRCPTOT مثبت و معادل ۰/۷۹ بدست آمد.

شیب مجموع بارش سالانه در روزهای همراه با بارش (PRCPTOT) در ایستگاه بابلسردر دوره‌ی حاضر شیب ملایم مثبت را طی نموده است. شیب تعداد روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه بابلسردر با شیب بسیار ملایم ۰/۰۱ منفی است. در ایستگاه بابلسردر دوره‌ی آتی شیب روزهای با بارش ۱۰ میلی‌متر افزایشی است و شیب افزایش شاخص R10mm در حدود ۰/۱۶ است. در حالیکه روند شاخص‌های R20mm و R25mm منفی است. شیب مجموع بارش سالانه در ایستگاه بابلسردر روند مثبت را نشان می‌دهد. مقادیر شاخص‌های R20mm، R10mm و R25mm در ایستگاه گرگان در دوره‌ی حاضر، دارای روند منفی است. در این ایستگاه در دوره‌ی آتی شیب تعداد روزهای همراه با بارش ۱۰ و ۲۰ میلی‌متر مثبت محاسبه گردید. روند شاخص R25mm نیز در این ایستگاه منفی است.

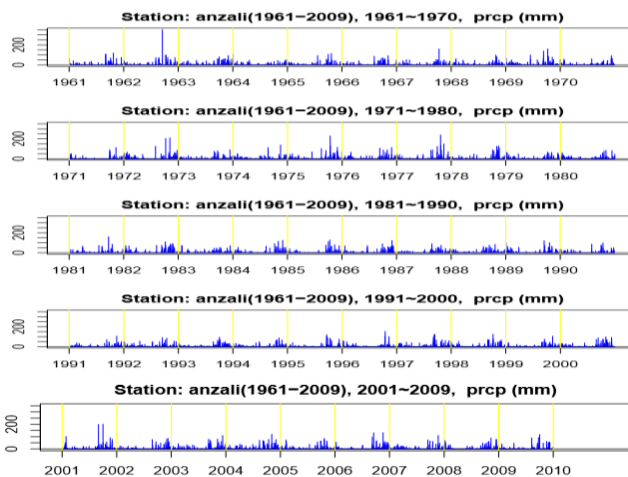
شیب بدست آمده برای بارش‌های ۱۰ و ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر در دوره‌ی حاضر در ایستگاه نوشهر (به ترتیب معادل ۰/۵۴، ۰/۴ و ۰/۳۴) مثبت است. شیب PRCPTOT محاسبه شده نیز (معادل ۲۱/۶) مثبت می‌باشد. شیب روند بارش‌های ۱۰، ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر در طی دوره‌ی آتی در این ایستگاه معادل -۰/۱۶، -۰/۰۲ و -۰/۰۷ است.

روند شیب مجموع سالانه‌ی بارش در ایستگاه رامسردر دوره‌ی حاضر معادل -۴/۸۳ است. مقادیر شیب روند بارش‌های ۱۰ و ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر، در دوره‌ی پایه به ترتیب معادل -۰/۰۷، -۰/۰۶ و -۰/۰۵ است. و در دوره‌ی آتی شیب برآورد شده مثبت است. به طور کلی مجموع مقادیر بارش سالانه‌ی شاخص PRCPTOT ایستگاه منفی است.



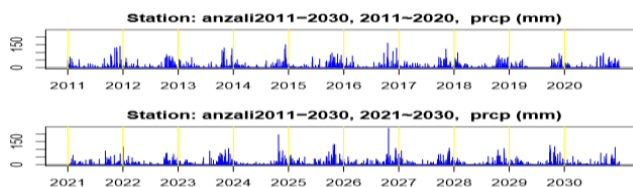
شکل ۲. توزیع بارش‌های بیشتر از یک میلی‌متر ایستگاه انزلی در دوره‌ی پایه (a) و دوره‌ی آتی (b)

Figure 2. Distribution of rainfall over 1 mm of Anzali station in the base period (A) and the upcoming period (B)



شکل ۳. توزیع ماهانه و سالانه‌ی بارش روزهای تر در دوره‌ی پایه در ایستگاه انزلی

Figure 3. Monthly and annual distribution of precipitation in the base period at Anzali Station

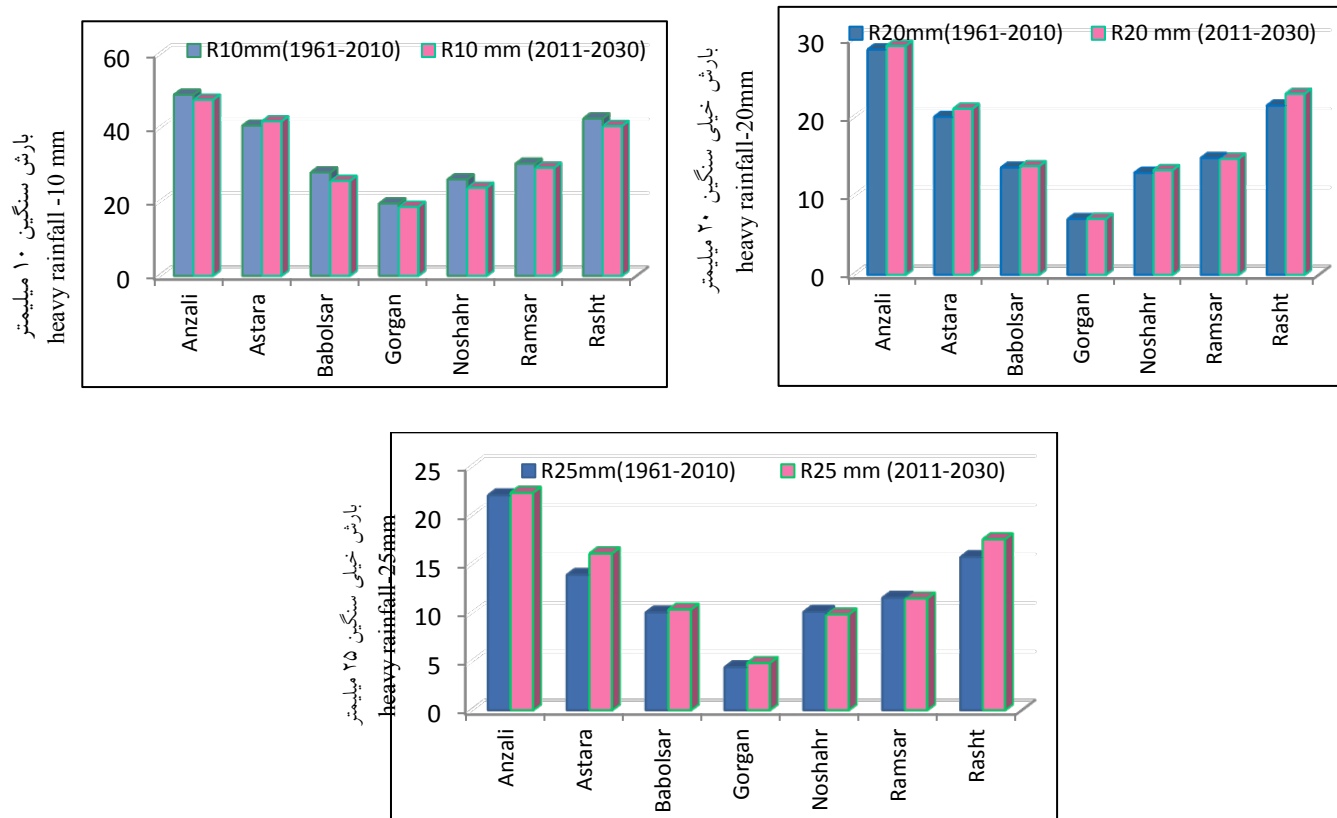


شکل ۴. توزیع ماهانه و سالانه‌ی بارش روزهای تر در دوره‌ی آتی در ایستگاه انزلی

Figure 4. Monthly and annual distribution of precipitation in the upcoming period at Anzali Station

آن در ایستگاه گرگان بوده است. در دوره‌ی آتی نیز حداکثر مقدار شاخص R20mm در ایستگاه انزلی و حداقل آن در ایستگاه گرگان برآورد شده است. مقایسه‌ی میانگین تعداد روزهای همراه با بارش خیلی سنگین ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن بیانگر اینست که در دوره‌ی آتی در تمام ایستگاه‌های منطقه بر تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن افزوده خواهد شد. تنها در ایستگاه نوشهر میانگین مقادیر بارش دوره‌ی آتی اندکی کمتر از دوره‌ی پایه بدست آمد (معادل ۰/۴ روز) که با توجه به مقدار اندک بدست آمده چندان قابل توجه نیست. میانگین تعداد روزهای با بارش بسیار سنگین ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن در دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های ایستگاه‌های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت به ترتیب معادل، ۲۲، ۱۳/۹، ۱۰، ۴/۴، ۱۰/۱، ۱۱/۵ و ۱۵/۷ روز و در دوره‌ی آتی به ترتیب معادل ۲۲/۳، ۱۶/۱، ۱۰/۳، ۴/۸، ۹/۸ و ۱۱/۵ و ۱۷/۵ روز محاسبه شده است، که به توجه به آن حداکثر و حداقل تعداد روزهای با بارش ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی به ترتیب در ایستگاه انزلی و ایستگاه گرگان برآورد شده است. نتایج متفاوت شاخص‌های R10mm و R20mm در ایستگاه‌های آستارا و نوشهر با توجه به کوتاه بودن طول دوره‌ی آماری مورد استفاده، قابل توجیه است.

مقایسه‌ی میانگین تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر، در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی مطابق شکل ۵ بیانگر اینست که؛ در دوره‌ی آتی در اکثر ایستگاه‌های منطقه به غیر از ایستگاه آستارا، از تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰ میلی‌متر کاسته خواهد شد. در ایستگاه آستارا اختلاف میانگین شاخص در دوره‌ی پایه و آتی معادل ۱/۲ روز بدست آمد. میانگین تعداد روزهای با بارش معادل ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت در دوره‌ی پایه به ترتیب معادل ۴۸/۹، ۴۰/۵، ۲۷/۹، ۱۹/۵، ۲۶، ۳۰/۲ و ۴۲/۵ روز و در دوره‌ی آتی به ترتیب معادل ۴۷/۶، ۴۱/۷، ۲۵/۶، ۷/۱، ۲۳/۸، ۲۹/۲ و ۴۰/۵ روز محاسبه گردید. با توجه به نمودار مقایسه‌ی میانگین تعداد روزهای همراه با بارش خیلی سنگین ۲۰ میلی‌متر، در مجموع در تمام ایستگاه‌های منطقه در دوره‌ی آتی بر تعداد روزهای با بارش سنگین ۲۰ میلی‌متر افزوده خواهد شد. میانگین تعداد روزهای با بارش سنگین ۲۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های انزلی، آستارا، بابلسر، گرگان، نوشهر، رامسر و رشت در دوره‌ی پایه به ترتیب معادل، ۲۸/۶، ۲۰، ۱۳/۶، ۷، ۱۲/۹، ۱۴/۸، ۲۱/۵ و در دوره‌ی آتی به ترتیب معادل ۲۹/۱، ۲۱/۱، ۱۳/۸، ۷/۱، ۱۳/۳ و ۱۴/۷ و ۲۳ میلی‌متر برآورد گردید. بدین ترتیب حداکثر مقدار شاخص R20mm در دوره‌ی پایه در ایستگاه انزلی و حداقل



شکل ۵. مقایسه‌ی میانگین تعداد روزهای همراه با بارش سنگین ۱۰، ۲۰، ۲۵ میلی‌متر، در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی

Figure 5. Comparison of the average number of days with a heavy rainfall of 10, 20, 25 mm, in the base and the future period

کاسته خواهد شد. بررسی شاخص R20mm، نشان داد که شیب شاخص در دوره‌ی آتی مثبت است و با توجه به مقایسه‌ی میانگین مقادیر شاخص در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی، در تمام ایستگاه‌های منطقه بر تعداد روزهای همراه با بارش ۲۰ میلی‌متر در دوره‌ی آتی افزوده خواهد شد. نتایج حاصل از بررسی روند شاخص R25mm در منطقه حاکی از شیب مثبت شاخص بود. با توجه به نتایج حاصل از مقایسه‌ی میانگین شاخص بارش‌های ۲۵ میلی‌متر و بیشتر از آن در مجموع در دوره‌ی آتی در تمام ایستگاه‌های منطقه بر تعداد روزهای با بارش سنگین ۲۵ میلی‌متر و بیشتر افزوده خواهد شد.

بر اساس پژوهش‌های پیشین از جمله رحیم زاده و همکاران [۱۷] و علیجانی و فرج‌زاده [۱]، عرفانیان و همکاران [۸]، کوزه‌گران و بایگی [۱۱]، مقادیر دمای بیشینه در مجموع در ایران افزایش خواهد یافت، در رابطه با بررسی بارش‌های سنگین هنوز مطالعه‌ی جامعی در ایران انجام نشده است. اندک مطالعات انجام یافته نیز تاکید دارند که از مقدار بارش دریافتی مناطق کم باران کاسته شده و در مناطق پر بارش بر میزان بارش‌های دریافتی افزوده خواهد شد [۱۵]. در این پژوهش نیز نتایج بدست آمده بیانگر اینست که در ایستگاه‌های مطالعه شده که در مجموع جزو پر بارش‌ترین ایستگاه‌های سینوپتیک کشور به شمار می‌روند تعداد رویدادهای حدی بارش‌های سنگین ۲۰ و ۲۵ میلی‌متر افزایش خواهد یافت.

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی تغییرات رویدادهای حدی اقلیمی این امکان را فراهم می‌کند تا از تغییرات ماهانه، فصلی و سالانه‌ی رویدادهای شدید اقلیمی اطلاع پیدا کرد. در این پژوهش تغییرات سه شاخص اقلیمی مربوط به بارش‌های سنگین محاسبه و روند آنها به همراه میانگین وقوع این رویدادها در دوره‌ی پایه و دوره‌ی آتی تحلیل گردید. به طور کلی شاخص روند بارش و میانگین تعداد روزهای با بارش سنگین (۲۰ و ۲۵ میلی‌متر) افزایش در تعداد و شدت بارش در ایستگاه‌های جنوب دریای خزر را نشان داد. نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های دیگران از جمله علیجانی و فرج‌زاده [۱]، رحیم‌زاده و همکاران [۱۷]، کوزه‌گران و بایگی [۱۱] و ملانژاد و همکاران [۱۵] دارای همخوانی بود.

نتایج نشان داد که در دوره‌ی آتی در مجموع از تعداد روزهای همراه با بارش ۱۰ میلی‌متر در اکثر ایستگاه‌های منطقه (به غیر از ایستگاه آستارا) کاسته خواهد شد. اگرچه شیب روند بارش 10mm در دوره‌ی آتی در ایستگاه‌های منطقه مثبت ارزیابی شد. ولی با توجه به اینکه تحلیل مقادیر بارش آتی تنها با تکیه بر شیب روند بدست آمده ممکن نیست، بنابر این میانگین شاخص در دوره‌ی حاضر و دوره‌ی آتی محاسبه و سپس مقایسه گردید که با توجه به آن از تعداد روزهای همراه با بارش ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه‌های منطقه

13. Marigi, S. N. Njogu, A. K. & Githungo, W. N. 2016. Trends of Extreme Temperature and Rainfall Indices for Arid and Semi-Arid Lands of South Eastern Kenya. *Journal of Geoscience and Environment Protection* . 4: 158-171.
14. Mekasha, A. Yirga, C. Tesfaye, K. Nigatu, L. Duncan, A. 2016. Perception of climate extreme trends over three Ethiopian eco-environments: Comparison with records and analysis of determinant. *Journal of Agricultural Biotechnology and Sustainable Development* . 8(7): 53-66.
15. Molanejad, M. Soltani, M. Ranjbar SaadatAbadi, A. 2014. Changes in precipitation extremes in climate variability over northwest Iran. *International Journal of Agricultural Policy and Research* . 2(10): 334-345. (In Persian)
16. Nguyen khoi, D. Thi Trang, H. 2016. Analysis of changes in precipitation and extremes events in Ho Chi Minh City, Vietnam. *Sustainable Development of Civil, Urban and Transportation Engineering conference*. 27:1-8.
17. Rahimzadeh, F. Asgari, A. Fattahi, A. Mohamadian, N. Taghipour, A. 2014. The trend of climatic extreme profiles in Iran during the period 1951-2003. *Journal of Geographical Research*. 93: 15717- 15742. (In Persian)
18. Santos, C. A. 2011. Trend in Indices for Extreems in Daily Air Temperature over Utah, USA. *Revista Brasileira de Meteorologia* . 26: 19-28.
19. Santos, C. A. 2014. Recent Changes in Temprature and Precipitation Extrems in an Ecological Reservein FederalL District, Brazil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 29:13-20.
20. Shrestha, A. B. Bajracharya, S. R. Sharma, A. R. Duo, C. Kulkarni, A. 2016. Observed trends and changes in daily temperature and precipitation extremes over the Koshi river basin1975–2010. *International Journal of Climatology* .17: 1-18.
21. Shrestha, H. Bhattarai, U. Dulal, K. N. Adhikari, S. Marahatta, S. & Devkota, L. P. 2016. Impact of Climate Change on Precipitation in Karnali Basin, Nepal. *Journal of Climate* . 4:1-14.
22. Wang, L. Yao, Z. j. Guang, L. Wang, R. Wu, S. S. & Feo Liu, Z. 2016. Changes in Climate Extremes and Catastrophic Events in the Mongolian Plateau from 1951 to 2012. *Journal of Applied Meteorology and Climatolog* . 55(5): 1169-1182.
1. Alijani, B. Farajzadeh, H. 2015. The trend analysis of the northern temperature of Iran. *Journal of Geography and Planning*. 52: 229-256. (In Persian)
2. Ávila, A. Justino, F. Wilson, A. Bromwich, D. Amorim, M. 2016. Recent Precipitation Trends Flash Floods and Landslides in Southern Brazil. *Environmental Research Letters* . 11: 1-16.
3. Barzegari, F. Malekinejad, H. 2016. Study and comparison of climate change in plains and mountains in the period 2030-2010. *Journal of Earth and Space Physics*. 42: 171-182. (In Persian)
4. Borna, R. Jahan, A. 2015. Study of the Changes of Climatic Indicators of Temperature and Precipitation in Southwest Iran (Case Study: Bushehr Province). *Journal of Natural Geography*. 28: 43-64. (In Persian)
5. Cropper, T. E. & Cropper, P. 2016. A 133-Year Record of Climate Change and Variability from Sheffield, England. www.mdpi.com/journal/climate . 4(46): 1-23.
6. Danumah, J. H. 2016. Assessing Urban Flood Risks under Changing Climate and Land Use in Abidjan District, South Cote d'Ivoire. PHD Thesies.
7. Dashtbozorgi, A. Alijani, B. Jafarpour, z. 2015. Simulation of temperature extremes index of Khuzestan province based on RCP scenario. *Journal of Geography and environmental hazards*. 16: 105-123. (In Persian)
8. Erfanian, M. Ansari, H. Alizadeh, A. Benayan aval, M. 2014. Investigation of Changes in Meteorological Meteorological Indices in Khorasan Razavi Province. *Journal of Irrigation and Drainage*. 4: 817- 825. (In Persian)
9. Gamal, G. 2017. Future Analysis of Extreme Temperature Indices for Sinai Peninsula-Egypt. *Imperial Journal of Interdisciplinary Research (IJIR)* . 3:1960-1966.
10. Karki, R. ul Hasson, S. Schickhoff, U. & Scholten, T. 2017. Rising Precipitation Extremes across Nepal. <http://www.mdpi.com/journal/climate> . 5,4: 1-25.
11. Koozegaran, S. Mousavai bayegi, M. Investigating the trend of extreme weather events in northeastern Iran. 2015. *Journal of Soil and Water*. 3: 750- 764. (In Persian)
12. Maijandee, S. Kreasuwun, J. Komonjinda, s. & Promnopas, W. 2014. Effect of Climate Change on Future Rainfall Indices over Thiland. *Global NEST Journal* . 16: 306-315.