نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و دوم، شماره سوم، ۱۳۹٤
http://jwsc.gau.ac.ir

پیش‌بینی بارش‌های سنگین با توجه به تأثیرات تغییر اقلیم قرن ۲۱ در ایستگاه‌های منتخب استان گلستان

***بهناز یازرلو[۱]، مهدی ذاکری‌نیا[۲]، محمد عبدالحسینی[۲] و حسین شریفان[۳]**

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲]استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳]دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۳/۲/۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۲۸

چکیده

سابقه و هدف: استفاده بیش از حد از سوخت‌های فسیلی، افزایش جمعیت جهان و گسترش روزافزون فعالیت‌های صنعتی، موجب شده پس از انقلاب صنعتی به‌تدریج تغییرات مشهودی در اقلیم کره زمین به‌وجود آید. تغییر اقلیم باعث تغییر در رژیم هیدرولوژی و افزایش رخداد بارش‌های سنگین شده و انتظار می‌رود پدیده‌های حدی در دهه‌های آتی روند افزایشی یابند. در نتیجه توجه به تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر به‌علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی و خسارات مالی مربوط به رویدادهای حدی جوی، اهمیت زیادی پیدا کرده و در سال‌های اخیر به دغدغه اصلی اقلیم‌شناسان و سران کشورهای جهان تبدیل شده است. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در ایستگاه‌های منتخب استان گلستان در سه دوره آتی می‌باشد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش ایستگاه‌های منتخب استان گلستان در سه دوره آتی ۲۰٤۰-۲۰۱۱، ۲۰۷۰-۲۰٤۱، ۲۱۰۰-۲۰۷۱ تحت دو سناریوی انتشار A_1 و B_2 بررسی گردید و تحلیل این تغییرات بر روی وقایع حدی بارش در این مناطق انجام شد. لازم به ذکر است در این پژوهش از داده‌های بارش بانک اطلاعاتی واحد پژوهش اقلیمی CRU و روش ریزمقیاس نمایی مکانی تناسبی و زمانی عامل تغییر استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج کلی بررسی‌ها بیش‌ترین افزایش میانگین بارش سالانه را در ایستگاه بندرترکمن به‌میزان ۱۷/٦ درصد و بیش‌ترین کاهش را در ایستگاه پیش‌کمر حدود ۱۳/۱ درصد در دوره دور و تحت سناریو A_1 پیش‌بینی کردند. همچنین تعداد وقایع حدی بارش هرچه به اواخر قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم در ایستگاه‌ها افزایش یافته که شرایط بارش حادتر تحت سناریو A_1 در ایستگاه‌های مرطوب و تحت سناریوی B_2 در ایستگاه‌های نیمه‌خشک انتظار می‌رود. مقایسه سهم بارش حدی از بارش روزهای تر با حالت مشاهداتی نشان می‌دهد که میزان این سهم برای ایستگاه‌های مرطوب نسبت به مشاهداتی تغییر محسوسی نکرده است؛ اما در ایستگاه‌های نیمه‌خشک در دوره دور حدود دو یا سه برابر دوره مشاهداتی انتظار داریم.

نتیجه‌گیری: بارش‌های سنگین، طبق سناریو A_1 در ایستگاه‌های مرطوب و تحت سناریو B_2 در ایستگاه‌های نیمه‌خشک، افزایش خواهد یافت که وضعیت این شرایط در آینده دور حادتر می‌باشد که بیانگر تأثیر زیاد تغییر اقلیم

---

* مسئول مکاتبه: yazarloobehnaz@yahoo.com

در آینده بر روی بارش‌های سیل‌آسا می‌باشد. طبق نتایج این پژوهش هرچه به انتهای قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم، احتمال وقوع بارش‌های سیل‌زا در استان تحت‌تأثیر پدیده تغییر اقلیم افزایش می‌یابد و با توجه به پتانسیل سیل‌خیزی استان گلستان که در کشور مقام پنجم را دارد، نیاز است که به این مسأله بیش از پیش توجه شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، رویدادهای حدی جوی، CRU، ریزمقیاس نمایی، سناریوی انتشار

مقدمه

امروزه موضوع تغییر اقلیم بر همگان روشن است و پیامدهای آن نه تنها در سطوح جامعه بلکه در زندگی روزمره انسان‌ها آشکار است، در نتیجه باید تأثیرات پدیده تغییر اقلیم به بحث و چالش کشیده شود؛ زیرا تأثیرات منفی این پدیده بر اقلیم کره زمین و سیستم‌های دیگر شامل منابع آب، کشاورزی، محیط زیست، صنعت، بهداشت و اقتصاد، به سبب نگرش جوامع بر توسعه سریع صنعت و توجه کم‌تر به محیط زیست، شدت گرفتن آن را به‌دنبال داشته است. واضح است که در چنین شرایطی، آگاهی داشتن از آثار منطقه‌ای و جهانی پدیده تغییر اقلیم بر روندهای هیدرولوژیکی و منابع آبی اهمیت زیادی می‌یابد. تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به‌گونه‌ای که احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب نسبت به مقادیر گذشته آن افزایش یافته است (12). از آن‌جایی‌که اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی بهنجار تنظیم شده‌اند، در زمان رخداد این پدیده‌ها، به ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند، در نتیجه تغییر در زمان وقوع رویدادهای حدی اغلب می‌تواند آثار چشمگیری بر اکوسیستم‌ها و جامعه نسبت به تغییر در شرایط متوسط جوی داشته باشد. از این‌رو مطالعه رویدادهای حدی- پدیده‌هایی نادر، شدید و غیرمعمول فیزیکی بوده که از یک آستانه فراتر می‌رود- ضمن فهم الگوی زمانی مکانی آن‌ها می‌توانند ما را در مدیریت، محافظت در قبال آن‌ها و کاهش اثرات آن یاری دهد. با توجه به این‌که مقدار و زمان وقوع بارندگی مهم‌ترین نقش را در نحوه مدیریت منابع آب یک منطقه دارد و کم‌ترین تغییر در میزان بارش ضربه‌های شدیدی به بخش‌های کشاورزی و اقتصادی می‌زنند، پیش‌بینی و پیش آگاهی بارش‌های شدید و سیلابی با توجه به تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی، می‌توانند اطلاعات مفیدی برای برنامه‌ریزی شهری، بهره‌برداری از زمین، سیل و مدیریت منابع آب در یک حوضه ارائه دهد.

مطالعه تغییرپذیری و تغییر رفتار رویدادهای حدی اقلیمی مهم است. این مسأله از زمانی‌که برخی مدل‌های اقلیمی نشان دادند که تغییرات اقلیمی در قرن ۲۱ سبب افزایش در فراوانی رویدادهای فرین می‌شود، بیش‌تر مورد توجه و دقت قرار گرفت. برای نمونه در ذیل بخشی از پژوهش‌های انجام‌یافته در این زمینه ذکر گردیده است:

فرزانه و همکاران (2012)، به بررسی مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد برای دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ پرداختند. بدین منظور در این پژوهش از ۵ مدل GCM[1] مختلف که در گزارش ارزیابی سوم IPCC ارائه شده بود استفاده شد، که نتایج نشان داد که مدل HADCM3 تطابق بیش‌تری را با داده‌های مشاهداتی دارد (10). در پژوهش دیگری اسماعیلی و همکاران (2011)، تغییرات دو عنصر اقلیمی مهم دما و بارندگی

1- GCM: General Circulation model

و تعدادی از شاخص‌های اقلیمی برگرفته از این دو عامل را با استفاده از داده‌های خروجی مدل اقلیمی ECHO-G GCM برای دوره اقلیمی آینده (۱۴۱۸-۱۳۸۹) تحت سناریوی A_1 ارزیابی کردند. اگر چه نتایج محاسبات بیانگر افزایشی ۷ میلی‌متری در متوسط بارندگی سالانه است، اما به نظر نمی‌رسد این مقدار بتواند آثاری ناشی از افزایش ۰/۵ درجه‌ای درجه حرارت را تعدیل کند. ضریب تغییرات بارندگی ۱/۵ درصد افزایش خواهد یافت که بیانگر نامنظم‌تر شدن بارندگی خواهد بود. شاخص بارش‌های سنگین که باعث وقوع سیلاب، فرسایش خاک و یا تخریب فیزیکی محصولات کشاورزی می‌گردد، تغییرات چشمگیری ندارد و برآورد می‌شود به‌طور متوسط یک روز افزایش پیدا کند، اما تعداد روزهای همراه با بارندگی ۹ روز کاهش خواهد یافت (6). دارند (2014)، در پژوهشی به واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش در ارومیه به‌عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم پرداخت. نتایج نشان می‌دهد تغییرات بیش‌تر نمایه‌های بارش فرین، طی دوره مورد مطالعه، روند نزولی معناداری داشته است. طی چند سال اخیر از بسامد رخداد بارش‌های سنگین، ابر سنگین و میزان کل بارش سالانه ارومیه به‌شدت کاسته شده است (5). فرامرزی و همکاران (2013) به آنالیز تأثیر تغییر اقلیم بر روی منابع آب آفریقا پرداختند. در این مطالعه از ۵ مدل GCM و مدل هیدرولوژیکی SWAT برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۰ استفاده شد؛ همچنین خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی توسط داده‌های مشاهداتی CRU[1] در دوره ۱۹۹۵-۱۹۷۵ ریز مقیاس گردیدند تا شرایط اقلیم منطقه را با وضوح ۰/۵ درجه نشان دهند. برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر طول دوره تر و خشک ۷ زیرحوضه با شرایط اقلیمی مختلف از آفریقا انتخاب گردید که از شاخص‌های بارش بیش از ۲ و ۱۰ میلی‌متر استفاده شد. طبق نتایج حاصله در مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب تعداد روزهای تر در بیش‌تر ماه‌ها افزایش داشته است اما تعداد روزهای با بارش بیش‌تر از ۱۰ میلی‌متر افزایش معنی‌داری نیافته است (9). اشرف‌واقفی و همکاران (2013)، برای مدیریت بهتر منابع آب در حوضه رودخانه کرخه، آنالیز تأثیر تغییر اقلیم بر روی منابع آب و محصول گندم را بررسی کردند. در این پژوهش برای شبیه‌سازی دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۰) در چهار ایستگاه از مدل CGCM و سه سناریوی انتشار A_1B، A_2 و B_1 و مدل هیدرولوژیکی SWAT استفاده گردید و همچنین شاخص بارش ۲، ۱۰ و ۵۰ میلی‌متر برای بررسی وضعیت بارندگی در نظر گرفته شد. در کل، در تأثیر تغییر اقلیم در قسمت‌های مختلف حوضه نتایج متنوعی مشاهده می‌شود که در برخی مناطق این تأثیر مثبت و در برخی دیگر منفی می‌باشد. نتایج آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین افزایش‌ها اغلب در سناریو A_2 بوده است، همچنین مقایسه ضریب تغییرات بارش بالای ۵۰ میلی‌متر که نشان‌دهنده بارش‌های سنگین می‌باشد، نشان می‌دهد که فقط در ایستگاه شمال ایلام انتظار افزایش بارش تحت همه سناریوها به‌خصوص در سناریو B_1 می‌رود (2). یازرلو و ذاکری‌نیا (2013)، برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر وقایع فرین بارش در ایستگاه علی‌آباد کتول برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ از داده‌های CRU تحت ٤ سناریو انتشار A_1، A_2، B_1 و B_2 و روش ریزمقیاس نمایی مکانی تناسبی و زمانی عامل تغییر استفاده کردند. نتایج آن‌ها بیانگر افزایش ۷/٦ درصدی بارش سالانه و افزایش تعداد رخدادهای فرین (به‌خصوص تحت سناریو A_2) در این ایستگاه می‌باشد (16). فخری و همکاران (2012)، به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر روی تعداد روزهای تر با بارش بیش از ۲ و ۱۰ میلی‌متر در حوضه بهشت‌آباد کارون شمالی پرداختند، نتایج آن‌ها نشان از کاهش ۳۷ درصدی بارش کل در آینده بود، همچنین روزهای تر و سیلابی به‌جز ماه‌های ژوئن و ژولای، کم‌تر شده

---

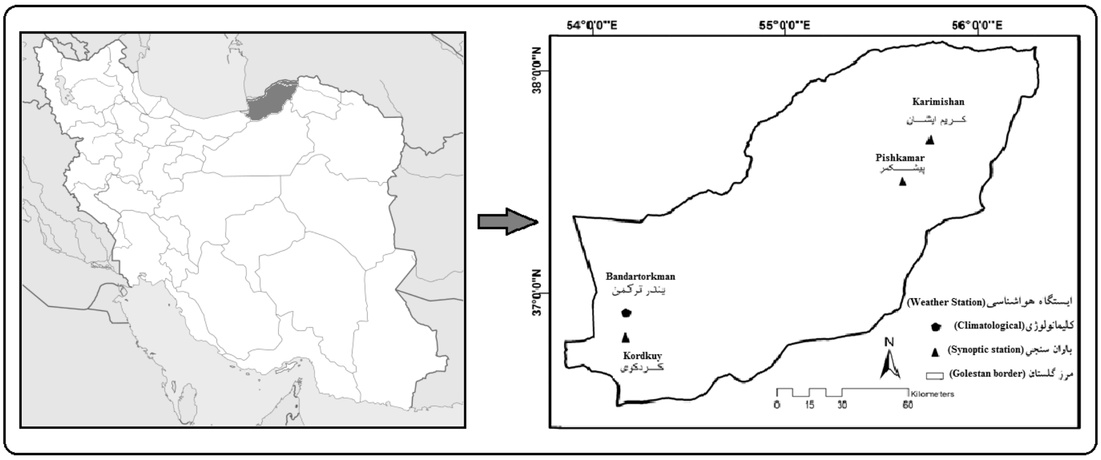
[1] CRU: Climatic Research Unit

و بیش‌ترین مقدار این کاهش در ماه‌های دسامبر و نوامبر خواهد بود (7). در پژوهشی که توسط بحری و دستورانی (2013) انجام گرفت، در ابتدا مقادیر بارندگی ماهانه مدل HadCM3 تحت سناریوی A_2 برای ایستگاه شهرکرد تهیه گردید. بعد از بررسی کارایی این مدل برای منطقه مطالعاتی، داده‌ها به‌وسیله روش تناسبی برای ایستگاه موردنظر ریزمقیاس شدند. نتایج نشان از افزایش بارندگی در فصول بهار و زمستان و کاهش بارندگی در فصول تابستان و پاییز دارد (4). جمالی و خورانی (2012)، از داده‌های بارش سناریوی A_2 مدل گردش عمومی جو HadCM3 برای ارزیابی تغییرات اقلیمی شهر بندرعباس در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی استفاده و سپس خروجی‌های مدل را توسط روش تناسبی ریزمقیاس کردند. نتایج کلی بررسی‌ها برای دوره نام‌برده بیانگر افزایش بارش به‌ویژه بارش زمستانه است که بیش‌ترین افزایش بارندگی زمستانه مربوط به ماه اسفند می‌باشد و بیش‌ترین کاهش بارندگی در ماه شهریور به‌میزان ۵۰ درصد خواهد بود. در مجموع بارش‌های سالانه شهر بندرعباس نسبت به دوره آماری افزایش می‌یابد (13). طبق پژوهش‌های انجام شده توسط عباسپور و همکاران (2009)، بارش در استان گلستان برای سناریوهای مختلف در دو دوره زمانی آتی تا ۵۰ درصد افزایش را نشان می‌دهد (1).

بررسی پژوهش‌های اخیر نشان داد که پدیده تغییر اقلیم با توجه به آثار فعلی آن بر بارش و پیش‌بینی پژوهشگران نام‌برده، آینده کشور و جهان را قطعاً تحت‌تأثیر قرار خواهد داد. تغییر در رفتار بارش‌های سنگین موجب افزایش احتمال رخداد پدیده‌های حدی هیدرواقلیمی مانند بارش‌های رگباری و سیل در دهه‌های آینده می‌گردد که لزوم بازنگری و تهیه برنامه‌های متناسب با تغییرات اقلیمی در بخش مدیریت منابع آبی (رواناب‌ها و سیلاب) و تأسیسات زیربنایی مانند طراحی سدها، مهندسی رودخانه‌ها، سیستم‌های جمع‌آوری آب شهری و... را ایجاب می‌نماید. از این‌رو پیش‌بینی این پدیده در هر منطقه از کشور برای برنامه‌ریزی دقیق و آمادگی در برابر حوادث و یا کمبودهای آتی منابع آبی ضروری است. برای نمونه در استان گلستان وجود سیل‌های غیر قابل تصور در طی سال‌های اخیر در فصول گرم سال مبین تغییرات شگرف در شرایط بروز سیل در منطقه می‌باشد. باتوجه به این‌که افزایش تعداد مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس نمایی و دوره‌های شبیه‌سازی آینده باعث افزایش عدم قطعیت در نتایج تغییر اقلیم می‌گردد (هولم و براون، 1988؛ فخری و همکاران، 2013؛ فرامرزی، 2013) (9 ,8 ,11)، در این پژوهش تنها از یک مدل منطقه‌ای و یک روش ریزمقیاس نمایی استفاده گردید. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر تغییرات بارندگی و تعداد رخداد بارش‌های حدی در قرن ۲۱ در ایستگاه‌های منتخب استان گلستان می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: استان گلستان در بخش جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. این استان با مساحت ۲۰٤۳۸/۳ کیلومترمربع، ۱/۳ درصد مساحت کل کشور و ۱۱/۷ درصد از مساحت حوضه آبریز دریای خزر را تشکیل می‌دهد. میزان بارندگی سالانه استان بین ۳۵۰ تا ٦۱۰ میلی‌متر می‌باشد. این مطالعه بر روی ٤ ایستگاه هواشناسی استان که دارای آمار تقریباً بدون نقص در دوره مشاهداتی ۲۰۱۰-۱۹۸۱ بودند، انجام شده است. در شکل ۱ موقعیت استان در کشور و محل ایستگاه‌های منتخب نشان داده شده است.


54°0'0"E
55°0'0"E
56°0'0"E
38°0'0"N
37°0'0"N
Karimishan
کریم ایشان
Pishkamar
پیشکمر
Bandartorkman
بندر ترکمن
Kordkuy
کردکوی
ایستگاه هواشناسی(Weather Station)
کلیماتولوژی(Climatological)
باران سنجی (Synoptic station)
مرز گلستان (Golestan border)
N
Kilometers
0
15
30
60

شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های منتخب در استان گلستان و کشور.

Figure 1. Location of the selected stations in Golestan province, Iran.

مدل CRU: برای ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش‌های حدی استان لازم است تا در ابتدا سناریوهای تغییر اقلیم بارندگی از خروجی مدل‌های AOGCM محاسبه شوند. اقلیم منطقه‌ای متأثر از یک‌سری عوارض جغرافیایی مانند کوهستان و بادهای محلی می‌باشد که امکان پارامتری کردن آن‌ها در مدل‌های جهانی میسر نیست. بنابراین برای چیره شدن به این مشکل، مدل‌های اقلیم منطقه‌ای با قدرت تفکیک بالا ساخته شدند که برای ناحیه و زمان محدود در حد ۵۰ کیلومتر اجرا می‌شوند. در این مطالعه داده‌های ماهانه بارش از بانک اطلاعاتی واحد پژوهش اقلیمی CRU، برای دوره ۲۱۰۰-۲۰۰۰ تحت چهار سناریو A_1، A_2، B_1 و B_2 با وضوح ۰/۵°×۰/۵° استخراج گردید. بانک اطلاعات CRU توسط دانشگاه آنجلیای شرقی (بریتانیا)، بنیان نهاده شده و داده‌های اقلیمی گوناگونی را با تفکیک‌های مکانی مختلف و وضوح بالا و پوشش فضایی جهانی در مقیاس ماهانه فراهم می‌کند و مدل HadCM3 که توسط مرکز تحقیقات و پیش‌بینی اقلیم هادلی انگلستان (بریتانیا) طراحی شده است، به‌عنوان شرایط مرزی این مدل منطقه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. داده‌های این مدل به‌عنوان یکی از برترین پایگاه‌های داده‌های اقلیمی در سرتاسر جامعه علمی استفاده می‌شوند. این مدل در گزارش چهارمین ارزیابی (2007) انتشار یافت و جزء مدل‌های جدید می‌باشد که برای مدل‌سازی مناسب و کاربردی است (15).

روش ریزمقیاس نمایی عامل تغییر و درون‌یابی IDW: روش‌های مختلفی جهت ریزمقیاس نمایی وجود دارد که هر کدام از منطق خاصی پیروی می‌کنند. در این پژوهش برای بالا بردن دقت شبیه‌سازی بارندگی در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۱۱) تحت سناریوهای تغییر اقلیم، از تلفیق خروجی CRU با روش وزن‌دهی عکس فاصله و روش ریزمقیاس نمایی مکانی تناسبی و زمانی عامل تغییر استفاده گردیده است. به‌دلیل بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM، شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی این متغیرها همراه با اغتشاش می‌باشد. به‌گونه‌ای که مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی نشان از وجود اختلاف در نوسانات متغیر مورد مطالعه دارد. به‌منظور حذف اغتشاشات غیرمعتبر درون مدلی، در محاسبات و تقویت میزان تغییرات

اقلیمی موجود، با در دست داشتن شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های گذشته توسط مدل‌های GCM، می‌توان با محاسبه تغییرات متغیر اقلیمی مورد نظر در دوره‌های آتی نسبت به دوره گذشته، عامل تغییر آن متغیر را به‌دست آورد.

در این روش، متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط AOGCM از اطلاعات مربوط به سلولی استخراج می‌شود که منطقه مورد مطالعه در آن قرار می‌گیرد. سپس سناریوهای تغییر اقلیم برای بارش تولید می‌شود. برای محاسبه سناریو تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر "نسبت" برای بارندگی برای میانگین ۳۰ ساله در دوره‌های آتی و دوره شبیه‌سازی شده پایه توسط همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود.

$$\Delta P_i = \left(\frac{\overline{P}GCM, fut, i}{\overline{P}GCM, base, i} \right) \qquad (۱)$$

که در آن، ΔP_i: سناریو تغییر اقلیم میانگین درازمدت ۳۰ ساله بارندگی برای هر ماه ($1 \le i \le 12$)، $\overline{P}GCM, fut, i$ میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره آتی برای هر ماه، $\overline{P}GCM, base, i$ میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده توسط GCM در دوره مشابه با دوره مشاهداتی برای هر ماه است. این مقادیر بیانگر میزان میانگین ۳۰ ساله تغییر اقلیم نسبت به دوره پایه می‌باشد.

سپس برای ریز مقیاس کردن زمانی داده‌های طرح از روش عامل تغییر استفاده شد. در روش عامل تغییر برای به‌دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده، سناریوهای تغییر اقلیم در مقادیر مشاهداتی ضرب گردید (رابطه ۲).

$$P = Pobs \times \Delta P_i \qquad (۲)$$

که در آن، Pobs: سری زمانی بارش ماهانه مشاهداتی در دوره پایه، ΔP_i: سناریو تغییر اقلیم میانگین درازمدت ۳۰ ساله بارندگی برای هر ماه و P: سری زمانی سناریوی اقلیم بارندگی می‌باشد.

در این مرحله برای انطباق داده‌های CRU با اقلیم منطقه، پیش از اجرای مدل برای شبیه‌سازی داده‌های آینده، با استفاده از روش‌های زمین‌آماری و ایجاد یک رابطه مکانی با سلول‌های مجاور (۸ سلول)، اطلاعات مربوط به موقعیت موردنظر درون‌یابی گردید. به بیان دیگر برای بالا بردن دقت مکانی داده‌ها از روش درون‌یابی سلول‌های مجاور منطقه مورد مطالعه، جهت حذف عدم پیوستگی در تغییرات بین متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی‌شده در سایت‌های نزدیک به هم در سلول‌های متفاوت استفاده گردید. در روش IDW فرض بر این است که نقاط نزدیک به نقطه مورد درون‌یابی تأثیر بیش‌تری را نسبت به نقاط دورتر بر مقدار کمیت مورد درون‌یابی دارند. در این روش، کمیت مورد نظر بر اساس مقادیر این کمیت در دیگر نقاط محدوده به فرم زیر تخمین زده (درون‌یابی) می‌شود.

$$Z^*(x_j) = \frac{\sum \frac{Z(x_i)}{(h_{ij} + s)\rho}}{\sum \frac{1}{(h_{ij} + s)\rho}} \qquad (۳)$$

که در آن، $Z^*(x_j)$: مقدار کمیت تخمین زده شده در نقطه j، $Z(x_i)$: مقدار کمیت اندازه‌گیری شده در نقطه x_i، h_{ij}: فاصله بین نقطه $Z^*(x_j)$ و $Z(x_i)$، s: فاکتور هموار و ρ: نمای وزن‌دهی می‌باشد.

به‌دلیل آن‌که خروجی مدل‌های GCM همراه با مختصات مکانی بر روی کره زمین (طول و عرض جغرافیایی) ارائه می‌شوند، قبل از هر گونه تجزیه و تحلیل‌های آماری، این مختصات به سیستم تصویر

هم‌مساحت تبدیل گردید. به همین منظور در این پژوهش از روش سیستم تصویر استوانه‌ای هم‌مساحت در محیط MATLAB 7.10.0 استفاده شد. در نهایت سری زمانی سناریوی اقلیمی بارندگی آینده با دوره مشاهداتی مقایسه گردید و تغییرات بارش مورد بررسی قرار گرفت. برای بررسی تعداد رخداد بارش‌های سنگین در دوره‌های آتی در استان گلستان از شاخص بارش‌های بالاتر از ۵۰ میلی‌متر استفاده گردید. روزهایی که بارش آن‌ها بیش‌تر از ۲ میلی‌متر است به‌عنوان روزهای تر و روزهای با بارش بیش از ۵۰ میلی‌متر به‌عنوان روزهای سیلابی در نظر گرفته شد. سهم بارش‌های حدی از کل بارش روزهای تر محاسبه شد.

نتایج و بحث

دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ به‌عنوان دوره مشاهداتی در نظر گرفته شد و سه دوره ۲۰٤۰-۲۰۱۱ (دوره نزدیک)، دوره ۲۰۷۰-۲۰٤۱ (دوره میانی) و دوره ۲۱۰۰-۲۰۷۱ (دوره دور) برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شد. پس از استخراج سری زمانی بارش برای هر سلول محاسباتی از سایت CRU، سناریوی ماهانه تغییر اقلیم بارش برای سلول اصلی و ۸ سلول اطراف آن تعیین گردید و پس از انجام عملیات ریزمقیاس نمایی و درون‌یابی، سری زمانی سناریوی اقلیم بارندگی تا سال ۲۱۰۰ مدل‌سازی گردید. سپس تغییرات ماهانه بارش برای هر ایستگاه در هر سه دوره تحت دو سناریو محاسبه و در شکل ۲ نشان داده شد.

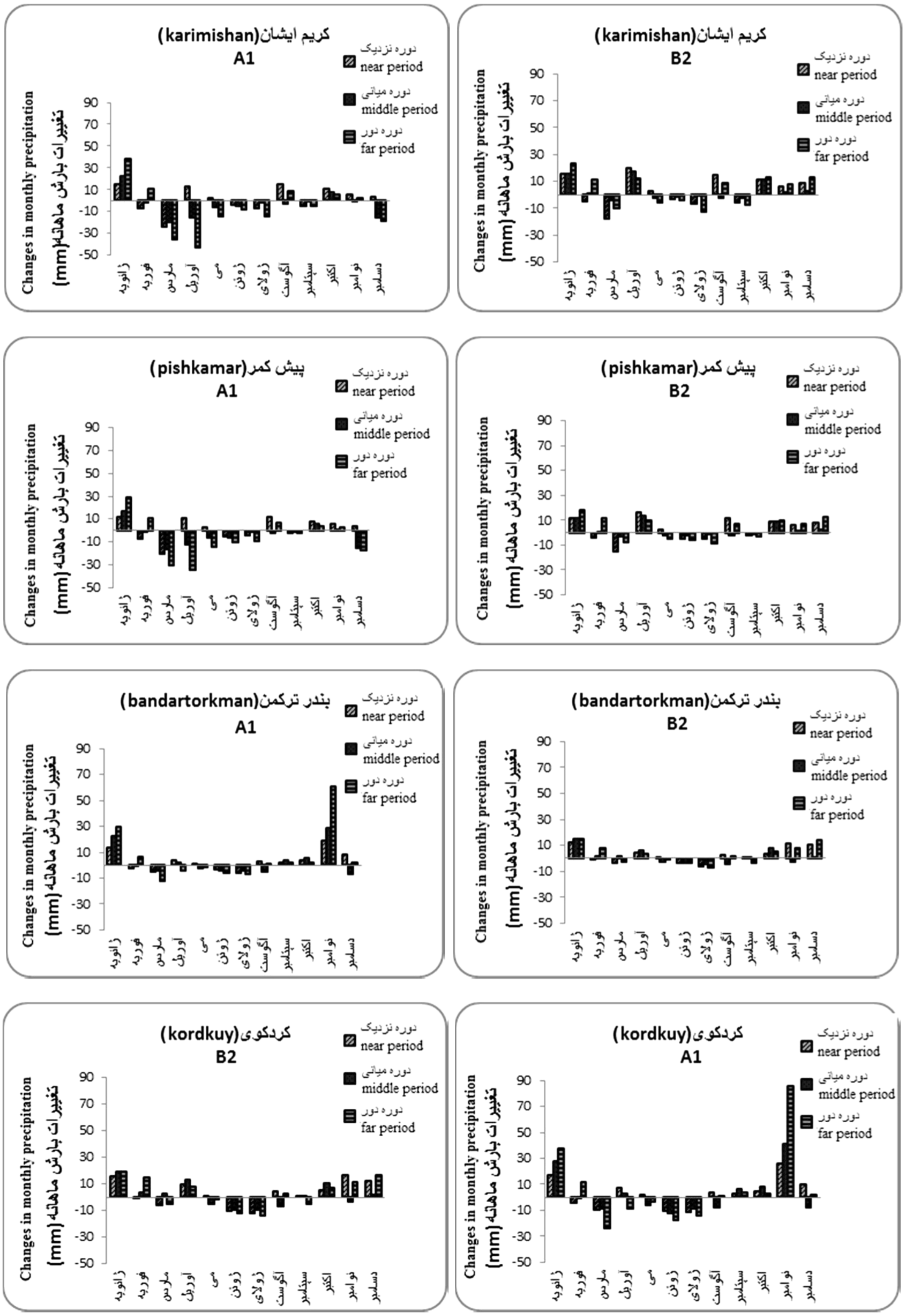
نتایج بیانگر افزایش بارندگی در بیش‌تر ایستگاه‌ها در پاییز و اوایل زمستان است. بیش‌ترین افزایش را در ایستگاه کردکوی و سپس در ایستگاه بندرترکمن که مناطق مرطوبی هستند تحت سناریو A_1 انتظار داریم. همچنین در ایستگاه‌های کریم‌ایشان و پیش‌کمر که جزو مناطق نیمه‌خشک محسوب می‌شوند در اواسط تابستان تحت هر دو سناریو افزایش بارش پیش‌بینی می‌گردد که با توجه به سیل‌های رخ داده سال‌های آتی گلستان در فصول گرم سال، قابل تأمل هستند.

نتایج میانگین بارش سالانه در دوره‌های ۳۰ ساله آینده در ایستگاه‌های منتخب در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- نتایج میانگین بارندگی ۳۰ ساله ایستگاه‌ها در سه دوره آتی تحت سناریوهای A_1 و B_2.

Table 1. Results of 30-years precipitation average of stations in future periods under scenarios A_1 and B_2.

میانگین سالانه (mm) Average annual	بندرترکمن (Bandartorkman)		پیش‌کمر (Pishkamar)		کردکوی (Kordkuy)		کریم‌ایشان (Karimishan)	
	A_1	B_2	A_1	B_2	A_1	B_2	A_1	B_2
دوره مشاهداتی (Observation period)	397.4		496.4		675.8		568.4	
دوره نزدیک (Near period)	431.8	429.3	513.1	532.5	693.5	691	586.8	608.5
دوره میانی (Middle period)	430.3	413.1	456.8	524.9	691.2	673	529	603.2
دوره دور (Far period)	467.4	435.6	431.5	543.8	731.2	698.2	494.8	617.4



شکل ۲- تغییرات بارش ماهانه ایستگاه‌ها در سه دوره آتی تحت سناریوهای A_1 و B_2.

Figure 2. Changes in monthly precipitation of stations in future periods under scenarios A_1 and B_2.

مقادیر بیان شده در جدول ۱ برای بیش‌تر ایستگاه‌ها و دوره‌ها افزایش بارش را در ۳۰ ساله‌های آینده نشان داده است. بیش‌ترین میزان میانگین بارش ۳۰ ساله در ایستگاه کردکوی تحت سناریو A_1 در دوره دور می‌باشد. همچنین بیش‌ترین افزایش بارش را در ایستگاه بندرترکمن در دوره دور و تحت سناریو A_1 به‌میزان ۱۷/٦ درصد و بیش‌ترین کاهش میانگین ۳۰ ساله را در همان دوره و سناریو برای ایستگاه پیش‌کمر به‌میزان ۱۳/۱ درصد انتظار داریم. لازم به ذکر می‌باشد که این شرایط با درصدهای کم‌تر برای دوره میانی نیز صادق می‌باشد، اما در دوره نزدیک بیش‌ترین افزایش در کریم‌ایشان پیش‌بینی شده است.

برای بررسی بارش‌های سنگین، شاخص بارش بیش‌تر از ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. جدول ۲ تغییرات تعداد روزهای با بارش سنگین را در دوره‌های آتی نسبت به مشاهداتی نشان می‌دهد.

جدول ۲- تعداد تغییرات رخداد بارش‌های سنگین.

Table 2. The number of changes of precipitation extreme events.

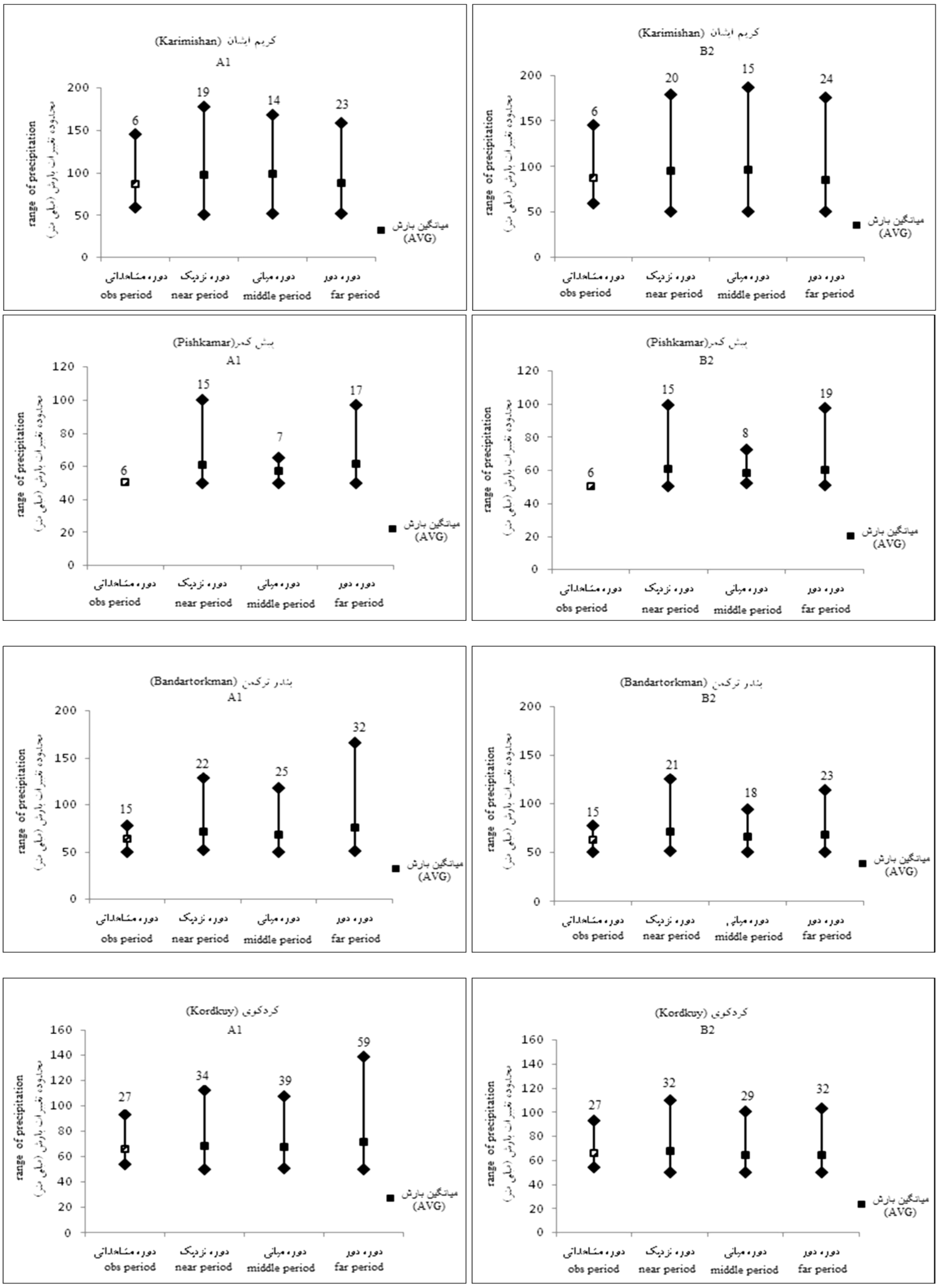
تغییرات رخداد بارش بالای ۵۰ میلی‌متر (روز) The number of changes of precipitation > 50 mm	بندرترکمن (Bandartorkman)		پیش‌کمر (Pishkamar)		کردکوی (Kordkuy)		کریم‌ایشان (Karimishan)	
	A_1	B_2	A_1	B_2	A_1	B_2	A_1	B_2
دوره نزدیک (Near period)	7	6	9	9	7	5	13	14
دوره میانی (Middle period)	10	3	1	2	12	2	8	9
دوره دور (Far period)	17	8	11	13	32	5	17	18

نتایج نشان داده شده در جدول بالا نشان می‌دهد که تعداد روزهای با بارندگی سنگین در دوره نزدیک در ایستگاه کریم‌ایشان تحت سناریو خوشبینانه B_2 و در دو دوره میانی و دور در ایستگاه کردکوی و تحت سناریو A_1 بیش‌ترین افزایش را نشان می‌دهد. همچنین ایستگاه پیش‌کمر تغییرات کم‌تری در دوره میانی نسبت به ایستگاه‌های دیگر داشته است.

در شکل ۳ محدوده تغییرات بارش و میانگین بارندگی بالای ۵۰ میلی‌متر ترسیم شده‌اند. لازم به ذکر می‌باشد که در نمودارهای زیر تعداد رخدادهای بالای ۵۰ میلی‌متر هر ایستگاه در بالای هر هیستوگرام قید شده است.

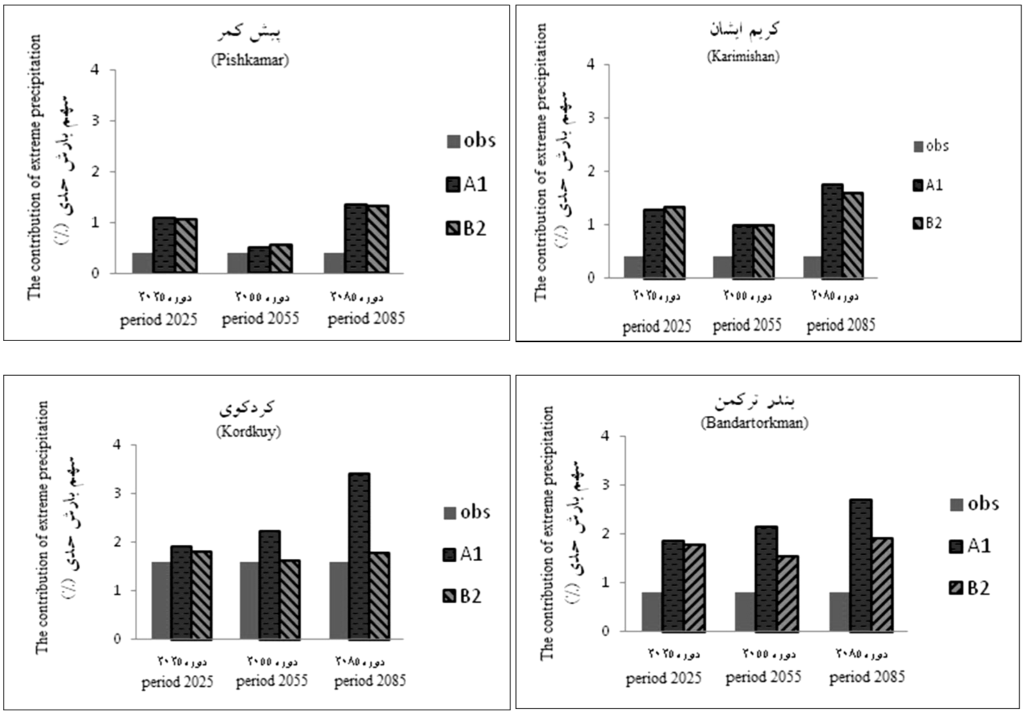
در هر سه دوره تغییرات نسبت به دوره مشاهداتی در حدهای بالای بارندگی واضح است، اما در میانگین‌ها تغییر خاصی رخ نداده است که این می‌تواند یکی از دلایل افزایش رخدادهای حدی باشد. در آینده نزدیک و میانی تقریباً هر دو سناریو در یک رنج جواب داده‌اند. تعداد وقایع حدی بارش هرچه به اواخر قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم در بیش‌تر ایستگاه‌ها افزایش یافته است که انتظار شرایط بارش حادتر تحت سناریو A_1 در ایستگاه‌های مرطوب و تحت سناریوی B_2 در ایستگاه‌های نیمه‌خشک در دوره دور در مقایسه با دوره نزدیک بیش‌تر است، زیرا هم تعداد وقایع حدی بیش‌تر شده و هم میانگین به حد پایین نزدیک است که این نشان‌دهنده کم بودن میزان بقیه بارش‌ها و در نتیجه بیش‌تر شدن بارش‌های سیل‌آسا می‌باشد. در دوره میانی شرایط نسبت به دو دوره دیگر کمی متعادل‌تر می‌باشد که می‌تواند به‌دلیل شرایط سناریوهایی که توسط مدل در این دوره در نظر گرفته شده است، باشد.

در نهایت نمودار سهم بارش‌های حدی از کل بارش روزهای تر در شکل ٤ رسم شد. در این مقاله بارش بیش‌تر از ۲ میلی‌متر به‌عنوان شاخص روز تر در نظر گرفته شد. با توجه به این نمودارها نتایج دقیق‌تری قابل استخراج خواهد بود.



شکل ۳- محدوده تغییرات، میانگین و تعداد بارش بالای ۵۰ میلی‌متر هر ایستگاه در هر دوره تحت دو سناریو.

Figure 3. Range, average and number of precipitation over 50 mm at each station for each period under two scenarios.



شکل ٤- سهم بارش‌های حدی از کل بارش روزهای تر.

Figure 4. The contribution of extreme precipitation of total precipitation in wet days.

نتایج نموداری ایستگاه‌های بندرترکمن و کردکوی ارقام بالاتری را نسبت به باقی ایستگاه‌ها نشان می‌دهد اما این نتیجه به تنهایی دلیل بر افزایش بارش‌های سیل‌آسا در اثر پدیده تغییر اقلیم در این ایستگاه‌ها نمی‌باشد. زیرا مقایسه این مقادیر با حالت مشاهداتی نشان می‌دهد که میزان این سهم نسبت به مشاهداتی تغییر محسوسی نکرده است؛ اما برای نمونه در کریم‌ایشان در دوره دور حدود سه برابر دوره مشاهداتی بارش سنگین را انتظار داریم هر چند که سهم کم‌تری دارد. به‌عبارت دیگر می‌توان این گونه تحلیل کرد که ممکن است ایستگاه‌های مرطوبی مثل کردکوی به‌دلیل بالا بودن بارش در دوره مشاهداتی این مناطق نسبت به وقایع سیل سازگار شده باشد. اما وقوع تعداد بیش‌تر بارش‌های سیل‌زا در شرایط ایستگاهی خشک‌تر می‌تواند امکان وقوع سیل را افزایش دهد.

نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی بارش در زمان آینده را می‌توان به‌عنوان راهکاری مناسب جهت مواجهه با پیامدهای سوء ناشی از رخداد تغییر اقلیم به‌کار گرفت و در حقیقت سازگاری بیش‌تری با این پدیده اجتناب‌ناپذیر ایجاد کرد. همان‌طورکه نتایج مختلف نشان داد تقریباً تمامی سناریوها افزایش بارش سالانه را پیش‌بینی کردند؛ که در برخی مناطق (پیش‌کمر) کم‌تر و در برخی دیگر (بندرترکمن) بیش‌تر خواهد بود. همچنین بارش‌های سنگین، طبق سناریو A_1 در ایستگاه‌های مرطوب و تحت سناریو B_2 در ایستگاه‌های نیمه‌خشک، افزایش خواهد یافت که وضعیت این شرایط در آینده دور حادتر می‌باشد که بیانگر تأثیر زیاد تغییر اقلیم در آینده بر روی بارش‌های سیل‌آسا می‌باشد. مقایسه سهم بارش حدی از بارش روزهای تر با حالت مشاهداتی نشان می‌دهد که میزان این سهم برای ایستگاه‌های مرطوب نسبت به مشاهداتی تغییر محسوسی نکرده

است؛ اما در ایستگاه‌های نیمه‌خشک در دوره دور حدود دو یا سه برابر دوره مشاهداتی، بارش سنگین را از بارش‌های روزهای تر انتظار داریم؛ هر چند که میزان سهم بارش حدی این مناطق از مناطق مرطوب کم‌تر است. با توجه به این‌که وقوع تعداد بیش‌تر بارش‌های سیل‌زا در شرایط ایستگاهی خشک‌تر می‌تواند امکان وقوع سیل را افزایش دهد باید این موضوع با توجه به شرایط خاک و پوشش گیاهی این مناطق، به‌صورت دقیق‌تر بررسی گردد. بدین ترتیب در این پژوهش نشان داده شد که هرچه به انتهای قرن ۲۱ نزدیک می‌شویم، احتمال وقوع بارش‌های سیل‌زا در استان تحت‌تأثیر پدیده تغییر اقلیم افزایش می‌یابد و با توجه به پتانسیل سیل‌خیزی استان گلستان که در کشور مقام پنجم را دارد و مخصوصاً در دهه اخیر به‌دلیل این بلای خانمان‌سوز خسارات زیادی را متحمل شده است، نیاز است که به این مسأله بیش از پیش توجه شود. نکته قابل تأمل در این استان، ویژگی ماه‌های گرم سال به‌عنوان خطرناک‌ترین ماه‌ها در وقوع سیل و شیفت بارش از ماه‌های سرد به ماه‌های معتدل و گرم (پاییز و تابستان) است، به‌طوری‌که ماه‌های سرد سال در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. نتایج به‌دست آمده از پژوهش مهدی‌زاده و همکاران (2011)، در حوضه سد گلستان که با استفاده از داده‌های مدل CGCM3، برای سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تحت دو سناریوی A_2 و B_1 انجام یافت، به‌طورکلی نشان می‌دهد بارش میانگین ماهانه در فصول تابستان و بهار کاهش و در فصول زمستان و پاییز افزایش می‌یابد که طبق نتایج شکل ۲ این پژوهش نیز، بیش‌ترین افزایش‌ها در پاییز و اوایل زمستان مشاهده می‌شود (14). همچنین پژوهشی که بابائیان و همکاران (1388)، بر روی ٤۳ ایستگاه سینوپتیک کشور برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ انجام دادند، نشان داد که بررسی نتایج بر روی شمال‌شرق کشور، بیانگر جابجایی الگوی بارش به‌سمت انتهای فصل سرد می‌باشد (3) که نتایج اشاره شده در متن (شکل ۲) که افزایش بارش در پاییز و زمستان در تمام ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد، نیز این مطلب را تصدیق می‌کند. در نتیجه پیش‌بینی بارش‌های سیل‌زا و مطالعه علل و عوامل بروز این سیلاب‌های مخرب، از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند راهبردهای مناسب را در اختیار برنامه‌ریزان و مسئولان قرار دهد تا راهکارهای تطبیق با آن را جهت حفاظت از منابع آب، کشاورزی و منابع زیست‌محیطی مدنظر قرار دهند.

منابع

1.Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S., and Yang Y. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. J. Water Resour. Res. 45: 1-16.

2.Ashraf Vaghefi, S., Mousavi, S.J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., and Yang, H. 2013. Analyses of the impact of climate change on water resources components, drought and wheat yield in semiarid regions: Karkheh River Basin in Iran. Hydrological Processes, Published online in wiley online library, DOI: 10. 1002/hyp.9747.

3.Babaeian, A., Najafinik, Z., Zabolabasi, F., Habibinokhandan, M., Adab, H., and Malbosi, Sh. 2010. Assessment of climate change in the period 2039-2010 by down scaling of data ECHO-G model. J. Geograph. Dev. 16: 135-152.

4.Bahri, M., and Dastorani, M.T. 2013. Predicted changes in temperature and precipitation affected by climate change in coming decades (Case study: Shahrekord Station). The First National Conference on Climate Change and Food Security, Isfahan, 23 January.

5.Darand, M. 2014. Analyzed changes in extreme rainfall amounts in Orumieh as signs of climate change. J. Soil Water Res. 21: 1-29.

6. Esmaili, R., Gandomkar, A., and Ghayour, H.A. 2011. Zoning of climate change from an agricultural perspective on future climate period (Case study: Khorasan Razavi province). J. Geograph. Environ. Plan. 22: 41. 52-35.
7. Fakhri, M., Farzaneh, M.R., Eslamian, S., and Khordadi, M.J. 2012. Uncertainty assessment of downscaling rainfall: impact of climate change on the probability of flood. J. Flood Engin. January-June. 3: 1. 19-28.
8. Fakhri, M., Farzaneh, M.R., Eslamian, S., and Khordadi, M.J. 2013. Confidence Interval Assessment to Estimate Dry and Wet Spells Under Climate Change in Shahrekord Station, Iran. J. Hydrol. Eng. 18: 911-918.
9. Faramarzi, M., Abbaspour, K., Ashraf Vaghefi, S., Farzaneh, M.R., Zehnder, A.J.B., Srinivasan, R., and Yang, H. 2013. Modeling impacts of climate change on freshwater availability in Africa. J. Hydrol. 480: 85-101.
10. Farzaneh, M.R., Eslamian, S., Samadi, S.Z., and Akbarpour, A. 2012. An Appropriate General Circulation Model (GCM) to Investigate Climate Change Impact. J. Hydrol. Sci. Technol. 2: 1. 34- 47.
11. Hulme, M., and Brown, O. 1998. Portraying Climate Scenario Uncertainties in Relation to Tolerable Region Climate Change. Climate Research. 10: 1. 1-14.
12. IPCC. 2007. The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, UK. Pp: 1-8.
13. Jamali, Z., and Khourani, A. 2012. Assessment of the impact of climate change on temperature and precipitation in Bandar Abbas, the proportion downscaling output model HadCM3. The First National Conference on Climate Change and Food Security, Isfahan, 23 January.
14. Mehdizadeh, S., Meftah, M., Seyedghasemi, S., and Mosaedi, A. 2011. The effect of climate change on rainfall in the watershed, Golestan dam. J. Soil Water Res. 18: 3. 117-132.
15. www.ipcc.ch/report/ar4/IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4).
16. Yazarloo, B., and Zakerinia, M. 2013. Assessing the impact of climate change on extreme rainfall events and evaluate adaptation strategies. The first national conference on the challenges of adaptation and mitigation to climate change, northern Tehran University, 11 October.

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 22(3), 2015
http://jwsc.gau.ac.ir

The Prediction of Heavy Precipitation Regarding the Impacts of 21th Century Climate Changes in selected stations Golestan Province

***B. Yazarloo[1], M. Zakerinia[2], M. Abdolhoseini[2] and H. Sharifan[3]**
[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Water Resources Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 04/27/2014; Accepted: 02/17/2015

Abstract

Background and Objectives: Excessive uses of fossil fuels, global population growth and increasing industrial expansion after industrial revolution have caused gradual evident changes in earth's climate. The climate change resulted in change in hydrology regimen and increase of heavy rain falls in a way that a rise of extreme events is predicted for upcoming decades. The climate change in recent years has become an important issue due to the extreme events impacts on economy, society and financial losses which have turned it to a matter of considerable concern for climate scientists and the entire international community. The objective of this research is to investigate the effect of climate change on precipitation amount in Golestan province's specific stations during three upcoming periods.

Materials and Methods: In this research is to investigate the effect of climate change on precipitation amount in Golestan province's specific stations during three upcoming periods of 2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100 under two emission scenarios A_1 and B_2 and to analyze the impact of such changes on precipitation extreme events in these areas. It is noteworthy to mention that in this research the precipitation data from Climate Research Unit (CRU) database besides proportional spatial and temporal downscaling method for variation agent were used.

Results: The results predicted the most increase in average annual precipitation in Bandar Torkaman station by 17.6% and the most decrease in Pishkamar station by 13.1% under A_1 scenario during far period. Moreover the number of precipitation extreme events has risen as we get closer to the end of 21th century in which the more extreme precipitation under A_1 and B_2 scenarios is predicted to happen in wet and semi-dry stations respectively. Comparison between extreme precipitation contributions from precipitation in total wet days with observed precipitation showed that in wet stations, this extreme value had not significant change in compare to observed precipitation. But in semi-arid stations, in far periods we expect that precipitation should be more than two or three times of observed precipitation.

Conclusion: According to the A_1 scenario, heavy rainfall will be increased at wet stations and also under B_2 scenario at semi-arid stations that reveal more severe conditions in the far future. These forecasts indicate that the great impact of climate change on flooding rainfall in the future. According to the findings of this research as to the end of the 21st century approaching, the likelihood of flooding heavy rainfall in the province affected by climate change increased. With respect to fifth place of Golestan province flooding potential in Iran, it is required more attention to this issue same as before.

Keywords: Climate change, Weather extreme events, CRU, Downscaling, Emission scenario

---

* Corresponding Author; Email: yazarloobehnaz@yahoo.com