

تأثیر تغییر اقلیم بر خصوصیات بارندگی دوره آینده (مطالعه موردی: استان گلستان)

بهناز یازرلو^۱، مهدی ذاکری نیا^{۲*}، محمد عبدالحسینی^۳ و حسین شریفان^۴

چکیده

امروزه تغییر اقلیم نه فقط در سطوح مدیریتی مرتبط با منابع آب بلکه در زندگی روزمره انسان‌ها نیز تأثیر آشکاری دارد. بررسی تغییرات متغیرهای کلیدی بارش و دما با در نظر گرفتن اثرات تغییر اقلیم در سال‌های آینده می‌تواند در حل معضلاتی چون خشکسالی، سیلاب‌های ناگهانی و غیره راه‌گشا باشد. در این بررسی از داده‌های خروجی بانک اطلاعاتی واحد پژوهش‌های اقلیمی (CRU)، تحت چهار سناریوی انتشار A1، A2، B1 و B2 استفاده شده است. این داده‌ها برای پارامتر بارش در دو ایستگاه علی‌آباد کتول و مزرعه نمونه ارتش، به عنوان دو ایستگاه مرطوب و نیمه‌خشک استان گلستان، با روش تناسبی کوچک‌مقیاس شدند و سپس با روش زمین‌آمار (IDW(8)، درون‌یابی شدند و در نهایت سری زمانی سناریوی اقلیمی در آینده با روش عامل تغییر محاسبه شد. نتایج حاصله از آن در دوره پایه ۲۰۱۰-۱۹۸۱ و دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱ ارزیابی شده است. نتایج مقایسه میانگین بارش سالانه، نشان از افزایش بارش در ایستگاه علی‌آباد کتول و مزرعه نمونه ارتش به ترتیب حدود ۷/۶ و ۸/۷۳ درصد است. همچنین انتظار می‌رود در دوره آینده، تعداد رخداد بارش‌های حدی افزایش یافته و بیشترین میزان این افزایش در ایستگاه‌های علی‌آباد و مزرعه نمونه به ترتیب در ماه نوامبر و ژانویه رخ دهد.

واژه‌های کلیدی: سناریوهای تغییر اقلیم، عامل تغییر، مدل گردش عمومی جو، CRU، IDW(8).

ارجاع: یازرلو ب. ذاکری نیا م. عبدالحسینی م. و شریفان ح. ۱۳۹۵. تأثیر تغییر اقلیم بر خصوصیات بارندگی دوره آینده (مطالعه موردی: استان گلستان). مجله پژوهش آب ایران. ۲۱: ۷۵-۸۴.

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۳- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

* نویسنده مسئول: a_zakerinia@yahoo.com

مقدمه

مهم‌ترین نگرانی هوا و اقلیم‌شناسان در سال‌های اخیر تغییرات اقلیمی ناشی از گرمایش کلی زمین و به دنبال آن وضع اقلیم دهه‌های آینده کره زمین به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر است. یکی از روش‌های بررسی تغییرات بارش و دما، استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی جو^۱ است. ضعف عمده مدل‌های گردش عمومی، قدرت تفکیک فضایی کم و نیز ساده‌سازی‌هایی است که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند، برای جبران این ضعف، باید خروجی این مدل‌ها برای محدوده ایستگاه هواشناسی کوچک‌مقیاس گردد. روش‌های مختلفی برای کوچک‌مقیاس‌نمایی و یا تبدیل خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه رودخانه توسعه یافته‌اند (دراکوپ و وایکونا، ۲۰۰۵). مدل‌های اقلیمی برای شبیه‌سازی فرآیندهایی که روی اقلیم تأثیر می‌گذارند، توسعه یافته‌اند و براساس آن توانسته‌اند تا حدودی وضعیت اقلیم جهان را تا سال ۲۱۰۰ مدل‌سازی کنند. از آنجا که پیش‌بینی وضعیت اقلیم آینده تحت تأثیر پدیده تغییر اقلیم به طور قطعی ممکن نیست، پس راه حل جایگزین مشخص کردن امکان رخدادهای گوناگون برای آن است، که سناریو اقلیمی نامیده می‌شود. کمیته بین‌المللی تغییر اقلیم^۲ در سال ۲۰۰۰ سری جدیدی از سناریوهای انتشار را تحت عنوان SRES برای ارائه در سومین گزارش ویژه سناریوهای انتشار تدوین کرد (جدول ۱).

بر اساس گزارش‌های IPCC، تغییر اقلیم سبب ایجاد تغییر در رژیم هیدرولوژی در چند دهه اخیر در سطح جهان شده به گونه‌ای که احتمال روبرو شدن با رخداد‌های حدی اقلیمی مانند سیلاب نسبت به مقادیر گذشته آن افزایش یافته است (IPCC، ۲۰۰۷). از آنجا که افزایش این احتمال برای دوره‌های آینده می‌تواند آثار زیان‌باری را برای جوامع بشری داشته باشد، در سال‌های اخیر پژوهش‌های متنوعی در مورد تأثیرات بالقوه تغییرات آب و هوا بر حوضه‌های آبریز مختلف در سطح جهان و منطقه‌ای انجام شده است. به طور مثال ژائو و همکاران (۲۰۰۵) واکنش متغیرهای اقلیمی در آفریقای جنوبی، به افزایش گازهای گلخانه‌ای را بررسی کرد. در این پژوهش از خروجی‌های ۳ مدل گردش

عمومی و سناریوی B2 از مجموع سناریوی SRES استفاده شد. شبیه‌سازی‌های به عمل آمده در بیشتر بخش‌های جنوبی آفریقا نشان می‌دهد که تا پایان قرن ۲۱، بارندگی به میزان ۸/۲ درصد کاهش خواهد یافت. اندرسون و همکاران (۲۰۰۶) تأثیر تغییر اقلیم بر هیدرولوژی، منابع آب و مواد مغذی در حوضه رودخانه دنیش دانمارک را با استفاده از یک مدل گردش عمومی تحت سناریوی انتشار A2 برای دو دوره زمانی ۱۹۹۰-۱۹۶۱ (برای کنترل) و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ (برای سناریوسازی) بررسی کردند. بررسی‌ها افزایش بارش میانگین سالانه ۴۷ میلی‌متر یا ۵ درصد افزایش را نشان داد. کارل و همکاران (۱۹۹۶) افزایش ۱۰ درصدی در میزان بارش روزانه در ناحیه می‌سی‌سی‌پی را پیش‌بینی کردند که شامل افزایش در بهار و تابستان و کاهش در پاییز و زمستان است. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که زمان بارش، عامل مهمی است چرا که به‌عنوان مثال با شدت بارش در تابستان یا پاییز به دلیل رطوبت کم در خاک، احتمال وقوع سیلاب کمتر است. در ایران نیز آذرانفر و همکاران (۱۳۸۵)، به بررسی تغییرات بارش و دما در قرن ۲۱ در حوضه زاینده‌رود پرداختند. در این پژوهش داده‌های خروجی مدل CGCM2 با روش آماری کوچک‌مقیاس شد. نتایج شبیه‌سازی بارش در منطقه مورد بررسی بیانگر افزایش بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه بود. بر اساس پژوهش‌های انجام شده از سوی عباسپور و همکاران (۲۰۰۹)، بارش در استان گلستان برای سناریوهای مختلف و دو دوره زمانی تا ۵۰ درصد افزایش نشان می‌دهد. سادات‌آشفته و همکاران (۱۳۸۹)، برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم حوضه آیدوغموش، ابتدا سری زمانی بارش ماهانه حاصل از مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 را در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با برنامه GCM-RDP تهیه کردند. پس از آن با روش کوچک‌مقیاس‌نمایی تناسبی و عامل فاکتور، متوسط درازمدت ماهانه این دو متغیر را در دوره آینده و دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) شبیه‌سازی کردند. براساس نتایج به دست آمده برای حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ افزایش بارندگی برای فصل‌های پاییز و زمستان و کاهش آن برای دیگر فصل‌ها طبیعی خواهد بود.

1- AOGCM

2- IPCC

جدول ۱- مشخصات سناریوهای انتشار

تأکید بیشتر بر جنبه‌های اقتصادی	تأکید بیشتر بر جنبه‌های زیست‌محیطی
A1	B1
رشد اقتصادی سریع افزایش دما (۱/۴ تا ۶/۴ درجه)	توسعه پایدار زیست‌محیطی افزایش دما (۱/۱ تا ۲/۹ درجه)
A2	B2
توسعه اقتصادی منطقه محور افزایش دما (۲ تا ۵/۴ درجه)	توسعه پایدار زیست‌محیطی محلی افزایش دما (۱/۴ تا ۳/۸ درجه)

۲۰۱۲ و غیره) تحلیل خود را بیشتر به صورت ایستگاهی انجام داده‌اند و فقط به دنبال نشان دادن تغییرات کمی بودند، در این پژوهش تلاش بر آن شد تا تحلیل‌ها به صورت مکانی (منطقه‌ای) نیز در نظر گرفته شود. همچنین چون افزایش تعداد مدل‌ها و روش‌های ریزمقیاس نمایی و دوره‌های شبیه‌سازی آینده سبب افزایش عدم قطعیت در نتایج تغییر اقلیم می‌شود (فخری و همکاران، ۲۰۱۳؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۱۳ و هولم و براون، ۱۹۸۸)، در این پژوهش فقط از یک مدل منطقه‌ای و یک روش ریزمقیاس نمایی استفاده شد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر تغییرات بارندگی و تعداد رخداد بارش‌های حدی در دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) در دو ایستگاه منتخب استان گلستان است.

مواد و روش‌ها

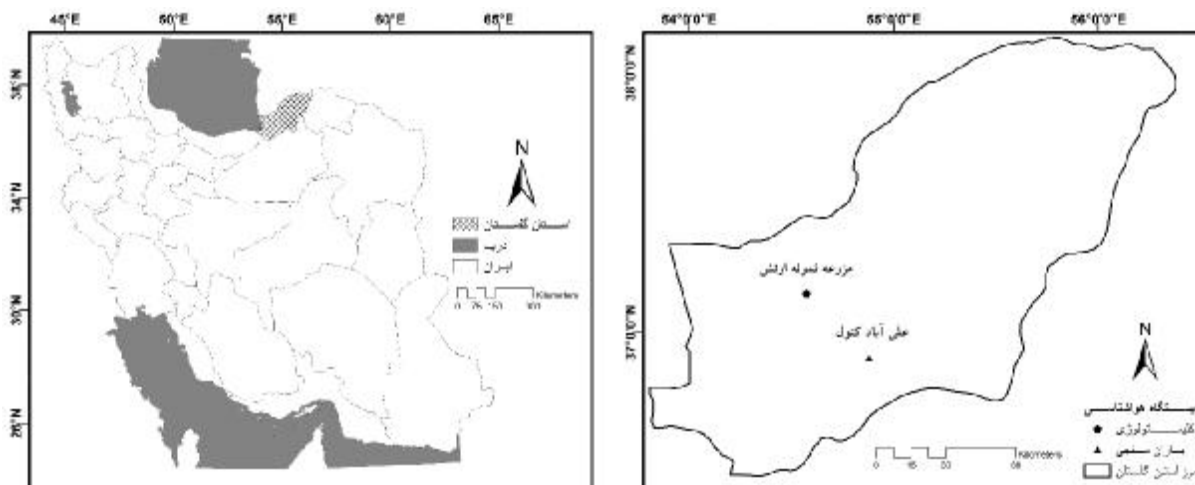
منطقه مورد بررسی در استان گلستان، در جنوب شرقی دریای خزر قرار دارد. داده‌های بارش روزانه مورد استفاده در این بررسی در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ (از سازمان هواشناسی استان گلستان) برای دو ایستگاه علی‌آباد کتول و مزرعه نمونه ارتش به دلیل آنکه از نظر آب و هوایی متفاوت و به نوعی به عنوان نماینده ایستگاه‌های مرطوب و نیمه‌خشک محسوب می‌شوند، در نظر گرفته شد. آمار بلندمدت و به طور تقریبی بدون نقص این دو ایستگاه از ویژگی‌های دیگر آن‌ها بود. جدول ۲ مشخصات و شکل ۱ موقعیت ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد.

فخری و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم روی تعداد روزهای تر با بارش بیش از ۲ و ۱۰ میلی‌متر در ایستگاه بهشت‌آباد کارون شمالی پرداختند، نتایج نشان از کاهش ۳۷ درصدی بارش کل در آینده بود، همچنین روزهای خیس‌تر و سیلابی به جز ماه‌های ژوئن و ژولای، کمتر شده و بیشترین مقدار این کاهش در ماه‌های دسامبر و نوامبر خواهد بود. اشرف واقفی و همکاران (۲۰۱۳) در حوضه کرخه، تعداد روزهای خیس‌تر با بارش بالای ۲ و ۱۰ و ۵۰ میلی‌متر را در ۴ ایستگاه تحت ۳ سناریو B1، A2، A1B بررسی کردند. نتایج نشان داد که بیشترین افزایش‌ها اغلب در سناریو A2 بوده است، همچنین مقایسه ضریب تغییرات بارش بالای ۵۰ میلی‌متر که نشان دهنده بارش‌های سنگین است، نشان می‌دهد که فقط در ایستگاه شمال ایلام افزایش بارش تحت همه سناریوها به ویژه در سناریو B1 است. در بررسی دیگری که از سوی فرزانه و همکاران (۲۰۱۲) در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد برای دوره زمانی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ انجام یافت به بررسی مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی تأثیر تغییرات آب و هوایی پرداختند. بدین منظور از ۵ مدل AOGCM مختلف که در گزارش ارزیابی سوم IPCC ارائه شده بود استفاده شد، که نتایج مدل HADCM3 هماهنگی بیشتری را با داده‌های مشاهداتی داشتند.

بررسی پژوهش‌های جدید نشان داد که پدیده تغییر اقلیم با توجه به آثار فعلی آن بر بارش و پیش‌بینی پژوهش‌گران مذکور، آینده کشور و جهان را به طور حتم تحت تأثیر قرار خواهد داد. از این‌رو پیش‌بینی این پدیده در هر منطقه از کشور برای برنامه‌ریزی دقیق و آمادگی در برابر حوادث و یا کمبودهای آینده منابع آبی ضروری است. با توجه به اینکه دیگر پژوهشگران (فخری، ۲۰۱۲؛ فرزانه،

جدول ۲- مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی

ایستگاه هواشناسی	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی (درجه و دقیقه)	عرض جغرافیایی (درجه و دقیقه)	ارتفاع (m)	میانگین بارندگی سالانه (mm)
علی‌آباد کتول	باران‌سنجی	۵۴ ۵۱	۳۶ ۵۴	۱۸۴	۶۴۰/۲
مزرعه نمونه ارتش	کلیماتولوژی	۵۴ ۳۶	۳۷ ۰۸	۱۰	۳۶۳/۱



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

روش کوچک‌مقیاس‌نمایی عامل تغییر^۲ و

درون‌یابی IDW

روش‌های مختلفی برای کوچک‌مقیاس‌نمایی وجود دارد. هر کدام از این روش‌ها دارای عیب‌ها و مزایای خاص خود بوده و نمی‌توان یک روش را به عنوان بهترین روش انتخاب کرد. در این پژوهش برای بالا بردن دقت شبیه‌سازی بارندگی در دوره آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای تغییر اقلیم، از تلفیق خروجی CRU با روش وزن‌دهی عکس فاصله و روش تناسبی و عامل تغییر استفاده شده است. به دلیل بزرگ‌مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی مدل‌های AOGCM، شبیه‌سازی نوسانات اقلیمی این متغیرها همراه با اغتشاش است. به گونه‌ای که مقایسه خروجی این مدل‌ها با داده‌های مشاهده‌ای نشان از وجود اختلاف در نوسان متغیر مورد بررسی دارد. برای حذف اغتشاشات غیر معتبر 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 آینده نسبت به دوره گذشته، عامل تغییر آن متغیر را به دست آورد. در این

معرفی مدل CRU^۱

اقلیم منطقه‌ای متأثر از یک‌سری عوارض جغرافیایی مانند کوهستان و بادهای محلی است که امکان پارامتری کردن آن‌ها در مدل‌های جهانی میسر نیست. پس 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 بررسی داده‌های ماهانه بارش از بانک اطلاعاتی واحد پژوهش اقلیمی CRU، برای دوره ۲۰۰۰-۲۱۰۰ تحت چهار سناریو A1، A2، B1 و B2 با قدرت تفکیک ۵/۵×۰/۵ گرفته شد. بانک اطلاعات CRU از سوی دانشگاه آنگلیای شرقی (بریتانیا)، بنیان نهاده شده و داده‌های اقلیمی گوناگونی را با تفکیک‌های مکانی مختلف و قدرت تفکیک بالا و پوشش فضایی جهانی در مقیاس ماهانه فراهم می‌کند که مدل HADCM3 به‌عنوان شرایط مرزی این مدل منطقه‌ای استفاده شد. داده‌های این مدل به عنوان یکی از برترین پایگاه‌های داده‌های اقلیمی در سرتاسر جامعه علمی استفاده می‌شوند. این مدل در گزارش چهارمین ارزیابی (۲۰۰۷) انتشار یافت و جزء مدل‌های جدید برای مدل‌سازی کاربردی است.

2- Change factor

1- Climate Research Unite (CRU)

فاصله بین نقطه $Z^*(x_j)$ و $Z(x_i)$ ، s فاکتور همواری و ρ نمای وزن‌دهی است ($\rho=3$ و $S=0.1$).
به دلیل آنکه خروجی مدل‌های GCM همراه با مختصات مکانی روی کره زمین (طول و عرض جغرافیایی) ارائه می‌شوند، قبل از هر گونه تجزیه و تحلیل‌های آماری، این مختصات به سیستم تصویر هم مساحت تبدیل شد. بدین منظور در این پژوهش از روش سیستم تصویر استوانه‌ای هم‌مساحت^۱ در محیط MATLAB 7.10.0 استفاده شد. در نهایت سری زمانی سناریوی اقلیمی بارندگی آینده با دوره مشاهداتی مقایسه گردید و تغییرات بارش بررسی شد. برای بررسی تعداد رخداد‌های بارش‌های سنگین با شاخص بارش بالای ۵۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد و ماه‌های پرخطر در هر ایستگاه از نظر وقوع بارش‌های حدی پیش‌بینی شد.

نتایج و بحث

برای ارزیابی تغییرات اقلیم، دوره آینده ۳۰ ساله (۲۰۴۰-۲۰۱۱) بررسی شده است. شکل‌های ۲ و ۳ نشان دهنده تغییرات بارش در دوره ۳۰ سال آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از چهار سناریو تغییر اقلیم است. نتایج نشان از آن است که تغییرات بارش برای هر دو ایستگاه در فصل پاییز و اوایل بهار و زمستان و اواسط و اواخر تابستان افزایش می‌یابد. بیشترین مقدار افزایش بارش در ماه نوامبر و ژانویه انتظار می‌رود که احتمال افزایش شدت سیلاب‌ها را در ابتدای زمستان هشدار می‌دهد. در هر دو ایستگاه بیشترین افزایش بارش در ماه نوامبر تحت سناریو انتشار A1 و بیشترین کاهش بارش در ماه مارس تحت سناریو انتشار A1 دیده می‌شود؛ محدوده این تغییرات در ایستگاه علی‌آباد کتول (۲۵/۴۸ ~ -۱۳/۴۸) بیشتر از ایستگاه مزرعه نمونه ارتش (۱۲/۹۱ ~ -۸/۶۲) است.
اما نتایج به دست آمده از پژوهش مهدی‌زاده و همکاران (۱۳۹۰)، در حوضه سد گلستان که با استفاده از داده‌های مدل CGCM3، برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۰۵۰ تحت دو سناریوی A2 و B1 انجام شد، به طور کلی نشان می‌دهد بارش میانگین ماهانه در فصل‌های تابستان و بهار کاهش و در فصل‌های زمستان و پاییز افزایش می‌یابد که براساس نتایج شکل ۲ و ۳ نیز بیشترین افزایش‌ها در پاییز و اوایل

روش ابتدا 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 آینده و دوره شبیه‌سازی شده پایه با همان مدل برای هر سلول از شبکه محاسباتی محاسبه می‌شود (معادله (۱)).

$$\Delta P_i = \left(\frac{\bar{P}_{GCM, fut, i}}{\bar{P}_{GCM, base, i}} \right) \quad (1)$$

در معادله بالا ΔP_i بیانگر سناریو تغییر اقلیم میانگین درازمدت ۳۰ ساله بارندگی برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{P}_{GCM, fut, i}$ میانگین ۳۰ ساله بارش شبیه‌سازی شده با GCM در دوره آینده برای هر ماه، $\bar{P}_{GCM, base, i}$ 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 است.

در نهایت برای به دست آوردن سری زمانی سناریوی اقلیمی آینده، این مقادیر در مقادیر مشاهداتی ضرب می‌شود (معادله (۲)).

$$P = P_{obs} \times \Delta P_i \quad (2)$$

در معادله بالا P_{obs} بیانگر 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 است.

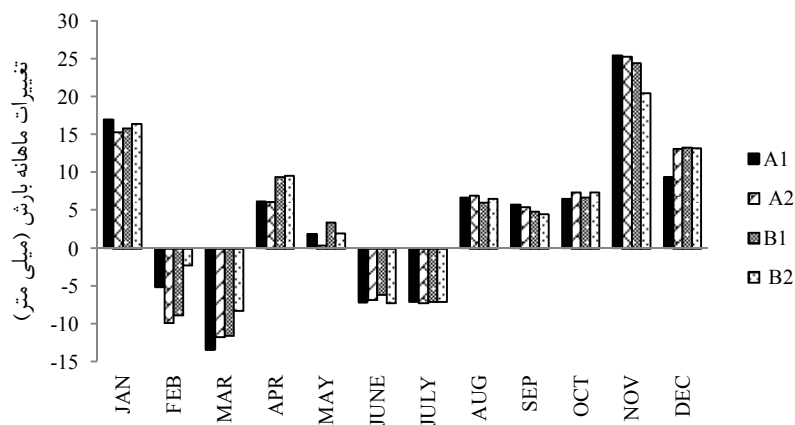
به دلیل آنکه خروجی مدل‌های GCM به طور سلولی و با ابعاد وسیع هستند، پس استفاده از اطلاعات این سلول برای ایستگاه‌های هواشناسی می‌تواند خطای زیادی را در مقایسه متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده با مدل‌های GCM با داده‌های مشاهداتی آن موقعیت ایجاد کند. برای رفع این مشکل و هماهنگی داده‌های CRU با اقلیم منطقه، پیش از اجرای مدل برای شبیه‌سازی داده‌های آینده، با روش‌های IDW و ایجاد یک رابطه مکانی با ۸ سلول مجاور، اطلاعات مربوط به موقعیت مورد نظر درون‌یابی شد. در این روش، کمیت مورد نظر بر اساس مقادیر این کمیت در دیگر نقاط محدوده با معادله (۳) درون‌یابی می‌شود:

$$Z^*(x_j) = \frac{\sum \frac{Z(x_i)}{(h_{ij} + s)^\rho}}{\sum \frac{1}{(h_{ij} + s)^\rho}} \quad (3)$$

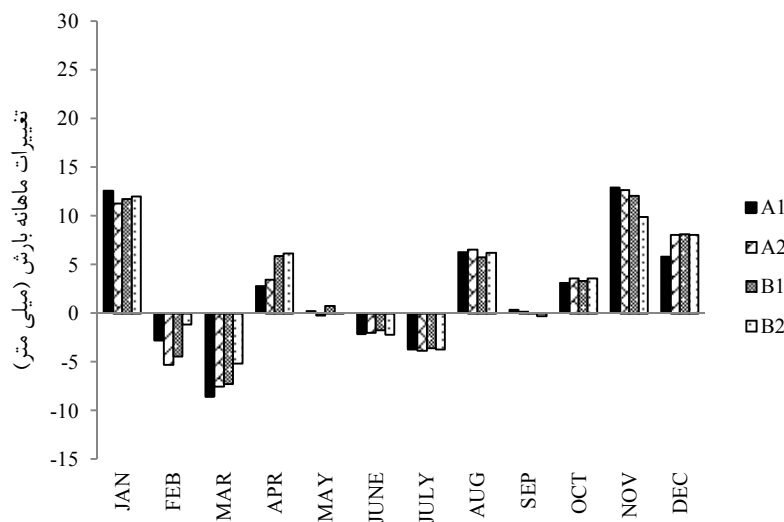
که در آن، $Z^*(x_j)$ مقدار کمیت تخمین زده شده در نقطه h_{ij} ، $Z(x_i)$ مقدار کمیت اندازه‌گیری شده در نقطه x_i ،

جدول ۳ و ۴ ارائه شده است. بر اساس این جدولها می‌توان گفت در همه فصلها بر حسب بیشتر سناریوها، افزایش بارش فصلی، در ایستگاههای مورد بررسی روی خواهد داد. البته در فصل زمستان برای ایستگاه علی‌آباد کنترل تحت بیشتر سناریوها (به استثناء سناریو خوش‌بینانه B2) و در فصل بهار تحت سناریو A2 کاهش بارش پیش‌بینی می‌شود. این کاهش بارش در مزرعه نمونه در سناریو A2 در فصل زمستان پیش‌بینی شده است.

زمستان مشاهده می‌شود. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، در ایستگاه نمونه کریم با اقلیم مرطوب، تغییرات در بارش برای سناریو A2 با شدت بیشتری رخ خواهد داد. اما در این پژوهش که از چهار سناریو انتشار استفاده شده است این نتیجه به دست آمد که در ایستگاه علی‌آباد کنترل با اقلیم مرطوب تغییرات بارش برای سناریو A1 با شدت بیشتری رخ خواهد داد و افزایش بارش بیشتر در پاییز و اوایل زمستان و اواخر تابستان مورد انتظار خواهد بود. تغییرات بارندگی فصلی در چهار سناریو تغییر اقلیم در



شکل ۲- تغییرات بارش ماهانه ایستگاه علی‌آباد کنترل تحت سناریوهای مختلف



شکل ۳- تغییرات بارش ماهانه ایستگاه مزرعه نمونه ارتش تحت سناریوهای مختلف

جدول ۳- تغییرات فصلی بارش در ایستگاه علی‌آباد کنترل در ۳۰ سال آینده بر اساس سناریوهای مدل CRU بر حسب میلی‌متر

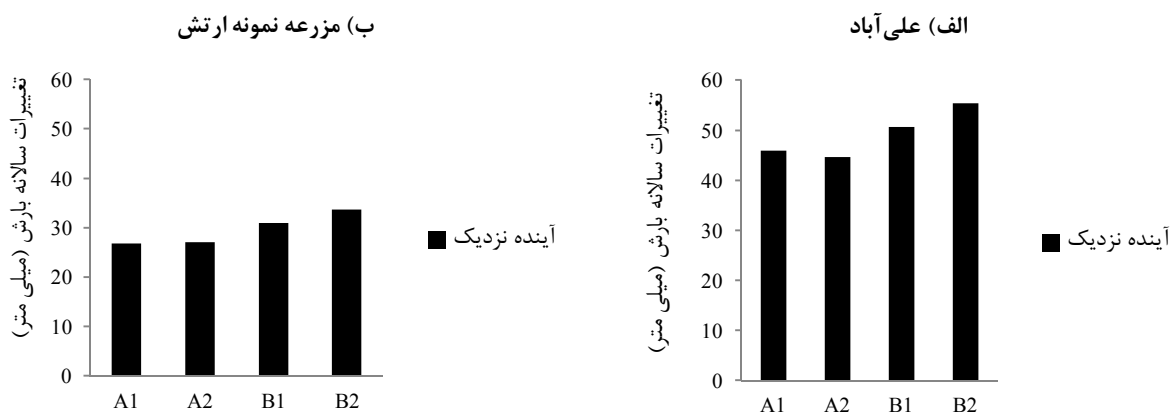
تغییرات فصلی بارش (mm)	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
آینده نزدیک A1	-۱/۶۴	۰/۸۴	۵/۳۵	۴۱/۴
آینده نزدیک A2	-۶/۱۸	-۰/۳	۵/۲۶	۴۵/۸۵
آینده نزدیک B1	-۴/۵	۶/۷	۳/۸۹	۴۴/۵۷
آینده نزدیک B2	۵/۹۲	۴/۳۶	۳/۹۹	۴۱/۱۵

جدول ۴- تغییرات فصلی پارامتر بارش ایستگاه مزرعه نمونه در ۳۰ سال آینده بر اساس سناریوهای مدل CRU

تغییرات فصلی بارش (mm)	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
آینده نزدیک A1	۱/۲۱	۰/۸۴	۲/۹۶	۲۱/۸۱
آینده نزدیک A2	-۱/۴۵	۱/۲۶	۲/۹۳	۲۴/۳۶
آینده نزدیک B1	۰/۱۱	۴/۹۷	۲/۲۷	۲۳/۶
آینده نزدیک B2	۵/۸	۴/۰۴	۲/۲۸	۲۱/۶۴

تغییرات بارش سالانه در شکل ۴ نشان داده شده است. این نمودار نشان دهنده افزایش سالانه بارش دوره آینده ۲۰۴۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره پایه (در هر چهار سناریو) است. این افزایش در ایستگاه علی‌آباد کتول تحت سناریو B2 بیشتر (۵۵/۴۳mm) و تحت سناریو A2 از همه کمتر

(۴۴/۶۳mm) است (چون تحت سناریو A2 در دو فصل زمستان و بهار کاهش بارش پیش‌بینی شده است)؛ ولی در ایستگاه مزرعه نمونه افزایش بارش سالانه تحت سناریو B2 بیشتر (۳۳/۷۵mm) و تحت سناریو A1 از همه کمتر (۲۶/۸۲mm) است.



شکل ۴- تغییرات بارش سالانه ایستگاه علی‌آباد (الف) و مزرعه نمونه ارتش (ب) تحت سناریوهای مختلف

اوایل زمستان روی خواهد داد، همچنین بیشترین افزایش در ایستگاه‌های علی‌آباد و مزرعه نمونه به ترتیب در ماه نوامبر و ژانویه پیش‌بینی می‌شود. در پژوهشی که بابائیان و همکاران (۱۳۸۸)، روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور انجام دادند، برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ بررسی نتایج روی شمال شرق کشور نشان از جابه‌جایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد است.

در شکل ۶ محدوده تغییرات بارش بالای ۵۰ میلی‌متر به همراه میانگین و تعداد این رخدادها نشان داده شده است. همان‌گونه که شکل‌ها نشان می‌دهند هم تعداد رخدادها و بارش‌های بالا (بالای ۵۰ میلی‌متر) و هم حد بالای بارش‌ها در هر دو ایستگاه افزایش یافته است؛ در صورتی که میزان میانگین بارش‌ها تغییر محسوسی را نشان نمی‌دهد. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت احتمال وقوع بارش‌های سیل‌آسا بیشتر شده است که این امر سبب افزایش مقدار

جدول‌های ۵ و ۶ مقایسه میانگین بارش سالیانه در ۳۰ سال آینده تحت سناریوهای مختلف را با دوره مشاهداتی نشان می‌دهند. مقادیر بیان شده در جدول‌های ۵ و ۶ برای هر چهار سناریو تغییر اقلیم، افزایش بارش در تمام ایستگاه‌ها را در ۳۰ سال آینده نشان داده است. بیشترین این افزایش نیز در هر دو ایستگاه تحت سناریو B2 رخ داده است. افزایش میانگین بارش ایستگاه علی‌آباد کتول حدود ۷/۶ درصد و در ایستگاه مزرعه نمونه ارتش در حدود ۸/۷۳ درصد است. شکل ۵ تعداد رخدادها و بارش بالای ۵۰ میلی‌متر را در هر ماه برای هر ایستگاه تحت سناریوهای مختلف نشان می‌دهد. با توجه به این نتایج، انتظار می‌رود تعداد رخدادها و حدی در دوره آینده افزایش یابد؛ که این افزایش در ایستگاه علی‌آباد کتول بیشتر در اواخر تابستان و اواسط پاییز رخ خواهد داد، اما در ایستگاه مزرعه نمونه ارتش این افزایش در اواخر پاییز و

شکل‌های ۵ و ۶ نشان می‌دهد که تغییر اقلیم می‌تواند سبب افزایش رویدادهای حدی باران در گلستان شده، به طوری که با افزایش سطح دی‌اکسیدکربن، تعداد روزهای بارش حدی روزانه افزایش خواهد یافت؛ که در حقیقت این امر می‌تواند سبب افزایش تواتر سیل در استان گلستان شود.

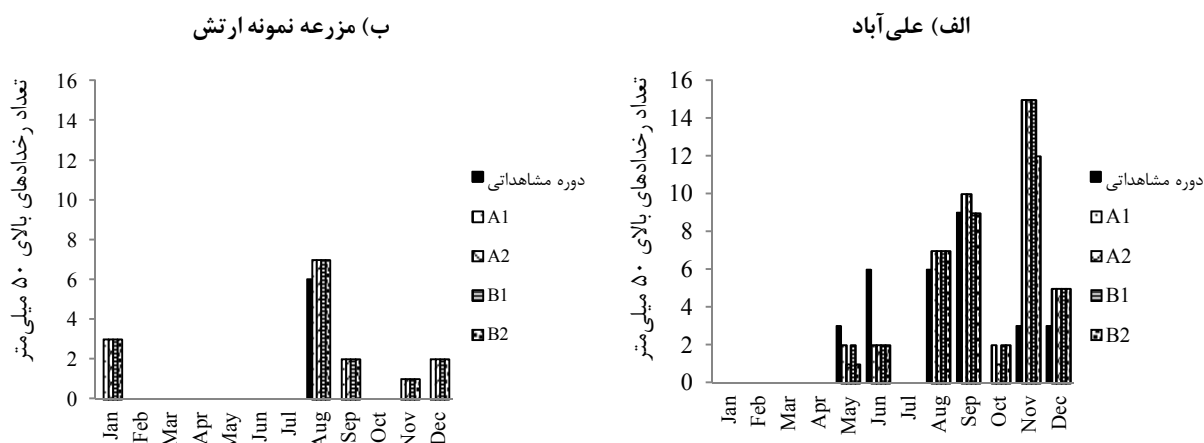
بارش سالانه شده است. البته باید افزایش احتمال سیل در این مناطق با در نظر گرفتن پارامترهای دما و رطوبت خاک و ... در تحقیقات بعدی لحاظ گردد. همچنین احتمال افزایش رخداد‌های حدی با توجه به نمودارها در علی‌آباد بیشتر از ایستگاه مزرعه نمونه ارتش است.

جدول ۵- میانگین ۳۰ ساله بارش ایستگاه علی‌آباد کتول برای دوره پایه و ۴ سناریو تغییر اقلیم آینده

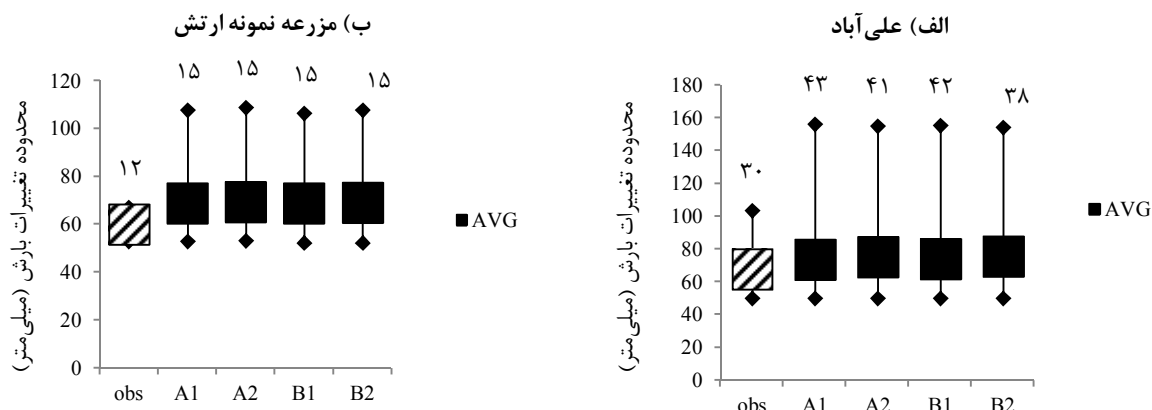
B2	B1	A2	A1	میانگین سالانه (mm)
۶۴۷/۰۱	۶۴۷/۰۱	۶۴۷/۰۱	۶۴۷/۰۱	دوره پایه
۷۰۲/۴۴	۶۹۷/۶۷	۶۹۱/۶۴	۶۹۲/۹۵	آینده نزدیک

جدول ۶- میانگین ۳۰ ساله بارش ایستگاه مزرعه نمونه ارتش برای دوره پایه و ۴ سناریو تغییر اقلیم آینده

B2	B1	A2	A1	میانگین سالانه (mm)
۳۳۹/۷۱	۳۳۹/۷۱	۳۳۹/۷۱	۳۳۹/۷۱	دوره پایه
۳۷۳/۴۶	۳۷۰/۶۶	۳۶۶/۸۱	۳۶۶/۵۲	آینده نزدیک



شکل ۵- تعداد رخداد بالای ۵۰ میلی‌متر در ایستگاه علی‌آباد کتول (الف) و مزرعه نمونه ارتش (ب)



شکل ۶- محدوده تغییرات، میانگین و تعداد بارندگی روزانه بالای ۵۰ میلی‌متر ایستگاه علی‌آباد کتول (الف) و مزرعه نمونه (ب)

نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه مقدار و زمان وقوع بارندگی مهم‌ترین نقش را در نحوه مدیریت منابع آب یک منطقه دارد، پیش‌بینی این متغیر هواشناسی و هیدرولوژیک، برای استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور به ویژه در ارتباط با بلایای طبیعی ضروری به نظر می‌رسند. میانگین بارش ۳۰ سال آینده برای هر دو ایستگاه تحت هر چهار سناریو نشان می‌دهد که مقادیر بارش در سال‌های آینده رو به افزایش است. بررسی نتایج تغییرات بارش در ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که در پاییز و اواخر تابستان این تغییرات افزایش می‌یابد. نتایج این پژوهش که افزایش فراوانی وقوع بارش‌های سنگین را نشان می‌دهد باید مورد توجه جدی در برنامه‌ریزی منابع آب و نیز کنترل حاشیه رودخانه‌ها و حفظ جان انسان‌ها قرار گیرد. بر اساس رخدادهای سیل‌های اخیر در منطقه، ماه‌های گرم سال به‌عنوان خطرناک‌ترین ماه‌ها در وقوع سیل هستند، به طوری که ماه‌های سرد سال در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. از آنجا که براساس نمودارهای ارائه شده نیز افزایش تعداد رخدادهای در مرداد و شهریور پیش‌بینی شده است، پس می‌توان گفت که بارش‌ها به سمت سیل‌آسا شدن پیش خواهند رفت. سیلاب‌های شدید سال ۱۳۸۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۸۳ در استان گلستان تأییدکننده این پیش‌بینی‌هاست.

منابع

- آذرانفر آ. ابریشم‌چی ا. و تجریشی م. ۱۳۸۵. ارزیابی تغییرات بارش و دما بر اثر تغییر اقلیم با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی. دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، انجمن علوم و مهندسی منابع آب ایران.
- بابائیان ا. نجفی نیک ز. زابل عباسی ف. حبیبی نوخندان م. ادب ح. و ملیبوسی ش. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. مجله جغرافیا و توسعه. ۱۶(۷): ۱۳۵-۱۵۲.
- سادات‌آشفته پ. و مساح بوانی ع. ر. ۱۳۸۹. تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر: مطالعه موردی، حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۴(۵۳): ۲۵-۳۹.
- مهدی‌زاده ص. مفتاح هلقی م. سید قاسمی س. و مساعدی ا. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان. مجله پژوهش‌های آب و خاک. ۱۸(۳): ۱۱۷-۱۳۲.
- Abbaspour K. C. Faramarzi M. SeyedGhasemi S. and Yang Y. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. *J. Water Resources Research*. 45(10): 1-16.
- Andersen H. E. Kronvang B. Larsen S. E. Hoffmann C. Ch. Jensen T. S. and Rasmussen E. K. 2006. Climate-change impacts on hydrology and nutrients in a Danish Lowland river basin. *Science of the Total Environment*. 365(1-3): 223-37.
- Ashrafvaghefi S. A. 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*. DOI: 10.1002/hyp.9747.
- Dracup J. A. and Vicuna S. 2005. An Overview of Hydrology and Water Resources Studies on Climate Change: the California Experience. *Proc. EWRI 2005: Impacts of Global Climate Change*. 10.1061/40792(173)483.
- Fakhri M. Farzaneh M. R. Eslamian S. and Khordadi M. J. 2012. Uncertainly Assessment of Downscaled Rainfall: Impact of Climate Change on the Probability of Flood. *Journal of Flood Engineering*. 3(1): 19- 28.
- 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(7): 911-918.
- Faramarzi M. Abbaspour K. Ashraf Vaghefi S. Farzaneh M.R. Zehender A. Srinivasan R. and Yang H. 2013. Modeling impacts of climate change on freshwater availability in Africa. *Journal of Hydrology*. 480: 85-101. DOI: 10.1016.
- Farzaneh M. R. Eslamian S. Samadi S. Z. and Akbarpour A. 2012. An Appropriate General Circulation Model (GCM) to Investigate Climate Change Impact. *Int. J. Hydrology Science and Tecnology*. 2(1):34-47. DOI: 10.1504/IJHST.2012.045938.
- Hulme M. and Brown O. 1998. Portraying Climate Scenario Uncertainties in Relation to Tolerable Region Climate Change. *Climate Research*. 10(1): 1-14.
- 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. 1-8
15. Karl T. R. Knight R. W. Easterling D. R. and Quayle R. G. 1996. Indices of climate change for the United States. American Meteorological Society Bulletin, Boston. 77(2): 279-292.
 16. Zhao Y. Camberlin P. and Richard Y. 2005. Validation of a coupled GCM and projection of summer rainfall change over South Africa, using a statistical downscaling method. Climate research. 28(2): 109-122.