

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی

آرش آذرانفر، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده عمران*

احمد ابریشم‌چی، استاد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده عمران

مسعود تجربی، دانشیار، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده عمران

* تلفن همراه: ۰۹۱۲-۶۱۹۲۶۵۲ پست الکترونیکی: arash_azaranfar@yahoo.com

چکیده

پدیده گرمایش جهانی در حال وقوع و اقلیم در حال تغییر است. این پدیده به علت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در آتمسفر می‌باشد. یکی از روشهای بررسی تغییرات بارش و دما، استفاده از داده‌های خروجی مدل‌های چرخش عمومی است. محدودیت اصلی استفاده از نتایج اقلیمی مدل‌های چرخش عمومی (GCM) این است که دقت تجزیه مکانی آنها مناسب مدل‌های هیدرولوژیکی نیست و برای استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی نیاز به کوچک مقیاس کردن دارند. روشهای مختلفی برای کوچک مقیاس کردن و با تبدیل خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه رودخانه توسعه یافته‌اند. در این مقاله ضمن اشاره به روش‌های موجود برای کوچک مقیاس کردن داده‌ها، تغییرات بارش و دما در حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از کوچک مقیاس کردن به روش آماری مورد بررسی قرار گرفته که در نتیجه انتظار افزایش دما بین ۲ تا ۵ درجه در دوره‌های آینده و همچنین افزایش بارش در ماههای دسامبر و ژانویه، وجود دارد.

کلید واژه‌ها: تغییر اقلیم، مدل‌های چرخش عمومی، تغییرات بارش و دما، کوچک مقیاس کردن آماری

۱- مقدمه

هیات بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ در سال ۲۰۰۱ گزارش داد که اقلیم در حال تغییر و گرمایش جهانی در حال وقوع است [۱]. این پدیده به علت افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در آتمسفر می‌باشد [۲]. Lane و همکارانش (۱۹۹۹) بیان داشتند که طبق گزارش هیات بین‌الدول تغییر اقلیم، دمای سطحی زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتیگراد در طول قرن گذشته افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۱۰۰ مقدار آن ۱ تا ۳/۵ درجه سانتیگراد افزایش یابد [۳]. همچنین پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی با فرض افزایش سالانه یک درصد غلظت گاز گلخانه‌ای، افزایش ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتیگراد در میانگین دمای سطحی را نشان می‌دهد که با احتمال ۹۵٪ بین ۱/۷ تا ۴/۹ درجه سانتیگراد است [۴].

^۱ - Intergovernmental panel on climate change

ارتباط تنگاتنگی بین چرخه هیدرولوژی و سیستم اقلیمی وجود دارد. هر تغییری در اقلیم، روی عناصر هیدرولوژی اثر می‌گذارد. رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، آبهای زیرزمینی، شدت سیلاب و خشکی، همگی متاثر از بارش و دما که از مهمترین عناصر اقلیمی هستند، می‌باشند. با توجه به افزایش میزان CO₂ و به تبع آن وقوع گرمایش جهانی و تاثیر آن بر منابع آبی ملی و منطقه‌ای، لحاظ کردن تاثیر تغییرات فوق بر برنامه‌ریزی‌های منابع آب ضروری به نظر می‌رسد.

۲- مراحل تحقیقاتی "ارزیابی تاثیرات تغییر اقلیم"

Gleick (۱۹۸۹) و Wood و همکارانش (۱۹۹۵) روش ارزیابی تاثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب را ارائه کرده‌اند [۱] و [۵]. در فرآیند این بررسی دو گام اصلی وجود دارد: (۱) بررسی تغییرات در دما، بارش و متغیرهای دیگر اقلیم‌شناسی^۲ مانند تبخیر و تعرق و (۲) بررسی تغییرات در رواناب با استفاده از خروجی‌های گام قبل. با مروری بر مطالعات انجام شده و بررسی ساختار آنها و گام‌های اساسی مطرح شده توسط Wood و همکارانش (۱۹۹۵) و Gleick (۱۹۸۹)، مراحل انجام تحقیق در مورد "تاثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب" را می‌توان به شرح زیر تقسیم‌بندی کرد:

مرحله اول: بررسی داده‌های تاریخی برای آنکه مشخص شود آیا در پارامترهای اقلیمی و هیدرولوژیکی گذشته اثری از تغییر اقلیم مشاهده می‌شود. در صورتی که تغییری در داده‌هایی نظیر بارش، دما و یا رواناب رودخانه مشاهده گردد، می‌توان با بررسی علل و عوامل این تغییرات، سناریوهایی برای وقوع تغییرات در آینده تولید کرد.

مرحله دوم: مدل‌های اقلیمی با فرض شرایط مختلفی که در آینده خواهیم داشت، به پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی آینده می‌پردازند. این مدل‌ها دارای تجزیه‌مکانی^۳ پایینی هستند و برای استفاده در مدل‌های هیدرولوژیکی نیاز به کوچک مقیاس کردن داده‌ها دارند.

مرحله سوم: تهیه مدل هیدرولوژیکی که قادر باشد با استفاده از داده‌های اقلیمی مانند بارش و دما، جریان رواناب رودخانه را شبیه‌سازی کند. با استفاده از داده‌های مرحله دوم جریان‌های تغییر یافته در اثر تغییر اقلیم شبیه‌سازی می‌شوند و از نظر مقدار و الگوی تغییرات سالانه مورد بررسی قرار می‌گیرند.

مرحله چهارم: در این مرحله، مطالعات مختلفی با توجه به نیاز منطقه انجام خواهد شد. این مطالعات می‌تواند شامل بهره‌برداری مخزن از نظر تامین نیازهای کشاورزی یا برقایی، کنترل سیل و یا اثرات زیست‌محیطی باشد.

۳- مدل‌های چرخش عمومی

مدل‌های چرخش عمومی^۴ (GCM) بهترین اطلاعات درباره پاسخ جو به افزایش تمرکز گازهای گلخانه‌ای را می‌توانند فراهم کنند. این مدل‌ها وابسته به زمان و دارای شبیه‌سازی‌های عددی سه بعدی شامل حرکات جوی، تبادلات گرمایی و اندرکنش‌های یخ، اقیانوس و خشکی است [۱].

این مدل‌ها در مراکز مختلفی اجرا شده‌اند که برخی از آنها عبارت‌اند از: مدل CSIRO-Mk2 در مرکز تحقیقاتی CSIRO در استرالیا، مدل‌های ECHAM3 و ECHAM4 در مرکز تحقیقاتی DKRZ در آلمان، مدل‌های HADCM2 و HADCM3 در مرکز تحقیقاتی HCCPR در انگلیس، مدل CGCM1 و CGCM2 در مرکز CCCMA در کانادا، مدل GFDL-R15-a در مرکز GFDL در آمریکا، مدل NCAR1 در مرکز NCAR در آمریکا و مدل‌های CCSR و NIES در مراکز به همین نام در ژاپن. نتایج خروجی این مدل‌ها در سایت توزیع داده‌های IPCC در دسترس است [۶].

² - Climatologic

³ - Resolution

⁴ - General Circulation Models

۴- کوچک مقیاس کردن داده‌ها

یکی از محدودیت‌های اصلی استفاده از داده‌های اقلیمی مدل‌های GCM این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل‌های هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها که در حدود ۲۰۰ کیلومتر است، برای بررسی مناطق کوهستانی و مطالعه فرآیندهایی مانند بارش، نامناسب است [۷].

چندین روش برای کوچک مقیاس کردن^۵ و یا تبدیل خروجی‌های GCM به متغیرهای سطحی در مقیاس حوضه رودخانه توسعه یافته‌اند. بیشترین روش‌های به کار رفته عبارت‌اند از: (۱) روشهای نسبت و تفاوت (۲) کوچک مقیاس کردن آماری^۶ (۳) کوچک مقیاس کردن دینامیکی یا مدل nested [۵].

در مطالعات اولیه به کوچک مقیاس کردن داده‌های GCM توجهی نمی‌شد و از داده‌های خام استفاده می‌کردند. روش نسبت/تفاوت اولین روشی بود که مورد توجه قرار گرفت. در این روش به طور معمول نسبت‌های ماهانه برای سری‌های تاریخی به دست می‌آید. اما با گذر زمان، روشهای پیچیده‌تری (مانند روش آماری و یا دینامیکی) ترجیح داده شده‌اند. این روشها قادر هستند سری‌های زمانی جدیدی از متغیرهای اقلیمی (نه بر پایه ضرایبی برای داده‌های تاریخی) تولید کنند. این روشها امکان تحلیل تغییرات در فراوانی پدیده‌های حدی (مانند سیل و خشکسالی) یا بررسی تغییرات درون‌سالی را فراهم کرده‌اند [۱].

در روش‌های دینامیکی، مدل‌های اقلیمی GCM شرایط مرزی را برای مدل‌های ترکیبی جو-زمین با قدرت تجزیه مکانی بالا فراهم می‌کنند. این مدل‌ها از نظر تئوری همان روش مدل‌های اقلیمی را دنبال می‌کنند و تنها تفاوت آنها این است که از شبکه‌بندی کوچکتری استفاده می‌کنند؛ لذا همان پیچیدگی‌های مدل‌های اقلیمی را دارند [۵].

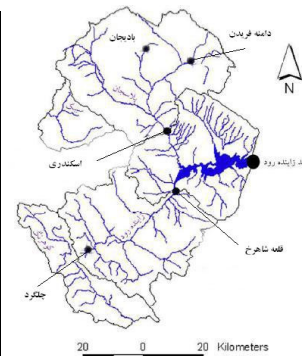
کوچک مقیاس کردن آماری شامل توسعه روابط بین متغیرهای بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده) و متغیرهای سطحی محلی (پیش‌بینی شده‌ها) است. در شکل عمومی، پیش‌بینی شده‌ها به عنوان تابعی از پیش‌بینی کننده‌ها مطرح می‌شوند. اما انواع دیگری مانند رابطه بین پیش‌بینی کننده‌ها و پارامترهای توزیع آماری پیش‌بینی شده‌ها یا فراوانی مقادیر حدی پیش‌بینی شده‌ها نیز به کار رفته‌اند.

۵- مورد مطالعاتی

مورد مطالعاتی، حوضه آبریز زاینده‌رود در قسمت بالادست سد می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات ایستگاههای مورد مطالعه ارائه شده است. داده‌های مورد استفاده، میانگین بارش روزانه و دمای حداکثر و حداقل می‌باشند.

جدول (۱): مشخصات و موقعیت ایستگاههای مورد مطالعه

ایستگاه بارش	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
چلگرد	باران سنجی - تماب	50-08	32-27	2400
دامنه فریدن	باران سنجی - تماب	50-29	33-01	2300
قلعه شاهرخ	باران سنجی - تماب	50-28	32-39	2100
اسکندری	باران سنجی - تماب	50-26	32-49	2130
ایستگاه دما	نوع ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
دامنه فریدن	کلیما تولوژی - سازمان هواشناسی	50-29	33-01	2300
بادیجان	کلیما تولوژی - سازمان هواشناسی	50-20	33-05	2300



⁵ - Downscaling

⁶ - Statistical Downscaling

۶- روش انجام تحقیق

در این تحقیق از روشی استفاده شده که Dettinger و همکارانش (۲۰۰۴) در مطالعات خود استفاده کردند. این روش، یکی از روشهای کوچک مقیاس کردن آماری برای تصحیح نتایج مدل GCM است. در این روش، از سری های دما و بارش خروجی مدل GCM، به عنوان متغیرهای پیش بینی کننده استفاده می شود.

سری های زمانی شبیه سازی شده، اصلاح می شوند تا توابع توزیع احتمال^۷ (PDF) آنها با توابع توزیع احتمال دمای هوا و بارش در ایستگاههای هواشناسی حوضه آبریز همخوانی داشته باشند. ایده آل است که مقایسه توابع توزیع احتمال در ایستگاههایی که بیش از ۳۰ سال آمار (در شرایط اقلیم پایدار آماری) دارند، انجام شود. اما به دلیل عدم وجود آمار مناسب، دوره پایه در نظر گرفته شده از سال ۱۹۶۷ تا ۱۹۷۹ است و میانگین بارش روزانه و دمای حداکثر و حداقل در این دوره مورد ارزیابی قرار گرفته است [۲].

به طور معمول توزیع احتمال داده های خام مدل GCM، بر توزیع احتمال داده های تاریخی منطبق نیست. لذا با توسعه و کاربرد توابع قطعی^۸ داده های خام اصلاح می شوند تا تطابق لازم بین توابع توزیع احتمال به دست آید. سپس همان توابع قطعی برای سری های بارش و دما دوره های آینده، استفاده می شود.

در این روش برای کوچک مقیاس کردن مقادیر دما، داده های مشاهده ای و پیش بینی شده توسط مدل GCM به صورت نزولی (برای به دست آوردن احتمال وقوع "برابر یا کم تر از") مرتب می شوند و با استفاده از روابطی مانند رابطه ویبول $(\frac{i}{N+1})$ ، که i رتبه نمونه و N تعداد نمونه ها در هر سری است، احتمال وقوع "برابر یا کم تر از" محاسبه می شود. سپس با استفاده از رابطه رگرسیونی ساده بین متغیرهای مشاهده شده و پیش بینی شده، تابعی حاصل می شود که با استفاده از آن می توان مقادیر پیش بینی شده آینده را کوچک مقیاس کرد. این عمل برای هر ماه و متغیرهای دمای حداکثر و حداقل، به طور جداگانه انجام می شود.

توزیع های احتمال بارش، پیچیده تر از توزیع های دما هستند، زیرا بارش روزانه شامل بسیار روزهایی است که بارش وجود ندارد. همچنین، Broccoli و Lindberg (۱۹۹۵) بیان کردند که مدل های اقلیمی تمایل به ارائه بارش های اندک، بیش از واقعیت موجود دارند. لذا روش بیان شده برای دما، جهت تعدیل این پیچیدگی ها اصلاح شده است. ابتدا سری های مرتب شده مشاهدات و مقادیر پیش بینی شده با یکدیگر مقایسه می شوند تا یک مقدار آستانه در شبیه سازی ها که مطابق با شروع بارش مشاهدات باشد، تعیین شود [۲]. روزهایی که مقدار بارش آنها بیش از مقدار آستانه باشد، روزهای تر و روزهایی که از مقدار آستانه بارش کمتری داشته باشند، بارش آنها صفر منظور می گردد.

پس از انجام این مرحله اصلاحی و جدا کردن روزهای تر و خشک، روش کار مانند دماست؛ با این تفاوت که Dettinger و همکارانش ریشه دوم بارش (به جهت برازش تقریبی آنها به تابع نرمال) را در رگرسیون شرکت داده اند ولی در این تحقیق از لگاریتم داده های بارش استفاده شده زیرا در تمامی موارد، برازش لگاریتم داده ها به توزیع نرمال، نزدیکتر از ریشه دوم آنها می باشد.

۷- مدل GCM مورد استفاده

در این مطالعات از نتایج مدل CGCM2 که در مرکز کانادایی توسعه یافته، استفاده شده است. دقت مکانی این مدل ۳/۷ درجه طول و عرض جغرافیایی است و در مدل سازی سه بعدی، ۱۰ لایه ارتفاعی در خشکی و ۲۹ لایه در اقیانوس

⁷ - Probability Distribution Function

⁸ - Deterministic

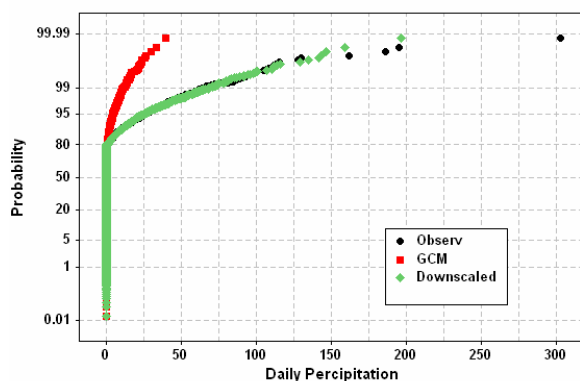
را پوشش می‌دهد. نتایج این مدل تحت دو سناریو A2 و B2 از مجموعه سناریوهای اقتصادی - اجتماعی SERIES⁹ به کار رفته‌اند.

نتایج این مدل‌ها تا انتهای سال ۱۹۸۹ در تمامی سناریوها یکسان است و از ابتدای سال ۱۹۹۰ است که با توجه به فرضیات انجام شده، نتایج متفاوتی نیز حاصل شده است.

۸- نتایج کوچک مقیاس کردن

جهت بررسی نتایج، ایستگاه باران‌سنجی چلگرد برای ارائه نتایج بارش و ایستگاه کلیماتولوژی دامنه‌فریدن برای ارائه نتایج دما، به عنوان نمونه انتخاب شده‌اند.

در شکل (۱) نتیجه کوچک مقیاس کردن ایستگاه باران‌سنجی چلگرد مشاهده می‌شود. تابع توزیع احتمال بارش با GCM با بارش مشاهداتی متفاوت است؛ ولی پس از کوچک مقیاس کردن با روش ذکر شده برای هر ماه به طور جداگانه، نتیجه نهایی نشان می‌دهد که داده‌های کوچک مقیاس شده و داده‌های مشاهداتی هم‌پوشانی مناسبی دارند.



شکل (۱): توزیع احتمال بارش مشاهداتی، بارش مدل GCM و بارش کوچک مقیاس شده

در جدول (۲) میانگین ماهانه دراز مدت داده‌های مشاهداتی بارش را با GCM و کوچک مقیاس شده مقایسه می‌کند. میانگین‌های ماهانه و سالانه بارش، مطلوب بودن نتایج کوچک مقیاس کردن را تایید می‌کنند.

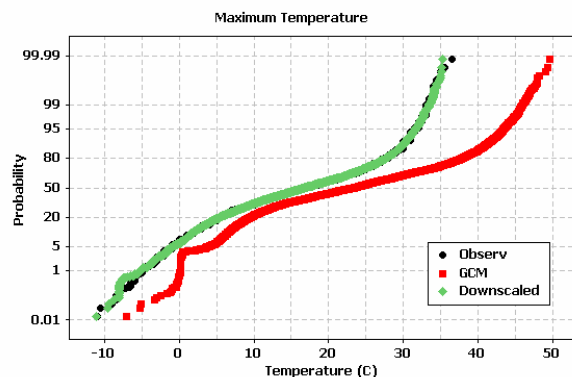
جدول (۲): میانگین ماهانه دراز مدت داده‌های مشاهداتی بارش، GCM و کوچک مقیاس شده

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
مشاهداتی	264.2	222.1	291.5	185.8	66.7	2.2	3.2	1.3	0.1	28.2	136.5	244.9	1446.7
GCM مدل	34.0	36.5	39.5	44.1	40.1	12.0	0.5	0.2	0.1	1.5	26.0	38.3	272.9
کوچک مقیاس شده	263.0	220.4	285.3	185.3	66.4	2.1	2.5	1.3	0.1	27.8	136.6	244.3	1435.0

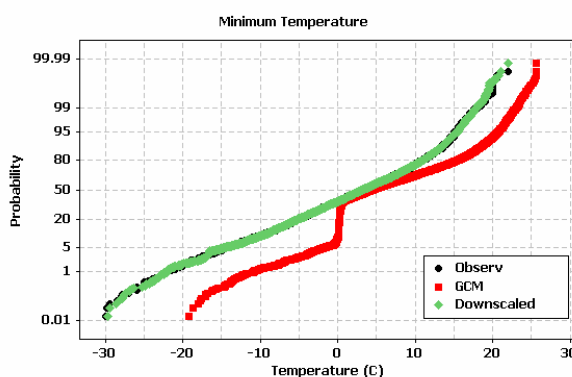
نتایج کوچک مقیاس کردن داده‌های دما نیز برای ایستگاه دامنه‌فریدن، در شکل‌های (۲) و (۳) مشاهده می‌شود. در کوچک مقیاس کردن دما، مراحل کار یک بار برای دمای حداکثر و یک بار برای دمای حداقل انجام می‌شود. در جدول (۳) میانگین ماهانه و سالانه دراز مدت دمای میانگین مشاهداتی، GCM و کوچک مقیاس شده ارائه شده‌اند. نتایج نشان دهنده دقت مناسب روش انتخاب شده برای کوچک مقیاس کردن هستند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، کوچک مقیاس کردن برای دوره تاریخی ۱۹۶۷-۷۹ به خوبی انجام شده و می‌توان از روابط به دست آمده برای

⁹ - Special Report on Emissions Scenarios

کوچک مقیاس کردن داده‌های دوره‌های آینده استفاده کرد. برای بررسی تغییرات اقلیم دو دوره ۳۰ ساله، دوره اول ۵۰-۲۰۲۱ و دوره دوم ۱۰۰-۲۰۷۱، بررسی شده‌اند.



شکل (۲): توزیع احتمال دمای حداکثر مشاهداتی، مدل GCM و کوچک مقیاس شده



شکل (۳): توزیع احتمال دمای حداقل مشاهداتی، مدل GCM و کوچک مقیاس شده

جدول (۳): میانگین ماهانه دراز مدت داده‌های مشاهداتی دما، GCM و کوچک مقیاس شده

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
9.4	-0.6	4.3	10.5	16.4	21.1	22.6	19.3	13.5	8.8	3.8	-2.4	-4.5	مشاهداتی
15.0	4.0	9.6	16.1	23.6	30.1	29.8	25.5	17.6	11.8	6.5	3.3	2.4	GCM مدل
9.3	-0.9	4.3	10.5	16.4	21.0	22.5	19.2	13.5	8.8	3.8	-2.3	-4.5	کوچک مقیاس شده

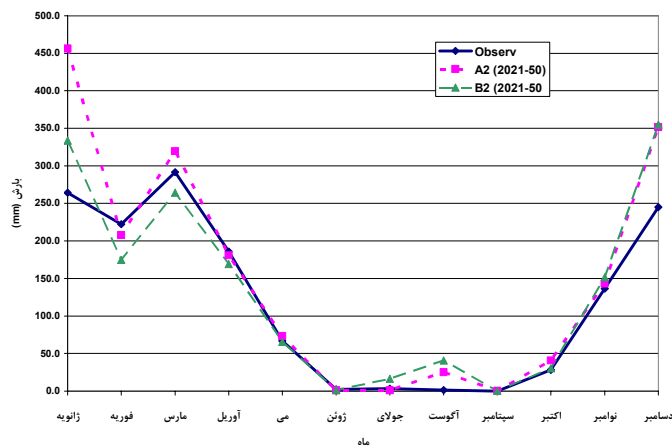
در جدولهای (۴) و (۵) میانگین‌های ماهانه بارش برای این دو دوره و در شکل‌های (۴) و (۵) نحوه تغییرات الگوی بارش نشان داده شده‌اند. در هر دو دوره انتظار می‌رود مقدار بارش در ماه ژانویه و دسامبر افزایش یابد ولی شرایط برای بقیه ماه‌ها متفاوت است و بر حسب نوع سناریو و دوره ممکن است تغییرات به صورت افزایش یا کاهش باشد. این افزایش بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه، چون با افزایش دما و ذوب زود هنگام برف همراه می‌شود، افزایش شدت سیلابها در ابتدای زمستان را هشدار می‌دهند. بارش سالانه در هر دو دوره و تحت هر دو سناریو افزایشی بین ۹۱ تا ۳۵۴ میلیمتر را نشان می‌دهد.

جدول (۴): میانگین ماهانه دراز مدت داده‌های مشاهداتی بارش و سناریوهای A2 و B2 در دوره ۵۰-۲۰۲۱

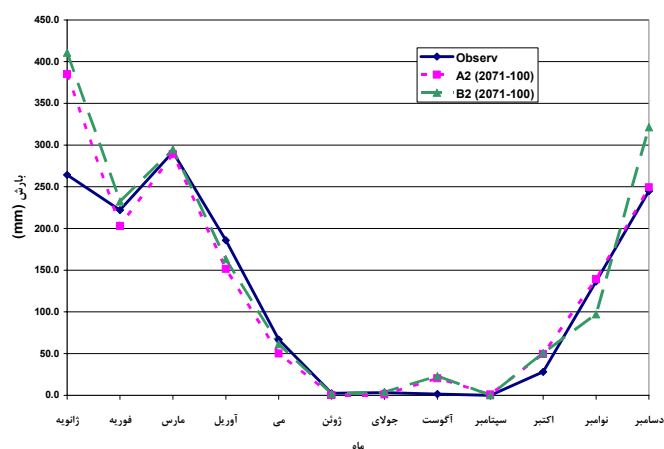
سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
1446.7	244.9	136.5	28.2	0.1	1.3	3.2	2.2	66.7	185.8	291.5	222.1	264.2	مشاهداتی
1800.7	351.7	143.3	40.7	0.4	25.2	1.0	0.9	73.3	180.8	319.4	207.9	456.3	A2 (2021-50)
1602.6	355.0	151.5	30.3	0.0	40.7	16.5	1.2	65.5	169.1	264.2	174.6	333.8	B2 (2021-50)

جدول (۵): میانگین ماهانه دراز مدت داده‌های مشاهداتی بارش و سناریوهای A2 و B2 در دوره ۱۰۰-۲۰۷۱

ماه	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	جولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
مشاهداتی	264.2	222.1	291.5	185.8	66.7	2.2	3.2	1.3	0.1	28.2	136.5	244.9	1446.7
A2 (2071-100)	384.8	202.8	289.0	151.3	50.1	0.3	0.8	20.3	0.8	49.4	139.2	249.4	1538.1
B2 (2071-100)	410.7	232.5	294.7	163.4	61.2	1.7	3.8	22.8	0.1	50.6	97.1	321.4	1660.0



شکل (۴): الگوی تغییرات بارش در دوره ۲۰۲۱-۵۰



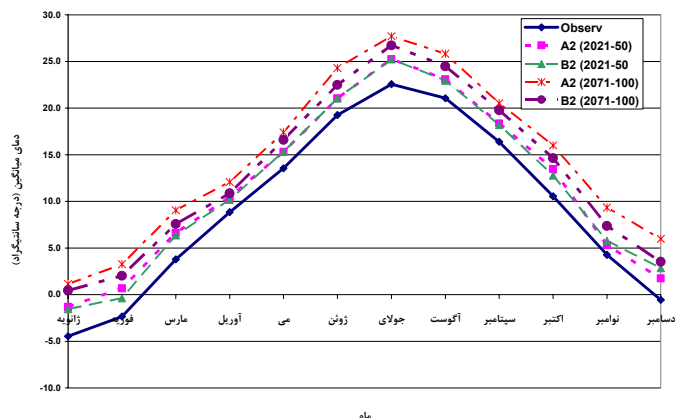
شکل (۵): الگوی تغییرات بارش در دوره ۲۰۷۱-۱۰۰

در جدول (۶) میزان تغییرات پیش‌بینی شده برای دمای میانگین در دوره‌های آینده با دوره حاضر مقایسه شده‌اند. در دوره ۲۰۲۱-۵۰ انتظار افزایش دما به میزان تقریبی ۲ درجه و برای ۳۰ سال انتهایی قرن بیست و یکم بین ۳/۶ تا ۵ درجه وجود دارد. در الگوی ماهانه دما، مشاهده می‌شود که برای هر ماه و با هر دو سناریو دما افزایش می‌یابد. در دوره ۲۰۲۱-۵۰ تغییرات پیش‌بینی شده توسط هر دو سناریو تقریباً یکسان است ولی برای دوره ۱۰۰-۲۰۷۱، سناریو A2 افزایش بیشتری نسبت به سناریو B2 نشان می‌دهد. در شکل (۶) این تغییرات نشان داده شده است.

مساح و مرید (۱۳۸۴) با استفاده از نتایج مدل HadCM3 در این منطقه، دمای میانگین در دوره ۲۰۷۰-۲۰۹۹ را با سناریو A2، ۱۴/۶ و تحت سناریو B2، ۱۳/۲ درجه سانتیگراد پیش‌بینی کردند ولی نتایج آنها کاهش بارش سالانه را در حدود ۲۰۰ میلیمتر، نشان می‌دهد [۳].

جدول (۶): میانگین ماهانه دراز مدت دمای میانگین مشاهداتی و دو دوره ۳۰ ساله تحت سناریوهای A2 و B2

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	آگوست	جولای	ژوئن	می	آوریل	مارس	فوریه	ژانویه	ماه
9.4	-0.6	4.3	10.5	16.4	21.1	22.6	19.3	13.5	8.8	3.8	-2.4	-4.5	مشاهداتی
11.7	1.7	5.3	13.5	18.4	23.1	25.2	21.0	15.3	10.4	6.6	0.7	-1.3	A2 (2021-50)
11.5	2.8	5.8	12.8	18.2	23.0	25.2	21.0	15.3	10.2	6.4	-0.4	-1.6	B2 (2021-50)
14.4	6.0	9.3	16.0	20.5	25.8	27.7	24.3	17.4	12.1	9.0	3.2	1.1	A2 (2071-100)
13.0	3.5	7.4	14.6	19.8	24.5	26.7	22.5	16.6	10.8	7.6	2.0	0.4	B2 (2071-100)



شکل (۶): الگوی تغییرات دما در دوره‌های آینده

۹- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

به علت افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای انتظار می‌رود پدیده تغییر اقلیم در سال‌های آینده رخ دهد. منظور کردن این تغییرات در بررسی و ارزیابی پروژه‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. یکی از گام‌های پایه در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم، بررسی تغییرات دما و بارش است. با استفاده از کوچک مقیاس کردن آماری نتایج مدل‌های اقلیمی، سری‌های زمانی جدیدی از متغیرهای اقلیمی تولید می‌شوند که در نتیجه امکان تحلیل تغییرات در فراوانی پدیده‌های حدی (مانند خشکسالی و سیل)، یا تغییرات درونسالی، فراهم می‌شود. در این تحقیق، اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه آبریز زاینده‌رود انجام شده که در نتیجه افزایش دما بین ۲ تا ۵ درجه در دوره‌های آینده و همچنین افزایش بارش در ماه‌های دسامبر و ژانویه، و بارش سالانه انتظار می‌رود.

۱۰- مراجع

- [1] 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.
- [2] Dettinger, M. D., Cayan, D. R., Meyer, M., and Jeton A. E. (2004). "Simulated hydrologic responses to climate variations and change in the Merced, Carson, and American River basins, Sierra Nevada, California, 1900-2099." Climatic Change, 62(1-3), 283-317.
- [3] مساح بوانی، ع. و مرید، س. (۱۳۸۴). "اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی مطالعه موردی: حوضه زاینده‌رود". مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال یکم، شماره ۱، ص ۴۷-۴۰.
- [4] Miller, N. L., Bashford, K. E., and Strem, E. (2001) "Climate Change Sensitivity Study of California Hydrology." A Report to the California Energy Commission, 30pp.
- [5] Wood, A. W., Lettenmaier D. P. and Palmer R. N. (1997). "Assessing climate change implications for water resources planning". Climatic Change, 37, 203-228.
- [6] IPCC Data Distribution Centre "<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>"
- [7] Wilby, R. L. and Dettinger, M. D. (2000). "Streamflow Changes in the Sierra Nevada, California, Simulated Using Statistically Downscaled General Circulation Model Output." In: Linking Climate Change to Land Surface Change, S. McLaren and D. Kniven (Editors). Kluwer Academic Pub. 99-121.