

مقدمه

پیش‌بینی تغییر اقلیم با پیش‌بینی چند روزه وضع هوا و یا پیش‌بینی فصلی تفاوت زیادی دارد. تغییر اقلیم برای مدت زمان طولانی بوده بنابراین لازم است در طول این مدت تمام گزینه‌هایی که تغییر و یا احتمالاً تغییر می‌کنند را مدنظر قرار داد. در پیش‌بینی وضع هوا تنها با جو زمین سر و کار داریم، در پیش‌بینی فصلی علاوه بر جو زمین وضعیت اقیانوس‌ها نیز در نظر گرفته شده و بالاخره در پیش‌بینی اقلیم مجموعه جو، زمین، اقیانوس‌ها، خشکی‌ها، پوشش یخ، جنگل‌ها، آتشفشان‌ها، زلزله، انسان‌ها، تکنولوژی و... دخالت دارند. در واقع هر چه پیش‌بینی بلند مدت‌تر باشد، پارامترهای بیشتری را باید در پیش‌بینی دخالت داد [۸].

تاکنون نظریات مختلفی برای توجیه روند تغییرات اقلیمی ارایه شده که از آن جمله می‌توان به تئوری چگالی انرژی خورشید، تئوری گلخانه‌ای و گرد و غبار آتشفشانی اشاره کرد. اما معتبرترین نظریه در این زمینه، تئوری گلخانه‌ای است (IPCC⁵) [۶]. بررسی وضعیت انتشار این گازها نشان می‌دهد که پس از انقلاب صنعتی در قرن ۱۸، به دلیل افزایش روز افزون صنایع و به‌واسطه آن افزایش استفاده از سوخت‌های فسیلی، توازن مقادیر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر زمین بر هم خورده و مقادیر آن بخصوص میزان گاز دی‌اکسید کربن افزایش یافته است. این افزایش سبب می‌شود تا امواج مادون قرمز ساطع شده از زمین بیش از پیش توسط گازهای گلخانه‌ای جذب شده و باعث گرم‌تر شدن کره زمین می‌شود. گرم‌تر شدن کره زمین نیز به‌نوبه خود بر وضعیت اجزاء دیگر سیستم اقلیم تاثیر گذاشته و پدیده تغییر اقلیم را موجب می‌شود.

اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک که کشور ما نیز در گروه آن‌ها قرار دارد، به دلیل ساختار اکولوژیکی خاص خود بیش از سایر اقلیم‌ها نسبت به تغییرات محیطی حساس بوده و آسیب‌پذیری بیشتری دارند. بنابراین به نظر می‌رسد که وقوع تغییرات احتمالی اقلیمی در این مناطق اثرات قابل ملاحظه‌ای بر سیستم‌های تولید کشاورزی به همراه داشته باشد [۴].

تغییر اقلیم تاثیرات معنی‌داری بر روی چرخه آب می‌گذارد. با بروز تغییر اقلیم می‌توان انتظار داشت که شدت و توزیع بارش تغییر یابد. هر دو عامل کیفیت و کمیت، منابع آب بر روی زندگی و فعالیت‌های اقتصادی به‌ویژه کشاورزی و صنعت تاثیر زیادی می‌گذارد. در حال

 ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوزه
 آبخیز بار نیشابور

سباوش طائی سمیرمی^۱، حمیدرضا مرادی^۲، مرتضی خداقلی^۳ و احد توسلی^۴
 تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۸

چکیده

هر گونه تغییر بلند مدت و غیر قابل بازگشت در وضعیت متوسط جوی را تغییر اقلیم می‌نامند. عوامل مختلفی باعث تغییر اقلیم می‌شود که افزایش گازهای گلخانه‌ای را می‌توان مهمترین عامل آن دانست. سامانه هیدرولوژی به عنوان جزئی از کره زمین می‌تواند متحمل اثرات زیادی از تغییر اقلیم باشد. لذا پیش‌بینی بارش یکی از مهمترین مسائل در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب می‌باشد. در این تحقیق اثرات تغییر اقلیم بر بارش در حوزه آبخیز بار نیشابور مورد بررسی قرار گرفت. روش ریزمقیاس‌سازی رگرسیون- آماری (SDSM) به‌عنوان روشی برای کوچک مقیاس کردن خروجی مدل CGCM۱ تحت سناریو A۱ برای چهار دوره (۲۰۰۰-۱۹۷۱)، (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) اجرا گردید. دوره (۲۰۰۰-۱۹۷۱) به عنوان دوره پایه در این تحقیق استفاده شد و بقیه دوره‌ها نسبت به این دوره مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین بارش سالانه در هر سه دوره مورد پیش‌بینی (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) به ترتیب ۷/۲٪، ۲/۵٪ و ۳/۶٪ درصد کاهش یافته است. هر چه از سال ۲۰۱۰ به سمت سال ۲۰۹۹ پیش می‌رویم بارش در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر افزایش و در ماه‌های ژانویه و فوریه کاهش می‌یابد.

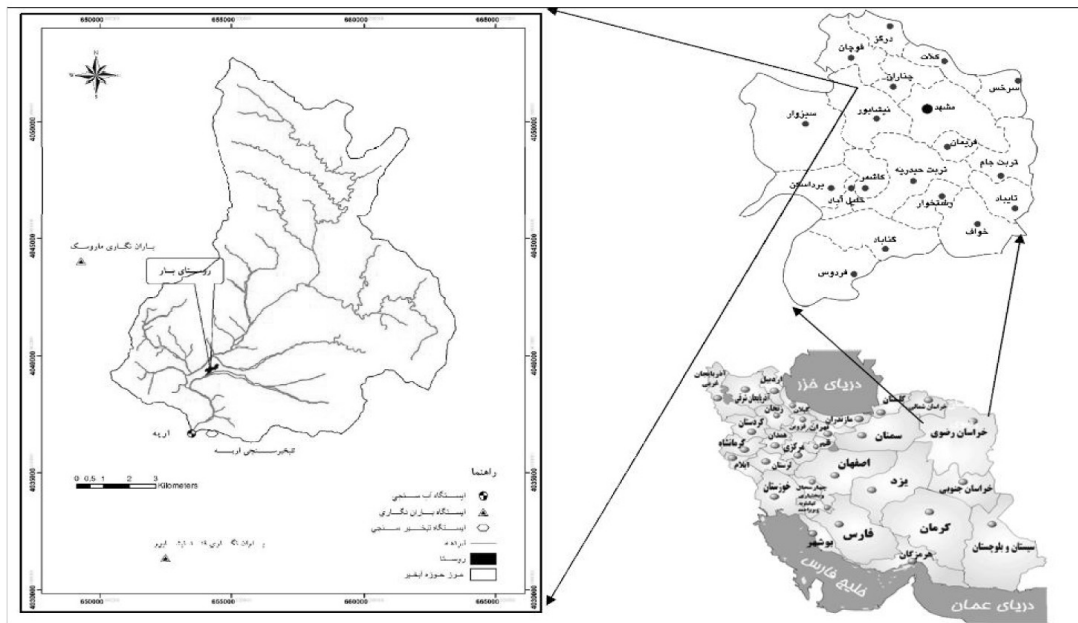
واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، حوزه آبخیز بار نیشابور، مدل‌های گردش عمومی جو، روش SDSM

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس
 ۲- نویسنده مسئول و دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس،
 hrmoradi@modares.ac.ir

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان

۴- دانش‌آموخته رشته مهندسی آبخیزداری دانشگاه تربیت مدرس

5- Inter governmental panel on climate change



شکل ۱- موقعیت سیمای کلی حوزه آبخیز بار در استان خراسان رضوی و کشور

۱۱۳۸۸ هکتار در جنوب غربی سلسله جبال بینالود قرار گرفته است (شکل ۱). این منطقه در ۸۲ کیلومتری شمال غربی مشهد واقع شده است. حوزه آبخیز مذکور در موقعیت $36^{\circ} 27' 38''$ تا $36^{\circ} 32' 36''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 40' 58''$ تا $49^{\circ} 31' 58''$ طول شرقی قرار دارد. میانگین ارتفاع حوزه آبخیز ۲۲۲۶ متر، حداکثر ارتفاع حدود ۲۸۶۱ متر و حداقل ارتفاع در خروجی حوزه آبخیز و در محل ایستگاه هیدرومتری ۱۵۸۰ متر می‌باشد. محیط حوزه آبخیز ۵۴ کیلومتری و شیب متوسط آن ۱۱/۹ درصد محاسبه گردیده است. ضریب گراویلیوس حوزه آبخیز ۱/۴۱، طول مستطیل معادل آن ۲۱/۸ کیلومتر و عرض مستطیل معادل ۵/۳ کیلومتر گزارش گردیده است (بی‌نام الف، ۱۳۸۳). حوزه آبخیز مورد مطالعه به دلیل داشتن طول دوره آماری مناسب (۲۰۰۰-۱۹۷۱) برای انجام این تحقیق انتخاب گردید.

مدل‌های گردش عمومی جو

مدل‌های گردش عمومی پیشرفته‌ترین مدل و ابزار موجود جهت شبیه‌سازی اقلیم در مقیاس جهانی می‌باشند که خروجی این مدل‌ها (دما و بارش)، به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی به کار می‌روند و به این ترتیب اثر تغییر اقلیم بر روی سیکل هیدرولوژی ارزیابی می‌شود. از آنجایی که خروجی مدل‌های گردش عمومی معتبرترین روش جهت مطالعات تغییر اقلیم می‌باشد و از طرفی خروجی این مدل‌ها دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات تأثیر تغییر اقلیم بر سیستم‌های هیدرولوژی نمی‌باشند لازم است داده‌های خروجی مدل‌های چرخش عمومی کوچک مقیاس گردند [۵].

روش‌های مختلفی برای کوچک مقیاس کردن داده‌های بارش حاصل از مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد. این روش‌ها شامل روش‌های دینامیکی و روش‌های آماری هستند [۱۰]. معتبرترین ابزار

حاضر بیش از ۱ بلیون انسان مشکل دسترسی به آب آشامیدنی سالم و بهداشتی دارند. تغییر اقلیم یکی از مواردی است که مشکل دسترسی به آب را افزایش خواهد داد. مدل‌های گردش عمومی پیشرفته‌ترین مدل و ابزار موجود جهت شبیه‌سازی اقلیم در مقیاس جهانی می‌باشند که خروجی این مدل‌ها (دما و بارش)، به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی به کار می‌روند. به این ترتیب اثر تغییر اقلیم بر روی سیکل هیدرولوژیکی ارزیابی می‌شود. پیش‌بینی بارش از طریق مدل‌های گردش عمومی (GCM) با دقت بالا انجام می‌شود. پیش‌بینی این مدل‌ها بیانگر آن است که اقلیم جهانی گرم‌تر شده و به دنبال آن میانگین بارش جهانی افزایش می‌یابد [۶]. بارندگی و دما دو عامل اثرگذار بر بسیاری از فرآیندهای مرتبط با مدیریت منابع آب هستند که تغییر در رواناب و نیاز آبی از مهمترین آن‌ها می‌باشد.

در این تحقیق با استفاده از مدل (SDSM²) اقدام به ریز مقیاس‌سازی خروجی‌های مدل CGCM¹ تحت سناریو A1 برای چهار دوره (۲۰۰۰-۱۹۷۱)، (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) شد. و در نهایت داده‌های بارش در طول سه دوره ۳۰ ساله (۲۰۹۹-۲۰۱۰) تولید و با دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۱) مقایسه گردید. داده‌های کوچک مقیاس شده حاصل از این پژوهش می‌تواند به عنوان ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

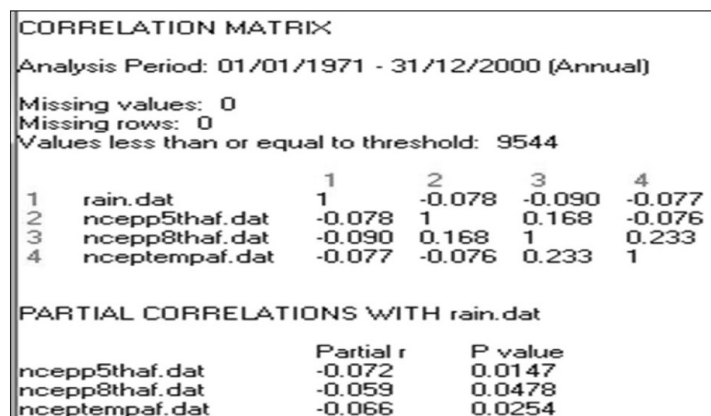
منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه (حوزه آبخیز بار اریه نیشابور) به مساحت

- 1- Global circulation models
- 2- Statistical down scale model

جدول ۱- پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب جهت کوچک مقیاس کردن آماری بارش روزانه

500hPa Wind Direction	P5theu	۵۰۰ hpa جهت باد در
850hPa Wind Direction	P8theu	۸۵۰ hpa جهت باد در
Mean Temperature at 2m	tempeu	میانگین درجه حرارت در ارتفاع ۲ متری



شکل ۲- همبستگی جزئی بین پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب بارش

بارش و در شکل شماره (۲) همبستگی جزئی بین این متغیرها و بارش نشان داده شده است. پس از انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها، به واسنجی و ارزیابی مدل و سپس پیش‌بینی متغیرها در دوره آینده پرداخته خواهد شد. داده‌های تولید شده در مرحله اول با استفاده از ابزارهای آنالیز آماری در مدل SDSM بررسی می‌شود ولی جهت استفاده در مدل هیدرولوژیک نیاز به بررسی عدم قطعیت آن‌ها ضروری می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از داده‌های مشاهداتی و داده‌های کوچک مقیاس شده در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) در شکل شماره (۳) مشاهده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تابع توزیع داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی همپوشانی مناسبی دارد.

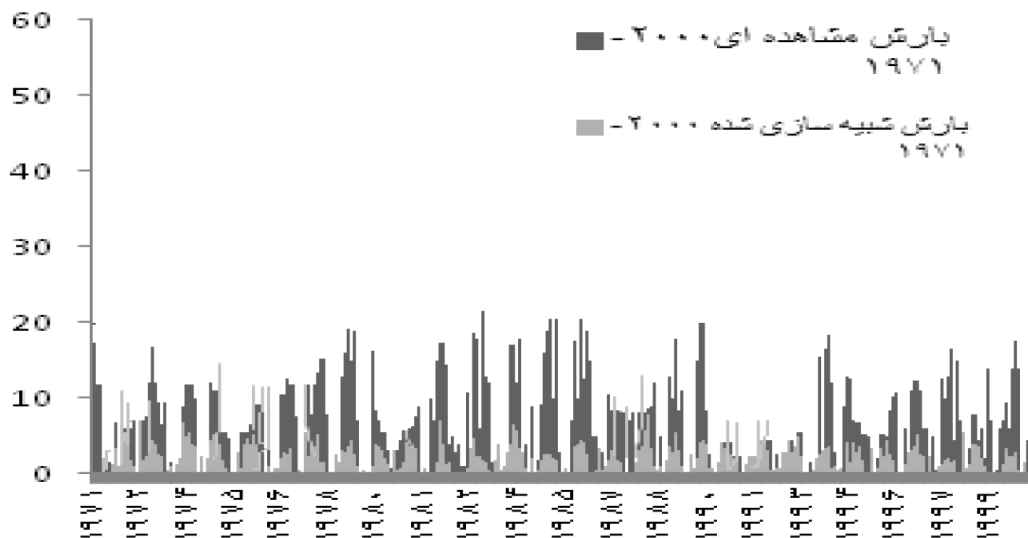
پس از شبیه‌سازی بارش و محاسبه میانگین ماهانه و سالانه دراز مدت در ایستگاه بارنیشابور با استفاده از خروجی‌های مدل CGCM داده‌های شبیه‌سازی شده برای دوره‌های (۲۰۳۹-۲۰۱۰)، (۲۰۶۹-۲۰۴۰) و (۲۰۹۹-۲۰۷۰) برای سناریو A1 با داده‌های مشاهداتی دوره (۱۹۷۱-۲۰۰۰) مقایسه گردید. (شکل ۴ و جدول ۲).

همان‌طور که از نتایج ارائه شده در جدول (۲) مشخص است میانگین بارندگی سالیانه در هر سه دوره مورد مطالعه کاهش پیدا کرده است. بیشترین کاهش در دوره اول (۲۰۳۹-۲۰۱۰) نسبت به دوره پایه به میزان ۱۱۷/۶ میلی‌متر اتفاق افتاده است. در این دوره میانگین بارش تمام ماه‌ها کاهش یافته است ولی در ماه ژوئیه ۳/۲

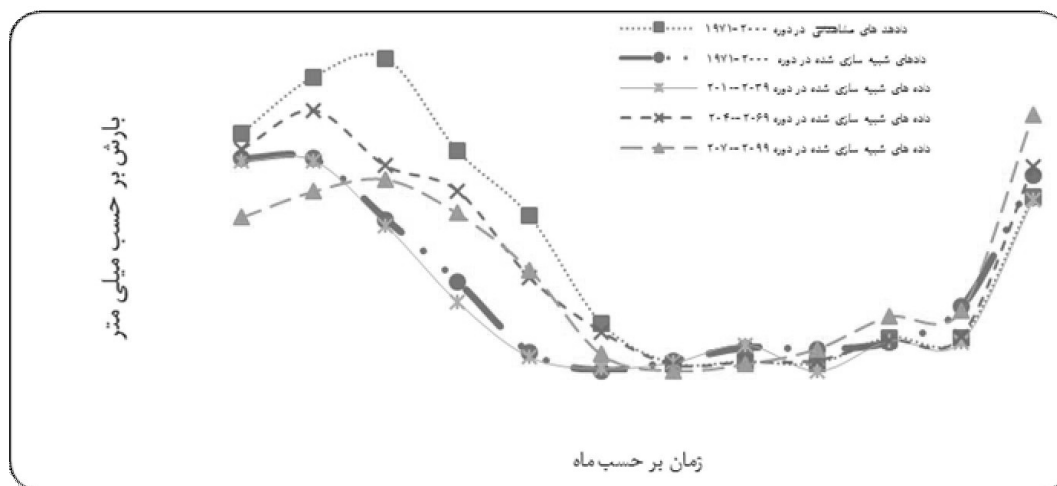
جهت کوچک مقیاس کردن داده‌های مدل چرخش عمومی در کشور ما استفاده از روش‌های آماری می‌باشد [۱]. نتایج مطالعات انجام شده بر روی روش‌های کوچک مقیاس کردن داده‌های خروجی مدل چرخش عمومی جو نشان داد، مطالعات در سطح ایستگاهی دارای اطمینان بیشتری می‌باشند. همچنین در بین روش‌های کوچک مقیاس کردن روش‌های رگرسیونی- آماری نتایج بهتری در کوچک مقیاس کردن دارند [۹]. روشی که در این تحقیق برای کوچک مقیاس کردن انتخاب گردید روش رگرسیونی- آماری با استفاده از مدل SDSM می‌باشد. از بین مدل‌های گردش عمومی، مدل CGCM تحت سناریو A1 برای انجام این تحقیق انتخاب گردید. سناریو A1، جهان را با رشد اقتصادی سریع، رشد کم جمعیت، اوج جمعیت در اواسط قرن و روند کاهشی پس از آن همراه با معرفی تکنولوژی‌های جدید نشان می‌دهد.

مدل SDSM

مدل SDSM، بر اساس روابط آماری و تکنیک‌های رگرسیونی چندگانه خطی بین متغیرهای بزرگ مقیاس و متغیرهای مشاهده‌ای محلی پایه‌گذاری شده است. SDSM یک روش نمونه‌برداری شرطی و دو مرحله‌ای است (Wilby & Dawson, ۲۰۰۷). در این روش ابتدا متغیرهای پیش‌بینی‌کننده (مانند دما و بارش) را با استفاده از روش‌های رگرسیونی ترکیبی و یک روش مولد هواشناسی تصادفی کوچک مقیاس کرده و سپس بارش در محل ایستگاه مجدداً تولید می‌گردد. در جدول (۱) متغیرهای پیش‌بینی‌کننده برای متغیر



شکل ۳- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای بارش و داده‌های شبیه‌سازی شده بزرگ مقیاس



شکل ۴- مقادیر بارش مشاهداتی و برآورد شده حوزه آبخیز بار نیشابور

می‌دهد. همچنین طبق گزارش سوم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در سال ۲۰۰۱، در منطقه ایران، بارش در زمستان افزایش و در تابستان کاهش نشان می‌دهد. فرزانه و همکاران (۱۳۸۹)، روش آماری-رگرسیون با استفاده از مدل SDSM برای کوچک مقیاس کردن داده‌های بارش در ایستگاه سینوپتیک شهرکرد به‌کار گرفتند. نتایج نشان از کاهش ۴۹ درصدی متوسط بارش در منطقه مورد مطالعه دارد. همانطور که در جدول شماره (۲) تغییرات بارندگی ماهیانه و سالیانه نشان داده شد، مشخص می‌شود که در تمام دوره‌ها کاهش بارندگی وجود دارد ولی از مباحث مهم در بحث تغییر اقلیم تغییرات زمانی و مکانی بارش در طول فصول مختلف می‌باشد. در این تحقیق مشاهده گردید که از سال ۲۰۴۰ تا سال ۲۰۹۹ میانگین بارش در ماه‌های ژوئیه، اکتبر و دسامبر نسبت به دوره پایه افزایش یافته است و در همین بازه زمانی در دو ماه اول سال یعنی ژانویه و فوریه میزان

میلی‌متر افزایش یافته است. میانگین بارش سالیانه در دوره دوم (۲۰۶۹-۲۰۴۰) به میزان ۵۴/۸ میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش یافته است. در این دوره به جز سه ماه ژوئیه، اکتبر و دسامبر، در بقیه ماه‌ها بارش کاهش یافته است. در دوره (۲۰۹۹-۲۰۷۰) میانگین بارش سالیانه میزان ۷۷/۴ میلی‌متر کاهش یافته است. در این دوره هم در تمام ماه‌ها کاهش بارندگی مشاهده می‌شود به جز ماه‌های ژوئیه، اکتبر و دسامبر که بارندگی روند افزایشی داشته است. در این دوره دو ماه اول سال ژانویه و فوریه بیشترین کاهش بارندگی را در بین سه دوره مورد مطالعه نشان داد.

تغییر اقلیم در مناطق مختلف می‌تواند باعث کاهش، افزایش و یا عدم تغییر در بارش گردد. طبق پژوهش‌های انجام شده توسط (Abaspour و همکاران، ۲۰۰۹)، بارش در استان گلستان برای سناریوهای مختلف و دو دوره زمانی تا ۵۰ درصد افزایش نشان

جدول ۲- میانگین ماهانه و سالانه بارش در دوره مشاهداتی و برآورد شده

دوره	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالنامه	
۱۹۷۱-۲۰۰۰	۱/۷	۲/۲	۱/۸	۷/۸	۷/۷	۴۰/۷	۳۵۷/۶	مشاهداتی
۱۹۷۱-۲۰۰۰	۲/۳	۵/۴	۵/۰	۶/۷	۱۵/۰	۴۵/۸	۲۴۰	پیش‌بینی
۲۰۱۰-۲۰۳۹	۲	۶/۲	۰	۷/۱	۶/۹	۴۰	۲۱۴/۳	پیش‌بینی
۲۰۴۰-۲۰۶۹	۱/۵	۲/۱	۲/۵	۷/۲	۸/۱	۴۷/۸	۳۰۲/۸	پیش‌بینی
۲۰۷۰-۲۰۹۹	۰	۱/۶	۵/۲	۱۲/۷	۱/۱	۵۹/۸	۲۸۰/۲	پیش‌بینی

ادامه جدول ۲- میانگین ماهانه و سالانه بارش در دوره مشاهداتی و برآورد شده

دوره	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	
۱۹۷۱-۲۰۰۰	۵۵/۴	۶۸/۵	۷۲/۹	۵۱/۳	۳۶/۱	۱۱/۱	مشاهداتی
۱۹۷۱-۲۰۰۰	۴۹/۶	۴۹/۵	۳۵/۴	۲۰/۷	۲/۴	۰	پیش‌بینی
۲۰۱۰-۲۰۳۹	۴۹/۰	۴۹/۱	۳۴/۰	۱۶/۱	۳/۳	۰/۶	پیش‌بینی
۲۰۴۰-۲۰۶۹	۵۱/۷	۶۰/۱	۴۷/۹	۴۲/۱	۲۱/۹	۹/۲	پیش‌بینی
۲۰۷۰-۲۰۹۹	۳۵/۸	۴۱/۹	۴۴/۷	۳۶/۸	۲۳/۷	۳/۹	پیش‌بینی

Change, 4(1): 7-23.

5- Graham, P., Hagemann, S., Juan, S., and Beniston, M. 2007. On interpreting hydrological change from regional climate models. Journal of climatic change. 81:

6- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 2007. Climate Change, 2007. The physical science basis. In: Solomon, S. et al. (Eds.), Contribution of Working, Cambridge University Press, 378 p.

7- IPCC., 2001, The Scientific Basis of Climate Change, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge

8- Pachauri R.k., Reisinger A., 2007. Climate Change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 104p.

9- Samadi, Z., Masah Bavani, A., and Mahdavi,

بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی کاهش یافته است.

منابع

۱- فرزانه، م. اکبرپور، ا. اسلامیان، س، س. صمدی، س، ز. ۱۳۸۹. بررسی عدم قطعیت مدل چندگانه خطی SDSM بر رواناب رودخانه (مطالعه موردی: حوزه بهشت آباد کارون شمالی، ایران). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند. ۱۱۰ص. ۹۷-۱۲۲.

2- Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S., and Yang, Y. 2009. Assessing the impact of climate change on water resources in Iran. J. of Water Resources Research. 45: 1-16. (In Persian).

3- Downscaling methods effect on river flow regim, workshop on Climate change effects on ater Resources Management, Tehran, Iranian national committee on irrigation and drainage, 18p.

4- Fischer G., Frohberg k., Parry M.L., Rosenzweig c. 1994. Climate change and world food supply, Demand and Trade: Who Benefits, Who Loses. Journal of Global Enviromental

10- Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., Whetton, P., and Mearns, L.O. 2004. Guidelines for use of climate scenarios developed from statistical downscaling methods. IPCC. 27p.

M. 2007. Study of regression Downscaling methods effect on river flow regim, workshop on Climate change effects on Water Resources Management, Tehran, Iranian national committee on irrigation and drainage, 18p.