

پیش‌بینی بلندمدت بارش با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری

مریم رضائی^{1*}، محمد نهتانی²، علیرضا مقدم‌نیا³، علیجان آبکار⁴، معصومه رضائی⁵

تاریخ دریافت: 93/10/23 تاریخ پذیرش: 94/11/12

- 1 و 2- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه زابل
 - 3- دانشیار گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
 - 4- دکتری آبخیزداری مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان کرمان
 - 5- مربی گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- * مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: maryamm_rezaei@yahoo.com

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات در مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، پیش‌بینی بلندمدت بارش، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک هست. تغییر اقلیم از طریق تغییر در الگوی بارش بر رژیم هیدرولوژیکی نواحی مختلف تأثیرگذار است. در این مطالعه، اثر تغییر اقلیم بر میزان بارش ایستگاه‌های چترود و سعادت‌آباد سیرجان، با استفاده از خروجی‌های مدل HadCM3، تحت سناریوهای A2 و B2 و از طریق مدل ریزمقیاس‌کننده SDSM برای سه دوره (2010-2039)، (2040-2069) و (2070-2099) میلادی، پیش‌بینی و در ادامه، با توجه به معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل مانند میانگین خطای مطلق (MAE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و ضریب ناش-ساتکلیف (NS)، نتایج حاصله از مدل مورد ارزیابی قرار گرفت. یافته‌ها، بیان‌گر عملکرد بالای مدل SDSM در هر دو ایستگاه هست. همچنین میزان بارش سالانه تا سال 2099، در ایستگاه چترود در سناریوهای A2 و B2، به‌ترتیب (10/02) و (8/87) میلی‌متر کاهش و در ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان حدود (16/51) و (14/09) میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: بارش، تغییر اقلیم، پیش‌بینی، ریزمقیاس نمایی، مدل SDSM

Long-term Precipitation Prediction Using Statistical Downscaling Model

M Rezaei^{1*}, M Nohtani², A Moghaddamnia³, A Abkar⁴ and M Rezaei⁵

Received: 13 January 2015

Accepted: 01 February 2016

1,2- M.Sc. and Assit. Prof., Dept. of Range and Watershed, Univ. of Zabol, Iran

3- Assoc. Prof., Dept. of Arid and Mountainous Regions Reclamation, College of Agriculture and Natural Resources, Univ. of Tehran, Karaj, Iran

4- Ph.D in Watershed Management Engin., Kerman Agricultural and Natural Resources Research Center, Iran.

5- Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan

*Corresponding Author, Email: maryamm_rezaei@yahoo.com

Abstract

One of the most important problems in the management and planning of water resources is to forecast long-term precipitation particularly in arid and semi-arid regions. Climate Change affects local hydrology of different regions, through changes in the pattern of precipitation. In this study, the impact of climate change on the precipitation of Chatrood and Saadatabad Sirjan stations using HadCM3 model outputs under A2 and B2 scenarios and SDSM downscaling model was predicted for three periods of (2010-2039), (2040-2069) and (2070-2099). Then, according to statistical measures of model performance such as Mean Absolute Error (MAE), Root Mean Squared Error (RMSE), Nash-Sutcliffe efficiency (NS) the results of model were evaluated. The results indicated that the SDSM model had high performances in two stations. Moreover, amount of annual precipitation under A2 and B2 scenarios will be decreased by 10.02 and 8.87 mm at the Chatrood station and 16.51 and 14.09 mm at the Saadatabad station, relative to reference period, respectively until 2099.

Keywords: Climate change, Downscaling, Forecasting, Precipitation, SDSM model.

برابر وضعیت کمی و کیفی منابع آب و اتخاذ سیاست‌های مناسب جهت کاهش خسارت‌ها، مطالعه تغییرات آب‌وهوا و تأثیر آن بر این منابع اقدامی ضروری هست (ناظم‌السادات و همکاران 1384). بارندگی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پدیده‌های هیدرولوژی از دیرباز مورد توجه محققان قرار گرفته و روابط بین خصوصیات داده‌های بارش تجزیه و تحلیل شده است. ساخت سدها و تأسیسات آبی که به‌منظور توسعه پروژه‌های آب، خاک و تأمین آب شرب و کشاورزی هست، نیازمند مطالعات وسیع در مورد بارندگی است (احمدزاده و همکاران 1388). پیش‌بینی بارش دارای نقش اساسی در مدیریت بهینه منابع آب‌و خاک و نیز جایگزینی مدیریت ریسک

مقدمه

دگرگونی اقلیم یک پدیده طبیعی است که در مقیاس زمانی بلندمدت به وقوع می‌پیوندد. مهم‌ترین فاکتورهایی که تغییر اقلیم را تشدید می‌کنند، شامل تغییر تابش منعکس‌شده خورشید، تغییر مدار زمین، گازهای گلخانه‌ای و رانش قاره‌ها می‌باشند (مهاجر و همکاران 1390). تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر بارش به‌عنوان تأمین‌کننده اصلی منابع آب کشور باید مورد توجه اقلیم‌شناسان، هواشناسان، مهندسين منابع آب و آبشناسان قرار گیرد. در صورت عدم توجه کافی، تغییرات آبی اقلیم می‌تواند از لحاظ کمی و کیفی لطمات جدی را به منابع آب و زیرساخت‌های اقتصادی و اجتماعی کشور وارد کند، جهت آمادگی در مقابل تغییرات نامطلوب احتمالی شرایط اقلیمی و نیز تغییر در

برای ریزمقیاس نمودن بارندگی در حوضه رودخانه‌ای هانجیانگ⁶ چین استفاده نمودند. نتایج عملکرد بهتر مدل SDSM را در مقایسه با ماشین بردار پشتیبان نشان داد. ماریا و همکاران (2005) به کمک مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و رگرسیونی بارش منطقه سائوپولو برزیل را پیش‌بینی نمودند. نتایج نشان داد که برآورد دو مدل مذکور برای منطقه مورد مطالعه بسیار دقیق است.

فرج‌زاده (1392) برای ارائه بهترین تصویر از وضعیت عوامل هواشناسی دما و بارندگی ماهانه در رودخانه شش‌سپیر در استان فارس، از 18 مدل گردش عمومی برای افق سال‌های 2040، 2070 و 2100 میلادی، استفاده کرد. برای پارامتر بارندگی، در مقیاس سالانه در افق‌های پیش‌گفته، به ترتیب 2، 8 و 19 درصد افزایش در بارش را پیش‌بینی نمود.

رجبی (1390) با استفاده از مدل گردش عمومی HadCM3، میزان بارش کرمانشاه را در دوره 2039-2010 میلادی پیش‌بینی نمود، نتایج نشان داد میزان بارش در سناریوی A2، 54% و در سناریوی B2، 51/5% افزایش خواهد یافت.

مه‌سافر و همکاران (1390) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تراز دریاچه ارومیه پرداختند. نتایج حاکی از روند کاهشی بارش بر سطح دریاچه تحت هر دو سناریوی A2 و B2، برای سال‌های 2100-2000 هست. هدف از پژوهش حاضر، استفاده از سناریوهای A2 و B2 مدل HadCM3، برای ارزیابی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر روی میزان بارش در دو ایستگاه چترود و

به‌جای مدیریت بحران و توسعه پایدار کشور است (رضائی‌بنفشه و همکاران 1389).

از این رو، پیش‌بینی بارش، جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور، ضروری به نظر می‌رسد. روش‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد که یکی از معتبرترین آن‌ها استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM¹، هست. این مدل‌ها قادرند تا تمامی فرآیندهای اقلیمی را در ابعاد جهانی و یا قاره‌ای به‌طور نسبتاً دقیقی شبیه‌سازی نمایند.

در این پژوهش، به منظور تهیه داده‌های بارش مربوط به سال‌های آتی، از داده‌های مدل HadCM3²، به‌عنوان یکی از مدل‌های پرکاربرد گردش عمومی جو در ایران، استفاده شد. برای استفاده از داده‌های مدل‌های گردش عمومی، باید ریزگردانی زمانی و مکانی صورت گیرد تا داده‌ها از مقیاس تمام‌کره‌ای به مقیاس محل مورد مطالعه و در مقیاس زمانی ماهانه، روزانه و در مواردی کمتر از روز تبدیل شود. تبدیل داده‌های مدل به داده‌های مورد استفاده در مطالعات محلی را ریزگردانی³ یا تبدیل مقیاس می‌گویند (صمدی‌نقاب 1385). در این پژوهش، با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره SDSM⁴، میزان بارش سالانه ایستگاه‌های باران‌سنجی چترود و سعادت‌آباد سیرجان ریزمقیاس گردید.

مطالعات بسیاری در مناطق مختلف جهان در رابطه با اثرات تغییر اقلیم بر روی میزان بارش، با استفاده از مدل‌های مختلف انجام شده است از جمله چن و همکاران (2012) از دو مدل SDSM و ماشین بردار پشتیبان⁵

4 Statistical Downscaling model

5 Support Vector Machine

6 Hanjiang River basin

1 General Circulation Model

2 Hadley Centre Coupled Model, version 3

3 Downscaling

دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است (بریم‌نژاد و یزدانی 1383). شهرستان سیرجان در مغرب استان کرمان در دشتی وسیع قرار دارد. شهر چترود نیز، در شمال غرب شهرستان کرمان واقع شده است. مطالعه حاضر در دو ایستگاه باران‌سنجی چترود و سعادت‌آباد سیرجان انجام گرفته است. مشخصات و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های مذکور در جدول و شکل شماره 1، ارائه شده است.

سعادت‌آباد سیرجان با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM هست.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان کرمان با مساحتی حدود 17569 کیلومترمربع بین 25 درجه و 55 دقیقه تا 32 درجه عرض شمالی و 53 درجه و 26 دقیقه تا 59 درجه و 29

جدول 1- مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه.

متوسط بارش سالانه (mm)	دوره آماری (پایه)	ارتفاع (m)	عرض جغرافیایی ('N)	طول جغرافیایی ('E)	نوع ایستگاه
134/26	1971-2001	1500	30° 37'	56° 58'	باران‌سنجی چترود
187/80	1972-2001	1890	29° 39'	55° 52'	باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان

در سناریوی B2، تأکید بر راه‌حل‌های منطقه‌ای برای تقویت مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست است. این یک دنیای ناهمگون با سرعت تغییرات تکنولوژی کمتر، اما با تنوع بیشتر است. اما تأکید قوی در این سناریو بر ابتکار عمل جامعه و نوآوری‌های آن برای یافتن راه‌حل‌های منطقه‌ای نسبت به راه‌حل‌های جهانی است (فرج‌زاده 1392). مدل HadCM3، یک مدل GCM (جفت شده جوی-اقیانوسی) است که توسط گردون و همکاران (2000)، ارائه شده است، مشخصات مدل در جدول 2، ارائه شده است.

روش تحقیق

برای بررسی اثر تغییر اقلیم، پارامتر اقلیمی بارش در دهه‌های آینده (2039-2010)، (2069-2040) و (2099-2070)، با استفاده از نتایج خروجی مدل گردش عمومی HadCM3، تحت سناریوی A2 و B2، از سری سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شد. سناریوی A2، تقویت نیروهای جمعیتی منطقه‌ای با تأکید بر ارزش خانواده‌ها و رسوم آن، رشد زیاد جمعیت و نوسانات کمتر در سرعت پیشرفت اقتصادی هست.

جدول 2- مشخصات مدل HadCM3 (آشفته و مساح‌بوانی 1389).

سناریوهای شبیه‌سازی شده SRES	دوره شبیه‌سازی گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق در گذشته	دقت مکانی (طول × عرض) (درجه)
A1,A2,B1,B2	1860-1989 :CO ₂	2/5×3/75

جدول 3- فهرست متغیرهای NCEP

ردیف	متغیر	ردیف	متغیر
1	فشار سطح صفر	14	سرعت مداری سطحی
2	قدرت جریان هوای سطحی	15	حالت گردابی سطحی
3	سرعت نصف‌النهاری سطحی	16	واگرایی سطحی
4	جهت باد سطحی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	17	سرعت مداری در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
5	قدرت جریان هوا در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	18	حالت گردابی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
6	سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	19	جهت باد در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
7	ژئوپتانسیل در ارتفاع 500 هکتوپاسکال	20	واگرایی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
8	قدرت جریان هوا در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	21	سرعت مداری در ارتفاع 850 هکتوپاسکال
9	سرعت نصف‌النهاری در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	22	حالت گردابی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال
10	ژئوپتانسیل در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	23	جهت باد در ارتفاع 850 هکتوپاسکال
11	واگرایی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	24	رطوبت نسبی در ارتفاع 500 هکتوپاسکال
12	رطوبت نسبی در ارتفاع 850 هکتوپاسکال	25	رطوبت نسبی سطحی
13	رطوبت ویژه سطحی	26	میانگین دما در ارتفاع 2 متری

مدل SDSM

مدل SDSM، یک مدل ریزمقیاس نمایی آماری است که از روش‌های آماری رگرسیونی به منظور ریزمقیاس نمودن استفاده می‌نماید (شاه نقی و همکاران 1389). به‌طور کلی تولید داده توسط مدل در سه مرحله صورت می‌گیرد که عبارت‌اند از واسنجی مدل، ارزیابی مدل و تولید داده‌های هواشناسی برای سه دوره آتی (2039-2010)، (2069-2040) و (2099-2070). پس از پردازش و مرتب‌سازی داده‌ها و تهیه فایل‌های ورودی، مدل برای دوره پایه اجرا می‌شود و پس از بررسی دقت روش با استفاده از معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل، اقدام به ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های مشاهداتی موجود در دوره پایه گردید. به‌کمک داده‌های ریزمقیاس شده این مدل و تحت

سناریوی A2 و B2، اقدام به تولید داده‌های هواشناسی تا سال 2099 میلادی در ایستگاه‌های موردنظر گردید. به‌منظور ارزیابی کارایی و دقت مدل پیش‌گفته، از معیارهای ارزیابی جذر میانگین مربعات خطا⁸ (RMSE) (معادله 1)، میانگین خطای مطلق⁹ (MAE)، (معادله 2) و ضریب ناش - ساتکلیف¹⁰ (NS) (معادله 3) استفاده شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - o_i)^2}{n}} \quad [1]$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |p_i - o_i|}{n} \quad [2]$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}_i)^2} \quad [3]$$

10 Nash-Sutcliffe efficiency

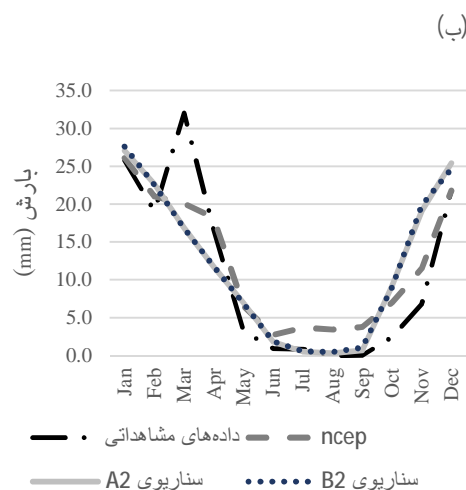
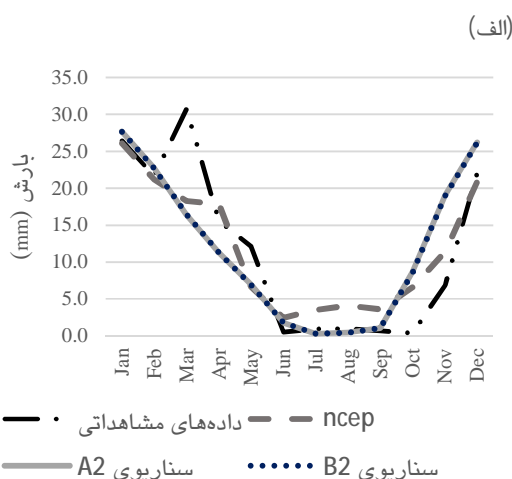
8 Root Mean Squared Error

9 Mean Absolute Error

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر بعد از انجام واسنجی و اعتبارسنجی مدل با استفاده از داده‌های NCEP، متغیر بارش ماهانه در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی برای ایستگاه چترود از طریق مدل SDSM، داده‌های شبیه‌سازی شده محاسبه شده و با داده‌های مشاهده‌ای مورد مقایسه قرار گرفت (شکل 2). دوره واسنجی مدل از سال 1971 تا سال 1985 و اعتبارسنجی مدل از سال 1986 تا سال 2001 در نظر گرفته شد.

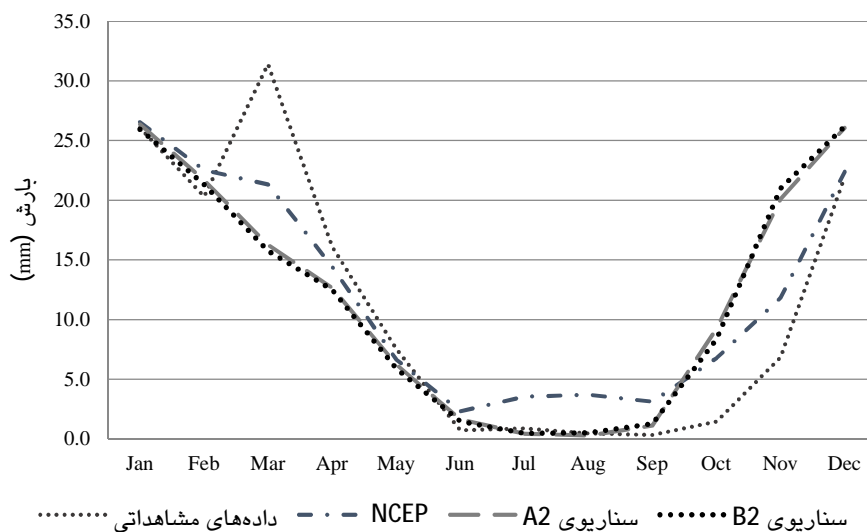
در رابطه فوق O و P به ترتیب مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده، \bar{O} ، میانگین مقادیر مشاهده شده و n تعداد داده‌ها هست. هر چه میزان MAE و RMSE کمتر باشد، نشان‌دهنده کارآیی بیشتر مدل هست. مقادیر NS بین صفر تا یک متغیر است چنانچه مقدار NS معادل یک گردد برازش کاملی را نشان می‌دهد و اگر بزرگ‌تر از 0/75 باشد نتایج شبیه‌سازی عالی توصیف می‌شوند، اما زمانی که مقادیر بین 0/36 تا 0/75 است نتایج مدل رضایت‌بخش به‌شمار می‌رود (لالوزایی 1391).



شکل 2- مقایسه بارش ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل در دو دوره واسنجی (الف) و صحت‌سنجی (ب) در ایستگاه چترود.

چندمتغیره SDSM، میزان بارش دوره پایه (2001-1971)، ایستگاه باران‌سنجی چترود پیش‌بینی شد که نتایج در شکل 3، ارائه شده است. برای ارزیابی کارآیی مدل SDSM در ایستگاه چترود از معیارهای آماری استفاده شد که نتایج آن در جدول 4، آورده شده است.

از میان متغیرهای NCEP¹¹، رطوبت نسبی در سطح 850 هکتوپاسکال و رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین، (متغیرهای مستقل)، بیشترین همبستگی را با داده‌های بارش (متغیر وابسته) دارا بوده و به‌عنوان ورودی به مدل وارد شدند. با استفاده از مدل رگرسیون خطی



شکل 3- مقایسه بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در دوره پایه ایستگاه چترود.

جدول 4- معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل رگرسیون خطی چندمتغیره SDSM برای ایستگاه چترود.

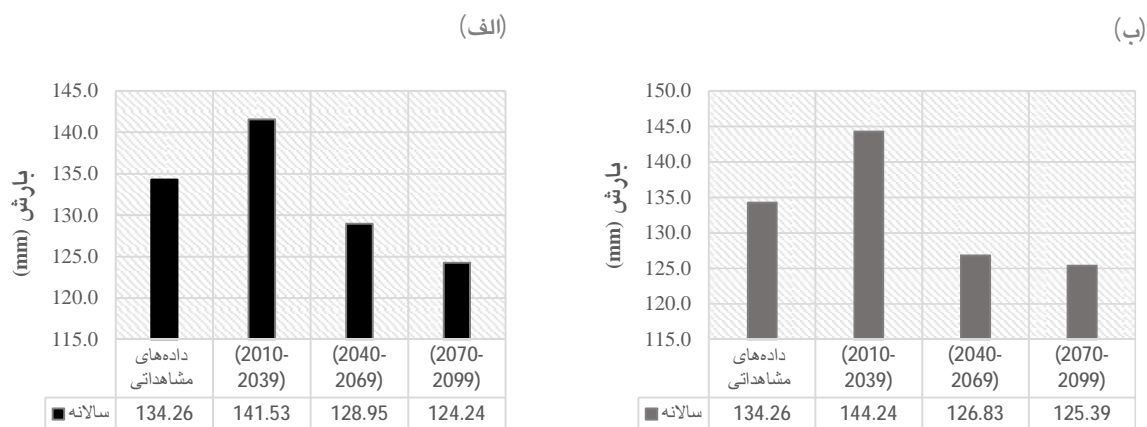
سناریو B2			سناریو A2			NCEP			ایستگاه
NS	RMSE (mm)	MAE (mm)	NS	RMSE (mm)	MAE (mm)	NS	RMSE (mm)	MAE (mm)	
0/62	6/64	4/12	0/64	6/45	4/02	0/86	3/99	3/02	چترود

2010-2039، حدود 7/27 میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش و در دوره‌های زمانی 2040-2069 و 2099-2070 میلادی نیز به ترتیب حدود 5/31 میلی‌متر و 10/02 میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش یافته است و بارش در فصول بهار و تابستان کاهش و در فصول پاییز و زمستان روند افزایشی دارد، بیشترین کاهش میزان بارش در ماه مارس و بیشترین افزایش بارش در ماه نوامبر رخ خواهد داد. در سناریو B2، در دوره زمانی 2010-2039، حدود 9/98 میلی‌متر نسبت به دوره پایه افزایش و در دوره‌های زمانی 2040-2069 و 2099-2070 میلادی نیز به ترتیب حدود 7/43 میلی‌متر و 8/87 میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش یافته است (جدول 5).

نتایج جدول 4، نشان از انحراف کم مقادیر برآوردی مدل از مقادیر مشاهداتی در شبیه‌سازی بارش ایستگاه چترود دارد که بیانگر عملکرد بالای مدل SDSM در ایستگاه چترود هست، همچنین با نگاهی به مقادیر جدول، می‌توان دریافت که NCEP و سناریوی A2، نسبت به سناریوی B2، در شبیه‌سازی بارش چترود از کارآئی بالاتری برخوردار هست.

پیش‌بینی میزان بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی چترود با استفاده از مدل SDSM

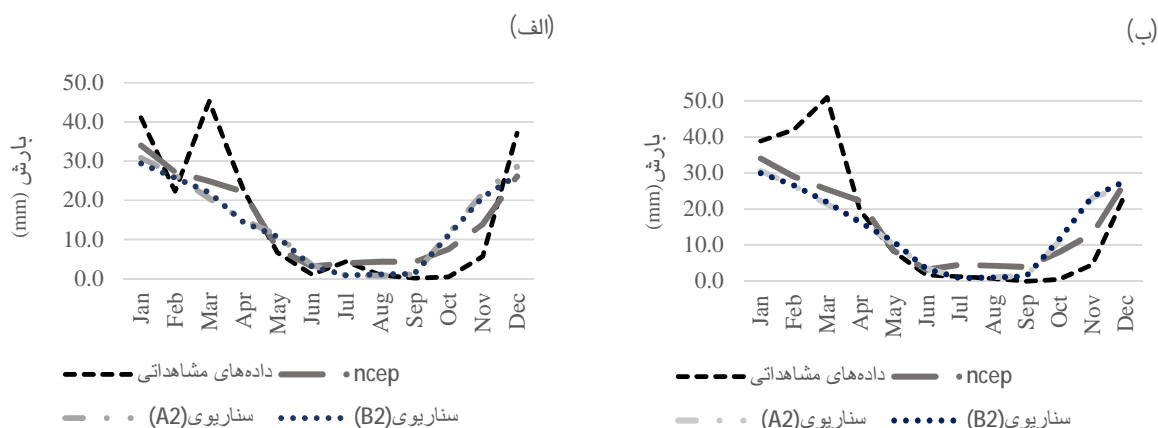
میزان بارش سالانه شبیه‌سازی‌شده توسط مدل SDSM، دوره‌های آتی ایستگاه باران‌سنجی چترود در شکل 4، نشان داده شده است. به‌طور متوسط میزان بارش محاسبه‌شده در سناریو A2، در دوره زمانی



شکل 4- مقایسه متوسط بارش سالانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره‌های آبی در ایستگاه چترود بر اساس سناریوی A2 (الف) و B2 (ب).

وابسته) دارا بود و به‌عنوان ورودی به مدل وارد شد. دوره واسنجی مدل را از سال 1972 تا سال 1985 و اعتبارسنجی از سال 1986 تا سال 2001 در نظر گرفته شد. با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره میزان بارش ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان پیش‌بینی شد. نتایج در شکل 5، ارائه شده است.

نتایج شبیه‌سازی مدل SDSM در ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان برای پیش‌بینی میزان بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان، از میان متغیرهای NCEP، رطوبت نسبی نزدیک سطح زمین (متغیر مستقل)، بیشترین همبستگی را با داده‌های بارش (متغیر



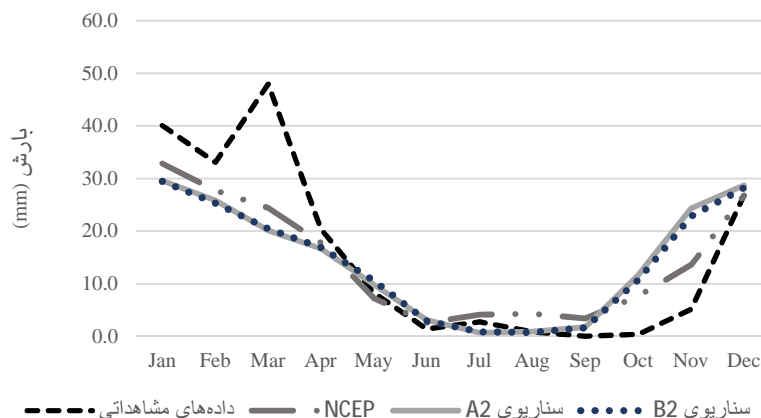
شکل 5- مقایسه بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل SDSM در دو دوره واسنجی (الف) و صحت‌سنجی (ب) ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان.

جدول 5- مقادیر متوسط بارش ماهانه چترود در دوره آینده (پیش‌بینی شده بر اساس سناریوی A2 و B2).

2070-2099		2040-2069		2010-2039		دوره پایه	
(mm) B2	(mm) A2	(mm) B2	(mm) A2	(mm) B2	(mm) A2	بارندگی (mm)	ماه
24/73	26/17	23/67	25/01	27/99	26/48	26/09	ژانویه
19/22	18/05	19/58	19/09	22/24	20/04	20/33	فوریه
12/60	11/76	14/35	16/20	14/86	14/58	31/42	مارس
8/90	8/97	10/54	10/0	11/13	10/55	16/13	آوریل
3/75	3/34	4/92	3/67	4/28	5/49	7/55	می
1/03	0/54	1/17	1/06	1/06	1/85	0/74	ژوئن
0/28	0/16	0/24	0/32	0/34	0/40	0/90	ژوئیه
0/27	0/32	0/34	0/27	0/45	0/44	0/48	اوت
1/24	1/09	1/29	1/18	1/42	1/15	0/34	سپتامبر
8/54	6/20	7/28	7/45	8/64	8/82	1/46	اکتبر
20/24	21/33	20/07	19/65	24/19	23/42	6/85	نوامبر
24/58	26/31	23/39	25/05	27/64	28/32	21/96	دسامبر
125/39	124/24	126/83	128/95	144/24	141/53	134/26	سالانه

سیرجان، پیش‌بینی شد که نتایج در شکل 6، ارائه شده است.

با استفاده از مدل رگرسیون خطی چندمتغیره میزان بارش دوره پایه ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد



شکل 6- مقایسه بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل دوره پایه ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان.

سیرجان از کارآئی بالاتری برخوردار هست. در مجموع نتایج جدول پیش‌گفته بیان‌گر عملکرد قابل‌قبول مدل در منطقه مورد مطالعه هست.

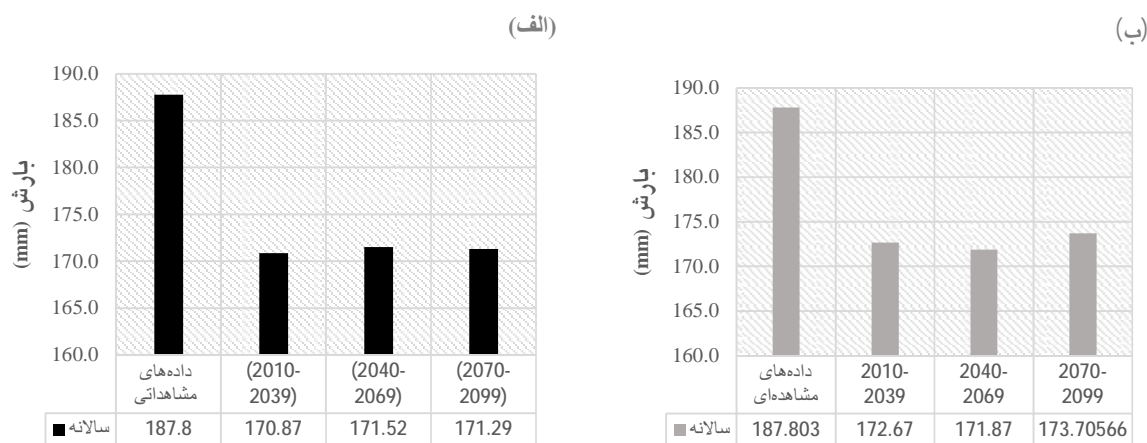
مطابق نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل SDSM در ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان (جدول 6)، می‌توان دریافت که NCEP و سناریوی B2 نسبت به سناریوی A2 در شبیه‌سازی بارش سعادت‌آباد

جدول 6- محاسبه معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل رگرسیون خطی چندمتغیره SDSM برای ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان.

سناریو B2			سناریو A2			NCEP			ایستگاه
NS	RMSE (mm)	MAE (mm)	NS	RMSE (mm)	MAE (mm)	NS	RMSE (mm)	MAE (mm)	
0/58	10/69	7/18	0/56	11/00	7/37	0/76	8/12	5/39	سعادت‌آباد

پیش‌بینی میزان بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان با استفاده از مدل SDSM، میزان بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان پیش‌بینی شد (شکل 7). میزان بارش محاسبه‌شده در سناریو A2 و (B2)، در دوره‌های زمانی (2010-2039)، (2040-2069) و (2070-2099) میلادی به ترتیب حدود 16/93، 16/28 و 16/51، (15/14، 15/94 و 14/09) میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. در هر دو سناریو، بارش در ماه‌های می، ژوئن، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر روند افزایشی و در بقیه ماه‌های سال روند کاهشی دارد (جدول 7).

پیش‌بینی میزان بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان با استفاده از مدل SDSM، میزان بارش سالانه ایستگاه باران‌سنجی سعادت‌آباد سیرجان پیش‌بینی شد (شکل 7). میزان بارش محاسبه‌شده در سناریو A2 و (B2)، در دوره‌های زمانی (2010-2039)، (2040-2069) و (2070-2099) میلادی به ترتیب حدود 16/93، 16/28 و 16/51، (15/14، 15/94 و 14/09) میلی‌متر نسبت به دوره پایه کاهش یافته است. در هر دو سناریو، بارش در ماه‌های می، ژوئن، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر روند افزایشی و در بقیه ماه‌های سال روند کاهشی دارد (جدول 7).



شکل 7- مقایسه میزان بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده دوره‌های آتی سعادت‌آباد سیرجان بر اساس سناریو A2 (الف) و B2 (ب).

نتیجه‌گیری کلی در پژوهش حاضر، مدل رگرسیون خطی چندمتغیره برای پیش‌بینی بارش دوره‌های آتی دو ایستگاه باران‌سنجی چترود و سعادت‌آباد سیرجان قابل قبول هست و با داده‌های مشاهده‌ای نسبتاً

موردبررسی قرار گرفت. نتایج معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل نشان داد که توانایی این مدل در شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌های چترود و سعادت‌آباد سیرجان قابل قبول هست و با داده‌های مشاهده‌ای نسبتاً

مطابقت دارد، نتایج شبیه‌سازی پژوهش حاضر بیانگر سیرجان تا سال 2099 میلادی در هر دو سناریوی A2 کاهش میزان بارش سالانه چترود و سعادت‌آباد و B2، هست.

جدول 7- مقادیر متوسط بارش ماهانه در ایستگاه سعادت‌آباد سیرجان در دوره آینده (پیش‌بینی‌شده بر اساس سناریو A2 و B2).

2070-2099		2040-2069		2010-2039		دوره پایه	
(mm) B2	(mm) A2	(mm) B2	(mm) A2	(mm) B2	(mm) A2	بارش (mm)	ماه
29/61	29/52	30/0	29/19	29/21	29/0	40/1	ژانویه
25/76	25/36	25/30	24/80	25/83	25/30	33/1	فوریه
20/77	20/54	20/17	20/07	20/33	20/04	48/0	مارس
16/69	16/94	16/06	16/60	16/88	16/84	20/48	آوریل
10/17	10/65	9/85	10/09	9/77	9/42	8/29	می
2/94	2/98	3/02	2/98	2/88	3/03	1/47	ژوئن
0/97	0/89	0/78	0/88	0/87	0/88	2/80	ژوئیه
0/98	0/83	0/99	1/11	0/88	0/86	0/93	اوت
2/0	1/66	1/90	2/16	1/91	2/02	0/10	سپتامبر
11/13	10/78	11/53	10/71	11/36	11/47	0/43	اکتبر
23/43	22/89	23/56	24/01	23/93	23/50	5/23	نوامبر
29/26	28/26	28/71	28/91	28/81	28/51	26/87	دسامبر
173/70	171/29	171/87	171/52	172/67	170/87	187/80	سالانه

اثرات منفی مستقیم و غیرمستقیم تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف اعم از کشاورزی، منابع آب، محیط‌زیست، صنعت و اقتصاد، برنامه‌ریزی‌های بلندمدت برای مدیریت شرایط جدید استان، امری اجتناب‌ناپذیر بوده و برنامه‌های آینده باید به‌گونه‌ای باشند که تغییرات پیشرو اثرات زیان‌بار کمتری را متوجه بخش آب در این مناطق گرداند.

این نتایج نشان می‌دهند که میزان بارش دوره‌های آبی، تفاوت محسوسی با شرایط فعلی خواهد داشت و از روند کاهشی برخوردار است که در توافق با نتایج تحقیقات صورت گرفته توسط روشن و محمدنژاد آروق (1391)، خسروی و همکاران (1389)، مساح بوانی و مرید (1384)، میمیکو و همکاران (2000) و ژائو و همکاران (2005)، هست. بنابراین با توجه به

منابع مورد استفاده

- آشفته پ و مساح‌بوانی ع، 1389. تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر، مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب‌و خاک، سال 14، شماره 53، صفحه‌های 25 تا 39.
- احمدزاده ف، فاخری‌فردا، دین‌پژوهی، فرسادی‌زاده د و حسین‌زاده دلیر ع، 1388. تعیین مدل رگرسیونی توزیع زمانی بارش‌های شدید تبریز. نشریه دانش آب و خاک، دوره 19، شماره 2، صفحه‌های 1 تا 11.
- بریم‌نژاد و و یزدانی س، 1383. تحلیل پایداری در مدیریت منابع آب در بخش کشاورزی با استفاده از برنامه‌ریزی کسری، مطالعه موردی: استان کرمان. نشریه پژوهش و سازندگی در زراعت و باغبانی، جلد 17، شماره 22، صفحه‌های 2 تا 16.

- خسروی م، اسماعیل‌نژاد، م و نظری‌پور ح، 1389. تغییر اقلیم و تأثیر آن بر منابع آب خاورمیانه. صفحه‌های 1 تا 8. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیادانان جهان اسلام، 25-27 فروردین ماه، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- رجبی ا، 1390. آنالیز عدم قطعیت تغییر اقلیم توسط مدل SDSM در کرمانشاه. صفحه‌های 1 تا 12. چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران. 13 و 14 اردیبهشت ماه، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
- رضائی‌بنفشه م، جهانبخش س، بیاتی‌خطیبی م و زینالی ب، 1389. پیش‌بینی بارش پاییزه و زمستانه نیمه غربی ایران، با استفاده از SST مدیترانه در فصول تابستان و پاییز. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره 74، صفحه‌های 47 تا 62.
- روشن، غ و محمدنژاد آروق و، 1391. پیش‌بینی تغییرات هیدرولوژیکی تراز آب دریاچه ارومیه با رویکرد به طرح‌های فرضی متفاوت گرمایش جهانی در دهه‌های آینده. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره 3، صفحه‌های 69 تا 88.
- شاه‌نقی ن، پارسی‌نژاد م، عراقی‌نژاد ش و میرزایی ف، 1389. تأثیرات پتانسیل تغییر اقلیم بر تبخیر و تعرق، مطالعه موردی: دشت مشهد. صفحه‌های 1 تا 10. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، 17 و 18 آذر ماه، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
- صمدی‌نقاب س، 1385. پیش‌بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره 8، صفحه‌های 193 تا 212.
- فرج‌زاده م، 1392. تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه مطالعه موردی: رودخانه شش‌پیر. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، پیاپی 49، شماره 1، صفحه‌های 17 تا 33.
- لالوزائی ا، 1391. شبیه‌سازی سیلاب با استفاده از مدل WMS در حوزه آبخیز معرف کامه تربت حیدریه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه زابل.
- مساح‌یوانی عر و مرید س، 1384. اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه زاینده رود. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره 9، شماره 4، صفحه‌های 17 تا 27.
- مه‌سافر ح، مکنون ر و ثقفیان ب، 1390. اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه. مجله تحقیقات منابع آب ایران، سال 7، شماره 1، صفحه‌های 47 تا 58.
- ناظم‌السادات م، سامانی ن و مولایی‌نیکو م، 1384. تغییر اقلیم در جنوب و جنوب غرب ایران از دیدگاه مشاهدات بارش، بر هم‌کنش با پدیده النینو نوسانات جنوبی. مجله علمی کشاورزی، دوره 28، شماره 2، صفحه‌های 81 تا 100.
- Chen H, Xuo Y and Guo S, 2012. Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. *Journal of Hydrology* 434: 36-45.
- Gordon C, Cooper C, Senior CA, Banks H, Gregory JM, Johns TC, Mitchell JF and Wood RA, 2000. The simulation of SST, sea ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Centre coupled model without flux adjustments. *Climate Dynamics* 16: 147-168.
- Maria C, Haroldo, F and Ferreira N, 2005. Artificial neural network technique for rainfall forecasting applied to the Sao Paulo region. *Journal of Hydrology* 301: 146-162.
- Mimikou MA, Baltas E, Varanou E and Pantazis K, 2000. Regional impacts of climate change on water resources quantity and quality indicators. *The Bulletin of Mathematical Biophysics* 234: 95-109.
- Zhao Y, Camberlin P and Richard Y, 2005. Validation of a coupled GCM and projection of change over South Africa, using a statistical downscaling method. *Climate research* 28: 109-122.