

ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان با استفاده از مدل‌های

HADCM3 و BCM2 در محیط ریزگردان LARS-WG

برومند صلاحی*، دانشیار اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی

فخری سادات فاطمی نیا، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی کشاورزی دانشگاه محقق اردبیلی

سید محمد حسینی، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان

چکیده

در این پژوهش، تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو ارزیابی شد. بدین منظور، داده‌های مدل‌های HADCM3 و BCM2 تحت سناریوهای انتشار B1 و A1B برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی بر دمای کمینه و بیشینه، تابش و بارش ۱۲ ایستگاه همدید استان اصفهان با بهره‌گیری از ریزگردان آماری-LARS-WG ریزمقیاس شدند. برای این منظور، پس از انجام واسنجی، صحت‌سنجی و مدل‌سازی داده‌ها در ایستگاه‌های منتخب، کارایی مدل‌ها از نظر میزان انطباق داده‌های دیده‌بانی شده با مقادیر شبیه‌سازی شده با استفاده از شاخص ریشه میانگین مربعات (RMSE) ارزیابی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل BCM2-A1B در تولید داده‌های تابش، مدل HADCM3-A1B در تولید داده‌های دمای بیشینه و مدل BCM2-B1 در تولید داده‌های دمای کمینه و بارش نتایج مناسب‌تری به دست می‌دهد. همچنین تحلیل روند داده‌ها در سنس‌استیمیتور و من‌کندال نشان داد که دمای کمینه، دمای بیشینه، تابش و تبخیر و تعرق در کلیه ایستگاه‌های استان اصفهان طی ۲۰۶۰-۲۰۱۱ روند افزایشی و به جز نائین که افزایش بسیار جزئی بارش را خواهد داشت بقیه ایستگاه‌ها روند کاهشی بارش را شاهد خواهند بود.

واژگان کلیدی

تغییر اقلیم، مدل گردش عمومی جو، روند، LARS-WG، استان اصفهان.

مقدمه و پیشینه تحقیق

امروزه موضوع تغییر اقلیم به دلیل پیامدهای زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی و حتی سیاسی، به یکی از مباحث مهم تبدیل شده و علاقه‌مندی فراوانی برای آشکارسازی نمودهای مختلف تغییر اقلیم و تحلیل علمی آن در بین پژوهشگران ایجاد شده است (پیترسون و همکاران^۱، ۲۰۰۸، ۱۳۴؛ وانگ و همکاران^۲، ۲۰۱۲: ۱۴۰). تغییرات ایجاد شده در فراسنج‌های آب و هوایی یکی از مهمترین این جلوه‌هاست که نقش بسیار مهمی در برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای یک کشور دارند (کمالی، ۱۳۸۱: ۱۲). استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، تغییر کاربری اراضی و رشد جمعیت و فعالیت‌های فزاینده صنعتی، مسبب برخی تغییرات اقلیمی در کره زمین شد که افزایش رخدادهای فرین^۳ اقلیمی نظیر سیل، طوفان، امواج گرمایی، خشکسالی و ... از عمده‌ترین آن‌ها محسوب می‌شود. امروزه این گونه تغییرپذیری‌ها به دغدغه اصلی اقلیم‌شناسان و اندیشمندان علوم جوی تبدیل شده است (بابائیان و همکاران، ۱۳۸۷، ۱۳۶). آب و هوا در طول هزاران سال گذشته، دگرگونی‌های زیادی داشته است که خود از ویژگی‌های اقلیم می‌باشد (عساکره، ۱۳۸۶: ۲۸). یکی از مهم‌ترین منابع نامشخص در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده، ناشی از فعالیت‌های انسانی است. بسیاری از تغییرات اقلیمی به انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییرات آن بستگی دارند (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۷: ۱۰۱). از این رو، پیش‌بینی بلندمدت فراسنج‌های اقلیمی همواره مورد توجه پژوهشگران بوده است.

یکی از متداول‌ترین و مناسب‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقلیم آینده، استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو^۴ می‌باشد. هدف اصلی این مدل‌ها، محاسبه شاخص‌های سه بعدی اقلیم در شبکه‌های مشخص است. این مدل‌ها، ابزاری مناسب و توانا برای مطالعه و ارزیابی خطرات تغییرات اقلیمی مانند وقوع دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و سیل‌آسا و ... می‌باشند. این مدل‌ها همچنین با استفاده از سناریوهای تأیید شده هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم^۵، قادر به ایجاد سری‌های زمانی بلندمدت بارش، دمای حداقل، دمای حداکثر، تابش و تبخیر و تعرق در مقیاس‌های روزانه می‌باشند. برای درک ماهیت پیچیده جو و پیش‌بینی تغییرات آن در آینده، پرداختن به مدل‌های آماری کلاسیک ممکن است به دلیل این پیچیدگی‌ها، گمراه کننده باشد لذا دانشمندان اقلیم‌شناسی برای درک بهتر پدیده‌ها و پیش‌بینی دقیق‌تر آن‌ها، به استفاده از قوانین و روابط ریاضی بین پارامترهای مختلف اقلیمی روی آوردند از این رو، طراحی مدل‌های اقلیمی درجه‌ای جدید در تبیین تغییرات اقلیمی در آینده گشود. پیچیده بودن محاسبات ایجاب می‌کرد تا پای ابررایانه‌ها نیز به این مقوله نیز گشوده شود و بدین ترتیب از روش‌های عددی در حل معادلات مربوطه استفاده شد.

به طور کلی، مدل‌های اقلیمی بر اساس ساختار و نوع عملکرد به مدل‌های توازن انرژی، مدل‌های تابشی همرفتی، مدل‌های دو بعدی آماری - دینامیکی و مدل‌های گردش عمومی جو تقسیم‌بندی می‌شوند. مدل‌های گردش عمومی جو، قابل استفاده در مقیاس‌های کوچکتر نیستند لذا نیازمند به ریزمقیاس نمایی هستند. دو روش برای ریزمقیاس نمایی و کسب اطلاعات با مقیاس محلی از سناریوهای اقلیم جهانی ایجاد شده توسط مدل‌های گردش عمومی جو وجود دارد که عبارتند از روش دینامیکی و آماری. مدل‌های دینامیکی از حل معادلات حرکت هوا و مدل‌های آماری از رفتار سیستم اقلیم در دوره آماری برای بررسی تغییرات زمانی

^۱ - Peterson et al

^۲ - Wang et al

^۳ - Extreme

^۴ - Atmospheric General Circulation Models

^۵ - Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

سیستم‌های اقلیمی استفاده می‌کنند. مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری، خروجی مدل‌های گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری و برقراری همبستگی آماری بین خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در گذشته با داده‌های دوره آماری ایستگاه هواشناسی واقع در شبکه‌ی مدل اقلیمی به نحوی ریزمقیاس می‌نمایند که به مقادیر مشاهداتی در مقیاس ایستگاهی شباهت زیادی داشته باشد. مدل LARS-WG که در این پژوهش از آن استفاده شده است به عنوان یکی از روش‌های آماری ریزگردانی مدل‌های گردش عمومی جو، کاربرد زیادی در پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آینده و مدل‌سازی آن داشته و دقت بالای این مدل در مدل‌سازی داده‌های آب و هوایی در ایستگاه‌های مختلف اقلیمی توسط پژوهشگران مختلفی تأیید شده است (ویلیامز^۱، ۱۹۹۱؛ بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵، مایروماتیس و هانسن^۲، ۲۰۰۱). مدل LARS-WG از ۱۵ مدل GCM و ۳ سناریوی انتشار در مدل‌سازی اقلیمی دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۹۹-۲۰۸۱ بهره می‌گیرد. مدل‌های BCM2 و HADCM3 از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین آن‌ها محسوب می‌شوند که در این مقاله نیز از آن‌ها استفاده شده است.

عزیزی و روشنی (۱۳۸۷) با استفاده از روش رتبه‌ای من کندال، تغییرات برخی عناصر رطوبتی و دمایی ایستگاه‌های سواحل جنوبی دریای خزر را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در اکثر ایستگاه‌ها، دمای حداقل روند مثبت و دمای حداکثر روند منفی را نشان می‌دهد. فیضی و فرج‌زاده (۱۳۸۹) با روش من کندال، تغییر اقلیم در استان سیستان و بلوچستان را بررسی نمودند و وجود تغییرات ناگهانی افزایشی در پارامترهای حداقل و حداکثر دما در ماه‌های مختلف سال در آن استان را تأیید کردند. سبزی پرور و شادمانی (۱۳۹۰) به استفاده از روش من کندال، تغییرات زمانی پارامتر تبخیر و تعرق مرجع در مناطق خشک ایران را مورد بررسی قرار دادند. فیروزی و همکاران (۱۳۹۱) روند بارش در ایستگاه‌های منتخب استان فارس را با استفاده از روش ناپارامتریک من کندال و تخمینگر سنس استیمیتور بررسی کردند و برای هر ایستگاه به نتایج متفاوتی رسیدند. در زمینه ریزگردانی اقلیمی و شبیه‌سازی آن‌ها در سال‌های آتی، پژوهش‌های لیوکانون و همکاران^۳ (۲۰۰۳)، ریچتر و سمونوف^۴ (۲۰۰۴)، بابائیان و کوان^۵ (۲۰۰۴)، سجادخان و همکاران^۶ (۲۰۰۶)، مساح مساح بوانی و مریدی (۲۰۰۶)، کادون و همکاران^۷ (۲۰۰۸)، استیل و همکاران^۸ (۲۰۰۸)، مینویل و همکاران^۹ (۲۰۰۸)، هارمسن و همکاران^{۱۰} (۲۰۰۹)، لیانگ و همکاران^{۱۱} (۲۰۱۰)، ضرغامی و همکاران (۲۰۱۱)، کمال و همکاران (۱۳۸۸) و طاووسی و همکاران (۱۳۹۱) از جمله مطالعات انجام شده با استفاده از مدل و ریزگردان-های اقلیمی در مناطق مختلف جغرافیایی به شمار می‌رود که مؤید کاربرد مؤثر این ریزگردان‌ها در شبیه‌سازی عناصر اقلیمی آن مناطق هستند. این پژوهش در صدد آن است تا تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان را با استفاده از مدل‌های BCM2 و HADCM3 در محیط ریزگردان LARS-WG مدل‌سازی نماید تا شاید با برآورد میزان این تغییرات بتوان گام مهمی در برنامه‌ریزی‌های ناحیه‌ای در این خطه از کشور برداشت.

1 - Williams

2 - Mavromatis and Hansen

3 - Luo Qanyan et al

4 - Richter and Semenov

5 - Babaeian and Kwon

6 - Sajjad Khan et al

7 - Cowden et al

8 - Steele et al

9 - Minville et al

10 - Harmsen et al

11 - Liang et al

داده‌ها و روش‌شناسی تحقیق

برای انجام مدل‌سازی اقلیمی در این پژوهش، ابتدا داده‌های متغیرهای اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی متعلق به ۱۲ ایستگاه همدید استان اصفهان (ایستگاه‌های اصفهان، انارک، اردستان، داران، گلپایگان، کبوترآباد، کاشان، نائین، نطنز، خور و بیابانک، میمه و شهرضا)، از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. جدول ۱، مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. طول دوره آماری ایستگاه‌ها، بین ۲۰ تا ۵۰ سال (به جز میمه که طول دوره آماری آن ۱۴ سال است) در نوسان است.

جدول (۱) مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد بررسی

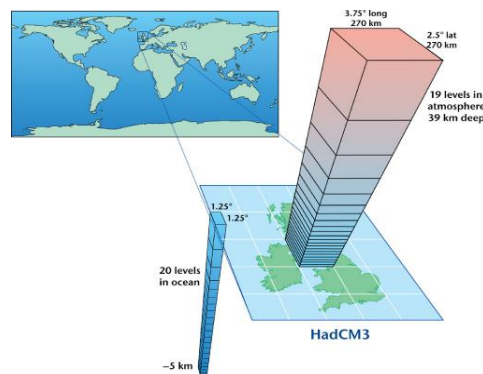
ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی (درجه شرقی)	عرض جغرافیایی (درجه شمالی)	
۱۵۵۰/۴	۵۱/۴۰	۳۲/۳۷	اصفهان
۱۲۵۲/۴	۵۲/۲۳	۳۳/۲۳	اردستان
۱۴۰۸/۸	۵۵/۱۵	۳۰/۵۳	انارک
۸۴۵	۵۵/۰۵	۳۳/۴۷	خوروبیابانک
۲۲۹۰	۵۰/۲۲	۳۲/۵۸	داران
۱۸۴۵/۲	۵۱/۵۰	۳۱/۵۹	شهرضا
۹۸۲/۳	۵۱/۲۷	۳۳/۵۹	کاشان
۱۵۴۵	۵۱/۵۱	۳۲/۳۱	کبوترآباد
۱۸۷۰	۵۰/۱۷	۳۳/۲۸	گلپایگان
۱۹۸۰	۵۱/۱۰	۳۳/۲۶	میمه
۱۶۰۰	۵۳/۰۵	۳۲/۵۱	نائین
۱۶۸۴/۹	۵۱/۵۴	۳۳/۳۲	نطنز

پس از تکمیل اطلاعات، تولید مقادیر تابش، بارش، دمای بیشینه و کمینه روزانه ایستگاه‌های مورد مطالعه، از ریزگردان LARS-WG استفاده شد. این مدل، مقادیر روزانه عناصر اقلیمی بارش، دما و ساعات آفتابی را برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۱-۲۰۹۹ مدل‌سازی می‌کند. در این مدل، لازم است مقادیر عناصر اقلیمی چهارگانه (دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعات آفتابی) به صورت روزانه با تعیین روزشمار ژولیوسی به مدل داده شود. این مدل، از روش‌های توزیع نیمه تجربی برای طول روزهای تر و خشک، بارش روزانه و ساعات آفتابی استفاده می‌کند. شبیه‌سازی رخداد بارش در این مدل با استفاده از سری‌های تر و خشک انجام می‌شود. طول هر سری به طور تصادفی از توزیع نیمه تجربی ماهانه خشک و تر انتخاب می‌شود. فرایند تولید داده‌های مصنوعی به وسیله مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود: الف) کالیبره کردن مدل که شامل دو فایل مشخصات ایستگاه هواشناسی و داده‌های مشاهداتی مربوط به ایستگاه مورد نظر است.

ب) ارزیابی مدل که در آن باید تعیین شود که آیا این مدل توانایی لازم برای تولید داده‌های تصادفی در منطقه مورد نظر را داراست و اینکه آیا اختلاف معنی داری بین داده‌های مشاهده شده و داده‌های شبیه‌سازی شده وجود دارد؟

ج) تولید (شبیه‌سازی) داده‌های مصنوعی که از فایل مربوط به داده‌های دیده‌بانی شده منتج می‌شود.

برای تولید (شبیه‌سازی) داده‌های مصنوعی در این ریزگردان، لازم است مدل GCM و سناریوی انتشار مناسب انتخاب شود. همانگونه که ذکر شد، مدل LARS-WG از ۱۵ مدل GCM و ۳ سناریوی انتشار در مدل‌سازی اقلیمی برای دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۱-۲۰۹۹ بهره می‌گیرد. در این مطالعه، به منظور مدل‌سازی داده‌ها از دو مدل HADCM3 و BCM2^۱ تحت سناریوهای B1 و A1B برای هر یک از ۱۲ ایستگاه همدید استان اصفهان استفاده شده است. مدل HadCM3^۲ از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM^۳) است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. این مدل از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های HadAM3 (مدل جوی) و HadOM3 (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است. این مدل نیازی به تنظیمات شار سطحی^۴ (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) برای بهبود شبیه‌سازی ندارد. شبیه‌سازی‌ها بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روزه و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی و هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی از مهمترین مزایای این مدل محسوب می‌شود. شکل ۱، ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3 را نشان می‌دهد (سایت اینترنتی)^۵.



شکل (۱) ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی HadCM3

مدل جوی HadAM3 دارای قدرت تفکیک افقی $2/5 \times 3/75$ درجه عرض و طول جغرافیایی می‌باشد که معادل 73×96 نقطه شبکه‌ای در کل کره زمین می‌باشد. در سیستم طیفی، قدرت تفکیک آن T42 بوده که معادل شبکه‌هایی با ابعاد 417×278 کیلومتر (در استوا) در سطح افقی می‌باشد. در عرض ۴۵ درجه، ابعاد شبکه یاد شده به 295×278 کیلومتر تقلیل می‌یابد. تعداد لایه‌های این مدل در راستای قائم جو، ۱۹ و در عمق خاک، ۴ لایه است. مدل اقیانوسی HadOM3 نیز دارای ۲۰ لایه با قدرت تفکیک افقی $1/25 \times 1/25$ درجه است. بنابراین برای هر نقطه شبکه‌ای در مدل جوی، شش نقطه در مدل اقیانوسی وجود دارد. شکل ۲، نمایه قائم دمای اقیانوس آرام در طول جغرافیایی ۱۸۰ درجه در مدل HadOM3 را نشان می‌دهد (همان منبع).

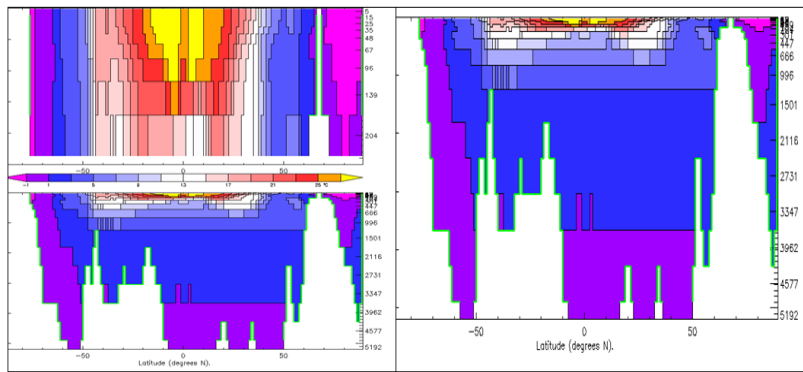
1 - Hadley Center Model (Version 3) and Bergen Climate Model (Version 2)

2 - Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model

3 - Atmospheric-Ocean General Circulation Model

4 - Surface flux adjustment

5 - <http://ibabaeian.persiangig.com/document/HadCM3.docx/download?5d96>



شکل (۲) میانگین دمای سالانه اقیانوس آرام در طول جغرافیایی ۱۸۰ درجه. سمت چپ: تا عمق ۲۵۰ متری و سمت راست: کل عمق اقیانوس.

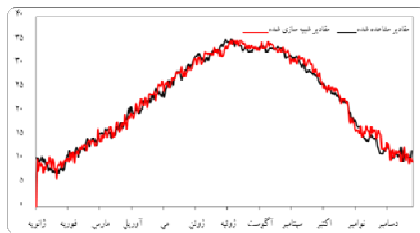
مدل BCM2 نیز توسط مرکز تحقیقات اقلیمی دانشگاه برگن نروژ^۱ به وجود آمد و به نام مدل اقلیمی برگن شهرت یافت. تفکیک اقیانوسی- جوی این مدل $1/9 \times 1/9$ درجه می‌باشد. این مدل از سناریوهای انتشار SRA1B و SRB1 بهره می‌برد. از در پژوهش حاضر، دو سناریو A1B و B1 توسط این دو مدل مورد استفاده قرار گرفته است. سناریوی B1، جهانی همگون با افزایش مداوم جمعیت را در نظر می‌گیرد که این جمعیت، در نیمه‌ی قرن، حداکثر می‌شود و پس از آن کاهش می‌یابد. در این سناریو، بر راه‌حل‌های جهانی برای پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیطی به انضمام اصلاح سرمایه اما بدون تغییرات اضافی اقلیم تأکید شده است. سناریوی A1B، زیر مجموعه سناریوی A1 می‌باشد. سناریوی A1 جهان با رشد اقتصادی بسیار سریع و جمعیتی که در نیمه‌ی قرن، به حداکثر می‌رسد و پس از آن کاهش می‌یابد و نیز فناوری‌های کارآمدتر و جدیدتر در آینده را توصیف می‌کند (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۶، ۱۰۳ به نقل از سبحانی و فاطمی‌نیا، ۱۳۹۳: ۳۱۵). پس از ورود داده‌ها به مدل و اخذ خروجی‌های لازم، داده‌های ایستگاه‌ها باز تولید شدند آنگاه با استفاده از آزمون‌های آماری و رسم نمودار، اقدام به تطابق داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های مشاهداتی گردید و نتایج تفسیر شد. به منظور ارزیابی خطا از شاخص میانگین مربعات خطا استفاده شد. کم بودن (نزدیک به صفر بودن) شاخص میانگین مربعات خطا، مبین انطباق بیشتر داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی شده با یکدیگر بود. به منظور بررسی روند در متغیرهای اقلیمی مورد بررسی، از روش من‌کندال و سنس استیمیتور^۲ و جهت ترسیم نمودارهای روند و تعیین نقاط جهش از روش من‌کندال رتبه‌ای استفاده گردید. در روش رتبه‌ای من‌کندال، اگر نقاط U و U' در حالت معناداری روند، خارج از محدوده $+1/96$ یکدیگر را قطع کنند و در خلاف جهت هم حرکت کنند به آن جهش می‌گویند و اگر روند وجود نداشته باشد این دو دنباله به صورت موازی خواهند بود. در مواقعی که $-1/96 < U < +1/96$ باشد سری تصادفی است و دارای روند خاصی نیست در حالی که $U > +1/96$ نشان دهنده روند مثبت و $U < -1/96$ نشان دهنده روند منفی در سری داده‌هاست است (سبحانی و فاطمی‌نیا، ۱۳۹۳: ۳۱۷).

۱ - Berknes Centre for Climate Research (BCCR), University of Bergen, Norway

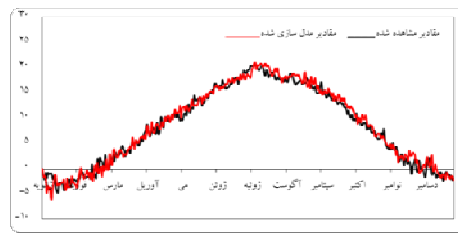
۲ - Mann-Kendall and Sin's Estimator

یافته‌های تحقیق

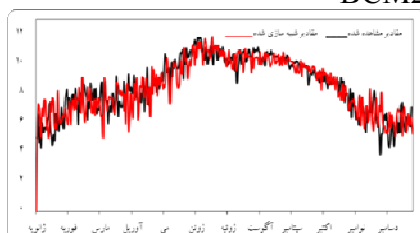
اشکال ۳ تا ۶ مؤید آن است که کمترین اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده در ایستگاه‌های شهرضا، کاشان، اصفهان، داران، میمه، کبوترآباد و خور و بیابانک، متعلق به مدل اقلیمی B1-BCM2، در ایستگاه اردستان متعلق به مدل HADCM3- A1B و در گلپایگان، نطنز و انار مربوط به مدل BCM2-A1B است. به دلیل محدودیت صفحات مقاله، فقط نمودار ایستگاه همدید اصفهان به عنوان نمونه ترسیم شده و از ارائه‌ی نمودارهای سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه صرف نظر شده است.



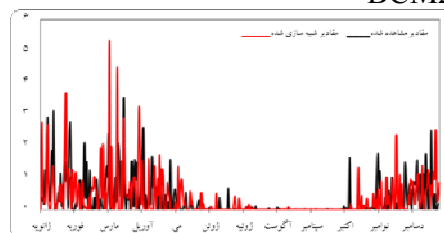
شکل (۴) مقایسه مقدار دمای بیشینه دیده‌بانی شده و شبیه‌سازی شده با مدل B1-BCM2



شکل (۳) مقایسه مقدار دمای کمینه دیده‌بانی شده و شبیه‌سازی شده با مدل B1-BCM2

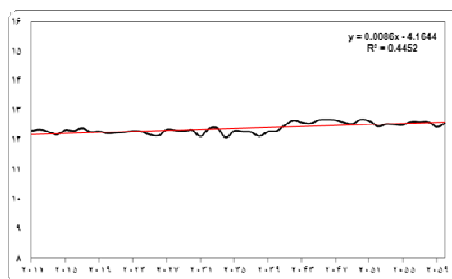


شکل (۶) مقایسه مقدار تابش دیده‌بانی شده و شبیه‌سازی شده با مدل B1-BCM2

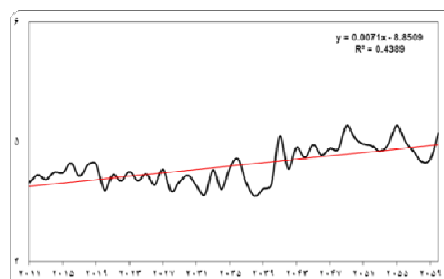


شکل (۵) مقایسه مقدار بارش دیده‌بانی شده و شبیه‌سازی شده با مدل B1-BCM2

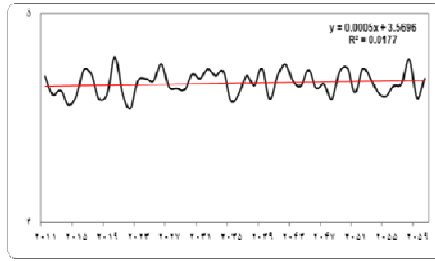
پس از آنکه مدل اصلی برای هر ایستگاه انتخاب شد، مقادیر دما، بارش، تابش و تبخیر و تعرق برای سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۶۰ شبیه‌سازی گردید که این مدل‌سازی برای ایستگاه اصفهان در اشکال ۷ تا ۱۱ آمده می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود دمای کمینه، دمای بیشینه، تبخیر و تعرق و تابش اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ در حال افزایش و بارش روندی کاهشی را تجربه خواهد کرد.



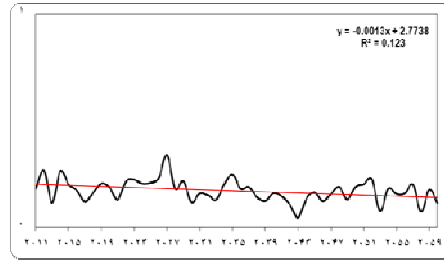
شکل (۸) مدلسازی دمای بیشینه اصفهان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل B1-BCM2



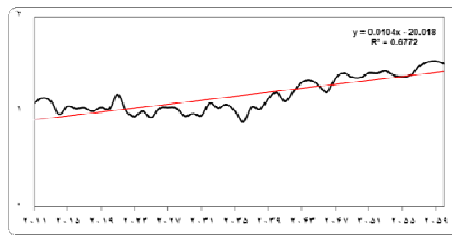
شکل (۷) مدلسازی دمای کمینه اصفهان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل B1-BCM2



شکل (۱۰) مدل‌سازی تابش اصفهان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل BCM2 -B1

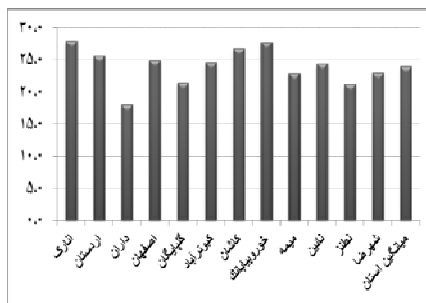


شکل (۹) مدل‌سازی بارش اصفهان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل BCM 2- B1

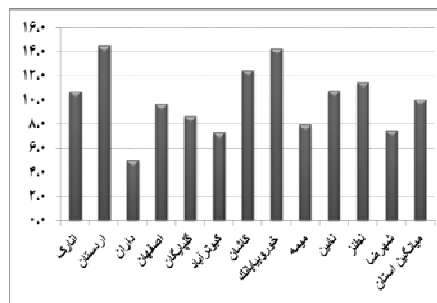


شکل (۱۱) مدل‌سازی تبخیر و تعرق اصفهان در دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ با مدل BCM 2- B1

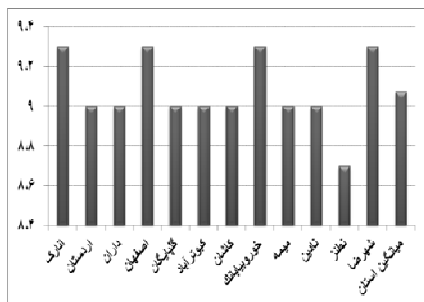
بر اساس اشکال ۱۲ و ۱۳، میانگین کمینه دما بین ایستگاه‌های همدید استان از ۵ درجه در داران تا ۱۴/۵ درجه در اردستان و میانگین بیشینه دما از ۱۸ درجه در داران تا ۲۷/۹ درجه در انارک در سال‌های آتی نوسان خواهد بود. بر اساس همین نتایج، در سال‌های آتی، میانگین کمینه دما در استان اصفهان ۱۰ درجه و میانگین بیشینه دما در استان اصفهان ۲۴/۱ خواهد بود. شکل ۱۴، میانگین بارش ایستگاه‌های همدید استان اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ را نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، ایستگاه‌های داران و گلپایگان با توجه به میانگین دمای کمتری که خواهند داشت از نظر بارش نیز نسبت به ایستگاه‌های دیگر دارای بارش بیشتری خواهند بود. شکل ۱۵، میانگین تابش و شکل ۱۶، میانگین تبخیر و تعرق ایستگاه‌های همدید استان اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰ را نشان می‌دهد. طبق این اشکال، از نظر میانگین تابش، ایستگاه‌های انارک، اصفهان، خور و بیابانک و شهرضا دارای بیشترین تابش و نطنز دارای کمترین تابش دریافتی و خور و بیابانک دارای بیشترین میزان تبخیر و تعرق و داران، دارای کمترین میزان تبخیر و تعرق خواهند بود.



شکل (۱۳) میانگین بیشینه دمای ایستگاه‌های همدید استان اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰



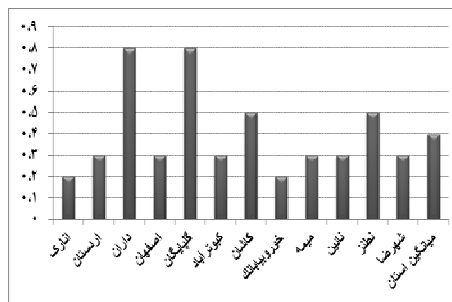
شکل (۱۲) میانگین کمینه دمای ایستگاه‌های همدید استان اصفهان طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۶۰



شکل (۱۵) میانگین تابش ایستگاه‌های

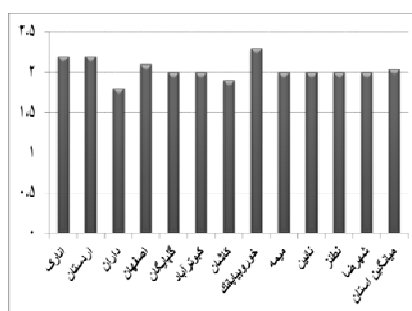
همدید استان اصفهان طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱

۲۰۱۱



شکل (۱۴) میانگین بارش ایستگاه‌های همدید

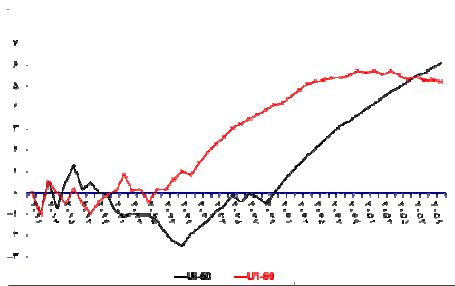
استان اصفهان طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱



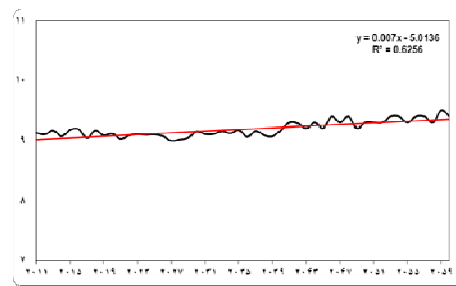
شکل (۱۶) میانگین تبخیر و تعرق ایستگاه‌های همدید استان اصفهان طی دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱

تحلیل روند فراسنج‌های اقلیمی

شکل ۱۷، توزیع سالانه دمای کمینه‌ی شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان را آشکار می‌کند. این شکل مؤید این است که دمای کمینه در استان اصفهان در حال افزایش است و کمینه دما در پنجاه سال آینده، بین ۹ تا ۹/۵ درجه نوسان خواهد داشت. شکل ۱۸، معرف نقاط جهش پنجاه ساله میانگین دمای کمینه استان اصفهان به روش رتبه‌ای من‌کندال می‌باشد. تغییرات جهت متوالی در دمای کمینه در سال-های ۲۰۲۰-۲۰۱۱ به چشم می‌خورد. از سال ۲۰۲۰ به بعد، روند افزایشی کمینه دمایی مشهود است. این شکل همچنین مبین یک جهش معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد با حاکمیت روند مثبت در سال ۲۰۵۶ است. در جدول ۲، مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند دمای کمینه استان اصفهان در ۲۰۶۰-۲۰۱۱ آمده است. بر اساس این جدول، دلیل مثبت بودن حد بالا و پایین کران اطمینان، فرض وجود روند افزایشی در دما رد نمی‌شود و در تمام استان مورد مطالعه، روند افزایشی دمای کمینه در سطح ۹۹ درصد دیده می‌شود.



شکل (۱۸) نقاط جهش پنجاه ساله میانگین دمای کیمنه استان اصفهان به روش رتبه‌ای من‌کندال



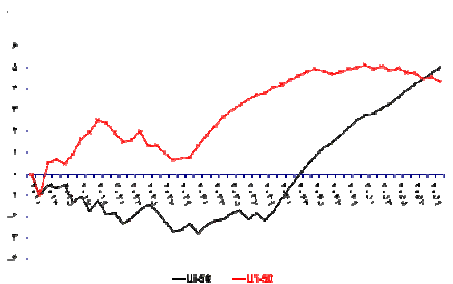
شکل (۱۷) توزیع سالانه دمای کیمنه شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان

جدول (۲) مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند دمای کیمنه استان اصفهان در ۲۰۱۱-۲۰۶۰

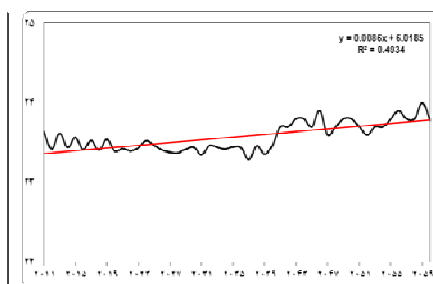
نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معنی‌داری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵
انار	۶/۸۹	***	۰/۰۳۵	۰/۰۲۷	۰/۰۴۴	۰/۰۲۹
اردستان	۴/۹۴	***	۰/۰۴۰	۰/۰۱۹	۰/۰۵۳	۰/۰۲۵
داران	۳/۳۵	***	۰/۰۰۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۰۴
اصفهان	۴/۲۰	***	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۹
گلپایگان	۴/۵۲	***	۰/۰۲۹	۰/۰۱۵	۰/۰۳۹	۰/۰۲۰
کبوترآباد	۴/۶۱	***	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۱	۰/۰۰۹
کاشان	۴/۴۵	***	۰/۰۱۴	۰/۰۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۹
خورویبانک	۵/۷۹	***	۰/۰۱۶	۰/۰۱۱	۰/۰۲۱	۰/۰۱۳
میمه	۵/۶۲	***	۰/۱۵۲	۰/۰۲۱	۰/۲۱۲	۰/۰۳۰
نائین	۵/۲۷	***	۰/۰۳۴	۰/۰۲۱	۰/۰۴۴	۰/۰۲۴
نطنز	۴/۰۵	***	۰/۰۲۶	۰/۰۱۳	۰/۰۳۷	۰/۰۱۹
شهرضا	۴/۵۶	***	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	۰/۰۲۰	۰/۰۰۸

*** روند در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

توزیع سالانه دمای بیشینه شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان در شکل ۱۹ نشان داده شده است. بر مبنای این شکل، افزایش دمای بیشینه استان اصفهان طی سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۶۰ رخ خواهد داد و بیشینه دما در این دوره بین ۲۳/۳ تا ۲۴ درجه سانتیگراد در نوسان خواهد بود. در سال ۲۰۱۲ یک تغییر ناگهانی با حاکمیت افزایش دمای بیشینه مشاهده می‌شود و یک جهش معنی‌دار در سطح ۹۹ درصد با روند مثبت نیز در سال ۲۰۵۶ دیده می‌شود (شکل ۲۰). نقاط جهش پنجاه ساله میانگین دمای بیشینه استان اصفهان به روش رتبه‌ای من‌کندال در شکل ۱۸ و نیز مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند بیشینه دمای استان اصفهان (جدول ۳). نشان می‌دهند که به دلیل مثبت بودن حدود بالا و پایین کران اطمینان، فرض وجود روند افزایشی در دمای بیشینه اثبات می‌شود و در تمام استان، روند افزایشی دمای بیشینه در سطح اطمینان ۹۹ درصد وجود دارد.



شکل (۲۰) نقاط جهش پنجاه ساله میانگین دمای بیشینه استان اصفهان به روش رتبه‌ای من‌کنندال



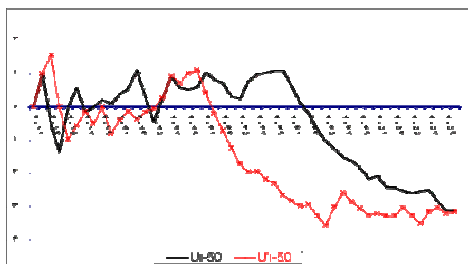
شکل (۱۹) توزیع سالانه دمای بیشینه شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان

جدول (۳) تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند بیشینه دمای استان اصفهان

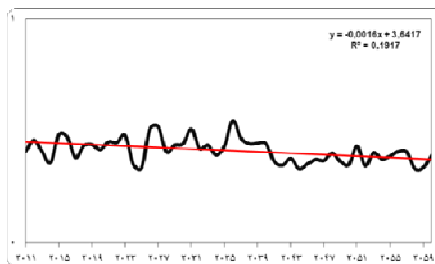
نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معنی داری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵
انار	۵/۰۳	***	۰/۰۳۴	۰/۰۱۹	۰/۰۴۴	۰/۰۲۵	۰/۰۴۲
اردستان	۴/۳۸	***	۰/۰۴۰	۰/۰۱۷	۰/۰۵۴	۰/۰۲۶	۰/۰۵۰
داران	۴/۵۲	***	۰/۰۱۷	۰/۰۰۹	۰/۰۲۵	۰/۰۱۲	۰/۰۲۳
اصفهان	۳/۹۱	***	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۲	۰/۰۱۰	۰/۰۲۰
گلپایگان	۴/۵۸	***	۰/۰۳۶	۰/۰۱۷	۰/۰۴۹	۰/۰۲۳	۰/۰۴۶
کبوترآباد	۴/۴۵	***	۰/۰۱۹	۰/۰۱۰	۰/۰۲۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲۶
کاشان	۵/۲۰	***	۰/۰۱۹	۰/۰۱۴	۰/۰۲۶	۰/۰۱۵	۰/۰۲۴
خوروبابانک	۴/۵۱	***	۰/۰۱۵	۰/۰۰۸	۰/۰۲۴	۰/۰۱۰	۰/۰۲۱
میمه	۴/۶۳	***	۰/۰۹۶	۰/۰۱۹	۰/۱۳۱	۰/۰۲۹	۰/۱۲۲
نائین	۳/۹۳	***	۰/۰۲۷	۰/۰۱۳	۰/۰۳۹	۰/۰۱۷	۰/۰۳۶
نطنز	۳/۹۸	***	۰/۰۳۲	۰/۰۱۵	۰/۰۴۷	۰/۰۲۱	۰/۰۴۳
شهرضا	۴/۱۷	***	۰/۰۱۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۳	۰/۰۰۹	۰/۰۲۱

*** روند در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است.

توزیع سالانه بارش شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان (شکل ۱۹) حاکی از بروز روندی کاهشی در این متغیر در ۵ دهه آتی است. روند نقاط جهش پنجاه ساله میانگین بارش استان اصفهان (شکل ۲۰) نیز یک جهش معنی‌دار در سال ۲۰۳۱ به سمت کاهش دما دیده می‌شود. مدلسازی بارش استان اصفهان حاکی از آن است که بارش در تمام ایستگاه‌های استان به جز اصفهان و میمه در سطح کمتر از ۹۵ درصد دارای روند منفی است. روند بارش در اصفهان و میمه در سطح ۹۵ درصد معنادار و در داران نیز بارش دارای روند کاهشی ضعیف است (جدول ۴).



شکل (۲۲) نقاط جهش پنجاه ساله میانگین بارش استان اصفهان به روش رتبه‌ای من کندال



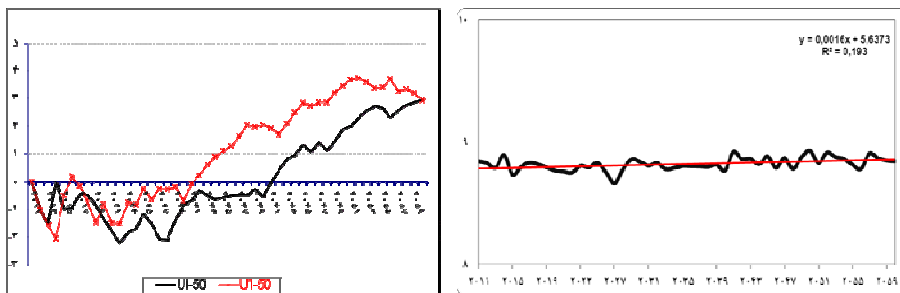
شکل (۲۱) توزیع سالانه بارش شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان

جدول (۴) تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند بارش استان اصفهان

نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معنی‌داری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵
انار	-۰/۵۶		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
اردستان	-۰/۷۴		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲
داران	-۱/۷۱	+	-۰/۰۰۴	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۱
اصفهان	-۲/۱۴	*	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۰	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۰
گلپایگان	-۱/۳۱		-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۲
کبوترآباد	-۰/۰۷		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
کاشان	-۰/۲۰		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۷	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
خوروبیانک	-۱/۲۸		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۱
میمه	-۱/۹۷	*	-۰/۰۰۲	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۱	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۰
نائین	۰/۳۳		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۲
نطنز	-۱/۶۴		-۰/۰۰۳	-۰/۰۰۶	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۵	۰/۰۰۱
شهرضا	-۰/۵۷		-۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۲

* روند ضعیف در سطح خطای ۰/۰۵ + روند کاهشی ضعیف

توزیع سالانه تابش شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان مبین آن است که طی ۵ دهه آینده، روند افزایشی ضعیفی در تابش سالانه به وجود خواهد آمد (شکل ۲۳). نقاط جهش پنجاه ساله میانگین تابش استان اصفهان به روش رتبه‌ای من کندال (شکل ۲۴) مؤید این مطلب است که با توجه به قطع دو خط در داخل محدوده بحرانی بین سال‌های ۲۰۳۰ تا ۲۰۳۱، این سال‌ها به عنوان سال‌های آغازین تغییر ناگهانی تابش در استان اصفهان خواهند بود. نتایج همچنین نشان می‌دهند که تابش در تمام ایستگاه‌ها افزایش و این افزایش در ایستگاه‌های داران، گلپایگان و میمه بیشتر از بقیه ایستگاه‌های استان خواهد بود (جدول ۵).



شکل (۲۳) توزیع سالانه تابش شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان

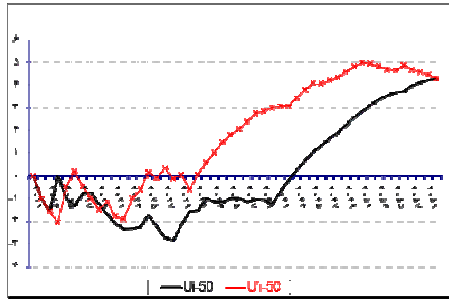
شکل (۲۴) نقاط جهش پنجاه ساله میانگین تابش استان اصفهان به روش رتبه‌ای من کندال

جدول (۵) تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند تابش استان اصفهان

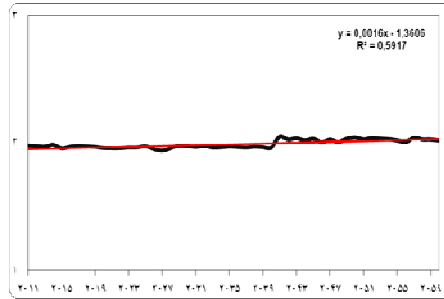
نام ایستگاه	آزمو ن Z	سطح معنی- داری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵
انار	۰/۶۹		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
اردستان	۰/۷۵		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
داران	۳/۵۵	***	۰/۰۰۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱
اصفهان	۰/۸۹		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
گلپایگان	۱/۹۱	+	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۹	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸
کبوترآباد	۰/۳۷		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۴	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۴
کاشان	۱/۰۹		۰/۰۰۳	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۹	۰/۰۰۳
خورویبانک	۰/۸۰		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
میمه	۱/۷۷	+	۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۰	۰/۰۰۷
نائین	۰/۵۰		۰/۰۰۱	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۵	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۴
نطنز	۱/۶۲		۰/۰۰۳	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	-۰/۰۰۱	۰/۰۰۶
شهرضا	۰/۴۳		۰/۰۰۰	-۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	-۰/۰۰۲	۰/۰۰۳

*** روند در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار است. + روند افزایشی ضعیف.

توزیع سالانه تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان (شکل ۲۵) حاکی از این است که میزان تبخیر و تعرق آینده در این استان از یک افزایش بطئی در دوره مطالعاتی برخوردار خواهد بود. در سال ۲۰۱۷ یک تغییر جهت معنی‌دار به سمت افزایش تبخیر و تعرق دیده می‌شود (شکل ۲۶). همچنین تبخیر و تعرق در ایستگاه‌های انار، اردستان، داران، گلپایگان، میمه، نائین و نطنز در سطح ۹۹ درصد و در ایستگاه‌های اصفهان، کاشان، خور و بیابانک و کبوترآباد در سطح ۹۵ درصد دارای روندی افزایشی را تجربه خواهد نمود (جدول ۶).



شکل (۲۶) نقاط جهش پنجاه ساله میانگین تبخیر و تعرق استان اصفهان به روش رتبه‌ای من‌کندال



شکل (۲۵) توزیع سالانه تبخیر و تعرق شبیه‌سازی شده طی پنجاه سال آینده در استان اصفهان

جدول (۶) تعیین مقادیر Z و کران‌های بالا و پایین شیب روند تبخیر و تعرق استان اصفهان

نام ایستگاه	آزمون Z	سطح معنی داری	شیب روند	کران اطمینان پایین در سطح ۹۹	کران اطمینان بالا در سطح ۹۹	کران اطمینان پایین در سطح ۹۵	کران اطمینان بالا در سطح ۹۵
انار	۳/۳۶	***	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
اردستان	۴/۳۹	***	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
داران	۴/۰۲	***	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
اصفهان	۲/۲۷	*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
گلپایگان	۴/۱۵	***	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳
کبوترآباد	۲/۱۳	*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
کاشان	۱/۵۰۲	*	۱۰/۰۰	۰/۰۰۲	۳۰/۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱
خورویبابانک	۱/۹۲	*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱
میمه	۴/۵۰	***	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸
نائین	۳/۶۱	***	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
نطنز	۳/۸۸	***	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
شهرضا	۲/۱۱	*	۰/۰۰۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۱

*** معنی داری روند در سطح ۰/۰۱ * روند ضعیف در سطح ۰/۰۵

خلاصه و نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تغییرات اقلیمی آینده استان اصفهان در پنج دهه آینده با استفاده از مدل‌های HADCM3 و BCM2 در محیط ریزگردان LARS-WG مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج این پژوهش نشان داد که کمترین اختلاف مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهده شده در ایستگاه‌های شهرضا، کاشان، اصفهان، داران، میمه، کبوترآباد و خور و بیابانک، متعلق به مدل اقلیمی BCM2-B1، در ایستگاه اردستان متعلق به مدل HADCM3-A1B و در گلپایگان، نطنز و انار مربوط به مدل BCM2-A1B است. نتایج به دست آمده همچنین نشان داد که مدل BCM2-A1B در تولید داده‌های تابش، مدل HADCM3-A1B در تولید داده‌های دمای بیشینه و مدل BCM2-B1 در تولید داده‌های دمای کمینه و بارش نتایج مناسب‌تری به دست می‌دهد. طبق شبیه‌سازی‌های مدل لارس طی پنجاه سال آینده ایستگاه‌های داران و گلپایگان دارای میانگین دمای کمتری خواهند بود. همچنین داران دارای کمترین میزان

تبخیر و تعرق و کمترین میزان دما و خور و بیابانک دارای بیشترین میانگین دما خواهد بود. بالطبع انارک و خور و بیابانک کمترین میزان بارش و داران و گلپایگان بیشترین میزان بارش را از آن خود خواهند نمود. بررسی روند داده‌ها نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های استان اصفهان در پنج دهه آینده، دمای کمینه، بیشینه، تابش و تبخیر و تعرق روند افزایشی خواهد داشت. همچنین نتایج حاکی از آن است که به جز ایستگاه نائین، سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه روندی کاهشی را در عنصر بارش در سال‌های آتی تجربه خواهد نمود. توانایی مدل LARS-WG در ارزیابی تغییرات اقلیمی آینده، توسط اغلب پژوهشگران تأیید شده است. نتایج به دست آمده در این پژوهش از باب کارا بودن مدل‌های مورد استفاده و نیز ارزیابی تغییرات مؤلفه‌های بارش و دما در این استان با نتایج پژوهشگرانی نظیر طاووسی و همکاران (۱۳۹۱)، آبایی و همکاران (۱۳۹۰)، باباییان و همکاران (۱۳۸۵)، سمنوف و همکاران (۱۹۹۸) و نیز با نتایج به دست آمده توسط بسیاری از پژوهشگران دیگر همسویی و همخوانی نسبی دارد. افزایش دما و کاهش بارش در اغلب ایستگاه‌های استان اصفهان نیز با روند کلی تغییر اقلیم ایران همسوست و لازم است تدابیر و تمهیدات لازم و اخذ استراتژی‌های ضروری به منظور مدیریت بحران‌های محیطی به ویژه بحران آب در این استان اندیشیده شود.

منابع

- ۱- بابایی، بهنام؛ میرزائی، فرهاد؛ سهرابی، تیمور (۱۳۹۰)، ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG در ۱۲ ایستگاه هواشناسی ساحلی ایران، مجله پژوهش آب ایران، شماره ۵، صص ۲۱۷-۲۲۲.
- ۲- بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا (۱۳۸۵)، معرفی و ارزیابی مدل LARS-WG برای مدل‌سازی پارامترهای هواشناسی استان خراسان در دوره ۲۰۰۳-۱۹۶۱، مجله نیوار، شماره ۶۳، صص ۳۰-۲۴.
- ۳- بابائیان، ایمان؛ نجفی نیک، زهرا؛ زابل عباسی، فاطمه؛ حبیبی نوخندان، مجید؛ ادب، حامد و شراره ملبوسی (۱۳۸۷)، ارزیابی تغییر اقلیم شمال شرق ایران در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۶، صص ۱۵۲-۱۳۵.
- ۴- خزانه‌داری، لیلی؛ کوهی، منصوره؛ قندهاری، شهزاد و مهدی آسیائی (۱۳۸۷)، تغییر اقلیم علل، اثرات و راه‌حل‌ها، هاردی، جان تی، برگردان؛ انتشارات پاپلی.
- ۵- سبحانی، بهروز؛ فاطمی‌نیا، فخری سادات (۱۳۹۳)، مدل‌سازی فراسنج‌های اقلیمی استان خراسان جنوبی، مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۳، صص ۳۳۲-۳۱۱.
- ۶- سبزی پرور، علی اکبر؛ شادمانی، مجتبی (۱۳۹۰)، تحلیل روند تبخیر و تعرق مرجع با استفاده از آزمون من-کندال و اسپیرمن در مناطق خشک ایران، نشریه آب و خاک، شماره ۴، صص ۸۳۴-۸۲۳.
- ۷- طاووسی، تقی؛ خسروی، محمود، زهرایی، اکبر (۱۳۹۱)، پیش‌بینی تغییرات یخبندان شهر زابل بر پایه شبیه‌سازی مدل گردش عمومی جو، مجله مخاطرات محیطی، سال اول، شماره ۲.
- ۸- عزیزی، قاسم؛ روشنی، محمود (۱۳۸۷)، مطالعه تغییر اقلیم در سواحل جنوبی دریای خزر به روش من‌کندال، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۲۸-۱۳.
- ۹- عساکره، حسین (۱۳۸۶)، تغییر اقلیم، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول، زنجان.
- ۱۰- فیروزی، فاطمه؛ نگارش، حسین؛ خسروی، محمود (۱۳۹۱)، مدل‌سازی، پیش‌بینی و بررسی روند بارش در ایستگاه‌های منتخب استان فارس، فصلنامه علمی-پژوهشی برنامه‌ریزی منطقه‌ای، شماره ۷، صص ۹۱-۷۷.
- ۱۱- فیضی، وحید؛ فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۸۹)، مطالعه تغییر اقلیم در استان سیستان و بلوچستان به روش من-کندال، چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام، صص ۱۲-۱.
- ۱۲- کمال، علیرضا؛ مساح بوانی، علیرضا و محمدسعید نجفی (۱۳۸۸)، عدم قطعیت مدل‌های AOGCM و هیدرولوژیکی در تخمین رواناب تحت تاثیر تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه قره‌سو)، کنفرانس بین‌المللی منابع آب شاهرود.
- ۱۳- کمالی، غلامعلی (۱۳۸۱)، سرماهای زبان بخش به بخش کشاورزی ایران در قالب معیارهای احتمالی، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۶۳، صص ۱۹-۴.
- 14- Babaeian, I., Kwon, W. T., Im, E. S., 2004, *Application of Weather Generator Technique for Climate Change Assessment over Korea*. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research lab.
- 15- Cowden, J.R., Watkins Jr, D.W., Mihelcic, J.R., 2008, *Stochastic Rainfall Modeling in West Africa: Parsimonious Approaches for Domestic Rainwater Harvesting Assessment*, *Journal of hydrology*, 361, 64-77.

- 16- Harmsen, E., Miller, N.L., Schlegel, N.J., and Gonzalez, J.E., 2009, *Seasonal climate change impacts on evapotranspiration, precipitation deficit and crop yield in Puerto Rico*. *Journal of Agricultural Water Management*. 96:1085– 1095.
- 17- Liang, L., Lijuan, L., and Qiang, L., (2010), *Temporal variation of reference evapotranspiration during 1961-2005 in the Taoer river basin of Northeast China*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 298-306.
- 18- Luo, Qanyan, M.A., Williams, J., Belloti, W., Bryan, B., (2003), *Quantative and Visual Assessments of Climate Change Impacts on South Australian Wheat Production*. *Agriculture Systems*, 77: 3. 173-186.
- 19- Minville.M, Brissette.F, Leconte.R. (2008), *Uncertainty of the impact of climate change on the hydrology of a Nordic watershed*. *Journal of Hydrology* (2008) 358, 70– 83.
- 20- Massah Bavani, A.R., and Morid, S., (2006), *Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh rud Basin*. *Journal of Science and Technology*. *Agriculture and Nature Resource*. 9: 4. 28-34.
- 21- Mavromatis, Th., Hansen, J.W., (2001), *Inter Annual Variability Characteristics and Simulated Crop Response of four Stochastic Weather Generators*. *Agricultural and Forest Meteorology*, 109: 283-296.
- 22- Peterson, T. C., Zhang, X. B., India, M. B., Aguirre, J. L. V., (2008), *Changes in North American Extremes Derived from Daily Weather Data*. *Journal of Geophysical Research*. 41, 123-135.
- 23- Richter, G.M., and Semenov, M.A., (2004), *Modelling Impacts of Climate Change on Wheat Yields in England and Wales*. *Assessing Drought Risks, Agriculture Systems*, 84: 1. 77-97.
- 24- Sajjad Khan, M., Coulibaly, P., Dibike, Y., (2006), *Uncertainty Analysis of Stochastically Downscaling Methods*. *Journal of Hydrology*. 319: 1-4. 357-382.
- 25- Semenov, M.A., Brooks, R.J., Barrow, E.M., C.W. Richardson., (1998), *Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates*. *Journal of Climate Researches* 10(2):95–107.
- 26- Steele- Dunne, S., Lynch, P., McGrath, R., Semmler, T., Wang, Sh., Hanafin, J. and Nolan, P., (2008), *The impacts of climate change on hydrology in Ireland*. *Journal of Hydrology*, 356: 28-45.
- 27- Wang, Q-x., Fan, X-h., Qin, Z-d., Wang, M.-b., (2012), *Change Trends of Temperature and Precipitation in the Loess Plateau Region of China, 1961–2010*. *Global and Planetary Change*, 138–147.
- 28- Williams, A.G., (1991), *Modelling Future Climates: From GCMs to Statistical Downscaling Approaches*. *University of Toronto at Scarborough*, 56.
- 29- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, I., Hasanzadeh, Y., and Kanani, R., (2011). *Impacts of Climate Change on Runoffs in East Azerbaijan, Iran, Global and Planetary Change*. *In Press, Corrected Proof, Available online 30 June 2011*.
- 30- <http://ibabaeian.persiangig.com/document/HadCM3.docx/download?5d96>.