



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۱، دوره ۵، شماره ۱، صص ۳۱۴-۲۹۹

بررسی اثرات منطقه‌ای پدیده تغییر اقلیم در شمال استان خوزستان با بهره‌گیری از مدل *HadCM3* تحت ریز مقایس نمایی *LARS-WG* در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۰

و ۲۰۳۰-۲۰۵۰

سمیه حاجیوند پایداری*^۱، دکتر حجت اله یزدان پناه^۲، دکتر بهرام اندرزیان^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی کشاورزی، دانشگاه اصفهان. دانشکده علوم جغرافیایی و

برنامه‌ریزی. گروه جغرافیایی طبیعی. اصفهان. ایران somayehpaydari@yahoo.com

۲- دکتر حجت اله یزدان پناه دانشیار گروه جغرافیایی طبیعی دانشگاه اصفهان. دانشگاه اصفهان. دانشکده علوم

جغرافیایی و برنامه‌ریزی. گروه جغرافیایی طبیعی. اصفهان. ایران

۳- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان. اهواز. ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۲

چکیده

افزایش ناهنجاری‌های جوی نظیر بارش‌های ناگهانی، وزش طوفان‌های شدید، خشک‌سالی و افزایش دما چند سالی است که در برخی نقاط ایران به چشم می‌خورد. بارش برف در شهرهای جنوبی و مرکزی کشور پس از ۵۰ سال، سرمای شدید و بارش تگرگ در فصل شکوفه دهی درختان، افزایش متوسط دمای برخی شهرها در سال‌های اخیر را نمونه‌هایی از تغییرات محسوس در آب‌وهوای ایران دانست. مدل‌های گردش عمومی جو بر اساس سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای اقلیم آینده کره زمین را پیش بینی می‌کنند. ولی دقت مکانی این مدل‌ها بسیار کم بوده و نتایج آن‌ها به‌منظور بررسی اثرات تغییر اقلیم در علوم مختلف کاربرد ندارد. لذا ریزمقیاس‌گردانی داده‌های *GCM* ضرورت پیدا می‌کند. ولی دقت این مدل‌ها به شرایط جغرافیایی و اقلیمی هر منطقه بستگی دارد. در این پژوهش اثرات احتمالی تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی روزانه بارش، حداقل، و حداکثر دما در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال خوزستان در دوره‌ی آماری (۱۹۸۵-۲۰۱۴) مورد بررسی قرار گرفت. پیش بینی‌ها را با استفاده از سناریوی *A2* و *B1* و مدل *HadCM3* برای دوره زمانی (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۳۰-۲۰۵۰) انجام شد. و برای ریز مقیاس‌گردانی داده‌های *GCM* از نرم‌افزار *LARS-WG* استفاده شد. نتایج نشان می‌دهد که بارش سالانه در منطقه روند نزولی را طی کرده است. و بیشترین افزایش دما، در دمای کمینه بوده است. و این افزایش در فصل زمستان مشهودتر است. و بیشترین افزایش دما در سناریو *A2* برای افق ۲۰۵۰ مشاهده شد.

واژگان کلیدی: شمال خوزستان، تغییر اقلیم، *LARS-WG* مدل *HadCM3* سناریو *A2, B1*



مقدمه

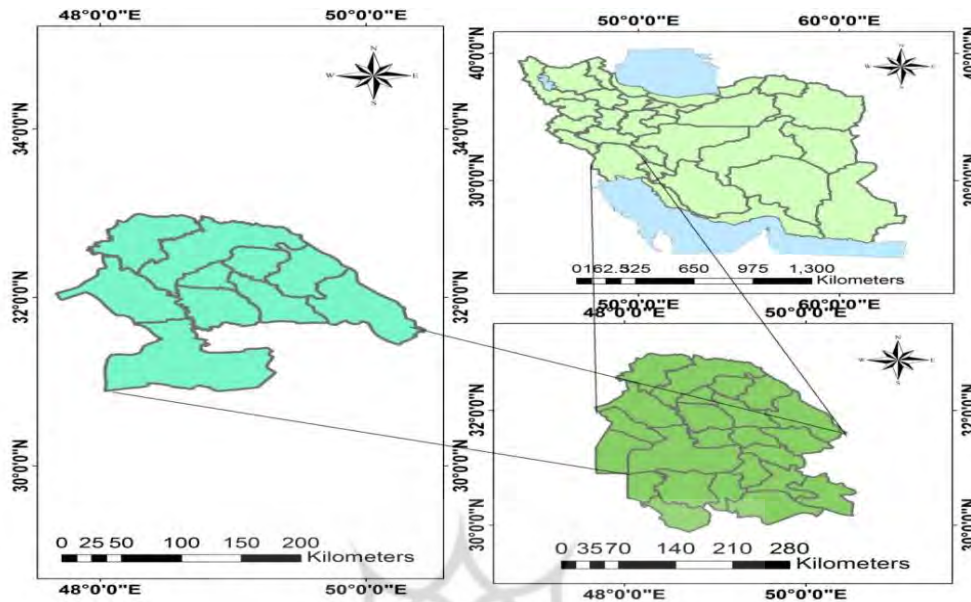
بر طبق آخرین گزارش‌ها انتشار گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های بشری عامل اصلی تغییرات اقلیمی در قرن اخیر بوده است. (IPCC, 2007). طی سال‌های اخیر پس از انقلاب صنعتی روند سرعت تغییر اقلیم به دلیل مداخله بشر در اکوسیستم‌های طبیعی به گونه‌ای بوده است که بررسی تغییر اقلیم بر کلیه فعالیت‌ها در محافل علمی از حساسیت خاصی برخوردار شده است. در کشورهای پیشرفته، تحقیقات متعددی در زمینه بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رشد و عملکرد محصولات زراعی و همچنین تولیدات حیوانات اهلی انجام شده است و به رغم پیشرفت‌های حاصل، روز به روز در حال افزایش است (Rosenzweig, 1992). اقلیم یکی از عوامل بسیار موثر بر ثبات، پایداری عملکرد و سازگاری گیاهان زراعی است با تغییر سریع آن به دلیل اینکه گیاهان نسبت به سایر موجودات زنده امکان فرار از شرایط محیطی نامساعد را ندارند، زیان زیادی را متحمل خواهند شد (سرمدنیا و کوچکی، ۱۳۷۳). بیشتر مناطق کره‌ی زمین با افزایش دما (به خصوص دمای کمینه) تغییرات در رژیم بارشی و افزایش غلظت CO_2 مواجه شده است (Mera et al, 2006). با توجه به اینکه دو سوم ایران جز مناطق خشک و نیمه خشک محسوب می‌شود و به شدت نسبت به تغییر اقلیم آسیب پذیر است بروز تغییرات اقلیمی باعث وقوع خشکسالی‌های پی‌درپی خواهد شد، و بر روی اکوسیستم‌های کشاورزی و عملکرد آن تاثیرگذار خواهد بود. نتایج مطالعات مربوط به تغییر اقلیم که در طی سال‌های اخیر در ایران انجام شده همگی موید بروز این پدیده در کشور بوده‌اند (کوچکی و کمالی ۱۳۸۹).

معتبرترین ابزار جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف، استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی است. بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی GCM توسعه یافته‌اند که می‌توانند پارامترهای اقلیمی را در مقیاس ریز پیش بینی نمایند برون‌داد GCM نمی‌توانند مستقیماً برای پیش بینی و ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و نقطه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنها نیازمند ریزگردانی با لحاظ رفتار اقلیمی مشاهداتی منطقه یا ایستگاه مورد مطالعه هستند. $LARS_WG$ مدلی است که خروجی مدل‌های GCM را ریز مقیاس نمایی می‌کند. و در این پژوهش برای تولید مقادیر بارش روزانه و درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه، متوسط و بارش در ایستگاه‌های سینوپتیک شمال استان خوزستان تحت شرایط اقلیمی و آینده به کار گرفته شده است.

مشخصات منطقه مورد مطالعه:

منطقه مورد مطالعه واقع در نیمه شمالی استان خوزستان است که از نظر موقع ریاضی در نیمه جنوبی منطقه معتدله شمالی واقع گردیده است. این منطقه با مساحتی تقریباً ۴۱۳۰۰ کیلومتر مربع در نیمه شمالی کشور در سلسله جبال زاگرس قرار گرفته است. از نظر عرض جغرافیایی در نیمه جنوبی منطقه معتدله شمالی از ۳۰ درجه شمالی از خط استوا قرار دارد. از نظر طول جغرافیایی در نیم کره شرقی زمین بین طول‌های جغرافیایی ۴۷

درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. در مجموع ۲ درجه و ۵۷ دقیقه طول جغرافیایی و ۲ درجه عرض جغرافیایی را در بر می‌گیرد.



شکل ۱. نقشه منطقه مورد مطالعه

جدول ۱. مشخصات مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک شمال خوزستان

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	دوره آماری
صفی آباد دزفول	۴۸,۲۵	۳۲,۱۶	۸۲,۹	۱۹۸۸-۲۰۱۴
شوشتر	۴۸,۵۰	۳۲,۳	۶۷	۱۹۹۵-۲۰۱۴
مسجدسلیمان	۴۹,۳۱	۳۱,۱۷	۳۲۰	۱۹۸۵-۲۰۱۴
ایذه	۴۹,۵۲	۳۱,۵۷	۷۶۷	۱۹۸۵-۲۰۱۴

داده‌ها و روش تحقیق:

داده‌ها:

در این پژوهش از آمار طولانی مدت ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه استفاده شده است. و برای هر ایستگاه دوره آماری تقریباً ۲۶ ساله ۱۹۸۵-۲۰۱۴ میلادی به عنوان دوره پایه لحاظ گردیده است، سپس به منظور کالیبره کردن و اطمینان از صحت مدل، داده‌های روزانه ایستگاه‌های صفی‌آباد دزفول، ایذه، شوشتر، و مسجدسلیمان که شامل دم (کمینه، بیشینه، متوسط) و بارش در دوره‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۴ به مدل داده شد و بر اساس این داده‌ها از سناریوی $A2, B1$ مدل گردشی عمومی جو ($HadCM3$) که سناریوهای منطقه‌ای می‌باشند برای دو بازه زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۴۶-۲۰۶۵ ایستگاه‌های مذکور به صورت روزانه تدوین و

مدل برای آن اجرا گردید. و سپس داده‌های ساختگی با فرض اینکه هیچ‌گونه تغییر اقلیمی رخ نداده است، برای سال‌های موجود تولید گردید. در گام بعدی با داده‌های مشاهده‌ای مقایسه و از طریق دلالتا اختلاف هر دوره نسبت به دوره‌ی پایه برآورد شد. و برای هر پارامتر اقلیمی نمودار آن رسم شد.

ریز مقیاس نمایی

به منظور بررسی پدیده تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی جو یا (*GCMs (General Circulation Models* شالوده تمامی این مدل‌ها به کمک روابط ریاضی اقدام به فرموله کردن اصول فیزیکی پیچیده حاکم بر جو می‌کنند و دارای خروجی از نوع پارامترهای اقلیمی در مقیاس بسیار بزرگ مکانی و زمانی (عموماً با دقت مکانی ۵۰۰۰ کیلومترمربع) می‌باشند. این نوع خروجی، یکی از نقاط ضعف این مدل‌هاست. چرا که در مطالعات ناحیه‌ای، خصوصاً در زمینه مباحث هیدرولوژیکی و آلودگی هوا، مدل‌ها نیاز به ورودی‌های با مقیاس کوچکتر از خروجی‌های *GCMs* دارند. لذا تولید و استفاده از مدل‌های ریزمقیاس سازی، جهت استفاده از مدل‌های بزرگ مقیاس اقلیمی امری ضروری به نظر می‌رسد. حتی اگر مدل‌های اقلیمی در آینده دارای دقت مناسب‌تری شوند، باز هم جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم نیاز به ریزمقیاس سازی خروجی‌های اقلیمی در مقیاس ایستگاهی و نقطه‌ای وجود خواهد داشت (*HSMO 1996*).

ریزمقیاس سازی به معنای ایجاد ارتباط بین پیش‌بینی کننده‌های جوی بزرگ مقیاس (*Predictors*) و متغیرهای پیش‌بینی شونده (عموماً دما و بارش) در مقیاس ناحیه‌ای (*Predictands*) می‌باشد. به طور کلی دو روش ریز مقیاس سازی وجود دارد: ۱- روش ریز مقیاس سازی آماری ۲- روش ریز مقیاس سازی دینامیکی (*Wilby & Dawson & Barrow 2002*)

در این بین، چهار روش جزئی‌تر دینامیکی، طبقه‌بندی داده‌های آب‌وهوایی، تولید داده‌های آب‌وهوایی غیرقطعی و رگرسیون وجود دارند که همگی زیر مجموعه‌ی دو دسته کلی آماری و دینامیکی هستند (*Wilby et al, 2004; Xu 1999; Giorgi et al, 1991*)

مزایا و معایب روش‌های آماری و دینامیکی به طور مبسوط در مقالات (*Wilby et al, 2004; Xu 1999*); (*Fowler et al*) عنوان شده است. اما به طور مختصر می‌توان گفت که روش‌های آماری به سبب اقتصادی بودن، سادگی و سرعت بالا در ریز مقیاس سازی آماری این است که این مدل‌ها برای شبیه‌سازی وقایع حدی بارش چندان مناسب نمی‌باشند. زیرا بارش دارای فرایند پیچیده‌ای بوده و به دلیل تأثیرپذیری آن از عوامل مختلف، شبیه‌سازی آن با دشواری همراه است. اما حتی با این نقیصه نیز، به دلیل محاسن ذکر شده، هیدرولوژیست‌ها تمایل به استفاده از این مدل‌ها در شبیه‌سازی وقایع حدی دارند (*Wilby et al, 2004*). در میان مطالعات صورت گرفته پیرامون تغییر اقلیم، در ایران کمال. همکاران ۱۳۸۲؛ اقدام به مقایسه روش‌های کوچک مقیاس سازی آماری و تناسبی و تأثیر آن بر رواناب حوزه قره سو پرداختند و با بهره‌گیری از مدل گردش عمومی *HadCM3* و مدل ریزمقیاس سازی *SDSM* به این نتیجه رسیدند که روش تناسبی نسبت به روش آماری تغییرات کمتری را در رواناب شبیه سازی شده نشان می‌دهد. و دلیل آن را لحاظ کردن تنها میانگین متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی و نادیده گرفتن نوسانات اقلیمی توسط روش‌های تناسبی می‌دانند. اذعاناً

و عراقی نژاد ۱۳۸۹؛ با استفاده از خروجی یک مدل *GCM* و ابزار ریزمقیاس سازی *SDSM* اثر تغییر اقلیم را بر منابع آبی استان مازندران بررسی نمودند و نتایج حاکی از آن است که در اثر تغییر اقلیم آینده در این منطقه افزایش درجه حرارت و کاهش بارندگی رخ خواهد داد.

از میان مدل‌های آماری ریزمقیاس سازی مورد استفاده در جهان می‌توان به *-CLIGEN, WGEN, LARS-* اشاره نمود. مدل *MAGIC-SCENGEN*، خروجی‌های *GCM* را با درون‌یابی ماهانه سناریوهای تغییر اقلیم به صورت شبکه‌های جهانی با طول و عرض جغرافیایی $0.5^{\circ} * 0.5^{\circ}$ درجه مقیاس می‌کند ((*Hulme & Jiang, 1995*). اما بنابر تحقیق نوخندان و همکاران ۱۳۸۷، این مدل برای کل ایران قابل استفاده نمی‌باشد، چرا که شبکه‌بندی با دقت 0.5° درجه‌ای این مدل نواحی غرب ایران را پوشش نمی‌دهد. نرم‌افزارهایی که بر مبنای مولدهای داده‌های آب‌وهوایی ساخته شده‌اند، نظیر *WGEN 21, LARS-WG 23, CLIGEN 20* به طور وسیعی در پژوهش‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی بکار می‌روند. باید اشاره کرد که این مدل به طور مستقیم از خروجی‌های *GCM* استفاده نمی‌کنند، اما در هیچ پژوهشی از این مسئله به عنوان نقطه ضعف این مدل‌ها یاد نشده است.

برای استفاده از مدل *GCM*، جو به شبکه‌ای از عناصر همانند شکل ۱ تقسیم بندی شده و سپس در هر یک از این معادلات زیر حل می‌شود:

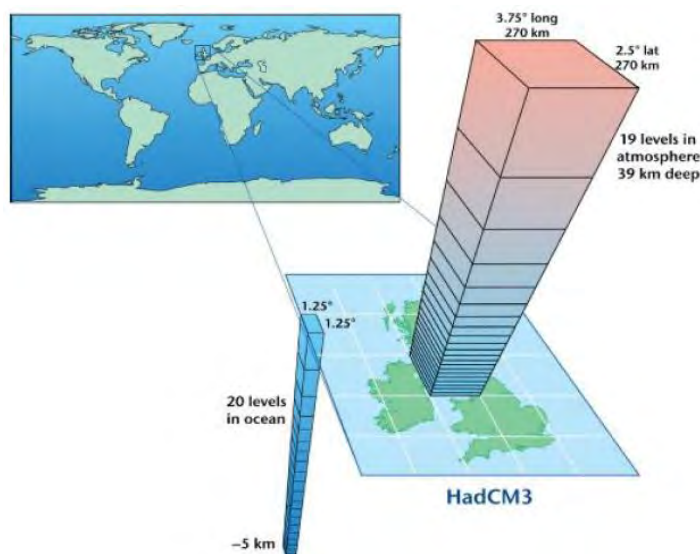
معادله بقای انرژی: مطابق با این معادله، نیرو برابر با افزایش انرژی داخلی به علاوه کار انجام شده است.

معادله بقای گشتاور: مطابق با این معادله، نیرو برابر با حاصلضرب جرم شتاب است.

معادله قانون گاز کامل: طبق این قانون، حاصلضرب فشار در حجم، برابر با ثابت گاز در دمای مطلق است.

مدل *HadCM3*

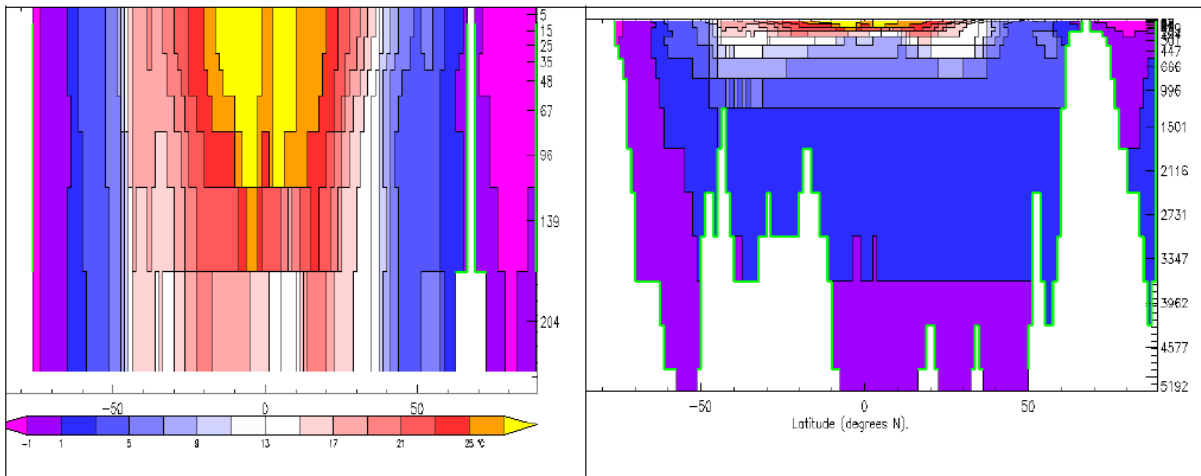
HadCM3 از نوع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی-اقیانوسی (*AOGCM*) است که مخفف *Hadley Coupled Atmosphere-Ocean General Circulation Model* بوده و در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. *HadCM3* (مدل اقیانوسی) که دارای یک مدل یخ-دریا نیز می‌باشد، تشکیل شده است. هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم از داده‌های مدل گردش عمومی *HadCM3* برای تهیه گزارش سوم استفاده کرده است (در گزارش دوم از برون‌داد مدل *HadCM3* استفاده شد). این مدل نیازی به تنظیمات شار سطحی (شار مصنوعی اضافی برای سطح اقیانوس) برای بهبود شبیه سازی ندارد. شبیه سازی بر مبنای تقویم سال ۳۶۰ روز و ماه‌های ۳۰ روزه انجام می‌شود. تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهم‌ترین مزیت این مدل است. از جمله دیگر مزیت این مدل هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن می‌باشد. در شکل ۲ ساختار کلی مدل مشاهده می‌شود. نرم افزار *PRECIS* از داده‌های مدل *HadCM3* برای ریزمقیاس نمایی دینامیکی استفاده می‌کند.



شکل ۳. ساختار افقی و قائم مدل جفت شده جوی-اقیانوسی *HadCM3* (IPCC.2007)

مشخصات مدل جوی *HadCM3* مانند *HadCM2* بوده و دارای قدرت تفکیک افقی ۲٫۵ در ۳٫۷۵ درجه عرض و طول جغرافیایی می‌باشد که معادل ۹۶ در ۷۳ نقطه شبکه‌ای در کل کره زمین می‌باشد. در سیستم طیفی، قدرت تفکیک آن *T42* می‌باشد که معادل شبکه‌هایی با ابعاد ۴۱۷ کیلومتر در ۲۷۸ کیلومتر (در استوا) در سطح افقی می‌باشد. در عرض ۴۵ درجه ابعاد شبکه یادشده به ۲۹۵ کیلومتر در ۲۷۸ کیلومتر تقلیل می‌یابد. تعداد لایه‌های این مدل در راستای قائم جو ۱۹ و در عمق خاک ۴ لایه است. گام زمانی مدل ۳۰ دقیقه می‌باشد. این مدل طراحواره تابشی جدیدی برای مدل سازی اثرات گازهای نادر دارد (ادوارد و همکاران، ۱۹۹۶). طراحواره سطحی جدید برای خشکی، فرآیندهای انجماد و ذوب رطوبت خاک را در نظر می‌گیرد. میزان تبخیر بستگی به دما، فشاربخار و غلظت دی اکسیدکربن دارد (کاکس و همکاران، ۱۹۹۹). تغییرات فوق موجب شده است تا شبیه سازی واقعی از شار گرمای سطحی در مدل *HadCM3* صورت می‌گیرد.

مشخصات مدل اقیانوسی: مدل اقیانوسی *HadOM3* دارای ۲۰ لایه با قدرت تفکیک افقی ۱٫۲۵ در ۱٫۲۵ درجه می‌باشد. بنابراین برای هر نقطه شبکه‌ای در مدل جوی، شش نقطه در مدل اقیانوسی وجود دارد. گام زمانی مؤلفه اقیانوسی یک ساعت می‌باشد. به عبارت دیگر انتگرال در این بخش هر یک ساعت یک بار انجام می‌شود. در شکل زیر نمایه قائم دمای اقیانوس آرام در طول جغرافیایی ۱۸۰ درجه در مدل *HadOM3* دیده می‌شود.



شکل ۴. میانگین دمای سالانه اقیانوس آرام در طول جغرافیایی ۱۸۰ درجه. سمت چپ: تا عمق ۲۵۰ متری و سمت راست: کل عمق اقیانوس (IPCC, 2007)

جفت شدگی مدل: در ابتدا مدل جوی برای یک روز اجرا می‌شود و شارهای گرما، رطوبت تکانه در حد فاصل جو-اقیانوس انباشته می‌شوند. سپس مدل اقیانوسی برای یک روز با شار معکوس انباشته اجرا می‌شود. این فرایند در طی دوره مدل سازی تکرار می‌شود. بر خلاف *HadCM2* در این مدل نیازی به تصحیح شار وجود ندارد. بی نیاز بودن این مدل به تصحیحات شار در گزارش دوم IPCC به عنوان یکی از مزایای آن تاکید شده است. مؤلفه اقیانوسی دارای یک مدل ترمودینامیکی-دینامیکی یخ دریا می‌باشد.

B1: دنیای همگرا با تغییر سریع در ساختارهای اقتصادی، غیر مادی سازی و شروع تکنولوژی‌های پاک می‌باشد و تاکید بر روی راه‌حل‌های جهانی برای پایداری محیط و جامعه دارد که شامل کوشش‌های مستقر برای توسعه سریع تکنولوژی غیر مادی سازی اقتصاد و ارتقا برابری است.

A2: یک دنیای تفکیک شده است. موضوعات آن تقویت بخشیدن به هویت‌های فرهنگی منطقه‌ای است که با تاکید بر ارزش‌های خانواده و مبادلات محلی، رشد بالای جمعیت و توجه کلی به توسعه سریع اقتصادی است.

مدل *Station Weather Long Ashton Research Generator (LARS-WG)*

مدل *LARS-WG* یک مدل رگرسیونی چند متغیره برای تولید داده‌های آب‌وهوایی به وسیله تکنیک‌های ریزمقیاس سازی آماری است ((*Wilby & Wigley, 2000; Wilks 1992*) که به مراتب از دیگر برنامه‌ها به دلیل تکرار محاسبات، نیاز کمتر به داده‌های ورودی و سادگی و کارایی، دارای کاربرد بیشتری است ((*Semonov et al, 1998; Kilsby et al, 2007; Dibike et al, 2005*) اولین نسخه این مدل در سال ۱۹۹۰ و در شهر بوداپست مجارستان به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس سازی آماری ارائه شد. در حال حاضر این مدل به دو منظور تولید داده‌های روزانه آینده به صورت مصنوعی و داده‌سازی در بازه‌های زمانی یا در ایستگاه‌های فاقد آمار به کار می‌رود. جهت تولید داده‌های مصنوعی، مدل از داده‌های روزانه درازمدت (حداقل ۳۰ ساله) مربوط به یک ایستگاه (دما، بارش، تابش خورشیدی یا ساعات آفتابی) به صورت ورودی استفاده

می‌کند. با استفاده از داده‌های ورودی اقدام به بازتولید شده و ورودی را با یکدیگر مقایسه می‌نماید. در صورت تطابق این دو دسته داده، مدل قادر به تولید سری‌های زمانی مربوط به آینده می‌باشد. در عملکرد دوم، یعنی تولید داده برای ایستگاه فاقد اطلاعات، مدل از داده‌های نزدیک‌ترین ایستگاه به ایستگاه مجهول استفاده کرده، این داده‌ها و خصوصیت آماری آنها را بررسی نموده و با توجه به یکسان بودن خصوصیات اقلیمی این دو ایستگاه به سبب نزدیکی به یکدیگر، از داده‌های ایستگاه معلوم و خصوصیات آماری آنها جهت تولید داده در ایستگاه مجهول استفاده می‌کند.

متغیرهای ورودی *Input* خروجی *Output* و فرایند شبیه‌سازی *Simulation* مدل *LARS-WG*

مدل *LARS-WG* به عنوان یک مدل ریزمقیاس سازی، در عین پیچیدگی کمتر فرآیند شبیه سازی و داده‌های ورودی و خروجی، توانایی بالایی در پیش‌بینی تغییر اقلیم دارد. (Semonov et al, 2010). ورودی مدل داده‌های دمای حداقل روزانه، دمای حداکثر روزانه، بارش میانگین روزانه و ساعات آفتابی روزانه می‌باشد. این داده‌ها که از ایستگاه سینوپتیک سازمان هواشناسی کشور بدست می‌آیند، باید دارای دوره زمانی حداقل ۳۰ ساله باشند.

فرایند پیش‌بینی داده‌ها در زمان آینده توسط مدل *LARS-WG* طی چهار مرحله انجام می‌شود:

- ۱- آنالیز داده‌های پایه: تجزیه و تحلیل ویژگی‌های آماری مشاهداتی ب منظور تعیین ویژگی‌های آماری داده‌ها.
 - ۲- تولید اولیه داده: تولید داده به صورت مصنوعی توسط مدل در دوره پایه (دوره شامل داده‌های مشاهداتی) و تعیین خصوصیات آماری داده‌های مصنوعی تولید شده
 - ۳- مقایسه آماری: تطبیق و مقایسه ویژگی‌های آماری داده‌های مشاهداتی و داده‌های مصنوعی تولید شده.
 - ۴- تولید داده‌های روزانه در آینده: استفاده از ویژگی‌های آماری داده‌های پایه و سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و خروجی مدل‌های گردش عمومی در تولید سری‌های زمانی روزانه منتقل شده به آینده با همان خصوصیت آماری داده‌های پایه
- تولید سناریوهای تغییر اقلیم در دوره‌های آتی

روش‌های مختلفی برای تولید سناریوهای تغییر اقلیم وجود دارد که جزء معتبرترین آنها استفاده از خروجی مدل‌های *GCM* است. در این پژوهش برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۰ و ۲۰۵۶-۲۰۴۶ از میان مدل‌های معرفی شده در چهارمین ارزیابی *IPCC* در سال ۲۰۰۹، مدل گردش عمومی *HADCM3* تحت دو سناریوی خوشبینانه *B1* و بدبینانه *A2* انتخاب شد.

برای محاسبه سناریوی تغییر اقلیم در هر مدل مقادیر "اختلاف" برای دما رابطه ۵-۴ و "نسبت" برای بارندگی ۶-۴ برای متوسط دراز مدت هر ماه در دوره‌های ۲۰۳۰-۲۰۱۰ و ۲۰۵۶-۲۰۴۶ دوره شبیه سازی شده پایه توسط همان مدل (۱۹۸۵-۲۰۱۱) برای هر سلول از شبکه محاسبه شد.

$$\Delta T_i = (\bar{T}_{GCM,fut,i} - \bar{T}_{GCM,base,i}) \quad 1-1$$

$$= \left(\frac{\bar{P}_{GCM,fut}}{\bar{P}_{GCM,base}} \right) \quad 1-2$$

$$\Delta P_i$$

در روابط فوق ΔT_i و ΔP_i به ترتیب بیانگر سناریوی تغییر اقلیم مربوط به دما و بارندگی برای میانگین دراز مدت ۲۶ ساله برای هر ماه ($1 \leq i \leq 12$)، $\bar{T}_{GCM,fut,i}$ و $\bar{P}_{GCM,fut}$ میانگین دما و بارش شبیه سازی شده توسط GCM در دوره مشابه با دوره‌های فوق (۱۹۸۵-۲۰۱۱) برای هر ماه می‌باشد.

بررسی دقت مدل $HADCM3$ برای پارامترهای مختلف

امروزه پیش بینی بلندمدت متغیرهای اقلیمی برای اطلاع از میزان تغییرات و در نتیجه در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای تعدیل اثرات سوء ناشی از تغییر اقلیم مورد توجه اقلیم شناسان و پژوهشگران قرار گرفته است. بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند که می‌توانند پارامترهای اقلیمی را در ریزمقیاس‌نمایی پیش‌بینی کنند (خلیلی اقدم و همکاران، ۱۳۹۱).

نتایج و بحث:

مقادیر داده‌های سال پایه با داده‌های آینده تحت سناریوهای $A2, BI$ در افق ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

پس از آن که داده‌های GCM از سایت کانادا دریافت شد. با استفاده از مدل $LARS-WG$ ریزمقیاس‌نمایی شد. و

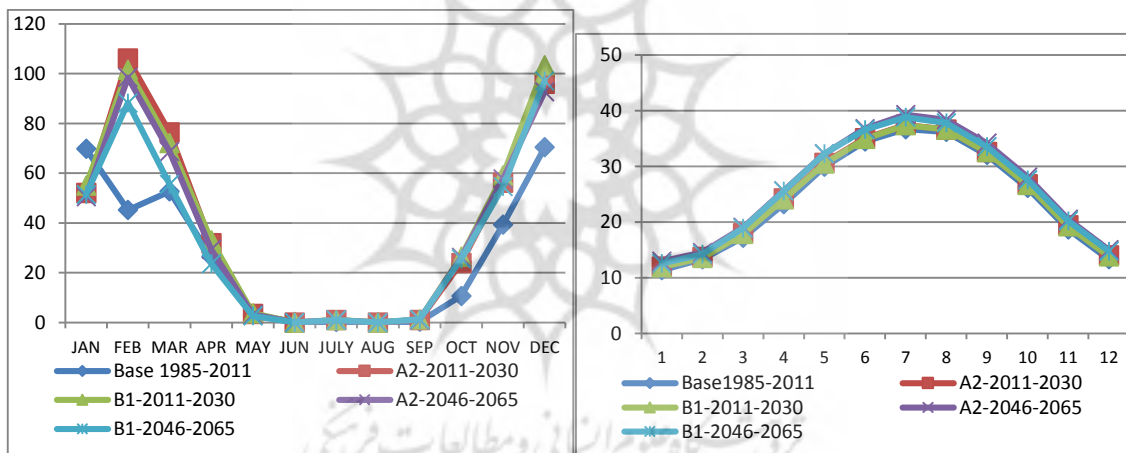
سپس با استفاده از فرمول ΔT و ΔP مقایر اختلافات نسبت به سال پایه برآورد شد.

تغییرات عناصر اقلیمی ایستگاه صفی‌آباد دزفول

در ایستگاه صفی‌آباد، بیشترین اختلاف دیده شده در حداقل دما بود که در سناریوی $A2$ در افق ۲۰۵۰ بود. که حدود دو درجه افزایش دما را نسبت به سال پایه داشتیم. و نکته قابل توجه افزایش بارندگی در هر دو افق تحت هر دو سناریو $A2, BI$ افزایش ۱,۸ را نسبت به سال پایه خواهیم داشت. و کمترین اختلاف مربوط به اختلاف دما در افق ۲۰۲۰ تحت سناریوی BI حدود ۰,۵ افزایش دما را شاهد هستیم. در هر دو افق دو سناریوی $A2, BI$ در سال‌های آتی در ماه ژانویه افت بارش را داریم. ولی در ماه فوریه و مارس افزایش بارندگی را مدل پیش‌بینی کرده است.

جدول ۳. مقادیر ΔT و ΔP داده‌های گذشته و آینده ایستگاه صفی‌آباد

سناریو	۱۹۸۵-۲۰۱۱	۲۰۱۱-۲۰۳۰	ΔT	۲۰۴۶-۲۰۶۵	ΔT	پارامتر
A2	۲۴,۴	۲۵,۱	۰,۷	۲۶,۴	۲,۰	میانگین دما
B1	۲۴,۴	۲۴,۹	۰,۶	۲۶,۱	۱,۷	
A2	۱۶,۳۸	۱۷,۱۱	۰,۷۳	۱۸,۴۵	۲,۰۸	حداقل دما
B1	۱۶,۳۸	۱۶,۹۹	۰,۶۱	۱۸,۱۴	۱,۷۶	
A2	۳۲,۴۰	۳۳,۰۱	۰,۶۱	۳۴,۳۶	۱,۹۶	حداکثر دما
B1	۳۲,۴۰	۳۲,۸۹	۰,۵۰	۳۴,۰۴	۱,۶۴	
			ΔP		ΔP	
A2	۳۱۸,۷	۴۴۷,۸	۰,۷۱	۴۲۹,۰	۰,۷۴	بارش
B1	۳۱۸,۷	۴۵۷,۰	۰,۶۹	۴۳۶,۱	۰,۷۳	



نگاره ۵. تغییرات میانگین دمای ماهانه سال پایه و آتی دزفول ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰. نگاره ۶. تغییرات مقادیر ماهانه بارندگی

سال پایه و آتی دزفول ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

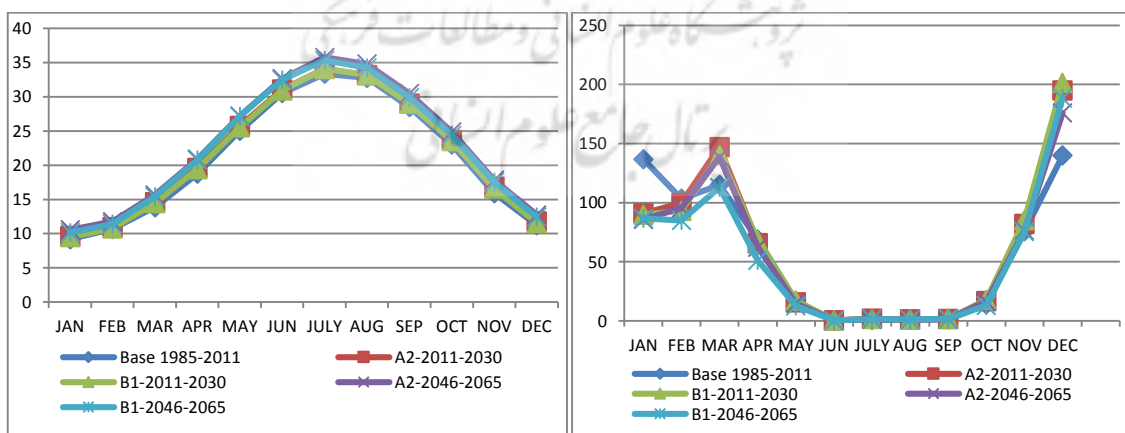
تغییرات عناصر اقلیمی ایستگاه ایذه

در ایستگاه ایذه نسبت به سال پایه ۱۹۸۵-۲۰۱۱، افق ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ تحت سناریو A2 و B1 شاهد افزایش دما هستیم. بخصوص در افق ۲۰۵۰ سناریو A2 که بالاترین درجه افزایش را برای دمای حداکثر شاهد هستیم. و کمترین مقدار افزایش دما نیز متعلق به افق ۲۰۲۰ سناریو B1، ۰,۶۶ افزایش در دمای حداقل را داریم. و در

این ایستگاه شاهد افزایش در مقدار بارندگی ها در تمامی افقها و دو سناریو مورد نظر هستیم. این تغییرات نسبت به سال پایه به کمک نمودار رسم و نمایش داده شده است.

جدول ۳. مقادیر ΔT و ΔP داده‌های گذشته و آینده ایستگاه ایزه

سناریو	۱۹۸۵-۲۰۱۱	۲۰۱۱-۲۰۳۰	ΔT	۲۰۴۶-۲۰۵۰	ΔT	پارامتر
A2	۲۱.۰۷	۲۱.۶۸	۰.۶۱	۲۲.۹۳	۱.۸۶	میانگین دما
B1	۲۱.۰۷	۲۱.۵۵	۰.۴۸	۲۲.۶۰	۱.۵۳	
A2	۱۳.۸۱	۱۴.۴۰	۰.۵۹	۱۵.۶۵	۱.۸۴	حداقل دما
B1	۱۳.۸۱	۱۴.۲۷	۰.۴۶	۱۵.۳۱	۱.۵۱	
A2	۲۸.۳۳	۲۸.۹۶	۰.۶۳	۳۰.۲۱	۱.۸۸	حداکثر دما
B1	۲۸.۳۳	۲۸.۸۳	۰.۵۰	۲۹.۸۷	۱.۷۳	
			ΔP		ΔP	
A2	۶۷۳.۷۰	۷۱۸.۴۳	۱.۲۴	۶۷۰.۹۳	۱.۱۴	بارش
B1	۶۷۳.۷۰	۷۱۸.۴۷	۱.۲۴	۶۳۰.۴۸	۱.۰۹	



شکل ۷. تغییرات بارش ماهانه سال پایه و آتی ایزه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰- شکل ۸. تغییرات میانگین دمای ماهانه سال پایه و

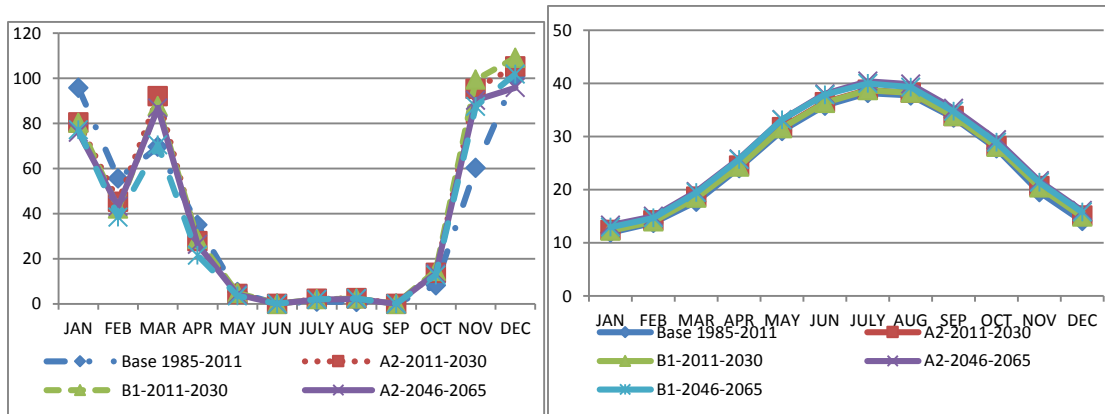
آتی ایزه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

تغییرات عناصر اقلیمی مسجد سلیمان

با توجه به جدول ۳. مقادیر دمای حداقل، حداکثر، میانگین و بارش حاکی از افزایش در تمامی عناصر اقلیمی مربوط به مسجد سلیمان هستیم. بیشترین مقدار افزایشی مربوط به حداکثر دما برای افق ۲۰۵۶ تحت سناریوی A2 با ۱,۹۰ درجه نسبت به سال پایه برای حداکثر دما می‌باشد. و در سناریوی B1 در افق ۲۰۲۰ حدود ۰,۵ مربوط به دمای حداقل است. و در ماه‌های ژانویه و فوریه شاهد کاهش بارندگی در افق ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ تحت سناریو A2 و B1 نسبت به سال پایه می‌باشیم. و همچنین در ماه مارس و در ماه‌های اکتبر، نوامبر، و دسامبر شاهد افزایش بارندگی نسبت به سال پایه ۱۹۹۵-۲۰۱۱ می‌باشیم.

جدول ۴. مقادیر ΔT و ΔP داده‌های گذشته و آینده ایستگاه مسجد سلیمان

سناریو	۱۹۸۵-۲۰۱۱	۲۰۱۱-۲۰۳۰	ΔT	۲۰۴۶-۲۰۵۶	ΔT	پارامتر
A2	۲۵,۴۲	۲۶,۰۶	۰,۶۴	۲۷,۳۰	۱,۸۸	میانگین دما
B1	۲۵,۴۲	۲۵,۹۴	۰,۵۲	۲۶,۹۸	۱,۵۶	
A2	۱۹,۲۲	۱۹,۸۵	۰,۶۲	۲۱,۰۸	۱,۸۶	حداقل دما
B1	۱۹,۲۲	۱۹,۷۲	۰,۵۰	۲۰,۷۶	۱,۵۴	
A2	۳۱,۶۱	۳۲,۲۸	۰,۶۶	۳۳,۵۲	۱,۹۰	حداکثر دما
B1	۳۱,۶۱	۳۲,۱۵	۰,۵۴	۳۳,۱۹	۱,۵۸	
			ΔP		ΔP	
A2	۴۳۲,۳۳	۴۶۹,۰۱	۱,۲۲	۴۴۰,۲۹	۱,۱۲	بارش
B1	۴۳۲,۳۳	۴۷۱,۳۲	۱,۲۱	۴۱۷,۵۱	۱,۰۹	



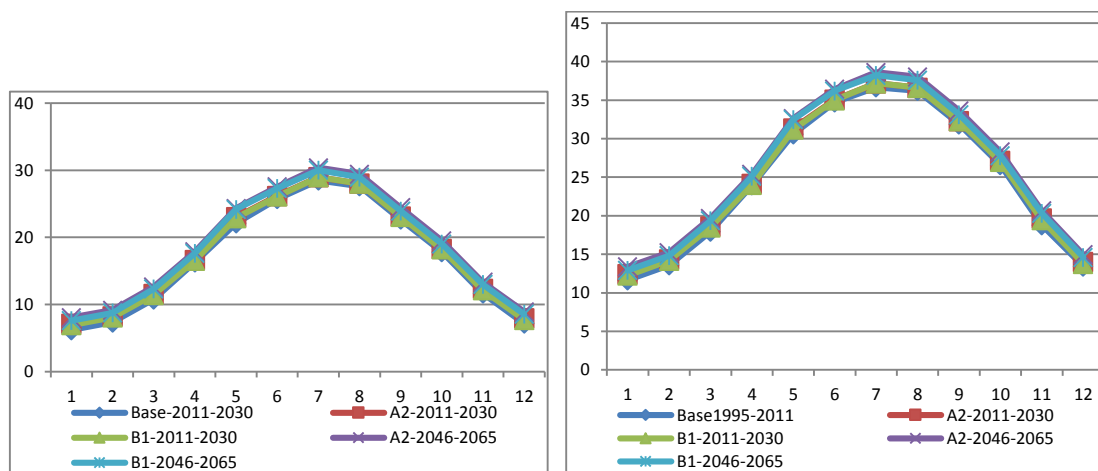
شکل ۹. تغییرات میانگین دمای ماهانه سال پایه و آتی مسجد سلیمان ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰. شکل ۱۰. تغییرات بارش ماهانه سال پایه و آتی مسجد سلیمان ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

تغییرات عناصر اقلیمی شوشتر

در جدول ۵. ایستگاه شوشتر بیشترین افزایش دمای ثبت شده مربوط به افق ۲۰۵۰ تحت سناریو *A2* در دمای حداکثر به ثبت رسید. که نسبت به دمای پایه حدود ۲٫۲ افزایش دما را برای این ایستگاه شاهد بودیم. و کمترین اختلاف مشاهده شده مربوط به افق ۲۰۲۰ در دمای حداقل سناریو *B1* مشاهده شده است. که تقریباً در ۰٫۲ مدل پیش بینی کرده است.

جدول ۵. مقادیر ΔT و ΔP داده‌های گذشته و آینده ایستگاه شوشتر

سناریو	۱۹۸۵-۲۰۱۱	۲۰۱۱-۲۰۳۰	ΔT	۲۰۴۶-۲۰۶۰	ΔT	پارامتر
<i>A2</i>	۲۶.۶۷	۲۷.۹۳	۱.۲۶	۲۷.۱۵	۰.۴۷	میانگین دما
<i>B1</i>	۲۶.۶۷	۲۷.۳۰	۰.۶۳	۲۷.۴۲	۰.۷۵	
<i>A2</i>	۲۰.۳۸	۲۲.۲۱	۱.۸۳	۱۹.۱۱	۱.۸۳	حداقل دما
<i>B1</i>	۲۰.۳۸	۲۱.۰۸	۰.۰۷	۲۱.۱۶	۰.۲۲	
<i>A2</i>	۳۲.۹۷	۳۳.۶۶	۰.۶۳	۳۵.۱۹	۲.۲۲	حداکثر دما
<i>B1</i>	۳۲.۹۷	۳۳.۵۳	۰.۵۶	۳۳.۶۸	۰.۹۷	
			ΔP		ΔP	
<i>A2</i>	۲۹۹.۶۷	۳۲۴.۵۴	۲۴.۸۷	۳۱۶.۲۳	۱۶.۵۶	بارش
<i>B1</i>	۲۹۹.۶۷	۳۲۹.۱۳	۲۹.۴۶	۳۱۹.۱۲	۱۹.۵۴	



شکل ۹. تغییرات میانگین دمای ماهانه سال پایه و آتی شوشتر ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰. شکل ۱۰. تغییرات دمای حداقل ماهانه سال پایه و آتی شوشتر ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰

نتیجه گیری

در این تحقیق، مدل *LARS-WG* بکار گرفته شد و برای ۴ ایستگاه سینوپتیک شمال استان خوزستان در مدل گردش عمومی *HadCM3* استفاده شد. در اکثر ایستگاه ها شاهد هستیم که افزایش خاصی در دماها در فصل تابستان از سال پایه نسبت به سالهای آتی داشتیم. تغییرات فصلی و یا ماهانه اختلافها می تواند ناشی از تغییرات جوی و گرمایش جهانی باشد. به طوری که در ماههای ژانویه و فوریه با توجه به بارش نسبتا زیاد ولی به دلیل فراگیر بودن بارشهای خطای مدل کم و همگون بوده و در ماههای گرم نیز به دلیل بارش اندک و حاکم بودن شرایط پرفشار قابل توجه است. ولی در ماههای مارس تا می، تودههای بارانزا از مناطق مختلف به خصوص تحت تاثیر بادهای غربی، شرایط بارش بسیار پیچیده می شود به همین دلیل در این ماهها میزان خطا نیز در این ماهها میزان خطا نیز بالاتر بوده و میزان خطا نیز در ایستگاههای مختلف به دست آمده است. ولی ممکن است اختلاف بین ایستگاه ناشی از عدم نصب بجای ایستگاهها، اختلاف طول و عرض جغرافیایی ثبت شده با واقعی در روی زمین، و همچنین عوامل مرفو-اقلیمی باشد. ولی با استنباط به خروجی های *GCM* ها و نمودارها و جداول خروجی آنها اینطور مشاهده می شود که حداقل دما و حداکثر دما همگی موید این موضوع هستند که در اکثر دورههای آتی پیش بینی شده توسط مدل، نشان از افزایش در دمای حداقل و حداکثر می باشد. و این افزایش در افقهای ۲۰۵۰ در سناریوی *A2* بیشترین افزایش را دارا می باشد. بیشترین اختلاف مشاهده شده دوره پایه با دورههای آتی در ماههای می، ژوئن، جولای، اگوست، سپتامبر در دمای حداقل دیده

می‌شود. در دمای حداکثر نیز بیشترین اختلاف دوره پایه با آبی در ماه‌های گرم سال مشاهده شده است. که این روند نشان از این دارد که اقلیم منطقه بیشترین پایداری‌ها را در فصل بهار و تابستان دارد.

در هر حال در صورت بروز چنین تغییراتی در دما و بارش، شدت و مدت خشکسالی‌ها افزایش خواهد یافت و افزایش خطرات وقوع سیلابی به علت ذوب برف در استان‌های حوضه آبریز سدز که موقعیت جغرافیایی آن در شمال استان و نزدیکی به ایستگاه‌های دزفول، شوشتر، و اندیمشک است. میتواند همچون بهار امسال که سبب طغیان رودخانه دز و وارد شدن چندین میلیارد به بخش کشاورزی و زیربنای روستاها و شهرهای اطراف رودخانه، شاهد رفتار اقلیمی متفاوتی باشیم. افزایش تبخیر و تعرق گیاهان، پایین رفتن سطح آب‌های زیرزمینی و کاهش منابع آبی در بخش کشاورزی میتواند ناشی از احتمال تغییراتی آب و هوایی در این منطقه باشد.

منابع:

اذعانی، آ؛ عراقی نژاد، ش؛ بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی استان مازندران، اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، آذر ۱۳۸۹.

خلیل اقدم نبی سلطانی، افشین (۱۳۸۸). "بررسی تغییر اقلیم ارومیه در طی ۵۰ سال گذشته"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۶، شماره ۴، صص ۱۵۱-۱۶۱.

سرمدنی، غلام حسین؛ کوچکی، علیرضا (۱۳۷۳). "فیزیولوژی گیاهان زراعی"، انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

کوچکی، علیرضا؛ نصیری محلاتی، مهدی؛ بداغ جمالی؛ مرعشی، سید حسن (۱۳۸۹). "مطالعه اثر تغییر اقلیم بر ویژگی‌های رشد و عملکرد گندم دیم رقم سرداری با استفاده از مدل گردش عمومی".

قربانی سپهر، آرش، امرایی، مهتاب، قالوجه، مریم، دانشور، پروین. (۱۳۹۹). بررسی اثر تغییر اقلیم بر آلودگی

هوای کلانشهرها. *جغرافیا و روابط انسانی* 3(2), 330-351. doi: 10.22034/gahr.2020.253389.1459

سومین *MAGIC-SECNGEN* نوخندان، م مطالعه تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده با استفاده از مدل کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، تبریز، مهر ۱۳۸۷.

Cox, P. Betts R., Bunton C. Essery R. Rowntree P.R. Smith J. 1999. The impact of new land-surface physics on the GCM simulation and climate sensitivity. Climate Dynamics 15: 183-203.

Dibike Y.B, Coulibaly P, Hydroligic impact of climate change in the Saguenay Watershed: Comparison of downscaling methods and hydrologic models., J Hydro, 2005, p. 145-163.

Edwards, J.M. Slingo A. 1996. *Studies with a flexible new radiation code 1: Choosing a configuration for a large-scale model. Q.J.R. Met. Soc. 122: 689-*

719.

Giorgi, F., Means, L.O., *approaches to the simulation of regional climate change., A review of Geophysics, Vo.l 29, 1991. P. 191-216.*

Hulme, M., Jiang, T., **SCENGEN**, *a climate change Scenario Genarator: User Manual, climate Research Unit Univercity of East Anglia Norwich UK , p. 38 1995.*

IPCC (2007a). **"climate change 2007"** :*the physical science Basis .summary for policy makers.contribution of working Eroup.[to the Fourth Assessment Report of the in.terqovernmental.panel on climate change ,Cambridqe university Press.Newyork,usa.*

Rosenzwiq,c. and liverman (1992). **"Predicated effects of climate change agriculture"** :*A comparison of temper and tropical regions global climate change:61-342.*

Kilsby C.G, Jones P.D, Burton A, Ford A.C, Fowler H.J et al *daily weather for use in climate change studies, Environ Model Soft. Vol. 22.2007. p. 1705-1719.*

Mera Rj,Niyogi D,Buol GS,Wlikerson GG and Semazzi FHM (2006). *"Potential individual versus simultaneous climate change effects on soybean(c3)and maize(c4)crops:An agrotechnology model based study". Global and Planetary change 54:163-182.*

Semonov M.A., Stratonovith P., *Use of multi-model ensembles from global models for assesment of climate change impacts, CLIMATE RESEARCH, vol. 4I.2010, p. 1-14.*

Semonov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M and Reserach C.W, *Comparison of the WGEN and LARS_WG stochastic weather generators in divers climates, climate Research, vol.10, 1998, p. 95-107.*

Wilby R.L., Dawson C.W, Barrow E.M., *SDSM- a decision support tool for the assesment of regional climate change ompacts, impacts, environmental Modeling & Software, vol. 17, 2002. Pp. 147-159.*

Wilby R.L., Wigley, T.M.L., *Percipitation Predictors for downscaling: observed and general circulation model relationships, International Journal of Climatology, vol.20, 2000, p 641-661.*

Wilks D.S *Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. Climate change. Vol. 22, 1992 , p. 67-84.*

Xu CY (1999) *from GCMs to river flow: a review of downscaling methods and hydrologic modeling approaches. Prog phys Geoger 23., 1999, p. 229-249.*