

شبیه‌سازی تغییرات آب و هوای استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) برای دوره آب و هوای (۲۰۴۰-۲۰۰۹)

چکیده

هدف اصلی در این پژوهش، بررسی تغییرات و نوسان‌های عناصر آب و هوای در چهار ایستگاه همدید در استان سیستان و بلوچستان در سالهای گذشته و تجزیه و تحلیل آماری و پیش‌بینی و شبیه‌سازی آن برای سالهای آینده (۲۰۴۰-۲۰۰۹) است. در پژوهش داده‌ها با استفاده از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A1 که هم‌اکنون در دانشگاه هامبورگ آلمان و مرکز پژوهش‌های کره جنوبی استفاده می‌شود، برای ریزگردانی بر روی ایستگاه‌های منتخب استان استفاده و نتایج آن تجزیه و تحلیل شد. در مرحله تجزیه و تحلیل پیش از تولید داده و تحلیل آنها صحت سنجی مدل با دو روش آماری و مقایسه‌ای ارزیابی شد. ارزیابی صحت مدل بر ایستگاه‌های مورد مطالعه، حاکی از آن بود که مدل در ایستگاه‌ها به خوبی توانسته فراسنج‌های کمینه دما، بیشینه دما و تابش را شبیه‌سازی کند و تنها در شبیه‌سازی بارش ایستگاه‌ها؛ به‌خصوص ایستگاه زابل نارسایی کمی داشته است. تحلیل داده‌های تولیدشده در دوره آب و هوای آینده و مقایسه آن با دوره گذشته، حاکی از افزایش بارش در ایستگاه‌ها و همچنین، افزایش فراوانی تعداد بارش‌های سنگین در محدوده‌های ایستگاه‌ها بود. در دوره آب و هوای آینده مؤلفه کمینه دما بیش از بیشینه افزایش یافته که منجر به کاهش دامنه شبانه‌روزی دما و کاهش آسایش دمایی در سال‌های آتی برای استان است. افزایش در تعداد روزهای داغ و کاهش در تعداد روزهای یخبندان (به‌خصوص در ایستگاه‌های زابل و زاهدان) در دوره آب و هوای آینده از نتایج دیگر تحلیل داده‌ها در دوره آینده بود. عنصر تابش نیز در ایستگاه زاهدان در تمامی ماه‌ها و در سایر ایستگاه‌ها در اغلب ماه‌ها در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: تغییر آب و هوا، شبیه‌سازی، مدل گردش عمومی جو (GCM)، استان سیستان و بلوچستان.

مقدمه

انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر آب و هوا برای آمادگی هر چه بیشتر جهت مقابله و نیز کاهش هزینه‌های خسارت بار ناشی از این تغییر بسیار ضروری است. رشد صنایع و به موجب آن، مصرف بیش از حد سوخت‌های فسیلی از یک سو، و

افزایش جمعیت جهان، تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی؛ از جمله جنگل و مرتع از سوی دیگر، موجب شده است پس از انقلاب صنعتی به تدریج تغییرات مشهودی در آب و هوا کره زمین به وجود آید (بابائیان، ۱۳۸۶: ۳). معتبرترین ابزار برای بررسی اثرهای پدیده تغییر آب و هوا بر سامانه های مختلف استفاده از متغیرهای آب و هوای شبیه سازی شده توسط مدل های جفت شده هواسپهر- اقیانوس گردش عمومی جو است. این مدل ها بر پایه قوانین فیزیکی که به وسیله روابط ریاضی ارائه می شوند، استوار هستند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می شوند. از ورودی های اصلی این مدل ها میزان انتشار گازهای گلخانه ای در هواسپهر کره زمین است که تحت سناریوهای مختلف انتشار به مدل^۱ CSGs معرفی می گردد. این سناریوها عبارتند از: A2, A1, B1, B2 که توسط هیات بین الدول تغییر آب و هوا (IPCC) توسعه یافته اند و وضعیت آب و هوای دهه های آتی را براساس فرض های مختلف نشان می دهند (بابائیان، و نجفی نیک، ز، ۱۳۸۵: ۱۵). مدل های آب و هوای با در نظر گرفتن مؤلفه های مختلف تاثیرگذار بر آب و هوا و فرمول بندی ریاضی آنها سعی در پیش بینی آب و هوا و تغییرات آن دارند. شناخت سازوکارهای فیزیکی و فرمول بندی صحیح آنها و داشتن داده های مشاهده ای مناسب، از ابزار موفقیت یک مدل آب و هوای محسوب می شود. مدل های آب و هوای را می توان به مدل های آب و هوای جهانی و منطقه ای تقسیم بندی نمود. در مطالعات ارزیابی اثرهای تغییر آب و هوا در سطوح منطقه ای، یکی از مشکلات اصلی در استفاده از مدل های موجود، وسعت محدوده پیش بینی متغیرها در این مدل ها (بررسی محدوده هایی در حدود 5000 Km^2) است. از این رو، باید خروجی این مدل ها قبل از استفاده در مطالعات ارزیابی تاثیر تغییر آب و هوا، باید ریزمقیاس شوند. برای این کار از دو روش دینامیکی یا آماری استفاده می شود. روش های آماری ریزمقیاس کردن در مقایسه با روش های دینامیکی؛ به ویژه در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریعتر عوامل مؤثر بر تغییرات آب و هوایی مورد نیاز باشد، از مزیت بیشتری برخوردارند. در این پژوهش، الگوریتم آماری ریزمقیاس کردن پیش بینی های بلندمدت بارش و دما با استفاده از مدل لارس-دبلیو جی تدوین شده است. در مورد مطالعات انجام گرفته در مورد مدل های گردش عمومی جو می توان به پژوهش های زیر اشاره نمود:

ویلکس و همکاران^۲ (۱۹۹۲ و ۱۹۹۸) روشی را برای کاربرد سناریوهای تغییر آب و هوا با استفاده از مدل WGEN که یک مدل مولد داده های هواشناسی است، ابداع کردند. لان و همکاران^۳ (۱۹۹۹) در تحلیلی پیش بینی کردند که تغییر آب و هوا می تواند باعث افزایش رواناب در مناطق با عرض های جغرافیایی بالایی کره زمین به دلیل افزایش در میزان بارندگی و ذوب برف شود. موریسون و همکاران^۴ (۲۰۰۰) در کانادا اثرهای تغییر آب و هوا بر میزان تخم گذاری ماهی قزل آلا در حوزه رودخانه فراسر در کانادا را با استفاده از مدل CGCM1 و HadCM2 بررسی کردند. باسایوک و همکاران^۵ (۲۰۰۱) مدل های کوچک مقیاس کردن آماری را برای معتبرسازی GSM و تخمین بارش منطقه ای سوئد استفاده نمودند. ویلبی و همکاران^۶ (۲۰۰۲) نخستین نسخه مدل SDSM را به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس کردن به

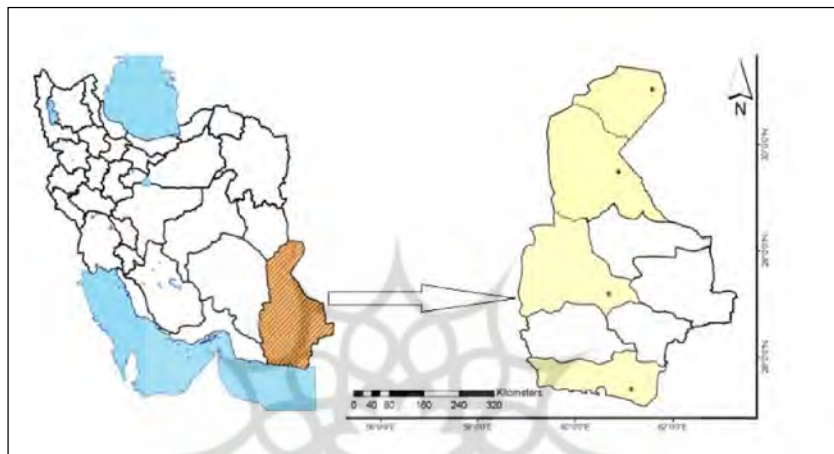
- 1- Climate Scenario Generators
- 2- Wilks et al
- 3- Lane et al
- 4- Morrison et al
- 5- Busuioc et al
- 6- Wilby et al

روش آماری ارائه نمود. هارمل و همکاران^۱ (۲۰۱۰) در مؤسسه تحقیقات کشاورزی آمریکا دمای کمینه و بیشینه ایستگاه‌های هواشناسی آمریکا را با استفاده از روش‌های آماری مدل‌سازی کردند. هارفام و ویلی^۲ (۲۰۰۵) روش‌های مختلف ریزمقیاس کردن را برای پیش‌بینی بارش مناطق مختلف انگلستان استفاده کردند. سمونوف^۳ (۲۰۰۷) روشی برای ایجاد سناریوهای تغییر آب و هوا با دقت بالا برای کاربرد در کشاورزی و هیدرولوژی ارائه نمود. سمونوف (۲۰۰۸) با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا با آب و هواهای متفاوت توانایی مدل تولیدکننده جوی لارس-دبلیو جی را برای شبه‌سازی رویدادهای جوی حدی را بررسی کرد. لازار و ویلیامز^۴ (۲۰۰۸) در پژوهشی، تأثیرات تغییر آب و هوا ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را بر روی کمیت و میزان تراکم برف و همچنین، تغییرات زمانی وقوع بهمن در منطقه کوهستانی آسپن در سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۱۰۰ بررسی کردند. در ایران نیز صمدی نقاب (۱۳۸۵) در پژوهش خود خشکسالی‌های استان خراسان رضوی را با استفاده از روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM پیش‌بینی نموده است. مساح (۱۳۸۵) از روش‌های زمین آماری کریجینگ و وزن‌دهی بر اساس معکوس فاصله برای ریزمقیاس کردن داده‌های بارش و دما در حوزه آبریز زاینده رود استفاده کرده است. آذرانفر و همکاران (۱۳۸۵) به ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی پرداخته و در این پژوهش از روش آماری استفاده کرده‌اند. بابایان و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل لارس-دبلیو جی، خروجی مدل ECHO-G را بر روی ایستگاه‌های همدید استان خراسان ریزمقیاس نمودند. کارآموز (۱۳۸۶) با استفاده از ریزمقیاس نمایی به روش آماری به پیش‌بینی بارش حوضه آبریز اهرچای پرداختند و توانستند وقوع دوره‌های کم آبی و پر آبی را تعیین کنند. حسامی و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از نرم‌افزار SDSM به روش آماری داده‌های درجه حرارت بیشینه ایستگاه کرمان را برای بررسی تغییرات آب و هوای در دهه‌های آینده ریزمقیاس نمودند. نجفی نیک (۱۳۸۷) در پژوهشی برای پیش‌آگهی خشکسالی استان کرمان، با استفاده از شاخص دهک‌ها بارش را برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ مدل‌سازی کرده است. تلان و همکاران (۱۳۸۷) تغییر آب و هوا استان آذربایجان شرقی در دوره سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ میلادی را با استفاده از ریزگردانی آماری مدل ECHO-G بررسی کردند. بابایان و همکاران (۱۳۸۸) تغییر آب و هوا کشور شامل ۴۳ ایستگاه همدید را در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G ارزیابی کردند. بهبودیان و همکاران (۱۳۸۸) مصرف آب شهری نیشابور را با در نظرگیری اثرهای تغییر آب و هوا پیش‌بینی کردند. عباسی و همکاران (۱۳۸۹) در پژوهشی تغییرات آب و هوای خراسان جنوبی را برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی و با استفاده از ریزگردانی آماری خروجی مدل ECHO-G پیش‌بینی کردند. رجبی (۱۳۸۹) در پژوهش خود آب و هوا کرمانشاه را با استفاده از مدل ریزمقیاس سازی لارس-دبلیو جی شبه‌سازی کرده است.

- 1- Harmel et al
- 2- Harpham and Wilby
- 3- Semenov
- 4- Lazar and Williams

معرفی منطقه

در پژوهش حاضر برای ارزیابی تغییر آب و هوا در استان سیستان و بلوچستان از چهار ایستگاه همدید با آمار روزانه بالای چهل سال استفاده شد. پس از اخذ داده‌ها از سازمان هواشناسی به مرتب کردن هر فراسنج بر اساس ماه‌های میلادی برای ورود به مدل اقدام شد. طول دوره آماری فراسنج‌های مورد استفاده برای ایستگاه چابهار از سال ۱۹۶۶-۲۰۰۸، ایستگاه ایرانشهر ۱۹۶۵-۲۰۰۸، زابل ۱۹۶۶-۲۰۰۸ و ایستگاه زاهدان ۱۹۶۱-۲۰۰۸ بود. مختصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در جدول ۱ و موقعیت آنها در شکل ۱ آمده است.



شکل ۱) موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان و کشور

جدول ۱) مختصات جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان

ردیف	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع
۱	زابل	۶۱ ۲۹	۳۱ ۱۳	۴۸۹/۲
۲	زاهدان	۶۰ ۵۳	۲۹ ۲۸	۱۳۷۰
۳	ایرانشهر	۶۰ ۴۲	۲۷ ۱۲	۵۹۱/۱
۴	چابهار	۶۰ ۳۰	۲۵ ۱۴	۸

داده‌ها و روش پژوهش

در پژوهش حاضر برای ارزیابی تغییر آب و هوا در استان سیستان و بلوچستان، ابتدا داده‌های ورودی به مدل جمع‌آوری و تصحیح شد. ورودی مدل شامل چهار فراسنج کمینه دما، بیشینه دما، بارش و ساعات آفتابی به‌عنوان نماینده تابش در ایستگاه‌ها در مقیاس روزانه طی یک دوره بالای چهل سال آماری روزانه است. پس از اخذ داده‌ها از سازمان هواشناسی اقدام به مرتب کردن هر فراسنج بر اساس ماه‌های میلادی برای ورود به مدل شد. طول دوره آماری فراسنج‌های مورد استفاده برای ایستگاه چابهار از سال ۱۹۶۶-۲۰۰۸، ایستگاه ایرانشهر ۱۹۶۵-۲۰۰۸، زابل ۱۹۶۶-۲۰۰۸ و ایستگاه زاهدان ۱۹۶۱-۲۰۰۸ بود.

برای مدل‌سازی فراسنج‌های مورد استفاده در ایستگاه‌های مختلف، ابتدا قسمتی از داده‌ها طی دوره ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۵ که با داده‌های جهانی ECHO-G مشابه بود، برای تهیه سناریوی پایه و همچنین، ارزیابی مدل به کار گرفته شده، کنار گذاشته شد. البته، در لارس نسخه ۵/۵ به جهت اینکه سناریوهای پایه برای تمامی نقاط جهان تعبیه شده، به تهیه سناریوی نیازی پایه نیست و در جریان پژوهش تنها برای اطمینان از صحت روند کار استفاده شد. برای صحت‌سنجی مدل از دو روش آماری و مقایسه‌ای استفاده شد. در روش آماری با محاسبه سوگیری^۱ و خطای مطلق مدل نقاط قوت و ضعف مدل در شبیه‌سازی ارزیابی شد. قدرت کلی مدل در مدل داده‌های دیده‌بانی شده با محاسبه سوگیری و خطای مطلق بین داده‌های دیده‌بانی شده و مدل شده محاسبه شد. مقدار سوگیری و خطای مطلق با استفاده از معادلات زیر به دست می‌آید:

$$\text{Bias} = 1/n \sum_{i=1}^n (s - o) \quad (۱)$$

$$\text{MAE} = 1/n \sum_{i=1}^n |s - o| \quad (۲)$$

که در آن s و o به ترتیب نشان‌دهنده فراسنج مدل شده و دیده‌بانی شده هستند که شامل فراسنج‌های کمینه دما، بیشینه دما، بارش و تابش و n تعداد ماه‌های سال هستند. در روش مقایسه‌ای نیز با مقایسه میانگین و انحراف معیار دوره تست و مدل شده به ارزیابی مدل اقدام شد. پس از صحت‌سنجی مدل داده‌های برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۰۹ بر اساس سناریوی پایه پریشیده شده و در نهایت، به تولید داده‌های در مقیاس روزانه برای دوره آب و هوای ۲۰۴۰-۲۰۰۹ اقدام شد.

مدل‌های مصنوعی مولد فراسنج‌های هواشناسی (Weather Generator) مدل‌هایی هستند که خروجی مدل‌های عددی گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری به نحوی ریزمقیاس می‌نمایند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت دارد. نخستین نسخه لارس-دبلیو جی در بوداپست طی سال ۱۹۹۰ به عنوان ابزاری برای ریزمقیاس کردن به روش آماری در کشور مجارستان ابداع شد. اساس و تئوری این مدل در مقاله راسکو است (راسکو، ۱۹۹۱: ۳۰). این مدل برای مدل‌سازی متغیرهای هواشناسی توزیع‌های آماری پیچیده‌ای را به کار می‌برد. مبنای آن برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش توزیع نیمه تجربی است.

در توزیع نیمه تجربی فاصله‌ها به طور مساوی بین مقادیر بیشینه و کمینه سری زمانی ماهانه تقسیم می‌شوند.

$$\text{EMP} = \{a_0, a_i, h_i, \quad , i=0,1,2,\dots,10\} \quad (۳)$$

که در اینجا EMP یک هیستوگرام با ده بازه با شدت‌های مختلف بارش است.

$$[a_{i-1}, a_i] \quad a_{i-1} < a_i$$

h_i تعداد رخداد بارش در i امین فاصله را نشان می‌دهد. فاصله‌ها برای طول روزهای تر و خشک و بارش افزایشی

هستند (بابائیان و نجفی نیک، ۱۳۸۵: ۹۷).

در این مدل تابش به طور مستقل از درجه حرارت مدل شده است و به جای آن می‌توان از ساعت آفتابی نیز استفاده کرد. مقدار بارش یک روز تر از توزیع نیمه تجربی بارش ماه مورد نظر و مستقل از سری‌های تر یا مقدار بارش در روز قبل به دست می‌آید. در این مدل، سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های کمینه و بیشینه روزانه به صورت فرایندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز

1- Bias

2-Rasco et al

مورد نظر هستند، مدل سازی می شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می رود. مقادیر مانده ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می آیند، در تحلیل خودهمبستگی زمانی داده های کمینه و بیشینه استفاده می شوند. تولید داده ها توسط مدل لارس-دبلیو جی در سه مرحله انجام می شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده های هواشناسی (زمنف، ۱۹۹۷: ۳۹۸). در این مدل ابتدا داده های مدل گردش عمومی جو ECHO-G شامل: بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش به صورت روزانه استخراج شده و برای هر شبکه مدل ECHO-G یک سناریوی خاص تولید داده تدوین می شود. برای تدوین این سناریو بایستی داده های شبکه ای مدل ECHO-G در دوره آینده با داده های دوره پایه مقایسه شوند. در اینجا دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۷۶ و دوره آینده ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در نظر گرفته شده است. علاوه بر سناریوی تدوین شده برای هر شبکه محاسباتی، برای اجرای مدل لارس-دبلیو جی نیاز به فایل مشخصه رفتار آب و هوا گذشته ایستگاه های واقع در داخل آن شبکه نیز وجود دارد. سپس این مدل با دریافت فایل محتوی رفتار آب و هوا گذشته ایستگاه و فایل سناریوی تولید داده، مقادیر روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و تابش روزانه را در آینده محاسبه می کند. مکانیسم عمل مدل به این صورت است که آن در ابتدا با استفاده از سناریوی تولید داده ماهانه که دربرگیرنده رفتار آب و هوا پایه است، تمامی داده های ماهانه را مطابق فرمول:

$$F_{fut} = F_{obs} + (F_{GCM}^{fut} - F_{GCM}^{base}) \quad (۴)$$

پیشیده^۱ می کند که در آن F_{GCM}^{fut} ، F_{obs} و F_{GCM}^{base} به ترتیب نشان دهنده فراسنج هواشناسی پیش بینی شده بر روی ایستگاه هواشناسی، فراسنج هواشناسی دیده بانی شده در همان ایستگاه، فراسنج هواشناسی پیش بینی شده بر روی شبکه مدل در دوره آینده و فراسنج هواشناسی مدل شده بر روی شبکه مدل در دوره گذشته هستند. سپس با حفظ میانگین، انحراف معیار آنها را مطابق فرمول:

$$STD_{fut} = \frac{STD_{base}^{OBS}}{STD_{base}^{GCM}} \times STD_{fut}^{GCM} \quad (۵)$$

تغییر می دهد (بابائیان و کوان، ۲۰۰۴: ۷۵) که در آن STD انحراف معیار فراسنج هواشناسی تحت بررسی است.

یافته های پژوهش

ارزیابی و صحت سنجی مدل بر روی ایستگاه های مورد مطالعه

هدف از این بخش، ارزیابی و صحت سنجی مدل لارس-دبلیو جی بر روی چهار ایستگاه مورد مطالعه در استان سیستان و بلوچستان است. توانایی مدل لارس-دبلیو جی تاثیر مستقیمی در برآورد تغییر آب و هوا در استان دارد. مدل Weather Generator مذکور با استفاده از آمار روزانه بالای چهل سال در چهار ایستگاه چابهار با ۴۲ سال، ایرانشهر ۴۳ سال، زابل ۴۲ سال و ایستگاه زاهدان با ۴۷ سال داده روزانه اجرا شد. این کار تنها با استفاده از چهار فراسنج مورد نیاز مدل؛ یعنی، کمینه دمای هوا، بیشینه دمای هوا، بارش و تابش صورت گرفت.

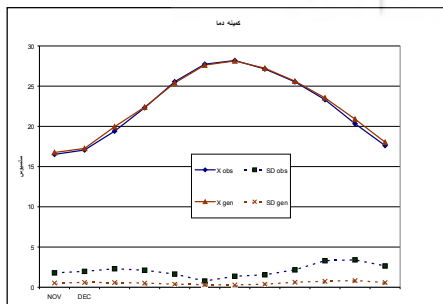
جدول ۲) سوگیری^۱ و خطای مطلق^۲ فراسنج‌های هواشناسی ایستگاه‌های سیستان و بلوچستان

ایستگاه		بارش		کمینه دما		بیشینه دما		تابش	
		خطای مطلق	سوگیری	خطای مطلق	سوگیری	خطای مطلق	سوگیری	خطای مطلق	سوگیری
چابهار	۰/۴۲	۱/۸۶	۰/۱۸	۰/۲۳	-۰/۱۲	۰/۲۳	۰/۱۲	۰/۰۶	۰/۰۱
ایرانشهر	۰/۵	۱/۶۹	۰/۰۶	۰/۱۴	-۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۲	۰/۰۹	۰/۱۲
زابل	-۰/۲	۰/۸	۰/۰۷	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۱۶	۰/۱۵	۰/۱۶
زاهدان	-۰/۱۵	۱/۲۶	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۰۹	۰/۲	۰/۱۵	۰/۱۲	۰/۱۵

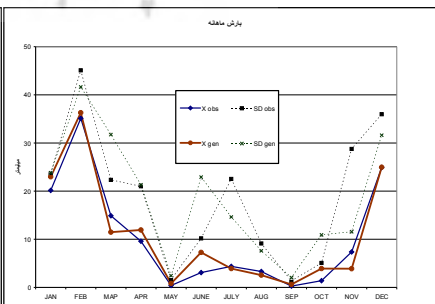
اجرای مدل لارس-دبلیو جی با مقایسه بین داده‌های گذشته و داده‌های ساخته شده توسط مدل انجام می‌شود. در این پژوهش، دوره بالای چهل سال از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸ به عنوان دوره گذشته انتخاب شد و تمامی فراسنج‌های هواشناسی ایستگاه‌های مذکور در فاصله زمانی قید شده تهیه و به مدل داده شد. سپس با اجرای مدل، قدرت آن در بازتولید دوره آماری با دو روش آماری و تفسیر چشمی ارزیابی شد. از لحاظ آماری، قدرت کلی مدل در مدل داده‌های دیده‌بانی شده با محاسبه بایاس و خطای مطلق بین داده‌های دیده‌بانی شده و مدل شده محاسبه شد.

قدرت مدل در پوشش پراش فراسنج‌های مورد مطالعه در سطح اطمینان قابل قبول است. بر اساس نتایج آماری که در هر کدام از فایل‌های ایستگاه‌ها ذخیره شده است، داده‌های دیده‌بانی شده و مدل دارای جامعه یکسان بوده و میانگین و انحراف معیار هر کدام از این دو مجموعه از لحاظ آماری قابل قبول است. قدرت مدل در مدل‌سازی تابش و مؤلفه‌های دمایی بهتر از فراسنج بارش است. پس از صحت‌سنجی آماری به رویکرد مقایسه‌ای بین میانگین و انحراف معیار مقادیر دیده‌بانی اقدام و شبیه‌سازی شده شد.

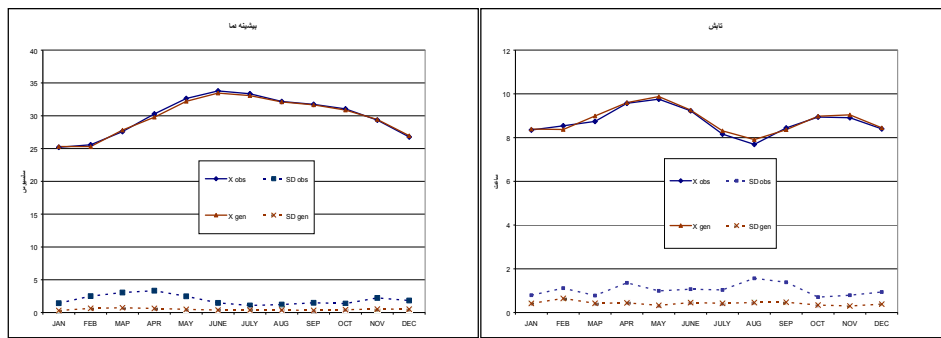
ایستگاه چابهار: توانمندی مدل لارس دبلیو جی در مدل‌سازی دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش بسیار خوب بود و با داده‌های واقعی در تطابق کامل بود. در مورد فراسنج بارش تنها در ماه‌های مارس، ژوئن، اکتبر و نوامبر اختلاف در داده‌های دو سری مشاهده می‌شود. در سایر فراسنج‌های تطابق کامل بین داده‌های مشاهده شده و شبیه‌سازی مشاهده می‌شود.



شکل ۳) مقایسه مقادیر کمینه دمای ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه چابهار



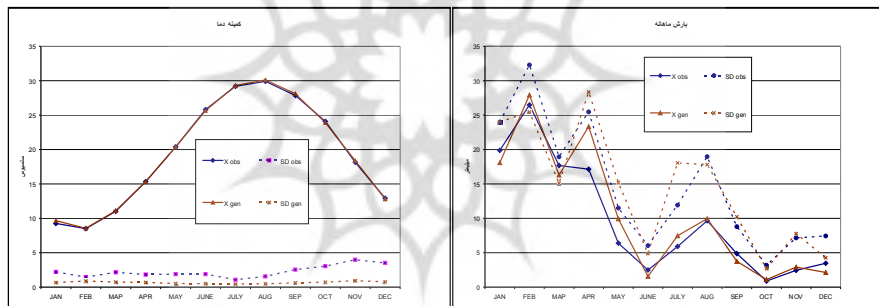
شکل ۲) مقایسه مقادیر بارش ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه چابهار



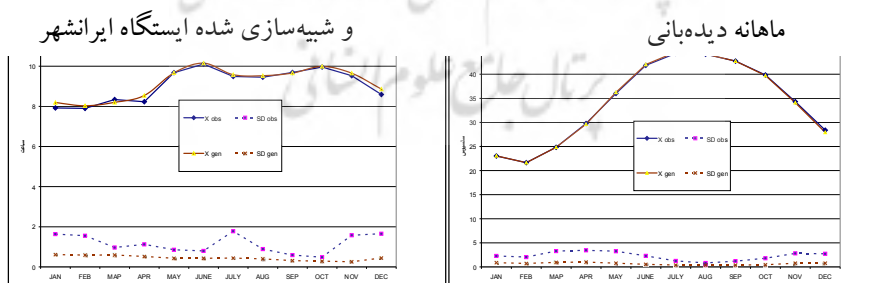
شکل ۴) مقایسه مقادیر بیشینه دمای ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه چابهار

شکل ۵) مقایسه مقادیر تابش دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه چابهار

ایستگاه ایرانشهر: توانمندی مدل لارس- دبلو جی در مدل‌سازی دمای کمینه و دمای بیشینه بسیار خوب است و با داده‌های واقعی در تطابق کامل است. در شبیه‌سازی سری میانگین تابش، بیشترین نارسایی مدل در ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل و دسامبر مشاهده می‌شود و در مورد انحراف معیار، حداکثر اختلاف در ماه‌های ژانویه، فوریه، ژوئیه، نوامبر و دسامبر مشاهده شد.



شکل ۶) مقایسه مقادیر بارش ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه ایرانشهر

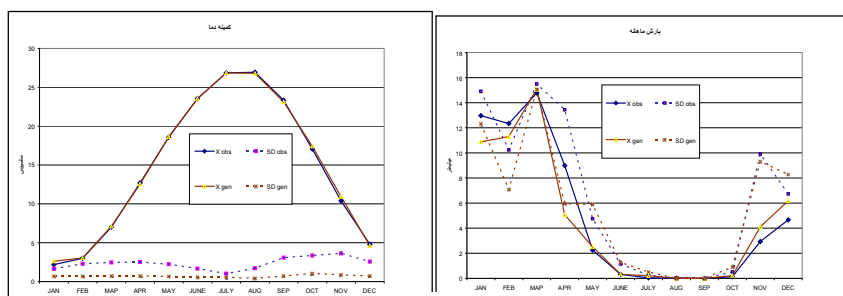


شکل ۹) مقایسه مقادیر تابش دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه ایرانشهر

شکل ۸) مقایسه مقادیر بیشینه دمای ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه ایرانشهر

ایستگاه زابل: توانمندی مدل لارس دبلو جی در مدل‌سازی دمای کمینه و دمای بیشینه بسیار خوب است و با داده‌های واقعی در تطابق کامل است. بر اساس نتایج به دست آمده از مدل، مدل بخوبی توانسته فراسنج‌های کمینه دما، بیشینه دما و تابش را برای ایستگاه زابل شبیه‌سازی نماید؛ ولی در مورد فراسنج بارش توانسته بخوبی انطباق و رسایی

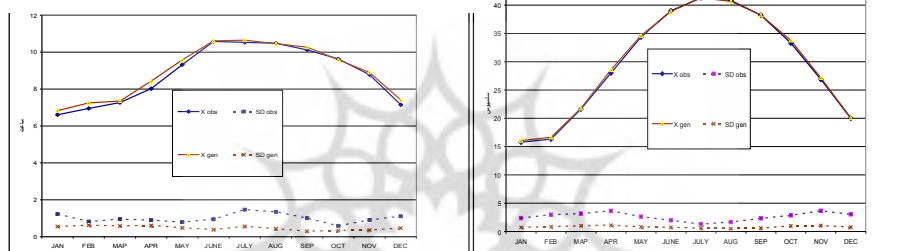
داشته باشد. در مورد بارش ماهانه بیشترین اختلاف سری‌ها را ماه‌های ژانویه، فوریه، آوریل، نوامبر و دسامبر داشته‌اند و در سایر ماه‌ها؛ بخصوص ماه‌های مارس، می و ژوئن داده‌های سری مشاهده شده و شبیه‌سازی شده انطباق کامل دارند.



شکل ۱۰) مقایسه مقادیر بارش ماهانه دیده‌بانی

شکل ۱۱) مقایسه مقادیر کمینه دمای ماهانه دیده‌بانی

و شبیه‌سازی شده ایستگاه زابل



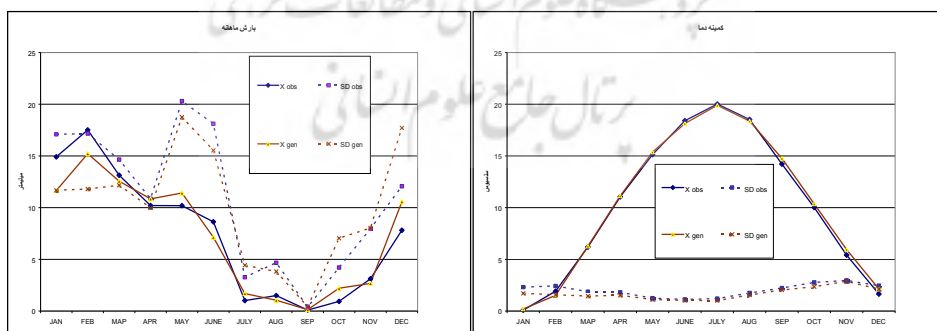
شکل ۱۲) مقایسه مقادیر بیشینه دمای ماهانه دیده

شکل ۱۳) مقایسه مقادیر تابش دیده بانی

و شبیه‌سازی شده ایستگاه زابل

بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه زابل

ایستگاه زاهدان: در ایستگاه همدید زاهدان مدل‌سازی دماهای کمینه، بیشینه و تابش به میزان بسیار خوبی با داده‌های دیدبانی شده دوره آماری مطابقت دارد. مدل‌سازی بارش با داده‌های مشاهداتی مطابقت داشت.

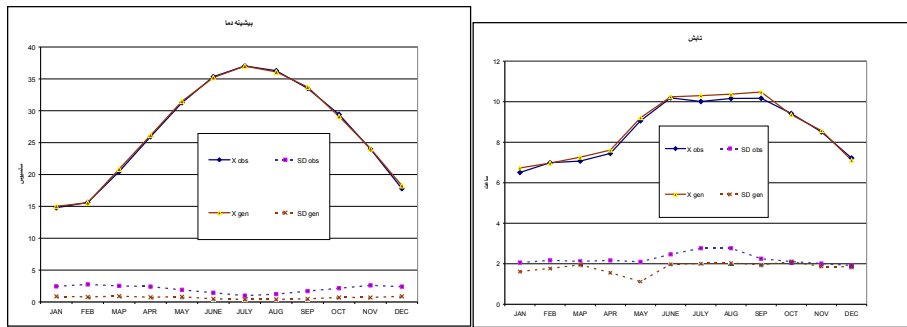


شکل ۱۴) مقایسه مقادیر بارش ماهانه دیده‌بانی

شکل ۱۵) مقایسه مقادیر کمینه دمای ماهانه دیده‌بانی

و شبیه‌سازی شده ایستگاه زاهدان

و شبیه‌سازی شده ایستگاه زاهدان



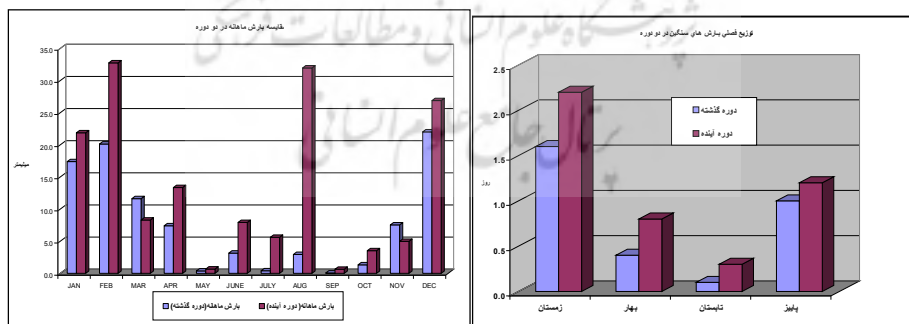
شکل ۱۶) مقایسه مقادیر بیشینه دمای ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه زاهدان

شکل ۱۷) مقایسه مقادیر بیشینه دمای ماهانه دیده‌بانی و شبیه‌سازی شده ایستگاه زاهدان

ارزیابی تغییر آب و هوا ایستگاه‌های همدید استان سیستان و بلوچستان برای دوره ۲۰۰۹ تا ۲۰۴۰ میلادی

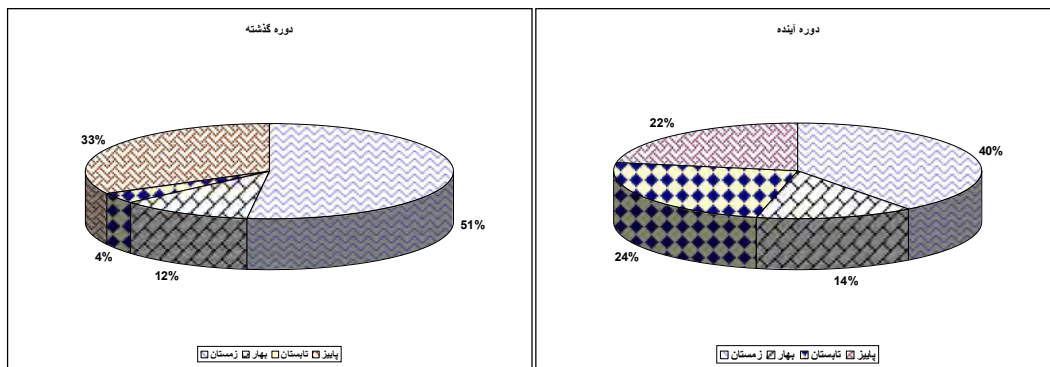
پس از صحت‌سنجی مدل برای تمامی فراسنج‌های مورد مطالعه در ایستگاه‌های مورد مطالعه آب و هوا، اقدام به تولید داده‌های مصنوعی برای دوره ۲۰۰۹-۲۰۴۰ گردید و نتایج آن برای هر ایستگاه به تفکیک تحلیل شد تا بر اساس آن بتوان تغییر آب و هوا را برای ایستگاه‌ها ارزیابی نمود. نتایج تحلیل داده‌های ایستگاه‌ها به شرح زیر است:

- میزان بارش ماهانه برای ایستگاه چابهار در دوره آب و هوای آینده یک روند افزایش نشان می‌دهد که دامنه آن از ۰/۳ در ماه می تا ۲۹ میلیمتر در ماه آگوست در نوسان است. به لحاظ فصلی، حداکثر افزایش مربوط به فصل تابستان است که موید افزایش بارش‌های موسمی برای منطقه در سال‌های آتی است. بارش‌های سنگین نیز در منطقه در دوره آب و هوای آینده در تمامی ماه‌ها دارای افزایش نسبت به دوره گذشته است که حداکثر آن مربوط به فصل تابستان و کمینه آن مربوط به فصل پاییز است.



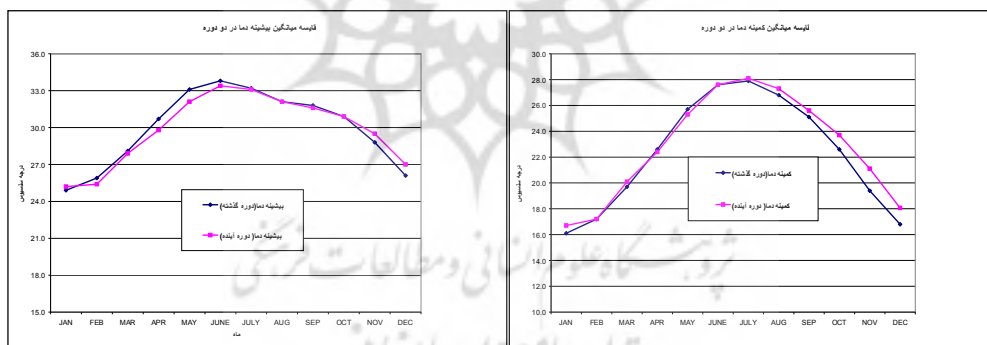
شکل ۱۸) توزیع بارش‌های سنگین فصلی در ایستگاه چابهار در دوره گذشته و آینده

شکل ۱۹) توزیع بارش ماهانه ایستگاه چابهار در دوره گذشته و آینده



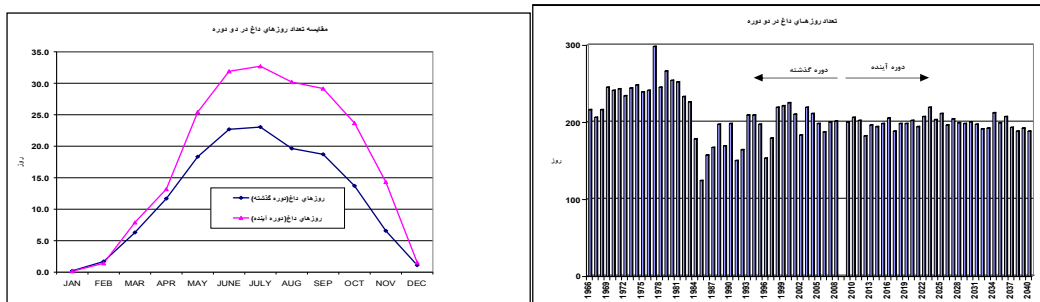
شکل ۲۰) مقایسه بارش فصلی ایستگاه چابهار در دوره گذشته و آینده

- نتایج محاسبات دما حاکی از آن است که کمینه دما به جز در اوایل بهار در سایر ماه‌های سال در دوره آب و هوای آینده افزایش خواهد یافت، که دامنه آن از ۰/۲ درجه سلسیوس در ماه جولای تا ۱/۷ درجه سلسیوس در ماه نوامبر متغیر است. برخلاف مؤلفه کمینه دما، بیشینه دما تنها در فصل پاییز در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت و در سایر ماه‌ها تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود. تعداد روزهای داغ نیز در ایستگاه در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت.



شکل ۲۲) مقایسه بیشینه دمای ایستگاه چابهار در دوره آماری و دهه‌های آتی

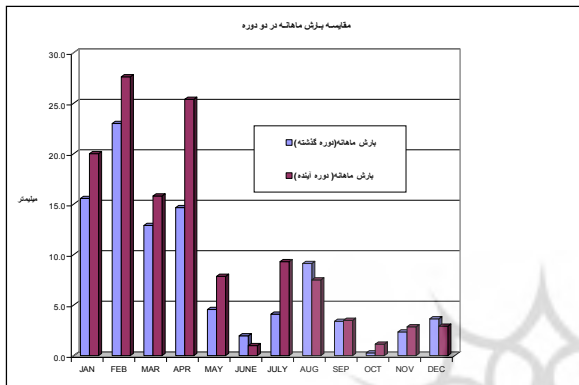
شکل ۲۱) مقایسه کمینه دمای ایستگاه چابهار در دوره آماری و دهه‌های آتی



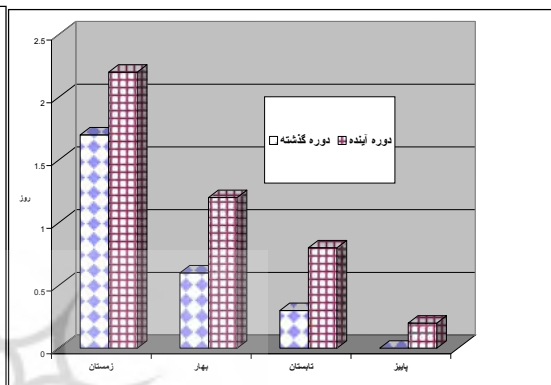
شکل ۲۴) توزیع روزهای داغ ماهانه ایستگاه چابهار در دوره آماری و دهه‌های آتی

شکل ۲۳) توزیع روزهای داغ سالانه ایستگاه چابهار در دوره آماری و دهه‌های آتی

- در ایستگاه ایرانشهر میزان بارش‌های ماهانه در ماه‌های فصل تابستان کاهش یافته و در سایر ماه‌های سال افزایش خواهد یافت. دامنه افزایش بارش‌ها از ۰/۱ میلیمتر در ماه سپتامبر تا ۱۰/۷ میلیمتر در ماه آوریل متغیر است. به لحاظ فصلی، بیشترین مقدار بارش‌ها در فصول زمستان و بهار، و کمترین آن در فصل پاییز ریزش خواهد نمود. نکته حائز اهمیت کاهش سهم فصل زمستان از میزان بارش‌های سالانه و افزایش ۵ درصدی سهم بارش‌های بهاری از مجموع بارش‌های سالانه است. در ایستگاه ایرانشهر نیز همانند ایستگاه چابهار، بارش‌های سنگین در دوره آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت.

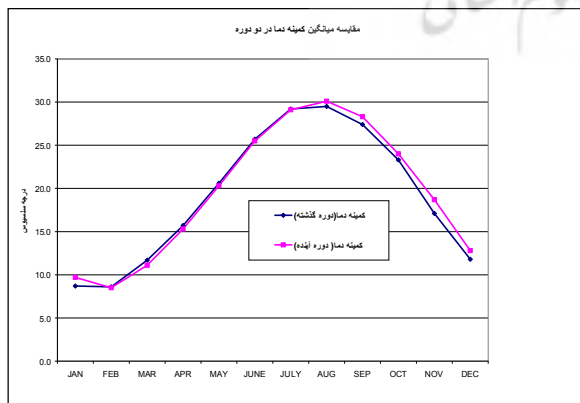


شکل ۲۶) توزیع بارش‌های سنگین فصلی در ایستگاه ایرانشهر در دوره گذشته و آینده

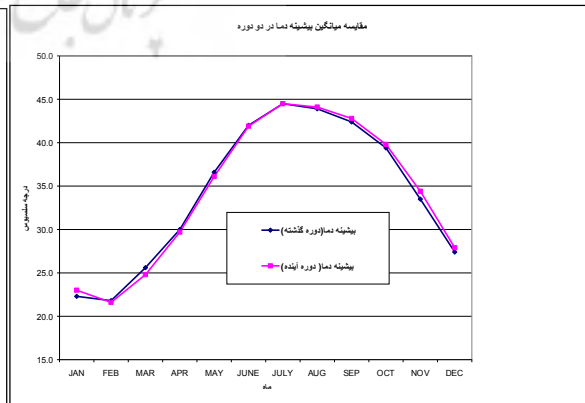


شکل ۲۵) توزیع بارش ماهانه ایستگاه ایرانشهر در دوره گذشته و آینده

- روند کمینه دمای ایرانشهر در دوره آب و هوای آینده به گونه‌ای است که میزان آن برای فصل زمستان و بهار کاهش و در فصول تابستان و پاییز افزایشی است. میزان تغییر مؤلفه بیشینه در ایستگاه ایرانشهر همانند مؤلفه کمینه است. به لحاظ سالانه مؤلفه بیشینه، هیچ‌گونه روند خاصی را در سالهای آتی ندارد؛ در حالی که مؤلفه کمینه دما دارای یک روند افزایشی است که این خود سبب نزدیکتر شدن منحنی‌های کمینه و بیشینه در سالهای آتی به یکدیگر شده و کاهش دامنه شبانه‌روزی دما (DTR) را به دنبال خواهد داشت که می‌تواند باعث کاهش دامنه آسایش دمای شبانه‌روزی برای مردم منطقه شود.

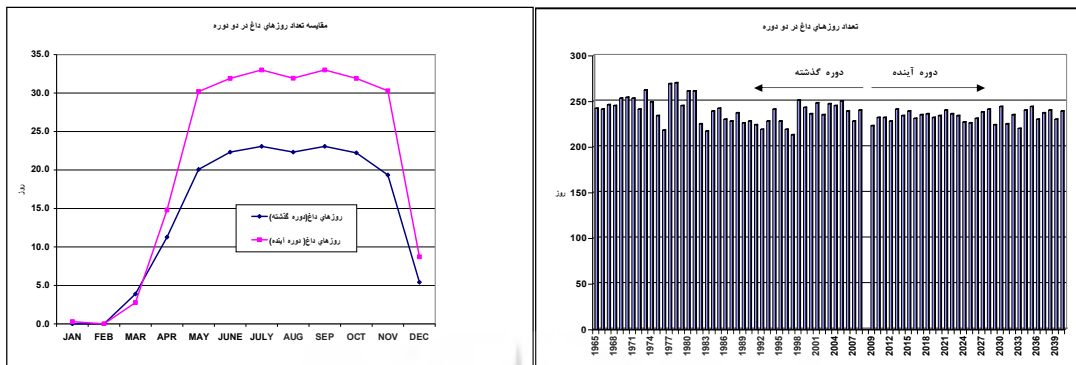


شکل ۲۸) مقایسه بیشینه دمای ایستگاه ایرانشهر در دوره آماری و دهه‌های آتی



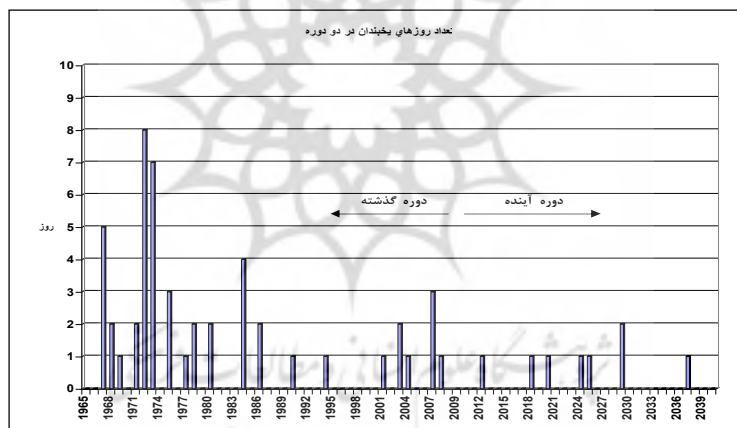
شکل ۲۷) مقایسه کمینه دمای ایستگاه ایرانشهر در دوره آماری و دهه‌های آتی

- تعداد روزهای داغ برای ایستگاه ایرانشهر در تمامی ماه‌ها افزایشی است و تنها در اواخر زمستان یک کاهش در آن برای دوره آب و هوای آینده مشاهده می‌شود. به تبع افزایش روزهای داغ در ایرانشهر، تعداد روزهای یخبندان در اوایل زمستان برای ایستگاه در دوره آب و هوای آینده کاهش خواهد داشت.



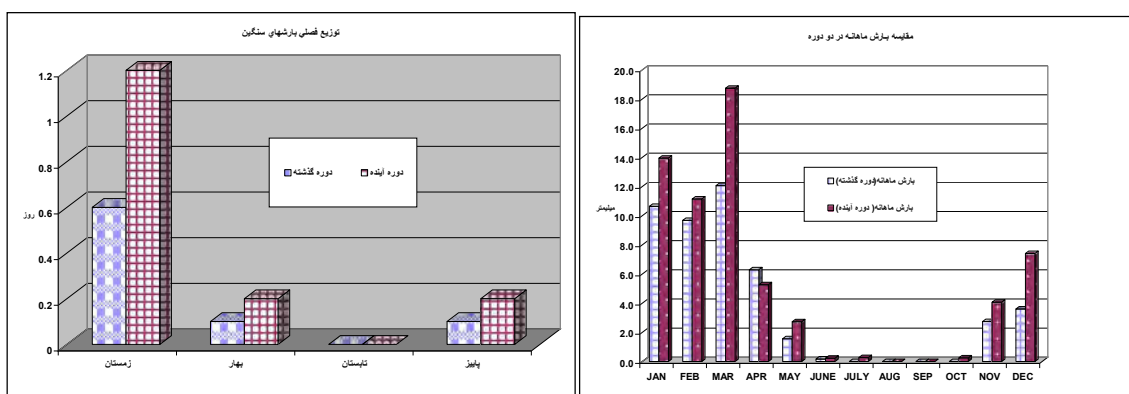
شکل ۲۹) توزیع روزهای داغ سالانه ایستگاه ایرانشهر در دوره آماری و دهه‌های آتی

شکل ۳۰) توزیع روزهای داغ ماهانه ایستگاه ایرانشهر در دوره آماری و دهه‌های آتی



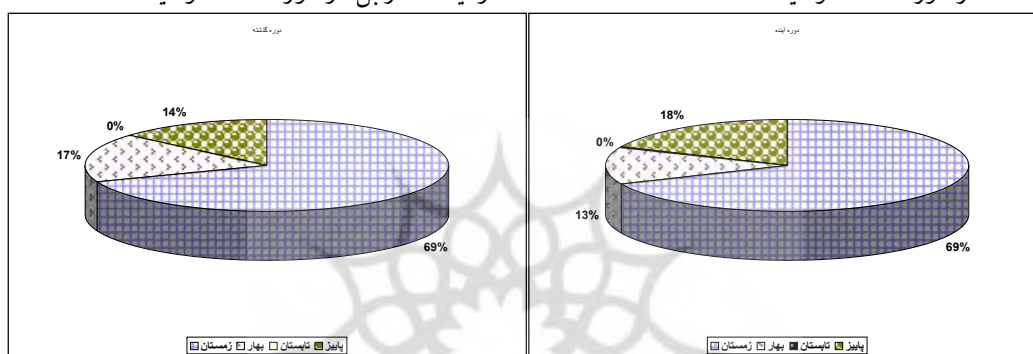
شکل ۳۱) توزیع روزهای یخبندان سالانه ایستگاه ایرانشهر در دوره آماری و دهه های آتی

- تحلیل نتایج بارش‌های ماهانه در ایستگاه زابل، حاکی از آن است که در فصول تابستان و زمستان در دوره آب و هوای آینده، در بارش‌های ماهانه ایستگاه هیچ گونه تغییر خاصی مشاهده نمی‌شود. فصل پاییز دارای کاهش در مقدار بارش خود و فصل بهار دارای افزایش در بارش‌های خود در دوره آب و هوای آینده است. کاهش سهم بارش‌های پاییزی و افزایش سهم بارش‌های بهاری در دوره آب و هوای آینده سبب متعادل‌تر شدن توزیع بارش در طول سال در ایستگاه زابل است. دامنه بارش‌های سنگین در ایستگاه در دوره گذشته محدود به سه ماه در اوایل زمستان و اوایل بهار است؛ در حالی که در دوره آب و هوای آینده این دامنه به هفت ماه افزایش می‌یابد. فراوانی وقوع بارش‌های سنگین در ایستگاه زابل در دوره آب و هوای آینده به گونه‌ای است که تنها در فصل تابستان هیچ تغییری در آن مشاهده نمی‌شود؛ ولی در سایر فصول مقدار بارش‌های سنگین در دوره آب و هوای آینده به دو برابر دوره گذشته خواهد رسید.



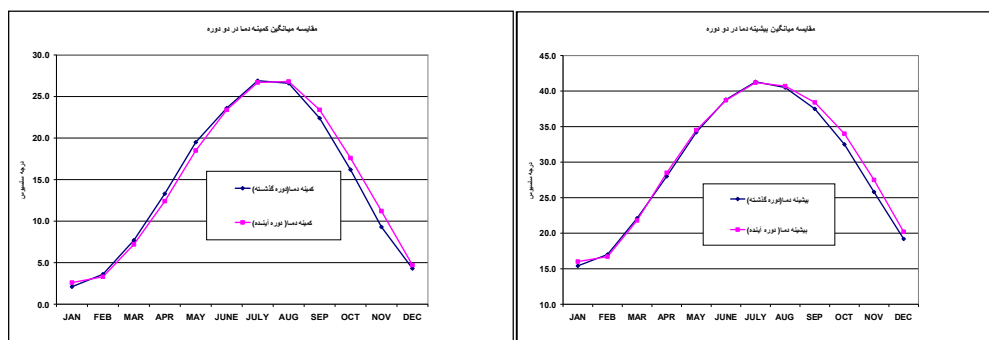
شکل ۳۳) توزیع بارش های سنگین فصلی در ایستگاه زابل در دوره گذشته و آینده

شکل ۳۲) توزیع بارش ماهانه ایستگاه زابل در دوره گذشته و آینده



شکل ۳۴) مقایسه بارش فصلی ایستگاه زابل در دوره گذشته و آینده

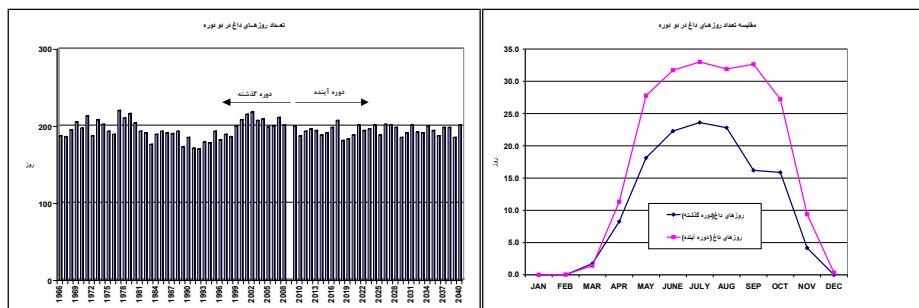
نتایج تحلیل مؤلفه‌های دمایی در ایستگاه زابل نشان داد که برای مؤلفه کمینه در دوره آب و هوای آینده در دو فصل زمستان و بهار، کاهش دما و در فصول پاییز و تابستان افزایش دما در دوره آب و هوای آینده رخ خواهد داد. به لحاظ فصلی بیشترین کاهش در کمینه دما در فصل بهار و بیشترین افزایش در آن مربوط به فصل پاییز است. برای مؤلفه بیشینه وضع به گونه دیگری خواهد بود. کاهش بیشینه دما در دوره آب و هوای آینده محدود به اواخر فصل بهار و اوایل و اواخر زمستان است و در سایر ماه‌های سال بیشینه دما در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. بیشترین کاهش بیشینه دما مربوط به فصل زمستان و کمترین آن مربوط به فصل پاییز است.



شکل ۳۵) مقایسه کمینه دمای ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی

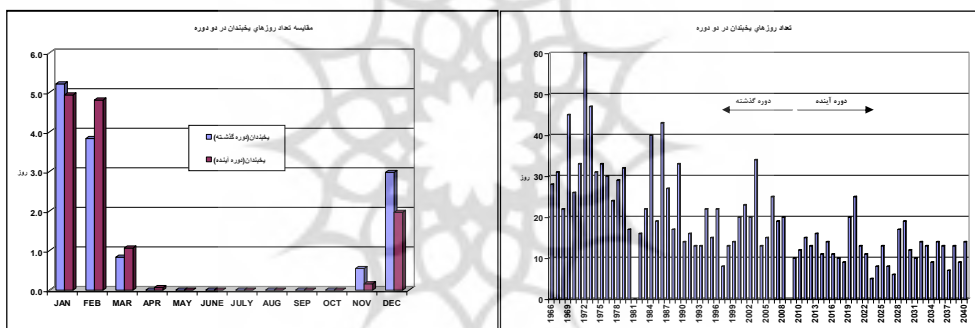
شکل ۳۶) مقایسه بیشینه دمای ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی

- تعداد روزهای داغ برای ایستگاه زابل در تمام فصول به استثنای اواخر زمستان که یک کاهش در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته دارد، افزایش خواهد یافت. برخلاف تعداد روزهای داغ برای ایستگاه زابل که در دوره آب و هوای آینده افزایشی است، تعداد روزهای یخبندان کاهش خواهد یافت و تنها در اواخر زمستان و در اوایل پاییز یک افزایش ضعیف دیده می‌شود. افزایش تعداد روزهای یخبندان در اوایل پاییز به‌منزله افزایش تعداد یخبندان‌های زودرس در دوره آب و هوای آینده برای زابل است.



شکل ۳۷) توزیع روزهای داغ سالانه ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی

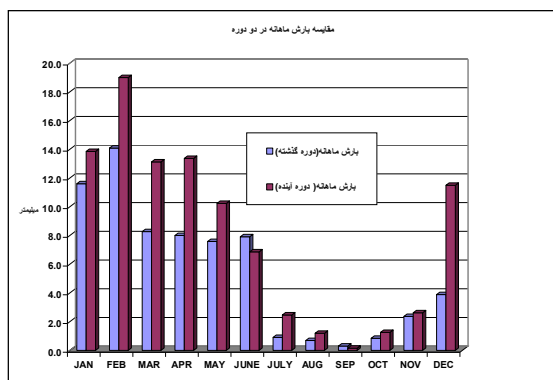
شکل ۳۸) توزیع روزهای داغ ماهانه ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی



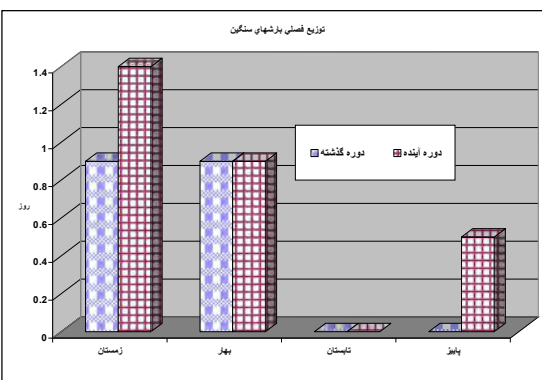
شکل ۳۹) توزیع روزهای یخبندان سالانه ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی

شکل ۴۰) توزیع روزهای یخبندان ماهانه ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی

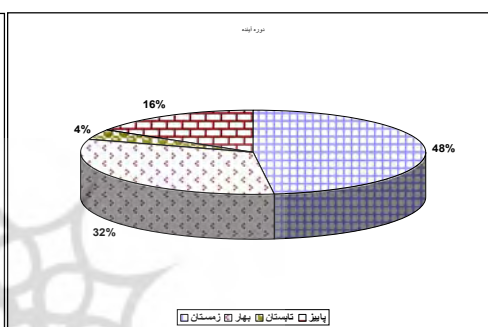
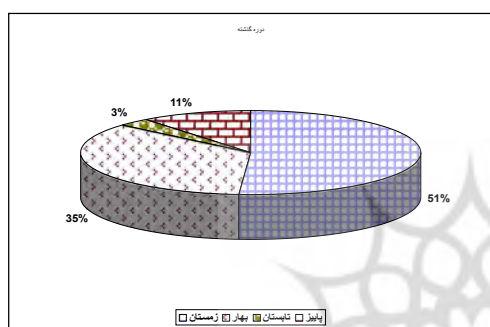
- توزیع بارش ماهانه برای ایستگاه زاهدان در دوره آب و هوای آینده به‌گونه‌ای است که به جز در اواخر فصول بهار و تابستان، در سایر ماه‌های سال بارش ماهانه نسبت به دوره گذشته افزایش می‌یابد. دامنه افزایش بارش‌ها به‌گونه‌ای است از ۰/۳ میلی‌متر در ماه نوامبر تا ۷/۶ میلی‌متر در ماه دسامبر در نوسان است. توزیع فصلی بارش نیز در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته تغییر خواهد کرد. در دوره آینده بارش فصول زمستان و بهار یک کاهش ۳ درصدی و بارش فصل پاییز یک افزایش ۵ درصدی را خواهد داشت. مقدار بارش‌های سنگین برای ایستگاه زاهدان برای دوره آب و هوای آینده به‌گونه‌ای است که تنها در دو ماه آخر فصل بهار یک کاهش در تعداد بارش‌های سنگین برای دوره آب و هوای آینده وجود خواهد داشت؛ در حالی که فصول زمستان و پاییز با افزایش بارش‌های سنگین در محدوده خود روبه‌رو خواهند بود.



شکل ۴۲) توزیع بارش های سنگین فصلی در ایستگاه زاهدان در دوره گذشته و آینده

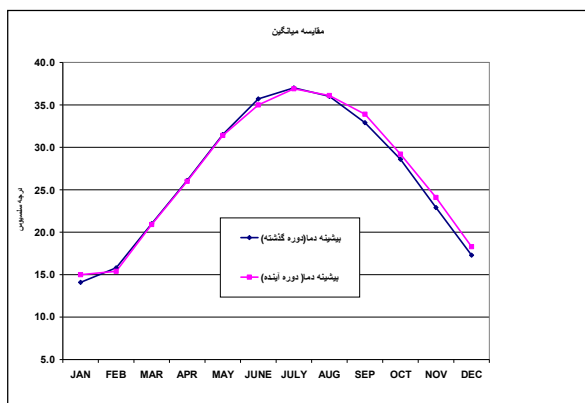


شکل ۴۱) توزیع بارش ماهانه ایستگاه زاهدان در دوره گذشته و آینده

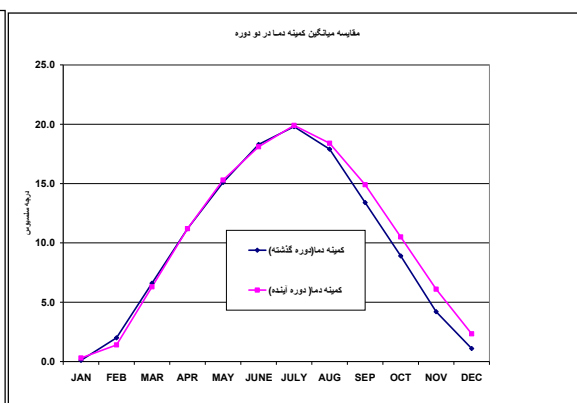


شکل ۴۳) مقایسه بارش فصلی ایستگاه زاهدان در دوره گذشته و آینده

- محاسبات مربوط به تحلیل مؤلفه های دمایی در ایستگاه زاهدان نشان داد که کمینه دما در فصل زمستان در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته کاهش خواهد یافت و در سایر ماه های سال افزایش کمینه دما در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته رخ خواهد داد. وضعیت مؤلفه بیشینه دما برای ایستگاه زاهدان به گونه دیگری است و به این صورت است که سال به دو دوره تقسیم می شود. در دوره آب و هوای آینده از فوریه تا ژوئیه بیشینه دما نسبت به گذشته کاهش و از آگوست تا فوریه افزایش خواهد یافت. روند دمای مؤلفه های دمایی سالانه نیز نشان داد که مؤلفه بیشینه دارای یک حالت ایستاست؛ در حالی که مؤلفه کمینه دارای حالت نایستاست که دارای روند افزایشی در سری خود است که در سال های آتی موجب کاهش برای زاهدان خواهد شد.

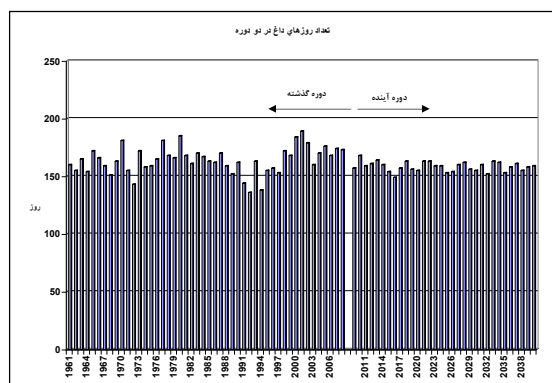


شکل ۴۵) مقایسه بیشینه دمای ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه های آتی

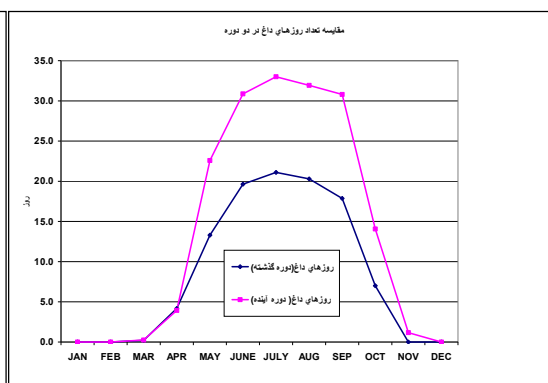


شکل ۴۴) مقایسه کمینه دمای ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه های آتی

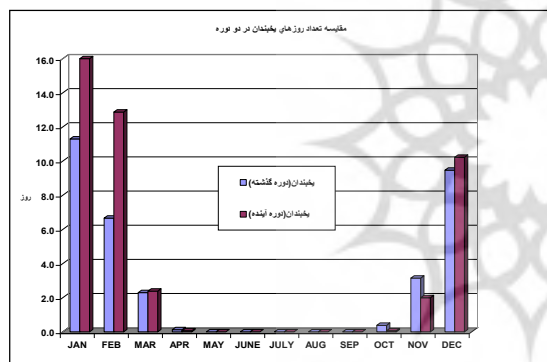
- تعداد روزهای داغ در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته همانند سایر ایستگاه‌های مورد مطالعه در طول سال افزایش خواهد یافت. روند تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه به گونه‌ای است که در فصل زمستان افزایشی و در فصل پاییز کاهش‌ی است.



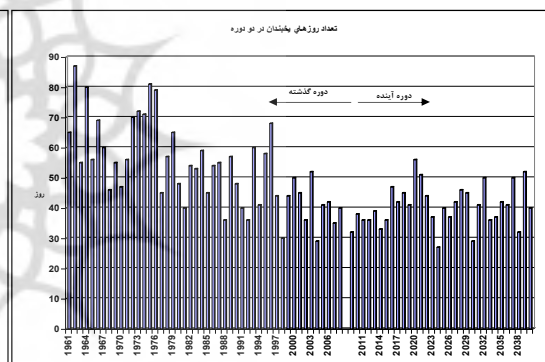
شکل ۴۷) توزیع روزهای داغ سالانه ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه‌های آتی



شکل ۴۶) توزیع روزهای داغ ماهانه ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه‌های آتی

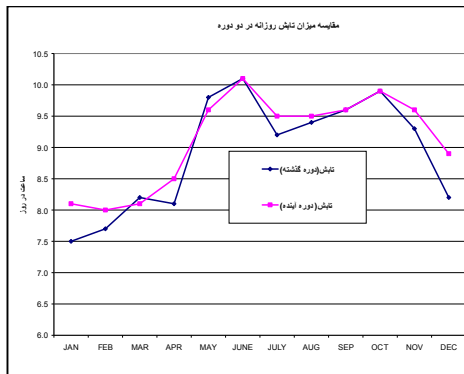


شکل ۴۹) توزیع روزهای یخبندان ماهانه ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه‌های آتی

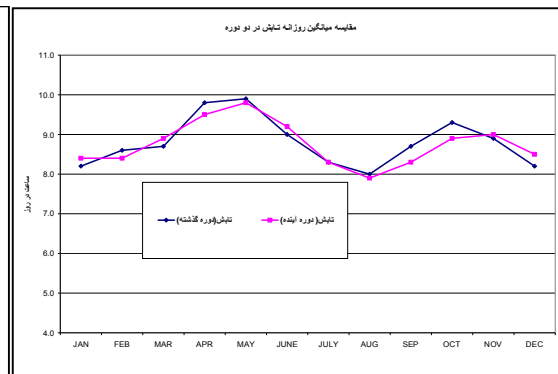


شکل ۴۸) توزیع روزهای یخبندان سالانه ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه‌های آتی

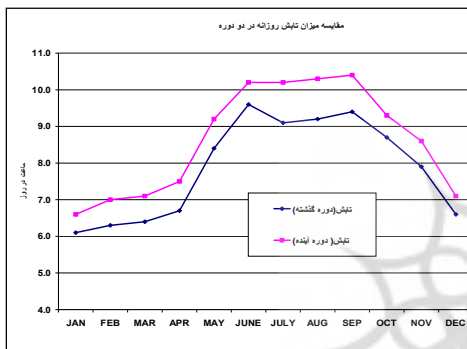
- تجزیه و تحلیل تعداد ساعات آفتابی به عنوان نماینده تابش برای دوره آب و هوای آینده نشان داد که در ایستگاه زاهدان در تمامی ماه‌های سال تعداد ساعات آفتابی نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت. در ایستگاه زابل در تمامی ماه‌ها در دوره آب و هوای آینده به استثنای فصل تابستان که کاهش‌ی است، افزایش خواهد یافت. در ایستگاه چابهار در فصول زمستان و پاییز تعداد ساعات آفتابی در دوره آب و هوای آینده نسبت به گذشته افزایش یافته و در سایر ماه‌ها تغییر چندانی مشاهده نمی‌شود. در ایستگاه ایرانشهر نیز تعداد ساعات آفتابی در دوره آب و هوای آینده وضع به گونه‌ای است که در اواخر زمستان و اواسط بهار تعداد ساعات آفتابی در دوره آینده نسبت به دوره گذشته کاهش یافته، در اواخر تابستان و اوایل پاییز تغییر چندانی نداشته و در سایر ماه‌ها تعداد ساعات آفتابی در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته افزایش خواهد یافت.



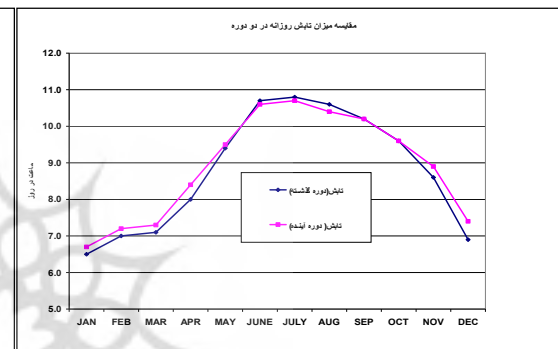
شکل ۵۱) مقایسه ساعات آفتابی ایستگاه اهواز در دوره آماری و دهه‌های آتی



شکل ۵۰) مقایسه ساعات آفتابی ایستگاه چابهار در دوره آماری و دهه‌های آتی



شکل ۵۳) مقایسه ساعات آفتابی ایستگاه زاهدان در دوره آماری و دهه‌های آتی



شکل ۵۲) مقایسه ساعات آفتابی ایستگاه زابل در دوره آماری و دهه‌های آتی

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر بر آن بود تا بتواند تغییرات آب و هوای استان سیستان و بلوچستان برای دوره آب و هوای آینده (۲۰۴۰-۲۰۰۹) را با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو با داده‌های مدل جهانی ECHO-G توسط سناریوی AI شبیه‌سازی نماید. نتایج صحت‌سنجی مدل نشان‌دهنده قدرت بالای این تکنیک در شبیه‌سازی داده‌های دیده‌بانی شده‌است. با توجه به موارد ذکر شده مدل لارس-دبلیو جی می‌تواند برای ارزیابی تغییر آب و هوا این چهار ایستگاه استفاده شود. در این پژوهش دوره بالای چهل سال از ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۸ به عنوان دوره گذشته انتخاب شد و تمامی فراسنج‌های هواشناسی ایستگاه‌های مذکور در فاصله زمانی قید شده تهیه و به مدل داده‌شد. سپس با اجرای مدل، قدرت آن در بازتولید دوره آماری ارزیابی شد. مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده برای هر چهار فراسنج مورد نیاز در قالب نمودارهایی ترسیم شد تا مقایسه چشمی بین داده‌های هر دو سری صورت گیرد. نتایج حاصل نشان‌دهنده قدرت بالای مدل لارس-دبلیو جی در مدل‌سازی داده‌های در مقیاس روزانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در سطح استان سیستان و بلوچستان است. همان‌طور که تجزیه و تحلیل داده‌ها در دوره آب و هوای آینده نشان داد اغلب فراسنج‌های مورد مطالعه در دوره آب و هوای آینده نسبت به دوره گذشته تغییر کرده و بیشترین میزان تغییرات برای مؤلفه‌ها به صورت

افزایش در مقدار و فراوانی برای دوره آب و هوای آینده‌است. به لحاظ عنصر بارش در دو ایستگاه ایرانشهر و زاهدان با کاهش سهم بارش‌های ماهانه در دوره آینده و افزایش سهم سایر فصول؛ به‌خصوص بهار سبب توزیع متعادل‌تر بارش در این مناطق در طول سال می‌شود؛ ولی از جانب دیگر با افزایش بارش‌های سنگین مشکلات مربوط به آن، از قبیل: شستشوی خاک و بیابانزایی در دهه‌های آتی به وجود خواهد آمد. به لحاظ مؤلفه‌های دمایی در تمامی قسمت‌های استان افزایشی هست که میزان این افزایش در فراسنج کمینه بیشتر از فراسنج بیشینه است، که کاهش دامنه شبانه‌روزی دما و به تبع آن، کاهش آسایش دمایی برای استان در سال‌های آتی را در پی خواهد داشت. در مورد موفقیت مدل در برآورد میزان تغییرات می‌توان گفت که با توجه به نتایج گرفته شده از مدل و صحت‌سنجی آن و همچنین، در نظرگیری سناریوهای تغییر آب و هوا به عنوان یک متغیر مستقل در فرایند مدل‌سازی، به نتایج آن بیش از سایر مدل‌های آماری می‌توان اطمینان کرد. با توجه به مطالعات انجام گرفته در مورد استفاده از سناریوهای تغییر آب و هوا به‌عنوان یک متغیر مستقل و میزان تاثیرپذیری عناصر آب و هوای آن در سال‌های آتی و همچنین، پریشیده کردن مدل با استفاده از داده‌های گردش عمومی جو یک نقطه قوت مدل‌های گردش عمومی جو نسبت به روش‌های رایج آماری است. یکی دیگر از نقاط قوت مدل‌های گردش عمومی جو را می‌توان در واسنجی مدل‌های مذکور دانست.

منابع

- ۱- آذرانفر، آرش؛ احمد ابریشم چی و مسعود تجریشی. (۱۳۸۶). ارزیابی اثرات تغییر آب و هوا بر بارش و دما در حوضه آبریز زاینده‌رود با استفاده از خروجی مدل‌های چرخش عمومی، مجموعه مقالات دومین کنفرانس مدیریت منابع آب، اصفهان.
- ۲- بابائیان، ایمان؛ زهرا نجفی نیک، فاطمه زابل عباسی، مجید حبیبی نوخندان، حامد ادب و شراره ملبوسی. (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر آب و هوا کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزنمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ش ۱۶، صص ۱۳۵-۱۵۲.
- ۳- بابائیان، ایمان؛ زهرا نجفی نیک، مجید حبیبی نوخندان، فاطمه زابل عباسی، شراره ملبوسی، حامد ادب و جواد بذرافشان. (۱۳۸۶). مدل‌سازی آب و هوا و مطالعه تغییر آب و هوا در ایران، مجری طرح: پژوهشکده آب و هوا شناسی، گزارش پروژه.
- ۴- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک. (۱۳۸۶). ارزیابی تغییر آب و هوا استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل GCM، گزارش گروه پژوهشی تغییر آب و هوا پژوهشکده آب و هوا شناسی اداره کل هواشناسی کشور.
- ۵- بابائیان، ایمان و زهرا نجفی نیک. (۱۳۸۶). معرفی و ارزیابی مدل لارس-دبلیو جی برای مدل‌سازی فراسنج‌های هواشناسی استان خراسان، دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۳۹) کارگاه فنی اثرات تغییر آب و هوا در مدیریت منابع آب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، تهران.
- ۶- بابائیان، ایمان، مریم کریمیان و راحله مدیریان. (۱۳۸۵). بولتن علمی پژوهشکده آب و هواشناسی، گزارش پروژه‌های خاتمه یافته، جلد ششم، شماره سوم و چهارم، ص ۶۹.

- ۷- بهبودیان، صادق، مسعود تابش و سید ناصر باشی ازغدی. (۱۳۸۸). پیش‌بینی مصرف آب شهری با در نظر گرفتن اثرات تغییر آب و هوا (مطالعه موردی شهر نیشابور)، سومین همایش ملی آب و فاضلاب (با رویکرد اصلاح الگوی مصرف)، تهران، اسفند ۱۳۸۸.
- ۸- تلان، ابراهیم و مهدی ضرغامی. (۱۳۸۷). بررسی تغییر آب و هوا استان آذربایجان شرقی در دوره سال‌های ۲۰۴۹-۲۰۲۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری مدل ECHO-G، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، ۲۳ الی ۲۵ مهر ۱۳۸۷.
- ۹- زابل عباسی، فاطمه؛ شراره ملبوسی، ایمان بابائیان، مرتضی اثمیری و رضا برهانی. (۱۳۸۹). پیش‌بینی تغییرات آب و هوای خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ج ۲۴، ش ۲، صص ۲۱۸-۲۳۳.
- ۱۰- صمدی نقاب، سیما. (۱۳۸۵). پیش‌بینی خشکسالی با روش ریزگردانی خروجی الگوهای GCM، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ش ۸، صص ۱۹۳-۲۱۱.
- ۱۱- کارآموز، محمد. (۱۳۸۶). تدوین مدل پیش‌بینی بارش جهت بهره‌برداری از منابع آب حوزه آبریز اهر چای: ریزمقیاس کردن آماری، سومین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- ۱۲- مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۸۵). ارزیابی ریسک تغییر آب و هوا و تاثیر آن بر منابع آب مطالعه موردی: حوضه زاینده رود اصفهان، رساله دکتری عمران گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۱۳- نجفی نیک، زهرا. (۱۳۸۷). تدوین مدل پیش‌بینی بارش جهت پایش و پیش‌آگهی خشکسالی استان کرمان با استفاده از شاخص دهک برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، دانشگاه زابل، ۲۲-۲۰ اسفند ماه ۱۳۸۷.
- 14- Babaeian, I., Kwon, W.T., and Im, E.S. (2004). Application of weather generator technique for climate change assessment over Korea. Korea Meteorological Research Institute, Climate Research Lab, pp: 98.
- 15- Busuioc, A., Chen, D., Helstrom, C. (2000). Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: application for Swedish precipitation. Journal of climatology, 21, pp557-578.
- 16- Harmel, R D., Richardson, C W., Hanson, C.L and Johnson, G.L. (2010). Evaluating the Adequacy of Simulating Maximum and Minimum Daily Air Temperature with the Normal Distribution. Journal of Applied Meteorology 41, 7, pp: 744-753.
- 17- Harpham, C., Wilby R. (2005). Multi-Site Downscaling of Heavy Daily Precipitation Occurrence and Amounts, Journal of Hydrology, pp: 312, 235 -255.
- 18- Lane, M.E., P.H. Kirshen, and Vogel, R.M. (1999). Indicators of impact of global climate change on U.S. Water resources, Journal of Water Resources Planning and Management. 125, pp4, 194-204.
- 19- Lazar, B. and Williams, M. (2008). Climate Change in Western Ski Areas: Potential Changes in the Timing of Wet Avalanches and Snow Quality for the Aspen Ski area in the years 2030 and 2100, Cold Regions Science and Technology 51, pp: 219-228.
- 20- Morrison, J., Quick, M.C. and Foreman M.G.G. (2000). Climate Change in the Fraser River watershed Flow and temperature projections, Journal of Hydrology, 263 :pp230-244.
- 21- Rasco, P., Szeidl, L., and Semenov, M.A. (1991). A serial approach to local stochastic models. Journal of Ecological Modeling 57: pp 27-41.

- 22- Semenov, M.A. (2007). Development of high-resolution UKCIP02-based climate change scenarios in the UK, *Journal of Agricultural and Forest Meteorology*, 144,pp 127-138.
- 23- Semenov, M.A. (2008). Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, *Climate Research*, 35,pp 203-212.
- 24- Semenov, M.A.,and Brooks, R.J.(1999).Spatial interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain. *Climate Research* 11,pp: 137-148.
- 25- Wilby, R.L., C.W. Dawson and E.M. Barrow. (2002). SDSM- A Decision Support Tool for the Assessment of Regional Climate Change Impacts. *Journal of Environmental Modeling and Software*, 17,pp: 147-159
- 26- Wilks, D. S. (1992). Adapting stochastic weather generation algorithms for climate change studies. *Journal of Climate Change*. 22,pp:67-84





پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی