

واکاوی و پیش‌یابی اثر گرمایش جهانی بر مولفه‌های فرین آب و هوایی آبادان

حسین محمدی، استاد آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، ایران
فرامرز خوش اخلاق، استادیار آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، ایران
محمد امین حیدری¹، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، ایران
مرضیه غیاث الحسینی، دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، ایران

چکیده

در این پژوهش که به منظور واکاوی و پیش‌یابی تغییرات فرین آب و هوایی منطقه آبادان صورت گرفته است، از داده‌های دوره آماری 1951 تا 2010 ایستگاهی و همچنین با استفاده از مدل MAGICC-SCENGEN و با بکارگیری داده‌های مدل‌های GISS-ELT و CNRM-CM3 به منظور شبیه‌سازی بارش و مدل INMCM-30 به منظور شبیه‌سازی دما تحت سناریو P50 انجام شده است. به منظور روندیابی تغییرات از روش ناپارامتریک من-کندال و به منظور سنجش عملکرد مدل از مقادیر شاخص‌های آماری RMSE و MBE استفاده گردید. بر اساس نتایج به دست آمده آستانه بیشینه دمای بیش از 43 درجه سلسیوس بیشترین افزایش و همچنین آستانه‌های مربوط به دمای کمینه نیز روند افزایشی داشته‌اند. رطوبت نسبی منطقه در هر چهار شاخص مورد مطالعه روند کاهشی داشته و تغییرات بارش منطقه گویای تمرکز بیشتر بارش در ماه‌های سرد سال و کاهش بارش‌های بهاری در ماه‌های مارس تا مه و همچنین افزایش بارش‌های شدید، و افزایش مقدار بارش متوسط روزانه می‌باشد. به نظر می‌رسد افزایش دما، کاهش رطوبت و افزایش اندک بارش به همراه تمرکز بیشتر آن در چند ماه و روند کاهشی معنی‌دار تعداد روزهای با بارش کمتر از 5 میلی‌متر در روز و روند معنی‌دار افزایشی بارش‌های با بیش از 15 میلی‌متر در روز گویای ناهنجار شدن اقلیم این منطقه می‌باشد. همچنین بر اساس نتایج به دست آمده مدل بکارگرفته شده در این پژوهش اگرچه دارای مقادیر محسوسی خطا می‌باشد، اما در مجموع برآوردهای آن قابل پذیرش می‌باشد.

کلمات کلیدی: گرمایش جهانی، رخدادهای فرین، MAGICC-SCENGEN، آبادان

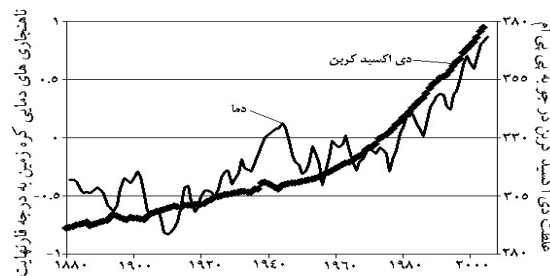
مقدمه

گرمایش جهانی پدیده‌ای است که منجر به گرم شدن سطح زمین و جو گردیده است. گرمایش جهانی و روندهای معنی‌دار دما و بارش در نقاط مختلف کره زمین به عنوان مهم‌ترین سیماهای تغییر اقلیم در دهه‌های اخیر محسوب می‌شوند. در سال‌های اخیر به ویژه از سال 1980 به بعد دمای کره زمین به طور مرتب افزایش یافته است (شکل 1). طبق گزارش هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC, 2007)، آهنگ گرم شدن زمین در سال‌های 1995-1900 بین 0/3 تا 0/6 درجه سلسیوس برآورد شده است. با شروع انقلاب صنعتی و استفاده بی‌رویه از سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و تخریب مراتع به ویژه در مناطق پُرباران حاره‌ای، میزان CO₂ به صورت نمایی افزایش یافته به طوری که مقدار دی‌اکسید کربن جو از سال 1900 به بعد حدود 18% یعنی از 296 ppm به 346 ppm در سال 1997 رسیده است (محمدی، 1386). نکته قابل توجه این است که روند گرمایش جهانی همراه با افزایش CO₂ جو تشدید شده است (چانگ¹، 2005). مبحث گرمایش جهانی که امروزه اقلیم‌شناسان به صورت یک رخداد مسلم به آن می‌نگرند در مناطق مختلف کره زمین به اثبات رسیده و امروزه عمده پژوهش‌های اقلیم‌شناسان در پی شناسایی پیامدهای ناشی از گرمایش جهانی و چگونگی روند آن در آینده است. گرم شدن زمین به دلیل آثار محیطی و اقتصادی - اجتماعی آن و نیز به دلیل تاثیر آن در برنامه‌ریزی‌های خُرد و کلان طی چند دهه اخیر مورد توجه محافل علمی بوده است (فائمی و عساکره، 1382).

بررسی تغییرات زمانی دما و بارش ایران با استفاده از آزمون‌های آماری در قالب مدل‌های ثابت و متغیرحاکمی از آن است که این تغییرات در اکثر موارد معنی‌دار بوده و در قالب حرکات تصادفی، تغییرات رونددار، نوسانات فصلی و تغییرات دوره‌ها ظاهر می‌گردد (جاوری، 1382). نتایج بسیاری از تحقیقات بیانگر این است که اقلیم قرن 21 بسیار متفاوت از اقلیم قرن 20 خواهد بود که این حالت بیانگر اثر فعالیت‌های

1 - Chang

انسانی در شرایط اقلیمی است. بررسی‌های جدید افزایش در متوسط جهانی دما در حدود 0/4 تا 0/8 درجه در طی قرن 20 را نشان می‌دهد (IPCC,2001).



شکل 1. روند افزایش جهانی میزان CO₂ جو و اثر آن بر گرم شدن زمین

(IPCC,2007.P246)

براتی و جهادی طرقي (1378) روند تغییرات دما و بارش شهر مشهد را در دوره 1951-1994 با استفاده از تحلیل رگرسیونی و هموارسازی بررسی کردند و نشان دادند که دما و بارش شهر مشهد روند افزایشی دارد.

کاویانی و عساکره (1380) روند گرمایش جاسک را نسبت به مشهد با قطعیت بیشتری تشخیص دادند.

روشنی (1382) در بررسی چند متغیره اقلیمی ساحل جنوبی دریای خزر با استفاده از روش ناپارامتری من- کندال نشان داد که زمان شروع بیشتر تغییرات به صورت ناگهانی بوده و این تغییرات به دو صورت روند و نوسان ظاهر می‌گردند.

کاویانی (1382) در بررسی آماری بلند مدت بارش اصفهان، نشان داد که خط روند حاصل از آزمون رتبه‌ای در سطح 0/05 معنادار نبوده و بارش اصفهان طی 103 سال گذشته دارای رفتار پایدار بوده است.

خسروی و همکاران (1382) در بررسی انطباق سری زمانی مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین نتیجه گرفتند که مدل روند نمایی در پیش‌بینی دمای قرن 21 مشهد با برخی از سناریوها و مدل‌های خوشبینانه IPCC و دیگر موسسات جهانی مطابقت دارد.

عساکره (1383) تغییرات میانگین سالانه دمای شهر زنجان طی دهه‌های اخیر را تحلیل آماری کرده است. نتایج وی، روند کاهشی دمای سالانه شهر زنجان را طی دهه‌های گذشته نشان می‌دهد؛ اما در دهه آخر یعنی 2000-1991 روند آن تغییر جهت داده است.

محمدی و تقوی (1384) در بررسی روند شاخص‌های حدی بر اساس سری‌های زمانی روزانه دما و بارش در ایستگاه تهران در دوره آماری 1951-2003 با استفاده از توزیع دنباله‌های حدی گرم و سرد به این نتیجه رسیدند که روند دمای کمینه و متوسط روزانه کاملاً افزایشی است؛ اما روند دمای حداکثر، شیب کمتری دارد. ورشوایان (1386) به بررسی روند تغییرات مقادیر دماهای حدی کمینه و بیشینه در هشت ایستگاه دارای آمار درازمدت 44 ساله در ایران با استفاده از روش‌های پارامتری و ناپارامتری پرداخت. نتایج مطالعه وی نشان داد که روند تغییرات مثبت است. شاه کرمی و همکاران (1386)، سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارش درحوضه زاینده‌رود را با استفاده از هفت مدل اقلیمی AOGCM و سناریو انتشار A2 تا افق 2100 تولید کردند و نشان دادند مدل HadCM3 عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌ها از خود نشان می‌دهد.

بابائیان و همکاران (1386)، از مدل ENCHO-G تحت سناریوی A1 برای ارزیابی تغییرات اقلیمی 43 ایستگاه سینوپتیک ایران با استفاده از روش ریز مقیاس نمایی آماری مدل LARS-WG استفاده کردند. نتایج کلی بررسی آن‌ها برای دهه 2020 نشان از کاهش 9 درصدی بارش و افزایش میانگین سالانه دما در حدود 0/5 درجه سلسیوس است که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به ماه‌های سرد سال می‌باشد. مساحب وانیومرید (1386)، تاثیر تغییر اقلیم را در دوره 2010-2039 و 2099-2070 بر منابع آبی زاینده‌رود را مورد بررسی قرار دادند.

خردادی و همکاران (1386) در مطالعه‌ای روند تغییرات مقادیر ماهانه عناصر رطوبت نسبی، دما، سرعت باد و بارش را در سه ایستگاه تهران، شیراز و مشهد مورد

بررسی قراردادند و به این نتیجه رسیدند که رطوبت نسبی دارای روند کاهشی است. بنایان و همکاران (1389) در بررسی نوسان‌های اقلیمی شمال شرق ایران روند شاخص‌های دما، رطوبت و بارش را به ترتیب افزایشی، کاهشی و بدون روند تشخیص دادند.

محمدی (1389) در تحلیل روند بارش سالانه ایران نشان داد که در سری‌های زمانی میانگین ایستگاهی و یاخته‌ای بارش ایران روند افزایشی یا کاهشی معنی‌داری در سطوح اطمینان 99% و 95% وجود ندارد.

هولم و همکاران (1994) در مطالعه‌ای بر روی آب اقیانوس‌ها با استفاده از نقشه‌های رطوبت، دما، باد و سری‌های زمانی داده‌ها در سال‌های 1973-1958، نشان دادند که افزایش دمای آب دریاها کاملاً محسوس بوده و در این میان فصول زمستان و تابستان از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. همچنین تغییرات دما و بارش معنی‌دار است.

روشن و همکاران (1390)، با آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیش‌یابی مقادیر دما و بارش ایران، تحت شرایط گرمایش جهانی دریافتند که نتایج شبیه‌سازی دما و بارش برای سال‌های 2025 و 2050 توسط مدل‌های پیشنهادی، به ترتیب نشان‌دهنده افزایش بارش به میزان 2/5 و 3/70 درصد و دمای کشور به میزان 1/3 و 2/5 درجه سلسیوس برای سال‌های 2025 و 2050 بوده است. در این زمینه حمیدیان‌پور و همکاران (1392) به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاغان نیشابور با استفاده از مدل HadCM3 پرداختند. نتایج، نشان از کاهش بارش در دوره 2011-2040 بر اساس دو سناریو A2 و B2 به میزان به ترتیب 19/68 و 18/84 درصد برای حوضه بار و برای حوضه طاغان به میزان 35/9 و 29/2 درصد نسبت به دوره 1971-2000 بود. دارند (1392) در پژوهشی در ارومیه طی دوره 1961 تا 2005 دریافت که نمایه‌های فرین گرم روند صعودی و نمایه‌های فرین سرد روند نزولی را تجربه کرده‌اند.

پورعلی حسین و مساح بوانی (1392) در تحلیل اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره 2013-2022 مشاهده کردند که دما $2/9 - 3/15$ درجه افزایش و مقدار بارش 75-150 میلی‌متر کاهش خواهد داشت.

وان و همکاران (2000) در مطالعه انجام شده در کانادا به این نتیجه رسیدند که کاهش محسوس در میزان رطوبت نسبی طی دوره 2003-1953 رخ داده است.

براهماناندا و همکاران (2006) در تحلیل روند افزایشی بارش در شمال شرق برزیل و در رابطه با خشکسالی‌های منطقه ساهاران، نشان دادند که موقعیت جنوبی‌تر کمربند همگرایی حاره‌ای از نرمال خود در اقیانوس اطلس احتمالاً علت افزایش (کاهش) اخیر روند بارش در شمال شرق برزیل (سahاران) بوده است.

ابوطالب و همکاران (2007) طی مطالعه‌ای در مورد تغییرات رطوبت نسبی در اردن به این نتیجه رسیدند که روند تغییرات سالانه و فصلی رطوبت نسبی افزایشی بوده است.

تنکاز و همکاران (2007) در واکاوی فشار بخار آب و رطوبت نسبی در مناطق نیمه‌خشک ترکیه به این نتیجه رسیدند که فشار بخار آب در طول دوره پژوهش دارای روند افزایشی و نم نسبی دارای روندکاهشی بوده است. فیداس و همکاران (2007) تحلیل سری زمانی بارش 50 ساله یونان را در ارتباط با شاخص‌های گردش جو بررسی کردند. آن‌ها با انجام دو آزمایش کمینه مربعات و من-کندال بر روی داده‌های بارش یونان دریافتند که روند بارش سالانه و زمستانه یونان از 1984 به بعد کاهش یافته است.

لازار و همکاران (2008) با استفاده از مدل MAGICC-SCENGEN تأثیرات تغییر اقلیم ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای را بر روی کمیت و میزان تراکم برف و همچنین تغییرات زمانی رخداد بهمن در منطقه کوهستانی Aspen در برای سال‌های 2030 و 2100 پیش‌یابی کردند. استر (2008) در تحقیقی، واکنش مدل‌های هیدرولوژی به تغییر اقلیم را در دو حوضه آبخیز جنوبی و مرکزی شیلی بررسی کرد و با

استفاده از الگوی MAGICC-SCENGEN تاثیر تغییر اقلیم بر حوضه را تعیین نمود. نتایج، نشان‌دهنده کاهش میانگین دبی حوضه‌ها در دهه‌های آینده است.

آندروس (2009) در مطالعه‌ای با عنوان مهندسی اقلیم و ریسک سرعت تغییر اقلیم، با استفاده از مدل اقلیمی MAGICC SCENGEN، آهنگ تغییرات دما را بر ایده‌های آینده برآورد کرده است.

فلاو و همکاران (2010) در پژوهش خود با استفاده از روش سری‌های زمانی غیرخطی و کمینه مربعات به بررسی گرمایش جهانی در کره زمین پرداختند.

ژائو و همکاران (2012) به تحلیل منطقه‌ای نمایه‌های فرین دمای حوضه رودخانه‌های چین طی دوره 1960-2010 پرداختند. نتایج نشان داد که در سراسر حوضه نمایه‌های فرین سرد روزهای یخبندان، روزهای یخی، شب‌های سرد، دوام امواج سرما و ودامنه دمای شبانه روزی روند منفی معناداری را نشان می‌دهند، در حالی که نمایه‌های گرم فرین از جمله روزهای تابستانی طول دوره رشد، میانگین دمای بیشینه، میانگین دمای کمینه، کوچک‌ترین دمای کمینه، شب‌های گرم، روزهای گرم و امواج گرما روند مثبت و معناداری را نشان می‌دهند. نرخ افزایش دمای کمینه بیشتر از دمای بیشینه است.

فریچ و همکاران (2013) به بررسی افزایش شدت رشد برف در چین و تبت در اثر گرمایش جهانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که گرمایش جهانی موجب کوتاه شدن دوره رشد این محصول شده است.

پالازولی و همکاران (2015) با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN به بررسی چشم‌انداز تغییرات بارش منطقه نیالتجت شرایط گرمایش جهان پرداختند و تغییرات آتی بارش این منطقه را با اثر منفی بر منابع آب این کشور تشخیص دادند.

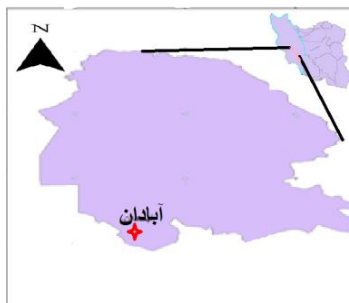
سوون و همکاران (2015) به بررسی تغییرپذیری‌های گذشته و آتی دما و بارش منطقه کامبودیا با استفاده از مدل MAGICC-SCENGEN پرداختند. رهان (2015) در پژوهشی به بررسی نتایج مدل‌سازی اقلیمی در رابطه با رخداد‌های فرین آب و هوایی در

حوضه یکی از رودخانه‌های بنگلادش پرداخت و نشان داد رخداد‌های فرین با رخداد گرمایش جهانی و اثرات آن در آینده افزایش خواهد یافت.

آنچه مسلم است تغییرات در فراوانی و شدت رخداد‌های فرین اثرات شدیدتری بر فعالیت‌های انسانی و محیط زیست نسبت به تغییرات در متوسط اقلیمی در کوتاه مدت خواهد داشت (محمدی و تقوی، 1384) و از آنجا که تغییرات کوچک در شرایط متوسط می‌تواند منجر به تغییرات بزرگتر در فراوانی مقادیر فرین شود، شناخت و بررسی تغییرات عناصر آب و هوایی در این منطقه از کشور (آبادان) در نتیجه پدیده گرمایش جهانی و اثرات آن بر دیگر شاخص‌های اقلیمی از جمله اهداف و ضرورت‌های این پژوهش است.

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه همدید آبادان در جنوب غربی ایران و در شمال غربی خلیج فارس و در موقعیت ریاضی 30 درجه و 22 دقیقه شمالی و 48 درجه و 15 دقیقه شرقی و با ارتفاع 6/6 متر از سطح دریا و در استان خوزستان قرار دارد که از بدو تاسیس تاکنون تغییری در موقعیت جغرافیایی خود نداشته است. این منطقه در چند دهه گذشته نوسانات آب و هوایی زیادی از جمله خشکسالی‌های طولانی مدت، بارش‌های شدید و کوتاه مدت، گرد و غبار و... را تجربه کرده است. شکل 2 موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل 2. منطقه مورد مطالعه در استان خوزستان.

داده‌ها و روش‌ها

وجود روند در یک سری زمانی به تنهایی نمی‌تواند دلیلی قاطع بر رخداد تغییر اقلیم در یک منطقه باشد؛ بلکه فرض وجود تغییر اقلیم را تقویت می‌کند (لتنمایر و همکاران، 1994). در این پژوهش به منظور شناسایی روند رخدادهای فرین مولفه‌های اقلیمی دما، بارش و رطوبت در دوره آماری 2010-1951 از روش آماری ناپارامتریک من-کندال استفاده شده است. دلیل انتخاب سه عنصر دما، رطوبت و بارش، علاوه بر اهمیت بسیار زیاد آن‌ها در آب و هوای یک منطقه، تاثیرپذیری زیاد این دو عنصر آب و هوایی از گرمایش جهانی نیز می‌باشد. بدین منظور، داده‌های دریافتی از سازمان هواشناسی کشور در پایگاه داده در برنامه اکسل وارد و پردازش اولیه انجام شد. بعد از محاسبه و تعیین شاخص‌های فرین آزمون روندیابی من-کندال با کمک برنامه Minitab بر روی مقادیر سالانه این شاخص‌ها صورت گرفت. در مرحله بعد برای شناسایی روند گرمایش زمین و اثر آن بر بارش با بکارگیری مدل MAGICC-SCENGEN برای دهه‌های آینده تا سال 2100 تغییرات برآورد گردید، ضمن این‌که به منظور سنجش عملکرد مدل از داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در دوره مشترک 2000 تا 2010 استفاده شد. در پایان ضمن واکاوی نتایج بدست آمده به مقایسه تطبیقی نتایج خروجی مدل‌های گردش عمومی جو با روند شاخص‌های بارش و دما در آبادان پرداخته شد.

آزمون من-کندال

آزمون من-کندال ابتدا توسط Mann (1945) ارائه گردید و سپس توسط Kendal (1975) بسط و توسعه یافت. این روش به طور متداول و گسترده در واکاوی روند سری‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی بکار گرفته می‌شود و یکی از روش‌های مهم آماری برای آزمون روند سری‌های زمانی محسوب می‌گردد (لتنمایر و همکاران، 1994).

از نقاط قوت این روش می‌توان به مناسب بودن کاربرد آن برای سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند، اشاره کرد. اثر پذیری ناچیز این روش از مقادیر فرین که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌گردد، نیز از دیگر مزایای این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر)، مبین وجود روند در سریداده‌ها می‌باشد. مراحل محاسبه مقدار آمار این آزمون به شرح زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر s به شرح زیر:

n تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری هستند که تابع علامت نیز به شرح زیر مورد محاسبه قرار می‌گیرد:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

ب) محاسبه واریانس توسط رابطه زیر انجام می‌شود:

$$\text{var}(s) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \sum_{t=1}^m t(t-1)(2t-5)}{10} \quad \text{if } n > 10$$

که n تعداد داده‌های مشاهده ای و m معرف تعداد سری‌هائی است که در آن‌ها کمینه یک داده تکراری وجود دارد. t بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است.

ج) استخراج آماره z به کمک یکی از روابط زیر:

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} & \text{if } s < 0 \end{cases}$$

در یک آزمون دودامنه‌ای برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر درحالتی پذیرفته می‌شود که رابطه زیر برقرار باشد:

$$|z| < Z_{\alpha/2}$$

که α سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می‌باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از استفاده شده است. در مطالعه حاضر، این آزمون برای سطوح اطمینان 95% استفاده شد. در صورتی که آماره Z مثبت باشد، روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود (قره‌خانی و همکاران، 1391).

مدل MAGICC-SCENGEN

به منظور برآورد تغییرات آتی شاخص‌های دما و بارش در منطقه پژوهش بهترین گزینه استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو است، اما از آن‌جا که استفاده از این مدل‌ها نیازمند اطلاعات و پردازنده‌های قدرتمندی است که بدان دسترسی نبود، از این‌رو با کمک خروجی‌های مدل‌های مذکور و با استفاده از مدل MAGICC-SCENGEN، می‌توان به نوعی به این هدف دست یافت. هرچند MAGICC مدل GCM نیست؛ اما از داده‌های برخی از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌کند تا رفتار مدل‌های GCM را بر روی مناطق مختلف جهان مدل‌سازی کند (ویگلی و همکاران، 2002). مدل MAGICC، متوسط سالانه دمای هوای سطح زمین و متوسط سالانه دمای سطح دریا را با کمک سناریوهای انتشارگازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسیدگوگرد محاسبه می‌کند (کاتنبرگ و همکاران، 1996)، (واریک و همکاران، 1996) و (راپر و همکاران، 1996). در مدل MAGICC-SCENGEN مجموع داده‌های اقلیمی جهانی با قدرت تفکیک 2/5 درجه طول و عرض جغرافیایی برای سه متغیر اقلیمی دمای میانگین، بارش و پوشش ابر وجود دارند، اما داده‌های مشاهده‌ای اقلیمی با تفکیک 0/5 درجه

جغرافیایی فقط برای 4 منطقه بزرگ اروپا، جنوب آسیا، امریکا و افریقای جنوبی در دسترس هستند (ویگلی و همکاران، 2003). در پژوهش حاضر با توجه به نتایج کار روشن و همکاران (1390) مدل‌های GISS-ELT و CNRM-CM3 به منظور شبیه سازی بارش و مدل INMCM-30 برای شبیه سازی دما تحت سناریو P50 (میانگین سناریوهای بدینانه) که متوسط شرایط انتشار گازهای گلخانه‌ای و تبعات آن است در سه بازه زمانی 30 ساله مورد استفاده قرار گرفته است. روشن و همکاران (1390) در پژوهش خود مدل‌های بالا را بهترین مدل‌های گردش عمومی جو به منظور پیش‌بینی آینده دما و بارش ایران معرفی کردند.

سنجش عملکرد مدل

خطای جذر میانگین مربع‌ها یا انحراف جذر میانگین مربع‌ها¹ (RMSE) و میانگین خطای بایاس (MBE²) تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. RMSE و MBE ابزار خوب برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مدل هستند، از این رو در این پژوهش با استفاده از روابط زیر مقادیر مربوط به صحت سنجی عملکرد مدل مورد آزمون قرار گرفته است.

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{N} \right]^{1/2}$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n}$$

در این معادلات P_i مقدار برآورد شده توسط مدل، O_i مقدار اندازه‌گیری شده فراسنج مربوطه و n تعداد مشاهدات است. حد پایین RMSE و MBE صفر بوده و مقدار آن بیانگر این است که مقادیر پیش‌بینی شده چقدر از مقادیر مشاهده شده انحراف دارد (لازار، 2008).

1-Root Mean Square Error

2- Mean Bias Error

شاخص‌های فرین

دگرگونی در آهنگ تغییرپذیری و فراوانی رخداد‌های فرین می‌تواند اثرات و آسیب‌های شدیدتری نسبت به تغییرات در متوسط مولفه‌های اقلیمی داشته باشد (IPCC, 1996). از دیدگاه اقلیمی گاه حوادثی رخ می‌دهد که دور از انتظار بوده و با شرایط اقلیمی منطقه کمتر تطابق دارد که به آن حادثه فرین گفته می‌شود؛ اما از دیدگاه آماری میزان کمی از این حوادث فرین در ناحیه بالایی و پایینی و آستانه‌های خاصی از توزیع آماری قرار گرفته است (برگرفته از رحیم‌زاده، 1390). به طور کلی نمایه‌های فرین در پنج دسته مطرح می‌شوند:

الف) نمایه‌های فرین مبتنی بر صدک‌ها یا دهک‌ها، این دست نمایه‌ها بنا بر ماهیت نسبی و مقایسه‌ای خود با داده‌های مشابه همانا یستگاه، از کارایی ویژه‌ای برخوردار هستند.

ب) نمایه‌های فرین مطلق که شامل بالاترین و پایین‌ترین دماهای بیشینه و کمینه در یکسال، فصل و یا ماه هستند.

ج) نمایه‌های فرین آستانه‌ای، این دسته شامل تعداد روزهایی است که فراسنج مورد نظر از یک آستانه ثابت عبور می‌کند. این مقادیر آستانه‌های در سطح جهانی تعریف شده‌اند، اما سازمان‌های ملی و منطقه‌ای می‌توانند با توجه به نیازهای محلی و ماهیت اقلیمی منطقه‌شان، آستانه‌های بومی دیگری را نیز تعریف کرده و از آنها استفاده کنند (پیترسونوهمکاران، 2002).

د) نمایه‌های فرین دوره‌ای، این نمایه‌ها شامل یک دوره خاص مانند طول مدت سرما یا گرما و... هستند که بعضی از این نمایه‌ها قابلیت کاربرد جهانی ندارند.

ه) نمایه‌های دیگر این دسته شامل نمایه‌هایی چون دامنه تغییرات شبانه روزی دما (DTR) و دامنه فرین دمای سالانه (TXx-TNn-ETR) است (سانگ، 2007 به نقل از رحیم‌زاده، 1388).

با توجه به ماهیت و هدف پژوهش، از ترکیب دو دسته از شاخص‌های فرین معرفی شده در بالا (شاخص‌های دهکی و فرین آستانه‌ای) استفاده شده است: زیرا به نظر می‌رسد تعریف یک آستانه بر اساس رفتار گذشته همان ایستگاه، در سنجش رفتار گذشته و آینده آن نتیجه بهتری را ارائه می‌کند. در این پژوهش به منظور مقایسه تغییرات فراسنج‌ها با داده‌های دراز مدت خود ایستگاه، سعی شد تا از ترکیب نمایه‌های فرین مبتنی بردهک‌ها با نمایه‌های فرین آستانه‌ای و براساس داده‌های منطقه مورد بررسی استفاده شود. از این رو نمایه‌های آستانه‌ای، مبین تعداد روزهایی هستند که فراسنج اقلیمی مورد مطالعه از یک آستانه ثابت عبور کند که انتخاب این نمایه‌ها با توجه به نیازهای محلی و ماهیت اقلیمی صورت می‌پذیرد (پترسون و همکاران، 2002 و به نقل از رحیم‌زاده، 1390).

به این ترتیب برخی از شاخص‌های تعریف شده جهانی مانند تعداد روزهای همراه با دمای زیر صفر یا تعداد شب‌های حاره‌ای (TR20) با شرایط اقلیمی منطقه سازگاری نداشته و به جای آن از توزیع آماری دهک‌ها استفاده شده است. شاخص‌های فرین به کارگرفته شده از داده‌های دراز مدت ایستگاه برآورد گردیده و به نوعی آستانه‌های بومی سازی شده منطقه مورد مطالعه محسوب می‌شوند.

تغییرات فرین دما، بارش و رطوبت در بحث نوسانات یا تغییرات اقلیمی بسیار مهم و از شواهد اصلی تغییر وضعیت بهنجار محسوب می‌شوند. در این جا علاوه بر روند متوسط سالانه، کمینه و بیشینه دما از روش دهک‌ها برای تعیین فرین‌های دمایی استفاده شده است. عموماً، دهک دوم و دهک نهم به منظور شناسایی روند شاخص‌های فرین کمینه‌ها و بیشینه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. نمایه‌های فرین ساده، شفاف و مبتنی بر داده‌های بلند مدت و همگن، وضعیت رخداد‌های فرین را بیان می‌کنند (پترسون و همکاران، 2001). این نمایه‌ها باید جنبه‌هایی از رخداد تغییر اقلیم و تأثیرات آن را نمایش دهند (فریج، 2013). آستانه‌هایی که به منظور مطالعه رفتار فراسنج‌های دما و

بارش و رطوبت براساس ترکیب دو الگو منتخب شاخص‌های حدی انتخاب شده‌اند، در جدول 1 تا 3 به صورت خلاصه آورده شده است.

جدول 1. شاخص‌های مربوط به دما

دما به درجه سلسیوس	اساس منطقی آستانه	دما به درجه سلسیوس	اساس منطقی آستانه
15/4	دهک دوم بیشینه دمای روزانه	4/2	دهک دوم کمینه دمای روزانه
33/8	دهک پنجم بیشینه دمای روزانه	18/7	دهک پنجم کمینه دمای روزانه
43	دهک نهم بیشینه دمای روزانه	26/4	دهک نهم کمینه دمای روزانه

جدول 2. شاخص‌های مربوط به بارش

بارش به میلی‌متر	اساس منطقی آستانه	بارش به میلی‌متر	اساس منطقی آستانه
15	دهک پنجم متوسط بیشینه روزانه	<1	تعداد روز بارانی
15-5	بارش متوسط روزانه تا سنگین	-	مجموع بارش سالانه
5	متوسط بارش روزانه دوره	-	متوسط بارش روزانه سالانه

جدول 3. شاخص‌های فراسنج رطوبت

رطوبت نسبی	اساس منطقی آستانه	رطوبت نسبی	اساس منطقی آستانه
30	دهک پنجم کمینه روزانه رطوبت	46	دهک پنجم رطوبت نسبی سالانه
60	دهک پنجم بیشینه روزانه رطوبت	-	متوسط سالانه رطوبت نسبی

یافته‌ها

بررسی روند شاخص‌های دما، بارش و رطوبت

روند تعداد روزهای با دمای بیشینه روزانه بالاتر از 43 درجه سلسیوس افزایشی است، در حالی که در سایر طبقات دمای بیشینه در سطح 95 درصد، روند معنادار ندارد. شاخص متوسط سالانه دمای بیشینه روزانه نیز روند افزایشی را نشان می‌دهد، در مجموع می‌توان گفت دمای بیشینه روزانه ایستگاه آبادان در حال افزایش است

(جدول 4). دمای کمینه روزانه نیز در تمام طبقات مورد بررسی روند افزایشی را نشان می‌دهد. در نتیجه این روند افزایشی، متوسط سالانه دمای کمینه روزانه نیز در سطح مورد بررسی معنی‌دار است و در مجموع متوسط سالانه دما در طول 60 سال اخیر روند افزایش را طی کرده است.

روند رطوبت منطقه در طول دوره مورد مطالعه در مجموع، کاهش‌ی است. روند افزایشی تعداد روزهای با رطوبت نسبی کمتر از 30% و روند کاهش‌ی تعداد روزهای با رطوبت نسبی بیش از 46% و روند کاهش‌ی متوسط سالانه رطوبت نسبی نشان می‌دهد که کاهش رطوبت در تمام ایام سال و در هر طبقه رطوبتی صورت گرفته که گویای خشک‌تر شدن منطقه در سال‌های اخیر است.

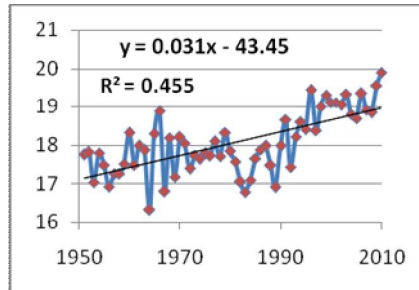
روند افزایشی در تمام شاخص‌های فرین بارش به همراه روند افزایشی مجموع بارش سالانه و تعداد روز بارانی، گویای افزایش بارش منطقه است. اما نکته قابل توجه تعداد روزهای با بارش کمتر از 5 میلی‌متر است که بدون روند بوده و نشان می‌دهد افزایش بارش در تعداد روزهای با بارش کمتر از 5 میلی‌متر (میانگین بارش روزهای بارانی منطقه 5 میلی‌متر است) صورت نگرفته است. این موضوع شاهدهی بر عدم پخش بارش و تمرکز بیشتر و افزایش شدت بارش است، همان‌گونه که شاخص متوسط بارش روزانه با روند افزایشی تاییدی بر این ادعا است که بارش‌های آبادان در 60 سال اخیر متمرکز و شدیدتر شده‌اند. شکل‌های 3 تا 6 روند بعضی از شاخص‌ها را در قالب نمودار نشان می‌دهد.

جدول 4. نتایج روندیابی شاخص‌های دما، بارش و رطوبت آبادان در دوره آماری 1951-

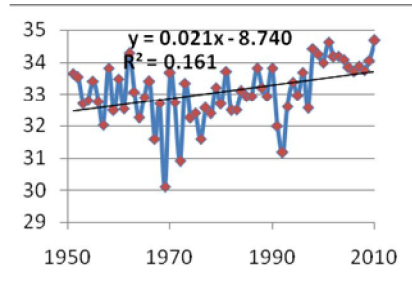
2010 در سطح معناداری 0/95 با روش آماری من-کنندال

روند	شاخص	روند	شاخص	
B	تعداد روزهای با دمای کمینه کمتر از 4/16°C	C	تعداد روزهای با دمای بیشینه کمتر از 15/4°C	دما
A	متوسط سالانه دمای بیشینه روزانه	A	تعداد روزهای با دمای بیشینه بیشتر از 43°C	
A	متوسط سالانه دمای کمینه روزانه	C	تعداد روزهای با دمای بیشینه بیشتر از 33/8°C	
A	متوسط سالانه دما	A	تعداد روزهای با دمای کمینه بیشتر از 26.4°C	
		A	تعداد روزهای با دمای کمینه بیشتر از 18/7°C	
B	متوسط سالانه رطوبت نسبی	A	تعداد روزهای با رطوبت نسبی کمتر از 30%	
B	تعداد روزهای با رطوبت نسبی بیشتر از 46%	C	تعداد روزهای با رطوبت نسبی بیشتر از 60%	
C	تعداد روزهای با بارش کمتر از 5 میلی‌متر	A	تعداد روزهای با بارش بیشتر از 15 میلی‌متر	بارش
A	تعداد روز بارانی	A	تعداد روزهای با بارش بین 5-15 میلی‌متر	
A	مجموع بارش سالانه	A	متوسط بارش روزانه	

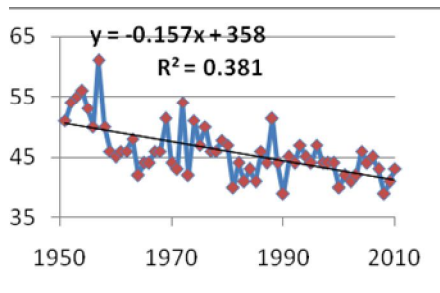
** A روند افزایشی، B روند کاهش و C بدون روند **



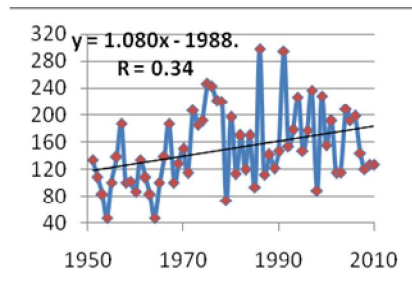
شکل 4. روند معنی‌دار تغییرات متوسط دمای کمینه در سطح 95%



شکل 3. روند معنی‌دار تغییرات متوسط دمای بیشینه در سطح 95%



شکل 6. روند معنی‌دار تغییرات رطوبت نسبی سالانه در سطح 95%



شکل 5. روند معنی‌دار تغییرات بارش سالانه در سطح 95%

نتایج مدل‌های گردش عمومی جو در آبادان

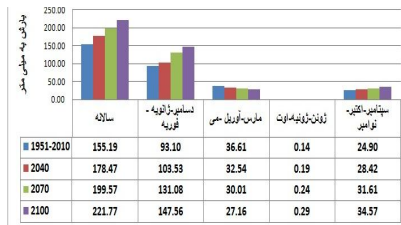
در جدول 5 نتایج خروجی مدل‌سازی برای دهه‌های 2040، 2070 و 2100 به عنوان متوسط دهه‌های آتی تا پایان قرن 21 آمده است.

1- با توجه به تعداد داده مقدار آستانه بحرانی معنی‌داری روند در سطح 95% در تمامی نمودارهای این پژوهش $R=0.31$ است.

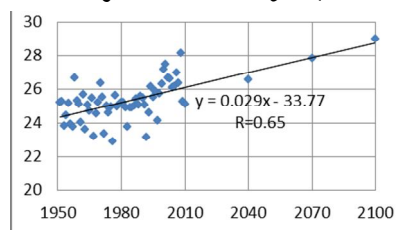
جدول 5. نتایج خروجی مدل‌های گردش عمومی جو تحت سناریوی P50 در دهه‌های آینده منطقه آبادان

تغییرات درصدی بارش نسبت به دوره 1990-1960			تغییرات دما به درجه سلسیوس نسبت به دوره 1990-1960			بازه زمانی
2100	2070	2040	2100	2070	2040	
58/5	40/8	11/2	2/88	2/31	1/01	دسامبر، ژانویه، فوریه
-25/5	-18	-11/1	3/91	2/72	1/42	مارس، آوریل، مه
110	77	40/2	4/55	3/17	1/66	ژوئن، ژوئیه، اوت
38/9	27	14/2	3/33	2/23	1/21	سپتامبر، اکتبر، نوامبر
42/9	28/6	15	3/65	2/55	1/33	سالانه

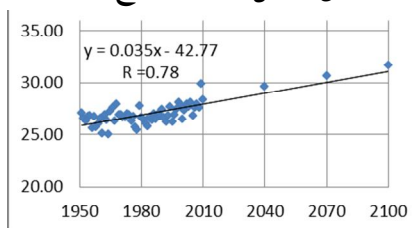
در این بخش روند دما و بارش رخ داده در منطقه در دوره 1950-2010 نمایش داده شده و سه بازه 30 ساله نیز برای سال‌های ۲۰۴۰، ۲۰۷۰ و 2100 به صورت سه ماهه و فصلی و به کمک مدل MAGICC-SCENGEN برآورد گردیده است. خروجی مدل MAGICC-SCENGEN نشان می‌دهد روند افزایشی دمای هوا به طور متوسط در دهه‌های آینده ادامه خواهد داشت. متوسط دمای آبادان در دهه 2040 به 28 و در دهه 2070 به 29/5 و در پایان سده حاضر به 30/5 درجه سلسیوس خواهد رسید. مقایسه اعداد پیش‌یابی شده قبل با متوسط دمای 60 ساله آبادان (26/5 درجه سلسیوس) حدود 4 درجه سلسیوس افزایش دما، در طی حدود یک سده را هشدار می‌دهد که مسلماً در فرین‌های بالا افزایش شدیدی خواهد داشت.



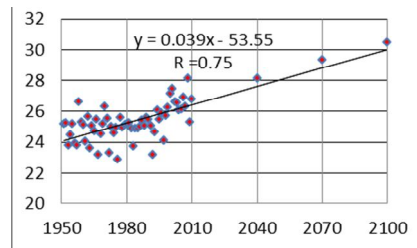
شکل 8. تغییرات بارش 90 سال آینده نسبت به متوسط 60 سال اخیر



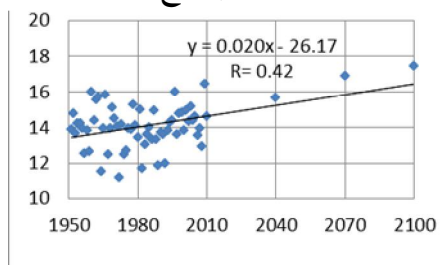
شکل 10. روند معنی دار متوسط دما ماه‌های مارس، آوریل و مه در سطح 95%



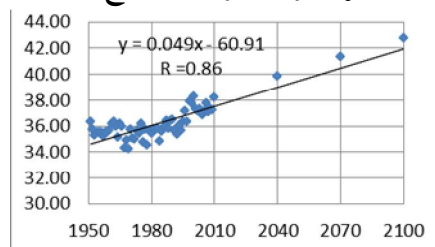
شکل 12. روند معنی دار متوسط دمای ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر در سطح 95%



شکل 7. روند معنی دار متوسط دما سالانه 1951-2100 در سطح 95%



شکل 9. روند معنی دار متوسط دما ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه در سطح 95%



شکل 11. روند معنی دار متوسط دمای ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت در سطح 95%

شکل 7 روند خطی دمای آبادان و افزایش دمای سالانه از سال 1951 تا 2100 را به تقریب نشان می‌دهد. همچنین این نمودار افزایش دمای سالانه در دهه اخیر که به نوعی یک جهش حدی محسوب می‌شود را به اثبات می‌رساند. روند متوسط دمای ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه که طبق خروجی مدل مورد بررسی و همچنین با توجه به

شرایط اقلیمی منطقه سردترین ماه‌های سال محسوب می‌شوند نیز روند افزایشی شدیدی در دهه‌های اخیر و آینده نشان می‌دهد. مطابق شکل 9 متوسط دما در ماه‌های مورد بررسی در دهه 1980، 14 درجه و در دهه اول قرن 21 به 14/8 درجه و طبق پیش‌یابی مدل در 2070، 2040 و 2100 به ترتیب به 15/9، 17 و 17/5 درجه سلسیوس خواهد رسید. افزایش 2/7 درجه‌ای دمای فصل سرد، زمستان‌های معتدل‌تری را برای آبادان نشان می‌دهد.

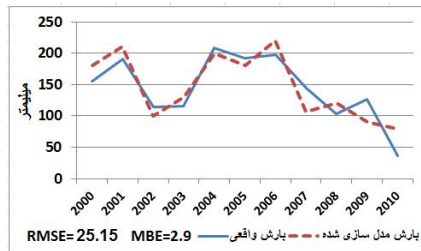
شکل 10، متوسط دمای ماه‌های مارس، آوریل و مه در 60 سال گذشته و 90 سال آینده را نشان می‌دهد. متوسط این ماه‌ها در دهه 1980 و دهه اول سده 21 به ترتیب 25 و 26/2 درجه سلسیوس بوده است که پیش‌یابی می‌شود در دهه‌های 40 و 70 دهه آخر سده 21 متوسط دمای آبادان در این ماه‌ها به ترتیب به 26/6، 28 و 29 درجه سلسیوس برسد. ماه‌های مورد بررسی را می‌توان بهار منطقه آبادان دانست که در طول کمتر از یک سده به طور متوسط بیش از 3 درجه سلسیوس افزایش دما خواهند داشت. روند متوسط دمای ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت به عنوان گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد بررسی روند گرمایش شدیدی را نشان می‌دهند. شکل 11 نشان می‌دهد این ماه‌ها به طور متوسط در 60 سال اخیر نوسانات دوره‌ای دمایی داشته‌اند، اما در مجموع روند کلی آن‌ها به ویژه بعد از دهه 1980 افزایشی بوده است. نسبت به دهه 1980 در سال 2100 دمای هوا 6 درجه گرم‌تر خواهد شد.

شکل 12 روند سالانه متوسط دمای ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر را نشان می‌دهد. روند کلی دمای این ماه‌ها نیز بعد از دهه 1980 کاملاً جهت افزایشی به خود گرفته است. پیش‌بینی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو این است که روند افزایشی دما در این ماه‌ها موجب می‌شود تا سال‌های 2040 و 2070 و 2100 به ترتیب به دماهای 29/6 و 30/6 و 31/7 برسد که در مقایسه دهه 1980 و دهه اخیر دماها به ترتیب 26/6 و 27/9 درجه بوده است. از این رو می‌توان به افزایش 3 درجه‌ای دما در این ماه‌ها در مدت کمتر از 9 دهه آینده اشاره کرد.

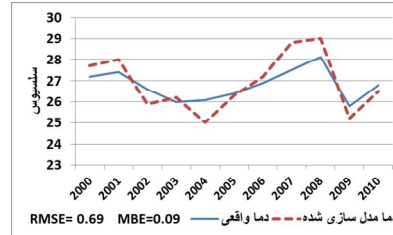
طبق پیش‌بینی مدل‌های گردش عمومی جو در منطقه مورد بررسی تغییرات بارشی زیادی در نتیجه گرمایش جهانی رخ خواهد داد. شکل 8 نشان می‌دهد روند مجموع بارش سالانه در دهه‌های 2040 و 2070 و 2100 کاملاً افزایشی خواهد بود. نکات قابل تامل در بررسی روند بارش در سه بازه پیش‌گفته نسبت به متوسط 60 ساله مجموع بارش سه ماهه دیده می‌شود که در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه بر میزان بارش افزوده خواهد شد، در حالی که در ماه‌های مارس، آوریل و مه بارش کاهش می‌یابد. در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت بارش افزایش چندانی ندارد و کمتر از یک میلی‌متر باقی می‌ماند. در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر نیز روند افزایشی اندکی دیده می‌شود. به نظر می‌رسد در مجموع در دهه‌های آینده بارش منطقه افزایش یابد، اما پراکنش زمانی آن بسیار کمتر گردد. البته بارش‌های بهاره نیز در منطقه روند کاهشی دارند و روند افزایشی بارش‌های پاییزه نیز بسیار کم است. در مجموع در ماه‌های سرد سال به صورت متمرکز و شدید مقدار بارش افزایش می‌یابد.

صحت‌سنجی عملکرد مدل

شکل‌های 13 و 14 نتایج تطبیق مقادیر واقعی و مدل‌سازی شده را نشان داده است. بر اساس نتایج ارائه شده اگرچه میزان مشخصی از برآورد دما و بارش سالانه در طول دوره 11 ساله از سال 2000 تا 2010 برای مدل قابل تشخیص می‌باشد، اما به نظر می‌رسد با توجه به پایین بودن مقادیر، خطا بر اساس شاخص‌های RMSE و MBE، به ویژه در مورد مولفه دما مدل عملکرد قابل‌پذیرشی را داشته است.



شکل 14. مقادیر مدل سازی و واقعی مجموع بارش سالانه ایستگاه



شکل 13. مقادیر مدل سازی و واقعی متوسط سالانه دمای هوا ایستگاه

نتیجه گیری

روند گرمایش جهانی در ایستگاه آبادان اثرات متعدد و قابل توجهی را بر شاخص‌های فرین دما، رطوبت و بارش داشته و خواهد داشت. در زمینه تطابق پیش‌یابی‌های خروجی مدل‌های GCM با روند کنونی منطقه پژوهش، می‌توان به نکات زیر اشاره کرد:

1. روند گرمایش در تمام فصول به نسبت‌های مختلف رخ داده است که در این زمینه در ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت بیشترین گرم شدن هوا نسبت به دهه‌های پیش از 1980 دیده می‌شود. ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه بیشترین تغییرات را در دمای متوسط سالانه نسبت به دیگر ماه‌ها از خود نشان می‌دهند. روند گرمایش در ماه‌های مارس، آوریل و مه نیز شدید و نگران‌کننده است.
2. طبق روند حال حاضر و نتایج معناداری روند دمای بیشینه و کمینه گرم‌ترین ماه‌های سال در دهه‌های آینده بیشترین افزایش دما را خواهند داشت. گرمایش جهانی بیشترین روند افزایشی را بر حد دمای 43 درجه سلسیوس داشته و در مورد دیگر حدهای بیشینه، روند معنی‌دار افزایش دما در سطح 95 درصد به دست نیامده است؛ ولی این روند در تمام حدهای دمای کمینه روزانه مشخص گردیده که بر خلاف دمای بیشینه، شاخص‌های حدی دمای کمینه در تمام ماه‌ها و در تمام فصل‌ها روند افزایشی نسبتاً مشابهی دارند.

3. روند کاهش رطوبت در هر چهار شاخص مورد بررسی در سطح خطای 0/05 نشان می‌دهد که رطوبت در منطقه در حال کاهش است و به نظر می‌رسد در این روند کاهش، روند افزایشی دما بسیار موثر بوده است، چنان‌چه تبخیر و تعرق پتانسیل منطقه در نتیجه افزایش دما افزایش خواهد یافت.
4. طبق خروجی مدل برای دهه‌های آینده افزایش بارش بیشتر محدود به ماه‌های سرد سال یعنی دسامبر، ژانویه و فوریه خواهد بود. در کنار این مسئله کاهش بارش در ماه‌های مارس، آوریل و مه همراه با افزایش کمتری در ماه‌های سپتامبر، اکتبر و نوامبر گویای تمرکز بیشتر بارش در ماه‌های سرد سال و کمبود بارش در دیگر ماه‌ها است. در مجموع بارش منطقه اگرچه طبق نتایج حاضر در حال افزایش است و در دهه‌های آینده نیز این افزایش ادامه خواهد داشت؛ اما عمده این افزایش در فصل سرد سال و احتمالاً به شکل بارش‌های شدید و سیلابی خواهد بود و به سهولت از دسترس خارج خواهد شد.
5. به نظر می‌رسد افزایش بارش پیش‌بینی شده با توجه به افزایش ضریب تغییرات آن در مقابل افزایش پایدار و کم تغییر دمای هوا، جواب‌گوی نیاز آبی ایجاد شده نخواهد بود و نهایتاً روند خشکی و کاهش رطوبت چند دهه اخیر در آینده مشکلات زیست محیطی متعددی را در منطقه مورد بررسی ایجاد خواهد کرد.
6. افزایش شدید دما در ماه‌های گرم سال که طی روند دهه‌های اخیر نیز مشخص شده و براساس خروجی مدل بکاررفته نیز برای دهه‌های آینده پیش‌یابی می‌شود نتایج دشواری برای آسایش اقلیمی و در نتیجه مصرف بیشتر انرژی فسیلی و الکتریکی برای دستگاه‌های خنک‌کننده را به دنبال خواهد داشت.
7. بر اساس نتایج به دست آمده از بررسی عملکرد مدل، مدل به کارگرفته شده در این پژوهش برای منطقه آبادان عملکرد نسبتاً مناسبی را داشته است، که مقادیر پایین RMSE و MBE به ویژه برای مولفه دما بیش از بارش صحت عملکرد مدل و نتایج ب دست آمده را نشان می‌دهد.

منابع

- بابائیان، ایمان، زهرا نجفی نیک، مجید حبیبی نوخندان، فاطمه زابل عباسی، حامد ادب و شراره ملبوسی، (1386)، مدل‌سازی اقلیم در دوره 2010-2039 با استفاده از ریز مقیاس نمایی آماری خروجیندل ECHO-G کارگاه فنی تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.
- براتی، غلامرضا و مهناز جهادی طرقي، (1378)، تعیین تغییرات دما و بارش شهر مشهد طی دوره آماری 1951-1994، فصلنامه جغرافیایی، شماره 54 و 55، صص 151-16.
- بنیان، محمد، و آزاده محمدیان، و امین علیزاده، (1389)، بررسی نوسان پذیری اقلیمی شمال شرق ایران، نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 1، صص 118-131.
- تامپسون، راسل، (1386)، ترجمه محمدی، حسین، فرآیندها و سیستم‌های جوی، انتشارت دانشگاه تهران.
- جاوری، مجید، (1382)، تغییرات زمانی دما و بارش در ایران، پایان نامه دکترای جغرافیا به راهنمایی قاسم عزیزی و پرویز کردوانی، دانشگاه تهران.
- حمیدبانپور، محسن، (1392)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه بار و طاغان نیشابور با استفاده از برون‌داد مدل گردش عمومی جو، نخستین کنفرانس آب و هواشناسی ایران، 31 خرداد کرمان.
- خسروی، محمود، ناصر جاودانی خلیفه، سهراب محمدنیا، (1382)، بررسی انطباق سری‌های زمانی دمای مشهد با تغییرات و نوسانات دمای کره زمین، خلاصه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.
- خردادی، محمد جواد، و سید سعید اسلامیان، و جهانگیر عابدی کویایی، (1386)، بررسی روند پارامترهای هواشناسی در چند منطقه از ایران، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب.
- دارند، محمد، (1392)، در بررسی واکاوی تغییرات مقادیر حدی بارش و دما در ارومیه به عنوان نشانه‌هایی از تغییر اقلیم، نشریه حفاظت آب و خاک، شماره دوم 1393.

پور علی حسین، شیما و علیرضا مساح بوانی، (1392)، در تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی دوره 2013-2022، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره 39، شماره 4، 1392.

روشن، غلامرضا، فرامرز خوش اخلاق، قاسم عزیزی، (1390)، آزمون مدل مناسب گردش عمومی جو برای پیشیابی مقادیر دما و بارش ایران تحت شرایط گرمایش جهانی، مجله جغرافیا و توسعه، شماره 10، شماره 27، تابستان 1391.

روشنی، محمود، (1382)، بررسی تغییرات اقلیمی سواحل جنوبی دریای خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما دکتر قاسم عزیزی، گروه جغرافیای طبیعی دانشگاه تهران.

رحیم‌زاده، فاطمه، احمد عسگری، ابراهیم فتاحی، نوشین محمدیان، افسانه تقی‌پور، (1388)، روند نمایه‌های حدی اقلیمی دما در ایران طی دوره 1951-2003، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره 93، صص 15717-15742.

رحیم‌زاده، فاطمه، اکرم هدایت دزفولی، آرزو پوراصغریان، (1390)، ارزیابی روند و جهش نمایه‌های حدی دما و بارش در استان هرمزگان، مجله جغرافیا و توسعه، شماره 21، صص 97-116.

شاه‌کرمی، نازنین، علیرضا مساح بوانی، سعید مرید، هدایت فهیمی، (1386)، تحلیل عدم قطعیت مدل‌های جفت شده اقیانوس اتمسفر گردش عمومی جو بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده‌رود، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران.

عساکره، حسین، (1383)، تحلیلی آماری بر تغییرات میانگین سالانه دمای شهر زنجان طی دهه‌های اخیر، نیوار، شماره 52-53.

قائمی، هوشنگ، حسین عساکره، (1382)، تحلیلی آماری بر روند تغییرات دمای مشهد طی سده گذشته و رابطه آن با نوسان‌های اطلس شمالی، تحقیقات جغرافیایی، دوره 18، شماره 4.

قره‌خانی، ابوذر، نوذر قهرمان، (1389)، بررسی روند تغییرات رطوبت نسبی و نقطه شبنم در چند نمونه اقلیمی در ایران، نشریه آب و خاک، جلد 24، شماره 4.

کاویانی، محمدرضا، حسین عساکره، (1380)، بررسی و مدل‌سازی روند دما طی سده گذشته (مطالعه موردی ایستگاه جاسک)، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی اصفهان (مطالعات و پژوهش‌های دانشکده ادبیات و علوم انسانی)، شماره 26-27.

کاویانی، محمد رضا، حسین عساکره، (1382)، بررسی آماری روند بلند مدت بارش سالانه اصفهان، خلاصه مقالات سومین کنفرانس منطقه‌ای و اولین کنفرانس ملی تغییر اقلیم، اصفهان.

محمدی، بختیار، (1389)، تحلیل روند بارش سالانه ایران، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال 22، شماره 43، صص 46-95.

محمدی، حسین، مهناز تقوی، (1384)، روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران، مجله پژوهش‌های جغرافیایی، دوره 37، شماره 53، صص 151-172.

مساح بوانی، علیرضا، پریسا سادات آشفته، (1386)، بررسی اهمیت موضوع تغییر اقلیم در جهان و تاثیر آن بر سیستم‌های مختلف، کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب.

ورشویان، وحید، (1386)، بررسی روند تغییرات برخی شاخص‌ها و پارامترهای هواشناسی و هواشناسی کشاورزی تغییر اقلیم در چند نمونه اقلیمی ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد به راهنمایی علی خلیلی و نوذر قهرمان، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران.

- Abu-Taleb, A., Alawneh A. J., and Smadi, M. (2007). Statistical analysis of recent changes in relative humidity in Jordan, *J of Environ Sci.*, 3: 75-77,
- Andrew Ross, L., and Damon Matthews, H. (2009). Climate engineering and the risk of rapid climate change, *Environmental Research Letters*, 4 (October-December 2009) 045103
- Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 1-18

- Brahmananda R.V., Giarolla, E., Kayano, M. T., Franchito, S. H. (2006). Is the Recent Increasing Trend of Rainfall over Northeast Brazil Related to SubSaharan Drought, *Journal of Climate*, Volume 19, 4448-4453.
- Chang, K. (2005). Global Warming-An Opportunity for Visionary Leadership, *Human and Ecological Risk Assessment*, 11:937-938.
- Change (2007). *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth*
- Feidas, H., Nouloupoulou, Ch., Makrogiannis, T., Bora-Senta, E. (2007). Trend analysis of precipitation time series in Greece and their relationship with circulation using surface and satellite data: 1955-2001, *Theor. Appl. Climatol.* 87, 155-177.
- Flavio, M. (2010). Analysis of the global warming dynamics from temperature time series, *Ecological Modelling*, 221:1964-1978.
- Frich, P., L.V. Alexander, P. Della- Marta, B. Gleason, M., Haylock, A.M. G., Klein Tank, T., Zhang, G. (2013). Increasing cropping intensity in response to climate warming in Tibetan Plateau China, *Field Crops Research* 142 (2013) 36-46.
- Hulme, M. Z., Zaho C., and Jiang, T. (1994). Recent and future climate change in East Asia , *Int.J.Clim.*, 14:637-658.
- IPCC (2001). Edsin Hardy,j.T.,2003.climate change causes Effects and solution,john wiley-so in lazar J. Milliman and B.U. Haq), Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 11-45.
- IPCC (2007). Summary for Policymakers, in: *Climate Change 2007. Solomon, S., D. Qin, M. in the Timing of Wet Avalanches and Snow Quality for the Aspen Ski area in theyears 2030 and 2100 , Cold Regions Science and Technology* 51, 219-228.
- IPCC (1996). Eds In puhe.jand uirich B.2001,global climate change and Human impacts on forest Ecosystems spriger-veriarge Berlin Heidelberg Germany, 300-311.
- Kattenberg, A., Giorgi, F. Grassl, H., Meehl, G. A., Mitchell, J. F. B., Stouffer, R. J., Tokioka, T., Weaver, A. J., and Wigley, T. M. L. (1996). Climate Models, rojections of Future Climate. (In) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (eds J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B.A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg and K. Maskell), Cambridge University Press, New York, 285.357.
- Lazar, B., and Williams, M. (2008). *Climate Change in Western Ski Areas: Potential Changes*
- Lettenmaier, D. P., Wood, E. F., and Wallis, J. R. (1994). Hydro-climatological trends in the continental United States,1948-88.*J.Climate*, 7:586-607.

- Manning, Z., Chen, M., Marquis, K. B., Averyt, M., Tignor, and H. L., Miller (eds.) (2007) *Climate*
- Palazzoli, I., Maskey, S., Uhlenbrook, S., Nana, E., Bocchiola, D. (2015). Impact of prospective climate change on water resources and crop yields in the Indrawati basin, Nepal, *Agricultural Systems*, Volume 133, Pages 143-157.
- Peterson, T. C. (2002). Global changes in climatic extremes during the second half of the 20th century, *Climate Res.*, 19, 193.
- Peterson, T. C., Folland, C., Gruza, G., Hogg, W., Mokssit, A., and Plummer, N. (2001). Report of the Activities of the Working Group on Climate Change Detection and Related Rapporteurs, World Meteorological Organization Technical Document No. 1071, World Meteorological Organization, Geneva, 146 pp.
- Raper, S. C. B., Wigley, T. M. L., and Warrick, R. A. (1996). Global Sea Level Rise: Past and Future, (In) *Sea-Level Rise and Coastal Subsidence: Causes, Consequences and Strategies* (eds).
- Rehan Dastagir M. (2015). Modeling recent climate change induced extreme events in Bangladesh: a review, International University of Business Agriculture and Technology, 4 Embankment Drive Road, Sector 10 Uttara Model Town, Dhaka 1230.
- Stehr, A., Debels P., Luis Arum, J. (2008). Modelling hydrological response to climate change experiences from two south – central Chilean Watersheds 21st Century Watershed Technology: Improving Water Quality and Environment Conference Proceedings, 29 March - 3 April 2008, Concepcion, Chile 701P0208cd.
- Thoeun, Heng Chan., Mannava Sivakumar, Opha Pauline Dube. (2015). Observed and projected Changes in temperature and rainfall in Cambodia Original, *Weather and Climate Extremes*, In Press, Accepted Manuscript, 13, 149-163.
- Tonkaz, T., Cetin, M., and Tulucu. K. (2007). The impact of water resources development projects on water vapor pressure trends in a semi-arid region Turkey, *J.Climatic change*, 82, 195-209.
- Van Wijngaarden, W. A., Lucie Vincent A. (2000). Trends in relative humidity in Canada from 1953-2003. Climate Research Branch, Meteorological Service of Canada,
- Warrick, R. A., Le Provost, C., Meier, M., Oerlemans, J., and Woodworth, P. (1996). Changes in Sea Level, (In) *Climate Change 1995: The Science of Climate Change* (eds J.T. Houghton, L.G.
- Wigley, T. M. L. (2003). MAGICC/SCENGEN 4.1: Technical Manual, National Center for Atmospheric Research, Colorado, USA, October 2003, 1-24.

- Wigley, T. M. L., Smith, S. J., and Prather, M. J. (2002). Radiative Forcing Due to Reactive Gas Emissions, *Journal of Climate* 15, 2690–2696.
- Zhang, X. (2007). “ETCCDI/CRD climate change indices software”, Jan 1, 2007, Climate Research Division of Environment Canada, ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/software.shtml
- Zhao, C., Wang, W., and Xing, W. (2012). Regional Analysis of Extreme Temperature Indices for the Haihe River Basin from 1960 to 2009. *International Conference on Modern Hydraulic Engineering*, 28, 604-607.