

اثرات گرمایش جهانی بر دمای کمینه ایران

حسین محمدی^۱، فیروز رنجبر^۲ و معصومه مقبل^۳
تاریخ وصول: ۱۳۹۵/۹/۲۶، تاریخ تایید: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸

چکیده

مسئله تغییر اقلیم، یکی از موضوعات داغ می‌باشد که در دهه‌های اخیر مورد توجه رسانه‌ها و محققان بوده است. تغییر اقلیم به آهستگی در همه جهان در حال گسترش و بر پارامترهای مرتبط اثرگذار می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی اثرات گرمایش جهانی بر حداقل دمای ایران انجام شده است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق، حداقل دمای روزانه مربوط به ۴۷ ایستگاه سینوپتیک در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ می‌باشد. جهت بررسی اثر گرمایش جهانی، با استفاده از مدل SDSM خروجی مدل HADCM3 برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ تحت دو سناریوی A2 و B2 ریزمقیاس نمایی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد، با توجه به ارتباط بین متغیرهای پیش‌بینی‌شونده و پیش‌بینی‌کننده، مدل ایجاد شده بین این متغیرها به‌طور نسبی قادر به تولید داده‌های اقلیمی برای دوره آینده می‌باشد. مقدار همبستگی (r) بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده در دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰ در حدود ۰/۹۵ می‌باشد. همچنین نتایج آزمون واریانس و میانگین نشانگر تشابه نسبی داده‌های تولید شده و مشاهداتی است. در نهایت خروجی مدل بیانگر افزایش حداقل دمای ایران طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ در ایران است که میزان افزایش دما نسبت به دوره مشاهداتی طبق سناریوی A2 و B2 به ترتیب حدود ۰/۸ و ۰/۵ می‌باشد. از نظر ایستگاهی نیز تغییرات دما دارای تفاوت می‌باشد.

کلیدواژگان: کمینه دما، مدل SDSM، گرمایش جهانی، ریزمقیاس نمایی، ایران.

۱. عضو هیات علمی دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، نویسنده مسئول Franjbar464@gmail.com

۳. استادیار دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

مقدمه

مسئله تغییر اقلیم، یکی از موضوعات داغ می‌باشد که در دهه‌های اخیر مورد توجه رسانه‌های زیادی بوده است (فیسها و همکاران، ۲۰۱۲). تغییر اقلیم به آهستگی در همه جهان در حال گسترش و بر پارامترهای مرتبط اثرگذار می‌باشد. پیش‌بینی شده است که این روند برای آینده نیز ادامه داشته باشد (رجبی و شعبانلو، ۲۰۱۳)^۱. با توجه به اهمیت پدیده تغییر اقلیم، تلاش‌های زیادی در جهان برای بررسی اثرات آن انجام شده است. مدل‌های گردش عمومی جو^۲ توسعه یافته مدل‌های ریاضی هستند و جهت شبیه‌سازی اقلیم حاضر و آینده تحت اثر گازهای گلخانه‌ای و آئروسول‌ها به کار می‌روند. این مدل‌ها اولین ابزار برای دریافت رفتار سیستم اقلیمی می‌باشند (لیو و همکاران، ۲۰۱۱)^۳.

تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو کره زمین از پیامدهای نامطلوب فعالیت‌های بشر در قرن بیستم است. در واقع به مجموعه‌ای از گازها که مقداری از انرژی خورشید را در جو نگه می‌دارد و باعث گرم شدن جو زمین می‌شوند گازهای گلخانه‌ای گویند. بخار آب (H₂O)، دی‌اکسیدکربن (CO₂)، دی‌اکسیدنیتروژن (NO₂) و متان (CH₄) از جمله مهم‌ترین گازهای گلخانه‌ای هستند (کوچکی و همکاران، ۱۳۸۶، حبیبی نوخندان و همکاران، ۱۳۸۹). بررسی‌ها نشان می‌دهد غلظت دی‌اکسیدکربن جو قبل از انقلاب صنعتی حدود ۲۸۰ (ppm^۴) بوده و در زمان کنونی حدود ۳۷۹ ppm رسیده است که این رقم ۳۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد (فرج‌زاده، ۱۳۹۲). در دهه اخیر، مقدار گازهای گلخانه‌ای به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته و پیش‌بینی می‌شود که این روند در آینده نیز ادامه یابد (ناصری، ۱۳۷۸). گرمایش گازهای گلخانه‌ای فرایند ژئوفیزیکی به دام افتادن انرژی ماوراءبنفش بازگشتی از سطح زمین یا اتمسفر پایین است (رحیمی، ۱۳۸۳). جمعیت و گرمایش جهانی با هم ارتباط دارند زیرا فعالیت‌های انسانی مقدار گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد. در قرن بیستم دمای جهانی حدود ۳/ تا ۶/ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته است و این افزایش احتمالاً ادامه داشته باشد. پیش‌بینی شده است

-
1. Rajabi and Shabanlo
 2. General Circulation Models
 3. Liu et al
 4. Part per million

که دمای هوای جهانی در ۵۰ سال آینده ۶/ تا ۲/۵ درجه سانتی‌گراد و در سال ۲۱۰۰ حدود ۱/۴ تا ۵/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته باشد (خاسنیس و نتلمن، ۲۰۰۵).^۱

پیش‌بینی‌های اقلیمی و ارزیابی‌های تغییر اقلیم با مشکلاتی، نظیر بر آورد سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها در دهه‌های آتی، بزرگ مقیاس بودن تفکیک مکانی و زمانی مدل‌های گردش عمومی جو و نظایر آن مواجه هستند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱). بنابراین یکی از محدودیت‌های اصلی در استفاده از خروجی‌های اقلیمی مدل‌های چرخه عمومی این است که دقت تجزیه مکانی و زمانی آنها با دقت مورد نیاز مدل‌های منطقه‌ای و هیدرولوژیکی مطابقت ندارد. دقت مکانی این مدل‌ها در حدود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع است (آقاشاهی و همکاران، ۱۳۹۱، ویلی و همکاران، ۲۰۰۲)، که این دقت خصوصاً برای بررسی مناطق کوهستانی و پارامترهای اقلیمی نظیر بارش و دما مناسب نمی‌باشد. از آنجایی که یکی از ضعف‌های الگوهای مقیاس مکانی و زمانی متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده می‌باشد، بنابراین می‌بایستی خروجی آن‌ها را با تکنیک‌های مختلف، کوچک مقیاس نمود. از جمله روش‌های ریز مقیاس نمایی می‌توان به CLIMGEN، USCLIMATE WGEN GEM، LARS-WG، MAGICC-SCENGEN و SDSM^۲ اشاره کرد (عباسی و اثمیری، ۱۳۹۰). تحقیقات زیادی جهت ریزمقیاس‌سازی داده‌های GCM^۳ صورت گرفته است که برخی از آنها عبارتند از: لیو و همکاران^۴، ۲۰۱۱، چن^۵ و همکاران، ۲۰۱۲، ۲۰۱۲، رجبی و شعبانلو^۶ ۲۰۱۳، مشکواتی و همکاران ۱۳۸۹، معافی مدنی و همکاران ۱۳۹۱، و سایر تحقیقات.

موضوع روند دما و به خصوص حداقل دما، در بسیاری از مطالعات مربوط به اثرات تغییر اقلیم مورد توجه بوده است. برخی از این تحقیقات به روند حداقل دمای مشاهداتی و برخی از آنها به شبیه‌سازی اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بر روند دما پرداخته‌اند. اکثر مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد چه در دوره مشاهداتی و داده‌های ثبت شده دما و چه در خروجی مدل‌های گردش

-
- 1 . Khasnis and Nettleman
 - 2 . Statistical Downscaling Model
 - 3 . General circulation model
 - 4 . Liu et al
 - 5 . Chen et al
 - 6 . Rajabi and Shabanlou

عمومی جو، یک روند افزایشی در دما مشاهده می‌شود. نکته مهم در این زمینه، نرخ افزایشی شدیدتر در دمای حداقل نسبت به دمای حداکثر می‌باشد. در واقع در مناطق مختلف دنیا و بر اساس مطالعات صورت گرفته، حداقل دما با افزایش بیشتری نسبت به دمای حداکثر مواجه می‌باشد (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۰). با توجه به تنوع در رویکرد مطالعات در زمینه روند دما و اثرات گرمایش جهانی بر دمای مناطق مختلف، برخی از مطالعات صورت گرفته عبارتند از: مانتون و همکاران^۱ (۲۰۰۱)، کلین و کونن^۲ (۲۰۰۳)، زانگ و همکاران^۳ (۲۰۰۵)، نیو و همکاران^۴ (۲۰۰۶)، براون و همکاران^۵ (۲۰۱۰)، اینساف و همکاران^۶ (۲۰۱۲)، بوریک و همکاران^۷ (۲۰۱۴)، محمدی و همکاران (۱۳۸۹)، ورشایان و همکاران (۱۳۹۰)، صالحیان (۱۳۹۲)، عزیزی و همکاران (۱۳۸۴).

تحقیق حاضر، به اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای و گرمایش جهانی بر حداقل دمای ایران پرداخته است. در واقع ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) جهت شبیه‌سازی شرایط آینده موردنظر می‌باشد.

داده‌ها و روش‌شناسی

در این تحقیق جهت ریزمقیاس‌نمایی خروجی‌های (GCM) و شبیه‌سازی داده‌های حداقل دما از مدل SDSM استفاده شده است. SDSM یک ابزار برای ریزمقیاس‌سازی خروجی‌های GCM می‌باشد که به وسیله ویلی و همکاران (۲۰۰۲) طراحی شده است. این مدل آماری بوده (چن و همکاران، ۲۰۱۲)^۸ و به صورت ترکیبی، از رگرسیون خطی چندگانه و تولید آب و هوای تصادفی بهره می‌برد (محمود و اس بابل، ۲۰۱۴)^۹. به‌طورکلی ورودی‌های مدل SDSM به دو دسته تقسیم می‌شوند: داده‌های مشاهداتی شامل بارش روزانه، دمای حداکثر و حداقل روزانه و داده‌های بزرگ

-
- 1 . Manton et al
 - 2 . Klein and Konnen
 - 3 . Zhang et al
 - 4 . New et al
 - 5 . Brown et al
 - 6 . Insaf et al
 - 7 . Buric et al
 - 8 . Chen et al
 - 9 . Mahmood and S Babel

مقیاس NCEP و GCM بدست آمده از نزدیک‌ترین شبکه جهانی به منطقه مورد مطالعه. در این تحقیق داده‌های بزرگ‌مقیاس شامل خروجی مدل HADCM3 تحت دو سناریوی A2 و B2 می‌باشد. داده‌های بزرگ‌مقیاس NCEP برای دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۹ و داده‌های GCM برای دوره ۱۹۶۱-۲۱۰۰ از سایت <http://www.ccsn.ec.gc.ca> قابل دریافت شده است. داده‌های مشاهداتی نیز مربوط به حداقل دمای روزانه ۴۷ ایستگاه سینوپتیک کشور (دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ به عنوان دوره پایه) می‌باشد که مشخصات و موقعیت آنها در شکل ۱ ارائه شده است.



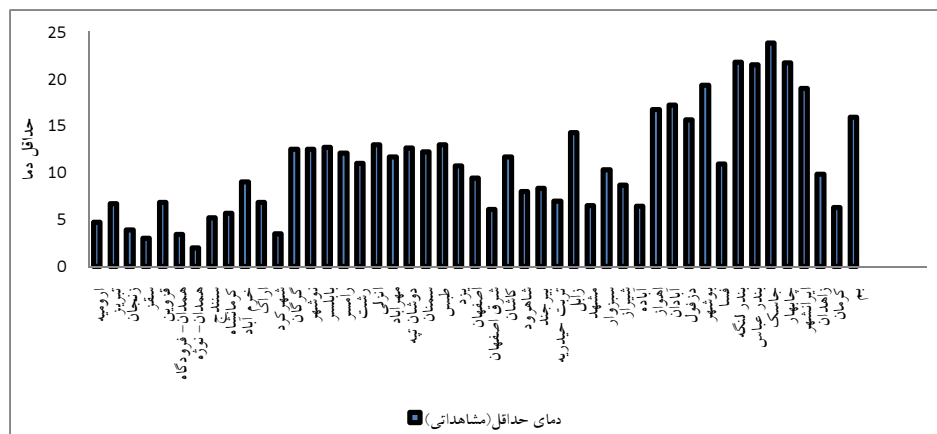
شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های مورد مطالعه

جهت ریزمقیاس نمایی و تولید داده‌های مصنوعی، در ابتدا بین متغیر مشاهداتی و متغیرهای NCEP مدل رگرسیونی مناسب ایجاد شده است. در مرحله بعد به منظور کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل [SDSM](#)، داده‌های مربوط به بازه زمانی ۱۹۶۱-۱۹۷۵ جهت کالیبراسیون مدل و داده‌های بازه زمانی ۱۹۹۰-۱۹۷۶ جهت اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفته است. دوره زمانی شبیه‌سازی دمای حداقل نیز دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ می‌باشد.

یافته‌های تحقیق

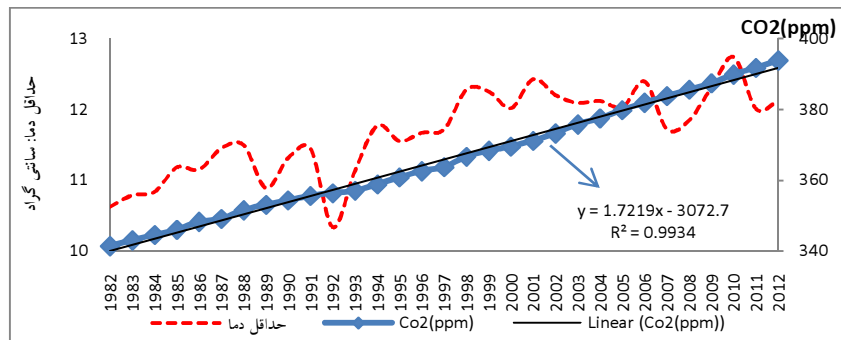
در بین ایستگاه‌های مورد مطالعه جاسک و بندرلنگه به ترتیب با ۲۴/۵ و ۲۳/۱ درجه سانتی‌گراد، بالاترین میزان را از نظر دمای حداقل دارا هستند. همچنین از این نظر، کمترین دما نیز مربوط به

ایستگاه‌های همدان- نوژه و شهرکرد با دمای $2/7$ و $2/8$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از نظر منطقه‌ای نیز بالاترین دمای حداقل مربوط به ایستگاه‌های واقع در سواحل جنوبی ایران و کمترین دما نیز مربوط به ایستگاه‌های واقع شمال غرب همچین در ناحیه رشته کوه‌های زاگرس در غرب کشور می‌باشد. میانگین دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲ حدود $11/4$ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۲).



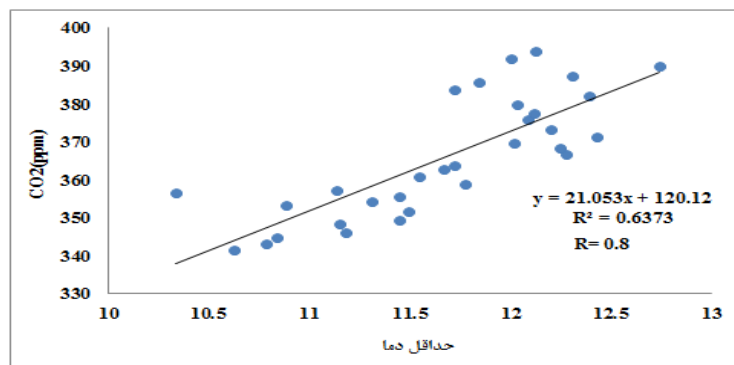
شکل ۲. میانگین دمای حداقل در ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۸۲-۲۰۱۲).

با توجه به اینکه افزایش دمای جهانی به گازهای گلخانه‌ای و به خصوص دی‌اکسیدکربن موجود در جو نسبت داده شده است، در این بخش میزان ارتباط کمینه دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه با مقادیر ثبت شده دی‌اکسیدکربن جو مورد بررسی قرار می‌گیرد. آمار ثبت شده از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۲ در ایستگاه مانالوا نشانگر روند افزایشی در میزان این گاز گلخانه‌ای می‌باشد. غلظت این گاز در سال ۱۹۸۲ حدود $341/4$ (ppm) بوده و در سال ۲۰۱۲ به حدود $393/8$ (ppm) رسیده است. در واقع طی حدود ۳۱ سال، غلظت دی‌اکسیدکربن حدود $52/4$ ppm افزایش یافته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد همسو با افزایش میزان دی‌اکسیدکربن جو، کمینه دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه نیز یک روند مثبت را تجربه کرده است (شکل ۳).



شکل ۳. روند حدافل دمای ایران و دی‌اکسیدکربن در دوره ۱۹۸۲-۲۰۱۲.

رابطه رگرسیونی بین غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در جو و حدافل دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه، بیانگر ارتباط نسبتاً معنادار بین افزایش دی‌اکسیدکربن جو و حدافل دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در این رابطه مقدار r^2 که بیانگر همبستگی بین غلظت دی‌اکسیدکربن و حدافل دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه است، حدود ۰/۸ می‌باشد (شکل ۴). علاوه بر موضوع دی‌اکسیدکربن موجود در جو، تغییر کاربری توسط انسان به‌خصوص افزایش شهرنشینی و توسعه شهرها نیز موجب تغییر در وضعیت دمایی ایستگاه‌ها می‌گردد. این عامل در کلان شهرها همراه با تشکیل جزیره گرمایی و اثرات آن بر اقلیم شهر می‌باشد.



شکل ۴. میزان همبستگی بین دی‌اکسیدکربن ایستگاه مانالوا و حدافل دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه (۱۹۸۲-۲۰۱۲).

با توجه به بحث مربوط به روش تحقیق، جهت ریزمقیاس نمایی داده‌های بزرگ مقیاس GCM با استفاده از مدل SDSM ابتدا می‌بایست یک رابطه و مدل مناسب بین متغیرهای بزرگ مقیاس (NCEP) و داده‌های ایستگاهی دوره حاضر جهت تعمیم به دوره آینده ایجاد نمود.

جدول (۱) رابطه بین حداقل دمای روزانه ایستگاه‌های منتخب و متغیرهای پیش‌بینی‌کننده را نشان می‌دهد.

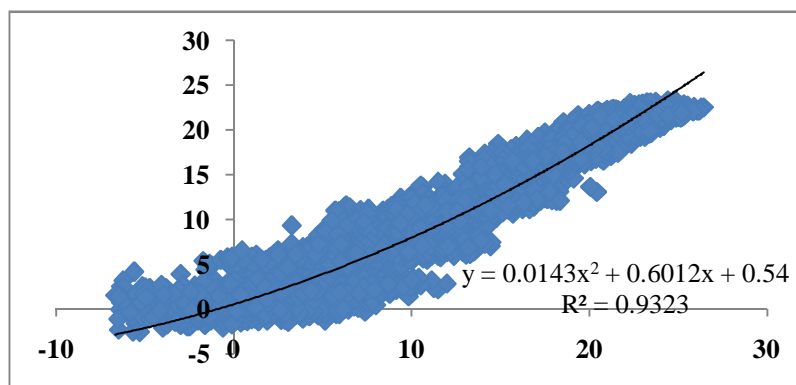
جدول ۱. مقدار همبستگی جزئی^۱ بین حداقل دما و متغیرهای بزرگ مقیاس (NCEP).

ردیف	ایستگاه	ارتفاع سطح ۵۰۰ hp	تاریخ سطح ۵۰۰ hp	تاریخ سطح زمین	رطوبت نسبی سطح ۵۰۰	P value	ردیف	ایستگاه	ارتفاع سطح ۵۰۰ hp	تاریخ سطح ۵۰۰ hp	تاریخ سطح زمین	رطوبت نسبی سطح ۵۰۰	P value
۱	آبادان	۸۰	۳۳	۲۸	۷۵	۰.۰۰	۲۵	خرم آباد	۷۵	۲۸	۲۸	۷۵	۰.۰۰
۲	آباده	۴۸	۲۵	۴۲	۷۹	۰.۰۰	۲۶	خوی	۷۹	۴۲	۴۲	۷۹	۰.۰۰
۳	اهواز	۸۱	۳۵	۲۴	۶۳	۰.۰۰	۲۷	مشهد	۶۳	۲۴	۲۴	۶۳	۰.۰۰
۴	انزلی	۸۹	۳۹	۲۳	۷۶	۰.۰۰	۲۸	مهرآباد	۷۶	۲۳	۲۳	۷۶	۰.۰۰
۵	اراک	۷۶	۲۵	۲۴	۵۴	۰.۰۰	۲۹	همدان - توزه	۵۴	۲۴	۲۴	۵۴	۰.۰۰
۶	بابلسر	۸۲	۳۷	۳۷	۷۹	۰.۰۰	۳۰	نوشهر	۷۹	۳۷	۳۷	۷۹	۰.۰۰
۷	بیم	۸۲	۳۰	۴۰	۷۴	۰.۰۰	۳۱	ارومیه	۷۴	۴۰	۴۰	۷۴	۰.۰۰
۸	بندر عباس	۷۶	۲۸	۳۲	۸۷	۰.۰۰	۳۲	رامسر	۸۷	۳۲	۳۲	۸۷	۰.۰۰
۹	بندر لنگه	۷۲	۲۵	۳۵	۸۰	۰.۰۰	۳۳	رشت	۸۰	۳۵	۳۵	۸۰	۰.۰۰
۱۰	بیرجند	۷۰	۲۸	۱۲۹	۷۹	۰.۰۰	۳۴	سبزوار	۷۹	۲۱	۲۱	۷۹	۰.۰۰
۱۱	بوشهر	۸۰	۲۸	۳۴	۶۴	۰.۰۰	۳۵	سقز	۶۴	۲۰	۲۰	۶۴	۰.۰۰
۱۲	چابهار	۶۴	۲۵	۲۶	۷۰	۰.۰۰	۳۶	سنندج	۷۰	۲۶	۲۶	۷۰	۰.۰۰
۱۳	دزفول	۷۹	۳۱	۳۲	۸۰	۰.۰۰	۳۷	سمنان	۸۰	۳۲	۳۲	۸۰	۰.۰۰
۱۴	دوشان تپه	۹۰	۳۲	۳۰	۷۱	۰.۰۰	۳۸	شهرکرد	۷۱	۳۰	۳۰	۷۱	۰.۰۰
۱۵	اصفهان	۷۷	۳۰	۲۷	۸۹	۰.۰۰	۳۹	شاهرود	۸۹	۲۷	۲۷	۸۹	۰.۰۰
۱۶	فسا	۷۰	۳۶	۳۱	۸۲	۰.۰۰	۴۰	شرق اصفهان	۸۲	۳۱	۳۱	۸۲	۰.۰۰
۱۷	قزوین			۲۶	۷۰	۰.۰۰	۴۱	شیراز	۷۰	۲۶	۲۶	۷۰	۰.۰۰
۱۸	گرگان			۳۱	۸۰	۰.۰۰	۴۲	طیس	۸۰	۳۱	۳۱	۸۰	۰.۰۰
۱۹	همدان - فرودگاه	۶۵	۳۲	۲۴	۸۰	۰.۰۰	۴۳	تبریز	۸۰	۲۴	۲۴	۸۰	۰.۰۰
۲۰	ایران شهر	۷۰	۳۲	۴۰	۳۶	۰.۰۰	۴۴	تربت حیدریه	۳۶	۴۰	۴۰	۳۶	۰.۰۰
۲۱	جاسک	۶۱	۲۷	۲۴	۷۸	۰.۰۰	۴۵	یزد	۷۸	۲۴	۲۴	۷۸	۰.۰۰
۲۲	کرمانشاه	۷۸	۳۴	۳۳	۷۳	۰.۰۰	۴۶	زابل	۷۳	۳۳	۳۳	۷۳	۰.۰۰
۲۳	کاشان	۶۷	۲۳	۲۳	۷۰	۰.۰۰	۴۷	زاهدان	۷۰	۲۰	۲۰	۷۰	۰.۰۰
۲۴	کرمان	۶۸	۲۲	۳۸	۷۰	۰.۰۰	۴۸	زنجان	۷۰	۳۳	۳۳	۷۰	۰.۰۰

1. Partial Correlation

پس از ایجاد معادله رگرسیونی و کالیبره کرده مدل برای دوره ۱۹۶۱-۱۹۷۵، یک سری زمانی از حداقل دما برای ایستگاه‌های مورد مطالعه برای دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰ جهت صحت‌سنجی و قابلیت اطمینان مدل ایجاد شد. نتایج صحت‌سنجی مدل نشان می‌دهد داده‌های دوره پایه حداقل دما و داده‌های تولید شده در دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰ از لحاظ میانگین و انحراف معیار دارای یک شباهت نسبی بوده و اختلاف کمی دارند (جدول ۲). همچنین در جدول ۳ نتایج تست میانگین بین دو دوره آماری نشان داده شده است. در این جدول مقدار Levene's Test برای برابری واریانس دو گروه $Sig=0.748$ می‌باشد و این مقدار چون از ۰.۰۵ بیشتر است، نشان‌دهنده این مطلب است که واریانس داده‌های مشاهداتی و مدل شده تفاوت معناداری ندارند. همچنین سطح معنی‌داری برای مقایسه میانگین دو گروه مشاهداتی و مدل شده نیز ۰.۴۳۵ می‌باشد و این مقدار نیز نشان از برابری میانگین دو گروه داده دارد.

در دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰ میانگین حداقل دما در ایستگاه‌های منتخب حدود $10/9$ و میانگین حداقل دمای تولید شده به وسیله مدل حدود $11/1$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از طرف دیگر میزان ارتباط بین داده‌های دوره پایه و داده‌های تولید شده حدود $(r=0.96)$ می‌باشد که این امر قابلیت و توان مدل برای تولید داده‌های حداقل دمای روزانه برای دوره آینده را نشان می‌دهد (شکل ۵).



شکل ۵. ارتباط بین داده‌های حداقل دمای روزانه دوره پایه و تولید شده در دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰.

جدول ۲. مقایسه آماری حداقل دمای دوره پایه و تولید شده در دوره ۱۹۷۶-۱۹۹۰

حدافل دمای دوره پایه و تولید شده	میانگین	انحراف معیار	R2	r
حدافل دما- مشاهداتی ۱۹۷۶-۱۹۹۰	۱۰/۹	۵/۳	/۹۰۸	/۹۵
حدافل دما- مدل شده ۱۹۷۶-۱۹۹۰	۱۱/۱	۵/۸		

جدول ۳ نتیجه آزمون T-Test برای مقایسه میانگین‌های حداقل دمای روزانه مشاهداتی و مدل شده در دوره ۱۹۶۷-۱۹۹۰.

	Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means			
	F	Sig.	t	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference
Equal variances assumed	.103	.748	-.780	.435	-.11523	.14770
Equal variances not assumed			-.780	.435	-.11523	.14769

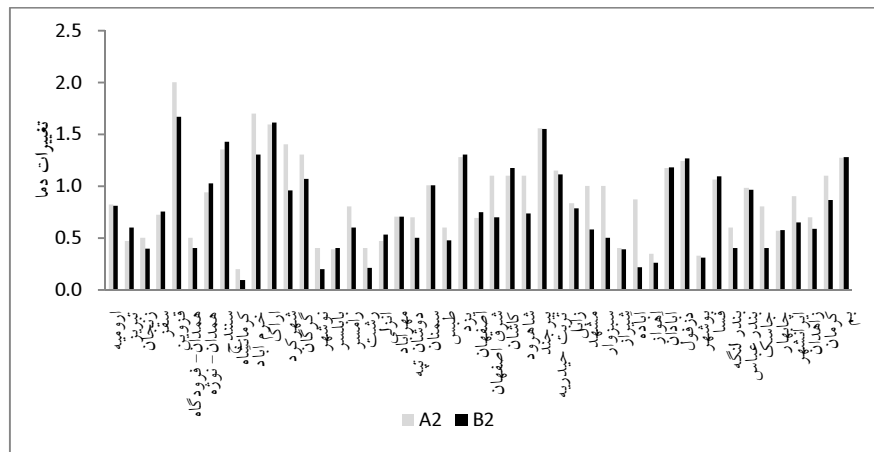
با توجه به آنالیزهای آماری و نتایج ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل HADCM3 میانگین دمای حداقل در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه ایران در دهه ۲۰۱۵-۲۰۴۵ با افزایش مواجه می‌باشد. لازم به ذکر می‌باشد، این افزایش در بین ایستگاه‌های مختلف دارای تفاوت می‌باشد. در دوره مشاهداتی، میانگین حداقل دمای ۴۷ ایستگاه مورد مطالعه حدود ۱۱/۴ درجه سانتیگراد بوده و نتایج نشان می‌دهد بر اساس دو سناریوی A2 و B2 میانگین دمای ایران در دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ به ترتیب حدود ۱۲/۲ و ۱۱/۹ درجه رسیده است. با این وجود سناریوی A2 نسبت به سناریوی B2 شرایط بدبینانه‌تری را برای هر یک از ایستگاه‌ها به دنبال دارد. جدول ۴ میانگین دمای حداقل و انحراف معیار آن را برای دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ نشان می‌دهد.

جدول ۴: مقادیر میانگین حداقل دما و انحراف معیار ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره مشاهداتی ۲۰۱۵-۲۰۴۵.

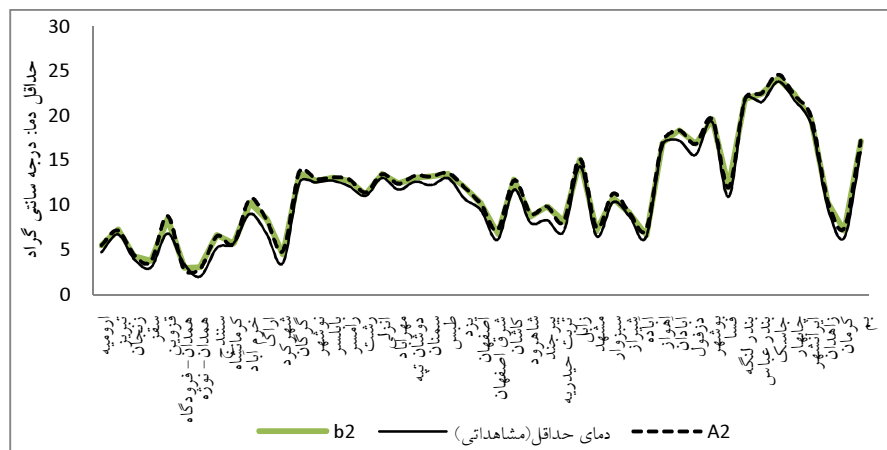
۲۰۴۵-۲۰۱۵		دوره مشاهداتی ۱۹۸۲-۲۰۱۲	میانگین حداقل دما
B2	A2		
۱۱/۹	۱۲/۲	۱۱/۴	میانگین حداقل دما
۵/۵	۵/۵	۵/۵	انحراف معیار

مقدار تغییرات دما در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد، بیشترین افزایش دما در ایستگاه‌های مرکزی، شرقی و برخی ایستگاه‌های واقع در رشته کوه‌های زاگرس و کمترین تغییرات نیز در ایستگاه‌های نوار شمالی کشور رخ داده است. برای مثال در دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره پایه، میزان تغییرات دمای حداقل در ایستگاه‌های خرم‌آباد، اراک و بیرجند (طبق سناریوی A2) بیش از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از نظر منطقه‌ای، شمال کشور کمترین مقادیر افزایش دما را در بین مناطق مختلف تجربه کرده است و ایستگاه‌های واقع در غرب کشور و برخی ایستگاه‌های مرکزی نیز بیشترین افزایش دما را بر اساس هر دو سناریو داشته‌اند. شکل ۶

تغییرات و شکل ۷ مقادیر کمینه دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه را برای دهه ۲۰۱۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره مشاهداتی نشان می‌دهد.



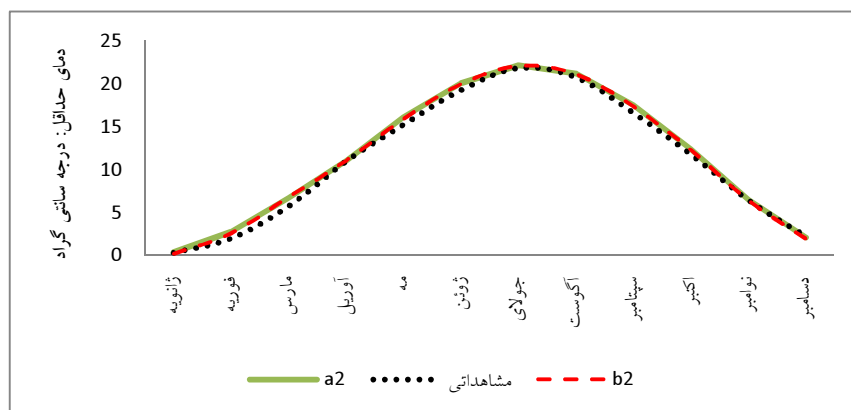
شکل ۶. تغییرات حداقل دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ نسبت به دوره مشاهداتی



شکل ۷. میانگین حداقل دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره مشاهداتی و ۲۰۱۵-۲۰۴۵.

بر اساس نتایج مدل، حداقل دمای ماهانه در ایستگاه‌های مورد مطالعه با یک افزایش در دوره شبیه‌سازی شده مواجه می‌باشد. در بین ماه‌های مختلف سال، ماه‌های مارس، مه و سپتامبر بیشترین افزایش را بر اساس هر دو سناریو دارا می‌باشند. نکته مهم درباره حداقل دمای ماهانه، تغییرات اندک دمای ماه‌های سرد سال مانند ژانویه و دسامبر می‌باشد. بر اساس خروجی مدل‌ها، ماه‌های سرد سال از نظر حداقل دما، کمترین تغییرات را در بین ماه‌های مختلف سال دارا

می‌باشند (شکل ۸).



شکل ۸. تغییرات حداقل دمای ماهانه ایران براساس خروجی مدل HADCM3

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر به بررسی اثرات گرمایش جهانی بر حداقل دمای ایران پرداخته است. در واقع جهت بررسی این اثرات، با استفاده از مدل آماری SDSM خروجی مدل HADCM3 ریزمقیاس‌نمایی شده است. نتایج حاصل از تحقیق حاضر را می‌توان به صورت ذیل عنوان نمود:

مدل ایجاد شده بین داده‌های مشاهداتی حداقل دما و پیش‌بینی‌کننده NCEP در دوره مشاهداتی و بازتولید داده‌های مشاهداتی، بیانگر توان نسبی مدل برای تولید داده‌های آینده می‌باشد. خروجی مدل بیانگر افزایش دمای ایران در دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ بر اساس دو سناریوی A2 و B2 است. در دوره مشاهداتی، میانگین حداقل دمای ۴۷ ایستگاه مورد مطالعه حدود ۱۱/۴ درجه سانتیگراد بوده و نتایج نشان می‌دهد بر اساس دو سناریوی A2 و B2 میانگین دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ به ترتیب حدود ۱۲/۲ و ۱۱/۹ درجه رسیده است. طی دوره ۲۰۱۵-۲۰۴۵ ایستگاه‌های شمال کشور کمترین تغییر در حداقل دما را دارند. همچنین در ایستگاه‌های واقع در سواحل جنوب کشور نیز مقادیر افزایش دما، نسبت به ایستگاه‌های شرقی و داخلی کشور کمتر می‌باشد. در طول دوره مشاهداتی (۱۹۸۲-۲۰۱۲) بین دمای

کمینه و بیشینه در ایستگاه‌های مورد مطالعه با مقادیر دی‌اکسیدکربن موجود در جو، ارتباط مثبت و معناداری وجود دارد. در طول دوره آماری مشاهداتی (۱۹۸۲-۲۰۱۲)، ایستگاه‌های مورد مطالعه با یک گرمایش عمومی مواجه است. دلیل این گرمایش می‌تواند ناشی از اثرات گلخانه‌ای و همچنین توسعه شهرنشینی و اثرات آن در افزایش و روند مثبت دما در برخی از ایستگاه‌ها باشد. اگرچه اثرات توسعه شهری نقش مهمی در تغییر پارامترهای اقلیمی به ویژه افزایش دما دارند، اما با توجه به اینکه برخی ایستگاه‌های واقع در شهرهای کوچک نیز با افزایش دما مواجه هستند، می‌توان گفت افزایش دما علاوه بر اثرات توسعه شهری از عامل گرمایش جهانی پیروی می‌کند.

کتابشناسی

۱. آفاشاهی، محسن؛ مجتبی اردستانی؛ حسین نیک‌سخن و بهشته طهماسبی (۱۳۹۱)، معرفی مدل‌های LARS-WG و SDSM به منظور ریز مقیاس‌سازی پارامترهای زیست محیطی در مطالعات تغییر اقلیم، ششمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، انجمن محیط زیست ایران، تهران؛
۲. حبیبی نوخندان مجید؛ محمد غلامی‌بیرقدار؛ اکبر شائمی برزکی (۱۳۸۹)، تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین (پرسش و پاسخ)، انتشارات محقق، مشهد؛
۳. خوش اخلاق، فرامرز، غریبی، ابراهیم و ذلیخا شفیعی (۱۳۹۰)، نگرشی بر تغییرات حداقل‌های مطلق دما در پهنه ایران زمین، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۲، شماره ۲، صص ۱۹۹-۲۱۶؛
۴. رحیمی، نسترن (۱۳۸۳)، تغییر آب و هوا و اثرات زیست محیطی آن، انتشارات اخوان، تهران؛
۵. صالحیان، مسعود (۱۳۹۲)، آشکارسازی اثر گازهای گلخانه‌ای در نوسانات دمایی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس؛
۶. عباسی، فاطمه، مرتضی انثمری (۱۳۹۲)، پیش‌بینی و ارزیابی تغییرات دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با الگوی MAGICC-SCENGEN، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۱، صص ۷۰-۸۳؛
۷. عباسی، فاطمه؛ ایمان بابائیان، شراره؛ ملبوسی، مرتضی؛ انثمری، لیلی؛ گلی مختاری (۱۳۹۱) ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره اول، شماره پیاپی ۱۰۴، صص ۲۰۵-۲۳۰؛
۸. عزیززی، قاسم؛ کریمی احمدآباد؛ مصطفی، زهرا سبک‌خیز (۱۳۸۴)، روند دمایی چند دهه اخیر ایران و افزایش دی‌اکسید کربن جو، نشریه علوم جغرافیایی، شماره ۵، صص ۴۲-۲۵؛
۹. فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۲)، تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه مطالعه مورد: رودخانه ششپیر، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۴، پیاپی ۴۹، شماره ۱، صص ۱۷-۳۲؛
۱۰. کوچکی، علیرضا؛ مهدی نصیری؛ غلامعلی کمالی (۱۳۸۶)، مطالعه شاخص‌های هواشناسی ایران در شرایط تغییر اقلیم، مجله پژوهش‌های زراعی ایران، جلد ۵، شماره ۱، صص ۱۳۳-۱۴۲؛
۱۱. محمدی، حسین؛ معصومه مقبل؛ فیروز رنجبر (۱۳۸۹)، مطالعه تغییرات بارش و دمای ایران با استفاده از مدل MAGICC SCENGEN، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۵، صص ۱۲۵-۱۴۲؛
۱۲. معافی‌مدنی، سیده فاطمه؛ محمد، موسوی بایگی؛ حسین انصاری (۱۳۹۱)، پیش‌بینی وضعیت خشکسالی

- در استان خراسان رضوی طی دوره ۲۰۳۰ - ۲۰۱۱ با استفاده از ریزمقیاس نمایی آماری مدل LARS-WGS، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سوم، صص ۲۱-۳۷؛
۱۳. ناصری، حمیدرضا (۱۳۷۸)، مدل‌های هیدرولوژی و تغییرات اقلیمی، دومین کنفرانس منطقه‌ای تغییر اقلیم، سازمان هواشناسی کشور، ۱۳-۱۴ آبان ۱۳۸۷؛
۱۴. ورشایان، وحید؛ قهرمان، نوذر؛ سهراب حجام (۱۳۹۰)، بررسی روند تغییرات مقادیر حدی دمای حداقل، حداکثر و میانگین روزانه در چند نمونه اقلیمی ایران، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۷، شماره ۱، صص ۱۶۹-۱۷۹؛
15. Brown .Paula. J, Raymond. S. Bradley, Frank T. Keimig(2010), Changes in Extreme Climate Indices for the Northeastern United States, 1870–2005, *Journal of Climate*, vol 23, pp 6555- 6572;
16. Buric. D, J. Luković, V. Ducić, J. Dragojlović, and M. Doderović(2014), Recent trends in daily temperature extremes over southern Montenegro (1951–2010), *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, vol 14, pp67–72, 2014;
17. Chen. H, Chong-Yu Xu, Shenglian Guo(2012), Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff, *Journal of Hydrology*, vol434–435 , pp 36–45;
18. Insaf, T.Z., Lin, S., Sheridan, S.C. (2012), climate trends in indices for temperature and precipitation across New York State, 1948-2008, *Air Qual Atmos Health*, Volume 1, N. 1, June 2008, DOI 10.1007/s11869-011-0168-x;
19. KElein tank .A. M. G and Konnen .G. P(2003), Trends in Indices of Daily Temperature and Precipitation Extremes in Europe, 1946–99, *J O U R N A L O F C L I M A T E*, vol 16,pp 3665- 3680;
20. Khasnis A. A and Mary D. Nettleman(2005), Global Warming and Infectious Disease, *Archives of Medical Research* , vol36 , pp 689–696;
21. Mahmood .R and S. Babel .M(2014), Future changes in extreme temperature events using the statistical downscaling model (SDSM) in the trans-boundary region of the Jhelum river basin, *Weather and Climate Extremes*, vol 5-6, pp56–66.
22. Manton. M.J, P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasttwong, C.M. Page, J.Pahalad, N. Plummer, M.J. SALINGER, R. SUPPIAH, V.L. TRAN, B. TREWIN, I. TIBIG and D. YEE(2001), Trends iv extreme Daly Rainfall and Temperature in Southeast Asia and south Pacific: 1961- 1998, *International Journal of Climatology*, vol 21: pp269–284.
23. Nordell .B(2003), Thermal pollution causes global warming, *Global and Planetary Change*, vol 38 , pp 305– 312.
24. Rajabi .A and Shabanlou. S (2013) ,The Analysis of Uncertainty of Climate Change by Means of SDSM Model Case Study: Kermanshah, *World Applied Sciences Journal* , vol23 (10), pp 1392-1398.

25. Wilby. R.L, C.W. Dawson, E.M. Barrow (2002), sdsM — a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts, *Environmental Modelling & Software*, vol17 , pp147-159
26. Zhang Xuebin, Enric Aguilar, Serhat Sensoy, Hamlet Melkonyan, Umayra Tagiyeva, Nader Ahmed, Nato Kutaladze, Fatemeh Rahimzadeh, Afsaneh Taghipour, T. H. Hantosh, Pinhas Albert, Mohammed Semawi, Mohammad Karam Ali, Mansoor Halal Said Al-Shabibi, Zaid Al-Oulan, Taha Zatari, Imad Al Dean Khelet, Saleh Hamoud, Ramazan Sagir, Mesut Demircan, Mehmet Eken, Mustafa Adiguzel, Lisa Alexander, Thomas C. Peterson, and Trevor Wallis (2005), Trends in Middle East climate extreme indices from 1950 to 2003, *Journal of Geophysical Research*, VOL. 110.
27. Zhaofei Liu, Zongxue Xu, Stephen P. Charles, Guobin Fu and Liu Liu(2011), Evaluation of two statistical downscaling models for daily precipitation over an arid basin in China, *INTERNATIONAL JOURNAL OF CLIMATOLOGY*, vol 31, pp 2006-2020.