

پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش ایستگاه همدید اهواز با استفاده از مدل گردش عمومی MPI-EMS1-2-HR و مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM6.1

- نسرین مهدی زاده^۱، جبرائیل قربانیان^{۲*}، رضا برنا^۳، جعفر مرشدی^۴، حمید نیل ساز دزفولی^۵
- ۱- دانش‌آموخته دکتری آب و هواشناسی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، خوزستان، ایران.
۲- استادیار، گروه جغرافیای طبیعی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، خوزستان، ایران.
۳- دانشیار گروه آب و هواشناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۴- استادیار گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، خوزستان، ایران.
۵- استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، خوزستان، ایران.

چکیده

نگرانی از تغییرات اقلیمی و گرمایش جهانی از مباحث مهمی است که توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی جهان را به خود معطوف کرده است. بعد از انقلاب صنعتی، افزایش جمعیت و رشد شهرنشینی، غلظت گازهای گلخانه‌ای در پی افزایش مصرف حامل‌های انرژی افزایش یافت و زمین‌وارد مرحله‌ای از تغییرات آب و هوایی. هدف این پژوهش پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش ایستگاه همدید اهواز می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM6.1 و با مدل‌سازی داده‌های سناریوهای پیش‌بینی شده (SSP) بر اساس مدل گردش عمومی MPI-EMS1-2-HR موسسه ماکس پلانک پارامترهای دما و بارش برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ ایستگاه اهواز پیش‌بینی گردید. نتایج بررسی حداقل دمای ماهانه برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نشان داد که در آینده میانگین حداقل دما در تمام سناریوها بین ۰/۵ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دما در این سناریوها (ssp126, ssp245, ssp370, ssp585)، بین ۰/۸ تا ۲/۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و دمای هوا گرمتر خواهد شد. همچنین نتایج بررسی داده‌های بارش ماهانه دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۷۹) با سناریوهای پیش‌بینی‌کننده نشان می‌دهد که بارش براساس اکثر سناریوهای بررسی شده برای همه ماه‌ها افزایشی حدود ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌متری متوسط بارش روزانه را برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی کرده است. بنابراین آینده گرمی در انتظار اهواز خواهد بود با این وجود بارش‌ها نیز اندکی رشد دارند که این بارش‌ها در انتهای فصل زمستان بیشتر خواهد شد و زمینه سیل که از نشانه تغییرات اقلیم است را فراهم خواهد آورد.

کلیدواژه‌ها: اهواز، پارامترهای دما و بارش، مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM6.1، مدل گردش عمومی MPI-EMS1-2-HR.

مقدمه

آب و هوا یکی از ارکان بنیادین زندگی بشر محسوب می شود و با پیشرفت و توسعه در جهان، حفاظت از آن روز به روز اهمیت بیشتری می یابد تغییرات آب و هوا یکی از پیچیده ترین مشکلاتی است که بشر در حال و آینده با آن مواجه است انسان با بی توجهی به قوانین حاکم بر طبیعت و عدم شناخت مسائل زیست محیطی مرتبط با آن، عامل اصلی این تغییرات محسوب می گردد (بیرجندی و همکاران، ۱۳۹۴). بیشترین علت تغییرات آب و هوایی افزایش گازهای گلخانه است و مهمترین گاز گلخانه دی اکسید کربن می باشد. در دهه های اخیر غلظت گاز گلخانه ای دی اکسید کربن، با سرعت بسیار زیادی افزایش یافته است و به نظر می رسد این روند همچنان ادامه داشته باشد (حیدر زاده و همکاران، ۱۳۹۶). شاید به همین دلیل است که بسیاری، پژوهش های اخیر خود را به میزان تأثیری گذاری عوامل مختلف بر انتشار گاز دی اکسید کربن اختصاص داده اند. زیرا فهم عوامل تأثیر گذار در این باره به سیاست گذاران کمک خواهد کرد تا سیاست های خود را منطبق با کاهش آلودگی های زیست محیطی به ویژه کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن طراحی کنند (آسیابانی پور، ۱۳۹۳) ایران یکی از کشورهای عمده در تولید و مصرف سوخت های فسیلی است و بر طبق آمارهای جهانی در سال ۲۰۱۷ هشتمین کشور از بین ده کشور اول جهان در انتشار گاز دی اکسید کربن بوده است این روند افزایشی شرایط زیست محیطی بحرانی را در نقاط مختلف کشور بوجود آورده است. استان خوزستان یکی از استان های درگیر این شرایط است. این استان علاوه بر موقعیت جغرافیایی و نزدیکی به مدار راس السرطان که از دلایل طبیعی حرارت بالا در منطقه است با برخورداری از منابع عظیم سوخت های فسیلی یکی از استان های پیشتاز در مصرف این سوخت ها نیز می باشد. کاهش نزولات جوی، خشکسالی ها، افزایش دمای بالای ۵۰ درجه در بیشتر شهرها این استان، کاهش شدید منابع هیدرولیکی، پایین آمدن سطح آب رودخانه های کارون، کرخه و دز، خشک و کم آب شدن تالاب شادگان و هورالعظیم، طوفان های گرد و غبار، آتش گرفتن جنگل ها، مهاجرت های گسترده و... از مشکلاتی است که استان خوزستان را وارد شرایط بحرانی کرده است و این شرایط با تداوم هرساله و رو به رشد، زندگی را برای مردم این منطقه دشوار کرده است. اهواز مرکز استان خوزستان یکی از کلان شهرهای کشور است که علاوه بر جمعیت بالا، و

معضلات ناشی از آن در مساله ترافیک شهری، مصرف انرژی بالا و صنایع وابسته به سوخت های فسیلی و... با افزایش انتشار کربن و به تبع تغییرات آب و هوایی شدیدی روبروست که اگر با مدیریت صحیح و روش های علمی چاره ای اندیشه نشود محلی برای زندگی نخواهد بود. به همین منظور مدل های چرخش عمومی (GCM) بهترین اطلاعات درباره پاسخ جو، به افزایش تمرکز گازهای گلخانه ای را می توانند فراهم کنند. از آن جایی که خروجی این مدل ها دارای دقت مکانی و زمانی کافی برای مطالعات تأثیر تغییر اقلیم نیست لازم است، داده های خروجی مدل های چرخش عمومی کوچک مقیاس گردند (زارعی و همکاران، ۱۳۹۸). در این زمینه پژوهش هایی در سطح جهان و ایران انجام گرفته است که در ادامه به بعضی از آن ها اشاره می شود. (فونگ و همکاران، ۲۰۲۰) با استفاده از مدل ریز مقیاس نمایی آماری SDSM اقدام به پیش بینی تأثیر تغییر اقلیم بر داده های اقلیمی حوضه رودخانه ووچیاسوبون در کشور ویتنام نمودند آن ها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که دمای حداکثر حدوداً ۲/۶ تا ۳/۹ درجه سانتی گراد و دمای حداقل حدود ۱/۲۴ تا ۱/۹۶ درجه سانتی گراد در دهه ۲۰۸۰ افزایش خواهد یافت همچنین میزان بارندگی نیز تا سال ۲۰۹۹ حدود ۱۱/۵۷ درصد تا ۱۷/۶۷ درصد کاهش پیدا خواهد کرد. (بانزه و همکاران، ۲۰۱۸) با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM اقدام به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش حوضه رودخانه زامبز در آفریقای جنوبی نمودند آن ها در این پژوهش اقدام به پیش بینی تغییرات بارندگی در این حوضه برای دوره های آتی (۲۰۳۱-۲۰۶۰) و (۲۰۷۱-۲۱۰۰) تحت سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 نمودند و نتایج پژوهش آن ها نشان داد که میزان بارندگی از ماه اکتبر تا ماه مارس کاهش و از ماه آوریل تا ماه سپتامبر افزایش پیدا می کند و بیش ترین افزایش بارندگی نیز مربوط به اگوست و تحت سناریوی RCP4.5 می باشد که میزان بارندگی حدوداً ۳۰۰ تا ۳۲۵ درصد افزایش پیدا می کند. (گلاچا و مولونگو، ۲۰۱۷) با تولید سناریو برای بارش و دما در مقیاس محلی با استفاده از مدل SDSM در حوضه رودخانه وامی روو تانزانیا به این نتیجه رسیدند که میانگین حداکثر دمای ماهانه روند افزایشی ۰/۲ به ۷/۵ درجه سانتی گراد در دوره (۲۰۸۰-۲۰۲۰) و میانگین حداقل دما طی همین دوره از ۰/۴- تا ۱/۵- درجه سانتی گراد روند کاهشی نشان می دهد و این نتایج نشان دهنده پتانسیل

وقوع سیل یا خشکسالی در حوضه است. (لیم زاکول و سیگروک، ۲۰۱۶) به بررسی روندهای بلند مدت و تغییر پذیری مجموع بارش‌های فرین در تایلند پرداختند و به این نتیجه رسیدند که در بیشتر مناطق تایلند، تعداد بارش کمتر بوده است ولی شدت آن بیشتر شده است. (تاتسومی و همکاران، ۲۰۱۳) با استفاده از مدل SDSM به ریزمقیاس نمایی، دما، در منطقه شیکوکو پرداختند نتایج نشان داد:

۱- مدل SDSM قادر است بخش عمده‌ای از سیگنال‌های تغییر دما را با یک رژیم آب و هوایی قابل قبول برای گرمایش بیشتر به تصویر بکشد.

۲- از ژوئن تا اگوست میانگین تغییرات دمای روزانه در شیکوکو شمالی مثبت خواهد بود اما در شیکوکو جنوبی تغییرات در سناریوها، A2, A1B و B2 با استفاده از Hadcm3 و GCM3 منفی خواهد بود و مهمترین یافته این است که روند دمای روزانه در مقیاس محلی متفاوت خواهد بود و این نتایج اهمیت در نظر گرفتن جداگانه پیش‌بینی‌های برای حداقل دمای روزانه و حداکثر دمای روزانه را در هنگام ارزیابی تاثیر تغییرات آب و هوا برای کاربری‌های هیدرولوژیکی و کشاورزی نشان می‌دهد. (فایس‌ها و همکاران، ۲۰۱۲) دما و بارش حوضه رودخانه تیر بالا را در مرکز ایتالیا با ریزمقیاس نمایی پیش‌بینی‌های HADCM3 با سناریوهای A2 و B2 و با استفاده از دو مدل SDSM و LARS-WG برای ۴ دوره سناریو، شامل اقلیم کنونی (۱۹۶۱-۱۹۹۰) برای سال‌های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰، ۲۰۸۰ بررسی و ارزیابی کردند و نتیجه مدل SDSM در این مطالعه حکایت از افزایش روند کمینه و بیشینه دما و بارش تا پایان سال ۲۰۸۰ دارد. (زکوی و همکاران، ۱۴۰۳) در پژوهش خود برای پیش‌نگری دما از خروجی مدل اقلیمی CanESM2، تحت سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 و مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM استفاده کردند و ۷ ایستگاه سینوپتیک استان خوزستان، که دارای آمار اقلیمی ۴۵ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۱) و ۴۰ ساله (۲۰۰۵-۱۹۶۶) میلادی بود را انتخاب کردند؛ پیشنهاد بدینانه و خوش‌بینانه به ترتیب با سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در دوره (۲۰۰۶-۲۱۰۰) نشان داد که نسبت به دوره پایه به طور متوسط دمای میانگین استان خوزستان ۲۴/۸ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۲/۱ و ۳/۴ درجه سانتی‌گراد افزایش داشته، که بیشترین افزایش دما در ایستگاه اهواز و شوشتر و کمترین دما در ایستگاه باغ‌ملک رخ می‌دهد. (بروغنی و همکاران، ۱۴۰۱) طی پژوهشی در سه

استان شمالی، گیلان، مازندران و گلستان، تاثیرات تغییرات آب و هوا بر خشکسالی، در سواحل جنوبی دریای خزر در دوره‌های آینده را ارزیابی کردند و در این پژوهش از مدل گردش عمومی Hardcm3 و مدل ریزمقیاس نمایی SDSM استفاده نمودند. نتایج به دست آمده از خروجی شاخص، در دوره نظارت و دوره‌های آینده با مقیاس زمانی مختلف نشان داد که شدت خشکسالی در دهه‌های آینده نسبت به دوره نظارت افزایش خواهد یافت، این افزایش برای شرق دریای خزر شدیدتر است به طوری که شدت خشکسالی دهه ۲۰۸۰ سه برابر دوره مشاهده خواهد بود. همچنین نتایج نشان داد که تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش فراوانی و شدت خشکسالی در منطقه مورد مطالعه می‌شود و وقوع خشکسالی‌های پی در پی و افزایش شدت خشکسالی‌های دهه‌های آینده منطقه‌های ساحلی جنوب خزر، منابع آبی را کاهش داده و اقتصاد مبتنی بر کشاورزی منطقه را با بحران شدیدی مواجه می‌نماید. (عرب سلغار و همکاران، ۱۴۰۱) در پژوهش خود به پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در حوضه آبریز دز از زیرحوضه‌های کارون بزرگ پرداختند بدین منظور از داده‌های دو مدل جهانی HADGEM2 و CANESM2 تحت سه سناریوی RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 و کاربست دو مدل مقیاس کاهی LARS-WG و SDSM بهره‌گرفتند و تغییرات اقلیمی در سه دوره آینده نسبت به دوره پایه (۲۰۱۸-۱۹۸۹) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هر دو مدل مقیاس از دقت مناسبی برخوردارند. نتایج حاصل از پیش‌بینی نیز نشان داد که در دوره‌های آتی میزان بارش بین ۶/۳- تا ۱۵/۷ درصد نسبت به دوره پایه در تغییر خواهد بود بیشترین تغییرات کاهشی و افزایشی نیز به ترتیب مربوط به نواحی شرقی و جنوب غربی حوضه خواهد بود. همچنین دمای بیشینه حوضه بین ۱/۳ تا ۳/۹ درجه سلسیوس و دمای بیشترین و کمترین تغییرات آن نیز به ترتیب مربوط به نواحی شرقی و شمال غربی حوضه خواهد بود. (لطفی قرانچای و همکاران، ۱۴۰۰) در پژوهش خود به بررسی عناصر اقلیمی دما و بارش ایستگاه سینوپتیک اهر برای دوره‌های آینده نزدیک (۲۰۴۵-۲۰۲۶)، آینده میانی (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و آینده دور (۲۰۸۵-۲۰۶۶) با استفاده از خروجی‌های مدل تغییر اقلیم CANESM2 بر پایه RCP2.6, RCP4.5 و RCP8.5 با مدل ریزمقیاس نمایی SDSM و نیز به بررسی روند سالانه این تغییرات با استفاده از آزمون من‌کندل پرداخته‌اند بر اساس

اساس نتایج به دست آمده مقادیر درجه حرارت، همبستگی بیشتری با داده های مشاهداتی در مقایسه با میزان بارندگی داشته اند که در دوره های اول، دوم و سوم توسط سناریو A2، میانگین درجه حرارت به ترتیب، ۵/۸۲، ۸/۴۱ و ۱۴/۵۶ درصد و در سناریو B2، به ترتیب، ۴/۰۸، ۹/۰۶ و ۱۱/۴۲ درصد نسبت به دوره پایه در ایستگاه سینوپتیک بیرجند افزایش می یابد و مقدار بارندگی سالانه برای سه دوره مورد مطالعه توسط سناریو A2 به ترتیب ۱/۴۶، ۲/۲۷، -۸/۶۶ درصد نسبت به دوره پایه تغییر خواهد کرد و در سه دوره مقدار مورد نظر براساس سناریو B2 نیز میزان بارندگی کاهش خواهد داشت. (نیکبخت شهبازی، ۱۳۹۷) در پژوهش خود برای بررسی تغییرات بارش، تبخیر و تعرق محصولات کشاورزی در استان خوزستان، جهت شبیه سازی داده های هواشناسی مدل گردش کلی CanESM2 در دوره های آتی از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM استفاده کرد و نتایج نشان داد میانگین دما در همه ایستگاه های منتخب و در همه سناریوها افزایش می یابد و این افزایش در مورد سناریو RCP8.5 از سناریو RCP4.5 بیشتر است و میانگین بارش نیز در همه دوره ها کاهش می یابد، بیشترین دما در منطقه خوزستان به طور متوسط به میزان ۴/۶ درجه سانتی گراد در دوره ۲۰۹۰ برای سناریو RCP8.5 و کمترین کاهش دما در دوره ۲۰۳۰ به میزان حدود ۱ درجه برای سناریو RCP4.5 می باشد میزان میانگین بارش نیز در دوره های ۲۰۶۰ و ۲۰۹۰ کاهش می یابد. (مرتضوی فر و همکاران، ۱۳۹۷) در پژوهش خود از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM به منظور پیش بینی پارامترهای بارش و دما در ایستگاه های سینوپتیک بابلسر و قراخیل در استان مازندران بر اساس سناریوهای تغییر اقلیم مدل گردش کلی CanESM2 پرداختند که نتایج ارزیابی، دقت مدل SDSM در شبیه سازی بارش بر اساس شاخص NSE, MAE, RMSE و R2 در ایستگاه بابلسر و قراخیل در مرحله صحت سنجی نشان داد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه سازی شده و در دوره پایه وجود داشته است و مقایسه مقادیر پیش بینی شده بارش و دما تحت سناریو RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در سه دوره (۲۰۳۹-۲۰۱۸)، (۲۰۶۸-۲۰۳۸) و (۲۱۰۰-۲۰۶۹) با دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۷) در هر دو ایستگاه بابلسر و قراخیل نشان دهنده کاهش بارش متوسط سالانه و افزایش دمای متوسط سالانه تحت هر سه سناریو RCP در سه دوره آتی نسبت به دوره پایه می باشد به

خروجی مدل مشخص شد که در آینده نزدیک بارش در ماه های فوریه و نوامبر و در ۲ دوره آینده میانی و دور، در ماه اکتبر بیشترین میزان کاهش و برای ماه های آوریل، می و اگوست افزایش بارش اتفاق خواهد افتاد به طوری که میانگین دمای کمینه ۰/۳۸ درجه سلسیوس، دمای متوسط ۰/۵۲ درجه سلسیوس و دمای بیشینه ۰/۸۲ درجه سلسیوس افزایش خواهد یافت بر اساس نتایج آزمون من- کندال روند سالانه بارش در آینده کاهشی، دمای متوسط در سه سناریو دارای روند افزایش و معنادار و عناصر دمایی (دمای کمینه متوسط و بیشینه) در RCP8.5 افزایش و معنادار خواهد بود. (عسگری و همکاران، ۱۴۰۰) در پژوهش خود به پیش بینی دما و تابش در سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM برای ایستگاه هواشناسی قائم شهر در استان مازندران پرداختند بر طبق نتایج به دست آمده روند افزایشی برای این فراسنج های اقلیمی در سناریوهای سه دوره نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۴۰)، میانی (۲۰۷۰-۲۰۴۱) و دور (۲۱۰۰-۲۰۷۱) مشاهده شد و بیشترین افزایش برای پارامترهای بیشینه در سناریوی RCP8.5 در دوره (۲۰۷۱-۲۱۰۰) و کمترین آن برای پارامتر تابش در دوره (۲۰۴۰-۲۰۱۱) مشاهده شد. همچنین به این نتیجه رسیدند که تاثیر افزایش در فراسنج های یاد شده می تواند موجب بهبود فرآیند شبیه سازی رشد و عملکرد گیاهان زراعی بر اساس درجه روز رشد و روزهای فتونرمال شود. (سلیمانی ساردو و مصباح زاده، ۱۳۹۹) در پژوهش خود به پیش بینی دما و بارش جنوب استان کرمان با استفاده از سناریوهای تغییر اقلیم و مدل های ریزمقیاس نمایی آماری نمودند نتایج پژوهش آن ها نشان داد که مقادیر بارش در دوره آتی نسبت به حالت پایه در ایستگاه بم به میزان ۷/۳۲ و ۸/۴۶ میلی متر به ترتیب در سناریو A2 و سناریو B2 افزایش می یابد از طرفی در ایستگاه جیرفت متوسط دمای فصل ها در سناریو A2 (۲۴/۷۹، ۸/۸۸، ۱۷/۳۸ و ۵/۴۸-) درصد افزایش دما، در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و زمستان است و این مقادیر در سناریو B2 به ترتیب (۲۶/۴۱، ۸/۱۰، ۱۶/۶۵ و ۶/۲۷-) درصد افزایش دما، در فصل بهار و تابستان و کاهش دما در فصل پاییز و زمستان است. (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۸) در پژوهش خود از مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM با استفاده از خروجی های مدل Hcdcm3 برای ارزیابی پارامترهای دما و بارش شهر بیرجند برای یک دوره ۲۰ ساله تحت سناریو های A2 و B2 پرداختند. و بر

مواد و روش

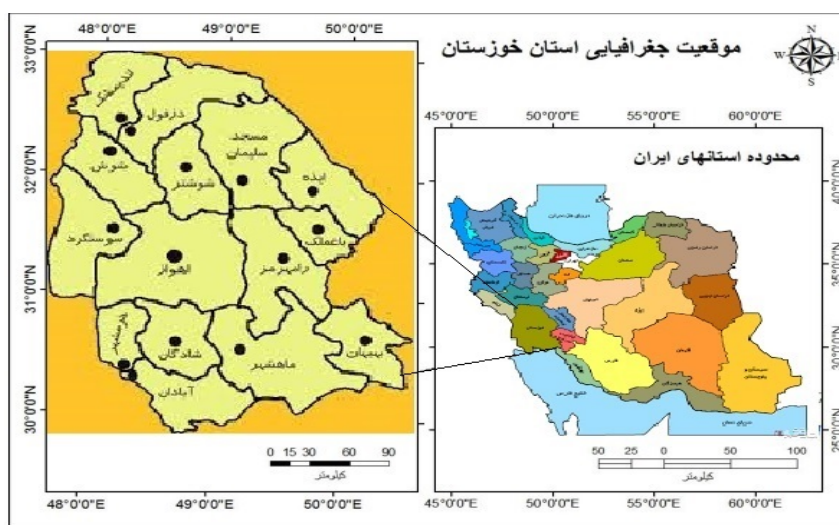
شهر اهواز مرکز استان خوزستان، با وسعت ۴۸۶۴ کیلومترمربع (۷/۶ درصد مساحت استان) در ۹۲۲ کیلومتری تهران واقع شده است. از شمال به دزفول و شوشتر، از شمال غربی به شوش از مشرق به رامهرمز و هفتکل، از جنوب به بندرماهشهر و خرمشهر و از مغرب به سوسنگرد محدود و در موقعیت ۳۱ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۸ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). ارتفاع متوسط شهرستان از سطح دریا ۳۱ متر و ارتفاع شهر اهواز از سطح دریا ۱۸ متر است (آمارنامه شهرداری اهواز، ۱۳۹۴). با توجه به آمارنامه ۱۴۰۱ شهرداری اهواز، جمعیت این شهر در سال ۱۴۰۰، برابر با ۱۲۶۲۵۸۰ نفر بوده است. و دارای ۸ منطقه شهری است. اهواز یکی از شهرهای صنعتی ایران است و صنایع بزرگی همچون شرکت نفت، فولاد خوزستان، کربن ایران، ملی حفاری در محدوده آن قرار دارد.

ابتدا داده‌های پایه همدید اهواز از سال ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۴ از اداره کل هواشناسی استان خوزستان دریافت گردیده است. مشخصات این ایستگاه در جدول (۱) بیان شده است. سپس با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و با مدل‌سازی داده‌های سناریوهای پیش‌بینی شده اجتماعی-اقتصادی (SSP)، دما و بارش این ایستگاه بر اساس مدل جفت شده MPI-ESM1-2-HR موسسه ماکس پلانک از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی گردید. مسیرهای مشترک اجتماعی و اقتصادی (SSP) سناریوهای پیش‌بینی شده اجتماعی-اقتصادی تا ۲۱۰۰ می‌باشد. از آن‌ها برای استخراج سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای با سیاست‌های مختلف آب و هوایی استفاده می‌شود (Riahi et al, 2011).

طوری که در دوره (۲۰۱۰-۲۰۶۹) تحت سناریو RCP8.5 (بدینانه) در ایستگاه بابلسر و قراخیل بارش متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۵۱/۰۷ و ۳۴/۷ درصد بیشترین کاهش و دمای متوسط سالانه به ترتیب به میزان ۳/۴۴ و ۳/۸۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین افزایش را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. (کلزائیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) با استفاده از مدل SDSM اقدام به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه نمودند و نتایج نشان داد میزان افزایش دما در دوره آماری (۲۰۹۹-۲۰۰۰) به میزان ۰/۴۵ و ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد و افزایش بارندگی به میزان ۱۰ و ۹ درصد برای دو سناریوی A2 و B2 خواهد بود.

هدف این پژوهش پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش ایستگاه همدید اهواز می‌باشد.

پژوهش حاضر سعی دارد به پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش ایستگاه همدید اهواز بپردازد و ضمن بررسی حداقل و حداکثر دما برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ اهواز و بررسی داده‌های بارش ماهانه دوره پایه (۲۰۱۴-۱۹۷۹)، روند افزایشی یا کاهش ماهانه و روزانه بارش، اهواز بدست آید. در این پژوهش از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، از مدل گردش عمومی MPI-ESM1-2-HR که در گزارش ششم IPCC آمده، تحت چهار سناریوی ssp126, ssp245, ssp370 و ssp585 و مدل‌های برون‌داد اقلیمی سری ششم (CMIP6) که به روز شده سناریوهای RCP2.6, RCP4.5, RCP6.5 و RCP8.5 استفاده شده است.



شکل ۱: موقعیت کلی استان خوزستان و اهواز (ماخذ: نقشه تقسیمات کشوری و گوگل ارث، ۱۴۰۲)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی اهواز (ماخذ: آمارنامه شهرداری اهواز، ۱۴۰۱)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع جغرافیایی	سال آماری
اهواز	۴۸/۴۰	۳۱/۲۰	۲۲/۵	۲۰۱۴-۱۹۷۹

IPCC است. این مدل علاوه بر مدل های قبلی که بر اساس مدل های جفت شده اقیانوس جو و اندرکنش این دو و سامانه بزرگ مقیاس گردش عمومی جو عمل می کنند، دو مدل جفت شده دیگر از جمله مدل زمین- پوشش گیاهی و مدل اندرکنش قاره- اقیانوس و چرخه کربن را در خود جای داده است. بنابراین در حال حاضر یکی از کامل ترین مدل های آماری است. (تبادل و همکاران، ۲۰۲۱).

CMIP6 پروژه ای است که توسط گروه کاری مدل سازی جفت شده (WGCM) به عنوان بخشی از برنامه تحقیقات جهانی آب و هوا (WCRP) هماهنگ شده است. فاز ۶ بر اساس مراحل قبلی اجرا شده تحت رهبری برنامه تشخیص و مقایسه مدل آب و هوا (PCMDI) پیاده سازی شده است. این مدل توسط موسسه ماکس پلانک با قدرت تفکیک بالاتر ارائه شده است مدل نامبرده آخرین نسخه از مدل های گردش عمومی جوی (GCM) و ارائه شده در آخرین گزارش

جدول ۲. مشخصات مدل MPI-ESM1-2-HR (منبع: تبادل و همکاران، ۲۰۲۱)

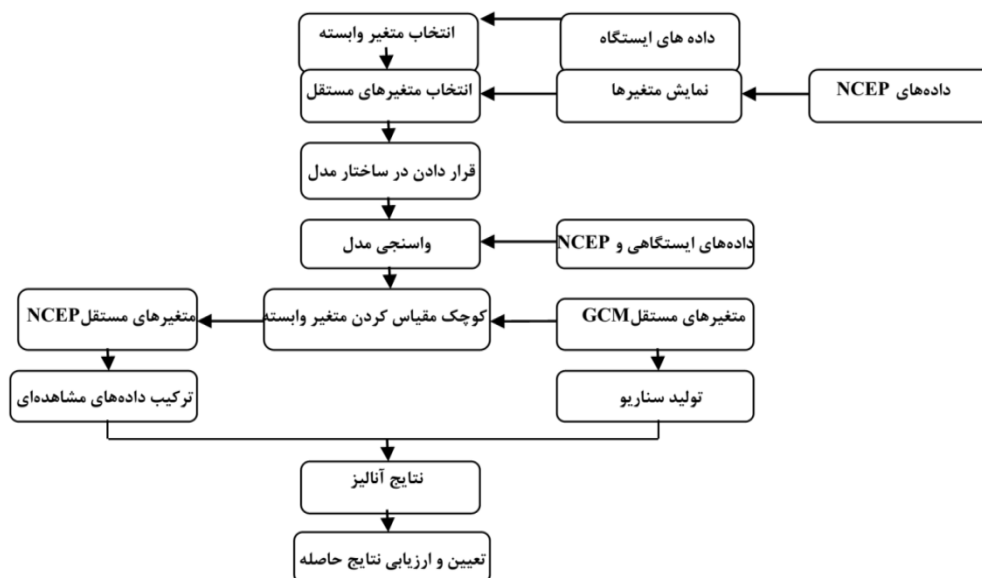
نام مدل	قدرت تفکیک اتمسفری (درجه طول*عرض)	قدرت تفکیک اقیانوسی (درجه طول*عرض)	گروه مؤسس	دوره شبیه سازی تاریخی / آینده	سناریوهای شبیه سازی	سال
MPI-ESM1-2-HR	۱۰۰*۱۰۰ کیلومتر	۵۰*۵۰ کیلومتر	آلمان	۲۰۱۴-۱۹۷۹ ۲۱۰۰-۲۰۱۵	ssp245, ssp126 ssp370 ssp585	۲۰۱۷

بازنگری و اصلاح می باشد. در آخرین نسخه برخی از روابط آماری به مدل اضافه شده است. همچنین از نظر فرم و گرافیک خروجی های نموداری نیز نسبت به نسخه های قبلی پیشرفته تر شده است. کلیه نسخه های این مدل به صورت رایگان قابل دانلود و استفاده محققان می باشد. نویسنده اصلی این مدل ویلبای یکی از اشخاص صاحب نام در مطالعات روش های ریزمقیاس کردن داده های مدل های گردش عمومی است که تا کنون مقالات بسیاری از ایشان در نشریات مختلف به چاپ رسیده است که عموماً به عنوان مقالات مرجع محققان از آن ها یاد می شود. مدل SDSM از روش های آماری رگرسیونی به منظور عملیات ریزمقیاس کردن استفاده می کند. مدل SDSM یک نرم افزار ویندوزی است که قابلیت اجرا بر روی کامپیوترهای شخصی را دارد. نحوه کار کردن با این مدل ساده است و کاربر می تواند در زمان کوتاه و با کمترین هزینه داده های مدل های گردش عمومی را به صورت ایستگاهی ریزمقیاس کند. طریقه استفاده از SDSM شامل ۶ مرحله است: ۱. کنترل کیفیت و تبدیل داده ها ۲. انتخاب متغیرهای پیش بینی کننده غالب ۳. واسنجی مدل ۴. تولید

مدل SDSM یک مدل ریزمقیاس کننده آماری است که قابلیت توسعه سریع و کم هزینه داده های ریزمقیاس شده در مقیاس ایستگاهی به صورت روزانه، ماهانه، فصلی و یا سالانه را دارا می باشد (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۷، ص ۴۷) این مدل اولین بار توسط ویلی و همکاران در سال ۲۰۰۲ تحت عنوان نسخه ۲/۱ در انگلستان تهیه شده است. که اساس آن استفاده از ترکیبی از روش های رگرسیونی و تولید داده های آب و هوای مصنوعی برای کوچک مقیاس سازی می باشد. در این مدل اقلیم محلی توسط اقلیم بزرگ مقیاس منطقه در فرم $R=F(X)$ بیان می شود که اینجا R نشان دهنده متغیر اقلیم محلی است که کوچک مقیاس شده است X مجموعه ای از متغیرهای اقلیمی بزرگ مقیاس است و F یک تابع تعیین، مشروط به X است که بر اساس آموزش و اعتبارسنجی داده های تاریخی به دست می آید (کمال و مساح بوانی، ۱۳۸۹). از آن زمان تا کنون این مدل ۶ بار تحت بازنگری قرار گرفته است. آخرین نسخه این مدل SDSM6.1 می باشد که در سال ۲۰۲۲ در اختیار محققان قرار گرفته است. همان طور که قبلاً گفته شد، مزیت این مدل این است که مدام در حال

می‌باشد. از دیگر فاکتورهایی که مدل خود به کاربر ارائه می‌نماید، همبستگی، واریانس، انحراف معیار داده‌ها و خطای استاندارد است. کاربر باید با تکیه بر تجربه خود و مقایسه های ارائه شده توسط مدل، متغیرهای پیش‌بینی‌کننده را برای مدل انتخاب کند. واسنجی یا کالیبراسیون داده‌ها: در مرحله بعد مدل با توجه به متغیرهای انتخاب شده داده‌ها کالیبره شد و پس از آن صحت سنجی مدل کالیبره شده با تولید داده‌های تاریخی و مقایسه آن‌ها با داده‌های مشاهداتی انجام و در صورت صحت واسنجی‌ها مدل برای آینده داده‌های اقلیمی را تولید می‌کند. تولید داده‌های تصادفی: در این مرحله بر اساس داده‌های کالیبره شده در مرحله قبل داده‌های تصادفی تولید شد. پیش‌بینی آینده: در آخرین مرحله پس از آماده سازی داده‌ها، صحت سنجی و واسنجی و تولید داده‌های تصادفی به پیش‌بینی داده‌ها بر اساس چهار سناریوی ذکر شده پرداخته شد (شکل ۲).

داده‌های تاریخی و صحت سنجی مدل ۵. آنالیز داده‌ها ۶. تولید سناریوهای اقلیمی آینده (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۷، ص ۴۷). مراحل اجرای این مدل به شرح ذیل است: کنترل کیفی داده‌ها: اطلاعات توصیفی داده‌ها در این قسمت مشاهده می‌شود. روابط بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و پیش‌بینی شونده: خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی در تحقیق حاضر خروجی‌های مدل MPI تحت چهار سناریوی اخیر و پیش‌بینی شونده‌ها (داده‌های تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته و روابط تجربی بین آن‌ها تعیین شده است. هدف اصلی این بخش کمک به کاربر در انتخاب متغیرهای پیش‌بینی‌کننده موثر در ریزمقیاس‌کننده آماری است و معیار ارتباط متغیرها بر اساس روابط رگرسیونی است. از آن‌جا که انتخاب متغیر پیش‌بینی‌کننده کاملاً بر خصوصیات سناریوهای اقلیمی ریزمقیاس شده تأثیرگذار است. در چنین مرحله‌ای یکی از فاکتورهای لازم جهت انتخاب صحیح متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، تجربه کاربر



شکل ۲. فرایند عملیات ریزمقیاس‌نمایی توسط مدل SDSM (ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

می‌دهد می‌تواند انسان را قادر سازد تدابیر پیشگیرانه‌ای قبل از وقوع این پیامد اتخاذ کند. به همین منظور در پژوهش حاضر پارامترهای دما و بارش ایستگاه همدید اهواز برای یک دوره ۳۰ ساله پیش‌بینی می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در اکثر سناریوها، دمای حداقل در بیشتر ماه‌ها روند افزایشی را دارد (شکل ۲). اما در

نتایج و بحث

پیامدهای ناشی از تغییرات اقلیمی که عمدتاً ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشد اثرات منفی و مخربی را بر جوامع بشری تحمیل کرده است. این پیامدها آینده بشر را با خطرات جدی مواجه کرده است. دانستن پیش‌بینی این که در آینده تغییرات آب و هوایی به چه میزان بشر را مورد تهدید قرار

حداکثر دمای بلندمدت در تمامی سناریوها کم تر از ۲ درجه سانتیگراد می باشد. مقدار متوسط بلندمدت دما برای سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ در سناریوهای چهارگانه به ترتیب ۳۴/۸، ۳۴/۹، ۳۵/۱ و ۳۵/۱ درجه خواهد بود که نسبت به سال پایه همگی رشد نشان می دهند (جدول ۴).

بررسی ماهانه میانگین حداکثر دما در چهار سناریوی بررسی شده برای ایستگاه اهواز نشان می دهد که دمای حداکثر ماهانه در تمامی ماه ها بین ۰/۸ تا ۲/۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته است. بیشترین میزان دمای پیش بینی شده به میزان ۴۹/۳ درجه برای ssp585 و ماه جولای رخ داده است که نسبت به سال پایه حدود ۲/۷ درجه رشد نشان می دهد. کمترین میزان رشد دما نیز با ۰/۸ درجه در ماه دسامبر و در سناریوی ssp245 خواهد بود (شکل ۳).

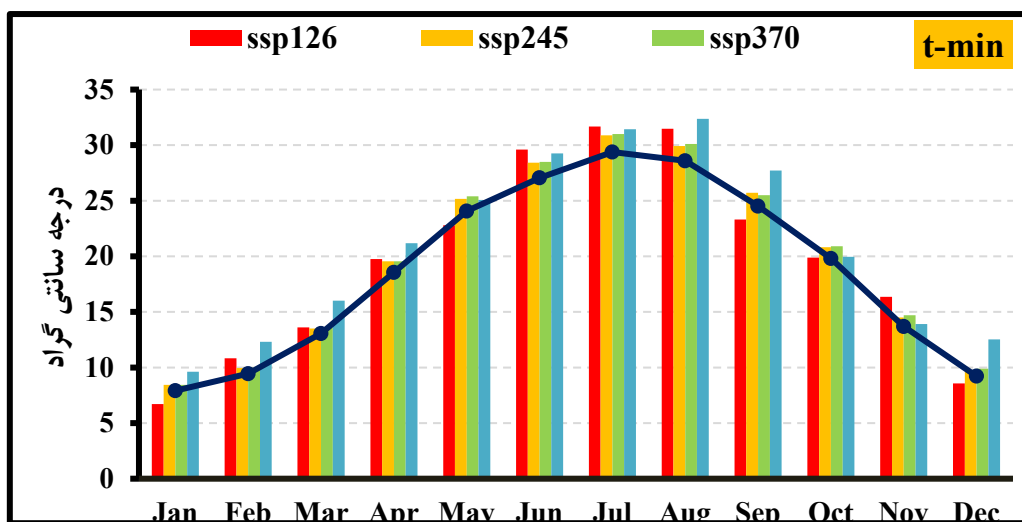
بر اساس شکل ۴ و جدول ۵ میانگین پربارش ترین و کم بارش ترین روزها در ماه های سال در ایستگاه اهواز به ترتیب ماه های ژانویه و دسامبر با ۱/۸ میلیمتر در روز می باشد. در این ایستگاه متوسط بارش روزانه در تمامی ماه ها بسیار اندک و حدود از ۰/۵ میلیمتر بوده و بیش تر تمرکز بارش در ماه های سرد سال (ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر) می باشد. مقایسه بین متوسط بارش ماهانه دوره پایه با سناریوهای پیش بینی کننده طی (۲۰۲۰ - ۲۰۵۰) نشان می دهد که بارش براساس اکثر سناریوهای بررسی شده برای همه ماه ها، افزایشی حدود ۰/۱ تا ۰/۶ میلی متری متوسط بارش روزانه را برای سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ پیش بینی کرده است. ماه می تقریباً بارش ها نسبت به سال پایه دچار تغییر نخواهد شد. اما بیش ترین تغییر در همه سناریوها برای ماه های ژانویه و سپس دسامبر به صورت افزایش در مقدار بارش روزانه خواهد بود. بالاترین میزان رشد بارش مربوط به سناریو ssp126 برای ماه دسامبر به میزان ۰/۶ میلیمتر بوده است (شکل ۴).

سناریوی ssp126 در ماه های ژانویه، می، سپتامبر و دسامبر دمای حداقل با کاهش روبرو خواهد شد. بررسی حداقل دمای ماهانه مشاهداتی نشان می دهد که در هیچ کدام از ماه های سال میانگین حداقل دما در ایستگاه اهواز به زیر ۶/۵ درجه سانتیگراد نرسیده است. اما در تمام سناریوها حداقل دما به حدود بین ۰/۵ تا ۳/۵ درجه سانتی گراد افزایش یافته است که نشان از رشد دما در آینده می باشد. بیشترین رشد دما به طور میانگین در ssp585 می باشد به طوری که میانگین بلندمدت دمای ماهانه از ۱۸/۸ درجه به ۲۰/۹ درجه در این سناریو رسیده است که افزایشی ۲/۱ درجه ای را نسبت به سال پایه نشان می دهد. کمترین مقدار افزایش حداقل دما نیز با میانگین بلندمدت ۱۹/۵ درجه در سناریوی ssp126 می باشد که نسبت به سال پایه رشدی ۰/۷ درجه ای را نشان می دهد. بر اساس شکل ۲ و جدول ۳ می توان دریافت که به ترتیب کمترین حداقل دمای ثبت شده در ماه ژانویه به میزان ۶/۷ در ssp126 به ثبت رسیده که نسبت به سال پایه کاهشی حدود ۱/۲ درجه ای خواهد داشت. بیشترین مقدار حداقل دما نیز در ماه جولای با ۳۲/۴ درجه سانتیگراد در سناریوی ssp585 به ثبت رسیده است که رشدی حدود ۳/۸ درجه ای را نشان می دهد. ماه های دسامبر، ژانویه، فوریه سردترین ماه های ایستگاه اهواز بوده است. این در حالی هست که بر اساس سه سناریو ssp245، ssp370 و ssp585 حداقل دماهای پیش بینی شده در این ماه روند افزایشی قابل توجهی قابل توجهی را خواهد داشت. این روند در ssp585 نسبت به سایر سناریوها بسیار شدیدتر بوده و به بیش از ۱/۵ درجه سانتیگراد می رسد. اما در ماه های گرم سال (می، جون، جولای، آگوست) ssp126 روند افزایشی حداقل دماها را بین ۱ تا ۱/۵ درجه سانتیگراد نشان داده و این در حالی می باشد که سه سناریو دیگر افزایش متوسط حداقل دمای ماهانه را برای ماه های گرم سال نشان داده است.

مقایسه بین میانگین حداکثر دمای ماهانه ایستگاه اهواز نشان می دهد که در تمام سناریوهای اقلیمی آینده دما نسبت به سال پایه افزایش خواهد یافت؛ به طوری که مقدار متوسط افزایش بلندمدت حداکثر دما در سناریوی ssp126 ۱/۶ در سناریوی ssp245 ۱/۷ و در سناریوهای ssp370 و ssp585 نسبت به سال پایه به ۱/۹ درجه سانتیگراد خواهد رسید. اما این افزایش

جدول ۳. مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده حداقل دمای ایستگاه اهواز با توجه به سناریوهای اقلیمی (ماخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۲)

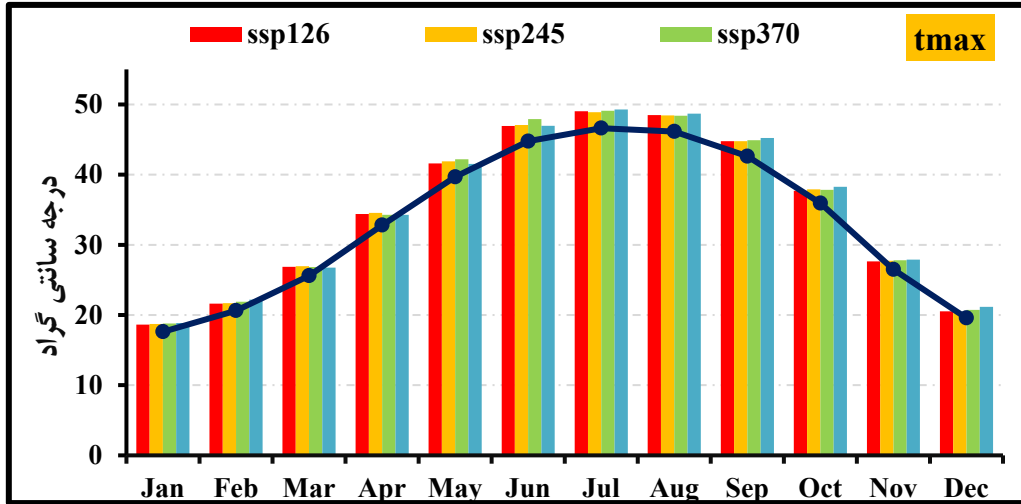
Month	observation	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
Jan	7.9	6.7	8.4	8.4	9.6
Feb	9.4	10.8	9.9	10	12.3
Mar	13.1	13.6	13.5	13.6	16
Apr	18.6	19.8	19.6	19.6	21.2
May	24.1	22.8	25.2	25.4	25.1
Jun	27.1	29.6	28.4	28.5	29.3
Jul	29.4	31.7	30.9	31	31.4
Aug	28.6	31.5	29.9	30.1	32.4
Sep	24.5	23.3	25.7	25.5	27.7
Oct	19.8	19.9	20.8	20.9	20
Nov	13.7	16.4	14.5	14.7	13.9
Dec	9.2	8.6	9.7	9.9	12.5
میانگین	18.8	19.5	19.7	19.8	20.9



شکل ۳. میانگین حداقل دمای ایستگاه اهواز در دوره پایه و چهار سناریو آن برای سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ برحسب درجه سانتی‌گراد

جدول ۴. مقادیر مشاهداتی و پیش‌بینی شده حداکثر دمای ایستگاه اهواز با توجه به سناریوهای اقلیمی

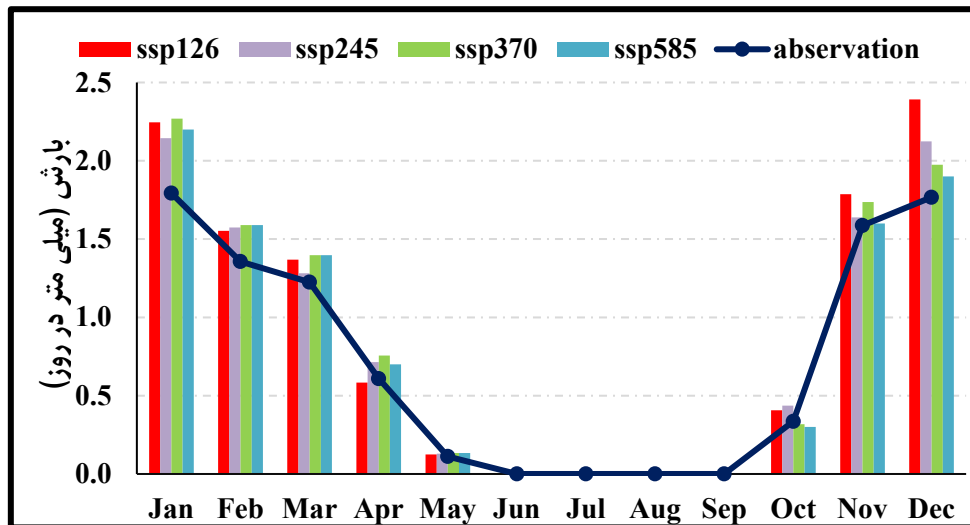
Month	observation	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
Jan	17.6	18.6	18.7	18.8	18.9
Feb	20.6	21.6	21.7	21.9	22.2
Mar	25.6	26.9	26.9	26.8	26.7
Apr	32.8	34.4	34.6	34.3	34.3
May	39.7	41.6	41.9	42.2	41.5
Jun	44.8	46.9	47.1	47.9	46.9
Jul	46.6	49.0	48.9	49.1	49.3
Aug	46.1	48.5	48.4	48.4	48.7
Sep	42.6	44.8	44.8	44.9	45.2
Oct	35.9	37.7	37.9	37.8	38.3
Nov	26.5	27.6	27.7	27.8	27.9
Dec	19.6	20.5	20.4	20.7	21.2
میانگین	33.2	34.8	34.9	35.1	35.1



شکل ۴. میانگین حداکثر دمای ایستگاه اهواز در دوره پایه و چهار سناریو آن برای سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ برحسب درجه سانتیگراد

جدول ۴. مقادیر مشاهداتی و پیش بینی شده بارش روانه ایستگاه اهواز با توجه به سناریوهای اقلیمی

Month	observation	ssp126	ssp245	ssp370	ssp585
Jan	1.8	2.2	2.1	2.3	2.2
Feb	1.4	1.6	1.6	1.6	1.6
Mar	1.2	1.4	1.3	1.4	1.4
Apr	0.6	0.6	0.7	0.8	0.7
May	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Jun	0	0	0	0	0
Jul	0	0	0	0	0
Aug	0	0	0	0	0
Sep	0	0	0	0	0
Oct	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3
Nov	1.6	1.8	1.6	1.7	1.6
Dec	1.8	2.4	2.1	2	1.9
میانگین	0.7	0.9	0.84	0.85	0.82



شکل ۵. میانگین بارش روزانه ایستگاه اهواز در دوره پایه و چهار سناریو آن برای سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ برحسب میلیمتر

نتیجه‌گیری

در این کار تحقیقی از روش ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و جهت ارزیابی تغییرات اقلیمی، از مدل گردش عمومی و مدل‌های برونداد اقلیمی سری ششم (CMIP6) که به روز شده سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6.5 و RCP8.5 استفاده شد.

نتایج بررسی حداقل دمای ماهانه برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ نشان داد که در آینده حداقل دما بین ۰/۵ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد یافت و گرم‌تر خواهد شد که نشان از رشد دما در آینده می‌باشد. همچنین بررسی ماهانه میانگین حداکثر دما در چهار سناریوی بررسی شده (۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰) برای ایستگاه اهواز نشان می‌دهد که دمای حداکثر ماهانه در تمامی ماه‌ها بین ۰/۸ تا ۲/۳ درجه سانتیگراد افزایش یافته و دمای هوا گرم‌تر خواهد شد. نتایج بررسی داده‌های بارش ماهانه دوره پایه با سناریوهای پیش‌بینی‌کننده طی (۲۰۲۰-۲۰۵۰) نشان می‌دهد که بارش براساس اکثر سناریوهای بررسی شده برای همه ماه‌ها افزایشی حدود ۰/۱ تا ۰/۶ میلی‌متری متوسط بارش روزانه را برای سال‌های ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ پیش‌بینی کرده است.

نتایج این تحقیق با پژوهش‌های (لیم زاکول و سیگروک، ۲۰۱۶)، (تاتسومی و همکاران، ۲۰۱۳)، (زکوی و همکاران، ۱۴۰۳)، (بروغنی و همکاران، ۱۴۰۱)، (عسگری، و همکاران، ۱۴۰۰)، (نیکبخت شهبازی، ۱۳۹۷) که تنها فقط به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر میزان دما و یا بارش پرداختند متفاوت است. همچنین نتایج تحقیق (فونگ و همکاران، ۲۰۲۰)، (گلاچا و مولونگو، ۲۰۱۷)، (فایسها و همکاران، ۲۰۱۲)، (لطفی قرانچای و همکاران، ۱۴۰۰)، (سلیمانی ساردو و مصباح زاده، ۱۳۹۹)، (جهانگیر و همکاران، ۱۳۹۸)، (کلزانیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵)، با نتایج بدست آمده از این پژوهش مشابه است. نتایج بررسی (فونگ و همکاران، ۲۰۲۰)، (بانزه و همکاران، ۲۰۱۸)، (گلاچا و مولونگو، ۲۰۱۷)، (فایسها و همکاران، ۲۰۱۲)، (عرب سلغار و همکاران، ۱۴۰۱)، (کلزادیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۵) که اثرات تغییر اقلیم بر میزان بارش حوضه مناطق مورد مطالعه را بررسی نمودند با پژوهش حاضر متفاوت است.

پیشنهاد می‌شود مدیران شهری زمینه انجام پژوهش‌های زیادی مثل بهره‌برداری از متدهای دیگر ریزمقیاس‌نمایی تحت سناریوی جدید را در این عرصه فراهم نمایند. بدیهی است چنین نتایجی در برنامه‌ریزی‌های طولانی مدت در امور خدمات مدیریت بحران شهر ضروری به نظر می‌رسد. با توجه به موارد فوق می‌توان گفت آینده گرمی در انتظار اهواز خواهد بود با این وجود بارش‌ها نیز اندکی رشد دارند که این بارش‌ها در انتهای فصل زمستان بیشتر خواهد شد و زمینه سیل که از نشانه تغییرات اقلیم است را فراهم می‌نماید.

منابع

- 1- Arab Seghar, A. A., Parhamt, J and Guderzi, M. (2022). Forecasting climate changes using atmospheric general circulation model and straw scale SDSM and LARS-WG models under radiative forcing scenarios in River Dez basin, *Natural Geography Quarterly*, Volume 15, Number 55, April 1401, pp. 129-149.
- 2- Askari, A., Darzi Naftchali, A., Naderi, M. and Saber Ali, S.F. (2021). Forecasting temperature and radiation with SDSM model based on RCP scenarios (case study of Qarakhil synoptic station), *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, 12th year, number, 45, autumn 2021, pp. 364-348.
- 3- Asyabanipour, A. (2013). Evaluation of urban development plans and programs with a zero-carbon approach (Mori study of the city of Tabriz), Master's thesis, Department of Geography and Urban Planning, Supervisor, Professor Mohammadi, Mohammad Reza, Tabriz University, Ares International Campus, Faculty of Architecture and Urban.
- 4- Banze, f., Guo, J and Xiaotao, S. (2018). Impact of Climate Change on Precipitation in Zambeze River Basin Southern Africa. *Nat Environ Pollut. Technol*, 17(4), 1093 – 1103.
- 5- Birjandi, V., Ghorbani, S.A and Kavousi, A. (2014). Investigating climate change and factors affecting it, the second international research conference in science and technology, Turkey-Istanbul, March 24, 2014, pp. 1-12.
- 6- Broghni, M., Fahiminejad, A and Pajohan, A. (2022). Drought prediction of the Caspian Sea coast with the impact of climate change, *Otum Umbi Quarterly*, No. 2, Volume 20, July 2011, pp. 99-116.
- 7- Birjandi, V., Ghorbani, and Kaousi, A. (2014). Investigating climate change and

- case study of Ahar synoptic station), *Natural Geography Quarterly*, Volume 14, Number 53, Serial Number 53, November 2021, pp. 57-74.
- 17- Mortazavi Far, S., Mobin, M.H., Mokhtari, M.H., Akrami, M and Rafiei Sardoui, A. (2017). Evaluation of climate change effects on precipitation and temperature variables based on RCP radiative forcing scenarios (case study of eastern Mazandaran province). *Journal of Meteorology and Atmospheric Sciences*, Volume 1, Number 4, March 2017, Pages, 351-364.
 - 18- Nikbakht Shahbazi, A. (2017). Investigating the number of changes in precipitation and evaporation and transpiration of agricultural products in Khuzestan province under the influence of climate change, *Journal of Water and Soil Conservation Research*, Volume 25, Number 6, 2017.
 - 19- Phuong, D., Nguyen, P. D., Trung, Q., Liem, N. D, Tram, V., Quynh, C., Dang. K., and Lio, N.K. (2020), Projections of Future Climate Change in the Vugia Thu Bon River Basin, Vietnam by Using Statistical downscaling model (SDSM). *Water*, 12(3).
 - 20- Rezaei, M., Nahtani, M., Abkar, A., Rezaei, M and Mirkazehi Rigi, M. (2013). Investigating the effectiveness of statistical exponential microscale model (SDSM) in predicting temperature parameters in two arid and semi-arid climates (case study: Kerman and Bam), *Watershed Management Research*, 2014; 5 (10): 117-131.
 - 21- Riahi, K., Rao, Sh., Krey. V and Cho, Ch. (2011), RCP 8.5 A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions, 109: 33-57.
 - 22- Soleimani sardo, F., Mesbahzadeh, T. (2019). Forecasting temperature and precipitation using climate change scenarios and statistical exponential micro scale models (case study: south of kerman province), *Journal of environmental Research*, year 11, number 22, autumn and winter 2019, pages 97-110.
 - 23- Statistics letter of Ahvaz city. (2014). Vice President of Human Capital Planning and Development, Management of Information and Communication Statistics, Publication of Public Relations and International Affairs of Ahvaz Municipality, publication date: 2015.
 - 24- Statistics letter of Ahvaz city. (2021). Vice President of Human Capital Planning and Development, Management of Information and Communication Statistics, Publication of Public Relations and International Affairs of Ahvaz Municipality, publication date: 2022.
 - 25- Tebaldi, C., Debeire, K., Eyring, V., Fischer, E., Fyfe, J., Friedlingstein, P., Knutti, R., Lowe, J., O'Neill, B., Sanderson, B., van factors affecting it, the second international research conference in science and technology, Turkey-Istanbul, March 24, 2014, pp. 1-12.
 - 8- Fiseha, B.M., Melesse A. M., Romanoe, Volpi, E and Fiori, A. (2012), Statistical Downscaling of the Upper Tiber Basin in Cenfral Italy Interahational Journal of Water Sciences, Vole 1, PP 1-1417.
 - 9- Metekiya, M. G and Mulungu. D. M M. (2017), Generation of Climate Change Scenarion for Precipitation and Temperature at Local Scales Using SDSM in Wami-Ruvu River Basin Tanzania, *Physics and Chemistry of the Earth, parts A/B/C*.Volume 100, August 2017, Pages 62-72.
 - 10- Heydarzadeh, H., Pour Asghar Sangachin. F., Ramezani, J and Bahrami, S. (2016). Investigating the correlation between carbon dioxide emissions and population, urbanization rate and gross domestic product of Iran using a multivariable regression model, *Environmental Studies Quarterly*, second volume, fourth issue, winter 2016, pp. 526-598.
 - 11- Jahangir, M.H., Sadatinejad, S.J and Haghigi, P. (2017). Prediction of temperature parameters under CanEMS2 model (case study: Lar synoptic station), *watershed promotion and development magazine*, 6th year, number 22, autumn 2017, 45-52.
 - 12- Jahangir, M.H., Rihani, A and Nowrozi, A. (2018). Evaluation of temperature and rainfall parameters using SDSM exponential microscale model in Birjand city, *Watershed Promotion and Development Journal*, 7th year, No. 26, Fall 2018, pp. 17-25.
 - 13- Kalzaianpour, G., Mohammad Rezapour, A and Malmir, M. (2015). Evaluation of the effects of climate change on the amount of runoff of the Nazlochai River in the Urmia Lake catchment, *Geography and Development Quarterly*, No. 42, pp. 183-198.
 - 14- Kamal, A., Masah B. A. (2010). The impact of climate change and fluctuations on watershed runoff with the involvement of uncertainty of two hydrological models, *water and soil journal - Ferdowsi University of Mashhad*, volume 24, number 5, Azar-Dec, 1389, pages 920-931.
 - 15- Limsakul, A and Singhruck, P. (2016), Long-term Trends and Variability of Total and Extreme Precipitation in Thailand. *Atmospheric Research*, Volom 169, part, 1March 2016, Pages 301-317.
 - 16- Lotfi Quranchai, S., Shakiba, A., Dasht-e-Zorgi, A., Rabbani, F and Akbari Azirani, T., (2021). Modeling and forecasting of climatic elements of temperature and precipitation (a

- 27- Zarei, Y., Khurshid Dost, A.M., Rezaei Banafsheh, M and Rostamzadeh, H. (2018). Comparative detection of climate changes in two very humid-temperate and cold mountainous climatic regions (case study: Bandar Anzali and Shahrekord), spatial analysis of environmental hazards, 2018; 6 (4): 109-122.
- 28- zakavi, Y., Borna, R., Morshedi, J., Ghorbanian, G. (2024), Performance Analysis of SDSM in downscaling temperature in khuzestan province, Journal climate Research, year 15, number 58, Summer 2024, pages 85-97.
- Vuuren, D., Riahi, K., Meinshausen, M., Nicholls, Z., Tokarska, K. B., Hurtt, G., Kriegl, E., Lamarque, J.-F., Meehl, G., Moss, R., Bauer, S. E., Boucher, O., Brovkin, V., Byun, Y.-H., Dix, M., Gualdi, S., Guo, H., John, J. G., Kharin, S., Kim, Y., Koshiro, T., Ma, L., Olivié, D., Panickal, S., Qiao, F., Rong, X., Rosenbloom, N., Schupfner, M., Séférian, R., Sellar, A., Semmler, T., Shi, X., Song, Z., Steger, C., Stouffer, R., Swart, N., Tachiiri, K., Tang, Q., Tatebe, H., Voldoire, A., Volodin, E., Wyser, K., Xin, X., Yang, S., Yu, Y and Ziehn, T. (2021), Climate model projections from the Scenario Model Intercomparison Project (ScenarioMIP) of CMIP6, *Earth Syst. Dynam.*, 12, 253–293.
- 26- Thatsumi, K., Oizumi, T and Yamashiki, Y.A. (2013). Introduction of daily minimum and maximum temperature change signals in the shikoku region using the statistical downscaling method by GCMs. *Hydrological Research Letters*, 7(3), 48-53.