

مقایسه تغییرات فصلی دما در ایستگاه‌های جنوب غربی ایران با تاکید بر استان خوزستان

یاسر زکوی^۱، رضا برنا^{*۲}، جعفر مرشدی^۳، جبرائیل قربانیان^۴

۱- دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲- دانشیار گروه جغرافیا، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۳- استادیار گروه شهرسازی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران

۴- استادیار گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

چکیده

افزایش گازهای گلخانه‌ای سبب برهم خوردن تعادل اقلیمی کره زمین و تغییر اقلیم می‌شود. برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم نرم افزارهای گردش عمومی جو به شکل گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند نرم افزارهای گردش عمومی جو تنها قادر به شبیه سازی فرانسج اقلیم در سطوح بزرگ هستند جهت استفاده از این نرم افزارها لازم است، داده‌ها به روشهای مختلف ریزمقیاس گردند. هدف این تحقیق مقایسه تغییرات فصلی دما در ایستگاه‌های جنوب غربی ایران با تاکید بر استان خوزستان از مدل ریزمقیاس نمایی آماری *SDSM* استفاده از خروجی‌های مدل اقلیمی *CanESM2*، تحت سناریوهای *RCP2.6* و *RCP8.5* است. ۷ ایستگاه همدیدی استان خوزستان، که دارای آمار اقلیمی ۴۵ ساله (۱۹۶۱ - ۲۰۰۵) و ۴۰ ساله (۱۹۶۶ - ۲۰۰۵) میلادی بودند، انتخاب گردید. داده‌های دوره پایه (۱۹۶۱-۲۰۰۵) میلادی است که از ۳۰ سال اول داده‌ها (۱۹۶۱-۱۹۹۰) برای واسنجی و از ۱۵ سال دوم (۱۹۹۱-۲۰۰۵) برای ارزیابی نحوی عملکرد مدل با استفاده از معیارهای خطا و دقت ارزیابی شده است. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل آماری برای هر دو مجموعه داده مشاهداتی و ریزمقیاس‌نمایی شده نشان می‌دهد که، مدل *SDSM* در ریزمقیاس‌نمایی دمای خروجی مدل *CanESM2* دارای کارایی بالایی است؛ به طوری که میزان ضریب *RMSE* و *R* طی دوره صحت سنجی در تمامی ایستگاه‌های مورد بررسی، به ترتیب دارای دامنه ۱/۶ تا ۲/۷ و برای ضریب همبستگی از ۹۸ تا ۹۹ درصد بوده است. نتایج حاصل نشان داد که همبستگی بین میانگین دما ایستگاه و میانگین دمای دو متری *NCEP* بیشترین همبستگی را در فصل پاییز و کمترین آن در فصل تابستان می‌باشد. میانگین دمای ایستگاه‌ها در دوره آینده نسبت به دوره پایه در فصل تابستان به طور متوسط بیشترین افزایش را نسبت به فصل‌های دیگر نشان می‌دهد. بررسی شاخص فراوانی روزهای یخبندان در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی به صورت کاهشی می‌باشد. با توجه به پیش‌بینی‌های میانگین حداقل دما و مقایسه آن‌ها با دوره پایه، میتوان نتیجه گرفت که به طور متوسط در دوره آینده پیش‌بینی شده، در هر دو سناریو به میزان ۱ روز از فراوانی یخبندان این استان کاسته می‌شود و همچنین کاهش شاخص یخبندان در جنوب استان از شدت کمتری برخوردار است.

کلید واژه‌ها: پیش‌بینی، تغییرات فصلی، خوزستان، مدل *SDSM*

مقدمه

در دهه های اخیر، تغییرات اقلیمی به یکی از مسائل با اهمیت و جدی محیط زیستی تبدیل شده است. تغییر اقلیم از چالشهای اساسی بشر امروزی است که بر تمام زوایای زندگی بشر تاثیر گذاشته است. رشد جمعیت، استفاده از مواد آلاینده زیست محیطی، تولید سوختهای فسیلی پس از انقلاب صنعتی، صنعتی شدن کشورها و بهره برداریهای خودخواهانه بشر از منابع طبیعی و فعالیت های مخرب انسان در کره زمین باعث تخریب محیط زیست و افزایش گازهای گلخانه ای و افزایش میزان CO₂ ورودی به جو شده است که این امر موجب تغییر در اکوسیستم کره زمین و در نهایت منجر به افزایش گرمایش جهان می گردید. برگزاری نشستهای بین المللی، کنفرانسهای علمی داخلی و خارجی و ... تدابیر دولتها برای کاهش سطح انتشار گاز دی اکسید کربن و حذف آلایندههای خطرناک هوا و محیط زیست حکایت از اهمیت این موضوع دارد. به علاوه، حساسیت و علاقه مندی مردم نسبت به مسائل پیرامون و محیط زیست اطراف نسبت به گذشته بیشتر شده است. در گستره کشور پهناوری چون ایران، که در طول و عرض جغرافیایی و سطوح ارتفاعی متنوعی، گسترده شده است در معرض شرایط آب و هوایی متفاوت قرار دارد (اسمعیل نژاد و همکاران، ۱۳۹۲)، تغییرات فصلی دما را میتوان به وسیله مدل ها پیش بینی کرد (ذوالفقاری، ۱۳۸۴). دروازه ورود به مبحث تغییر اقلیم بحث گرمایش جهانی و اثر گلخانه ای جو و افزایش دمای هوا می باشد (فرزانه و همکاران، ۱۴۰۰). دما به عنوان یکی از مهم ترین عناصر اقلیمی، شاخص مناسبی برای ردیابی تغییر اقلیم بوده است (عطایی و همکاران، ۱۳۹۴). دما یکی از عمده ترین و اساسی ترین پارامتر اقلیمی است که به علت اهمیت آن از دیرباز مورد توجه اقلیم شناسان بوده است. با توجه به دریافت نامنظمی زیاد است که این تغییرات به نوبه سبب تغییرات دیگری در سایر عناصر هوا می گردد. تغییرات دمایی از اواخر قرن ۱۹ و آغاز قرن ۲۰ یکی دیگر از دلایل عمده توجه به این عنصر اقلیمی به شمار می رود و از جمله عناصر مهم اقلیمی است که در ایجاد آن علاوه بر انرژی تابشی خورشید، عوامل متعددی از قبیل ماهیت فیزیکی، هدایت گرمایی، ناهموازی و ارتفاع سطح زمین و همچنین وزش باد و شرایط ابرناکی دخالت دارند.

هاسن و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل SDSM و شبکه عصبی (سناریوی A2) مصنوعی روند هیدرولوژیکی جریان

آینده حوضه رودخانه Kurau را در مالزی پیش بینی نمودند. جریان ماهانه پیش بینی شده، کاهش روند را به دلیل افزایش در میانگین دمایی برای تمامی ماهها، به استثنای ماه آگوست و نوامبر نشان میدهد. فایسها و همکاران (۲۰۱۲) بارش و دمای حوضه رودخانه تیبیر بالا را در مرکز ایتالیا توسط ریز مقیاس نمایی دو مدل SDSM و LARS WG (سناریوهای A2 و B2) برای چهار دوره شامل اقلیم کنونی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) برای سالهای ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ را بررسی و ارزیابی نمودند. نتیجه مدل SDSM در این مطالعه حاکی از افزایش روند حداقل، حداکثر دما و بارش تا پایان سال ۲۰۸۰ میباشد. میکونن ودیسی (۲۰۱۶) تغییرات اقلیمی حوضه رودخانه نیل آبی (آفریقا) را با استفاده از مدل SDSM و LARS-WG تحت شش سناریو بررسی کردند. یافته ها افزایش روند حداکثر و حداقل دما را نشان می دهد. سراف و همکاران (۲۰۱۶) بارش و دمای حوضه رودخانه گودواری را برای دهه های ۲۰۲۰، ۲۰۵۰ و ۲۰۸۰ با استفاده از مدل SDSM و داده های خروجی مدل های CGCM3 و HadCM3 تحت سناریوی B2 و A2 مطالعه کردند. نتایج مدل حاکی از افزایش روند حداکثر دما و بارش است. در ایران نیز استفاده از مدل های پیش بینی در حال گسترش است که از جمله مطالعات صورت گرفته می توان به موارد زیر اشاره نمود:

صمدی و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات جریان آینده حوضه آبریز کرخه را در غرب ایران با استفاده از مدل SDSM و شبکه عصبی مصنوعی بررسی نمودند. نتایج در هر دو مدل به ترتیب افزایش درجه حرارت روزانه را تا ۱.۰۴ درجه (۹.۷۱٪) و ۱.۸۴ درجه (۱.۸۴٪) نشان داد. قهرلو (۱۳۹۰) با استفاده از ریز مقیاس نمایی مدل SDSM تغییر اقلیم را در کرج بررسی نمود. نتایج حاکی از افزایش دما حدود ۱.۷ درجه سانتیگراد برای دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ است که این افزایش در پاییز به بیشترین و در زمستان کمترین میزان میرسد. کاظمی راد و محمدی (۱۳۹۴) با استفاده از LARS-WG تغییرات اقلیمی گیلان را بررسی نمودند. نتایج حاکی از افزایش دماهای کمینه و بیشینه (۰.۴ درجه سانتیگراد) در دوره اقلیمی ۲۰۱۱-۲۰۳۰ را نشان می دهد. همچنین پیش بینی دمای رشت توسط پیرمردیان و همکاران (۱۳۹۵) توسط مدل لارس حاکی از افزایش دما است. عباس نیا و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل SDSM دمای حداکثر روزانه ۹ ایستگاه سینوپتیک کشور را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که دمای ایران به طور متوسط

میانگین دمای شهر کرمانشاه پرداخته و به این نتیجه رسیده اند که با افزایش طول دوره پایه، پیش بینی مدل بهتر خواهد شد و هرچه طول دوره کمتر باشد برآورد مدل چندان مناسب نخواهد بود. امیری و همکاران (۱۳۹۹) تأثیر تغییر اقلیم بر تقویم زراعی گندم دیم را با کمک نرم افزار LARS-WG و مدل HADGCM2 مورد تحلیل قرار دادند و یافته های آنان نشان داده است که در دو دوره ۱۵ ساله ۲۰۱۵ تا ۲۰۳۰ و ۲۰۳۰ تا ۲۰۴۵ میلادی دماهای حداکثر و حداقل بر اساس تمام سناریوهای بدبینانه و خوشبینانه روندی افزایشی خواهد داشت. اسکندری دامنه و همکاران (۱۳۹۹) به شبیه سازی و پیش بینی مولفه های دما و بارش در مناطق خشک دشت میناب پرداختند. آنان در پژوهش خود از مدل CanESM2 سناریو سه و RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 و نرم افزار SDSM استفاده کردند و ضمن تایید کارایی ریزگردان SDSM، به این نتیجه دست یافته اند که مقادیر درجه حرارت در ابتدای قرن ۲۱ در دشت میناب افزایش پیدا خواهد کرد، در حالی که میانه قرن (۲۰۷۴-۲۰۴۵) در ایستگاه در سینوپتیک میناب و بندرعباس تنها در سناریو RCP2.6 شاهد کاهش دما در مقیاس سالانه خواهیم بود. احمدی و کمانگر (۱۴۰۱) به تحلیل آماری و پیش بینی دمای ماهانه ایستگاه سنندج با استفاده از مدل ساریما پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که دمای ماهانه سنندج تابعی است از متوسط دمای یک و دو ماه قبل و تابعی از پدیده تصادفی است و عدم وجود مقدار ثابت در مدل برازش یافته نشان دهنده عدم وجود قطعیت روند در میانگین ماهانه دمای سنندج است.

هدف از پژوهش حاضر، شبیه سازی و پیش بینی میانگین دما در شهرهای استان خوزستان با استفاده از مدل CanESM2 است. دلیل استفاده از مدل یاد شده، جدید و دقیق بودن مدل CanESM2 در مقایسه با مدل های مشابه بود. همچنین اکثر پژوهشگران، دقت و کارایی بهتر ریزگردان SDSM را نسبت به LARS-WG تأیید نموده اند (هوشیار و همکاران، ۱۳۹۷)، بنابراین در پژوهش حاضر مدل و ریزگردان مذکور مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی پژوهش‌هایی مشابه که در زمینه مقایسه تغییرات فصلی دما در ایستگاه‌های جنوب غربی ایران با تاکید بر استان خوزستان انجام گرفته است، میتوان به تحقیقات چون ملکیان و همکاران (۱۴۰۳)، نجفی و دهبان (۱۴۰۲)، سلیمانی ساردو و مصباح زاده (۱۳۹۹)، جمالی و خورانی (۱۳۹۵)، شاه نوریان و

در دهه های میانی و پایانی قرن بیست و یکم، بین ۱ تا ۲ درجه سلسیوس افزایش می یابد، که البته این افزایش دما براساس سناریوهای مختلف مدل HadCM3 نسبت به مدل CGCM3 شدیدتر بوده است. سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶)، دما و بارش کرمانشاه و روانسر را بر اساس مدل-LARS-WG و SDSM بر اساس سناریوی A2 شبیه سازی کردند. نتایج حاکی از افزایش دما در هر دو مدل طی دو دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۵۰ است همچنین کاهش بارش نیز پیش بینی شد. یزدان پناه و همکاران (۲۰۱۲) در تحلیل امواج گرمایی شدید دریافتند که ایران طی سال های اخیر امواج گرمایی بیشتری را با حداکثر فراوانی در سال ۲۰۱۰ تجربه کرده است که بیشتر از میانگین بلند مدت آن است. پاراوانتیس و همکاران (Paravantis et al, 2017)، آثار دمای بالا، امواج گرمایی و جزیره حرارتی شهری را در مرگ و میر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال طی سال های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ در یونان و آتن بررسی کرده اند و یافته های پژوهش آنان نشان داده است که همبستگی بالایی در مرگ و میر روزانه قلب و عروقی و تنفسی افراد بالای ۶۵ سال و دماهای بالا وجود دارد. در دمای متوسط، مرگ و میر کمتر است ولی در دماهای بالا و بسیار بالا این مرگ و میرها به میزان ۲۰ تا ۳۵ درصد افزایش یافته است. ای آنل و همکاران (A. Añel et al, 2017) به تحلیل آثار امواج گرمایی و سرمایایی بر بخش تولید انرژی پرداختند. بررسی های آنان نشان داد که رخداد امواج سرمایایی و گرمایی می تواند منجر به افزایش نیاز به تولید انرژی مصرفی شود. روهینی و همکاران (Rohini, 2019) به بررسی امواج گرمایی هند با استفاده از مدل CMIP5 پرداختند. نتایج پژوهش آنان افزایش امواج گرمایی بلند را طی دهه های آتی تأیید کرده است. فرون و همکاران (Feron et al, 2019) به مشاهده و بررسی امواج گرمایی جنوب آمریکا پرداختند. آنها از ۵ مدل (CMIP5) تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 استفاده کردند و دریافتند که در دهه های اخیر روزهای بسیار گرم حداقل در دسامبر-ژانویه-فوریه دو برابر شده است. تامپسون و همکاران (Tompson et al, 2022) موج گرمایی ۲۰۲۱ غرب آمریکای شمالی را بررسی نمودند و طبق پیش بینی آنان، توزیع آماری فرین ها افزایش خواهد یافت و مناطقی که اخیراً موج گرمای شدید نداشته اند، ممکن است آمادگی کمتری برای حوادث احتمالی قریب الوقوع داشته باشند. عساکره و کیانی (۱۳۹۶) به ارزیابی کارایی مدل SDSM در شبیه سازی

گرنیویچ و ۲۹ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از خط استوا در جنوب غربی ایران واقع شده است (ورشوساز و همکاران، ۱۳۹۰). حدود ۸۵ درصد از وسعت استان خوزستان دارای اقلیم فراخشک، خشک و نیمه خشک است. به طور کلی از ویژگی های بارز اقلیم این استان می توان به خشکی، بالا بودن دما، میزان تبخیر سطحی و پایین بودن میزان نزولات جوی و شوری خاک (کسرایی، ۱۳۷۹) اشاره کرد. در این مطالعه داده های هواشناسی شامل مقادیر دمای کمینه، دمای بیشینه و متوسط دما برای ایستگاه های هواشناسی استان خوزستان (جدول ۱) استفاده شده است. داده های مذکور از مرکز آمار و اطلاعات سازمان هواشناسی کشور اخذ گردیده است.

همکاران (۱۳۹۱) به این نتیجه مشترک رسیدند که دما در حال افزایش و روزهای یخبندان کاهشی می باشد و منطقه به سوی مخاطرات اقلیمی سوق پیدا می کند. در این پژوهش، هدف از تحقیق، نگاهی به بررسی بازتولید متغیر اقلیمی دما و مقایسه تغییرات فصلی دما در ایستگاه های جنوب غربی ایران با تاکید بر استان خوزستان می باشد.

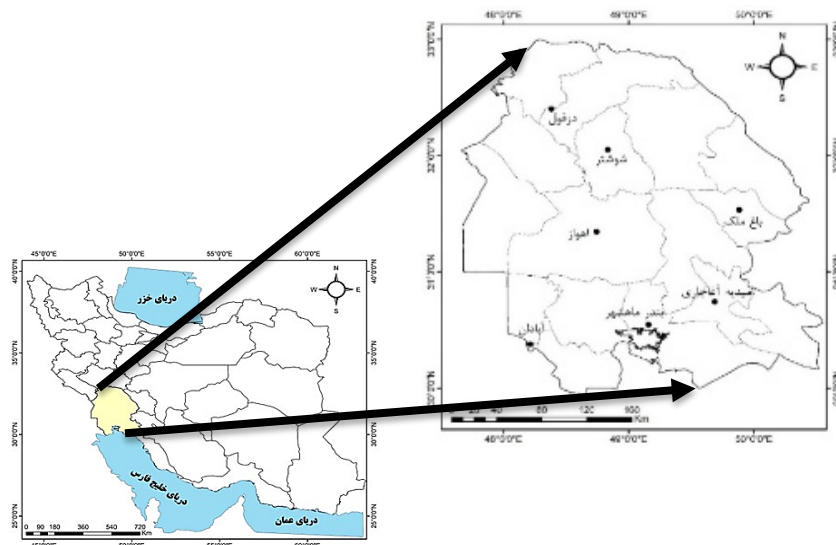
مواد و روش ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر استان خوزستان است. استان خوزستان با مساحتی حدود ۶۳۲۱۳ کیلومتر مربع و بطور نسبی ۳۹ درصد از کل مساحت کشور، بین ۴۷ درجه و ۴۱ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۳۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار

جدول ۱ ایستگاه های هواشناسی خوزستان (ماخذ: برگرفته از سازمان هواشناسی کشور)

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	متوسط دما
اهواز	۴۸.۷۴	۳۱.۳۴	۲۲.۵	۲۵.۵
آبادان	۴۸.۲۱	۳۰.۳۸	۶.۶	۲۵.۵
دزفول	۴۸.۳۸	۳۲.۴	۱۴۳	۲۴.۴
شوشتر	۴۸.۸۳	۳۲.۰۵	۶۷	۲۷.۴
باغ ملک	۴۹.۸۸	۳۱.۵۳	۷۱۰	۲۲.۲
بندر ماهشهر	۴۹.۱۶	۳۰.۵۵	۶.۲	۲۵.۹
امیدیه آغاچاری	۴۹.۶۹	۳۰.۷۴	۲۷	۲۶.۵



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (ماخذ: نگارنده: ۱۴۰۳)

مواد و روش‌ها

در مطالعه حاضر از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری-دینامیکی SDSM جهت پیش‌بینی میانگین دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه بهره‌گرفته شده است. مدل آماری دینامیکی SDSM توسط ویلبای و همکاران در سال ۲۰۰۱ توسعه یافته است. این مدل مبنی بر رگرسیون چندمتغیره است. در مدل SDSM ارتباط آماری بین متغیرهای مشاهده شده یا پیش‌بینی‌شونده با متغیرهای بزرگ‌مقیاس (اتمسفری) یا پیش‌بینی‌کننده بر اساس همبستگی جزئی ارزیابی می‌شود. متغیرهای اتمسفری در مدل SDSM حدود ۲۶ متغیر است که بر اساس ضریب همبستگی انتخاب می‌شوند. و همچنین از دو نوع داده استفاده شده است. داده‌های روزانه تاریخی دمای ایستگاه‌های مورد مطالعه برای سالهای ۱۹۶۱ تا ۲۰۰۵ که از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است و همچنین خروجی مدل CanESM2 از داده‌های NCEP استفاده شده است. این مدل چهارمین نسل از مدل‌های اقلیمی است که در مرکز مدل‌سازی و تحلیل اقلیمی کانادا توسعه یافته است. در این مدل کره زمین به صورت ۱۲۸×۶۴ شبکه بندی شده است. داده‌های تاریخی مدل با بکارگیری داده‌های بازتحلیل NCEP به منظور واسنجی مدل و تدوین مدل و روابط مقیاس‌کاهی در مدل SDSM مورد استفاده قرار می‌گیرد و داده‌های ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ نیز جهت پیش‌نگری متغیرهای اقلیمی برای دوره‌های آتی بکار می‌رود (زهره و نندی و همکاران، ۱۳۹۹).

ریزمقیاس‌نمایی

مدل‌های اقلیمی جهانی به عنوان اولین منبع برای ساخت و ارزیابی سناریوهای اقلیمی مطرح می‌باشند. این مدل‌ها مبنایی برای ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در تمام مقیاس‌ها از محلی تا جهانی را فراهم می‌آورند (مگ کوفی و هندرسون، ۲۰۰۱). با این وجود، در مطالعه اثرات تغییر اقلیم، به ندرت از برونداد مدل‌های اقلیمی به طور مستقیم استفاده می‌شود؛ زیرا این مدل‌ها به دلایلی چون محدود بودن قدرت تفکیک مکانی (Khan و همکاران، ۲۰۰۶)، ساده‌سازی‌های انجام شده در فرایندهای ترمودینامیکی و فیزیکی و روش‌های عددی یا عدم شناخت کامل از فرآیندهای سامانه اقلیم، دارای خطاهایی

بر مبنای این سامانه می‌باشند. روش‌های متفاوت ریزمقیاس‌گردانی، برای مطالعات زیربنایی تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای (Dibike و Coulibaly، ۲۰۱۸) ارائه شده‌اند که در دو دسته روش‌های دینامیکی و ریزمقیاس‌گردانی آماری تقسیم‌بندی می‌شوند. یکی از ابزارهای ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM است که برای ارزیابی اثرات محلی تغییر اقلیم توسعه داده شد (حاجری و همکاران، ۱۳۹۸). ورودی این مدل داده‌های دیدبانی روزانه ایستگاه (پیش‌نگری‌شونده)، متغیرهای بزرگ‌مقیاس (پیش‌نگری‌کننده) در دوره مشابه دیدبانی و برونداد متغیرهای بزرگ‌مقیاس مدل‌های گردش عمومی تحت سناریوهای انتشار گوناگون برای دوره مطالعاتی آینده می‌باشد. (عساکره و شادمان، ۱۳۹۷). مراحل کار مدل به طور خلاصه شامل چندین مرحله است. کنترل کیفیت و تبدیل داده‌ها، انتخاب متغیرهای مستقل مناسب، واسنجی مدل، تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای، آنالیز آماری داده‌های مشاهده شده، نمایش گرافیکی خروجی مدل و تولید داده‌های اقلیم آینده با استفاده از متغیرهای مستقل است (علیزاده جبه دار و همکاران، ۱۴۰۰). در این پژوهش جهت ریزمقیاس‌نمایی آماری، از نرم‌افزار SDSM و داده‌های مدل CanESM2 استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل دمای کمینه و بیشینه، دمای میانگین روزانه است. همچنین از داده‌های NCEP که شامل ۲۶ متغیر جوی است که به عنوان متغیرهای مستقل به کار رفته و پس از آزمون‌های آماری متغیرهای پیش‌نگری‌کننده از بین آن‌ها انتخاب می‌شوند. با توجه به این که متغیرهای پیش‌نگری‌کننده می‌توانند روابط مختلفی با داده‌های پیش‌نگری‌شونده داشته باشند. بنابراین متغیرهایی دارای اهمیت هستند که دارای بالاترین ضریب همبستگی و پایین‌ترین واریانس خطا باشند (شمسی پور، ۱۳۹۲). دوره پایه بر اساس داده‌های موجود همه ایستگاه‌ها سال‌های ۱۹۶۱ الی ۲۰۰۵ است. سال‌های آماری ۱۹۹۱ الی ۲۰۰۵ برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد.

معیارهای آماری

جهت بررسی دقت و ارزیابی مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل، از جذر مربعات خطای نرمال‌شده (NRMSE) میانگین قدرمطلق خطا (MAE)، میانگین خطای

متفاوت گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیمی گردد (یوسفی، ۱۳۹۸). در این پژوهش از نسل دوم مدل سامانه زمین CanESM2 به همراه نسل چهارم مدل جهانی آب و هوا توسعه یافته توسط مرکز محیط زیست کانادا برای مدل سازی و تجزیه و تحلیل اقلیم و ارایه پیش نگرسی های آتی استفاده شد.

روش درون یابی

تحلیل نقشه های پهنه بندی بر اساس روش IDW صورت گرفته است. روش های متعددی برای درون یابی یک متغیر ارائه شده اند. که روش وزن دهی بر مبنای عکس فاصله از IDW از جمله روش مرسوم می باشند. در درون یابی با روش IDW با گرفتن میانگین از ارزش نقاط نمونه برداری شده، ارزش نهایی یاخته های لایه رستر خروجی را برآورد می کند. هرچه نقطه نمونه برداری شده به مرکز یاخته ای که قرار است ارزش آن را برآورد نمود نزدیکتر باشد آن نقطه با ضریب تاثیر بیشتری در فرایند محاسبه میانگین وزنی ارزش نقاط نمونه برداری شده مجاور شرکت خواهد کرد. این روش در حالتی که نقاط نمونه به اندازه کافی با پراکنش مناسب در سطوح مقیاس محلی باشد، مورد استفاده قرار می گیرد. یکی از مزایای این روش در نشان دادن خطوط ناپیوسته مانند شکستگی ها، خط واره ها، گسل ها و رودخانه ها که ایجاد شکستگی و ناپیوستگی در سطح می کنند می باشد. که در آن Z_0 مقدار تخمین متغیر، Z_i مقدار نمونه در نقطه i ، d_i فاصله نقطه نمونه تا نقطه مورد تخمین، n ضریبی که وزن را بر اساس فاصله تعیین می کند.

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^N Z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (7)$$

یافته های تحقیق

صحت سنجی داده های مشاهداتی با داده های گذشته

نگر Historical

در پژوهش حاضر سری زمانی داده های مشاهداتی ایستگاه های همدیدی استان خوزستان با سری زمانی داده های خروجی مدل SDSM در دوره مشابه مقایسه شدند. فایل های داده های ماهانه متغیرهای اقلیمی مدل SDSM دریافت شد و

اریبی (MBE)، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربع خطا (MSE) و ضریب تبیین (R2) استفاده شده است:

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

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (3)$$

$$NRMSE = \frac{RMSE}{X_{max} - X_{min}} \quad (4)$$

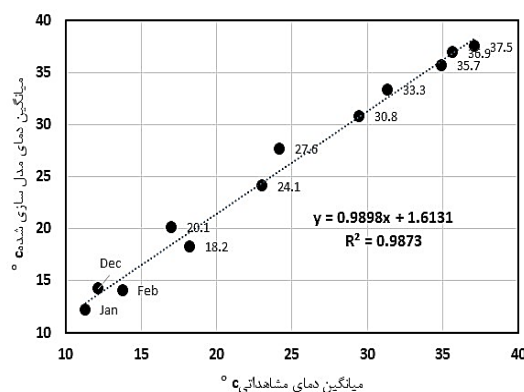
$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n} \quad (5)$$

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O})]^2}{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2 \sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (6)$$

که در آن O_i ، میزان مقادیر مشاهده شده، P_i میزان مقادیر پیش نگرسی شده و \bar{O} میانگین مقادیر مشاهده شده، \bar{P} میانگین مقادیر پیش نگرسی شده و n تعداد داده ها است (مک گوفی و هندرسون، ۲۰۰۱). پس از اطمینان از صحت نتایج ارزیابی مدل و قابلیت آن در شبیه سازی متغیرهای وابسته (در اینجا دما)، این مدل برای ریز مقیاس کردن داده های مدل گردش کلی و تولید داده یا شبیه سازی داده های CanESM2 برای دوره های آتی تحت سناریوهای واداشت تابشی اجرا شد و میزان دمای بیشینه و کمینه و میانگین ایستگاه های منتخب برای سه دوره (۲۰۰۶-۲۰۴۰)، (۲۰۰۷-۲۰۴۰) و (۲۰۱۰-۲۰۴۰) پیش نگرسی و با دوره پایه مقایسه گردید. سناریوهای بکار رفته در گزارش پنجم IPCC که در سال ۲۰۱۴ منتشر شد، بیش تر بر جنبه های اقتصادی-اجتماعی تغییرات اقلیم (Mo) و همکاران، ۲۰۱۷) و نقش آن در توسعه پایدار، مدیریت ریسک و چهارچوب کلی آن بر کاهش گازهای گلخانه ای و روش های سازگاری با تغییر اقلیم (بابائیان، ۱۳۹۸) تأکید دارد. سناریوی خانواده RCP شامل ۴ سناریوی مختلف است که این سناریوها عبارتند از: ۸/۵، ۶، ۴/۵، ۲/۶ که بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط مشی ها در آینده است که در هر شرایطی می تواند منجر به سطح انتشار

سال میلادی می‌باشد. در ایستگاه‌های اهواز، بندرماهشهر، امیدیه آغاچاری و باغ ملک در هفت ماه اول سال میلادی بیشترین همپوشانی و صحت را شامل می‌شوند که در پنج ماه آخر سال میلادی دمای گذشته نگر به طور متوسط در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۲.۴، ۲.۴، ۲.۶ و ۲.۷ درجه سانتی‌گراد اختلاف را با داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. در ایستگاه‌های دزفول، آبادان و شوشتر بیشترین همپوشانی و صحت را در سه ماه اول سال و ماه جولای دارند در بقیه ماه‌ها دمای گذشته نگر به طور متوسط در این ایستگاه‌ها به ترتیب ۲.۶، ۲ و ۲ درجه سانتی‌گراد اختلاف را با داده‌های مشاهداتی را نشان می‌دهد. (برنا و همکاران، ۱۴۰۳).

در نهایت این مقادیر با میانگین ماهانه دوره آماری متغیرهای اقلیمی مورد مقایسه قرار گرفت (حمیدیان پور و همکاران، ۱۴۰۰). نمودار ۱ مقایسه بین داده‌های مدل و داده‌های مشاهداتی را برای متغیر اقلیمی میانگین دما نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده شده است، نتایج حاصل از ارزیابی مدل مبتنی بر شاخص آماره‌های خطا نشان می‌دهد بالا بودن مقدار R^2 و پایین بودن مقادیر مربوط به شاخص‌های RMSE و NRMSE متغیر میانگین دما نشان دهنده کارایی بالای خوب در شبیه‌سازی است. در نهایت بیانگر این است مدل در برآورد میزان متغیر اقلیمی دما دارای دقت نسبتاً خوبی می‌باشند. برای نمایش بهتر کارایی مدل در استان خوزستان، دمای ماهانه دوره گذشته نگر مدل با داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های مورد مطالعه مورد بررسی قرارگرفت. در اکثر ایستگاه‌ها در ماه‌های اول سال بیشترین همپوشانی را دارند که دلیل صحت بیشتر مدل در ماه‌های اول



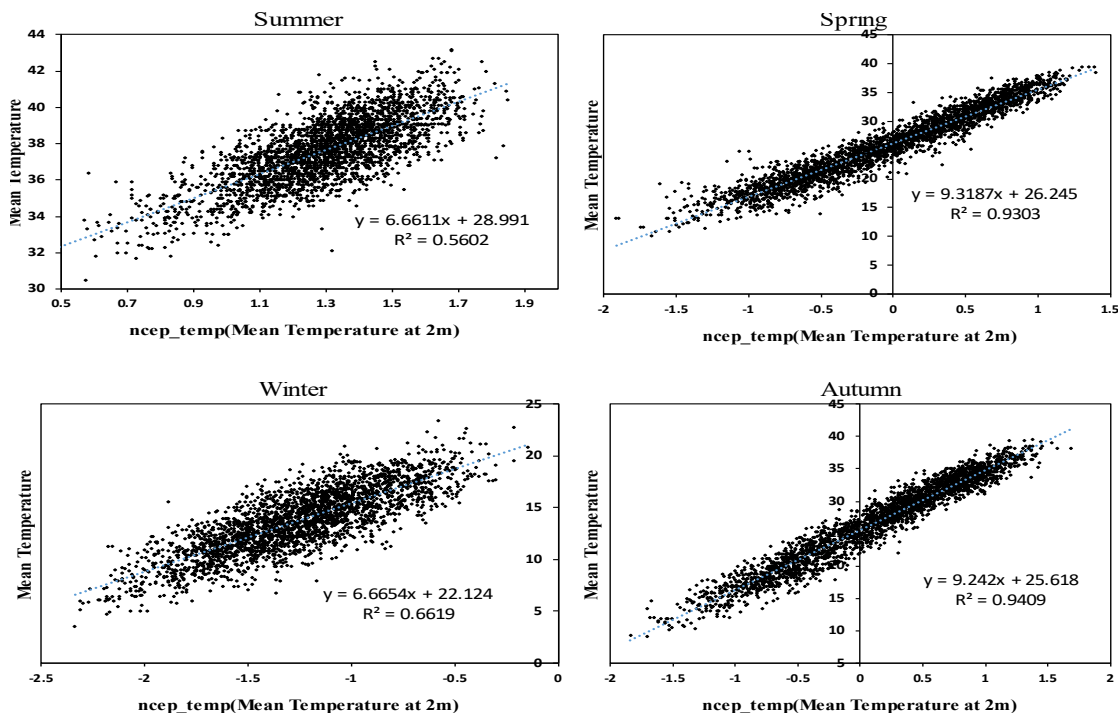
نمودار ۱. پراکنش داده‌های مشاهداتی و مدل‌سازی شده میانگین دما (ماخذ: نگارنده، ۱۴۰۳)

با داده‌های میانگین دمای ایستگاه اهواز را نشان می‌دهد که در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز، زمستان به ترتیب دارای همبستگی ۹۳، ۵۶، ۹۴ و ۶۶ درصد می‌باشند که همانطور که مشاهده می‌کنید بیشترین همبستگی را در فصل پاییز و کمترین همبستگی را در فصل تابستان دارد.

پیش‌بینی تغییرات فصلی استان خوزستان

ایستگاه اهواز

با توجه به میزان همبستگی داده‌های میانگین دمای ایستگاه اهواز با داده‌های متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، بیشترین همبستگی را با ۷ متغیر پیش‌بینی‌کننده داشته است، که در نمودارهای ۲ همبستگی فصلی بین این پیش‌بینی‌کننده‌ها را

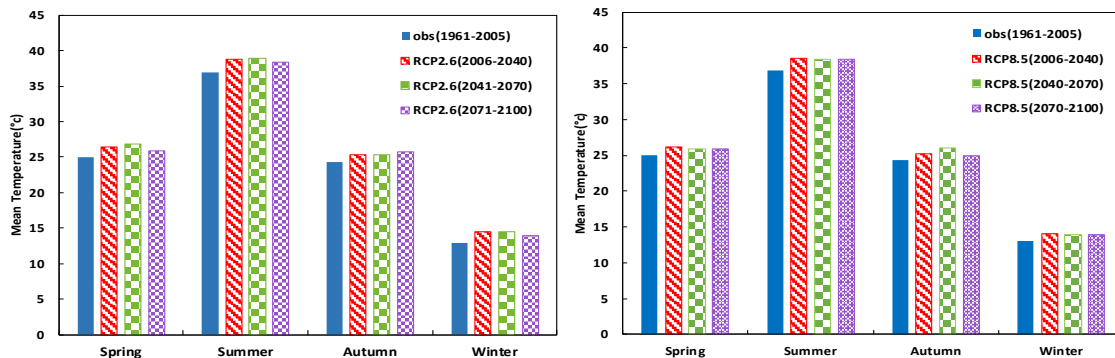


نمودار ۲. همبستگی بین میانگین دما ایستگاه اهواز و میانگین دمای دو متری NCEP

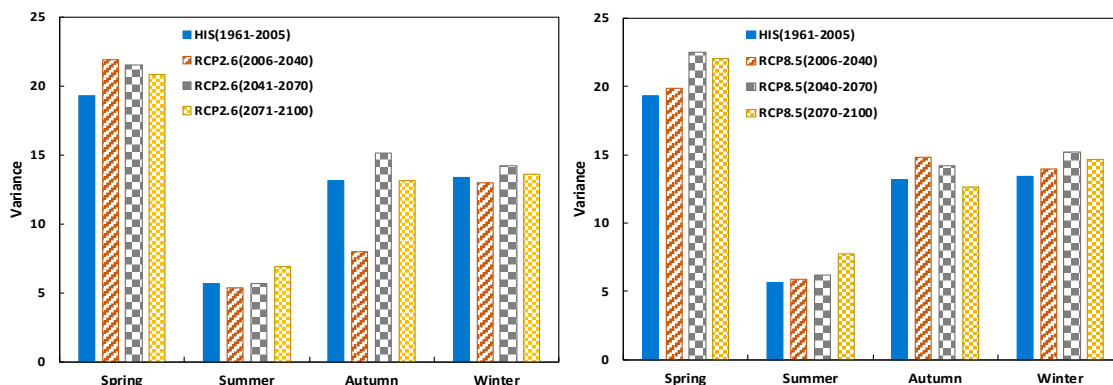
کنید در فصل تابستان به طور متوسط بیشترین افزایش را نشان می دهد.

تغییرات واریانس دما در دوره آینده ایستگاه اهواز در فصل های بهار تا زمستان نسبت به دوره پایه تاریخی به صورت خوشبینانه به ترتیب ۲.۱، ۰.۳، ۰.۰۰۱ و ۰.۲ افزایش و به صورت بدبینانه ۲.۲، ۱، ۰.۷ و ۱.۲ افزایش یافته است که مطابق شکل ۴ بیشترین تغییرات واریانس در فصل بهار را نشان می دهد.

میانگین دمای در دوره آینده (۲۰۰۶-۲۱۰۰) ایستگاه اهواز در فصلهای بهار تا زمستان به صورت خوشبینانه ۲۵.۷، ۲۰.۲، ۲۵.۵ و ۱۳.۴ درجه سانتیگراد پیش بینی شده که نسبت به دوره پایه تاریخی (۱۹۶۱-۲۰۰۵) به ترتیب ۲.۷، ۲.۸، ۰.۱ و ۲.۴ درجه سانتیگراد افزایش و به صورت بدبینانه ۲۷.۱، ۱.۷، ۲۶ و ۱۴.۸ درجه سانتیگراد پیش بینی شده که نسبت به دوره پایه تاریخی به ترتیب ۴.۲، ۴.۳، ۰.۱ و ۳.۹ درجه سانتیگراد افزایش یافته است و همانطور که در نمودار ۳ مشاهده می



نمودار ۳. مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه اهواز با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

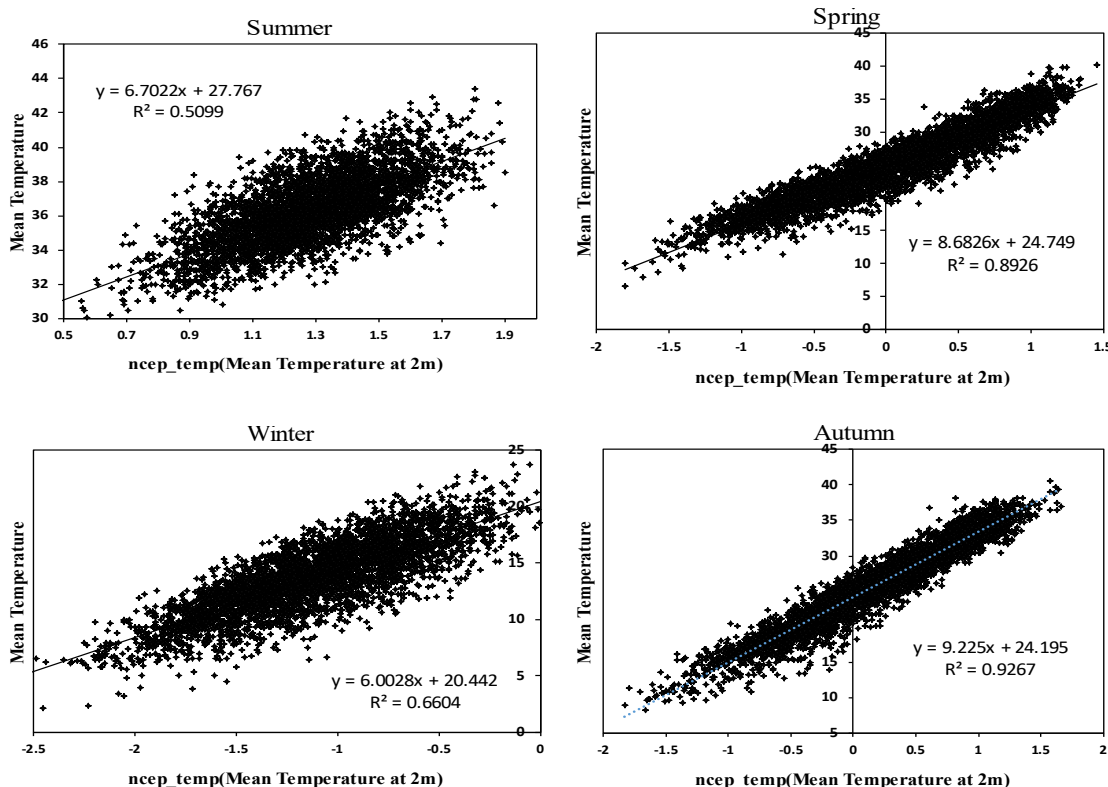


نمودار ۴. مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه اهواز با میانگین دمای پیش‌بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

ایستگاه آبادان را با داده‌های میانگین دمای ایستگاه آبادان را نشان می‌دهد که در فصل‌های بهار، تابستان، پاییز، زمستان به ترتیب دارای همبستگی ۰.۸۹، ۰.۵۰، ۰.۹۲ و ۰.۶۶ می‌باشند که همانطور که مشاهده می‌کنید بیشترین همبستگی را در فصل پاییز با ۹۲ درصد دارد و کمترین همبستگی را در فصل تابستان با ۵۰ درصد نشان می‌دهد.

ایستگاه آبادان

با توجه به میزان همبستگی داده‌های میانگین دمای ایستگاه آبادان با داده‌های متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، بیشترین همبستگی را با متغیر پیش‌بینی‌کننده nceptempgl داشته است که در نمودار ۵ همبستگی فصلی بین پیش‌بینی‌کننده



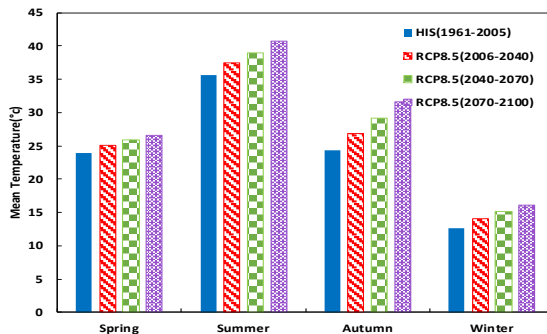
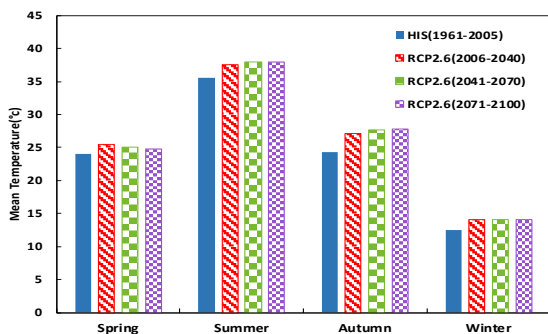
نمودار ۵. همبستگی بین میانگین دما ایستگاه آبادان و میانگین دمای دو متری NCEP

دوره پایه تاریخی به ترتیب ۱.۱، ۲.۲، ۳.۲ و ۱.۶ درجه سانتیگراد و در سناریوی بدبینانه ۱.۹، ۳.۵، ۴.۹ و ۲.۵ درجه

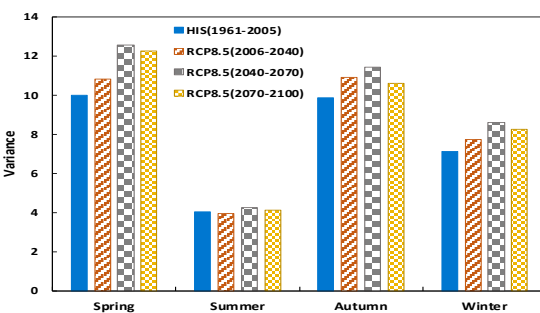
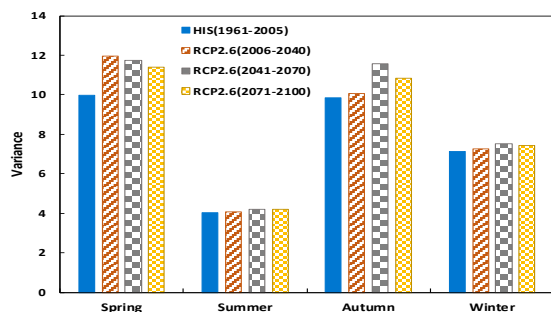
در ایستگاه آبادان میانگین دمای ماهانه نمودار ۶ در دوره آینده در سناریوی خوشبینانه در چهار فصل سال نسبت به

فصل سال نسبت به دوره پایه به ترتیب ۱.۷، ۰.۱، ۱ و ۰.۳ و در سناریوی بدبینانه ۱.۹، ۰.۱، ۱.۱ و ۱.۱ افزایش را نشان می دهد. که بیشترین تغییرات واریانس در فصل بهار می باشد.

سانتیگراد افزایش را نشان می دهد که در فصل پاییز به طور متوسط بیشترین افزایش را خواهیم داشت. در نمودار ۷ تغییرات واریانس فصلی در سناریوهای خوشبینانه در چهار



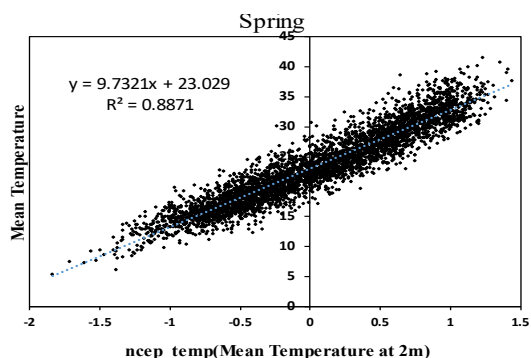
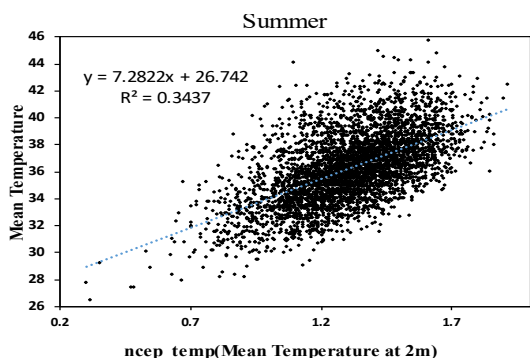
نمودار ۶ مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه آبادان با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

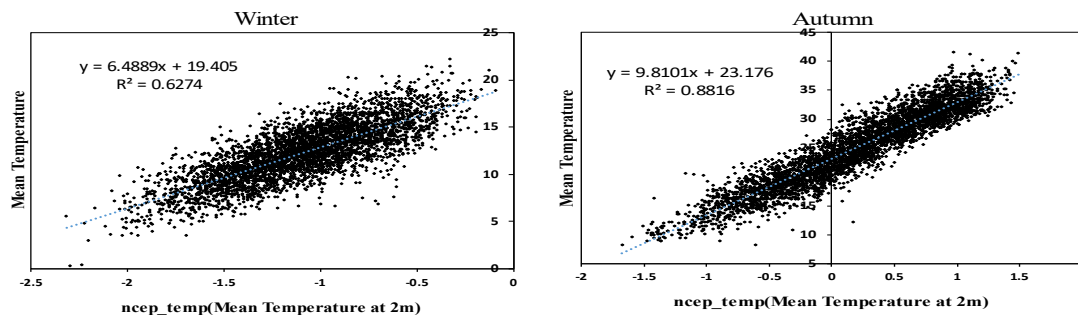


نمودار ۷ مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه آبادان با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

کننده ها را با داده های میانگین دمای ایستگاه دزفول را نشان می دهد که در چهار فصل بیشترین همبستگی را در فصل پاییز با ۸۸ درصد دارد و کمترین همبستگی را در فصل تابستان با ۳۴ درصد نشان می دهد.

ایستگاه دزفول با توجه به میزان همبستگی داده های میانگین دمای ایستگاه دزفول با داده های متغیرهای پیش بینی کننده، بیشترین همبستگی را با ۲۶ متغیرهای پیش بینی کننده داشته است که در نمودارهای ۸ همبستگی فصلی بین این متغیر پیش بینی

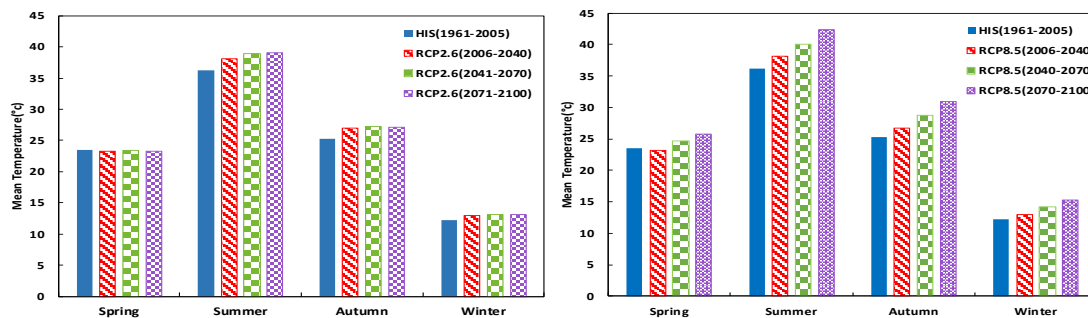




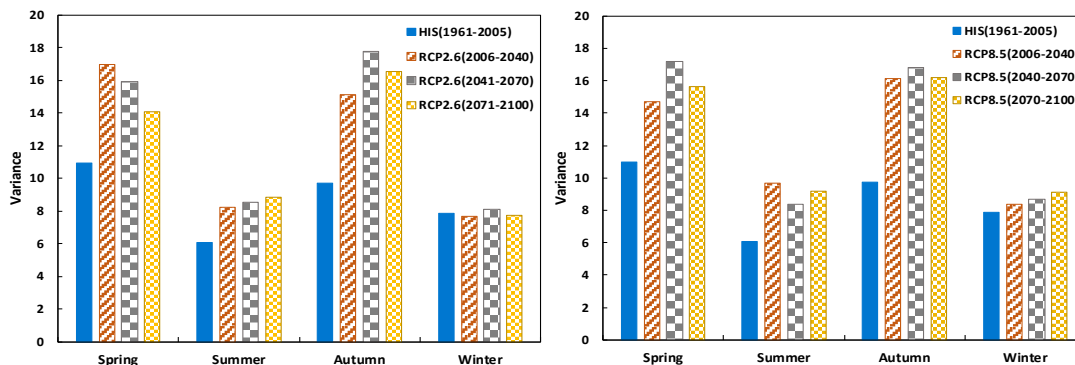
نمودار ۸ همبستگی بین میانگین دما ایستگاه دزفول و میانگین دمای دو متری NCEP

می باشد که در فصل تابستان به طور متوسط بیشترین افزایش را نسبت به فصل‌های دیگر نشان می‌دهد. نمودار ۱۰ تغییرات واریانس فصلی را نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات واریانس در فصل پاییز با ۶.۷ می‌باشد.

تغییرات میانگین دمای فصلی دزفول در دوره آینده طبق سناریوی خوشبینانه نسبت به دوره پایه تاریخی به ترتیب فصل‌های سال ۰.۱، ۲.۴، ۱.۸ و ۰.۸ درجه سانتیگراد و طبق سناریوی بدبینانه ۱.۱، ۴، ۳.۵ و ۱.۸ درجه سانتیگراد افزایشی



نمودار ۹ مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه دزفول با میانگین دمای پیش‌بینی شده خوشبینانه و بدبینانه



نمودار ۱۰ مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه دزفول با میانگین دمای پیش‌بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

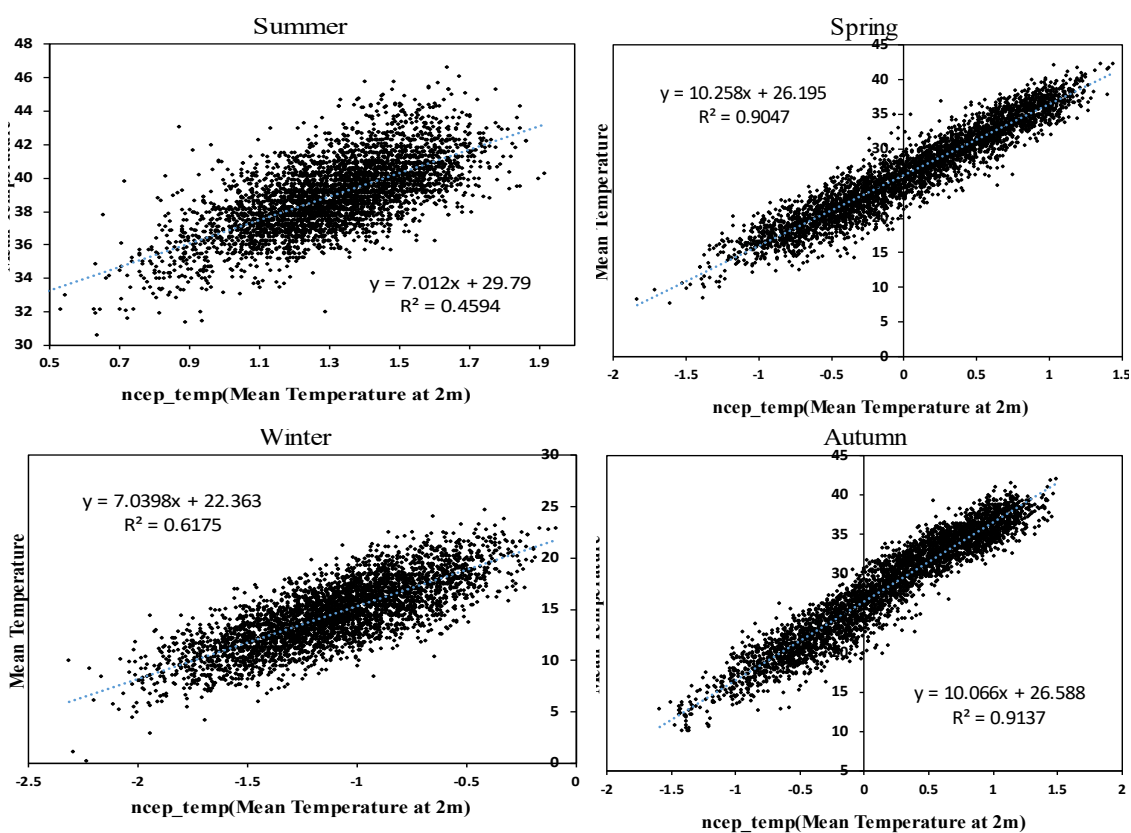
همبستگی فصلی بین این پیش‌بینی‌کننده‌ها را با داده‌های میانگین دمای ایستگاه شوشتر را نشان می‌دهد که در چهار

ایستگاه شوشتر

ایستگاه شوشتر بیشترین میزان همبستگی داده‌های میانگین دما را با ۲۰ متغیر پیش‌بینی‌کننده داشته است که نمودار ۱۱

همبستگی را در فصل تابستان با ۴۵ درصد می باشد.

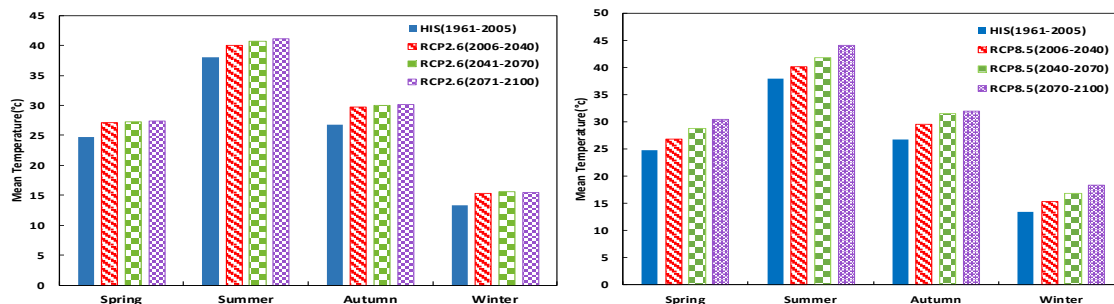
فصل مطابق R2 در نمودارهای همبستگی ذیل، بیشترین همبستگی را در فصل پاییز با ۹۱ درصد دارد و کمترین



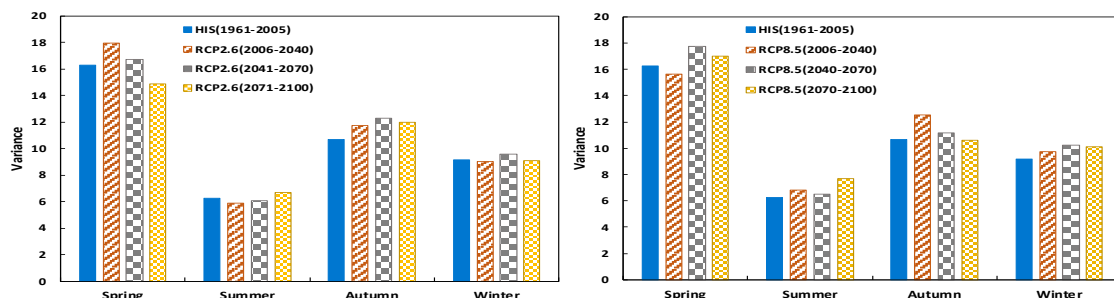
نمودار ۱۱ همبستگی بین میانگین دما ایستگاه شوشتر و میانگین دمای دو متری NCEP

فصل های دیگر نشان می دهد. در نمودار ۱۳ تغییرات واریانس فصلی را نشان می دهد که بیشترین تغییرات واریانس به طور میانگین سه دوره آینده نسبت به دوره پایه سناریوی خوشبینانه در فصل پاییز با مقدار ۱.۴ و در سناریوی بدبینانه در فصل زمستان با مقدار ۰.۹ می باشد.

مطابق نمودار ۱۲ در ایستگاه شوشتر، تغییرات میانگین دمای سناریوی خوشبینانه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تاریخی به ترتیب فصول سال ۲.۶، ۲.۶، ۳.۱ و ۲.۱ درجه سانتیگراد و در سناریوی بدبینانه به ترتیب ۳.۹، ۴، ۴.۲ و ۳.۴ درجه سانتیگراد افزایش یافته است که همانطور که مشاهده می کنید در فصل پاییز به طور متوسط بیشترین افزایش را نسبت به



نمودار ۱۲ مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه شوشتر با میانگین دمای پیش بینی شده خوشینانه و بدینانه



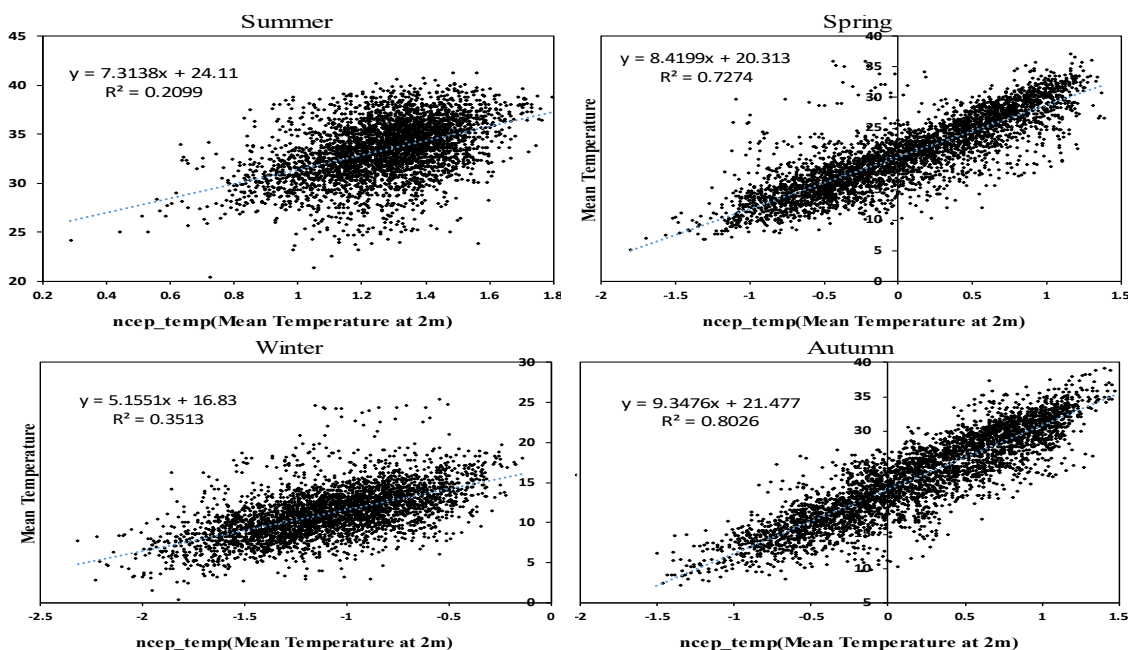
نمودار ۱۳ مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه شوشتر با میانگین دمای پیش بینی شده خوشینانه و بدینانه

nceptempgl را با داده های میانگین دمای ایستگاه باغ ملک

را نشان می‌دهد که در چهار فصل بیشترین همبستگی را در فصل پاییز با ۸۰ درصد دارد و کمترین همبستگی را در فصل تابستان با ۲۰ درصد نشان می‌دهد.

ایستگاه باغ ملک

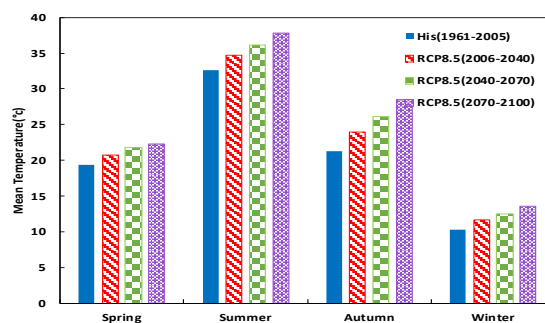
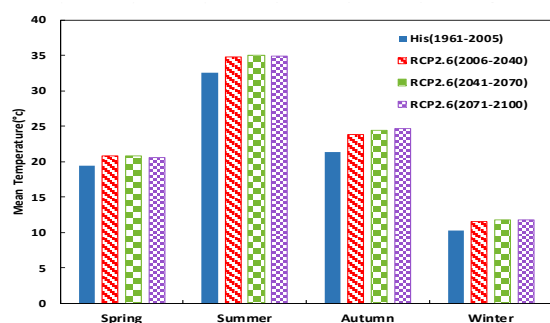
در این ایستگاه بیشترین میزان همبستگی داده های میانگین دما را با داده متغیر پیش بینی کننده، nceptempgl داشته است که در نمودار ۱۴ همبستگی فصلی بین پیش بینی کننده



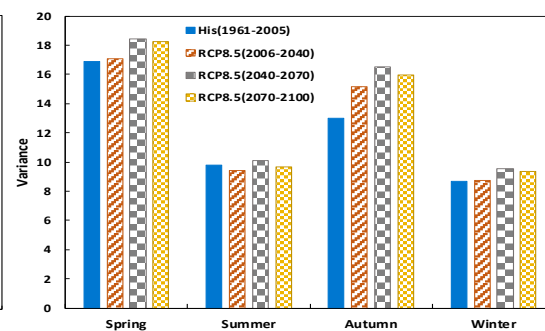
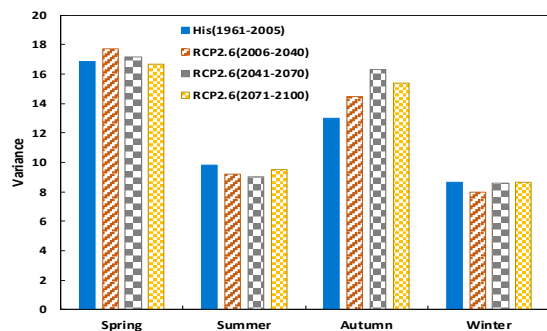
نمودار ۱۴ همبستگی بین میانگین دما ایستگاه باغ ملک و میانگین دمای دو متری NCEP

بدینانه به ترتیب فصول سال ۲.۲، ۳.۶، ۴.۸ و ۲.۳ افزایش داشته است که بیشترین افزایش دما در هر دو سناریو در فصل پاییز می باشد. بیشترین تغییرات واریانس میانگین دما در هر دو سناریوی خوشبینانه و بدبینانه نسبت به دوره پایه در فصل پاییز با مقدارهای ۲.۴ و ۲.۹ می باشد که در نمودار ۱۶ مشاهده می کنید.

در ایستگاه باغ ملک از سال ۱۹۶۶ داده در هواشناسی ثبت شده و موجود می باشد و همچنین تا سال ۲۰۰۵ در بعضی سالها ناقصی و خلا آماری داشت که از روش ایستگاههای همجوار مانند دزفول و ایذه و مسجد سلیمان و دوگنبدان و با نرم افزار SPSS برای این ایستگاه داده سازی شده است. تغییرات میانگین دمای سه دوره آینده در و چهار فصل سال سناریوی خوشبینانه به ترتیب ۱.۴، ۲.۳، ۳ و ۱.۴ و سناریوی



نمودار ۱۵ مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه باغ ملک با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

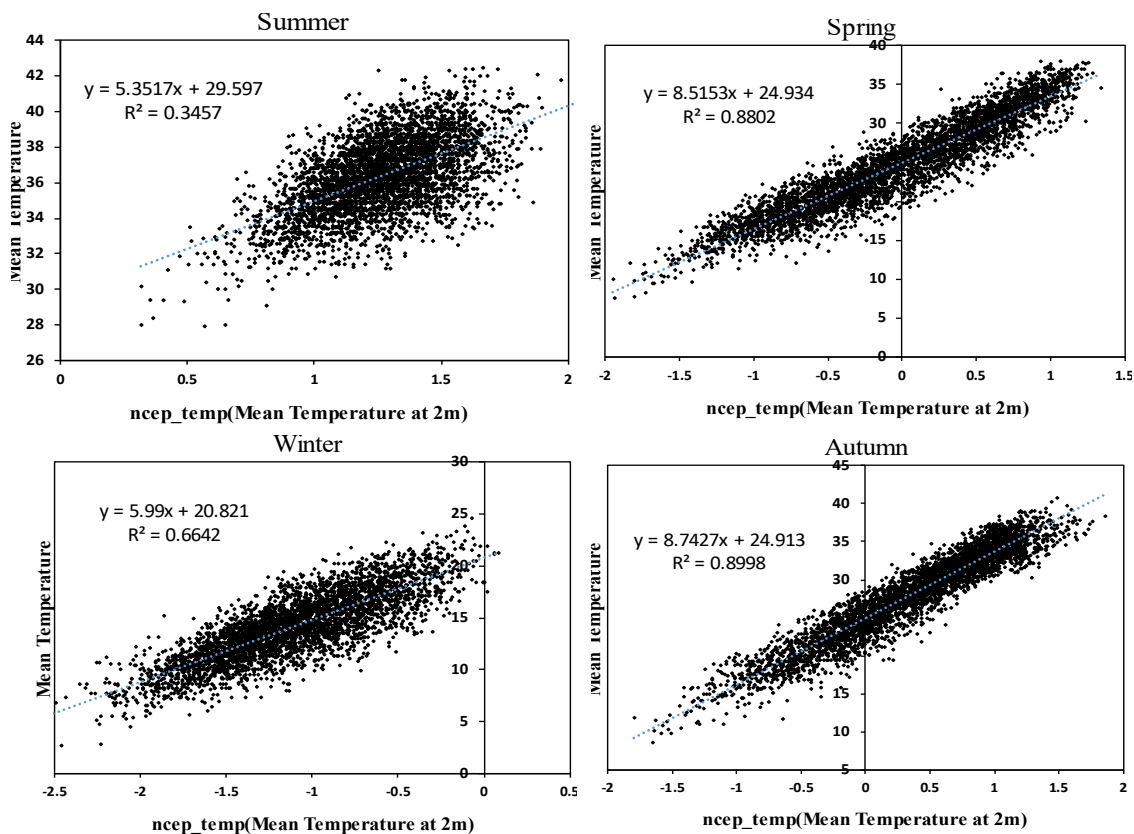


نمودار ۱۶ مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه باغ ملک با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

کننده ها را با داده های میانگین دمای این ایستگاه نشان می دهد که در چهار فصل بیشترین همبستگی را در فصل پاییز با ۸۹ درصد دارد و کمترین همبستگی را در فصل تابستان با ۳۴ درصد نشان می دهد.

ایستگاه بندر ماهشهر

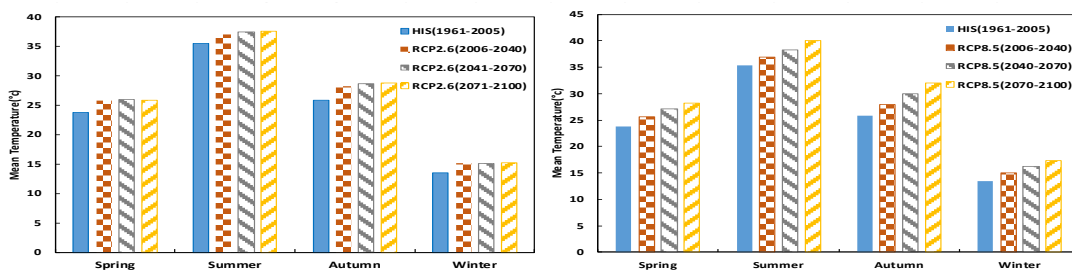
داده های میانگین دما در ایستگاه بندرماهشهر با ۲۰ تا از متغیرهای پیش بینی کننده، بیشترین میزان همبستگی داشت که در نمودارهای ۱۷ همبستگی فصلی بین این پیش بینی



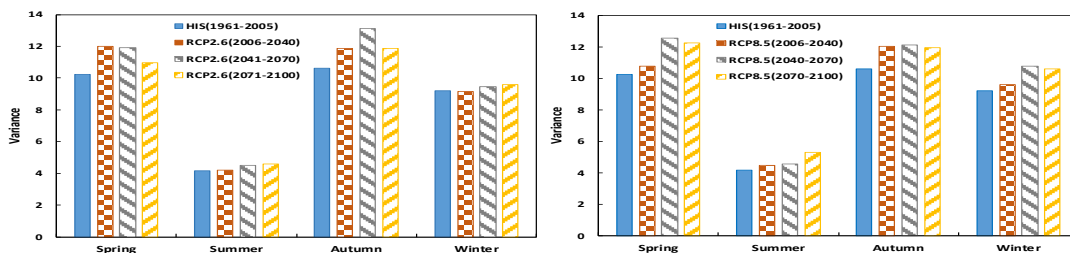
نمودار ۱۷ همبستگی بین میانگین دما ایستگاه بندر ماهشهر و میانگین دمای دو متری NCEP

می‌دهد. در نمودار تغییرات واریانس فصلی را نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات واریانس در فصل پاییز می‌باشد.

میانگین دمای این ایستگاه در دوره آینده نسبت به دوره پایه تاریخی در فصل تابستان مطابق نمودار ۱۸ و ۱۹ به طور متوسط بیشترین افزایش را نسبت به فصل‌های دیگر نشان



نمودار ۱۸ مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه بندر ماهشهر با میانگین دمای پیش بینی شده خوشینانه

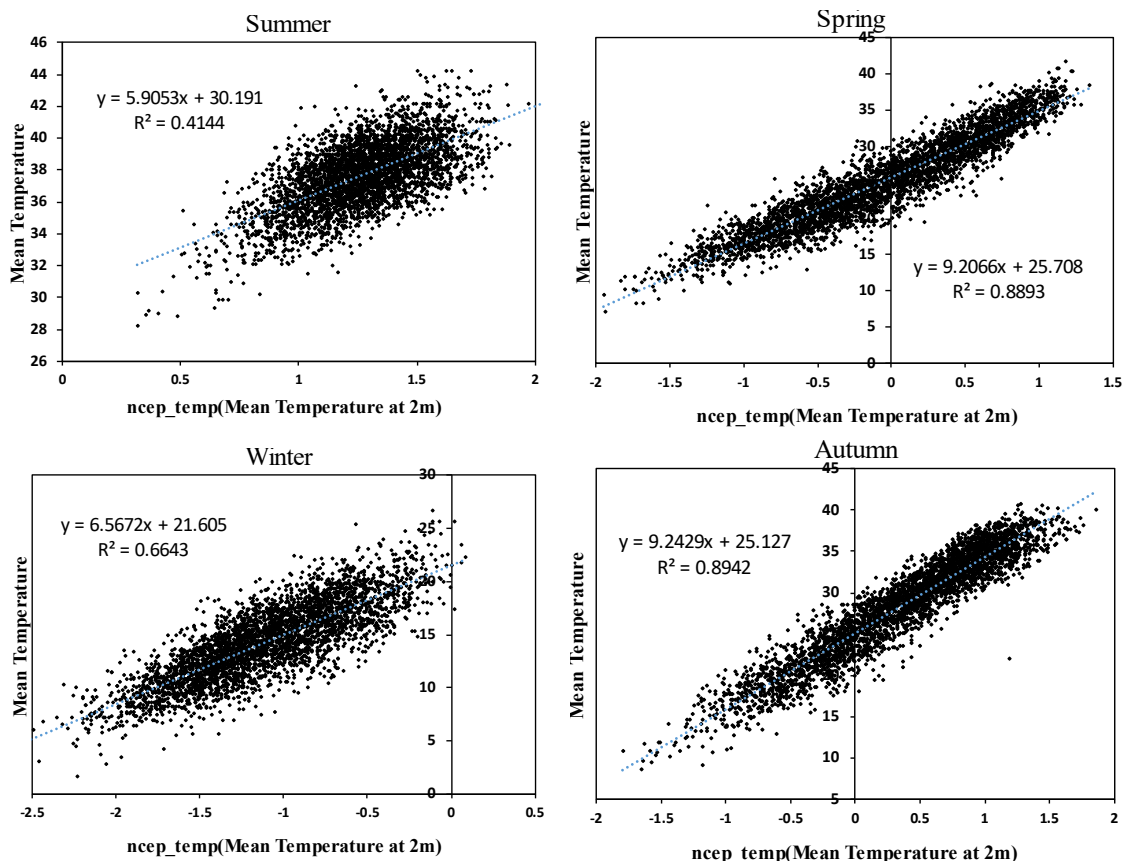


نمودار ۱۹ مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه بندر ماهشهر با میانگین دمای پیش بینی شده خوشینانه و بدبینانه

های میانگین دمای ایستگاه امیدیه را نشان می دهد که در چهار فصل و مطابق R2 در نمودارهای ۲۰ بیشترین همبستگی را در فصل پاییز با ۸۹ درصد کمترین همبستگی را در فصل تابستان با ۴۱ درصد نشان می دهد.

ایستگاه امیدیه آغاچاری

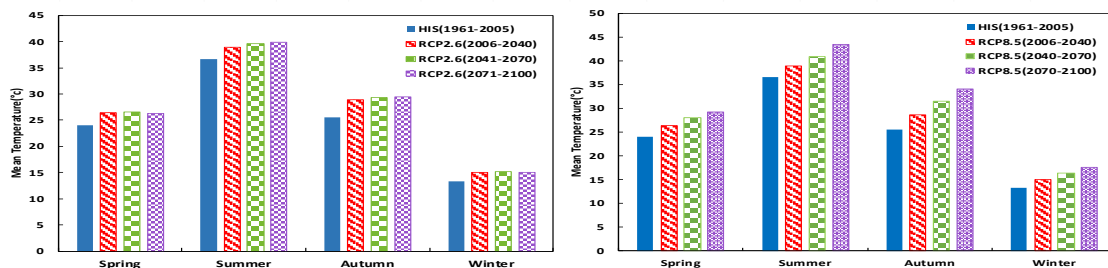
در ایستگاه امیدیه آغاچاری بیشترین میزان همبستگی داده های میانگین دما را با داده متغیرهای پیش بینی کننده، nceptempgl و ncepp1 ugl داشته است که در نمودارهای ۲۰ همبستگی فصلی بین این دو پیش بینی کننده را با داده



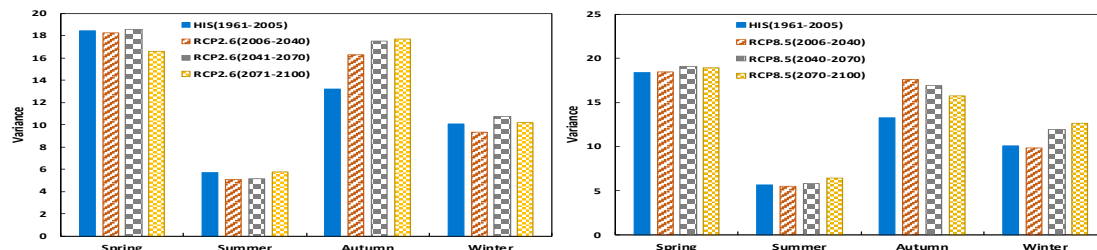
نمودار ۲۰ همبستگی بین میانگین دما ایستگاه امیدیه آغاچاری و میانگین دمای دو متری NCEP

افزایش در فصل پاییز رخ خواهد داد. نمودار ۲۲ تغییرات واریانس فصلی را نشان می دهد که بیشترین تغییرات واریانس در فصل های پاییز با سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه با مقادیر ۴ و ۳.۵ می باشد.

میانگین دمای این ایستگاه در دوره آینده مطابق سناریوی خوشبینانه نسبت به دوره پایه به ترتیب فصول سال ۲.۴، ۲.۹، ۳.۶ و ۱.۹ درجه سانتیگراد و مطابق سناریوی بدبینانه ۳.۸، ۴.۵، ۵.۸ و ۳.۱ درجه سانتیگراد افزایشی است که بیشترین



نمودار ۲۱ مقایسه میانگین فصلی دمای ایستگاه امیدیه آغاچاری با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

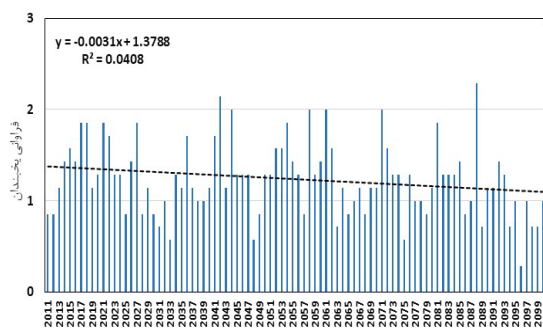


نمودار ۲۲ مقایسه واریانس فصلی دمای ایستگاه امیدیه آغاچاری با میانگین دمای پیش بینی شده خوشبینانه و بدبینانه

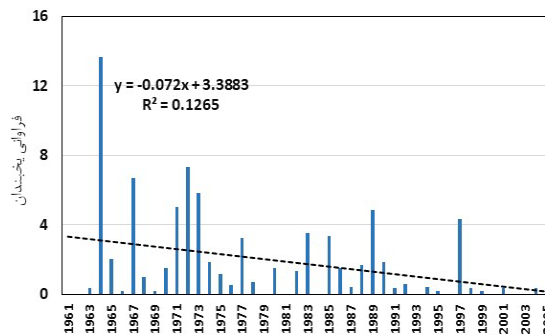
نمودارهای ۲۳ تا ۲۵ سری زمانی این شاخص و روند آن را در دوره پایه و دوره پیش بینی شده ۲۰۱۱-۲۱۰۰ در استان خوزستان نشان می‌دهد.

پیش بینی فراوانی‌های روزهای یخبندان استان خوزستان

بررسی شاخص تعداد روزهای یخبندان، نشان داد که در تمامی ایستگاه‌های مطالعاتی روند کاهشی وجود داشته است.



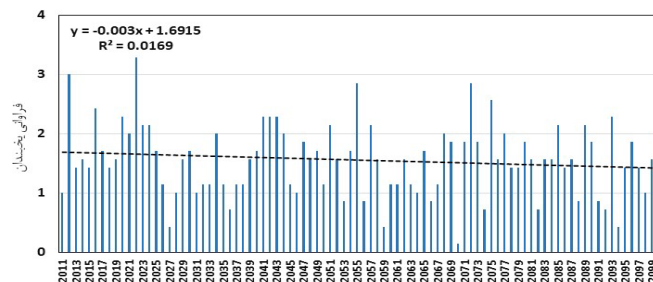
نمودار ۲۴ میانگین فراوانی یخبندان استان خوزستان در طی دوره آماری پیش بینی شده (۲۰۱۱-۲۱۰۰) RCP2.6-



نمودار ۲۳ میانگین فراوانی یخبندان استان خوزستان در طی دوره آماری (۱۹۶۱-۲۰۰۵)

آماري پیش بینی شده (۲۰۱۱-۲۱۰۰) RCP2.6-

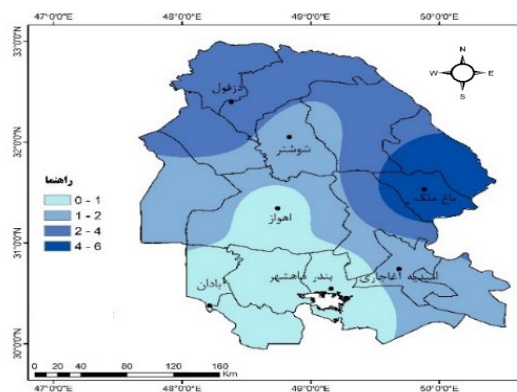
آماري (۱۹۶۱-۲۰۰۵)



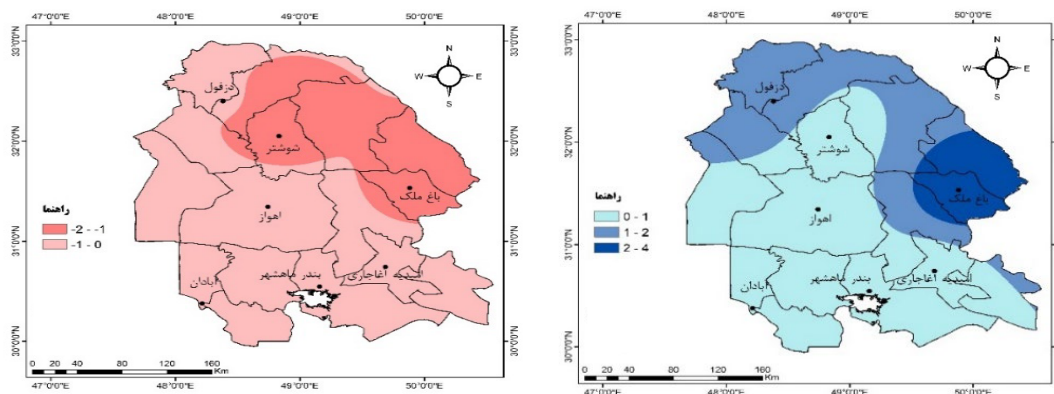
نمودار ۲۵ میانگین فراوانی یخبندان استان خوزستان در طی دوره آماری پیش بینی شده (۲۰۱۱-۲۱۰۰) RCP8.5-

به باغ ملک به میزان ۵ و ۴ روز در شرق استان و در ایستگاه بندر ماهشهر یخبندان بین ۰.۲ تا ۰.۶ روز پیش بینی شده اند. همچنان تغییرات فراوانی یخبندان نسبت به دوره پایه مطابق شکل های ۴ (سمت چپ) ایستگاه بندر ماهشهر با ۰.۱ تا ۰.۳ کاهش یخبندان کمترین کاهش یخبندان را دارا می باشد و ایستگاه باغ ملک تقریباً با ۲ روز بیشترین کاهش یخبندان را پیش بینی شده است. به طور کلی با توجه به پیش بینی های میانگین حداقل دما و مقایسه آن ها با دوره پایه، نتیجه می شود به طور متوسط در دوره آینده پیش بینی شده در هر دو سناریو به میزان ۱ روز از فراوانی یخبندان این استان کاهش می یابد.

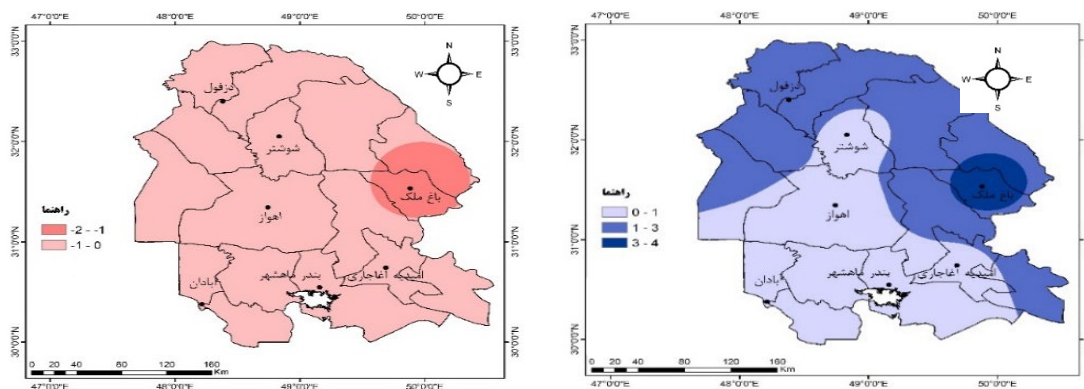
شکل ۲ تعداد روزهای یخبندان دوره پایه استان خوزستان را نشان می دهد. بیشترین کاهش این شاخص مربوط به باغ ملک به میزان ۶ روز در شرق استان و کمترین کاهش مربوط به ایستگاه های بندر ماهشهر و آبادان و اهواز به میزان ۰.۶ روز می باشد. کاهش تعداد روزهای یخبندان در جنوب استان از شدت کمتری برخوردار است. شکل های ۳ (سمت راست) پیش بینی فراوانی یخبندان را به ترتیب در دوره ۹۵ ساله ۲۰۰۶-۲۱۰۰ و دوره اول ۲۰۰۶-۲۰۴۰ و دوره دوم ۲۰۴۰-۲۰۷۰ و ۲۰۴۱ و دوره سوم ۲۱۰۰-۲۰۷۱ را با سناریوهای خوشبینانه و بدبینانه نشان می دهد همانطور که در شکل ها مشاهده می شود بیشترین کاهش این شاخص در همه دوره ها مربوط



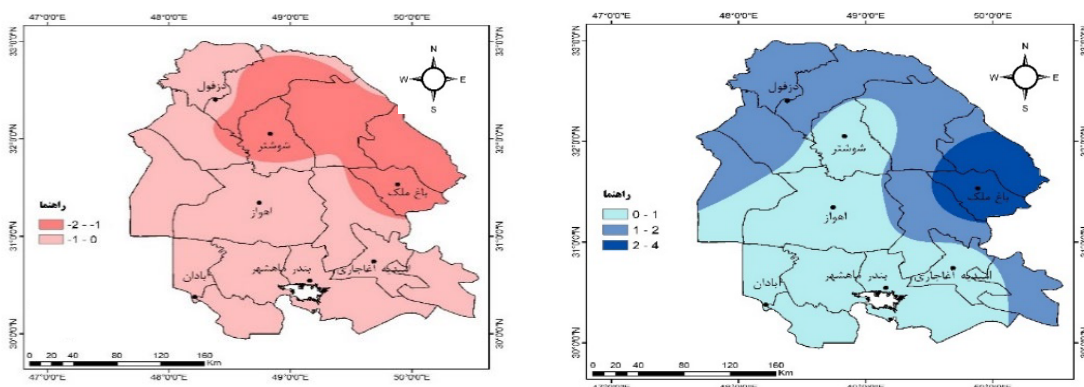
شکل ۲ فراوانی تعداد روزهای یخبندان استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۰۵-۱۹۶۱)



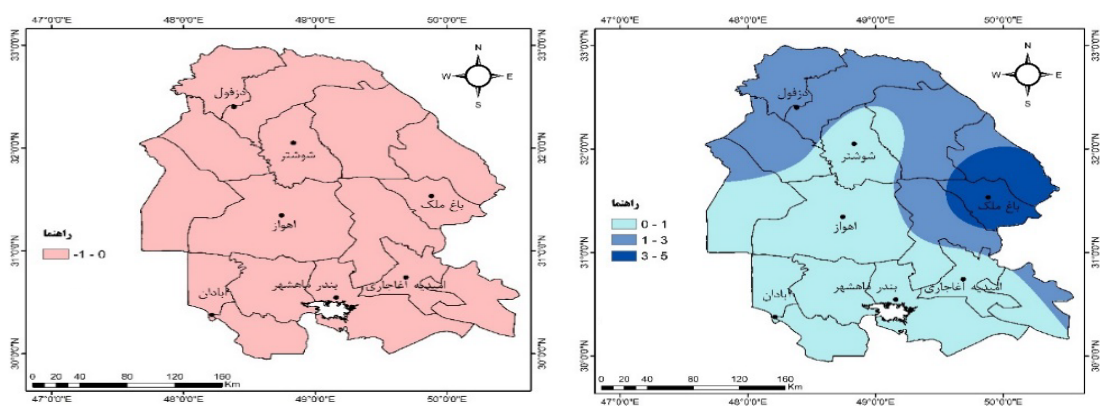
شکل ۳ پیش بینی خوشبینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۰۶-۲۱۰۰)



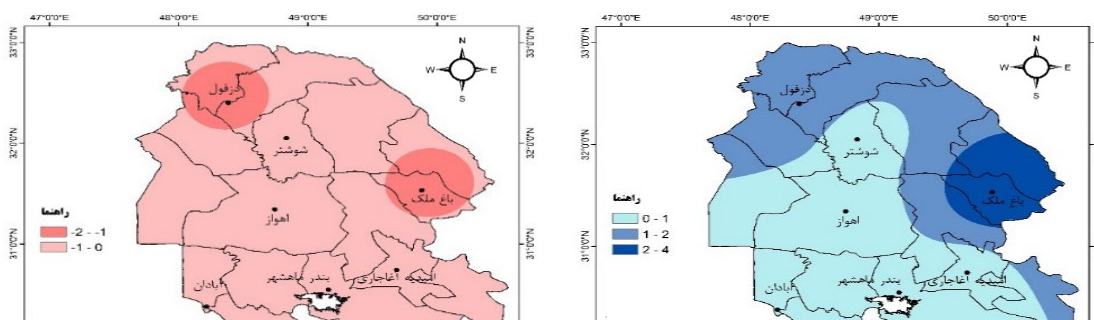
شکل ۴ پیش بینی بدینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۰۶-۲۱۰۰)



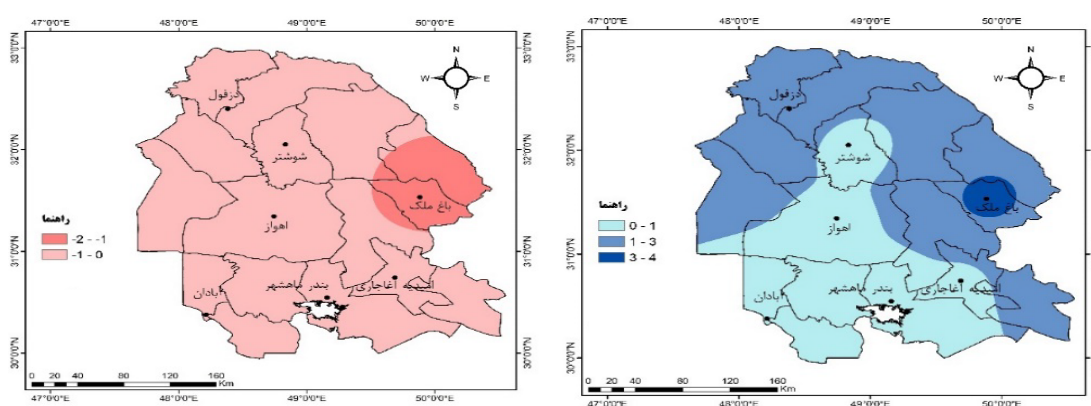
شکل ۵ پیش بینی خوشبینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۴۰)



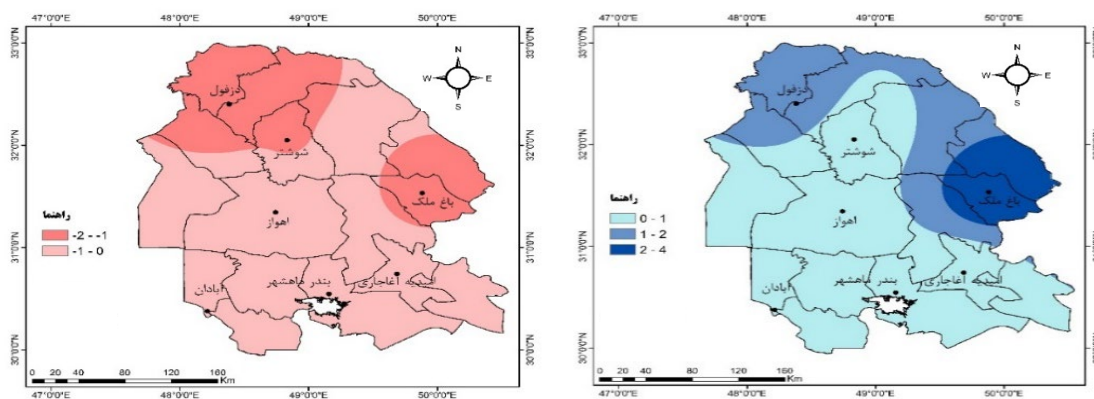
شکل ۶ پیش بینی بدینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۰۶-۲۰۴۰)



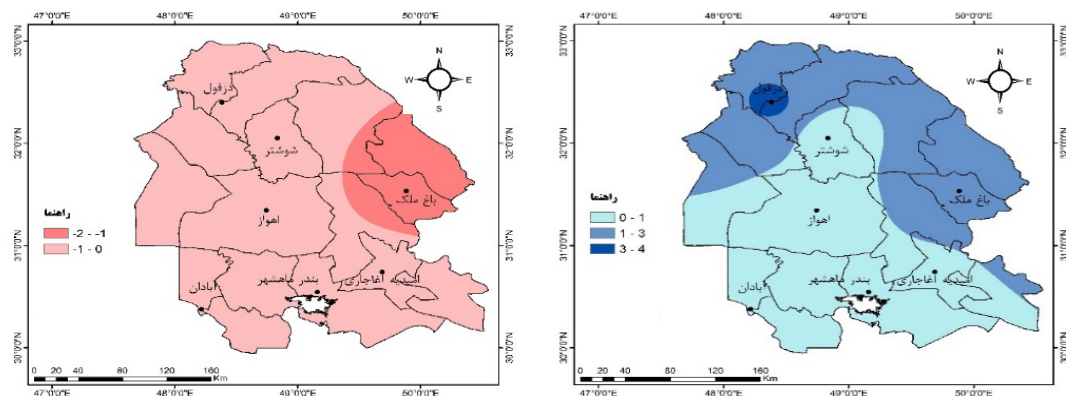
شکل ۷ پیش بینی خوشبینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۴۱-۲۰۷۰)



شکل ۸ پیش بینی بدبینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۴۱-۲۰۷۰)



شکل ۹ پیش بینی خوشبینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۷۱-۲۱۰۰)



شکل ۱۰ پیش‌بینی بدینانه تعداد روزهای یخبندان (سمت راست) و تغییرات فراوانی آن با دوره پایه (سمت چپ) استان خوزستان در طی دوره آماری (۲۰۷۱-۲۱۰۰)

دوره پایه ۱۹۶۱-۲۰۰۵ به صورت افزایشی می‌باشد و در دوره‌های آتی این افزایش همچنان ادامه پیدا می‌کند. بر این اساس پیامدهای تغییر اقلیم در جنوب غربی کشور (استان خوزستان) محاسبه شده است. در دوره‌های آینده میانگین دمای حداقل به صورت کاهشی می‌باشد و در نتیجه باعث کاهش برودت هوا و تعدیل آن می‌گردد و از یخبندان‌های شدید کاسته می‌شود. بررسی پهنه‌بندی فراوانی وقوع پدیده یخبندان نشان از کاهش در تعداد روزهای یخبندان در دوره اقلیمی آینده دارد. در جنوب استان خوزستان مناطق تقریباً بدون یخبندان است و بررسی توزیع مکانی یخبندان در استان نشان می‌دهد مناطق شمالی و شرقی، شامل ایستگاه‌های باغ ملک و دزفول تعداد روزهای یخبندان بیشتر از جنوب استان می‌باشد. در جنوب استان ایستگاه بندر ماهشهر تقریباً با ۰.۱ تا ۰.۳ روز کاهش یخبندان، کمترین کاهش یخبندان و شرق استان در ایستگاه باغ ملک تقریباً با ۲ روز بیشترین کاهش یخبندان پیش‌بینی شده است. به طور کلی با توجه به پیش‌بینی‌های میانگین حداقل دما و مقایسه آن‌ها با دوره پایه، نتیجه می‌شود به طور متوسط در دوره آینده پیش‌بینی شده، در هر دو سناریو به میزان ۱ روز از فراوانی یخبندان این استان کاسته می‌شود و با مطالعات حاجیوند پایدار و همکاران در سال

بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات متغیرهای اقلیمی در دهه‌های اخیر در اثر عوامل طبیعی و فعالیت‌های صنعتی باعث شده است که توجه زیادی به پیش‌بینی آنها شود. با توجه به تاثیر دما در شرایط اقلیمی هر منطقه و اهمیت پیش‌بینی آن در برنامه ریزی‌های محیطی با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو و پیش‌بینی دما و بررسی تغییرات فصلی دما از کاربردهای وسیعی برخوردار است. یافتن تغییرات و رفتارهای آب و هوایی هر ناحیه و بررسی نظام تغییرات آنها می‌تواند راهگشای برنامه ریزی‌هایی باشد. مهم‌ترین نتایج پژوهش به شرح زیر می‌باشند: در این تحقیق نتایج به دست آمده از تحلیل داده‌ها نشان می‌دهد در کلیه ایستگاه‌ها، به طور کلی میانگین دما در استان خوزستان افزایش داشته است. نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل SDSM با استفاده از آزمون‌های آماری و شاخص‌های خطاستیجی مختلف نشان داد این مدل در استان خوزستان مورد از دقت مناسبی جهت شبیه‌سازی متغیر اقلیمی دما در سطح منطقه مورد مطالعه برخوردار است. در همه ایستگاه‌های مورد مطالعه استان خوزستان طی دوره پیش‌بینی شده ماه جولای گرم‌ترین و ماه ژانویه سردترین ماه سال می‌باشند. تحقیقات نشان داده است میانگین دمای حداکثر در

- Future Climate Change in Monsoon Basins of South China.
- 8- Farzaneh, Mahsa, Arbabi Sabzevari, Azadeh, Daryabari, Seyed Jamaluddin, Asadian, Farideh. (2021). Forecasting climatic variables in the coming decades in the southeastern part of Iran, *Climatological Research*. 1400(45). 97-112.
 - 9- Hajari, Zainab and Zand, Mehran and Karampour, Mostafa and Tagvi Guderzi, Saeed, Fakhrabadi, Amir. (2018). Prediction of monthly and seasonal temperature and precipitation parameters using the SDSM model (case study: Khorramabad), 2nd conference International New Horizons in Basic, Technical and Engineering Sciences, Tehran.
 - 10- Hajivandpaydari, Samia, Yazdan Panah, Hojjat Elah, Andarzian, Seyed Bahram. (2022). Investigating the regional effects of the climate change phenomenon in North Khuzestan using the HADCM model under the LARS-WG exponential microscale in the statistical period of 2010-2030 and 2030-2050. *Geography and human relations*. 5(1). 299-314
 - 11- Hamidianpour, Mohsen, Falah Qalhari, Gholam Abbas, Alimoradi, Mohammad Reza. (2021). Evaluating the effectiveness of the sds model in investigating the consequences of climate change for different climatic zones of Iran. *Climate change research*. 2(5). 1-14.
 - 12- IPCC. 2007. Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report, Climate Change.
 - 13- IPCC. 2007. Summary for policy makers Climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report. Cambridge University Press.
 - 14- IPCC. 2007. Summary for Policymakers. In D. Qin, Z. Chen, K.B. Averyt, H.L. Miller, S. Solomon, M. Manning, M. Marquis & M. Tignor In S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.), *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*.
 - 15- Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press IPCC. 2013. Summary for policymakers. Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J.
 - 16- Ismailnejad, Morteza, Khosravi, Mahmoud, Alijani, Bahloul, Masoudian, Abolfazl.
- ۱۴۰۱ همسویی دارد. در چند دهه اخیر افزایش دمای زمین باعث بر هم خوردن تعادل اقلیمی و تغییر رفتار متغیرهای اقلیمی در کره زمین شده و تغییرات گسترده‌ای را در اغلب نواحی کره زمین موجب گردیده است که از آن به عنوان تغییر اقلیم یاد می‌شود. در حال حاضر آگاهی یافتن از میزان تغییرات فصلی دما و رفتار متغیرهای اقلیمی در جهت کاربرد تمهیدات لازم در برابر اثرات ناشی از تغییر اقلیم موضوع مورد بحث قرار گرفته است. شناخت و ارزیابی تغییرات اقلیم در دهه‌های آینده با هدف برنامه‌ریزی محیطی مناسب در جهت سازگاری با شرایط آتی اقلیم و کاهش اثرات آن امری تأثیرگذار می‌باشد.
- ### منابع
- 1- Alijani, Bahloul. (2013). *Climate of Iran*, first edition, Payam Noor University Press, 221.
 - 2- Alizadeh Jebbehdar, Milad and Asadi, Esmail and Ghorbani, Mohammad Ali. (2021). Forecasting long-term changes in future temperature and precipitation in Ardabil city based on the output of CMIP 6 model, Second International Conference and Fifth National Conference on Protection of Natural Resources and Environment, Ardabil.
 - 3- Asakereh, Hossein, Shadman, Hassan. (2018). Evaluation of the power of the SDSM model in simulating the average temperature of Urmia city. *Geography and Environmental Planning*, 29(4), 89-108.
 - 4- Babaian, Iman. (2018). Climate change in Iran: from effects and threats to opportunities, the 6th regional climate change conference, Tehran.
 - 5- Chen, H., Guo, J., Zhang, Z. and Yu, Xu, C. 2013. Prediction of temperature and precipitation in Sudan and South Sudan by using LARS-WG in future. *Journal of Theoretical and Applied Climatology*, 113: 363- 375.
 - 6- Dibike, Y.B. and Coulibaly, P. 2018. Temporal neural networks for downscaling climate variability and extremes. *Neural Networks*, 2: 135-144.
 - 7- Dong Yang. Wen. Liu .Chaohao Xu, Lizhi .Tao. And Xianli. Xu (2020) Integrating the InVEST and SDSM Model for Estimating Water Provision Services in Response to

- Comprehensive Water Resources Management.
- 27- Shamsipour, Ali Akbar. (2013). *Climate Modeling, Theory and Method*. Tehran: University of Tehran.
- 28- Varshusaz, Katayoun, Majd, Emad, Chitsazan, Azin (2011). Study of ecotourism and tourist attractions in Khuzestan Province, National Conference on Desert Ecosystem, Tourism and Environmental Arts, Najafabad.
- 29- Zakavi, Yaser, Barna, Reza, Morshidi, Jaafar, Ghorbin, Jibraeel (2023). A perspective on the conditions of climate change in the next 50 years of Khuzestan province with an emphasis on the element of temperature, *climatology researches*.(57).119-137.
- 30- Zohreh Vandi, Hassan, Khorshid Doost, Ali Mohammad, Sari Saraf, Behrouz. (2019). Forecasting climate change in western Iran using downscaling of HadCM3 model output under different scenarios. *Journal of Ecohydrology*, Winter, Volume 5, Number 4; from page 1161 to page 1174.
- 31- Zulfiqari, Hassan, Masoompour Samakosh, Jafar, Jalilian, Azar and Fathnia, Aman A. (2012). Determining synoptic patterns and air masses affecting the climatic seasons of western Iran, *Natural Geography Research*, No. 1, pp. 53-70.
- 32- Zulfiqari, Hassan. (2005). Investigation of natural seasons in Kermanshah Province, *Geographical Research Quarterly*, No. 76, pp. 106-90.
- 33- Hassan, Zulkarnain., Harun, Sobri. & Abdul Malek, Marlinda., (2012). Application of ANNs Model with the SDSM for the Hydrological Trend Prediction in the Subcatchment of Kurau River, Malaysia. *Journal of Environmental Science and Engineering*, (1), 577-585.
- 34- Fiseha B. M., Melesse A.M, Romano E, Volpi E. & Fiori A., (2012). Statistical Downscaling of Precipitation and Temperature for the Upper Tiber Basin in Central Italy Regular Paper. *International Journal of Water Sciences*, 1(3), 1-14.
- 35- Mekonnen. Dagnenet Fenta., Disse, Markus, (2016). Analyzing the future climate change of Upper Blue Nile River Basin (UBNRB) using statistical down scaling techniques, *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss*, doi:10.5194/hess-2016-543.
- 36- Saraf, R., Vidya, Regulwar, G., Dattatray, (2016). Assessment of Climate Change for Precipitation and Temperature Using Statistical Downscaling Methods in Upper Godavari River Basin, India. *Journal of Water Resource and Protection*. 8, 31-45.
- (2012). Thermal identification of Iran, *Geography and Development*, No. 33, pp. 31-54.
- 17- Jamali, Zahra, Khorani, Asadallah. (2015). Prediction of seasonal and monthly changes of potential evapotranspiration and climatic parameters using microscale HADCM atmospheric general circulation model data in two arid and semi-arid stations, *Watershed Promotion and Development Quarterly*, Volume: 4, Number: 12
- 18- Kasraei, Hassan (2000). Investigating and studying the weather and natural conditions of Khuzestan province, Program and Budget Organization
- 19- Khan, M.S., Coulibaly, P. and Dibike, Y. 2006. Uncertainty analysis of statistical downscaling methods. *J. Hydrol*, 1-4: 357-382.
- 20- Malek, K., Adam, J.C., Stöckle, C.O. and Peters, R.T., 2018. Climate change reduces water availability for agriculture by decreasing non-evaporative irrigation losses. *Journal of Hydrology*, 561: 444-460.
- 21- McGuffey, KA and Henderson, Sellers. (2001). *The first step in climate modeling*. Translated by Seyedaboulfazl Masoudian and Hasan Ali Ghayor. Isfahan University Publications.
- 22- Mo, X.G., Hu, S., Lin, Z.H., Liu, S.X. and Xia, J., 2017. Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research*, 8(2): 93-98.
- 23- Mohammadi, Parveen, Malekian, Arash, Selajgeh, Ali, Nouri, Mojtabi, Rafiei, Hamed. (2023). Simulating climate change scenarios using CMIP6 models, case study: Taleghan watershed (*Comprehensive Watershed Management* 4(3).30-51.
- 24- Najafi, Mohammad Saeed, Dehban, Hossein. (2022). Investigating the efficiency of a probabilistic forecasting model for seasonal changes in precipitation in Iran. *Climate Change Research* 4(16). 63-76.
- 25- Soleimani Sardou, Farshad, Mesbahzadeh, Tayyebbeh. (2019). Forecasting temperature and precipitation using climate change scenarios and statistical exponential downscaling models (Case study: South of Kerman Province), *Environmental Research* 11(22), 97-110
- 26- Shah Noorian, Mohammad Mehdi, Hessam, Musa, Ghorbani, Khalil, Zakerinia, Mehdi. (2012). Forecasting seasonal changes in climate parameters in the next 20 years using statistical downscaling of HADCM model data (Case study: Gorgan synoptic station). Third National Conference on

- Andrews, M, Hegerl, G., & Mitchell, D. 2022. The 2021 western North America heat wave among the most extreme events ever recorded globally, *Science Advances*. Pp. 1-10.
- 48- Asakereh, H. and Akbarzadeh, Y. 2016. Simulation of temperature and precipitation changes of Tabriz synoptic station during the period (2010-2011) using statistical exponential microscale (SDSM) and model output: CanESM2, *Geography and environmental hazards*. No. 21. pp. 153-174.
- 49- Amiri, F., Lashkari, H., Ghorbaniyan, J. and Morshedi, J. 2019. The effect of climate change on rainfed wheat crop calendar (Chamran cultivar) Case study of Dezful, *Geography (Iranian Journal of the Geographical Association)*. No. 65. pp. 5-14.
- 50- Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, Gh., Khosravi, H., Azarnivand, H. and Barati, A. A. 2019. Simulation and Prediction of Temperature and Rainfall Components in Arid Areas (Case Study: Minab Plain), *Geography (Iranian Journal of the Geographical Association)*. No. 66, pp. 110-127.
- 51- Ahmadi, M., Kamangar, M. 2022. Statistical analysis and prediction of monthly temperature of Sanandaj synoptic station using SARIMA model, *water and soil modeling and management*, No. 1. pp. 1-13.
- 52- Hoshyar, M., Sobhani, B. and Hosseini, S. A. 2018. Outlook Changes Maxes Maximum Perspective Changes Maximum Temperator Urmia Using Disposition Statistics Contact CanESM2 Model, *Journal of Geography and Planning*, No. 63. Pp. 305-325.
- 53- Karimi, Mostafa; Sotoudeh, Fatemeh; Rafati, Somayeh (2018). Analysis of Trend Changes and Prediction of Extreme Temperature Parameters on the Southern Coasts of the Caspian Sea. *Applied Research in Geographical Sciences*, 18(49), 79-93.
- 37- Samadi. S, Carbone. G. J, Mahdavi. M, Sharifi. F, & Bihamta. M. R, (2012). Statistical downscaling of climate data to estimate streamflow in a semi-arid catchment. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (9), 4869–4918.
- 38- Gharaloo, Raheleh (2011). Investigating the Climate Change Process in the Karaj Region. Master's Thesis. Kharazmi University.
- 39- Kazemi Rad, Ladan; Mohammadi, Hossein (2015). Evaluation of a Suitable General Circulation Model for Predicting Climate Change in Yazd Province. *Geography and Environmental Hazards*, (16), 55-73.
- 40- Abbasnia, Mohsen; Tavousi, Taghi; Khosravi, Mahmoud; Toros, Hossein (2016). Analysis of the Uncertainty Range of Future Changes in Daily Maximum Temperature over Iran Using Geographic Information Systems. *Geographic Information (Sepehr)*, (97), 29-43.
- 41- Salajegheh, Ali; Rafiei Sardooi, Elham; Moghaddam Nia, Alireza; Malakian, Arash; Iraqi Nejad, Shahab; Khalighi Sigaroodi, Shahram; Salehpour Jam, Amin (2017). Evaluating the Efficiency of Statistical Downscaling Models WG-LARS and SDSM in Simulating Temperature and Precipitation. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, (2), 253-262.
- 42- Yazdanpanah, H. Alizadeh, T. 2012. Estimating the Possibility of Heat Waves with Different Continuity Periods in Kerman Province Using Mark Chains, *Geographical Research Quarterly*. No. 3. pp. 17300-17322.
- 43- Paravantis, J., Santamouris, M., Constantinou, C., Efthymiou, Ch. And Kontoulis, N. 2017. Mortality Associated with High Ambient Temperatures Heat waves, and the Urban Heat Island in Athens, Greece, June 2013, *Sustainability*. Pp. 1-22.
- 44- A. Anel, J., Fernandez-Gonzalez, M., Labandeira, X., Lopez-Otero, X. and L, De la Torre. 2017. Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector. *Atmosphere*, No. 10. pp. 1-13.
- 45- Rohini, P., Pajeevan, m. and Mukhopahay, P. 2019. Future projections of heat waves over India from CMIP5 models, *Climate Dynamics*, No. 53. Pp. 975–988.
- 46- Feron, Sarah, R., Cordero, R., Alessdro Damiani, P., Llanillo, J., Jorquera, J., Edgardo sepulveda, V., Asencio, D., Laroze, F., Labbe, J., Carrasco & torres, G. 2019. observations and projections of Heat Waves in south Americas. *Scientific reports*. Pp. 1-15.
- 47- Thompson, V., Kennedy-Asser, A T, Vosper, E., Eunice Lo, Y. T. Huntingford, Ch., Oliver