

استفاده از مدل چندگانه خطی SDSM به منظور پیش‌بینی دما

(مطالعه موردی: تالاب‌های هورالعظیم و میانگران)

منصور چترنورا^۱، نسرین مرادی مجد^۲، میرناصر نویدی^{۱*} و ناصر دواتگر^۱

^۱ موسسه تحقیقات خاک و آب، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران

^۲ گروه جغرافیا، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

سابقه و هدف: از پیامدهای پدیده تغییر اقلیم در استان خوزستان می‌توان به خشک شدن بخش بزرگی از تالاب‌های این استان شامل میانگران و هورالعظیم اشاره کرد که با ادامه خشک شدن آنها در سال‌های اخیر سبب تولید توفان‌های گرد و غبار شده است. در این راستا هدف از این پژوهش، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی در محدوده تالاب‌های میانگران و هورالعظیم توسط مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM بر پایه سناریوهای اقلیمی A₂، B₂ و HadCM₃ است. با توجه به شرایط خاص منطقه و اینکه مطالعات اندکی در خصوص تغییر دمایی در این مناطق صورت گرفته، شناخت وضعیت تغییر دمایی می‌تواند به مدیریت بهتر منابع و به‌ویژه مدیریت منابع آب کمک کند.

مواد و روش‌ها: برای این منظور با استفاده از داده‌های روزانه دمای میانگین، دمای کمینه و بیشینه در ایستگاه‌های سینوپتیک ایذه و بستان به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به تالاب‌های هورالعظیم و میانگران در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی صورت گرفت و سپس با دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) مقایسه انجام شد. جهت بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه آنها از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری مرسوم MAE، NSE، PBISE، RMSE و R² استفاده گردید.

نتایج و بحث: نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل HadCM₃ همراه با داده‌های مشاهده‌ای در ایستگاه ایذه و داده‌های سالانه مدل‌سازی شده نشان داد که میانگین دما ۱۸/۴۷ درجه سانتی‌گراد و برای ایستگاه بستان میانگین دمای ۱۹/۱۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو ایستگاه در دوره پایه میانگین دمایی بالاتری را داشته‌اند و بیشینه دما در تالاب میانگران بسیار بیشتر از تالاب هورالعظیم در دوره پایه می‌باشد. نتایج کمینه دمایی نیز که نشان می‌دهد اختلاف در دو ایستگاه کم و جزئی است. نتایج حاصل از بررسی چرخه‌ها در مناطق مورد مطالعه حاکی از آن است که در سناریوی A₂ حالت‌های خاص اقلیمی در منطقه دارای دوره‌های بازگشت کوتاه مدت است. در دو ایستگاه در سناریوی B₂ در صدک بالایی چرخه معنی‌داری، میانگین دمایی در سطح اطمینان (۰/۹۷/۵) در دوره بازگشت ۳۰ ساله و در صدک پایین چرخه معنی‌داری میانگین دمایی در سطح اطمینان (۰/۲/۵) در دوره

* Corresponding Author: Email Address. n.navid@areeo.ac.ir

بازگشت ۱ ساله در هر دو سناریو بدست آمد که نشان دهنده محدوده وسیع‌تر دوره بازگشت و احتمال بیشتر رویدادهای حدی دمایی در سناریوی B₂ است. در مقایسه دو ایستگاه مشاهده می‌شود که در سناریوی A₂ تالاب میانگران ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد افزایش میانگین دما دارند. همچنین در سناریوی A₂ تالاب میانگران میانگین و بیشینه دمایی بیشتری را دارد در حالی که تالاب هورالعظیم افزایش کمینه دمایی بیشتری را داشته است. این در حالی است که در سناریوی B₂ میانگین دمای تالاب میانگران ۱/۴۷ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۵/۱۲ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارد.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از بررسی داده‌ها در دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با سناریوی B₂ و A₂ نشان دهنده افزایش دمایی میانگین، کمینه و بیشینه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه‌های ایذه و بستان بوده، به طوری که در ایستگاه بستان دمای متوسط کمینه و بیشینه سالانه نیز در دوره سوم بیشینه، روند افزایشی را نسبت به دوره پایه داشته و در هر دو سناریو به دلیل افزایش دما، روند خشک شدن هر دو تالاب ادامه خواهد داشت.

واژه‌های کلیدی: مدل‌های گردش کلی جو، سناریو، مدل‌های شبیه‌سازی، تغییر اقلیم.

مقدمه

با توجه به تأثیری که تغییر اقلیم بر کره زمین دارد و در حال حاضر به‌عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های فرا روی جامعه جهانی مطرح بوده، تلاش در جهت شناخت هر چه بیشتر رخدادهای تغییر اقلیم، امری مسلم است (Kamyabi and Abdi, 2019). سیاره زمین اثرات فزاینده تغییرات اقلیمی و افزایش در فراوانی و بزرگی رخدادهای شدید جوی را تجربه می‌کند. تبعات تغییر اقلیم مانند گرمای شدید، کم‌آبی، خشکسالی، سیل، بیابان‌زایی، فرونشست زمین و ریزگردها در ایران نیز با شتاب در حال آشکار شدن است (Rumi, 2022). بر پایه گزارش چهارم هیئت بین‌المللی تغییرات اقلیم که با عنوان گزارشات ارزیابی تغییر اقلیم انتشار یافته است (IPCC, 2007)، اندازه‌گیری دمای سطح خشکی‌ها و آب‌های جهان نشان دهنده پدیده افزایش جهانی دما و تغییرات اقلیمی است (Saleh Pourjam et al., 2014). دمای سطح زمین از اواسط قرن ۱۹ روند افزایشی را نشان داده و در سه دهه اخیر گرم‌ترین سال‌ها را مشاهده کرده‌ایم (Stocker et al., 2018). این روند افزایشی در دمای کره زمین و همچنین تغییر در خصوصیات اتمسفر اشاره به تغییرات آب و هوایی دارد. نتایج پژوهش Fowler et al. (2007) نشان داد در صورتی که اقدامات مناسبی در جهت کاهش اثرات تغییر اقلیم و سازگاری با آن صورت نگیرد، سبب بروز اثرات نامطلوب در بخش‌های کشاورزی، منابع آب و صنعت گردشگری

خواهد گردید. در کل سه نوع رایج مدل‌های آب‌وهوایی ساده استفاده می‌شود که شامل مدل‌های تعادل انرژی، مدل‌های پیچیده‌ی متوسط و مدل‌های جریان عمومی می‌باشد (Safdari, 2018). امروزه مدل‌های گردش کلی جو قوی‌ترین ابزار جهت اجرای سناریوهای اقلیمی (جدول ۱) هستند (Fowler *et al.*, 2007). یکی از دلایل استفاده از این مدل‌ها عملکرد سریع و آسان نسبت به سایر روش‌ها است (Kim *et al.*, 2007). خروجی مدل‌های گردش عمومی جو به دلیل تفکیک مکانی درشت آنها، در مقیاس منطقه‌ای و محلی کاربرد ندارد و لازم است در سطح کوچکتر ریزمقیاس شوند (Ghanchepour *et al.*, 2018). از جمله مدل‌های ریزمقیاس‌سازی آماری که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل Statistical DownScaling Model (SDSM) است (Semenov, 2008).

جدول ۱- خلاصه‌ای از مشخصات چهار سناریوی شاخص SRES در سال ۲۱۰۰

Table 1. A summary of the characteristics of the four SRES index scenarios in 2100

B ₂	B ₁	A ₂	A ₁	۱۹۹۰	خصوصیت سناریو Characteristic of the scenario
۱۰/۴	۷/۰	۱۵/۱	۷/۱	۵/۲۵۲	جمعیت (میلیون نفر) population (million people)
۶۰۱	۵۴۷	۸۳۴	۶۸۰	۳۵۴	غلظت CO ₂ (ppm) CO ₂ concentration (ppm)
۲/۱	۲/۰	۳/۱	۲/۵	-	تغییر متوسط میانگین دمای کره زمین Average change in average global temperature
۵۲	۵۰	۶۲	۵۸	-	افزایش جهانی سطح آب دریا (cm) Global sea level rise (cm)
۲۳۵	۳۲۸	۲۴۳	۵۵۰	۲۱	GDP جهانی Global GDP

در تحقیقات بر روی مدل سازی اقلیمی، (Zhaofa *et al.*, 2011) دو مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM و NHMM را برای شبیه‌سازی بارش در یک حوزه آبخیز منطقه خشک در چین در دو دوره مشاهداتی ۱۹۶۱-۱۹۹۰ و ۱۹۹۱-۲۰۰۰ مورد ارزیابی قرار دادند و نتیجه‌گیری کردند که اختلاف معنی‌داری در نتایج آن‌ها مشاهده نمی‌شود. (Tatsumi *et al.*, 2011) با استفاده از مدل SDSM به ریزمقیاس‌سازی دما در منطقه Shikoku در جنوب غربی ژاپن پرداختند. نتایج نشان داد که در دوره ۲۰۷۱-۲۰۹۹ دما در بیشتر سناریوها نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. (Dehghan *et al.*, 2014) ارزیابی مدل‌های SDSM، IDW و LARS-WG برای شبیه‌سازی و ریزمقیاس‌کردن دما و بارش انجام دادند. در این تحقیق صحت سنجی هر دو مدل SDSM و LARS-WG نشان داد که توانایی بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش داشتند. (Semiro *et al.*, 2013) شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای اقلیمی توسط مدل چندگانه خطی SDSM و مدل‌های گردش عمومی اتمسفر را در ایستگاه نیشابور انجام دادند. در این پژوهش داده‌های روزانه دمای بیشینه، کمینه و

بارش برای دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۷۰) تحت سه سناریو A_1 ، A_2 و B_1 شبیه‌سازی گردید. نتایج هر سه سناریو عموماً حاکی از افزایش دما و کاهش بارش در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در پژوهشی دیگر (Selajageh *et al.* (2016) پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی را توسط مدل چندگانه خطی SDSM در دوره آینده برپایه سناریوی A_2 انجام دادند. در این تحقیق داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه برای سه دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۵، ۲۰۶۵-۲۰۴۰، ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی و با دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد که بر پایه سناریو A_2 در ایستگاه سینوپتیک کرمانشاه، مقدار بارش میانگین سالانه در دوره‌های ۲۰۱۵-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۵، نسبت به دوره پایه کاهش، دمای متوسط کمینه و دمای متوسط بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. (Dastranj and Rostami Khalaj (2019) به مدل‌سازی و مقایسه تغییرات پارامترهای اقلیمی در قسمت شمالی و جنوبی البرز با استفاده از مدل SDSM تحت دو سناریوی A_2 و B_2 پرداختند. نتایج حاصل از پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی نشان داد شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی توسط مدل با دقت بالایی انجام گرفته است. (Rahimi and Rahimi (2017) تحلیل زمانی و مکانی تغییر اقلیم در سال‌های آینده و مقایسه روش‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS و شبکه عصبی مصنوعی در استان خوزستان را انجام دادند. در این تحقیق برای پیش‌بینی خشک‌سالی از داده‌های GCM و مدل HadCM₃ تحت دو سناریوی A_2 و B_2 استفاده شد. نتایج نشان داد توانایی مدل ریزمقیاس شبکه عصبی مصنوعی قابل قبول‌تر از سایر مدل‌هاست. در پژوهشی (et al. (2017) Mirdashtvan شبیه‌سازی جریان سطحی را از طریق کوچک‌مقیاس‌نمایی آماری داده‌های اقلیمی حوضه دریاچه ارومیه انجام دادند. در این پژوهش خروجی مدل‌های گردش کلی جو بر پایه سناریوهای B_2 و A_2 با مدل HadCM₃ با استفاده از روش SDSM کوچک‌مقیاس شد. کاربرد مدل HadCM₃ در حوضه نشان داد دما در دوره ۲۰۴۱-۲۰۷۰ به میزان ۱/۲ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد به ترتیب تحت سناریوهای A_2 و B_2 افزایش خواهد یافت. (Ghanchepour *et al.* (2018) به کارگیری روش غربالگری کمی در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری برای اجرای سناریوهای تغییر اقلیم در حوضه رودخانه گرگانود را برای سه دوره ۲۰۰۶-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۷۰ و ۲۰۷۱-۲۱۰۰ انجام دادند. نتایج نشان دهنده افزایش میزان میانگین دما در این حوضه می‌باشد.

با توجه به شرایط خاص منطقه و اینکه مطالعات اندکی در خصوص تغییر دمایی در این مناطق صورت گرفته، شناخت وضعیت تغییر دمایی می‌تواند به مدیریت بهتر منابع و به ویژه مدیریت منابع آب کمک کند که از دو بعد بهداشتی و اقتصادی حائز اهمیت است. از بعد اقتصادی به حرکت درآورنده چرخ صنعت و رونق بخش فعالیت کشاورزی و از بعد بهداشتی آب با کیفیت، تضمین‌کننده سلامت انسان می‌باشد. بنابراین هدف از این پژوهش ارزیابی عملکرد مدل SDSM

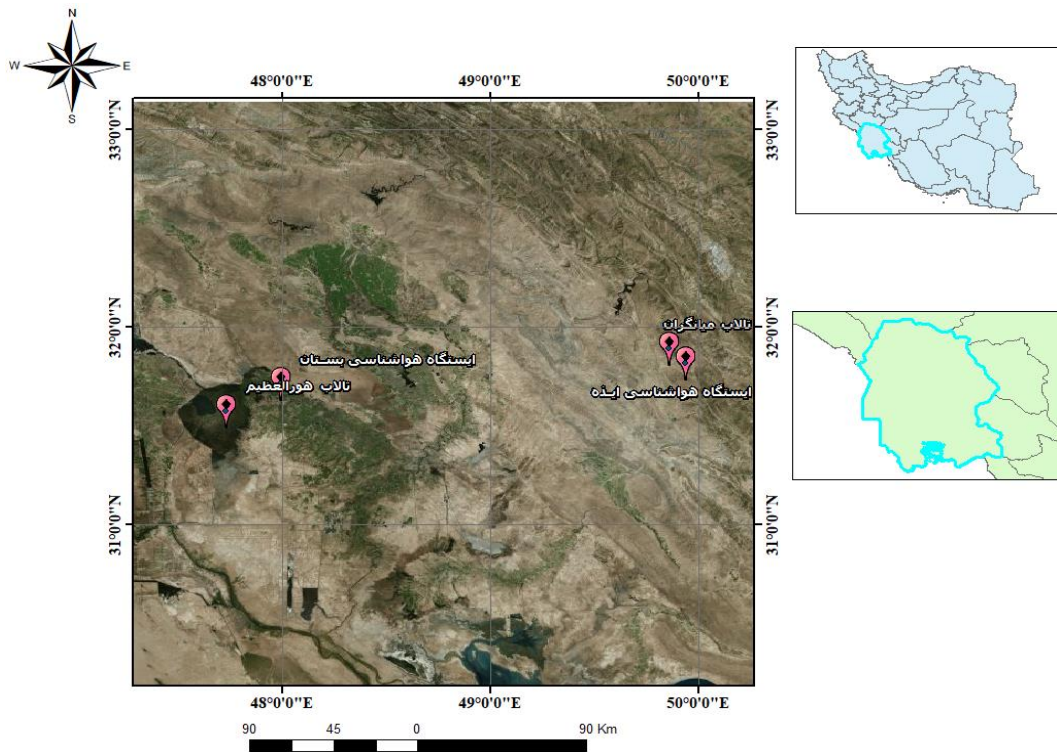
برای ریزمقیاس نمایی متغیرهای میانگین، بیشینه و کمینه دما و رویدادهای حدی در محدوده تالاب‌های میانگرن و هورالعظیم و مقایسه دو تالاب با هم تا سال ۲۰۹۹ است.

مواد و روش‌ها

تالاب هورالعظیم: این تالاب در جنوب شرق عراق و جنوب غرب ایران، در محدوده استان‌های میسان (شهر العماره) و بصره در عراق و در محدوده استان خوزستان در غرب شهرهای هویزه، رفیع و بستان در ایران واقع شده است. طول جغرافیایی ۲۵' ۴۷" الی ۵۰' ۴۷" و عرض جغرافیایی آن ۳۱' ۰۰" الی ۳۱' ۴۵" می‌باشد. هورالعظیم در شرایط عادی دارای مساحتی در حدود ۲۰۰۰ کیلومترمربع و در مواقع سیلابی بالغ بر ۵۰۰۰ کیلومترمربع را شامل می‌شود (Abyat *et al.*, 2020). این تالاب از آب‌های اضافه رود کرخه، دویرج و بخشی از آب‌های اضافه اروندرود تشکیل شده است (Papahn *et al.*, 2013). خشک شدن هورالعظیم در ایران و عراق میزان وقوع توفان‌های شن و ریزگرد را افزایش داده است و باعث شده استان خوزستان با گرد و غبارهایی حدود ۲۱ برابر استاندارد مواجه شود (Mehrabi *et al.*, 2014). ایستگاه بستان نزدیک ترین ایستگاه به تالاب هورالعظیم است که در فاصله ۲۰ کیلومتری آن قرار دارد (شکل ۱). کمینه دما ۳/۸- درجه سلسیوس، بیشینه دما ۵۲/۶ درجه سلسیوس، میانگین دمای سالانه ۲۳/۹ درجه سلسیوس و همچنین میانگین بارش سالیانه ۲۱۷/۶ میلیمتر، میانگین رطوبت سالانه ۴۷ درصد، باد غالب در جهت غربی و متوسط آن ۴/۹ متر بر ثانیه، طول دوره خشکی ۲۳۵ روز و شروع آن از فروردین و پایان آن آبان ماه می‌باشد. نوع اقلیم بیابانی گرم و نیمه خشک و وضعیت طبیعی منطقه جلگه‌ای است (Papahn *et al.*, 2013).

تالاب میانگرن: یکی از تالاب‌های مطرح کشور که به‌طور میانگین ۲۵۰۰ هکتار وسعت دارد و در شرایط پرآبی وسعت آن به بیش از ۳۰۰۰ هکتار می‌رسد. این تالاب در دو کیلومتری شهر ایذه، استان خوزستان قرار دارد و موقعیت جغرافیایی آن ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی می‌باشد (Salarpur *et al.*, 2021). منبع تغذیه تالاب از هیچ رودخانه‌ای نیست و با نزولات جوی، آب‌های ناشی از آب شدن برف‌های ارتفاعات پر می‌شود. ایستگاه هواشناسی ایذه نزدیکترین ایستگاه به این تالاب است. میانگین دمای هوا در شهرستان ایذه در ماه‌های دی و بهمن به ترتیب ۹/۴ و ۹/۵ درجه سانتی‌گراد کمترین میزان درجه دما و ماه‌های تیر و مرداد به ترتیب ۳۳/۸ و ۳۳/۶ درجه سانتی‌گراد بیشترین درجه دما را به خود اختصاص می‌دهند. میزان بارندگی سالانه شهرستان حدوداً ۷۶۰ میلی‌متر می‌باشد که

بیشترین میزان بارندگی مربوط به فصل زمستان بالاتر از ۴۱۰ میلیمتر و کمترین میزان بارندگی مربوط به فصل تابستان با ۲/۷ درصد است. در شکل ۱ موقعیت ایستگاه هواشناسی ایذه و فاصله آن را تا تالاب میانگران نشان داده شده است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 - Location of the studied area

آماده‌سازی داده‌های پیش‌بینی شونده و پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس: در این مرحله داده‌های

سری زمانی روزانه به طور جداگانه برای هر متغیر دمایی کمینه، بیشینه و میانگین برای ایستگاه‌های ایذه و بستان برای دوره آماری ۱۹۹۰-۱۹۶۱ به صورت تک ستونه در فایل Notepad مرتب شد و به جای داده‌های مفقود کد ۹۹- قرار داده شد. برای آماده سازی پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس NCEP و HadCM3، در آغاز به انتخاب شبکه‌های پوشش دهنده منطقه مورد بررسی در شبکه جهانی موجود در سایت CCSN اقدام شد. در ادامه با استفاده از پارامترهای بزرگ مقیاس مشاهداتی NCEP و نرم افزار SDSM به انتخاب پیش‌بینی کننده های منتخب پارامترهای اقلیمی مورد نیاز پرداخته شد. بدین منظور، از بین ۲۶ پارامتر بزرگ مقیاس NCEP و توابع مختلف آنها، پارامترهای بزرگ مقیاس برای متغیرهای اقلیمی

موردنظر انتخاب گردید. این پارامترها شامل میانگین فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل سطح ۸۵۰ هکتوپاسکال و میانگین دما در ارتفاع دو متری می باشد.

مدل SDSM: این مدل ارتباطات آماری بین رفتارهای بزرگ مقیاس (پیش‌بینی کننده‌ها) و محلی (پیش‌بینی شونده‌ها) را بر اساس روش رگرسیون خطی چندگانه برقرار می‌کند. این ارتباطات با استفاده از داده‌های مشاهداتی ایستگاه و برودادهای (خروجی) مدل‌های گردش کلی جو در دوره مشابه دیدبانی ایجاد می‌شوند. فرض بر این است که این روابط در آینده نیز صادق باشند، به عبارت دیگر فرض اساسی در ریز مقیاس نمایی آماری مستقل از زمان بودن این ارتباطات است. قبل از انجام فرآیند ریزمقیاس نمایی توسط این مدل داده‌های مشاهداتی و داده‌های مدل‌های گردش کلی جو با توجه به مقادیر میانگین و انحراف معیار آنها در دوره مورد نظر به صورت هنجار تبدیل می‌شوند. این کار به این دلیل انجام می‌شود که مدل‌های گردش کلی جو نمی‌توانند به خوبی اقلیم محلی را مانند دیدبانی شبیه‌سازی نمایند؛ لذا مقایسه این دو باهم قبل از نرمالیزه کردن می‌تواند موجب همبستگی‌های غیرمعقول گردد. متغیرهای پیش‌بینی کننده اطلاعات مربوط به حالت بزرگ مقیاس جو را فراهم می‌کنند؛ در حالیکه متغیرهای پیش‌بینی شونده حالت جو را در مقیاس نقطه‌ای/ محلی مشخص می‌کنند (Ghanchepour et al., 2018). در این پژوهش مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM 5.1 برای شبیه سازی داده‌های اقلیمی دما در ایستگاه‌های سینوپتیک ایذه و بستان در دوره پایه و دوره آینده تحت تاثیر اقلیم مورد بهره‌برداری قرار گرفت.

مدل HadCM₃ از نوع مدل‌های گردش کلی جو جفت شده جوی-اقیانوسی (AOGCM) است که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافته است. هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، برای تعیین دامنه‌ی عدم قطعیت‌های موجود در تغییرات پیش‌بینی شده، نتایج حاصل از ترکیب بسیاری از مدل‌ها را جمع‌آوری کرده است. در اکثر مطالعات با دو، سه یا چهار برابر شدن دی‌اکسید کربن، یک افزایش یک درصدی در سال برای گازهای گلخانه‌ای فرض شده است. در گزارش‌های سوم و چهارم IPCC بر روی شش خانواده از سناریوهای انتشار بحث شده است که عبارتند از: A₁F₁، A₁B، A₁T، A₂، B₁ و B₂. خانواده‌ی سناریوهای انتشار به سناریوهای اطلاق می‌شود که دارای موضوع و زمینه مشترکی هستند (Eslahi, 2015). هر یک از سناریوهای فوق شرایطی از اقلیم آینده را در اختیار کاربر قرار می‌دهد. در سناریوی A₂ ناهمگونی در دنیا زیاد، رشد جمعیت زیاد، رشد اقتصادی منطقه‌ای، توسعه و تغییرات فن‌آوری منطقه‌ای (و نه جهانی) است ولی در سناریوی B₂ رشد جمعیت و رشد اقتصادی متوسط، رشد فن‌آوری از سناریوی A₁ و B₁ کمتر است. تأکید به دستیابی به راه‌حل‌های محلی در مورد مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی می‌باشد (Dastranj and

(Rostami Khalaj, 2019) در این پژوهش ابتدا به کمک پیش‌بینی‌کننده‌های منتخب متغیرهای مورد بررسی برای دوره پایه شبیه‌سازی شدند. سپس این متغیرها تحت دو سناریوی A₂ و B₂ برای دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی گردید و تغییرات هر متغیر در سناریوهای مختلف نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت. دقت مدل HadCM₃، در ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روی منبع آب در بسیاری از مطالعات به اثبات رسیده است (ضرغامی و همکاران، ۲۰۱۱).

همچنین در ادامه پیش‌بینی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی در مدل HadCM₃، با سناریوهای A₂ و B₂ تا سال ۲۰۹۹ انجام گرفت. رویدادهای اقلیمی حدی، پدیده‌های نادری هستند که از نظر شدت و فراوانی کمیاب بوده و از آنجایی که اکوسیستم‌ها و ساختارهای فیزیکی جوامع انسانی با شرایط اقلیمی به‌نحار تنظیم شده‌اند، در زمان رخداد این پدیده‌ها، به ندرت می‌توانند خود را تجهیز و آماده کنند، در نتیجه تغییر در زمان وقوع رویدادهای حدی اغلب می‌تواند آثار چشم‌گیری بر اکوسیستم‌ها و جامعه نسبت به تغییر در شرایط متوسط جوی داشته باشد (Ranjbar and Oji, 2020). در سال‌های اخیر توجه به رویدادهای حدی (خشکسالی‌ها، سیل‌ها و امواج شدید گرمایی)، نه تنها به علت پیامدهای اقتصادی، اجتماعی بلکه به منزله نشانه‌های تغییر اقلیم، اهمیت زیادی پیدا کرده است. در این تحقیق برای یافتن ارتباط بین تغییر اقلیم و رویدادهای حدی، رفتار و فراوانی رویدادهای حدی با استفاده از مدل HadCM₃ در نرم‌افزار SDSM بررسی شده است.

جهت بررسی عملکرد مدل‌ها و مقایسه آنها از دو روش ترسیمی و معیارهای آماری مرسوم PBIAS[‡]، NSE[‡]، MAE[‡]، RMSE^{**} و R² استفاده گردید و ۲۰ درصد آمار برای اعتبارسنجی استفاده شد. این معیارها براساس روابط ۱ تا ۵ محاسبه می‌شوند.

$$PBIAS = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i) * 100}{\sum_{i=1}^n (O_i)} \right] \quad (1)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (2)$$

$$MAE = 1/n \sum_{i=1}^n (S_i - O_i) \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 / n} \quad (4)$$

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n} \sum_{m=1}^n (S_i - \bar{S})(O_i - \bar{O})}{\sigma_s \times \sigma_o} \right]^2 \quad (5)$$

†Percent bias
‡Nash-Sutcliffe efficiency
§ Mean absolutely error
** Root mean square error
†† Returns the square

که در آن O_i : داده‌های مشاهداتی، S_i داده‌های برآورد شده، \bar{O} و S میانگین داده‌های مشاهده‌ای و برآورد شده و σ واریانس می‌باشد. مقادیر RMSE و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری می‌باشد. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالای مدل و مقدار صفر، نشان‌دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. R^2 بیانگر ارتباط داده‌های مشاهداتی و برآورد شده می‌باشد. دامنه این پارامتر بین ۰ تا ۱ است هر چه این مقدار به ۱ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی بین دو گروه می‌باشد. دامنه ضریب NSE بین $-\infty$ تا ۱ می‌باشد. دامنه بین ۰ تا ۱ قابل قبول و بهترین حالت زمانی است که ضریب NSE برابر ۱ باشد. PBISE هر چه به ۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده دقت بالاتر مدل در برآورد متغیر موردنظر می‌باشد. در صورتی که مقدار این پارامتر به سمت مثبت میل کند نشان‌دهنده این است که متغیر مورد بررسی بسیار کمتر از مقدار واقعی برآورد شده است. اگر این پارامتر به سمت منفی میل کند نشان می‌دهد که پارامتر موردنظر مقدار متغیر را بسیار بیشتر از مقدار واقعی برآورد کرده است. قابل ذکر است که برای این پارامتر آستانه خاصی در نظر گرفته نشده است (Moriasi et al., 2007)

نتایج و بحث

شبیه‌سازی شاخصهای دمایی در دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) با استفاده از مدل جهانی: نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل HadCM3 همراه با داده‌های مشاهده‌ای در جدول (۲) ارائه شده است. چنانچه از این جدول مشخص است، نوع داده‌های NCEP مدل‌های جهانی و همچنین نوع متغیر وابسته، در میزان دقت شبیه‌سازی مدل موثر بوده است. همچنین برای ایستگاه ایزده داده‌های سالانه مدل‌سازی شده میانگین دما ۱۸/۴۷ درجه سانتی‌گراد و برای ایستگاه بستان داده‌های سالانه مدل‌سازی شده میانگین دما ۱۹/۱۰ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. همان‌طور که مشاهده می‌شود هر دو ایستگاه در دوره پایه میانگین دمایی بالاتری را داشته‌اند و بیشینه دما در تالاب میانگران بسیار بیشتر از تالاب هورالعظیم در دوره پایه می‌باشد. نتایج کمینه دمایی نیز نشان می‌دهد اختلاف در دو ایستگاه کم و جزئی است. همچنین نتایج انحراف معیار نشان داد که در ایستگاه ایزده انحراف معیار سالانه میانگین دمایی ۰/۰۴ و در ایستگاه بستان مقدار ۰/۰۱ بدست آمد. در مجموع در ایستگاه ایزده در فصل زمستان بیشترین انحراف معیار و فصل بهار کمترین انحراف معیار را مشاهده گردید. در هر دو ایستگاه، بیشینه‌های دمایی بیشترین انحراف معیار را داشتند که ایستگاه بستان نیز فصل زمستان بیشترین انحراف معیار و فصل بهار و پاییز کمترین انحراف معیار را نشان داد. در واقع در این ایستگاه نیز

بیشینه‌های دمایی بیشترین انحراف معیار را دارا بودند. نتیجه‌گیری می‌شود که انحراف معیار بالای مدل‌سازی در فصل زمستان ناشی از آشفتگی‌های اتمسفری بوده که به همین دلیل این مدل توانایی لازم جهت شبیه‌سازی دما در این فصل را ندارد. با این حال کاهش انحراف معیار در فصل بهار را می‌توان ناشی از تغییرات دمایی دانست، که مدل هم توانایی شبیه‌سازی آن را به خوبی داشته است. در پژوهشی مشابه، (Abkar *et al.* (2013) نیز به خطای مدل‌سازی در اثر آشفتگی‌های آب و هوایی که از نظم خاصی پیروی نمی‌کند، اشاره کرده است.

جدول ۲- داده‌های مشاهده‌ای، شبیه‌سازی شده و انحراف معیار در دوره ارزیابی مدل

Table 2. Observational, simulated data and standard deviation in the model evaluation period

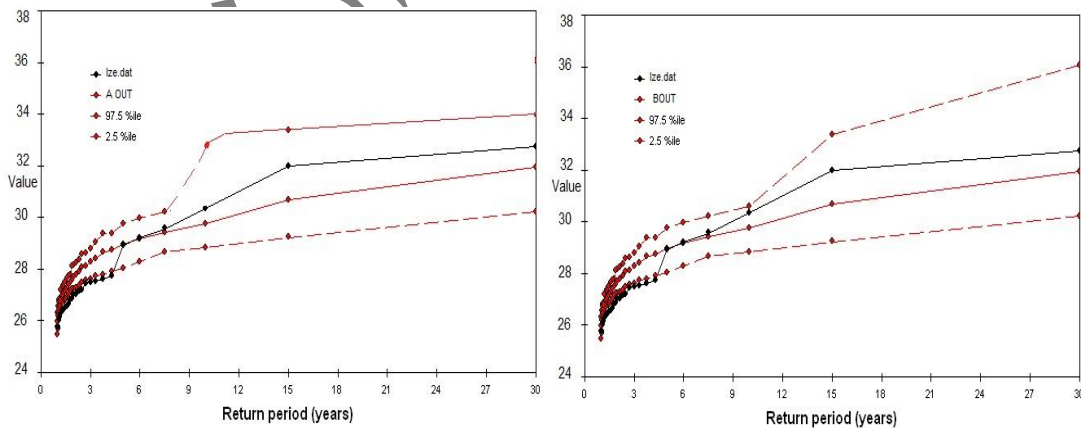
کمینه Min			بیشینه Max			میانگین Mean			فصل Season	Izeh
انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	مشاهده شده observed	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	مشاهده شده observed	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	مشاهده شده observed		
۱/۴۱	-۱/۱۰	-۳/۰۰	۱/۷۹	۳۸/۸۵	۳۱/۰۰	۰/۱۰	۱۹/۹۲	۱۱/۰۷	زمستان winter	
۰/۶۵	۱/۳۵	۰/۰۰	۱/۰۰	۳۹/۷۰	۳۳/۰۰	۰/۰۵	۲۲/۴۳	۲۰/۶۷	بهار Spring	
۱/۸۵	۳/۶۰	۳/۰۰	۱/۲۸	۳۷/۹۵	۳۵/۰۰	۰/۰۹	۲۶/۳۲	۲۰/۸۳	تابستان Summer	
۱/۳۵	-۲/۰۵	-۴/۰۰	۱/۴۱	۳۳/۹۰	۳۱/۰۰	۰/۰۷	۱۶/۲۲	۱۱/۶۰	پاییز autumn	
۱/۱۱	-۲/۴۰	-۴/۰۰	۱/۲۲	۳۸/۰۰	۳۵/۰۰	۰/۰۴	۱۸/۴۷	۱۶/۰۴	سالانه yearly	
کمینه Min			بیشینه Max			میانگین Mean			فصل Season	Bostan
انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	مشاهده شده observed	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	مشاهده شده observed	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	مشاهده شده observed		
۰/۰۴	-۲/۷۲	-۳/۱۹	۰/۰۳	۱۰/۵۰	۱۰/۲۳	۰/۰۶	۱۰/۰۱	۹/۵	زمستان winter	
۰/۰۱	-۰/۵	-۱/۹۶	۰/۰۱	۳۳/۶۹	۳۳/۱۲	۰/۰۱	۲۳/۹۶	۲۳/۴۵	بهار Spring	
۰/۰۳	۱/۸۵	۲/۳۵	۰/۰۱	۳۵/۳۲	۳۴/۸	۰/۰۲	۳۴/۱۱	۳۳/۶	تابستان Summer	
۰/۰۱	-۱/۹۳	-۲/۴۶	۰/۰۱	۲۲/۹۸	۲۲/۴۳	۰/۰۱	۲۰/۰۸	۱۹/۵۷	پاییز autumn	
۰/۰۲	-۲/۵۴	-۳/۰۵	۰/۰۱	۲۷/۲۳	۲۶/۷۶	۰/۰۱	۱۹/۱۰	۱۸/۴۵	سالانه yearly	

پیش‌بینی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی در مدل HadCM₃، با سناریوهای A₂ و B₂ تا

سال ۲۰۹۹: در این بخش پیش‌بینی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی و تجزیه و تحلیل شاخص‌های حدی که در شرایط دمایی حدی رخ می‌دهند، مورد توجه قرار گرفته است. نوسانات دمایی می‌توانند به صورت روند و چرخه‌های آشکار

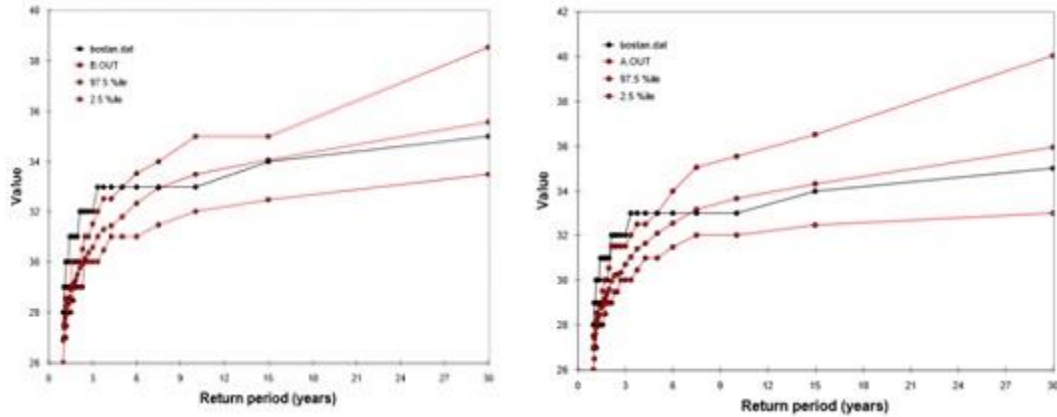
و نهان خود را نشان دهند. آگاهی از این الگوها می‌تواند در پیش‌بینی‌های اقلیمی مؤثر باشد. نتایج نشان داد که در هر دو ایستگاه در سناریوی A₂ میانگین دما دارای چرخه‌های معنی‌دار با دوره‌های بازگشت ۱/۲ ساله و کمترین چرخه معنی‌داری برای دو ایستگاه به ترتیب در دوره بازگشت ۲/۳ و ۱/۳ ساله بودند. در سناریوی B₂ میانگین دما در دو ایستگاه دارای چرخه‌های معنی‌دار با دوره‌های بازگشت ۷/۵ ساله و کمترین چرخه معنی‌داری در دوره بازگشت ۱/۲ ساله است. نتایج حاصل از بررسی چرخه‌ها در مناطق مورد مطالعه حاکی از آن است که در سناریوی A₂ حالت‌های خاص اقلیمی در منطقه دارای دوره‌های بازگشت کوتاه مدت است.

در دو ایستگاه در سناریوی B₂ در صدک بالایی چرخه معنی‌داری، میانگین دمایی در سطح اطمینان (۰.۹۷/۵) در دوره بازگشت ۳۰ ساله و در صدک پایین چرخه معنی‌داری میانگین دمایی در سطح اطمینان (۰.۲/۵) در دوره بازگشت ۱ ساله در هر دو سناریو بدست آمد که نشان‌دهنده محدوده وسیع‌تر دوره بازگشت و احتمال بیشتر رویدادهای حدی دمایی در سناریوی B₂ است. نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط (Mirdashtvan et al. (2017), Abbaspour et al. (2009) که مبین افزایش دما در بیشتر نقاط ایران در دوره‌های آتی بوده، همخوانی دارد، ضمن اینکه نتایج هر دو تحقیق به طور ضمنی به شرایط بحرانی‌تر تحت سناریوی B₂ نسبت به سناریوی A₂ اشاره دارد. همچنین در شکل (۲) و (۳) دوره برگشت چرخه‌های معنی‌دار میانگین دمای A₂ و B₂ مقایسه شده است. این اشکال نشان می‌دهد که برگشت چرخه‌های معنی‌دار میانگین دما در سناریوی B₂ بیشتر است.



شکل ۲- نمودار دوره برگشت چرخه‌های معنی‌دار میانگین دمای سالانه با مدل HadCM₃ در سناریوی A₂ (چپ) و B₂ (راست) در ایستگاه ایزه

Fig. 2- Chart of return period of significant cycles of mean annual temperature with HadCM₃ model in scenario A₂ (left) and B₂ (right) in Izeh station



شکل ۳- نمودار دوره برگشت چرخه‌های معنی دار میانگین دمای سالانه با مدل HadCM₃ در سناریوی A₂ (چپ) و B₂ (راست) در ایستگاه بستان

Fig. 3- Chart of return period of significant cycles of mean annual temperature with HadCM₃ model in scenario A₂ (left) and B₂ (right) in Bostan station

پیش‌بینی شاخص دمایی (میانگین، بیشینه و کمینه) با مدل HadCM₃ در سناریوی A₂ در فواصل

سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹: همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است داده‌های

سالانه میانگین دما در ایستگاه ایزده در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به ترتیب ۱۰/۹۹،

۱۱/۴۵ و ۱۲/۰۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همان‌طور که مشخص است بیشترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹

با انحراف معیار ۰/۰۳ و کمترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با انحراف معیار ۰/۰۲ پیش‌بینی شده است.

همچنین داده‌های سالانه میانگین دما در ایستگاه بستان در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹

به ترتیب ۲۰/۰۵، ۲۰/۹۶ و ۲۱/۱۳ درجه سانتی‌گراد بدست آمد که بیشترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹

۲۰۷۰ با انحراف معیار ۰/۱ و کمترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با انحراف معیار ۰/۰۹ پیش‌بینی شده است.

در پژوهشی مشابه ولی (Dastranj and Rostami Khalaj (2019) بیشترین میانگین دمایی را در فواصل سال‌های ۲۰۲۰-

۲۰۴۹ تحت سناریوی A₂ تعیین کردند. (Tai Semiromi et al. (2013) نیز در سناریوی A₂ برای حوزه آبخیز بار نیشابور

افزایش میانگین دما را در دوره‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بدست آوردند.

در ایستگاه ایزده داده‌های سالانه بیشینه دما در ۲۰۷۰-۲۰۹۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۱۰-۲۰۳۹ به ترتیب ۳۶/۶۵ درجه

سانتی‌گراد با انحراف معیار ۱/۱۵، ۳۴/۴۵ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۱/۵۳ و ۳۱/۱۰ درجه سانتی‌گراد با انحراف

معیار ۱/۳۷ می‌باشد. همان‌طور که مشخص است بیشترین بیشینه دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و کمترین بیشینه دما

بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ در ایستگاه ایزده پیش‌بینی شده است. همچنین در ایستگاه بستان داده‌های سالانه بیشینه دما

در ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ به ترتیب ۲۹/۲۱ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۰/۰۷، ۳۰/۱۵ درجه

سانتی‌گراد با انحراف معیار ۰/۰۷ و ۳۱/۹ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۰/۰۷ بدست آمد. بیشترین بیشینه دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و کمترین بیشینه دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ پیش‌بینی شده است. Dastranj and Rostami (2019) نیز در پژوهش، بیشترین دمای بیشینه را بین سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تعیین کردند. Tai Semiromi et al. (2013) نیز در سناریوی A2 افزایش دمای متوسط بیشینه را در حوزه آبخیز بار نیشابور بدست آوردند.

مشاهده می‌شود که بیشترین کمینه دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با انحراف معیار ۱/۰۶ و کمترین کمینه دما بین سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با انحراف معیار ۱/۸۷ پیش‌بینی شده است. همان‌طور که مشخص است بیشترین کمینه دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و کمترین کمینه دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بدست آمده است. Tai Semiromi et al. (2013) در سناریوی A2 افزایش دمای متوسط کمینه را در حوزه آبخیز بار نیشابور بدست آوردند. ولی Dastranj and Rostami (2019) در ایستگاه‌های بابلسر، گرگان، رشت، تهران، قزوین و زنجان بیشترین کمینه دمایی را در فواصل سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تعیین کردند. با توجه به تفاوت در نتایج میانگین، بیشینه و کمینه دمایی با تحقیق حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که به دلیل تفاوت شرایط اقلیمی و دمایی متفاوت با ایستگاه بستان در استان خوزستان، نتایج یکسان نیست.

در سناریوی A2 مقایسه نتایج در فصل‌ها نشان داد که در مجموع فصل زمستان بیشترین انحراف معیار و فصل بهار کمترین انحراف معیار را در ایستگاه ایذه دارد. ولی در ایستگاه بستان در مجموع فصل زمستان و بهار بیشترین انحراف معیار و فصل پاییز کمترین انحراف معیار را داشته است. همچنین بیشترین اختلاف بیشینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه دسامبر و بیشترین اختلاف میانگین و کمینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه سپتامبر در ایستگاه ایذه بدست آمد (شکل ۴). همانند ایستگاه ایذه در ایستگاه بستان نیز بیشترین اختلاف بیشینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه دسامبر و بیشترین اختلاف میانگین و کمینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه سپتامبر بدست آمد (شکل ۵). ولی Javadizadeh et al. (2017) بیشترین تفاوت میانگین دما را در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس و فصل زمستان، کمترین تفاوت میانگین دمایی را در فصل بهار برای ماه آوریل را در حوزه آبریز میناب در دوره ۲۰۱۱-۲۰۱۰ تعیین کردند.

در مقایسه دو ایستگاه مشاهده می‌شود که در این سناریو در میانگین دما تالاب میانگران ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارند. در بیشینه دما تالاب میانگران ۵/۵۵ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۱/۸۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را خواهند داشت. در کمینه دما تالاب میانگران ۱/۱ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۲/۶۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارند. همان‌طور که در جدول ۳ آورده شده در سناریوی A2 تالاب

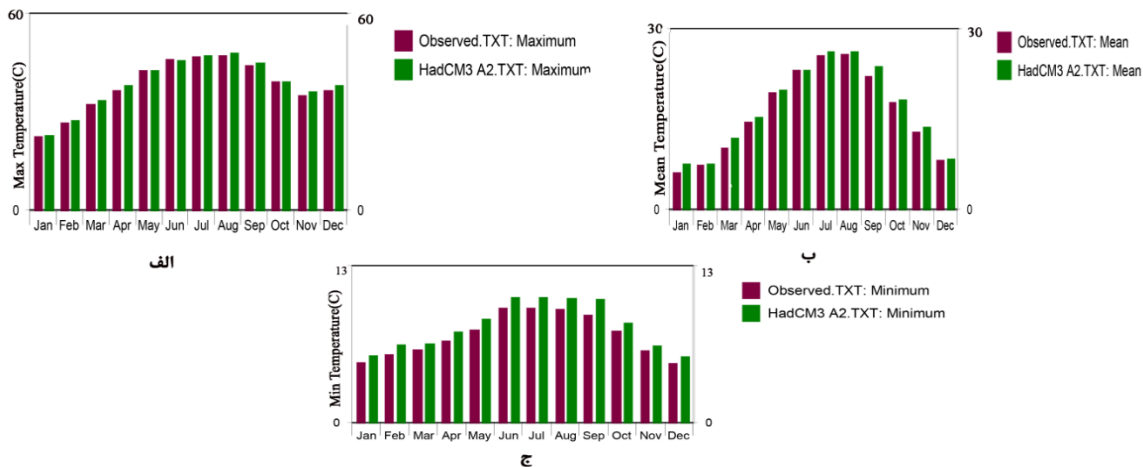
میانگران میانگین و بیشینه دمایی بیشتری را دارد در حالی که تالاب هورالعظیم افزایش کمینه دمایی بیشتری را داشته است.

نسخه پیش انتشار

جدول ۳- مقدار شاخصهای دمایی دوره شبیه سازی شده سناریو A₂ در مدل HadCM₃

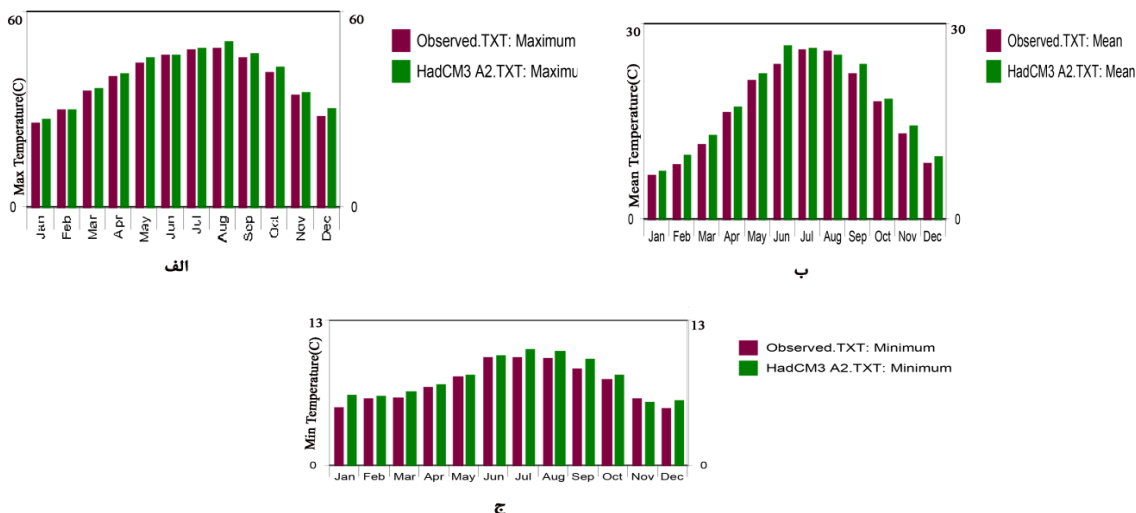
Table 3. The amount of temperature indices of the simulated period of scenario A₂ in the HadCM₃ model

ایستگاه ایزه Izeh station																		
۲۰۷۰-۲۰۹۹						۲۰۴۰-۲۰۶۹						۲۰۱۰-۲۰۳۹						
کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		فصل Season
انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	
۱/۶۷	-۴/۹۰	۱/۸۱	۳۲/۱۰	-۰/۰۶	۱۲/۹۴	۱/۳۵	-۶/۵۵	۲/۳۵	۳۲/۱۵	-۰/۰۸	۱۲/۳۱	۱/۸۴	-۸/۱۰	۱/۹۴	۳۰/۱۰	-۰/۰۷	۱۰/۹۸	زمستان winter
-۰/۹۲	۱۱/۸۰	۱/۱۴	۳۲/۰۰	-۰/۰۳	۲۲/۱۳	-۰/۷۰	۱۱/۱۰	۱/۱۱	۳۴/۰۵	-۰/۰۴	۲۱/۸۸	۱/۲۰	۹/۰۵	-۰/۸۱	۳۰/۳۰	-۰/۰۴	۲۱/۴۴	بهار Spring
۱/۷۷	-۶/۵۰	۱/۴۴	۳۱/۲۵	-۰/۰۷	۱۲/۱۹	۱/۵۹	-۸/۰۵	۱/۷۱	۲۸/۴۵	-۰/۰۷	۱۰/۰۸	۱/۴۱	-۱۱/۱۰	۱/۵۱	۲۵/۹۰	-۰/۰۴	۷/۸۲	تابستان Summer
۱/۷۲	-۱۷/۷۵	۱/۷۸	۱۶/۷۵	-۰/۰۶	۲/۲۴	۱/۸۷	-۱۸/۰۰	۱/۳۰	۱۵/۳۰	-۰/۰۵	۱/۶۵	۱/۰۶	-۱۲/۸۵	۱/۰۱	۱۵/۱۵	-۰/۰۶	۱/۱۳	پاییز autumn
۱/۷۲	-۱۶/۷۵	۱/۱۵	۳۶/۶۵	-۰/۰۳	۱۲/۰۱	۱/۸۷	-۱۷/۰۰	۱/۵۳	۳۴/۲۵	-۰/۰۳	۱۶/۴۵	۱/۰۶	-۱۲/۸۵	۱/۳۷	۳۱/۱۰	-۰/۰۲	۱۰/۹۹	سالانه yearly
ایستگاه بستان Bostan station																		
۲۰۷۰-۲۰۹۹						۲۰۴۰-۲۰۶۹						۲۰۱۰-۲۰۳۹						
کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		فصل Season
انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	
-۰/۱۲	-۰/۱۴	-۰/۰۸	۱۳/۵۲	-۰/۱۳	۱۲/۰۵	-۰/۰۵	-۱/۰۲	-۰/۰۹	۱۲/۸۷	-۰/۰۴	۱۱/۸۵	-۰/۰۳	-۱/۲۳	-۰/۱۰	۱۲/۰۶	-۰/۱۱	۱۱/۱۰	زمستان winter
-۰/۱۴	۱/۲۳	-۰/۰۷	۳۶/۱۸	-۰/۱۱	۲۵/۱۲	-۰/۰۷	۱/۱۴	-۰/۰۵	۳۶/۵۴	-۰/۰۵	۲۵/۲۸	-۰/۰۷	-۰/۷۲	-۰/۰۵	۳۵/۱۵	-۰/۰۶	۲۴/۳۶	بهار Spring
-۰/۱۲	۳/۱۴	-۰/۰۷	۳۸/۳۳	-۰/۰۹	۳۶/۰۰	-۰/۰۳	۳/۲۵	-۰/۰۹	۳۸/۴۳	-۰/۰۷	۳۶/۴۵	-۰/۰۲	۲/۳۱	-۰/۰۷	۳۷/۰۲	-۰/۰۸	۳۵/۰۲	تابستان Summer
-۰/۰۷	-۰/۰۱	-۰/۰۴	۲۶/۱۰	-۰/۱۱	۲۲/۱۱	-۰/۰۴	-۰/۰۴	-۰/۰۴	۲۵/۴۱	-۰/۰۵	۲۲/۰۳	-۰/۰۴	-۰/۷۵	-۰/۰۱	۲۴/۱۲	-۰/۰۳	۲۱/۱۱	پاییز autumn
-۰/۱۲	۱/۱۳	-۰/۰۷	۳۱/۰۹	-۰/۱	۲۱/۱۳	-۰/۰۴	-۰/۰۳	-۰/۰۷	۳۰/۱۵	-۰/۰۵	۲۰/۹۶	-۰/۰۳	-۱/۵۰	-۰/۰۷	۲۹/۲۱	-۰/۰۹	۲۰/۰۵	سالانه yearly



شکل ۴- مقایسه پارامتر بیشینه دمایی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سناریو A₂ در مدل HadCM₃ ایستگاه ایزه الف: بیشینه دما ب: میانگین دما ج: کمینه دما

Fig. 4- Comparison of observed and simulated monthly maximum temperature parameter of scenario A₂ in HadCM₃ model of Izeh station A: Maximum temperature B: Average temperature C: Minimum temperature



شکل ۵- مقایسه پارامتر بیشینه دمایی ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده سناریو A₂ در مدل HadCM₃ ایستگاه بوستان الف: بیشینه دما ب: میانگین دما ج: کمینه دما

Fig. 5- Comparison of observed and simulated maximum monthly temperature parameters of scenario A₂ in the HadCM₃ model of Bostan station A: Maximum temperature B: Average temperature C: Minimum temperature

پیش بینی شاخص دمایی (میانگین، بیشینه و کمینه) با مدل HadCM₃ در سناریوی B₂ در فواصل

سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰: همان‌طور که در جدول (۴) نشان داده شده است بیشترین

میانگین دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ با انحراف معیار ۰/۰۳ و کمترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با

انحراف معیار ۰/۰۳ پیش‌بینی شده است. همچنین داده‌های سالانه میانگین دما در ایستگاه بستان در بازه زمانی سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به ترتیب ۲۳/۲۳، ۲۶/۰۵ و ۲۸/۳۵ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. بیشترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ با انحراف معیار ۰/۲۳ و کمترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ با انحراف معیار ۰/۱۲ پیش‌بینی شده است. (Dastranj and Rostami Khalaj (2019) نیز بیشترین میانگین دمایی را در فواصل سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی B₂ تعیین کردند.

در ایستگاه ایذه داده‌های سالانه بیشینه دما در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به ترتیب ۳۴/۶۵ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۱/۰۱، ۳۸/۰۵ با انحراف معیار ۱/۳۷ و ۳۹/۱۰ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۱/۱۴ بدست آمد. بیشترین بیشینه دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ و کمترین بیشینه دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ پیش‌بینی شده است. ولی (Dastranj and Rostami Khalaj (2019) بیشترین دمای بیشینه را بین سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۴۹ تحت سناریوی B₂ تعیین کردند. در ایستگاه ایذه داده‌های سالانه کمینه دما در ۲۰۳۹-۲۰۱۰، ۲۰۶۹-۲۰۴۰ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ به ترتیب ۱۸/۹۵- درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۱/۶۸، ۱۸/۶۰- درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۲/۱۰ و ۱۷/۸۰- درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۱/۶۰ بدست آمد. بیشترین کمینه دما بین سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و کمترین کمینه دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ بدست آمده است. ولی (Dastranj and Rostami Khalaj (2019) نیز در ایستگاه‌های بابسره، گرگان، رشت، تهران، قزوین و زنجان بیشترین کمینه دمایی را در فواصل سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ تحت سناریوی B₂ تعیین کردند. در این سناریو نیز همانند سناریوی قبلی با توجه به تفاوت در نتایج میانگین، بیشینه و کمینه دمایی با تحقیق حاضر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که شاید به دلیل تفاوت اقلیمی و دمایی متفاوت با ایستگاه ایذه و بستان در استان خوزستان نتایج یکسان نیست.

در سناریوی B₂ در مجموع فصل زمستان بیشترین انحراف معیار و فصل بهار کمترین انحراف معیار را در ایستگاه ایذه و بستان دارد. همچنین بیشترین اختلاف بیشینه و کمینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ایستگاه ایذه در ماه اکتبر و بیشترین اختلاف میانگین مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه سپتامبر بدست آمد (شکل ۶). همچنین در ایستگاه بستان نیز بیشترین اختلاف بیشینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه اکتبر و بیشترین اختلاف میانگین مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه‌های دسامبر و آگوست و کمینه مشاهده شده و مدل‌سازی شده در ماه سپتامبر و آگوست بدست آمد (شکل ۷).

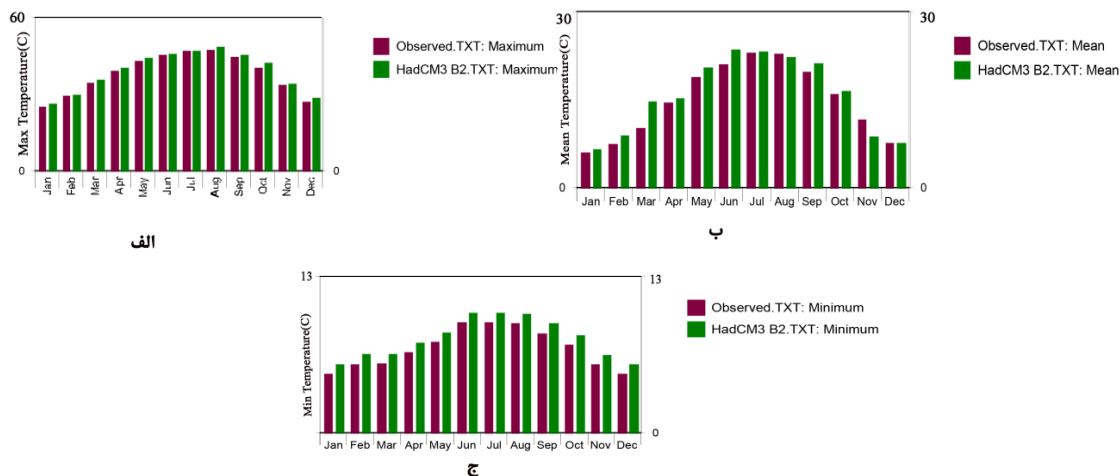
با مقایسه دو ایستگاه مشاهده می‌شود که در این سناریو میانگین دمای تالاب میانگران $1/47$ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم $5/12$ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارند. در بیشینه دمای تالاب میانگران $4/45$ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم $3/87$ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را خواهند داشت. در کمینه دما تالاب میانگران $1/15$ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم $3/19$ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارند. همان‌طور که در جدول ۴ آورده شده در سناریوی B₂ تالاب میانگران بیشینه دمایی بیشتری را خواهد داشت در حالی که تالاب هورالعظیم افزایش میانگین دما و کمینه دمایی بیشتری را دارد.

نسخه پیش انتشار

جدول ۴- مقدار شاخص‌های دمایی دوره شبیه‌سازی شده سناریو سناریو B₂ در مدل HadCM₃

Table 4. The amount of temperature indices of the simulated period of scenario B₂ in the HadCM₃ model

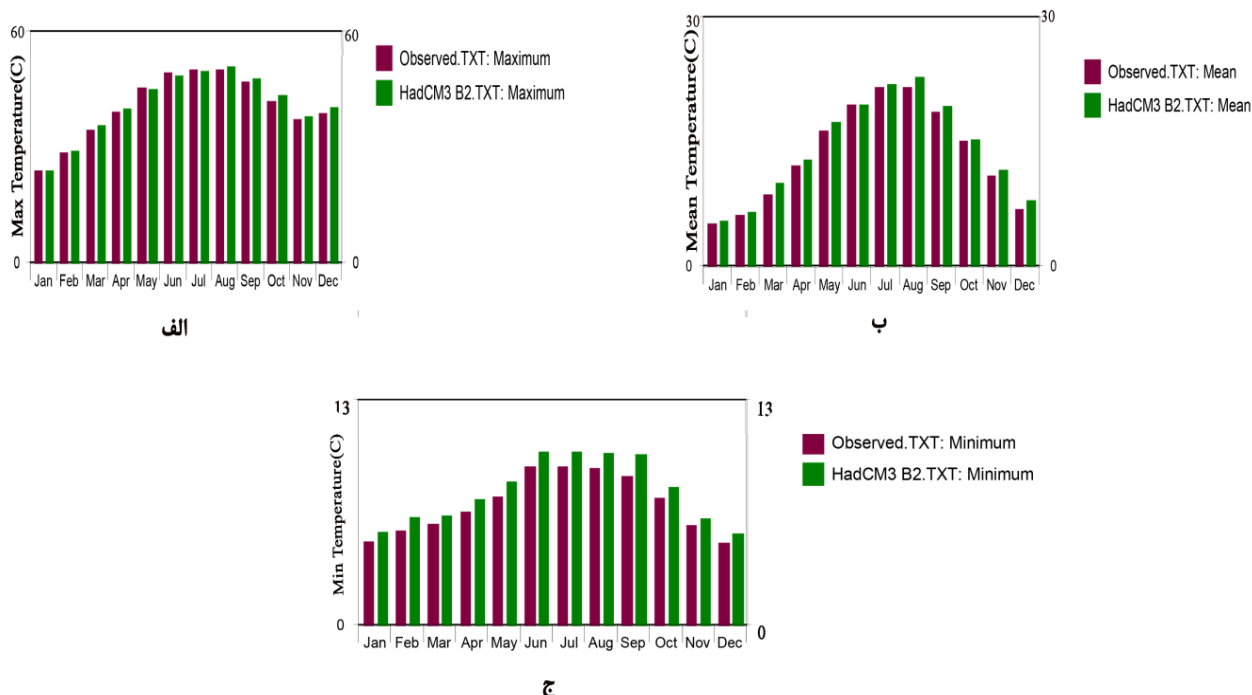
ایستگاه ایذه Izeh station																		
۲۰۷۰-۲۰۹۹						۲۰۴۰-۲۰۶۹						۲۰۱۰-۲۰۳۹						
کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		فصل Season
انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	
۱/۷۱	-۶/۴۰	۱/۹۹	۳۲/۷۵	۰/۰۸	۱۲/۸۳	۱/۵۹	-۵/۶۰	۱/۴۷	۳۱/۳۵	۰/۱۰	۱۲/۴۲	۲/۲۶	-۶/۴۰	۱/۹۴	۳۱/۱۰	۰/۰۸	۱۱/۷۴	زمستان winter
۰/۹۲	۱۰/۰۵	۱/۲۶	۳۳/۳۰	۰/۰۴	۲۲/۱۴	۰/۷۹	۱۱/۳۵	۱/۲۸	۳۳/۸۰	-۰/۰۴	۲۲/۰۱	۰/۸۳	۱۱/۱۰	۰/۹۱	۳۲/۳۵	۰/۰۴	۳۱/۹۴	بهار Spring
۱/۶۰	-۹/۸۰	۱/۰۱	۳۰/۶۵	۰/۰۵	۱۱/۴۷	۱/۵۵	-۷/۶۵	۱/۸۲	۲۹/۷۵	۰/۰۷	۱۰/۶۰	۱/۶۵	-۷/۴۵	۱/۳۰	۲۷/۹۰	۰/۰۶	۹/۳۶	تابستان Summer
۱/۶۰	-۱۷/۸۰	۱/۱۵	۱۶/۸۵	۰/۰۵	۲/۱۹	۲/۱۰	-۱۸/۶۰	۱/۰۹	۱۶/۰۰	۰/۰۵	۱/۹۰	۱/۶۸	-۱۸/۹۵	۱/۴۵	۱۷/۱۵	۰/۰۸	۱/۶۹	پاییز autumn
۱/۶۰	-۱۷/۸۰	۱/۳۷	۳۹/۱۰	۰/۰۳	۱۳/۳۷	۲/۱۰	-۱۸/۶۰	۱/۱۴	۳۶/۰۵	۰/۰۴	۱۲/۱۵	۱/۶۸	-۱۸/۹۵	۱/۰۱	۳۴/۶۵	۰/۰۳	۱۱/۹۰	سالانه yearly
ایستگاه بستان Bostan station																		
۲۰۷۰-۲۰۹۹						۲۰۴۰-۲۰۶۹						۲۰۱۰-۲۰۳۹						
کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		کمینه Min		بیشینه Max		میانگین Mean		فصل Season
انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	انحراف معیار standard deviation	مدلسازی شده Modeled	
۰/۳۴	۲/۲۳	۰/۳۵	۱۶/۱۰	۰/۲۱	۱۵/۳۱	۰/۰۸	۱/۰۵	۰/۱۲	۱۴/۱۳	۰/۰۹	۱۲/۰۶	۰/۱۲	-۱/۰۰	۰/۱۸	۱۵/۵	۰/۱۶	۱۲/۰۸	زمستان winter
۰/۳۸	۳/۷۶	۰/۳۲	۳۹/۱۵	۰/۳۲	۲۷/۲۳	۰/۱۷	۲/۰۵	۰/۱	۳۹/۵۲	۰/۰۷	۲۶/۲۲	۰/۱۵	۰/۹۷	۰/۲	۳۷/۵۵	۰/۱	۲۵/۱۲	بهار Spring
۰/۴۲	۵/۴۷	۰/۲۷	۴۱/۲۰	۰/۱۸	۳۸/۳۲	۰/۱۹	۴/۱۴	۰/۱۶	۴۰/۲۱	۰/۱	۳۸/۱۵	۰/۱۲	۳/۱۲	۰/۱۵	۳۸/۹۴	۰/۱	۳۶/۶۵	تابستان Summer
۰/۲۸	۲/۳۵	۰/۳۶	۲۹/۳۲	۰/۲۵	۲۵/۱۰	۰/۱۸	۱/۱	۰/۱۵	۲۷/۳۲	۰/۱	۲۵/۱۲	۰/۱۳	-۰/۰۱	۰/۱۳	۲۶/۱۶	۰/۱۶	۲۱/۹۸	پاییز autumn
۰/۳۴	۳/۱۷	۰/۳۷	۳۶/۱۲	۰/۲۳	۲۸/۳۵	۰/۱۶	۲/۳	۰/۱۵	۳۶/۱۴	۰/۱	۲۶/۵	۰/۱۴	-۰/۰۲	۰/۱۶	۳۲/۲۵	۰/۱۲	۲۳/۲۳	سالانه yearly



شکل ۶ - مقایسه پارامتر بیشینه دمايي ماهانه مشاهداتي و شبیه‌سازی شده سناریو B₂ در مدل HadCM₃ ایستگاه

بستان الف: بیشینه دما ب: میانگین دما ج: کمینه دما

Fig. 6 - Comparison of observed and simulated maximum monthly temperature parameters of scenario B₂ in the HadCM₃ model of Bostan station A: Maximum temperature B: Average temperature C: Minimum temperature



شکل ۷ - مقایسه پارامتر بیشینه دمايي ماهانه مشاهداتي و شبیه‌سازی شده سناریو B₂ در مدل HadCM₃ ایستگاه

ایذه الف: بیشینه دما ب: میانگین دما ج: کمینه دما

Fig. 7- Comparison of observed and simulated monthly maximum temperature parameter of scenario B₂ in HadCM₃ model of Izeh station A: Maximum temperature B: Average temperature C: Minimum temperature

برای روشن شدن قابلیت مدل، علاوه بر روش ترسیمی از روش‌های آماری (PBISE, NSE, MAE, RMSE و R^2) نیز استفاده شد. نتایج حاصل از ارزیابی مدل با استفاده از معیارهای آماری در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- معیارهای عملکرد دو سناریوی A_2 و B_2 در مقایسه با مقادیر مشاهداتی

Table 5. The performance criteria of the two scenarios A_2 and B_2 compared to the observed values

ایستگاه Station	سناریو scenario	RMSE	R^2	Nash	MAE	PBIS
ایذه Izeh	A_2	۴/۰۲	۰/۸۶	۰/۹۸	۰/۳	-۰/۴۵
	B_2	۴/۱۴	۰/۸۰	۰/۹۱	۰/۱	-۰/۶۵
بستان Bostan	A_2	۴/۰۷	۰/۹۰	۰/۹۹	۰/۲۶	-۰/۱۵
	B_2	۴/۲۵	۰/۸۱	۰/۸۷	۰/۰۸	-۰/۷۷

نتایج حاصل از ریزمقیاس سازی مدل SDSM نشان داد که در بین سناریوهای A_2 و B_2 مدل B_2 Hadcm3 سناریوی A_2 دقت آماری بالاتری در تولید داده‌های اقلیمی دارد (جدول ۵).

نتایج این تحقیق با نتایج بدست آمده توسط *Mirdashtvan et al. (2017)*, *Abbaspour et al. (2009)* که مبین افزایش دما در بیشتر نقاط ایران در دوره‌های آتی و تحت سناریوی انتشار A_2 است همخوانی دارد، ضمن اینکه نتایج هر دو تحقیق به طور ضمنی به شرایط بحرانی‌تر تحت سناریوی B_2 نسبت به سناریوی A_2 اشاره دارند. همچنین نتایج تحقیق حاضر با نتایج بدست آمده از تحقیقات *Rahimi and Rahimi (2017)* در خصوص این که نتیجه‌گیری شد، سناریوی B_2 سخت گیرانه‌تر عمل کرده و در دوره‌ای آتی شیب منفی‌تری را نسبت به سناریوی A_2 ارائه داده، مطابقت دارد. همچنین نتایج تحقیقات حاضر با نتایج بدست آمده توسط *Samadi et al. (2013)* و *Abbasnia et al. (2016)* درباره افزایش دما در میانه قرن ۲۱ تطابق دارد. *Rezaei et al. (2013)* نیز نشان دادند که افزایش میزان دما تا سال ۲۱۰۰ افزایش می‌یابد. *Javadizadeh et al. (2017)* در حوزه آبریز میناب در دوره ۲۰۱۱-۲۱۰۰ نیز همین افزایش دما را پیش‌بینی کردند. به طور کلی مدل HadCM3 دما را بیشتر از داده‌های NCEP بر آورد نموده است. همچنین نتایج حاصل از زیرمقیاس نمایی مدل SDSM نشان داد که بر اساس دو سناریو A_2 و B_2 ، بیشترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ و کمترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی شده است. اما یافته‌های تحقیق در خصوص بازه‌های مورد مطالعه با نتایج *Dastranj and Rostami Khalaj (2019)* در ایستگاه‌های بابلسر، گرگان، رشت، تهران، قزوین و زنجان کمی متفاوت بدست آمد. که شاید به دلیل اقلیم و شرایط دمایی متفاوت با استان خوزستان باشد. ولی در مجموع سناریوی A_2 دقت

آماری بالاتری در تولید داده‌های اقلیمی دارد. نتایج حاصل از بررسی داده‌ها در دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آینده با سناریوی B₂ و A₂ نشان‌دهنده افزایش دمای متوسط میانگین، کمینه و بیشینه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آتی نسبت به دوره مبنا در ایستگاه بستان بوده، به طوری که در ایستگاه بستان دمای متوسط کمینه و بیشینه سالانه نیز در دوره سوم بیشینه مقادیر افزایش را نسبت به دوره پایه داشته است. (Abbaspour et al. , Mirdashtvan et al. (2017) (2009) نیز به شرایط بحرانی‌تر تحت سناریوی A₂ نسبت به سناریوی B₂ اشاره دارند. در جمع‌بندی کلی تحلیل روند تغییر دما نشان داد که دمای اقلیم منطقه در حال تغییر می‌باشد و روند افزایش دما و گرم شدن نسبی را سپری می‌کند. همچنین نتایج تحقیقات حاضر با نتایج بدست آمده توسط (Samadi et al. (2013) در ایستگاه هواشناسی آورگان، Rezaei et al. (2013) در منطقه کرمان و بهم و (Abbasnia et al. (2016) در ایران درباره افزایش دما تطابق دارد. از آنجا که افزایش دما از عوامل بیابان‌زایی است لذا ضروریست که مدیران و برنامه‌ریزان استان در بخش‌های کشاورزی و منابع آب راهکارهای لازم را برای کاهش پیامدها و سازگاری با شرایط آب و هوایی جدید در نظر داشته باشند.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر اقدام به شبیه‌سازی و پیش‌بینی برخی از متغیرهای دمایی با استفاده از مدل‌های چندگانه خطی SDSM در ایستگاه‌های ایذه و بستان به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به تالاب‌های میانگرن و هورالعظیم با مدل HadCM₃ در سناریوی A₂ و B₂ گردید. نتایج حاصل از شبیه‌سازی دوره ارزیابی مدل نشان داد که برای ایستگاه ایذه داده‌های سالانه مشاهده‌ای میانگین دمای ۱۶/۰۴ درجه سانتی‌گراد و داده‌های سالانه مدل‌سازی شده میانگین دما ۱۸/۴۷ درجه سانتی‌گراد، همچنین برای ایستگاه بستان داده‌های سالانه مشاهده‌ای میانگین دمای ۱۸/۴۵ درجه سانتی‌گراد و داده‌های سالانه مدل‌سازی شده میانگین دما ۱۹/۱۰ درجه سانتی‌گراد، بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد در ایستگاه ایذه درصد خطا برای میانگین، ۱۵/۱۴ درصدی و در صد خطا در ایستگاه بستان برای میانگین ۳/۵ درصد بود. در هر دو ایستگاه بیشینه‌های دمایی بیشترین انحراف معیار را دارا بودند.

نتایج حاصل از زیرمقیاس‌نمایی مدل SDSM نیز نشان داد که بر اساس دو سناریو A₂ و B₂، کمترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و بیشترین میانگین دما بین سال‌های ۲۰۷۰-۲۰۹۹ پیش‌بینی شده که نشان‌دهنده گرم شدن اقلیم در هر دو ایستگاه است. در این پژوهش در مقایسه نتایج دو ایستگاه مشاهده می‌شود که در سناریوی A₂ در میانگین دما تالاب میانگرن ۱/۰۲ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۱/۰۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را دارند. در بیشینه دما تالاب میانگرن ۵/۵۵ درجه سانتی‌گراد و تالاب هورالعظیم ۱/۸۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما را خواهند داشت. در سناریوی

A₂ تالاب میانگران بیشینه دمایی بیشتری را داشته در حالی که تالاب هورالعظیم افزایش میانگین و کمینه دمایی بیشتری را دارد. در حالی که در سناریوی B₂ در میانگین دما تالاب میانگران ۱/۴۷ درجه سانتی گراد و تالاب هورالعظیم ۵/۱۲ درجه سانتی گراد افزایش دما را دارد. در هر دو سناریو به دلیل افزایش دما روند خشک شدن هر دو تالاب ادامه خواهد داشت. در مجموع سناریوی A₂ دقت آماری بالاتری در تولید داده‌های اقلیمی دارد. با توجه به نمودارها سناریوی A₂ تطابق بیشتری با شرایط اقلیمی دوره پایه دارد. تحقیقات متعدد نشان می‌دهند که این سناریو به واقعیت تولید گازهای گلخانه‌ای نزدیک‌تر بوده و سناریوی واقعی‌تر و نرمال‌تری را ارائه می‌دهد. نتایج حاصل از بررسی داده‌ها در دوره‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده آینده با سناریوی B₂ و A₂ نشان‌دهنده افزایش دمای متوسط میانگین، کمینه و بیشینه در دوره‌های شبیه‌سازی شده آبی نسبت به دوره مبدا در ایستگاه‌های ایذه و بستان بوده، به طوری که در ایستگاه بستان دمای متوسط کمینه و بیشینه سالانه نیز در دوره سوم بیشینه مقادیر افزایش را نسبت به دوره پایه داشته است. این امر نیز می‌تواند به علت افزایش گازهای گلخانه‌ای باشد.

سپاسگزاری

مقاله حاضر برگرفته از داده‌های پروژه تحقیقاتی ملی به شماره مصوب ۹۴۵۲-۹۶۱۶۷۷-۰۷۳-۱۰-۱۴۷ است که در موسسه تحقیقات خاک و آب انجام شده است. بدین وسیله از حمایت‌های موسسه تحقیقات خاک و آب، تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- Abbaspour, K.C., Faramarzi, M., Ghasemi, S.S. and Yang, H., 2009, Assessing the impact of climate change on water resources in Iran, *Water resources research*, 2009;45(10).
- Abbasnia, M., Tavousi, T. and Khosravi, M., 2016. Assessment of future changes in the maximum temperature at selected stations in Iran based on HADCM₃ and CGCM₃ models, *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 52(4):371-7.
- Abkar, A. J., Habibnejad, M., Soleimani, K. and Naghavi, H., 2013. The sensitivity of the SDSM exponential microscale model to the reanalyzed data in dry areas, *two scientific-research quarterly of Khoshbom*, 4 (2): 11-26. (In Farsi)
- Abayat, H., Ansari, M. R., Rangzan, N. and Abayat, A., 2020. Evaluation of heavy metals in the sediments of Hoor al Azim lagoon by calculating pollution indices. *Iran Water and Soil Research*, 51(10), 2469-2481. doi: 10.22059/ijswr.2020.298194.668505. (In Farsi)

- Dastranj, A., Rostami Khalaj, M., 2019. Evaluation and prediction of climate changes in the coming decades using microscale exponential atmospheric general circulation models (GCMs), *Geography and Human Relations*, 3 (1): 253-268. (In Farsi)
- Dehghan, Z., Fathian, F. and Islamian, S., 2014. Comparative evaluation of LARS-WG and IDW, SDSM models for simulating and microscaling temperature and precipitation, *Water and Soil Journal (Agricultural Sciences and Industries)*, 29 (5): 1376-1390. (In Farsi)
- Eslahi, M., 2015. Evaluation of statistical exponential microscale models in explaining the climatic changes of northwest Iran, dissertation for receiving a specialized doctorate in the field of natural geography, hydrology and meteorology, Faculty of Literature and Human Sciences, Department of Geography. (In Farsi)
- Fowler, H.J., Blenkinsop, S. and Tebaldi, C., 2007. Linking climate change modeling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling, *Int J Climatol* 27:1547-1578.
- Ghanchepour, D., Saaduddin, A., Bahremand; A.A., Jakeman, A. and Salman Mahini, A.A., 2018. Applying the quantitative screening method in the statistical exponential microscale model (SDSM) to create climate change scenarios (case study: Gorganrud river basin), *Ecohydrology*, 6 (2): 397-414. (In Farsi)
- IPCC, 2007. AR4 Climate Change 2007: Synthesis Report.
- Javadizadeh, F., Kordavani, P., Alijani, B. and Asadian, F., 2017. The effectiveness of SDSM statistical microscale models in predicting temperature parameters in Minab watershed, *Natural Geography Quarterly*, 11 (42): 47-66. (In Farsi)
- Kamyabi, S. and Abdi, K., 2019. Detection and analysis of the trend of climate change (precipitation and temperature) within the boundaries of Sari, *Environmental science and technology*, 13(22):165-179. (In Farsi)
- Kim, B.S., Kim, H.S., Seoh, B.H. and Kim, N.W., 2007. Impact of climate change on water resources in Yongdam Dam Basin, Korea. *Stoch Environ Res Risk Assess* 21:355-373.
- Mehrabi, Sh., Soltani S. and Jafari R., 2014. Investigating the relationship between climatic parameters and the occurrence of fine dust (case study: Khuzestan province), *Journal of Water and Soil Sciences*, 19 (71): 69-81. (In Farsi)
- Moradimajd, N., Fallah Ghalhari, G. A., & Chatrenour, M. (2022). Consequences of Climate Change on Greenhouse Gas Emissions in Citrus Orchards and Gardens (Case Study: Khuzestan Province). *Environmental Researches*, 13(25), 199-214. doi: 10.22034/eiap.2022.158587, (In Farsi).
- Moradimajd, N., Fallah Ghalhari, G., & Chatrenour, M. (2022). Evaluation of CH₄, NO and NO₂ emission from agricultural lands (Case study, Khuzestan province). *Journal of Agricultural Meteorology*, 10(1), 46-54. doi: 10.22125/agmj.2022.214342.1086
- Moradi-Majd N, Fallah-Ghalhari G, Chatrenor M. Estimation of greenhouse gas emission flux from agricultural lands of Khuzestan province in Iran. *Environ Monit Assess*. 2022 Sep 21;194(11):811. doi: 10.1007/s10661-022-10497-8. PMID: 36129556.
- Mirdashtvan, M., Malekian, A. and Mohseni Saravi, M., 2017. Simulating surface flow through statistical downscaling of climate data: Urmia Lake Basin, *Ecohydrology*, 5 (2): 419-431. (In Farsi)

- Moriasi D N., Arnold JG., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations Transactions of the ASABE. 50(3), 885-900
- Papahn, F., Rezaei, M., Eskandari, G.R. and Rasekhi, A.A., 2013. Survey of fish population of Horal Azim lagoon, scientific research quarterly journal of wetland ecobiology, 5 (16): 33-40. (In Farsi)
- Rahimi, R. and Rahimi, M., 2017. Spatial and temporal analysis of climate change in the coming years and comparison of SDSM, LARS-WG and artificial neural network (case study of Khuzestan province), Ecohydrology, 5 (4): 1161-1174. (In Farsi)
- Ranjbar, F. and Oji, R. A., 2020. The effects of global warming on daily temperature trends in stations in the Caspian region Climate change research, No. 3. pp. 21-34. (In Farsi)
- Rezaei, M., Nahtani, M., Abkar, A., Rezaei, M. and Mirkazehi Rigi, M., 2013. Investigating the efficiency 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 Journal, 5 (10): 117-129. (In Farsi)
- Rumi, F., 2022. Climate change and its consequences on Iran's national security. Political and International Approaches, 14(1), 203-228. doi: 10.29252/piaj.2022.228257.1280. (In Farsi)
- Safdari, M., 2018. What do we know about climate models and their accuracy, Energy and Environment, 11(19): 45-57. (In Farsi)
- Salarpur, R., Malekian, M. and Qadirian, O., 2021. Monitoring changes and ranking of threatening factors of Miangan wetland, Khuzestan province, Natural environment, natural resources of Iran, 14(1):38-59. (In Farsi)
- Saleh Pourjam, A., Mohseni Saravi, M., Bazrafshan, J. and Khalighi Sigarodi, Sh., 2014. Investigating the effect of climate change on the drought characteristics of the future period using the HadCM₃ atmospheric general circulation model (case study: Northwest Iran), Pasture and Watershed Journal, 67 (4):537-548. (In Farsi)
- Samadi, S., Carbone, G.J., Mahdavi, M., Sharifi, F. and Bihamta, M., 2013. Statistical downscaling of river runoff in a semi arid catchment, Water resources management, 27(1):117-36.
- Selajageh, A., Rafiei Sardoui, A., Moghadamnia, A.R., Malekian, A., Iraqinejad, S., Khaleghi Sigaroudi, S. and Salehpour Jam, A., 2016. forecasting climate variables by SDSM multiple linear models in the future period based on scenario A2, Desert Management Journal, No. 7, pp. 12-25. (In Farsi)
- Semenov, M.A., 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator, Clim Res, 35(3):203 212.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G. K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J. and Vasconcellos de Menezes, V., 2013. Climate Change 2013, The Physical Science Basis, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change-Abstract for decision-makers, Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat/Intergovernmental Panel on Climate Change-IPCC, C/O World Meteorological Organization, 7bis Avenue de la Paix, CP 2300 CH-1211Geneva 2 (Switzerland).

Tai Semiromi, S., Moradi, H. R. and Khodaqoli, M., 2013. Simulation and prediction of some climate variables by SDSM multiple linear model and atmospheric general circulation models (case study: Bar Neyshabur watershed), Journal of Man and Environment, No 12. 1-15. (In Farsi)

Tatsumi, K., Oizumi, T. and Yamashiki, Y, 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.

Zarghami, M., Babaeian, I., Hassanzadeh, Y. and Kanani, R., 2011. Impacts of Climate Change on runoffs in East Azerbaijan, Iran, Global and Plantary Change, 78 (2011): 137 146.

Zhaofa, L., Xu, Z., Stephen, P., Chales, G. F. and Liu, L., 2011. Evaluation of two statistical down scaling models for daily precipitation over an arid basin in chine, Royal meteorological society, (31):pp 2006-2020.

موسسه پژوهش‌های
آب و هواشناسی
ایران

Original Article

Prediction of temperature using SDSM multiple linear models

(Case study: Hoor al-Azim and Miangaran wetlands)

Mansour Chatrenour,¹ Nasrin Moradimajd,² Mir Naser Navidi^{1,††} and Naser Davatgar¹

¹ Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran

² Department of Geomorphology and Meteorology, Faculty of Geography, Environmental Sciences, Hakim Sabzevari University, Sabzevar, Iran

Introduction: One of the consequences of the climate change phenomenon in Khuzestan province is the drying up of a large part of the wetlands of this province, including Miangaran and Hoor al-Azim, which has caused dust storms due to their continued drying in recent years. In this regard, this research aims to predict climate changes in the area of Miangaran and Hoor al-Azim wetlands by SDSM statistical microscale model based on HadCM₃ B₂ and A₂ climate scenarios. Considering the specific conditions of the region and the fact that few studies have been done regarding temperature change in these areas, knowing the state of temperature change can help better management of resources, especially water resources management.

Material and methods: These parameters include the average sea level pressure, the geopotential height of the surface of 850 hectopascals and the average temperature at a height of two meters. For this purpose, by using the daily data of average temperature, minimum and maximum temperature in the synoptic stations of Izeh and Bostan as the closest stations to Hoor al-Azim and Miangaran wetlands in the periods of 2010-2039, 2040-2069 and 2070-2099, predictions were made and Then a comparison was made with the base period (1961-1990). To check the performance of the models and compare them, two drawing methods were used conventional statistical criteria of PBISE, NSE, MAE, RMSE and R².

Results and discussion: The results of the simulation of the HadCM₃ model along with observational data for the Izeh station, modeled annual average temperature data was 18.47°C and for the Bostan station, modeled annual data average temperature was 19.10°C. As can be seen, both stations had a higher average temperature in the base period, and the maximum temperature in the Miangaran wetland is much higher than Hoor al-Azim wetland in the base period. The minimum temperature results show that the difference between two stations is small and minor. The results showed that in both stations in scenario A₂, the average temperature had significant cycles with return periods of 1.2 years and the lowest significant cycles for the two stations were in return periods of 2.3 and 1.3 years, respectively. In scenario B₂, the average temperature in two stations has significant cycles with return periods of 7.5 years and the lowest significant cycle with return period of 1.2 years. The results of examining the cycles in the studied areas indicate that in the A₂ scenario, certain climatic conditions in the area have short-term return periods. In two stations in scenario B₂, in the upper percentile of the significance cycle, the mean temperature is at the confidence level (97.5%) in the 30-year return period, and in the lower percentile of the significance cycle, the mean temperature is at

†† Corresponding Author: *Email Address.* n.navidi@areeo.ac.ir

the confidence level (2.5%) in the return period. 1 year was obtained in both scenarios, which indicates a wider range of the return period and a higher probability of extreme temperature events in the B₂ scenario. In the comparison of the two stations, it can be seen that in scenario A₂, the average temperature of the Miangaran wetland is 1.02 °C and Hoor al-Azim wetland is 1.08 °C. In scenario A₂, Miangaran wetland has a higher average and maximum temperature, while Hoor al-Azim wetland has a higher minimum temperature increase. While in scenario B₂, the average temperature of Miangaran lagoon is 1.47 °C and Hoor al-Azim wetland is 5.12 °C.

Conclusion: The results of the data analysis in the future observation and simulation periods with scenarios B₂ and A₂ show an increase in the mean, minimum, and maximum average temperature in the future simulation periods compared to the base period in Izeh and Bostan stations so in Bostan station, the average minimum and maximum annual temperature also increased in the third period compared to the base period. And in both scenarios, due to the increase in temperature, the drying process of both wetlands will continue.

Keywords: General atmospheric circulation models, Scenarios, Simulation models, Climate change.