

ارزیابی روش‌های ریزمقیاس‌نمایی پارامترهای حداقل و حداکثر دما

(مطالعه موردی: ایستگاه‌های سینوپتیک بیرجند و رشت)

مهديه فروزان مهر^{*}، علی شهیدی^۲

۱- دانشجوی دکترا، گرایش مهندسی منابع آب، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند،

خراسان جنوبی - بیرجند - دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند - گروه علوم و مهندسی آب

۲- دانشیار، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

چکیده

تغییر اقلیم می‌تواند اثرات مخربی بر منابع مختلف از جمله آب و جنگل و کشاورزی و غیره داشته باشد، باتوجه به اینکه اولین اثرات تغییر اقلیم بر عناصر اتمسفری به ویژه درجه حرارت و بارش می‌باشد بنابراین بررسی روند تغییرات عناصر جوی از اهمیت بالایی برخوردار است. در پژوهش حاضر از مدل *GCM*، *CanESM2* و سه مدل ریزمقیاس‌نمایی *SDSM*، *LARS-WG* و روش اصلاح اریبی (*BCSD*) به منظور ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما در دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت، برای پیش‌آگاهی از میزان تغییرات این پارامترها تحت دو سناریو *RCP4.5* و *RCP8.5* و برای دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶ استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد، بهترین عملکرد مربوط به مدل *SDSM* با بیشترین مقدار همبستگی می‌باشد، همچنین مدل *BCSD* برای پارامتر حداقل دما در ایستگاه بیرجند عملکرد مناسبی ندارد. مقایسه تغییرات سالانه حداکثر و حداقل دما در دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت نشان می‌دهد، پارامترهای حداقل و حداکثر دما در هر دو ایستگاه در دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۶ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۵) افزایش می‌یابد، همچنین تغییرات دما تحت سناریو *rcp8.5* نسبت به سناریو *rcp4.5* بیشتر است، علاوه بر این نوسانات پارامتر حداقل دما در دوره آتی ایستگاه رشت نسبت به ایستگاه بیرجند بیشتر است. علاوه بر این تغییرات میانگین حداکثر و حداقل دما ماهانه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۵) نشان می‌دهد این تغییرات برای ایستگاه بیرجند به صورت افزایشی است و در ایستگاه رشت نیز به جز مدل *SDSM*، در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر و مدل *BCSD* در ماه آوریل، تغییرات به صورت افزایشی است. تغییرات میانگین حداقل دما ماهانه دوره آتی در هر دو ایستگاه مورد مطالعه نیز به صورت افزایشی است، البته در مدل *SDSM* در ماه آوریل برای ایستگاه بیرجند و در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر برای ایستگاه رشت این تغییرات به صورت کاهشی است.

کلیدواژه‌ها: تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی، *SDSM*، *RCP*

مقدمه

باتوجه به صنعتی شدن و افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی، انتشار گازهای گلخانه‌ای در جو افزایش پیدا کرده است. افزایش گازهای گلخانه‌ای به علت جذب امواج حرارتی مادون قرمز سبب برهم خوردن توازن حرارتی زمین و در پی آن گرم شدن زمین می‌شود (Ghorbani, 2014). پیامدهای تغییر اقلیم، جامعه بین‌المللی را به مطالعات گسترده‌تر سوق داده است که تغییرات منابع طبیعی، اکوسیستم‌ها و جمعیت با تغییرات اقلیم آینده تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که چرخه اقلیمی جهانی تشدید خواهد شد (Ryu et al. 2011). تغییر اقلیم می‌تواند اثرات مخربی بر منابع مختلف از جمله آب و جنگل و کشاورزی و غیره داشته باشد، باتوجه به اینکه اولین اثرات تغییر اقلیم بر عناصر اتمسفری به ویژه درجه حرارت و بارش می‌باشد بنابراین بررسی روند تغییرات عناصر جوی از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های جفت شده جوی - اقیانوسی از جمله معتبرترین ابزار بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف می‌باشد (IPCC¹, 2014). این مدل‌ها به علت قدرت تفکیک مکانی کم و ساده‌سازیهایی که برای فرآیندهای اقلیمی در نظر می‌گیرند، دارای ضعف هستند بنابراین لازم است برای رفع ضعف قدرت تفکیک پایین این مدل‌ها، خروجی آن قبل از استفاده ریزمقیاس شود. روش‌های ریزمقیاس‌نمایی به طور کلی به چهار روش آماری، الگوهای آب و هوا، احتمالی و دینامیکی تقسیم می‌شوند (Selajgeh et al. 2017). در این میان روش‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری به سبب محاسبات ارزان و آسان کارایی بیشتری دارند و بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند (Fowler et al. 2007). همچنین چهار سناریو RCP نیز برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های اقلیمی وجود دارد که ترکیبی از پنداشت‌ها برای برآورد و ارزیابی روش‌های دستیابی به گازهای گلخانه‌ای در کشورهای مختلف باتوجه به جمعیت زیاد و تقاضای زیاد برای مصرف انرژی است. در زمینه ریزمقیاس‌نمایی، پژوهش‌های متعددی در سطح جهان صورت گرفته است. کبیری و همکاران (Kabiri et al. 2015) اثر تغییر اقلیم را روی روند رواناب با استفاده از مدل

SDSM و HEC-HMS مطالعه کردند که نتایج نشان داد مدل SDSM به عنوان یک مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری، از کارایی خوبی جهت پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی برخوردار است. گوردزی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی از دو روش عامل تغییر و LARS-WG برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره آبی در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات یزد استفاده کردند. نتایج بدست آمده نشان از افزایش دما در حوضه آبخیز مورد مطالعه تحت هر دو روش ریزمقیاس‌نمایی دارد. همچنین گوردزی و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی دیگر عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG را در شبیه‌سازی تغییرات اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه بررسی کردند که نتایج نشان داد هر دو مدل دقت بیشتری در شبیه‌سازی دما نسبت به بارش دارند و شبیه‌سازی دما مدل SDSM موفق‌تر عمل نموده است. سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM و LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارش در دو ایستگاه سینوپتیک روانسر و کرمانشاه پرداختند و نتایج نشان داد مدل SDSM در هر دو ایستگاه و در دو مرحله واسنجی برای دماهای حداقل و حداکثر روزانه عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG دارد درحالی‌که برای بارش مدل LARS-WG دارای عملکرد بهتری است. در پژوهش حاضر از مدل CanESM2, GCM حاصل از گزارش پنجم هیئت بین‌الدولی تغییر اقلیم (IPCC) و سه مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM, LARS-WG و روش آماری اصلاح‌اریبی (BCSD) به منظور ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی حداقل و حداکثر دما در دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت، برای پیش‌آگاهی از میزان تغییرات این پارامترها تحت دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره ۲۰۵۶-۲۰۲۵ استفاده شده است. همچنین عملکرد این مدل‌ها با در نظر گرفتن شاخص‌های آماری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

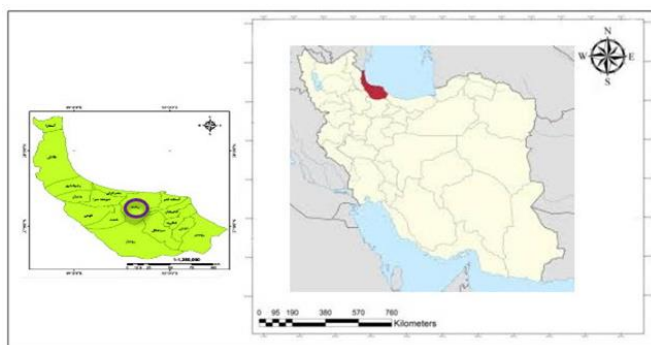
منطقه مورد مطالعه

شهرستان بیرجند یکی از شهرستان‌های استان خراسان جنوبی است که در ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۲ درجه و ۵۳ دقیقه عرض جغرافیایی، در ارتفاع ۱۴۷۰ متری از سطح دریا قرار دارد. آب و هوای این شهرستان بیابانی و نیمه‌بیابانی است که دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های خشک و گرم است. میانگین سالانه بارندگی در بیرجند ۱۵۲ میلیمتر و میانگین حداقل و حداکثر دما به ترتیب ۸ و ۲۴ درجه سانتی‌گراد است.

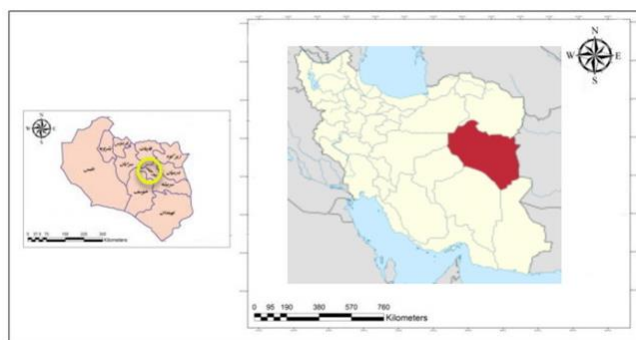
شهرستان رشت یکی از شهرستان‌های ساحلی استان گیلان است که در ۴۹ درجه و ۳۶ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است و در قسمت شمالی آن دریای خزر قرار دارد. این شهرستان دارای آب و هوای معتدل و مرطوب بوده که تابستان‌های گرم و شرجی و زمستان‌های سرد و مرطوب دارد و به علت ریزش باران‌های ریز و یکریز، به شهر باران‌های نقره‌ای معروف است. میانگین سالانه بارندگی در رشت ۱۳۵۹ میلیمتر و میانگین حداکثر و حداقل دما سالانه نیز به ترتیب ۲۰/۶ و ۱۱/۳ درجه سانتی‌گراد است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

ردیف	نوع ایستگاه	نام ایستگاه	ارتفاع	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
۱	سینوپتیک	بیرجند	۱۵۰۹	۳۲/۵۳	۵۹/۱۷
۲	سینوپتیک	رشت	-۸/۶	۳۷/۱۹	۴۹/۳۷



الف) رشت



ب) بیرجند

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

نتایج داده‌های گذشته CMIP5، عملکرد خوب این مدل را برای شبیه‌سازی جو، اقیانوس، یخچال‌ها، شیمی و آئروسول‌های زمین و اتمسفر نشان می‌دهد.

روش های ریزمقیاس نمایی

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، بزرگ مقیاس بودن سلول‌های محاسباتی آن نسبت به منطقه مطالعاتی است. دو نوع تکنیک برای به دست آوردن متغیرها در مقیاس محلی (ریز مقیاس نمایی) از روی مقیاس جهانی وجود دارد، یکی روش دینامیکی که شامل حل صریح معادلات دینامیکی سیستم است و دیگری روش آماری که از رابطه‌های استخراج شده از داده‌های مشاهده شده استفاده می‌کند (Ghorbani, 2014). روش‌های دینامیکی نیازمند داده‌های عظیم، زمان و هزینه بسیار زیاد می‌باشد. به طور کلی صحت مدل‌های دینامیکی بیشتر از آماری است اما این داده‌ها معمولاً به صورت ماهانه هستند. در مطالعه حاضر از سه مدل ریزمقیاس نمایی SDSM، LARS-WG و اصلاح آریبی مدل (BCSD) استفاده شده است.

مدل‌های GCM

GCMها معتبرترین ابزار برای فهم تغییرات اقلیمی گذشته و پیش‌بینی آینده هستند، خروجی این مدل‌ها را می‌توان در مطالعات تغییر اقلیم و یا روش‌های ریزمقیاس نمایی استفاده کرد. در پژوهش حاضر از مدل بزرگ مقیاس CanESM2 استفاده شده است که در جدول (۲) مشخصه‌های این مدل بیان شده است.

مدل اقلیمی

برای ارزیابی توانایی شبیه سازی داده های دما در آینده از خروجی مدل‌های GCM¹ ارائه شده توسط CMIP5 که از کیفیت مکانی بالایی برخوردار می‌باشند استفاده شد (Marengo et al., 2014). لذا از بین ۲۶ مدل اقلیمی موجود، مدل MIROC5 (۱.۴۰۶۳*۱.۴۰۶۳) به علت توانایی بالای آن جهت شبیه سازی داده های دما در مناطق خشک و بیابانی انتخاب شد (دشت بزرگی، ۱۳۹۴؛ Ullah., 2018). به طوریکه

جدول ۲- مشخصه‌های مدل CanESM2

قدرت تفکیک (درجه)	سناریوهای اقلیمی	موسسه مربوطه	GCM
2.81*2.79	RCP2.6 RCP4.5 RCP8.5	Canadian Center for Climate Modeling and Analysis	CanESM2

مدل LARS-WG: این مدل یکی از مشهورترین مدل‌های مولد داده تصادفی وضع هوای باشد و برای تولید سری روزانه مقادیر بارندگی و حداقل و حداکثر دما و همچنین ساعات آفتابی در یک ایستگاه تحت شرایط شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. این روش براساس رویکرد استفاده از مولدهای تصادفی آب و هوایی است که براساس الگوی سری زمانی و سری‌های فوریه عرضه می‌شود. در این الگو از توزیع‌های نیمه تجربی برای سری‌های روزانه خشک و تر بارش و تشعشع خورشیدی به نحو مطلوبی استفاده می‌شود (Sobhani, 2014).

مدل SDSM: این مدل ترکیبی از رگرسیون خطی و مولد تصادفی هواشناسی است، چرا که از متغیرهای رطوبتی و الگوی سیلکونی بزرگ مقیاس جوی به صورت خطی برای پارامترهای مولد هواشناسی مقیاس محلی در ایستگاه‌های تکی استفاده می‌شود. این مدل پنج مرحله سری‌های روزانه را ریزمقیاس می‌کند، این مراحل عبارتند از: ۱- غربال‌سازی متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، ۲- واسنجی داده‌ها، ۳- بازتولید داده‌های مشاهداتی به صورت مصنوعی، ۴- تولید سناریوهای تغییر اقلیم، ۵- آزمون عیب‌یابی و آنالیزهای آماری.

¹ - General Circulation Models/ Global Climate Models

داده پرت استفاده می‌شود، داده‌های کوچک‌تر از $Q1-1.5IQR$ و نیز بزرگتر از $Q3+1.5IQR$ جزء داده‌های پرت محسوب می‌شوند.

آزمون روندیابی من - کندال

روش من - کندال ابتدا توسط من (Man, 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kendall, 1970) توسعه یافت. فرض صفر آزمون من - کندال بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دلالت بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (Ghassab Faiz, Islami, 2017). در این روش ابتدا اختلاف بین هر یک از مشاهدات با تمام مشاهدات پس از آن محاسبه شده و پارامتر S مطابق رابطه زیر بدست می‌آید:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

که n تعداد مشاهدات سری، و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع sgn نیز به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$\begin{aligned} \text{Sgn}(x_j - x_k) &= +1 & \text{for } (x_j - x_k) > 0 \\ \text{Sgn}(x_j - x_k) &= 0 & \text{for } (x_j - x_k) = 0 \\ \text{sgn}(x_j - x_k) &= -1 & \text{for } (x_j - x_k) < 0 \end{aligned} \quad (3)$$

که n و m معرف تعداد دنباله‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد. T نیز بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان در یک دنباله (تعداد گره‌ها) می‌باشد در نهایت نیز آماره Z به کمک یکی از روابط زیر استخراج می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{For } S > 0 & \quad (4) \\ Z &= \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \\ \text{For } S = 0 & \quad Z = 0 \\ \text{For } S < 0 & \quad Z = \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} \end{aligned}$$

با فرض دو دامنه آزمون روند، فرضیه صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که شرط زیر برقرار باشد:

$$|Z| = Z\alpha/2 \quad (5)$$

روش اصلاح اربیبی (BCSD): این روش اولین بار به منظور تخمین مولفه‌های هیدرولوژی دراز مدت به‌کار گرفته شد و امروزه در مطالعات اقلیم‌شناسی با مقیاس ماهانه بسیار به‌کار می‌رود. فرآیند ریزمقیاس‌نمایی با این روش در ۳ گام به شرح زیر انجام می‌شود:

۱- اصلاح انحراف آماری خروجی مدل‌های گردش عمومی در مقیاس ماهانه: در این گام دو ضریب اصلاحی برای دما و بارش دوره مربوط به خروجی مدل‌های اقلیمی تولید می‌شود. ۲- بعد از محاسبه ضرایب اصلاحی برای نقاط شبکه مدل‌های اقلیمی، با استفاده از ابزار درونیابی این ضرایب برای دقت‌های بالاتر 1^* ، 0.5^* ، 0.25^* و 0.125^* برآورد می‌گردد.

$$\begin{cases} GCM_t = F_t + OBS_t \\ GCM_p = F_p * OBS_p \end{cases} \quad (1)$$

۳- ضرایب اصلاحی به‌دست آمده برای دقت‌های بالاتر با توجه به رابطه ذیل در مقادیر مشاهداتی اعمال می‌شود تا خروجی مدل‌های گردش عمومی برای دقت مورد نظر برآورد گردد.

در نهایت با قبول فرضیه یکسان بودن میزان انحراف در دوره پایه و آتی خروجی مدل‌های گردش عمومی تغییرات مولفه‌های اقلیمی برای سال‌های آتی تعیین می‌گردد.

پیش‌پردازش داده‌ها

یکی از دلایل اصلی استفاده از داده‌کاوی تجزیه و تحلیل موثر و کارآمد مجموعه‌ای از مشاهدات مختلف با توجه به رفتار آن‌ها می‌باشد. شناسایی و حذف داده‌های پرت در فرآیند پاک‌سازی داده‌ها از جمله عملیاتی است که کیفیت داده را بهبود می‌دهد. در این پژوهش از روش تشخیص داده پرت نمودار جعبه‌ای استفاده شده است که جزء روش‌های دامنه‌ای است. روش box plot یا نمودار جعبه‌ای، نموداری برای نشان دادن موقعیت، پراکنش و چولگی داده‌ها می‌باشد و به فراوانی برای تشخیص داده‌های پرت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نمودار با استفاده از یک مستطیل (box) و دو خط یا میله در دو طرف آن و به وسیله میانه یا چارک‌های اول ($Q1$) و سوم ($Q3$) و کمترین و بیشترین مقادیر رسم می‌شود. طول مستطیل برابر با تفاوت بین چارک سوم و اول (IQR) است. در یک نوع از نمودار جعبه‌ای که برای تشخیص

برای بررسی عملکرد نتایج حاصل از مدل های مورد استفاده در این پژوهش از پارامترهای آماری NS، RMSE و R² استفاده شده است که روابط آن در ادامه ارائه شده است.

$$RSME = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{N}} \quad (6)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (7)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O}) * \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 * \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2} \quad (8)$$

که α سطح معنی داری است که برای آزمون در نظر گرفته می شود و $Z\alpha$ آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معنی داری α می باشد که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، $\alpha/2$ استفاده شده است. در بررسی حاضر این آزمون برای سطح اعتماد ۹۵٪ به کار گرفته شده است. در صورتی که آماره Z مثبت باشد روند داده ها صعودی و در غیر این صورت روند نزولی در نظر گرفته می شود (Ghassab Faiz, Islami, 2017).

ارزیابی نتایج مدل

جدول ۳- جزئیات متغیرهای بزرگ مقیاس (پیش بینی کننده)

ردیف	نام متغیر	واحد	دریف	نام متغیر	واحد
۱	Mslp میانگین فشار سطح دریا	pa	۱۴	P8-f نیروی جریان هوا در ارتفاع hpa850	pa
۲	P1-f سرعت جریان هوا ژئوستروفیک در نزدیک سطح	m/s	۱۵	P8-u مولفه سرعت مداری در ارتفاع hpa850	m/s
۳	P1-u مولفه سرعت نزدیک سطح	m/s	۱۶	P8-v مولفه سرعت نصف النهای در ارتفاع hpa850	m/s
۴	P1-v مولفه سرعت نصف النهای نزدیک سطح	m/s	۱۷	P8-z تاوایی در ارتفاع hpa850	s ⁻¹
۵	P1-z تاوایی نزدیک سطح	s ⁻¹	۱۸	P8-th جهت باد در ارتفاع hpa850	Deg
۶	P1-th جهت باد نزدیک سطح	Deg	۱۹	P8-zh واگرایی در ارتفاع hpa850	s ⁻¹
۷	P1-zh واگرایی نزدیک سطح	s ⁻¹	۲۰	P500 ارتفاع ژئوپتانسیل سطح hpa500	m
۸	P5-f نیروی جریان هوا در ارتفاع hpa500	pa	۲۱	P850 ارتفاع ژئوپتانسیل سطح hpa850	m
۹	P5-u مولفه سرعت مداری در ارتفاع hpa500	m/s	۲۲	S500 رطوبت نسبی در ارتفاع hpa500	%
۱۰	P5-v مولفه سرعت نصف النهای در ارتفاع hpa500	m/s	۲۳	S850 رطوبت نسبی در ارتفاع hpa850	%
۱۱	P5-z تاوایی در ارتفاع hpa500	s ⁻¹	۲۴	Rcp رطوبت نسبی در نزدیک سطح	%
۱۲	P5-th جهت باد در ارتفاع hpa500	Deg	۲۵	Shum رطوبت ویژه در نزدیک سطح	Kg/k g
۱۳	P5-zh واگرایی در ارتفاع hpa500	s ⁻¹	۲۶	temp میانگین دما در ارتفاع ۲ متری	'k

انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها

مختلف سطح و بالای زمین توسط مرکز NCEP ارائه شده‌اند (Khashei Siouki et al. 2018).

نتایج و بحث

با انجام عملیات پیش‌پردازش در داده‌های حداقل و حداکثر دما در دو ایستگاه مورد مطالعه، نتایج روش نمودار جعبه‌ای نشان داد که داده‌های مورد مطالعه فاقد داده پرت هستند. همچنین نتایج بررسی روند داده‌ها با استفاده از آزمون من - کندال که در جدول (۴) و (۵) بیان شده است، نشان می‌دهد. نتایج بدست آمده برای دو پارامتر حداقل و حداکثر دما در ایستگاه‌های بیرجند و رشت نشان‌دهنده روند افزایشی می‌باشد.

انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌ها گام نخست در استفاده از هر مدل ریزمقیاس‌نمایی است. عموماً لازم است تا بین پیش‌بینی‌کننده‌ها و متغیر مورد نظر (پیش‌بینی‌شونده) همبستگی قوی وجود داشته باشد. همچنین از حیث مشخصات همسانی معنی‌داری داشته باشند در حالت کلی بهتر است مجموعه پیش‌بینی‌کننده‌ها شامل متغیرهایی باشند که توصیف کاملی از رطوبت، گردش و ارتباط بین لایه‌های مختلف جو بالای زمین را دارا باشند. علاوه بر این برای دما نیز در برخی مطالعات به عنوان ورودی مشخص گردیده است. در این پژوهش تعداد ۲۶ متغیر بزرگ مقیاس به عنوان پیش‌بینی‌کننده استفاده شده است، این ۲۶ متغیر که در جدول (۳) ارائه شده‌اند، به صورت روزانه و در لایه‌های

جدول ۴- نتایج آزمون من - کندال برای حداکثر دما

ایستگاه	Z	n	S	tau	P-Value
بیرجند	۲/۱۱	۱۱۶۸۸	۸۸۹۳۵۶	۰/۰۱۳	۰/۰۳۵
رشت	۳/۰۲	۱۱۶۸۸	۱۲۷۲۲۹۳	۰/۰۱۸۸	۰/۰۰۲۵

جدول ۵- نتایج آزمون من - کندال برای حداقل دما

ایستگاه	Z	n	S	tau	P-Value
بیرجند	۲/۹۹	۱۱۶۸۸	۱۲۶۳۰۴۹	۰/۰۱۸	۰/۰۰۲۷
رشت	۵/۰۳۹	۱۱۶۸۸	۲۱۲۲۳۴۴	۰/۰۳۱	۰/۰۰۰۰۰۰۰۶۶

مدل SDSM

مدل SDSM برای دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 شاخص‌های ارزیابی آماری برای مدل مورد مطالعه به دست آورده شد، که در جدول (۶) بیان شده است. با توجه به این نتایج مدل SDSM دارای عملکرد بسیار بالایی برای پیش‌بینی پارامترهای حداقل و حداکثر دما در هر دو ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد.

برای انتخاب پیش‌بینی‌کننده‌های مورد استفاده در مدل SDSM، همبستگی پیش‌بینی‌کننده‌ها و داده‌های مشاهداتی (پیش‌بینی‌شونده) بررسی شدند. در مدل SDSM از ۷۰٪ داده‌های ورودی به عنوان واسنجی و ۳۰٪ باقیمانده برای صحت‌سنجی مدل استفاده می‌شود. پس از دامسازی توسط

جدول ۶- ارزیابی نتایج روش SDSM

Tmin	Tmax	شاخص ارزیابی	ایستگاه
۱	۱	R ²	بیرجند
۰/۹۹	۰/۸۳	RMSE	
۰/۵	۰/۹۹	NSE	
۰/۹۹	۰/۹۹	R ²	رشت
۱/۰۳	۰/۶۵	RMSE	
۰/۹۷	۰/۹۹	NSE	

مدل LARS-WG

پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهداتی روزانه در هر ماه در هر دو ایستگاه مورد مطالعه بسیار خوب است و مدل LARS به طور کلی عملکرد مناسبی به ویژه در پیش‌بینی داده‌های حداکثر دما دارد، همچنین بهترین عملکرد مدل LARS مربوط به داده‌های حداکثر دما در ایستگاه سینوپتیک بیرجند و بدترین عملکرد نیز مربوط به داده‌های حداقل دما در همین ایستگاه است.

در جدول (۷) نتایج بررسی برازش داده‌های پیش‌بینی شده و داده‌های مشاهداتی دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت نشان داده شده است. مدل LARS-WG برای بررسی میزان پیروی داده‌های دوره پایه و دوره آتی از آزمون کلموگروف - اسمیرنوف استفاده می‌کند که در صورتی که میزان P-Value در این آزمون بیشتر از ۰/۰۵ باشد نشان دهنده مطلوب بودن داده‌های مورد بررسی خواهد بود. باتوجه به نتایج این جدول و براساس نتایج P-Value همبستگی بین داده‌های

جدول ۷- نتایج مدل LARS-WG

بیرجند													
All	D	N	O	S	A	J	J	M	A	M	F	J	p-value (KS-test)
۰/۹۴	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۱۳	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax
۰/۵۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۱۳	۱	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۱	Tmin
رشت													
All	D	N	O	S	A	J	J	M	A	M	F	J	p-value (KS-test)
۰/۸۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	Tmax
۰/۷۶	۱	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۹	۱	۱	۱	۱	۰/۹۹	Tmin

روش BCSD

که اساس آن کاهش آریبی شاخص‌های آماری مانند چارک‌ها است. همانطور که در جدول‌های (۸) و (۹) نشان داده شده است، مدل qmap توانسته با عملکرد بالایی چارک‌های داده‌های حاصل از مدل بزرگ مقیاس CanESM2 را به داده‌های مشاهداتی نزدیک کند.

اساس پیش‌بینی برای آینده در این روش ارتباط بین داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک مورد مطالعه و داده‌های مدل بزرگ مقیاس است. در این پژوهش برای ریزمقیاس نمایی آماری از پکیج qmap در قالب نرم‌افزار R استفاده شده است

جدول ۸- مقادیر چارک‌ها برای حداکثر دما

	100%	75%	50%	25%	0%	
	۴۳	۳۷	۳۱/۷۵	۲۲/۵۵	۱۴	Obs
بیرجند	۳۷/۴۷	۳۲/۳۷	۲۵	۱۵/۷۷	۳/۳۸	histo (قبل از اصلاح)
	۴۲/۰۷	۳۷/۹۱	۳۱/۱۲	۲۳/۰۲	۱۲/۱۴	histo (بعد از اصلاح)
	۴۰	۳۳	۳۰	۲۵	۸/۶	Obs
رشت	۳۶/۷۱	۳۱/۰۷	۲۱/۰۹	۱۱/۳	۰/۴۷	histo (قبل از اصلاح)
	۳۵/۹۴	۳۳/۷۷	۲۹/۸۵	۲۴/۹۴	۲/۶	histo (بعد از اصلاح)

جدول ۹- مقادیر چارک‌ها برای حداقل دما

	100%	75%	50%	25%	0%	
	۱۶	۸/۶	۰/۹	-۶/۵۲۵	-۲۱/۵	Obs
بیرجند	۲۳/۷۶	۱۷/۶	۹/۹۶	۲/۹۴	-۳/۵۳	histo (قبل از اصلاح)
	۱۶/۵۸	۹/۳۲	۰/۳۱	۰	۰	histo (بعد از اصلاح)
	۲۰/۶	۱۴	۶	۰	-۱۱	Obs
رشت	۲۱/۶۵	۱۵/۹۴	۸/۱۳	۱/۳۵	-۷/۶۹	histo (قبل از اصلاح)
	۱۹/۷۰	۱۳/۹۲	۵/۶۵	۰	۰	histo (بعد از اصلاح)

به نتایج شاخص R^2 این مدل عملکرد مناسب دارد، اما باتوجه به نتایج مربوط به شاخص NSE عملکرد این مدل برای شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما برای دوره آتی مناسب نیست.

باتوجه به نتایج بیان شده در جدول (۱۰)، به‌طور کلی بهترین عملکرد مدل qmap مربوط به شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما برای دوره آتی در ایستگاه رشت و بدترین عملکرد مربوط به شبیه‌سازی پارامتر حداقل دما در ایستگاه بیرجند است. باتوجه

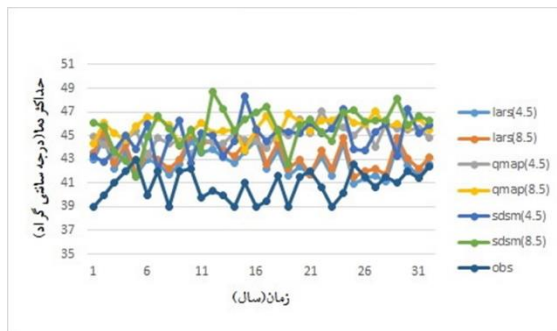
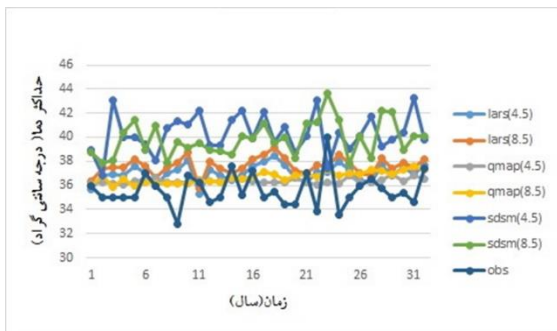
جدول ۱۰- ارزیابی نتایج روش آماری qmap

Tmin	Tmax	شاخص ارزیابی	ایستگاه
۰/۷۷	۰/۸۹	R^2	بیرجند
۵/۹۰	۲/۷۱	RMSE	
-۰/۲۴	۰/۸۸	NSE	
۰/۹۰	۰/۵۶	R^2	رشت
۲/۵۹	۴/۱۵	RMSE	
۰/۸۵	۰/۵	NSE	

شکل (۴) و (۵) نیز نشان دهنده تغییرات میانگین حداقل و حداقل دما ماهانه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۵) است. باتوجه به شکل (۴) تغییرات میانگین حداکثر دما ماهانه در دوره آتی نسبت به دوره پایه برای ایستگاه بیرجند به صورت افزایشی است، در ایستگاه رشت نیز به جز مدل SDSM در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر و مدل qmap در ماه آوریل، تغییرات به صورت افزایشی است. شکل (۵) نیز نشان دهنده افزایشی بودن تغییرات میانگین حداقل دما ماهانه دوره آتی در هر دو ایستگاه مورد مطالعه می‌باشد، البته مدل SDSM در ماه آوریل برای ایستگاه بیرجند و در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر برای ایستگاه رشت این تغییرات به صورت کاهشی است. در هر حال به‌طور کلی باتوجه به نتایج بدست آمده، در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶ در منطقه مورد مطالعه روند گرم شدن در حال اتفاق است.

مقایسه نتایج شبیه‌سازی مدل‌ها

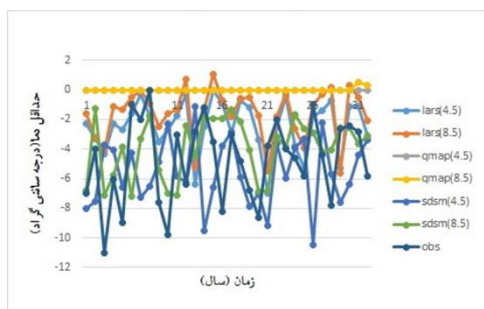
برای مقایسه مدل‌های مختلف ریزمقیاس‌نمایی مورد مطالعه در پژوهش حاضر برای دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۶ شکل‌های (۲) تا (۵) رسم شده‌اند، که شکل (۲) و شکل (۳) نشان دهنده تغییرات سالانه حداکثر و حداقل دما در دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت می‌باشد. باتوجه به این دو شکل می‌توان نتیجه گرفت پارامترهای حداقل و حداکثر دما در هر دو ایستگاه در دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۶ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۵) افزایش می‌یابد، همچنین تغییرات دما تحت سناریو rcp8.5 نسبت به سناریو rcp4.5 بیشتر است، علاوه بر این شکل (۳) نشان می‌دهد نوسانات پارامتر حداقل دما در دوره آتی ایستگاه رشت نسبت به ایستگاه بیرجند بیشتر است.



ب) رشت

الف) بیرجند

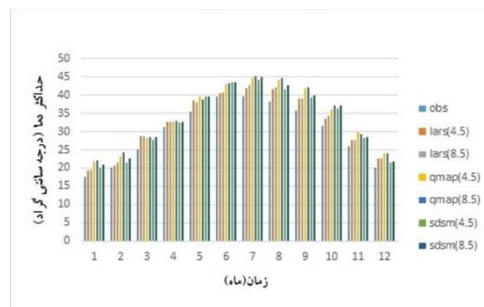
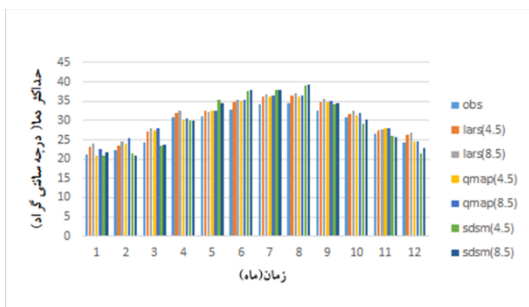
شکل ۲- نمودار حداکثر دمای سالانه مدل‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶



ب) رشت

الف) بیرجند

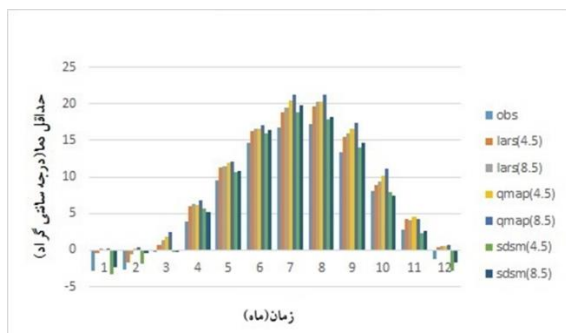
شکل ۳- نمودار حداقل دمای سالانه مدل‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶



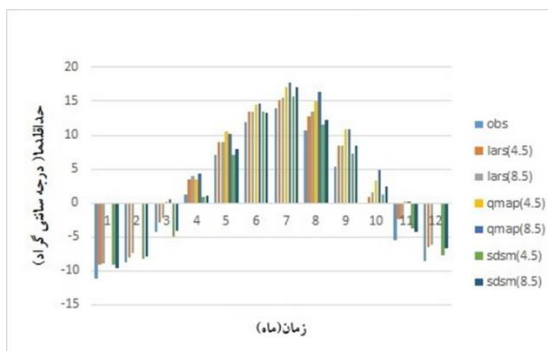
ب) رشت

الف) بیرجند

شکل ۴- نمودار میانگین حداکثر دمای ماهانه مدل‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶



ب) رشت



الف) بیرجند

شکل ۵- نمودار میانگین حداقل دمای ماهانه مدل‌های مورد مطالعه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶

می‌دهد، پارامترهای حداقل و حداکثر دما در هر دو ایستگاه در دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۶ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۵) افزایش می‌یابد، همچنین تغییرات دما تحت سناریو rcp8.5 نسبت به سناریو rcp4.5 بیشتر است، علاوه بر این نوسانات پارامتر حداقل دما در دوره آتی ایستگاه رشت نسبت به ایستگاه بیرجند بیشتر است. علاوه بر این تغییرات میانگین حداکثر و حداقل دما ماهانه در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۴-۲۰۰۵) نشان می‌دهد این تغییرات برای ایستگاه بیرجند به صورت افزایشی است و در ایستگاه رشت نیز به جز مدل SDSM در ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، اکتبر، نوامبر و دسامبر و مدل BCSD در ماه آوریل، تغییرات به صورت افزایشی است. تغییرات میانگین حداقل دما ماهانه دوره آتی در هر دو ایستگاه مورد مطالعه نیز به صورت افزایشی است، البته در مدل SDSM در ماه آوریل برای ایستگاه بیرجند و در ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر برای ایستگاه رشت این تغییرات به صورت کاهشی است. در هر حال به‌طور کلی باتوجه به نتایج بدست آمده، در دوره ۲۰۲۵-۲۰۵۶ در منطقه مورد مطالعه روند گرم شدن در حال رخ دادن است.

نتیجه‌گیری

سلاجقه و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به بررسی کارایی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی دما و بارش در دو ایستگاه سینوپتیک روانسر و کرمانشاه پرداختند و نتایج نشان داد مدل SDSM در هر دو ایستگاه و در دو مرحله واسنجی برای دماهای حداقل و حداکثر روزانه عملکرد بهتری نسبت به LARS-WG دارد درحالی‌که برای بارش مدل LARS-WG دارای عملکرد بهتری است. در پژوهش حاضر نیز از مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی SDSM، LARS-WG و BCSD به منظور داده‌سازی برای دوره آتی ۲۰۲۵-۲۰۵۶ با استفاده از مدل بزرگ مقیاس CanESM2 و دو سناریو rcp8.5 و rcp4.5 برای دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت بهره گرفته شد. نتایج نشان داد، بهترین عملکرد مربوط به مدل SDSM با بیشترین مقدار همبستگی می‌باشد، همچنین مدل BCSD برای پارامتر حداقل دما در ایستگاه بیرجند عملکرد مناسبی ندارد. مقایسه تغییرات سالانه حداکثر و حداقل دما در دو ایستگاه سینوپتیک بیرجند و رشت نشان

منابع

1- Fowler, H. J., Blenkinsop, S., & Tebaldi, C. 2007. Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modelling. International Journal of Climatology: A Journal of the Royal

Meteorological Society, No. 27, pp. 1547-1578.

2- IPCC. 2014. Summary for policymakers. In: Climate Change. 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment

- Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 1-32.
- 3- Kabiri, R., Bai, V. R., Chan, A. 2015. Assessment of hydrologic impacts of climate change on the runoff trend in Klang Watershed, Malaysia. Environmental Earth Sciences.No. 73, pp. 27-37.
- 4- Ryu, J. H., Lee, J. H., Jeong, S., Park, S. K., Han, K. 2011. The impacts of climate change on local hydrology and low flow frequency in the Geum River Basin, Korea. Hydrological Processes, No. 25, pp. 3437-3447.
- 5- Khashei Siouki, A., Shahidi, A., Pourrazabilandi, M.F. Amirabadizadeh, M., Jafarzadeh, A. 2018. Performance of ANN and SVM methods in microscopy of daily rainfall in arid areas. Iranian Soil and Water Research. No. 4, pp. 781-793.
- 6- Sobhani, B., Islahi, M., Babaian, A. 2014. The efficiency of SDSM and LARS-WG statistical microscale models in simulating meteorological variables in the catchment area of Lake Urmia. Natural Geography Research.No. 4, pp. 499-516.
- 7- Selajgeh, A., Rafiei Sardoui, A., Moghaddamnia, A., Malekian, A., Iraqi Nejad, Sh., Khayeghisigaroudi, Sh. 2017. Evaluation of the efficiency of LARS-WG and SDSM statistical microscale models in temperature and precipitation simulations. Iranian Soil and Water Research. Number 2. Pp. 262-253.
- 8- Ghassab Faiz, M., Islami, H. 2017. Evaluation of trend of rainfall changes by Man Kendall method and linear regression in Khuzestan province. Scientific and specialized quarterly of water engineering. No.2, pp. 114-121.
- 9- Ghorbani, Kh. 2014. Evaluation of data mining models in precipitation microscaling based on NCEP general circulation model data (Case study: Kermanshah synoptic station). Iran Water Research. No. 8, pp. 177-186.
- 10- Goodarzi. M., Salahi. B., Hosseini. S. A. 2015. Evaluation of the performance of LARS-WG and SDSM microscale models in simulating climate change in the catchment area of Lake Urmia. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering. No.9, pp. 11-22.