

## عملکرد خروجی مدل CanESM2 در پیش‌آگاهی مشخصه آب و هوا در ياسوج توسط SDSM

محمد حسین جهانگیر\*؛ ضحی مشیدی<sup>۱</sup>

۱- گروه انرژی‌های نو و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(پژوهشی)

پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۵/۱۴ تأیید نهایی مقاله: ۱۴۰۰/۲/۲۲

### چکیده

در این پژوهش بارش، بیشینه و کمینه دمای ایستگاه همدید یاسوج با استفاده از خروجی مدل CanESM2، تحت سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از ریزگردان آماری SDSM، برای سه دوره ۱۵ ساله ۲۰۳۵-۲۰۲۰، ۲۰۵۱-۲۰۳۶ و ۲۰۶۷-۲۰۵۲ شبیه‌سازی شده است. ابتدا دوره آماری ۲۰۰۵-۱۹۸۷، به عنوان دوره پایه انتخاب شد. نتایج، روند افزایشی دما و بارش را در این ایستگاه همدید می‌دهد. روند افزایشی بارش در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ محسوس‌تر خواهد بود. دوره ۲۰۶۷-۲۰۵۲ نسبت به دو دوره دیگر خشک‌تر بوده و بیشترین میزان بارش در فصل زمستان برآورد گردید. بیشترین برآورد میزان بارش مربوط به ماه فوریه تحت سناریوی RCP2.6 می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای کمینه مربوط به فصل پاییز و پایین‌ترین دمای کمینه مربوط به ماه ژانویه برآورد گردید که نسبت به دوره پایه ۴/۶ درجه افزایش را نشان می‌دهد. بیشترین تغییرات دمای بیشینه مربوط به فصل بهار دوره ۲۰۳۵-۲۰۲۰ است که در ماه آوریل ۶/۳۲ درجه سانتیگراد افزایش دما خواهیم داشت. همچنین ماه جولای دوره ۲۰۵۱-۲۰۳۶، بالاترین دمای بیشینه برآوردی در کل سال‌های آتی مورد مطالعه در این ایستگاه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: یاسوج، CanESM2، RCP2.6، RCP4.5، RCP8.5.

## مقدمه

طرح‌های اقلیمی جهت استفاده در برنامه‌ریزی‌های کلان کشور، به ویژه در رابطه با بلایای طبیعی ضروری به نظر می‌رسند (رضائی و همکاران، ۱۳۹۴). مدل‌های گردش عمومی جو (GCM)، برای ارزیابی تغییر اقلیم در مقیاس جهانی استفاده می‌شود. روش‌های ریزگردانی نقش اساسی در بالا بردن دقت خروجی مدل‌های گردش عمومی جو دارند. این مدل‌ها که در حال حاضر معتبرترین ابزار تولید سناریوهای اقلیمی هستند، قادرند متغیرهای اقلیمی آینده را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی کنند (Stocker, 2014). همچنین قادر به اجرای داده‌های دوره تاریخی هستند. اما خروجی‌های این مدل‌ها برای ارزیابی تغییرات اقلیمی در سطح محلی و منطقه‌ای کافی و دقیق نیست (عساکره و اکبرزاده، ۱۳۹۶). در نتیجه از انواع مدل‌های ریز مقیاس‌نمایی برای بیان ارزیابی اثرات تغییر اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای، مدل‌های دینامیکی و آماری است (اصلاحی، ۱۳۹۵). در سال ۲۰۱۳ طبق توافق IPCC<sup>۲</sup> در گزارش پنجم، مدل‌های GCM با نام کلی CMIP5<sup>۳</sup> به همراه چهار سناریو تحت عنوان سناریوهای RCP<sup>۴</sup> تا سال ۲۱۰۰ ارائه شدند (صالح‌نیا و همکاران، ۱۳۹۷). هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود از سناریوهای جدید RCP به عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای استفاده کرده است. این سناریوها تحت عنوان سناریوهای واداشت تابشی می‌باشند (مسگری و همکاران، ۱۳۹۶). واداشت تابشی که می‌تواند مهمترین علت تغییر اقلیم باشد، برای ارزیابی و مقایسه هر یک از عوامل طبیعی و انسانی تغییر اقلیم مورد استفاده قرار می‌گیرد (Stocker, 2014). پیش‌بینی اقلیم آینده به مدل‌های عددی رایانه‌ای

متکی است که به مدل‌های گردش کلی جو معروف می‌باشند و اقلیم زمین را شبیه‌سازی می‌کنند. برای ریزگردانی و بالا بردن دقت خروجی مدل‌های گردش کلی جو، مدل‌های ریزگردانی دینامیکی و آماری ارائه شده‌اند (صالحی، ۱۳۹۵). علیرغم توانمندی هر دو روش ریزگردانی در بررسی ویژگی‌های جوی ریزمقیاس، روش‌های ریزگردانی آماری، به سبب محاسبات آسان و ارزان، نسبت به روش‌های ریزگردانی دینامیکی، کارایی بیشتری دارند و از آنها بیشتر استفاده می‌شود (Diersing, 2009). اغلب محققان برای کاهش مقیاس داده‌های اقلیمی از روش‌های آماری استفاده می‌کنند (Semenov et al, 1998). روش ریزگردانی آماری مانند پلی است که به وسیله روش‌های آماری اتصال بین متغیرهای مدل‌های بزرگ مقیاس به متغیرهای اقلیمی در سطح منطقه و محلی را ایجاد می‌کند (Sayari et al, 2013). از مدل‌های آماری به مدل SDSM که ارتباط بین پیش‌بینی کننده‌های بزرگ مقیاس و پیش‌بینی شونده‌ها در مقیاس محلی براساس روش رگرسیون خطی چندگانه است، می‌توان اشاره کرد. ویلبی و همکاران (Wilby et al, 2002) از نخستین کسانی بودند که روش SDSM را به صورت نرم‌افزاری با نسخه ۲/۱ برای ارزیابی تغییر اقلیم داده‌های بارش و دمای روزانه منطقه‌ای شهر تورنتوی کانادا به کار بردند. در پژوهشی، داده‌های الگوی گردش عمومی جو با به کارگیری الگوی LARS-WG طبق سه سناریوی A1B، A2 و B1 در مدل HadCM3 ریزگردان شد و تغییرات فصلی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ بررسی شد (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). کارآموز و همکاران (Karamouz et al, 2009) روش ریزگردانی SDSM و روش شبکه‌های عصبی ANN را برای پیش‌بینی بلندمدت بارش در پنج ماه از سال (دسامبر تا آوریل) در جنوب شرقی ایران به کار

مشترک (A1B، A2 و B1) را بررسی کردند. بعد از بررسی توانمندی مدل لارس در شبیه‌سازی اقلیم گذشته و عدم قطعیت‌ها در سه دوره زمانی آینده ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰، یافته‌ها حاکی از افزایش دما براساس تمام سناریوها، طی دوره‌های آتی دارد و تغییرات فصلی بارش در ایستگاه‌های مختلف بسیار نوسانی است. همچنین آنها دریافتند که بهترین عملکرد در شبیه‌سازی مقدار دمای ماهانه را HadCM3 و ضعیف‌ترین عملکرد در شبیه‌سازی مقدار بارش ماهانه را مدل INCM3 نسبت به سایر مدل-سناریوها دارد. رضائی و همکاران (رضائی و همکاران، ۱۳۹۳) به بررسی کارایی مدل ریزگردانی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک در کرمان و بم طی سال‌های ۱۹۷۱-۱۹۸۵ میلادی پرداختند. از ۱۵ سال اول داده‌ها (۱۹۸۵-۱۹۷۱) برای واسنجی و از ۱۵ سال دوم (۲۰۰۱-۱۹۸۶) برای ارزیابی نحوه عملکرد مدل استفاده شد. به کمک داده‌های HadCM3(A2) و HadCM3(B2)، دما برای سه دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹، ۲۰۴۰-۲۰۶۹ و ۲۰۹۹-۲۰۷۰ پیش‌بینی و با دوره پایه مقایسه شده است. معیارهای آماری ارزیابی کارایی مدل مانند میانگین خطای مطلق، مجذور میانگین مربعات خطا، ضریب ناش-ساتکلیف و تحلیل نتایج خروجی مدل HadCM3، حاکی از کارایی بالاتر این مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک و دقت قابل قبول پیش‌بینی دماست. فلاح‌قاله‌ری و همکاران (فلاح‌قاله‌ری و همکاران، ۱۳۹۷) به بررسی پارامترهای دما با استفاده از مدل ریزگردانی آماری در طول دوره ۲۰۹۹-۲۰۱۸ در منطقه اهواز، آبادان و مسجدسلیمان پرداخت. با توجه به مطالعات فوق، مدل SDSM دارای دقت قابل قبولی در ریزگردانی داده‌های اقلیمی می‌باشد. در جمهوری کره جنوبی،

بردند. براساس نتایج این پژوهش، روش SDSM عملکرد بهتری نسبت به روش ANN دارد. گل‌محمدی و مساح بوانی (گل‌محمدی و مساح بوانی، ۱۳۹۰) در مطالعه‌ای، به ارزیابی اثرهای تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره‌سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) پرداختند. در این ارزیابی از روش SDSM برای ریزگردانی خروجی مدل جهانی HadCM3 تحت سناریوی A2 استفاده شد. مقایسه نتایج حاکی از آن است که حوزه در دوره ۲۰۶۹-۲۰۴۰ میلادی شاهد افزایش بارش و به تبع آن، کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود. این کاهش شدت برای مقیاس‌های زمانی شش و دوازده ماهه با افزایش دوره بازگشت، افزایش می‌یابد. این در حالی است که برای خشکسالی‌های ۲۴ ماهه، با افزایش دوره بازگشت، شدت خشکسالی حوضه بیش از دوره پایه خواهد شد (حمیدیان و همکاران، ۱۳۹۵). چیمبا و همکاران (Cheema et al, 2013) عملکرد روش ریزگردانی SDSM را روی داده‌های کمینه دمای ایستگاه‌های کشور پاکستان در دوره ۲۰۱۰-۱۹۹۱ ارزیابی کردند. براساس این پژوهش، طبق آزمون من‌کنندال روند افزایشی کمینه دمای سالانه معنادار است. تحلیل‌ها نشان داد که تطابق خوبی بین داده‌های دمای برآوردی و داده‌های واقعی وجود دارد. همچنین ضریب همبستگی پیرسون برای بیشتر نواحی بیش از نود درصد بود. سجاد خان و همکاران (sajjad Khan et al, 2006) در مطالعه خود در کانادا به این نتیجه رسیدند که برای پارامتر بارش مدل SDSM عملکرد بهتری نسبت به مدل LARS-WG داشته است. حمیدیان و همکاران (حمیدیان و همکاران، ۱۳۹۵) با استفاده از ریزگردانی آماری LARS-5/1 WG، تغییرات بارش و دمای ماهانه در جنوب شرق کشور براساس خروجی چهار مدل با سه سناریوی

خروجی مدل CanESM2 در سه بازه زمانی از سال ۲۰۰۶ تا ۲۱۰۰ در حوضه رودخانه گرگان رود تحت دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 پرداخته شد. بارش در برخی ایستگاه‌های این رودخانه در هر سه دوره و تحت هر دو سناریو افزایش و در برخی ایستگاه‌ها کاهش می‌یابد. این وضعیت برای دمای کمینه و بیشینه نیز به همین شکل است. در کل جهت مشابهی در نوسان متغیرهای اقلیمی بررسی شده در ایستگاه‌های مورد مطالعه قابل پیش‌بینی نیست (غنچه‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). با توجه به تحقیقات صورت گرفته فوق، مدل SDSM دقت قابل قبولی در ریزگردانی داده‌های اقلیمی دارد. از طرفی با توجه به اهمیت ایستگاه یاسوج و قرارگیری آن در حوضه آبریز کارون و لزوم برنامه‌ریزی‌ها به منظور مدیریت منابع آبی در این حوضه، تحقیق حاضر با استفاده از خروجی CanESM2 که یکی از مدل‌های تغییر اقلیم جفت‌شده CMIP5 و براساس گزارش پنجم IPCC می‌باشد، متغیرهای اقلیمی دما و بارش را در ایستگاه یاسوج از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۶۷ شبیه‌سازی و مورد بررسی قرار می‌دهد.

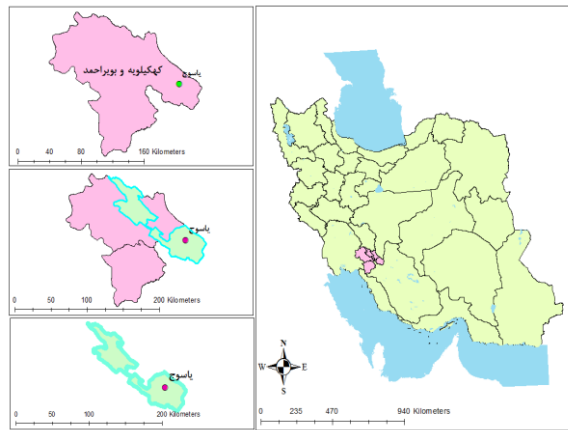
#### منطقه مورد مطالعه

یاسوج شهری در جنوب غربی ایران، مرکز استان کهگیلویه و بویراحمد و در کنار رودخانه بشار و در دامنه قله دنا و تپه‌های متعدد قرار گرفته است. شهر یاسوج در منطقه اقلیم سردسیری واقع شده و دارای هوای معتدل متمایل به سرد است. در جدول ۱ مشخصات جغرافیایی ایستگاه یاسوج و شکل ۱ موقعیت ایستگاه در کشور و استان آورده شده است.

پیش‌بینی خشکسالی با استفاده از شاخص SPI و توسط پنج مدل RCM، تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۱۰۰ انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد ماه‌های خشکسالی برای سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP4.5 افزایش خواهد یافت (Choi et al, 2016). در شرق آفریقا، با اجرای مدل‌های RCM از مجموعه مدل‌های CORDEX شبیه‌سازی مقادیر بارش نشان داده شد که بسیاری از مدل‌های RCM قادر به شبیه‌سازی ویژگی‌های اصلی اقلیمی بارش در مقیاس‌های ماهانه و فصلی هستند. در همان مطالعه نشان داده شد در برخی موارد اختلافاتی در شبیه‌سازی نتایج وجود دارد (Endris et al, 2013). کولیبالی و شی (Coulibaly and Shi, 2005) در دستورالعمل وزارت راه کانادا، برای کاهش مقیاس داده‌های مدل‌های گردش عمومی کانادایی (CGSMS)، مدل SDSM را به عنوان مدلی که آزمایش خود را برای تولید سناریوهای اقلیمی بارش به خوبی پس داده است، توصیه نمودند. صلاح اوحمودچ و محمد بحیر (Ouhamdouch and Bahir, 2017) به بررسی تأثیر تغییرات آب و هوا بر بارش و دمای آینده در مناطق نیمه خشک حوضه آزویرای مراکش با استفاده از مدل CanESM2 در SDSM پرداختند. براساس نتایج این مطالعه متوسط دمای سالانه ۰/۷۵، ۰/۵۷ و ۰/۶۹ درجه سانتیگراد به ترتیب در سناریوهای RCP4.5، RCP2.6 و RCP8.5 افزایش می‌یابد. همچنین فصل مرطوب در منطقه مورد مطالعه از پنج ماه (نوامبر تا مارس) به چهار ماه (دسامبر تا مارس) کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای بر روی تغییر اقلیم با مدل SDSM و

جدول ۱: مشخصات جغرافیایی ایستگاه همدید یاسوج

ایستگاه همدید	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
یاسوج	۵۱ ۳۳	۳۰ ۴۱	۱۸۱۶/۳

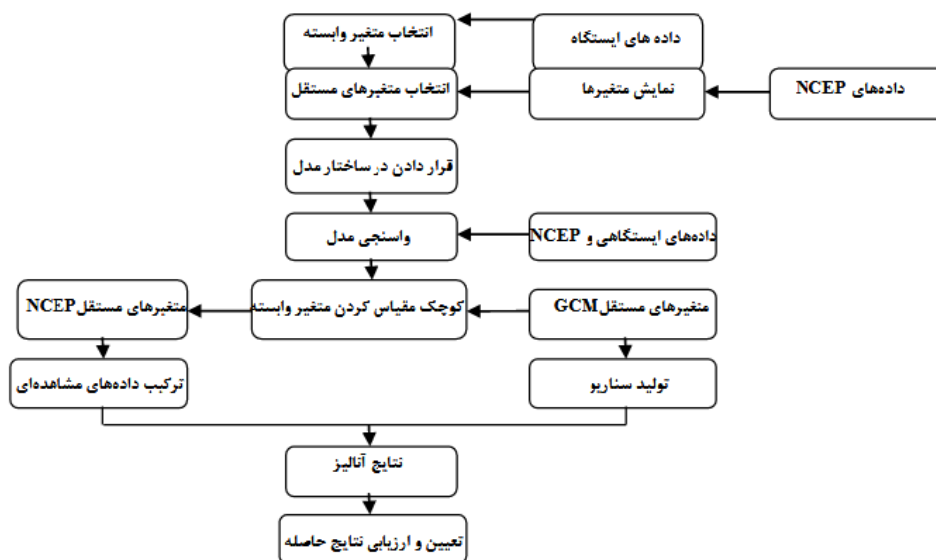


شکل ۱: موقعیت ایستگاه همدید یاسوج در کشور و در استان کهگیلویه و بویراحمد

### مواد و روش‌ها

در سال ۱۹۹۱<sup>۶</sup> NCEP و NCAR<sup>۷</sup> به فراخور نیاز محققان اقلیمی و به منظور تولید داده‌های شبکه‌بندی شده، پروژه‌ای را به نام تحلیل دوباره شروع کردند. مدل ریزگردانی SDSM در سال ۲۰۰۲ در انگلستان توسط ویلبای و داوسون توسعه یافت. این مدل جز اولین ابزارهای کمکی برای

ارزیابی تأثیرات تغییر اقلیم محلی می‌باشد که براساس داده‌های روزانه اقلیمی محلی (دما و بارش) و داده‌های بزرگ‌مقیاس ناحیه‌ای NCEP تنظیم می‌شود. در شکل ۲ فرآیند ریزگردانی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM به‌طور خلاصه آورده شده است.



شکل ۲: ریزگردانی و تولید سناریوی اقلیمی مدل SDSM

مدل canESM2 (چهارمین نسل مدل‌های آب و هوایی) می‌باشد که توسط مرکز مدلسازی و تحلیل

آب و هوای کانادا (cccma) زیر نظر سازمان محیط زیست کانادا توسعه یافته است و زمین را به شکل

توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه IASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IASA در اتریش توسعه و طراحی شده است که وجه مشخصه آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (مسگری و همکاران، ۱۳۹۵). در این تحقیق از داده‌های مشاهداتی NCEP، جهت تدوین مدل‌های ماهانه و از خروجی‌های مدل canESM2 جهت پیش‌بینی مقدار متغیر با استفاده از نرم‌افزار SDSM، استفاده شد. مراحل مدل به‌طور خلاصه شامل هفت بخش می‌باشد: (۱) تنظیم کیفیت و تبدیل داده‌ها (۲) انتخاب متغیرهای مستقل مناسب (۳) واسنجی مدل (۴) تولید داده‌های هواشناسی زمان حاضر با استفاده از متغیرهای مستقل مشاهده‌ای (۵) تحلیل آماری داده‌های مشاهده شده (۶) نمایش هندسی خروجی مدل (۷) تولید داده‌های هواشناسی آینده. از مهمترین مراحل مدل ریزگردانی، انتخاب متغیرهایی است که بتواند تغییرات و ویژگی‌های پارامترهای ایستگاهی را به طرز قابل قبولی توصیف کند و این همان متغیرهای اتمسفری NCEP است که بالاترین همبستگی جهت پیش‌بینی پارامترهای دما و بارش می‌باشد و وارد معادله رگرسیونی مدل SDSM می‌شود. بعد از انتخاب پیش‌بینی کننده‌ها، داده‌های مشاهداتی ایستگاه همدید یاسوج و داده‌های مرکز ملی پیش‌بینی متغیرهای محیطی کانادا NCEP کالیبره و واسنجی گردید. سپس به منظور اطمینان از مدل کالیبره شده، دما و بارش برای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ شبیه‌سازی گردید و با مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، کارایی مدل برای ایستگاه یاسوج مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق به منظور بررسی میزان کارایی مدل از معیارهای آماری خطای استاندارد، شاخص مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و ضریب

سلول‌هایی با ابعاد  $64 \times 128$  شبکه‌بندی می‌کند (Charron, 2016). سناریوهای RCP براساس واداشت تابشی دارای ۴ خط سیر کلیدی با نام‌های RCP2.6، RCP6، RCP4.5 و RCP8.5 می‌باشند. واداشت تابشی، تفاوت بین انرژی تابشی دریافتی از خورشید و انرژی بازگشتی به جو توسط زمین می‌باشد که در زیر این چهار سناریو معرفی می‌گردند.

RCP2.6: این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی شده است و در برگرنده کمترین نرخ افزایش گازهای گلخانه‌ای و واداشت تابشی ناشی از آن است.

RCP4.5: این سناریو توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار  $4/5$  وات بر متر مربع ثابت می‌ماند. RCP6: در این سناریو و همچنین سناریوهای RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 با کاهش واداشت‌های تابشی، میزان افزایش دی‌اکسید کربن نیز کاهش می‌یابد. سناریوی انتشار RCP6، توسط گروه مدل‌سازی AIM در موسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن طراحی گردید. در این سناریو، واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت می‌ماند.

RCP8.5: بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و همچنین مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت. به‌طوری‌که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان  $8/5$  وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این صورت غلظت دی‌اکسید کربن به  $1000$  ppm رسیده و همچنان روند افزایش خواهد یافت. این سناریو

ضریب تعیین معیاری بدون بعد است که بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد که از رابطه ۵ به دست می‌آید:

رابطه ۵)

$$R^2 = \frac{\sum_{x=1}^n X_o X_s}{\sqrt{\sum_{x=1}^n X_o^2 \sum_{x=1}^n X_s^2}}$$

که در روابط ۲ تا ۵،  $X_0$  داده‌های مشاهداتی،  $X_s$  داده‌های شبیه‌سازی شده،  $\bar{X}_0$  میانگین داده‌های مشاهداتی و  $N$  تعداد داده‌ها است. سپس با پارامترهای منتخب، متغیرهای بزرگ مقیاس مدل canESM2 برای طول دوره ۱۹۸۷-۲۰۰۵ استخراج شدند و بارش و دمای کمینه و بیشینه برای سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 از سال ۲۰۲۰-۲۰۶۷ طی سه دوره ۱۵ ساله برای ایستگاه مورد نظر تولید و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده با دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت.

### بحث و نتایج

با بررسی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده متغیرهای دما و بارش در دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵، مدل براساس متغیرهای پیش‌بینی‌کننده NCEP مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور از معیار آماری خطای استاندارد، شاخص مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا و ضریب همبستگی جهت ارزیابی توانمندی مدل استفاده شد. در مدل SDSM به منظور کالیبره کردن مدل، باید متغیرهای اقلیمی که بیشترین همبستگی را با پارامتر مورد نظر دارد، تعیین شود. نتایج نشان می‌دهد که دما همبستگی بهتری با داده‌های مشاهداتی دارد و علت آن به غیر شرطی بودن متغیر دما بر می‌گردد که تحت تأثیر کمتری نسبت به ناهنجاری‌های زمانی قرار می‌گیرد و بلعکس بارش که متغیر شرطی است تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار می‌گیرد. در این تحقیق دوره پایه

همبستگی و ضریب تعیین استفاده گردید که در ادامه به شرح مختصری از آنها پرداخته خواهد شد. خطای استاندارد یا  $SE^A$  برای برآورد میزان نزدیکی میانگین نمونه به میانگین جمعیت استفاده می‌شود. به بیان دیگر خطای استاندارد، انحراف معیار یک توزیع نمونه‌برداری آماری است (B.S.EVERITT and A.SKRONDAL, 2010) که برای تخمین انحراف معیار به دست آمده از تعدادی نمونه کاربرد دارد و از رابطه ۱ به دست می‌آید:

رابطه ۱)

$$SE\bar{X} = \frac{S}{\sqrt{n}}$$

که در آن  $SE$  خطای استاندارد میانگین،  $S$  انحراف معیار نمونه و  $n$  تعداد کل نمونه است.

شاخص‌های مجذور میانگین مربعات خطا یا RMSE و میانگین مطلق خطا یا MAE نشان‌دهنده میزان خطای مدل می‌باشند که بهترین مقدار آنها برابر صفر است و به ترتیب از طریق رابطه ۲ و ۳ به دست می‌آید:

رابطه ۲)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (X_o - X_s)^2}{N}}$$

رابطه ۳)

$$MAE = \frac{\sum_{x=1}^n |X_o - X_s|}{N}$$

ضریب همبستگی که بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد یا به عبارتی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد (Sedaghatker and Fattahi, 2008) و از رابطه ۴ محاسبه می‌شود:

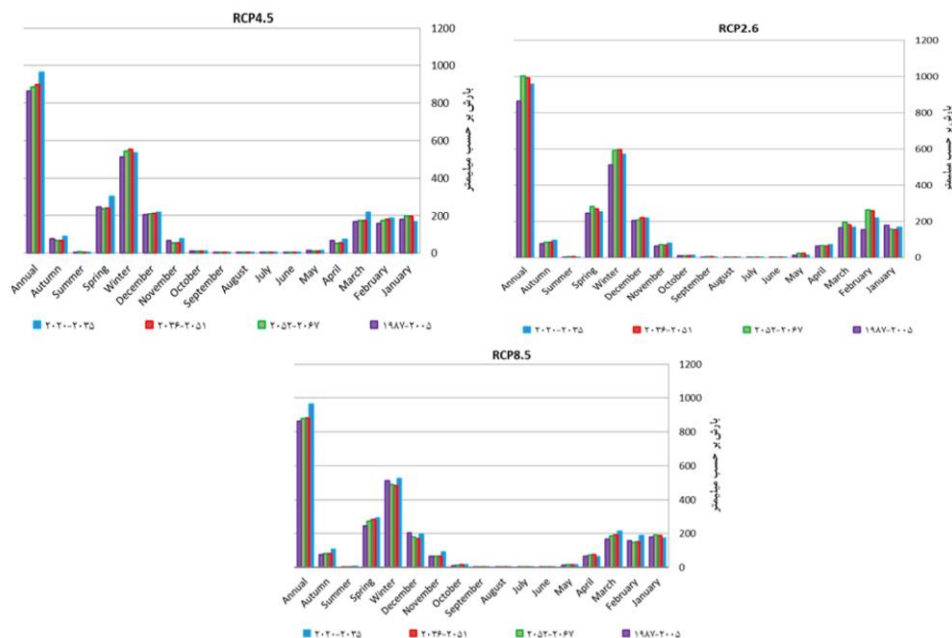
رابطه ۴)

$$R = \frac{\sum_{x=1}^n (X_o - \bar{X}_o)(X_s - \bar{X}_s)}{\sqrt{\sum_{x=1}^n (X_o - \bar{X}_o)^2 \sum_{x=1}^n (X_s - \bar{X}_s)^2}}$$

### بررسی تغییرات بارش

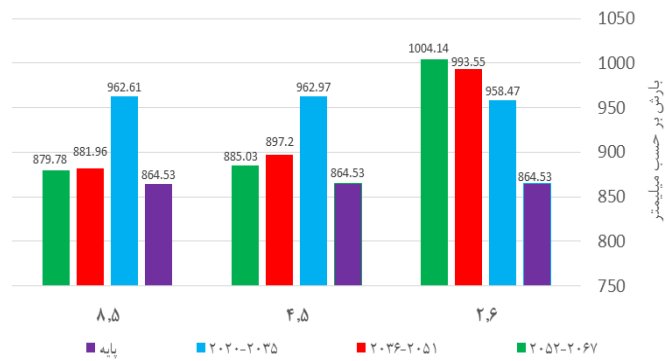
شکل ۳ و ۴ برای مقایسه میزان بارش تحت سه سناریوی RCP با دوره پایه آورده شده است. به طور کلی میزان بارش در کل دوره‌های آبی مورد مطالعه افزایش خواهد یافت و این افزایش مطابق با سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به RCP2.6 مشهودتر خواهد بود. بیشترین مجموع بارش در کل دوره‌های مورد بررسی مربوط به دوره ۲۰۵۲-۲۰۶۷ در ماه فوریه مطابق سناریوی RCP2.6 برآورد شده است که میزان مجموع بارش در دوره پایه از ۱۵۶ میلیمتر به ۲۶۳/۴ میلیمتر خواهد رسید. بیشترین میزان بارندگی ماهانه نیز مربوط به ماه مارس سال-های ۲۰۳۶-۲۰۵۱ تحت سناریوی RCP8.5 خواهد بود که نسبت به دوره پایه ۱۳۹/۷ میلی‌متر افزایش را نشان می‌دهد و مقدار بارندگی از ۸۶ میلیمتر در دوره پایه به ۲۲۵/۷ میلی‌متر خواهد رسید.

۱۹۸۷-۲۰۰۵ در نظر گرفته شد. براساس مقایسه داده‌های مشاهده شده و مدل شده میانگین دمای کمینه و بیشینه و میانگین بارش طی دوره پایه، بیشترین تطابق را دمای کمینه و بیشینه داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دارد که نشان از کارایی مناسب و قابل قبول شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی موردنظر برای دوره آینده دارد. پس از ارزیابی دقت مدل برای دوره پایه، شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارش برای دوره‌های آبی انجام گرفت و براساس مدل جهانی canESM2، سه سناریوی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 برای ایستگاه یاسوج تولید و تغییرات مقادیر شبیه‌سازی شده در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی تغییرات کمینه و بیشینه دما و بارش طی سه دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵، ۲۰۲۰-۲۰۵۱-۲۰۳۶ و ۲۰۵۲-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵ با سه سناریوی مدل canESM2 پرداخته شده است.



شکل ۳: ناهنجاری بارش یاسوج در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵



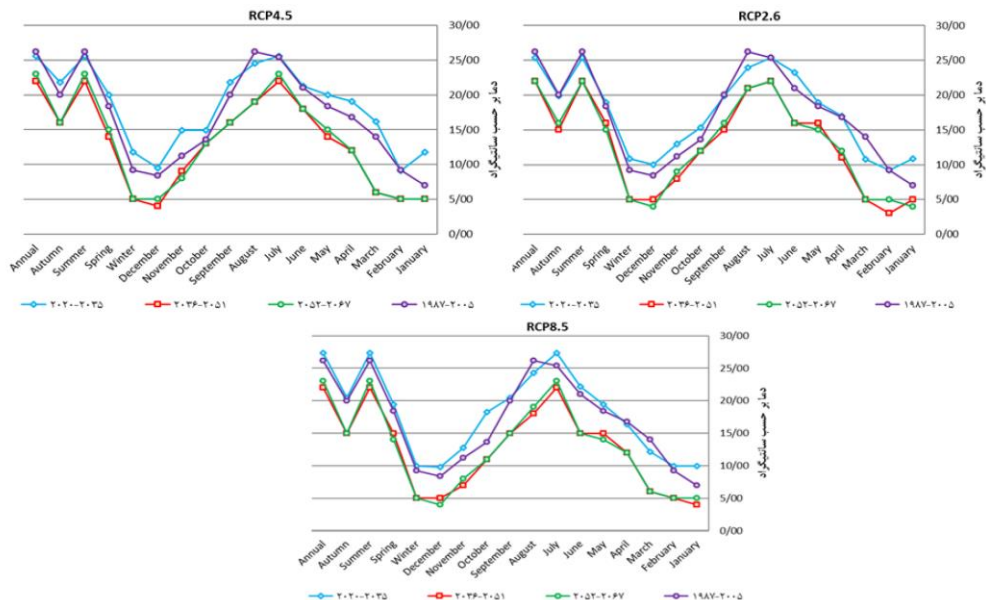


شکل ۴: بارش سالانه یاسوج در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵

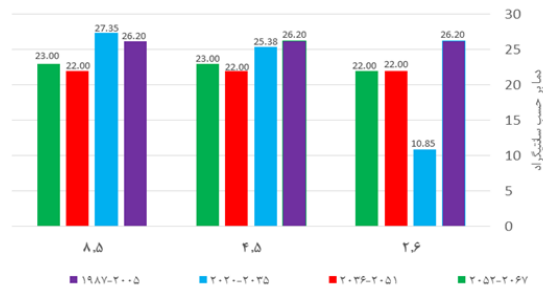
### بررسی تغییرات دمای کمینه

نمودار مربوط به بالاترین داده‌های دمای کمینه دوره پایه جهت مقایسه با سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در شکل ۵ و ۶ آورده شده است. همان‌طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، به‌طور کلی بیشینه دمای کمینه طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ بی‌هنجاری افزایشی حدود ۰/۵ درجه‌ای و در دوره‌های آتی ۲۰۳۶-۲۰۵۱ و ۲۰۵۲-۲۰۶۷ کاهش نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهد. پایین‌ترین دمای کمینه مربوط به ماه ژانویه دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ تحت سناریوی RCP8.5

برآورد شده است که دما به ۱۴/۴۳- درجه سانتیگراد خواهد رسید که مقدار آن نسبت به دوره پایه ۴/۶ درجه افزایش را نشان می‌دهد و مقدار متناظر آن در دوره ۲۰۳۶-۲۰۵۱ و ۲۰۵۲-۲۰۶۷ طبق همان سناریو به ترتیب ۶- و ۷- برآورد شده است. بالاترین دمای میانگین کمینه نیز مربوط به ماه جولای دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ تحت سناریوی RCP8.5 برآورد شده است که نسبت به مقدار متناظر آن در دوره پایه ۱/۳۴ درجه افزایش را نشان می‌دهد.



شکل ۵: بالاترین دمای کمینه یاسوج در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵

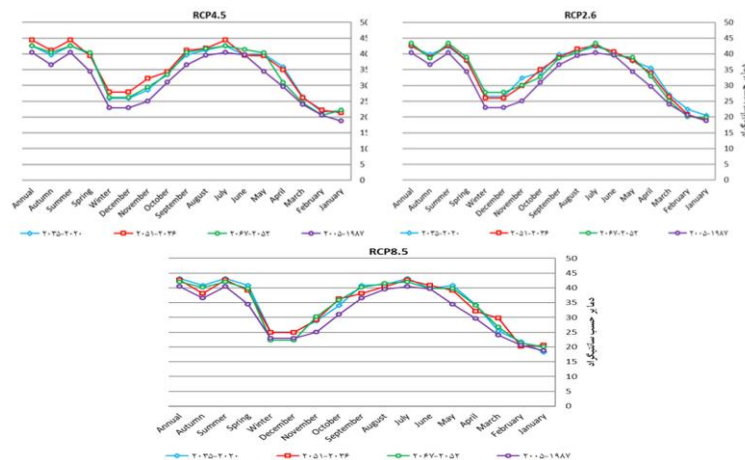


شکل ۶: بیشینه دمای کمینه یاسوج در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵

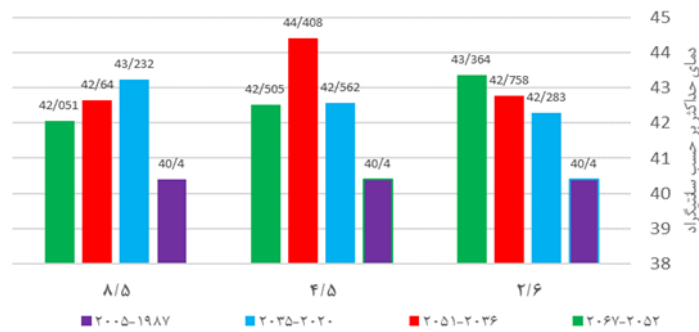
### بررسی تغییرات دمای بیشینه

نمودار مربوط به تغییرات دمای بیشینه دوره‌های پایه و سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ جهت مقایسه در شکل ۷ و ۸ آورده شده است. طبق شکل‌های ۷ و ۸، دمای بیشینه ایستگاه یاسوج در دوره‌ها افزایش را نشان می‌دهد. تغییرات افزایشی در ماه‌های ژوئن و آگوست کمتر و در ماه‌های ژانویه تا می و همچنین اکتبر، نوامبر و دسامبر بیشتر می‌باشد. البته در ماه‌های نوامبر و آوریل این تغییرات محسوس‌تر است. به طوری که در ماه نوامبر دما از ۲۷ درجه سانتیگراد در دوره پایه به ۳۲/۴۵ درجه سانتیگراد در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ و در ماه آوریل دما از ۲۹/۶ درجه سانتیگراد در دوره پایه به ۳۵/۹۲ در دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ بیش برآورد شده

است. بیشترین دما در سال‌های آتی مربوط به ماه جولای دوره ۲۰۳۶-۲۰۵۱ خواهد بود که از ۴۰/۴ درجه سانتیگراد در دوره پایه به ۴۴/۰۴ درجه سانتیگراد تحت سناریوی RCP4.5 افزایش پیدا خواهد کرد. مقدار متناظر بیشینه دما در این ماه در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۳۵ برابر ۴۲/۵۶ و در سال‌های ۲۰۳۶-۲۰۵۲ برابر ۴۲/۵۰ درجه سانتیگراد می‌باشد. کمترین دمای بیشینه این ایستگاه در ماه ژانویه دوره ۲۰۲۰-۲۰۳۵ تحت سناریوی RCP8.5 برابر ۱۸/۲۴ درجه سانتیگراد برآورد شده که مقدار متناظر آن در دوره پایه برابر ۱۸/۸ درجه سانتیگراد بوده است. مقدار متناظر دمای این ماه برای سال‌های ۲۰۳۶-۲۰۵۱ برابر ۲۰/۵۷ و برای سال‌های ۲۰۳۶-۲۰۵۲ برابر ۲۰ درجه برآورد شده است.



شکل ۷: بالاترین دمای بیشینه یاسوج طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۱۹۸۷-۲۰۰۵



شکل ۸: بالاترین دمای بیشینه یاسوج در دوره‌های ۲۰۲۰-۲۰۶۷ در مقایسه با دوره پایه ۲۰۰۵-۱۹۸۷

### نتیجه‌گیری

توجه به نتایج به دست آمده به‌طور متوسط تغییرات سناریوی RCP2.6 نسبت به دوره پایه بیشتر و در سناریوی RCP8.5 تغییرات کمتر خواهد بود. پایین‌ترین دمای کمینه مربوط به ماه ژانویه می‌باشد که نسبت به دوره پایه ۴/۶ درجه افزایش را نشان می‌دهد و به ۱۴/۴۳- درجه سانتیگراد می‌رسد. دمای بیشینه نیز در سال‌های آتی روند افزایشی دارد و بیشترین تغییرات دمای بیشینه مربوط به فصل بهار دوره ۲۰۳۵-۲۰۲۰ است که بیشینه دمای بیشینه در این فصل نسبت به دوره پایه ۵/۵ درجه سانتیگراد افزایش را نشان می‌دهد. همچنین در بررسی تغییرات ماهانه حداکثر دمای بیشینه دوره‌ها نسبت به دوره پایه، نوامبر و آوریل تغییرات مشهودتر خواهد بود به‌طوری که در نوامبر ۵/۴۵ و آوریل ۶/۳۲ درجه سانتیگراد افزایش دما خواهیم داشت. همچنین ماه جولای دوره ۲۰۵۱-۲۰۳۶، بالاترین دمای بیشینه برآوردی در کل سال‌های آتی مورد مطالعه در این ایستگاه پیش‌بینی شده است که ۴۴/۴ درجه سانتیگراد تحت سناریوی RCP4.5 خواهد بود. تغییرات اندک افزایش بارش در کنار افزایش دما بر کیفیت منابع آبی اثر گذاشته که با توجه به اهمیت این ایستگاه در حوضه آبریز کارون به تبع برنامه‌ریزی‌های آبی مدیریت منابع آبی باید به سمت کمترین اثر کمی و کیفی منابع آبی در آن حوضه باشد.

این مقاله به بررسی ریزگردانی اقلیمی با استفاده از سناریوهای canESM2 در یاسوج پرداخته است. در ایستگاه یاسوج، بیشینه و کمینه دما نسبت به ژئوپتانسیل در ارتفاع ۵۰۰ هکتوپاسکال و میانگین دما در ارتفاع ۲ متری حساس بوده و بارش به فشار سطح دریا، سرعت مداری سطحی، واگرایی سطحی و سرعت مداری در ارتفاع ۸۵۰ هکتوپاسکال حساس می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده مشخص گردید بارش در سال‌های آتی مورد مطالعه، یک بی‌هنجاری افزایشی را نشان خواهد داد که این بی‌هنجاری افزایشی در دوره اول تندتر و در دوره‌های پایانی کندتر می‌باشد. بیشترین میزان بارندگی در فصل زمستان و سپس بهار خواهد بود. دوره ۲۰۶۷-۲۰۵۲ نسبت به دو دوره دیگر خشک‌تر خواهد شد و بیشترین برآورد میزان بارش مربوط به سناریوی RCP2.6 ماه فوریه می‌باشد که میزان مجموع بارندگی در این ماه به ۲۶۳/۴ میلی-متر خواهد رسید و کمترین برآورد مربوط به سناریوی RCP4.5 در ماه آگوست با مجموع ۰/۳ میلی‌متر می‌باشد. دمای کمینه نیز در سال‌های آتی روند افزایشی دارد و بیشترین تغییرات دمای کمینه مربوط به فصل پاییز و بهار می‌باشد. بیشترین تغییرات دمای کمینه نسبت به دوره پایه در دوره ۲۰۳۵-۲۰۲۰ تجربه خواهد شد. به‌طور کلی با

## پانوش

1-General Circulation Model  
2-Intergovernmental Panel on Climate Change  
3-the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5  
4-Representative Concentration Pathways

5-Canadian Global Circulation Models  
6-National Center Environmental Predication  
7-National Center for Atmospheric Research  
8-Standard Error

## منابع

- رضائی، م.، نهتانی، م.، مقدم‌نیا، ع.، آبکار، ع. و رضایی، م.، ۱۳۹۴. مقایسه روش‌های شبکه عصبی مصنوعی و SDSM در ریزمقیاس کردن اندازه بارش سالانه شبیه‌سازی شده با HadCM3. مجله مهندسی منابع آب، شماره ۸، ص ۲۵-۴۰.
- رضایی، م.، نهتانی، م.، آبکار، ع. و میرکازهی‌ریگی، م.، ۱۳۹۳. بررسی کارایی مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM در پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)، پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، شماره ۱۰، ص ۱۱۷-۱۳۱.
- صالح‌نیا، ن.، علیزاده، ا.، ثنایی‌نژاد، ح.، بنایان، م. و زرین، ا.، ۱۳۹۷. بررسی خروجی مدل‌های پیش‌بینی عدی تحت سناریوی RCP4.5 در پیش‌بینی خشکسالی‌های هواشناسی، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، شماره ۶، ص ۱۳۱۵-۱۳۲۶.
- عساکره، ح. و اکبرزاده، ی.، ۱۳۹۶. شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری SDSM و خروجی مدل CANESM2. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۱، ص ۱۵۳-۱۷۴.
- غنچه‌پور، د.، سعدالدین، ا.، بهره‌مند، ع.، جیکمن، ا. و سلمان‌ماهینی، ع.، ۱۳۹۸. به کارگیری روش غربالگری کمی در مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) برای ایجاد سناریوهای تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه رودخانه گرگان‌رود)، اکوهیدرولوژی، شماره ۲، ص ۳۹۷-۴۱۴.
- اشرف، ب.، موسوی‌بایگی، م.، کمالی، غ. و داوری، ک.، ۱۳۹۰. پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HadCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۴، ص ۹۴۵-۹۵۷.
- اصلاحی، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری در تبیین تغییرات اقلیمی شمال‌غرب ایران، رساله دکترای تخصصی، رشته جغرافیای طبیعی گرایش آب و هواشناسی، دانشگاه محقق اردبیلی.
- الوانکار، س.ر.، فتاحی، ا. و نظری، ف.، ۱۳۹۴. تأثیر تغییر اقلیم بر شدت و دوره بازگشت خشکسالی‌های ایران، دو فصلنامه تخصصی علوم و مهندسی آب، شماره ۱۱، ص ۴۵-۷۴.
- حمیدیان، م.، باعقیده، م. و عباس‌نیا، م.، ۱۳۹۵. ارزیابی تغییرات دما و بارش جنوب شرق ایران با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های مختلف گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۱-۲۰۹۹، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۱، ص ۱۰۷-۱۲۳.
- دهقانی‌پور، ا.، حسن‌زاده، م.، عطاری، ج. و عراقی‌نژاد، ش.، ۱۳۹۰. ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز)، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر.

قره‌سو در دوره‌های آتی تحت‌تاثیر تغییر اقلیم، نشریه آب و خاک (علم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲، ص ۳۱۵-۳۲۶.

-مسگری، ا.، حسینی، س.ا. و گودرزی، م.، ۱۳۹۵. مدل‌های آب و هواشناسی، چاپ اول، انتشارات آذرکلک، ۲۷۲ ص.

-فلاح‌قاهره، غ.، سروستان، ر. و خسرویان، م.، ۱۳۹۷. بررسی پارامترهای دما با استفاده از مدل ریزمقیاس‌نمایی آماری در طول دوره ۲۰۱۸-۲۰۹۹ (منطقه مورد مطالعه اهواز، آبادان و مسجدسلیمان، انسان و محیط زیست).

-گل‌محمدی، م. و مساح‌یوانی، ع.، ۱۳۹۰. بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه

-Charron, I., 2016. A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions. Ouranos, 86 p.

-Coulibaly, P. and Xiaogang, S., 2005. Identification of the Effect of Climate Change on Future Design Standards of Drainage Infrastructure in Ontario, 88 p.

-Choi, Y.W., Ahn, J.B., Suh, M.S., Cha, D.H. and Lee, D.K., 2016. Future Changes in Drought Characteristics over South Korea Using Multi Regional Climate Models with the Standardized Precipitation Index. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, v. 52, p. 209-222.

-Cheema, S.B., Rasul, G., Ali, G. and Kazmi, D.H., 2013. Introduction: *Pakistan Journal of Meteorology*, v. 8, p. 39-52.

-Charron, I., 2016. A Guidebook on Climate Scenarios: Using Climate Information to Guide Adaptation Research and Decisions. Ouranos, 86 p.

-Coulibaly, P. and Xiaogang, S., 2005. Identification of the Effect of Climate Change on Future Design Standards of Drainage Infrastructure in Ontario, 88 p.

-Diersing, N., 2009. Water Quality: Frequently Asked Questions, Florida Keys National Marine Sanctuary, 4 p.

-Diersing, N., 2009. Water Quality: Frequently Asked Questions, Florida Keys National Marine Sanctuary, 4 p.

-Giorgi, F., Christensen, J.H. and Hulme, M., 2001. Regional Climate Information Evaluation and Projections. *Climate*

*Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, 638 p.

-Endris, H., Omondi, P., Jain, S., Lennard, C., Hewitson, B., Chang'a, L., Awange, J.L., Dosio, A., Ketieme, P., Nikulin, G., Panitz, H., Büchner, M., Stordal, F. and Tazalika, L., 2013. Assessment of the Performance of CORDEX Regional Climate Models in Simulating East African Rainfall. *Journal of Climate*, v. 26, p. 8453-8475.

-Karamouz, M., Fallahi, M., Nazif, S. and Rahimi Farahani, M., 2009. "Long Lead Rainfall Prediction Using Statistical Downscaling and Artificial Neural Network Modeling." *Scientia Iranica*, v. 16, p. 165-172.

-Khan, M.S., Coulibaly, P. and Dibike, Y., 2006. Uncertainty Analysis of Statistical Downscaling Methods. *Journal of Hydrology*, v. 319, p. 357-382.

-Nury, A.H. and Alam, M.J.B., 2013. Performance Study of Global Circulation Model HADCM3 Using SDSM for Temperature and Rainfall in North-Eastern Bangladesh. *Journal of Scientific Research*, v.6, p. 87-96. <https://doi.org/10.3329/jsr.v6i1.16511>

-Ouhamdouch, S. and Bahir, M., 2017. Climate Change Impact on Future Rainfall and Temperature in Semi-Arid Areas (Essaouira Basin, Morocco). *Environmental Processes*, v. 4, p. 975-

- 990.
- S.Everitt, B. and Skrondal, A., 2010. The Cambridge Dictionary of Statistic, Fourth Edi, 480 p.
- Stocker, T.F., 2014. Climate Change 2013: The Physical Science Basis: Working Group. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 1530 p.
- Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A. and Farid, A., 2013. Using Drought Indices to Assess Climate Change Impacts on Drought Conditions in the Northeast of Iran (Case Study: Kashafrood Basin). Meteorological Applications, v. 20, p. 115-127.
- Sedaghatker, A. and Fattahi, E., 2008. Warning of Drought Indices in Iran. Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan, v. 11, p. 59-76.
- Semenov, M., Brooks, R.J., Barrow, E.M. and Richardson, C.W., 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG Stochastic Weather Generators for Diverse Climates. Climate research, v. 10, p. 95-107.
- Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M., 2002. sdsM — a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. Environmental Modeling & Software, v. 17, p. 147-159.