

صص ۱۸-۱

ارزیابی تغییرات دمای هوا و بارش در منطقه پربارش نیمه غربی ایران تحت شرایط تغییر اقلیم**سعدی عدلی**

دانشجوی دکتری اقلیم شناسی (تغییر اقلیم)، واحد علوم و پژوهشات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

قاسم عزیزی*

استادگروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیادانشگاه تهران، ایران

رضا برنا

دانشیار اقلیم شناسی گروه جغرافیا، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۷/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۴/۲۴

چکیده

پدیده تغییر اقلیم یکی از مسائل حیاتی برای بشر امروزی محسوب می‌شود. بررسی وضعیت دمای هوا و بارش در دومین منطقه پربارش کشور یعنی نیمه غربی؛ حائز اهمیت است. در پژوهش حاضر از داده‌های مشاهداتی ۵۱ ایستگاه هواشناسی منطقه به‌عنوان داده مبنا استفاده شد. برای دوره آینده تا افق ۲۰۶۱ از برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی کننده در گزارش پنجم تغییر اقلیم در دو الگوی واداشتی حد بالا و حد وسط، به‌صورت داده ریزمقیاس شده استفاده شد. برای بررسی روند تغییرات سری دمای هوا و بارش از آزمون ناپارامتری من-کندال استفاده شد. نتایج نشان داد که در دوره مبنا بر اساس آمار مشاهداتی، در بیشتر مناطق در سری و الگوی دمای هوای، روند افزایشی معنی‌داری وجود دارد. برای بارش نیز روند کاهشی معنی‌دار در بیشتر مناطق و شیب منفی در تمامی ایستگاه‌ها مشاهده شد. ارزیابی برون‌داد مدل‌ها در مقیاسه با دوره مبنا نشان داد که در مناطق غربی و زاگرسی کشور، کمینه و بیشینه‌های دمای هوا در دهه‌های آتی در الگوی حد بالا و حد وسط به ترتیب، ۳/۱ و ۱/۱ درجه سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت. بارش در بعضی از ایستگاه‌ها در ماه‌های فصل بهار به‌طور ناچیز افزایش خواهد یافت، اما در الگوی سالانه در بیشتر مناطق وضعیت بارش نسبت به دوره مبنا یا پایه کاهشی خواهد بود؛ بنابراین منطقه پربارش نیمه غربی در منطقه زاگرس ایران، با افزایش دمای هوا و کاهش بارش همراه خواهد بود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، بارش، دمای هوا، نیمه غربی، زاگرس، واداشت تابشی.**مقدمه**

پدیده گرمایش جهانی در حال وقوع و اقلیم در حال تغییر است (مسعودیان و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۶). پدیده تغییر اقلیم که ناشی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای به ویژه گاز دی‌اکسید کربن در جو می‌باشد، باعث تغییراتی در رژیم بارش،

میزان رواناب، سرعت باد و تابش خورشیدی رسیده به سطح زمین و دمای هوا می‌شود (محمد لو و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۲). تاثیرات منفی این پدیده بر سامانه‌های مختلف مانند منابع آب، کشاورزی و صنعت و غیره موجب نگرانی‌هایی برای جوامع بشری شده است. دما و بارش دو متغیر مهم در تعیین آب و هوای یک منطقه می‌باشند و تغییرات این دو متغیر نیز در سیستم‌های مختلف به‌طور مستقیم و غیر مستقیم تأثیر گذار هستند (جهانبخش اصل و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۰۸). تغییر در دمای هوا و الگوهای بارش تأثیر زیادی بر کمیت و کیفیت منابع آب بخصوص در مناطق خشک دارد (سلطانی محمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴). آشکار سازی تغییرات آب و هوایی از طریق پارامترهای اقلیمی دمای هوا و بارش حائز اهمیت است. یکی از مهم‌ترین رویکردها برای ارزیابی اثرات و پیش‌نگری تغییرات دمای هوا و بارش؛ استفاده از برونداد مدل‌های گردش کلی جو (GCM) می‌باشد. مدل‌های گردش کلی جو (GCM) قادر به شبیه‌سازی چرخه عمومی جو بوده و می‌توانند برای شبیه‌سازی جو - اقیانوس با مقیاس‌های گوناگون به کار گرفته شوند (محمد لو و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۵۶). این مدل‌ها می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط آینده را تحت سناریوهای مختلف تصویر سازی کنند (میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۹۳). مناطق مرتفع برف گیر و پربارش، یکی از مناطق حساس به تغییرات اقلیمی هستند. اهمیت دمای هوا و بارش و نقش مؤثر آن‌ها در منابع آبی برای آمادگی هر چه بیشتر جهت سازگاری با این پدیده، موجب توجه پژوهشگران مختلف بر مطالعات تغییر اقلیم شده است.

کریستنسن^۱ و همکاران (۲۰۰۴) اثرات تغییر اقلیم را بر روی حوضه رودخانه کلرادو آمریکا از نظر وضعیت دمای هوا و بارش بررسی کردند. نتایج نشان داده که دمای هوا و بارش در دوره آینده نسبت به دوره پایه به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت. های و ینگ^۲ (۲۰۱۲) به پیش‌نگری دمای هوا و بارش بر روی چین تحت سناریوهای واداشت تابشی و مدل‌های CMIP5 پرداختند. نتایج نشان داده که مدل‌های سری پنجم تغییر اقلیم از اعتبار بالاتری برخوردار می‌باشند. تحت این مدل‌ها و سناریوهای واداشت تابشی، دمای هوای منطقه در دوره آینده افزایش یافته و بارش‌ها در بیشتر مناطق سیر نزولی خواهد داشت. دنگ^۳ و همکاران (۲۰۱۳) تغییرات بارش بهاره و تابستانه برای دوره آینده بر اساس مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم در حوضه رودخانه یانگ تسه بررسی نموده‌اند. نتایج آن‌ها نشان داده که بارش دوره آینده در بهار به‌طور جزئی افزایش خواهد یافت؛ اما دمای هوا سیر افزایشی دارد. مقدار رواناب به تبع نیز تغییر خواهد یافت. هونگ^۴ و همکاران (۲۰۱۶) وضعیت دمای هوا و بارش را تحت شرایط تغییر اقلیم در کره جنوبی بررسی نمودند. نتایج نشان داده که درجه حرارت و بارش در دوره آینده تغییر خواهد یافت و با توجه به وضعیت تغییرات دمای هوا و بارش؛ مقدار بارندگی مؤثر نیز کاهش و نیاز آبی نیز افزایش چشمگیری خواهد یافت. شرسه‌ها^۵ و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی پیامدهای تغییر اقلیم بر روی منابع آبی در دلتای مکنونگ بر اساس سناریوهای واداشت تابشی (RCP) مشخص

1 - Christians
 2 - Hai & Ying
 3 - Deng
 4 - Hong
 5 - Shrestha

نمودند که بر اساس سناریوهای RCP4.5 and RCP8.5؛ درجه حرارت از ۱/۵ تا ۴/۹ درجه سانتی‌گراد در آخر قرن ۲۱ ام افزایش خواهد یافت. سینگ^۱ و همکاران (۲۰۱۹) بر اساس مدل‌های GCM و RCM به‌عنوان مدل‌های گردش کلی و منطقه‌ای جو و رویکرد ریزمقیاس نمایی؛ وضعیت بارش منطقه هندوستان را بررسی کردند. نتایج نشان داد که تحت شرایط تغییر پذیری روند معنی‌داری در بارش وجود دارد. تحت شرایط تغییر اقلیم بارش از نظر زمانی - مکانی با تغییرات معنی‌داری مواجه خواهد شد. گبرچوکس^۲ و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی پیامدهای تغییر اقلیم بر حوضه‌های آبخیز آفریقا را بررسی نمودند. نتایج نشان داده که در آفریقا دمای حداکثر هوا تا ۳/۷ درجه سانتی‌گراد و دمای حداقل تا ۲/۷ درجه در دوره آینده افزایش خواهد یافت. بارش نیز به‌صورت کاهش و افزایش ظاهر خواهد شد. داهال^۳ و همکاران (۲۰۲۰) پیامدهای تغییر اقلیم بر روی موجودیت منابع آب در حوضه آبخیز رودخانه کرنالی در نیپال بررسی نمودند. نتایج نشان داد که دمای هوا در منطقه افزایش خواهد یافت. مقدار بارش از روند معنی‌داری برخوردار نیست و تغییر پذیری بالایی دارد. تحت شرایط تغییر و سناریوهای واداشت تابشی دمای هوا و بارش در آینده تغییر خواهد یافت که برای حوضه‌های آبخیز پربارش حائز اهمیت است. احمدی و عزیززاده (۲۰۲۰) پیامدهای تغییر اقلیم بر اساس برونداد مدل‌های GCM و RCM را برای استان ایلام از نظر دمای هوا و بارش بررسی نمودند. نتایج نشان داد که بر اساس برونداد مدل‌های گردش کلی و منطقه‌ای تغییر اقلیم؛ دمای هوا و بارش در دوره آینده به ترتیب افزایش و کاهش خواهد داشت.

عباسی و همکاران (۱۳۸۹) به ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دمای هوا و بارش ایران در دهه‌های آینده پرداختند. نتایج مدل‌ها بیانگر افزایش دمای هوا در تمامی استان‌های کشور است. کاهش بارش نیز در بیشتر نقاط رخ خواهد داد. محمد لو و همکاران (۱۳۹۵) اثرات تغییر اقلیم بر دمای هوا و بارش در حوضه آبخیز باراندوز چای استان آذربایجان غربی بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای هوا نسبت به دوره پایه افزایش دارد و اما بارش در بعضی ماه‌های کاهش و در بعضی ماهها افزایش جزئی نشان می‌دهد. جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۵) تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای حوضه شهر چای ارومیه بررسی کردند. نتایج نشان داد که دمای هوا در دهه‌های آتی افزایش خواهد داشت و بارش تا ۹ میلی‌متر افزایش نشان می‌دهد. بهم خوردن توزیع زمانی بارش و افزایش دمای هوا حائز اهمیت است. نیکبخت شهبازی (۱۳۹۶) اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی و دما در حوزه آبخیز کارون ۳ را بررسی نموده است. نتایج نشان داده که میزان بارش در فصل بهار به‌طور ناچیز افزایش اما در فصول تابستان و پاییز کاهش خواهد داشت. دمای هوا نیز در دوره آینده نسبت به دوره گذشته با افزایش همراه خواهد بود. حصیر چیان و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی عملکرد مدل SDSM در بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش و دما پرداختند. نتایج نشان داد که در آینده میانگین دمای حداکثر و حداقل افزایش خواهد یافت و بارش در فصل بهار کاهش، اما در فصل پاییز افزایش خواهد یافت. افزایش دما ۵۲ درصد و بارش ۲/۷۶ درصد رخ خواهد داد. مطالعات میراکبری و همکاران (۱۳۹۷) برای ارزیابی کارایی مدل‌های سری CMIP5 در

¹ - Singh

² - Gebrechorkos

³ -Dahal

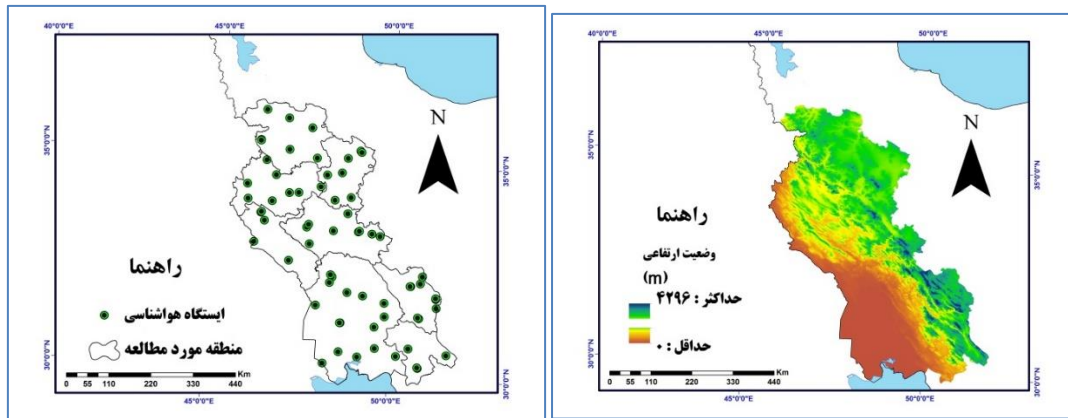
شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی دما و بارندگی نشان داده که میانگین دمای هوا در دوره آینده تحت سناریوهای RCP، افزایش خواهد یافت. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۸) با بررسی فصول دمایی ایران و تغییرات آن در دهه‌های اخیر، مشخص کردند که آغاز و پایان فصول دمای ایران زمین دستخوش تغییرات معنا داری شده است، این شرایط شواهدی بر رخنمود گرمایش بر ایران است. سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس گزارش‌های چهارم و پنجم تغییر اقلیم در استان اصفهان پرداختند. نتایج نشان داده که در بر طبق گزارش چهارم و پنجم تا آخر قرن بیست و یکم به ترتیب دما ۴/۴۹ و ۴/۱۹ درجه سانتی‌گراد افزایش و بارش نیز به میزان ۴/۶۸ درصد کاهش و ۱۱/۹۶ درصد افزایش خواهد یافت. دقت مدل‌های گزارش پنجم از گزارش چهارم بالاتر است. بررسی منابع پژوهش نشان داد که تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست کره در تمامی بخش‌های محسوب می‌شود. تغییرات در الگوهای دمای هوا و بارش به‌طور جدی بر روی چشم‌اندازهای طبیعی مختلف تأثیر جدی خواهد گذاشت.

بررسی‌ها نشان داد که مناطق مرطوب و برف گیر، از آسیب‌پذیری بالاتری در مقابل تغییرات اقلیمی برخوردار می‌باشند. دومین منطقه پربارش ایران (منطقه زاگرس و نیمه غربی) که ۴ میلیون هکتار جنگل بلوط را در خود جای داده است، یکی از منابع و ذخیره گاه‌های عمده آب شیرین و تأمین کننده آب سدهای بزرگ ایران در استان خوزستان می‌باشد. اهمیت حیاتی این زیست بوم وسیع و حیاتی در کشور؛ ضرورت مطالعات در زمینه ارزیابی تغییرات آب و هوایی و پیامدهای آن را آشکار می‌سازد. بررسی‌ها نشان داده که بیشتر مطالعات در مدل‌سازی تغییر اقلیم بر مبنای مدل‌های قدیمی بوده؛ اجرای مدل‌های به روز با داده‌های CMIP5 برای کاهش عدم قطعیت در آینده امری ضروری است؛ بنابراین پژوهش حاضر با هدف پیش‌نگری تغییرات دمای هوا و بارش بر اساس سناریوهای واداشت تابشی و مدل‌های گردش کلی جو در دومین منطقه پربارش ایران یعنی نیمه غربی کشور بررسی شده است.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

پژوهش حاضر محدوده سرزمینی استان‌های عمده واقع در نیمه غربی کشور: استان‌های کردستان، کرمانشاه، ایلام، همدان، خوزستان، لرستان، چهارمحال و بختیاری و کهگیلویه و بویراحمد را پوشش می‌دهد. این استان‌ها در واقع در داخل و مجاورت رشته کوه زاگرس واقع شده‌اند. همچنین در هشت حوضه آبخیز کوچک و بزرگ پوشش مشترک دارند؛ اما عمده‌ترین نقش را در حوضه‌های آبخیز جراحی و زهره در نیمه جنوبی، کارون بزرگ و کرخه در مرکزیت زاگرس، حوضه آبخیز مرزی غرب در نیمه غربی، نوار مرزی کشور، حوضه سفید رود و دریاچه ارومیه در بخش شمالی ایفا می‌کنند. شکل (۱) موقعیت جغرافیایی منطقه و توزیع ایستگاه‌های هواشناسی را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (استان‌های نیمه غربی کشور) و پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه

داده و روش پژوهش

در این پژوهش برای دوره مبنا از آمار مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد (جدول ۱). این آمار از بدو تأسیس ایستگاه‌ها تا ۲۰۱۵ میلادی از سازمان هواشناسی کشور به صورت روزانه تهیه و تنظیم گردید. بررسی وضعیت دمای هوا و بارش منطقه بر اساس آمار مشاهداتی تا حال حاضر انجام شد. برای ارزیابی دوره آینده و بررسی پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم از آمار دوره (۲۰۱۰ - ۱۹۸۵) به عنوان دوره مبنا یا پایه در جهت مقایسه دوره آینده تحت شرایط تغییر با دوره پایه استفاده شد.

در ابتدا بر اساس آمار مشاهداتی، وضعیت و روند تغییرات دمای هوا و بارش بر اساس روش ناپارامتری من - کندال برای ایستگاه‌های مورد مطالعه مشخص گردید. به منظور بررسی تغییر اقلیم دوره آینده، از مدل‌های فاز پنجم تغییر اقلیم در قالب گزارش پنجم و سناریوهای واداشت تابشی استفاده شد. در این راستا از پایگاه داده ریزمقیاس شده جهانی Mark SIMGCM برای شرایط دوره آینده استفاده گردید. این پایگاه به عنوان یک پایگاه تحت وب، داده شبیه‌سازی شده دوره آینده را بر اساس مدل CMIP5 در چهار خط سیر سناریوهای واداشت تابشی، از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۵ ارائه می‌نماید. پایگاه مذکور به عنوان یک ابزار مبتنی بر وب، با استفاده از مدل تصادفی مرتبه سوم مارکوف داده‌های دمای کمینه و بیشینه، بارش و تابش آفتاب به روزانه ریزگردانی می‌کند (تیرگر فاخری، ۱۳۹۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۸۷). مشخصات مدل‌های پیشنهادی انتخاب شده در پایگاه مذکور برای بررسی دوره آینده در جدول (۲) مشخص شده است. برای اعتبار سنجی از روش وزن دهی استفاده شد. دوره آینده در پژوهش حاضر به دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و آینده میانی (۲۰۴۱ - ۲۰۶۱) مشخص گردید. مدل‌های منتشر شده سری CMIP5 که در گزارش پنجم ارزیابی تغییر اقلیم استفاده شده‌اند؛ از عدم قطعیت پایین‌تر و تفکیک مکانی بیشتری نسبت به مدل‌های قبل برخوردارند. در گزارش پنجم تغییر اقلیم، برخلاف گزارش‌های قبل، بیشتر به جنبه‌های اقتصادی - اجتماعی تغییرات اقلیم و نقش آن در توسعه

پایدار و مدیریت ریسک پرداخته شده است (میراکبری و همکاران، ۱۳۹۷: ۵۹۳). در این پژوهش از پنج مدل پیشنهادی استفاده شده است (جدول ۲).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه پژوهش

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
سقز	۴۶ ۲۸	۳۶ ۲۳	فارسان	۵۰ ۵۸	۳۲ ۲۵
سندج	۴۷	۳۵ ۳۳	شهرکرد	۵۰ ۸۵	۳۲ ۳۱
قروه	۴۷ ۸	۳۵ ۱۶	بروجن	۵۱ ۲۸	۳۱ ۹۶
زرینه اوباتو	۴۶ ۹۳	۳۶ ۰۶	امام قیس	۵۱ ۳	۳۱ ۷۵
مریوان	۴۶ ۱۶	۳۵ ۵	لردگان	۵۰ ۸۳	۳۱ ۵
بیجار	۴۷ ۶	۳۵ ۸	یاسوج	۵۱ ۶	۳۰ ۶۵
پاوه	۴۶ ۳	۳۵ ۰۵	گجساران	۵۰ ۸۳	۳۰ ۳۳
روانسر	۴۶ ۶	۳۴ ۷	دوگنبدان	۵۰ ۸۱	۳۰ ۲۵
رزن	۴۹ ۰۳	۳۵ ۳۸	دهدشت	۵۰ ۵۶	۳۰ ۷۸
همدان نوژه	۴۸ ۶۸	۳۵ ۲	بهبهان	۵۰ ۲۳	۳۰ ۶
همدان فرودگاه	۴۸ ۵۳	۳۴ ۸۵	ابادان	۴۸ ۲۵	۳۰ ۳۶
کنگاور	۴۷ ۹۵	۳۴ ۵	شادگان	۴۸ ۶۶	۳۰ ۶۵
اسدآباد	۴۸ ۱۱	۳۴ ۷۸	ناصرالدین	۴۹ ۱	۳۳ ۵
ملایر	۴۸ ۸۱	۳۴ ۲۸	ازنا	۴۹ ۴۵	۳۳ ۴۵
بروجرد	۴۸ ۷۵	۳۳ ۹	الیگودرز	۴۹ ۶۸	۳۳ ۴
سرارود	۴۷ ۳۳	۳۴ ۳۳	پل زمانخان	۵۰ ۹	۳۲ ۴۸
کرمانشاه	۴۷ ۰۶	۳۴ ۳۱	کوهرنک	۵۰ ۱۱	۳۲ ۴۵
گیلانغرب	۴۵ ۹۱	۳۴ ۱۱	امیدیه	۴۹ ۶۵	۳۰ ۷۶
سرپل ذهاب	۴۵ ۸۶	۳۴ ۴۶	اهواز	۴۸ ۶۸	۳۱ ۳۳
اسلام‌آباد غرب	۴۶ ۶	۳۴ ۱	ایذه	۴۹ ۸۶	۳۱ ۸۳
ایوان	۴۶ ۳	۳۳ ۸۱	مسجد سلیمان	۴۹ ۲۶	۳۱ ۹۸
مهران	۴۶ ۱۶	۳۳ ۱۱	شوستر	۴۸ ۸۳	۳۲ ۰۵
دهلران	۴۷ ۱۶	۳۲ ۷۳	دزفول	۴۸ ۴	۳۲ ۴
کوهدهشت	۴۷ ۶۱	۳۳ ۵۳	صفی‌آباد	۴۸ ۳۳	۳۲ ۲۶
خرم‌آباد	۴۸ ۳۶	۳۳ ۴۸	بستان	۴۷ ۹۸	۳۱ ۷۱
پل‌دختر	۴۷ ۷۱	۳۳ ۱۵			

مأخذ: نگارندگان

برای سنجش مدل‌های پیشنهادی از نظر شبیه‌سازی رفتار آب و هوای دوره آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی، از روش وزن دهی استفاده شد. در این روش بر برون‌داد مدل‌های در مقایسه با دوره مینا وزن داده می‌شود. هر مدلی که وزن بالاتری در مقایسه با آب و هوای دوره مینا کسب کند، جزو مدل‌های توانمندتر مشخص می‌شود.

$$W_{i,j} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n (1/\Delta_{i,j})} \Delta F_{i,j} \quad (1)$$

در رابطه فوق F متغیر هواشناسی مورد بررسی، ΔF اختلاف بین متغیر شبیه‌سازی شده تحت سناریوهای مختلف با مقدار مشاهداتی در دوره پایه و W وزن شبیه‌سازی‌های هر مدل گردش عمومی جو برای سناریوی مورد نظر می‌باشد. i و z به ترتیب نشان دهنده ماه و مدل گردش عمومی جو می‌باشد (باباییان و کوهی، ۱۳۹۱: ۹۵۶؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۸۹). در ادامه بر اساس شاخص‌های خطا سنجی، R ، $RMSE$ ، MBE و MAE عملکرد مدل‌های پیشنهادی در مقایسه و تطبیق با داده دوره مبنای بررسی شد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{n} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)}{n} \quad (۴)$$

$$R^2 = \frac{\left(\sum (P_i - \bar{P})(O_i - \bar{O}) \right)^2}{\sum (P_i - \bar{P})^2 \sum (O_i - \bar{O})^2} \quad (۵)$$

در روابط فوق، P_i مقدار برآورد شده و O_i مقدار اندازه‌گیری شده، \bar{P} میانگین مقادیر برآورد شده، \bar{O} میانگین مقادیر اندازه‌گیری شده و n برابر تعداد مقایسه‌ها می‌باشد. مقدار آماره $RMSE$ همواره مثبت بوده و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد بهتر است. مقدار R^2 از صفر تا یک تغییر می‌کند و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد نشان دهنده برازش بهتر داده‌ها می‌باشد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۸۷).

جدول ۲: مشخصات مدل‌های CMIP5 استفاده شده در پژوهش

نام مدل	تفکیک فضایی	نام موسسه یا آژانس تهیه‌کننده	کشور تهیه‌کننده مدل	فاز CMIP
CanENM2	۲٫۸ & ۲٫۸	مرکز کانادایی مدل‌سازی آب و هوا	کانادا	۵
HadGEM2-ES	۱٫۸ & ۱٫۴	مرکز هدلی	بریتانیا	۵
CNRM-CM5	۱٫۴ & ۱٫۴	مرکز ملی مطالعات هواشناسی	فرانسه	۵
MPI-ESM-LR	۱٫۸ & ۱٫۸	موسسه ماکس پلانک آلمان	آلمان	۵
BCC-CSM1-1	۲٫۸ & ۲٫۸	مرکز آب و هوای بیجینگ	چین	۵

مأخذ: دنگ و همکاران، ۲۰۱۳

بحث و یافته‌ها

واسنجی مدل‌های پیشنهادی تغییر اقلیم

نتایج اعتبار سنجی مدل‌های پیشنهادی در منطقه پژوهش بر اساس روش وزن دهی در جدول (۳) مشخص شده است. نتایج نشان داد که مدل CNRM-CM5 از وزن بالاتری نسبت به دیگر مدل‌های برخوردار می‌باشد. مدل مذکور از تفکیک مکانی بالاتری نسبت به دیگر مدل‌های برخوردار است. به‌طور کل مدل‌های پیشنهادی از وزن نسبتاً بالایی برخوردار بوده اما مدل مذکور در تطبیق برون‌داد مدل از شبیه‌سازی دوره آینده با دوره مبنای از وزن بالاتر و رفتار بهتری برخوردار می‌باشد.

جدول ۳: نتایج واسنجی مدل‌های CMIP5 بر اساس روش وزن دهی

BCC-CSM1-1	MPI-ESM-LR	CNRM-CM5	HadGEM2-ES	CanENM2	
۰/۲۴	۰/۲۵	۰/۳۰	۰/۲۷	۰/۲۸	حداقل دما
۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۲۸	۰/۲۷	حداکثر
۰/۲۳	۰/۲۱	۰/۲۷	۰/۲۲	۰/۲۵	بارندگی

مأخذ: نگارندگان

با توجه به عدم قطعیت‌هایی که بر دوره آینده حاکم است؛ در ادامه بر اساس شاخص‌های خطا سنجی متداول، عملکرد شبیه‌سازی مدل CNRM-CM5 با داده دوره مبنای مقایسه و تطبیق داده شد. نتایج نشان داد که عملکرد مدل در شبیه‌سازی دوره آینده تحت شرایط تغییر و سناریوهای RCP، در سطح قابل قبولی قرار دارد. مدل مذکور در شبیه‌سازی دمای هوا برای مؤلفه‌های دمای حداقل و حداکثر از عملکرد بالاتری برخوردار است. در شبیه‌سازی بارش به دلیلی سازوکار بارش؛ از عملکرد ضعیف‌تری نسبت به دمای هوا برخوردار می‌باشد. برای دمای حداقل و حداکثر به ترتیب همبستگی ۰/۹۷ و ۰/۹۸ بین داده شبیه‌سازی شده و داده مشاهداتی وجود دارد. ریشه میانگین مربع خطاها RMSE برای دمای حداقل و حداکثر، ۲/۷۱ و ۲/۲ مشخص شد (جدول ۴)؛ بنابراین مدل مذکور در عملکرد دمای هوا قوی‌تر از بارش عمل می‌کند.

جدول ۴: نتایج ارزیابی شاخص‌های خطا سنجی بر برون‌داد مدل CNRM-CM5 در تطبیق با دوره مبنای

RMSE	MBE	MAE	R	نام مدل
۲/۷۱	۱۳/۴۹	۳/۴۰	۰/۹۷	حداقل دما
۲/۲	۱۴/۱۴	۴/۲۱	۰/۹۸	حداکثر
۱۲/۱۵	۲۱/۲	۸/۸	۰/۸۹	بارندگی

مأخذ: نگارندگان

وضعیت روند تغییرات دمای هوا و بارش در منطقه پژوهش بر اساس آمار دوره مبنا یا مشاهداتی

یکی از روش‌های سنجش تغییرات الگوی دمای هوا و بارش در گذر زمان، تحلیل روند است. در پژوهش حاضر بر اساس آمار مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی از بدو تأسیس تا ۲۰۱۵ میلادی، روند تغییرات دماهای کمینه و بارش سالانه در نیمه غربی بر اساس آزمون من - کندال بررسی شد. نتایج نشان داد که در کمینه دمای هوا در بیشتر نقاط، روند افزایشی معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد وجود دارد (جدول ۵). برای کمینه و بیشینه دمای هوا در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، روند افزایشی در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار مشاهده شد، اما برای پارامتر بارش در ایستگاه‌های مانند مهران، کرمانشاه، پل‌دختر، کوهرنگ، یاسوج، بهبهان و اهواز روند کاهشی بارش در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار مشاهده شد. همان‌طور که در شکل (۲) نیز مشخص شده، شیب و الگوی روند دماهای کمینه از بدو تأسیس ایستگاه‌های تا دوره حاضر، به‌صورت مثبت و افزایشی بوده است. در بعضی از استان‌های نیمه غربی میزان آماره آزمون من-کندال بزرگ‌تر و شیب روند افزایشی بیشتر است که می‌توان به استان‌های همدان، کهگیلویه و بویراحمد و ایلام اشاره نمود؛ بنابراین در منطقه پژوهش بر اساس آمار مشاهداتی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه، روند افزایشی معنی‌داری در الگوی دماهای کمینه وجود دارد.

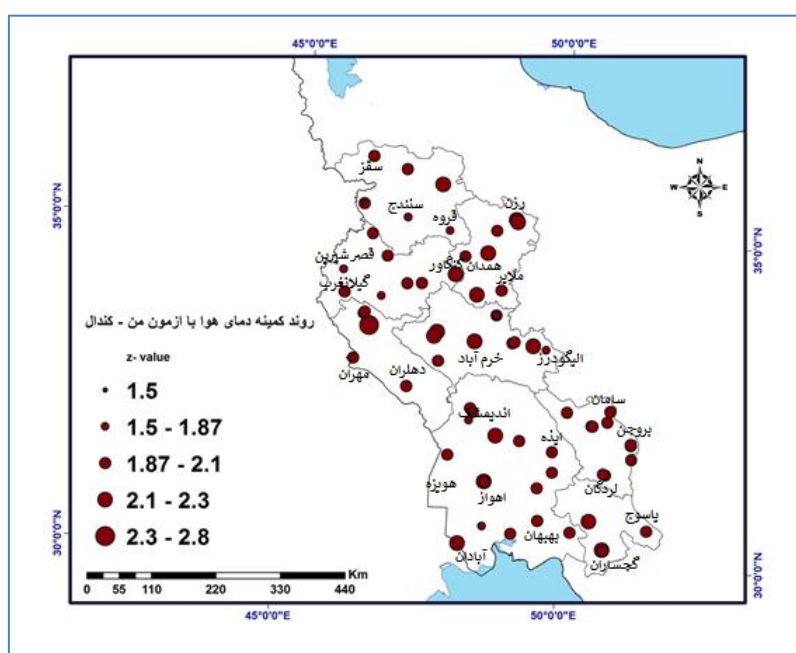
جدول ۵: روند تغییرات پارامترهای دمای هوا و بارش در نیمه غربی کشور

ایستگاه	کمینه دما	بیشینه دما	بارش	ایستگاه	کمینه دما	بیشینه دما	بارش
سقز	* ۲	۱/۶۵	* -۲	بروجن	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲
سنندج	۱/۸۷	۱/۵۴	-۱	امام قیس	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۷
قروه	۱/۸۷	۱/۵۴	-۱	لردگان	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹
زرینه اوباتو	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲	یاسوج	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۷
مریوان	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹	گچساران	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹
بیجار	* ۲/۳	* ۲/۴	* -۰/۸۵	دو گنبدان	* ۲/۲	* ۲/۳	* -۰/۸۹
پاوه	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲	ده دشت	* ۲/۳	* ۲/۴	* -۱/۹۶
روانسر	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹	بهبهان	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۷
رزن	* ۲/۳	* ۲/۴	* ۲/۵۸	آبادان	* ۲/۲	* ۲/۳	* -۰/۸۹
همدان فرودگاه	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹	شادگان	۱/۸۷	۱/۵۴	-۱
کنگاور	* ۲/۳	* ۲/۴	* ۲/۵۸	امیدیه	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲
اسدآباد	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۷	اهواز	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۷
ملایر	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹	ایذه	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲
بروجرد	۱/۸۷	۱/۵۴	-۱	مسجد سلیمان	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹
سرارود	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲	شوشتر	* ۲/۳	* ۲/۴	* -۰/۸۵
کرمانشاه	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۷	دزفول	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲
گیلان غرب	* ۱/۹۹	* ۲/۵	* -۱/۹۹	صفی‌آباد	۱/۸۷	۱/۵۴	-۱
سرپل	۱/۸۷	۱/۵۴	-۱	بستان	* ۲/۱	* ۱/۹۹	* -۲/۲

							ذهاب
-۰/۸۹	*۲/۳	*۲/۲	ازنا	-۱	۱/۵۴	۱/۸۷	اسلام‌آباد غرب
-۱	۱/۵۴	۱/۸۷	الیگودرز	-*۲/۲	*۱/۹۹	*۲/۱	ایوان
-*۲/۲	*۱/۹۹	*۲/۱	پل زمانخان	-*۲/۷	*۱/۹۹	*۲/۱	مهران
-*۲/۷	*۱/۹۹	*۲/۱	کوهرنک	-*۱/۹۹	*۲/۵	*۱/۹۹	دهلران
-*۱/۹۹	*۲/۵	*۱/۹۹	فارسان	-۰/۸۹	*۲/۳	*۲/۲	کوهدشت
-۱	۱/۵۴	۱/۸۷	شهرکرد	-۱/۹۶	*۲/۴	*۲/۳	خرم‌آباد
-*۱/۹۹	*۲/۵	*۱/۹۹	ناصرالدین	-*۲/۷	*۱/۹۹	*۲/۱	پل‌دختر

** معنی در سطح ۰/۰۱ * معنی‌داری در سطح ۰/۰۵

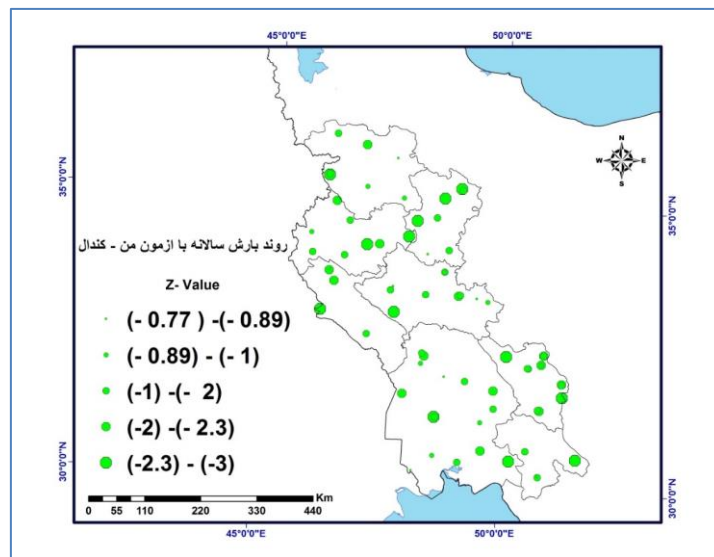
مأخذ: نگارندگان



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲: توزیع روند کمینه‌های دمای هوا در منطقه با آزمون من - کندال

نتایج بررسی روند بارش سالانه ایستگاه‌های مورد مطالعه در منطقه پژوهش در شکل (۳) مشخص شده است. نتایج نشان می‌دهد که در الگوی بارش تمامی ایستگاه‌های نیمه غربی یک الگوی کاهشی نسبت به دهه‌های قبلی وجود دارد. هر چند در بعضی از ایستگاه‌ها روند کاهش بارش معنی‌دار نشد، اما شیب کاهشی و منفی بارش سالانه در این مناطق حائز اهمیت است. در بیشتر ایستگاه‌های واقع در استان‌های نیمه غربی، روند کاهشی با آماره بالاتر در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار مشاهده می‌شود. با توجه به نتایج آزمون من - کندال، بارش سالانه در مناطق پربارش نیمه غربی در دهه‌های اخیر نسبت به ابتدای دوره آماری با کاهش بارش مواجه بوده است.

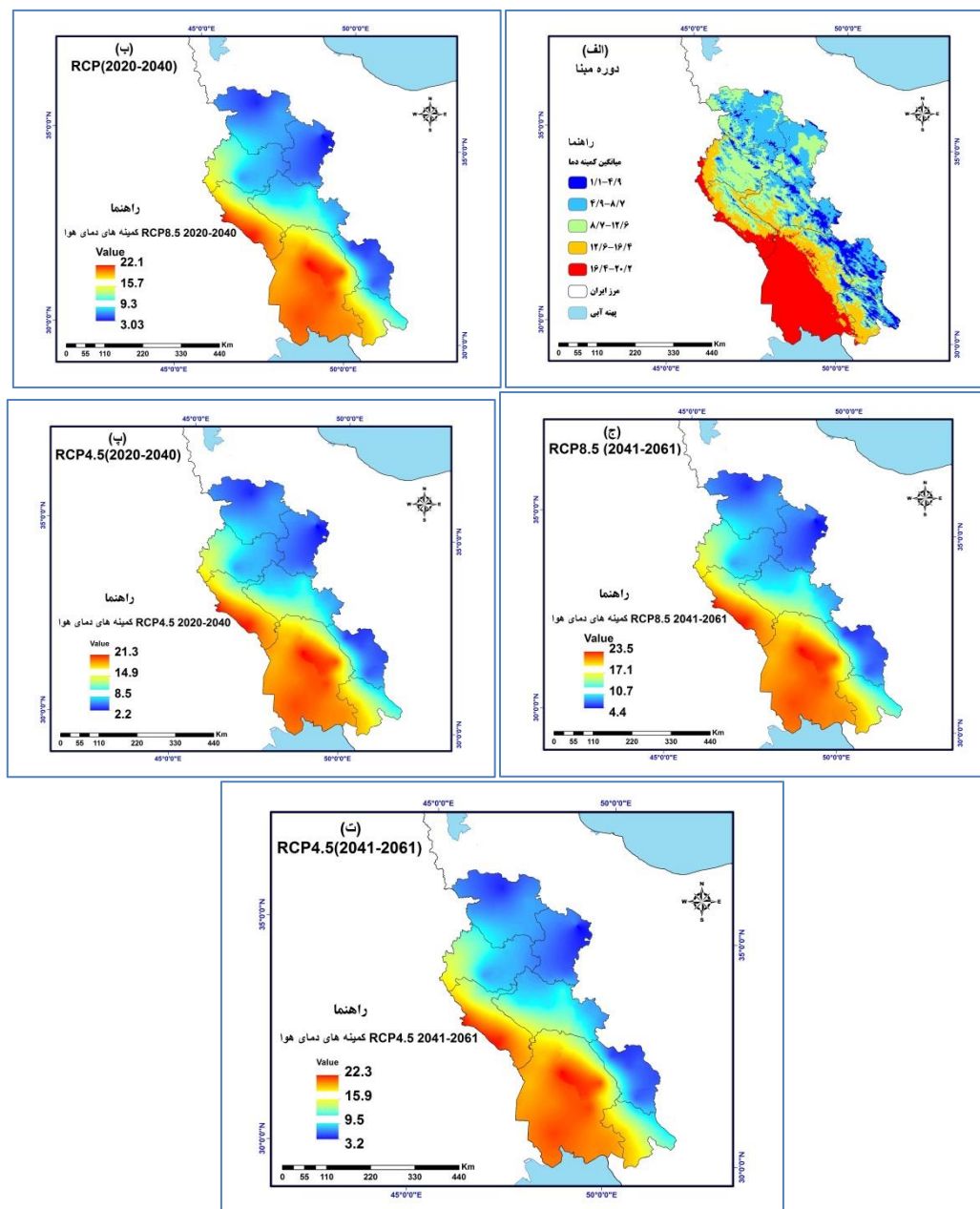


مأخذ: نگارندگان

شکل ۳: توزیع روند بارش سالانه در منطقه با آزمون من - کندال

بررسی چشم انداز کمینه دمای هوا

نتایج پیش‌نگری و مقایسه دگرگونی کمینه دمای هوا در دوره آینده نسبت به دوره مبنا در شکل ۴ مشخص شده است. بررسی‌ها نشان داد که توزیع مکانی کمینه دمای هوا تابع عامل مکانی ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. از نیمه غربی با چشم‌اندازی کم ارتفاع به سمت نیمه شرقی و مرتفع منطقه پژوهش از مقدار دماهای کمینه کاسته می‌شود. در واقع عامل ارتفاع نقش مؤثری در توزیع دماهای کمینه در این منطقه مرتفع از کشور ایفا می‌نماید. در دوره مبنا بررسی آمارها نشان داده که دمای کمینه از ۱/۱ درجه سانتی‌گراد در نقاط مرتفع و سردسیر زاگرس مرتفع تا ۲۰/۳ درجه سانتی‌گراد در نواحی کم ارتفاع نوار مرزی و نیمه جنوبی در خوزستان متغیر می‌باشد (شکل ۴ الف). در دوره آینده در الگوی واداشت تابشی حد بالا RCP8.5، در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۴۰) و دور (۲۰۴۱-۲۰۶۱)، مقدار کمینه دمای هوا نسبت به دوره مبنا افزایش خواهد یافت. همان‌طور که در شکل‌های (۴ ب و ۴ ج) مشخص شده، بر پهنه دماهای خنک‌تر و ملایم‌تر افزوده شده است. به‌طوری که کمینه‌ها در (۲۰۲۰-۲۰۴۰)، در مناطق مرتفع به میانگین ۳/۰۳ درجه سانتی‌گراد و در مناطق گرم‌تر به میانگین ۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد جابجا خواهد شد. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۱) با گذر زمان و فاصله بیشتر نسبت به دوره مبنا، این شرایط برای مناطق مرتفع و سردسیر و مناطق گرم‌تر به صورت ۴/۴ و ۲۳/۵ درجه سانتی‌گراد ظاهر خواهد شد (شکل ۴ ج). در الگوی واداشتی حد وسط RCP4.5، نیز افزایش کمینه دمای هوا با شدت کمتری نسبت به دوره مبنا رخ خواهد داد (شکل‌های ۴ پ و ۴ ت). در این الگو میانگین کمینه دمای هوا در دوره (۲۰۲۰-۲۰۴۰) در منطقه پژوهش در مناطق مرتفع ۲/۲ درجه سانتی‌گراد و در مناطق گرم‌تر به ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد تغییر خواهد یافت. در دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۱) این شرایط بین ۲/۳ و ۲۱/۳ درجه سانتی‌گراد جابجا خواهد شد؛ بنابراین در دوره آینده مقدار کمینه دمای هوا نسبت به دوره مبنا افزایش خواهد یافت و بر وسعت پهنه‌های با دماهای ملایم و گرم‌تر افزوده خواهد شد.



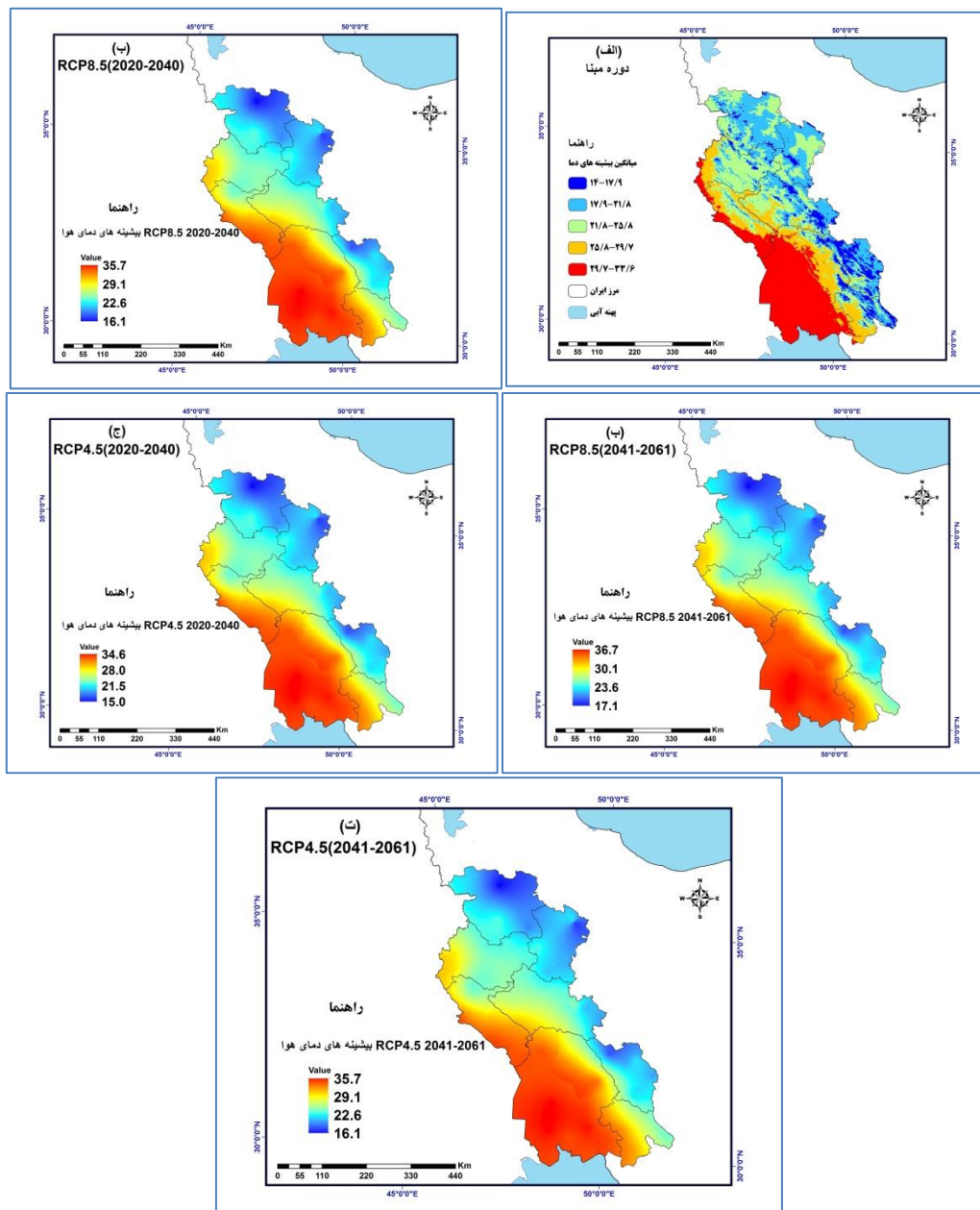
مأخذ: نگارندگان

شکل ۴: پیش‌نگری تغییرات کمینه دمای هوا در منطقه پژوهش در دوره آینده نسبت به دوره مینا

بررسی چشم‌انداز بیشینه دمای هوا

بررسی بیشینه دمای هوا در دوره آینده نسبت به دوره مینا در شکل ۵ مشخص شده است. توزیع مکانی بیشینه دمای هوا نیز از عامل ارتفاع از سطح دریا تبعیت می‌نماید. از نیمه غربی به سمت نیمه شرقی از مقدار بیشینه دمای هوا کاسته می‌شود. بررسی آمار دوره پایه نشان داد که بیشینه دما از ۱۴ درجه سانتی‌گراد در مناطق مرتفع تا ۳۳/۶ درجه سانتی‌گراد در مناطق کم ارتفاع و عرض‌های جنوبی متغیر است (شکل ۵ الف). در الگوی واداشتی حد بالا در دوره آینده نزدیک (۲۰۲۰ - ۲۰۴۰) میانگین بیشینه دمای هوا در مناطق سردسیر به ۱۶/۱ و در مناطق گرمسیری به ۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد

تغییر خواهد یافت (شکل ۵ ب). در دوره آینده دورتر (۲۰۴۱ - ۲۰۶۱) این شرایط به ۱۷/۱ و ۳۶/۷ درجه سانتی‌گراد تغییر خواهد یافت (شکل ۴ پ). در الگوی واداشتی حد وسط RCP4.5 این شرایط با شدت کمتر رخ می‌دهد. در دوره (۲۰۴۰ - ۲۰۶۰) در مناطق مرتفع میانگین بیشینه‌ها به ۱۵ درجه و در مناطق گرم به ۳۴/۶ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در دوره (۲۰۴۱ - ۲۰۶۱) به ۱۶/۱ و ۳۵/۷ درجه سانتی‌گراد جابجا خواهد شد (شکل ۵ ج و ۵ ث).



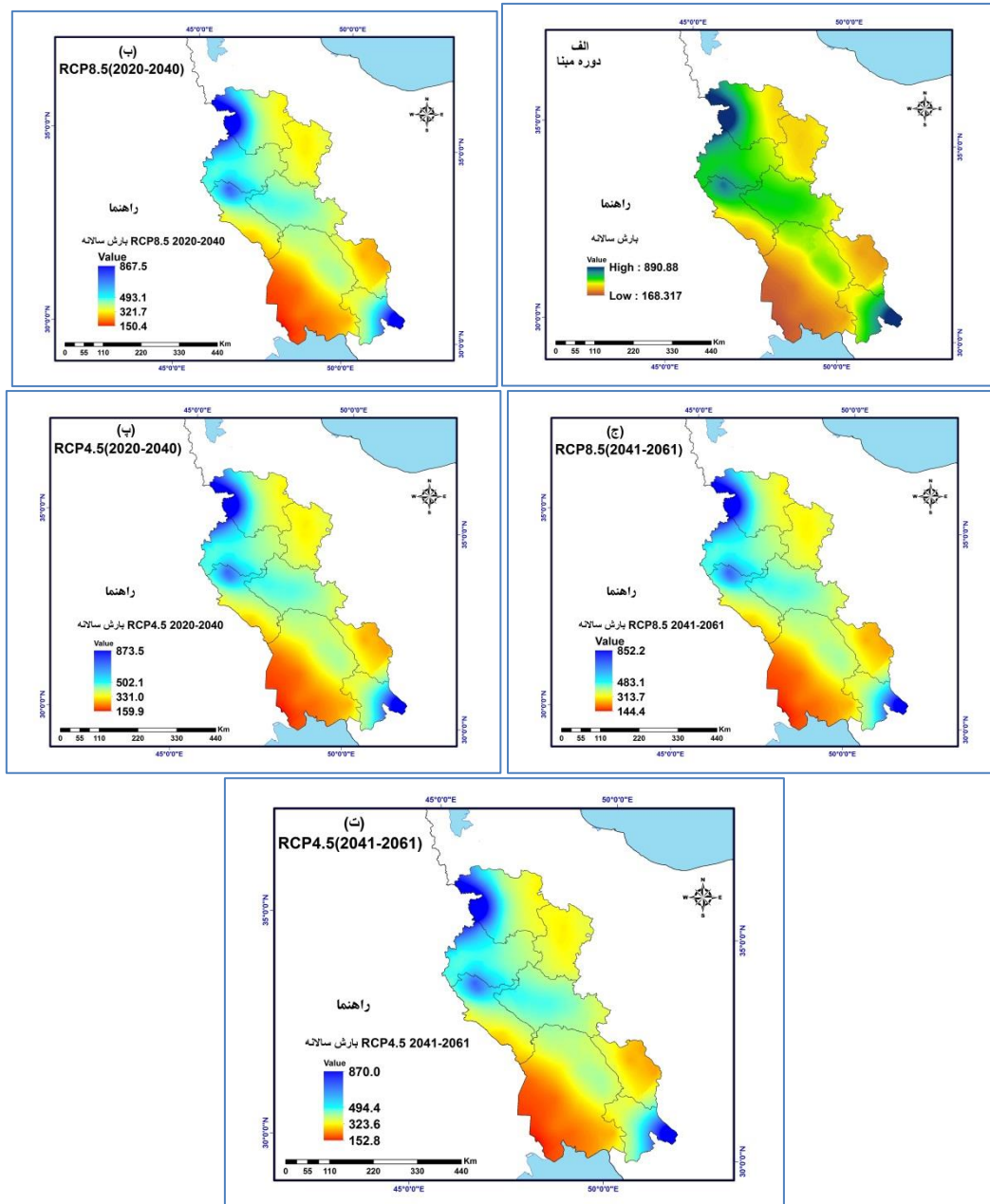
مأخذ: نگارندگان

شکل ۵: پیش‌نگری تغییرات بیشینه دمای هوا در منطقه پژوهش در دوره آینده نسبت به دوره مینا

بررسی چشم‌انداز بارش سالانه

بررسی بارش دوره مبنا و پایه نشان داده که توزیع مکانی بارش سالانه از عامل ارتفاع و عرض جغرافیایی تبعیت می‌کند. بارش سالانه در دوره پایه در مناطق زاگرس مرتفع ۸۹۰/۸ میلی‌متر تا ۱۶۳/۳ میلی‌متر در مناطق کم ارتفاع و گرمسیر در نوسان است. پربارش‌ترین مناطق در غرب استان کردستان و ارتفاعات دنا و نواحی مرتفع کرمانشاه و ایلام رخ می‌دهد. در دوره آینده در الگوی واداشتی حد بالا RCP8.5، مقدار بارش نسبت به دوره مبنا کاهش خواهد یافت. در بعضی از ماه‌های فصل پاییز و بهار مقدار بارش به‌طور جزئی نسبت به دوره مبنا افزایش ناچیزی خواهد داشت؛ اما در الگوی کلی مقدار بارش سالانه نسبت به دوره مبنا کاهش خواهد یافت. در الگوی واداشتی حد بالا (۲۰۴۰ - ۲۰۲۰)، مقدار بارش در مناطق مرطوب مقدار بارش سالانه به ۸۶۷/۵ میلی‌متر و در مناطق گرمسیری به ۱۵۰/۴ میلی‌متر کاهش خواهد یافت (شکل ۶ ب). در دوره (۲۰۴۱ - ۲۰۶۱) در مناطق مرطوب به ۸۵۲/۲ و در مناطق گرمسیری به ۱۴۴/۴ میلی‌متر کاهش خواهد یافت (شکل ۶ ج). در الگوی حد وسط RCP4.5 نیز مقدار بارش نسبت به دوره مبنا در بیشتر مناطق نیمه غربی کاهش خواهد یافت. در این الگو در دوره (۲۰۴۰ - ۲۰۲۰) در مناطق مرطوب مقدار بارش به ۸۷۳/۳ میلی‌متر و در مناطق گرمسیری به ۱۵۹/۹ میلی‌متر کاهش خواهد یافت. در دوره (۲۰۴۱ - ۲۰۶۱) در مناطق مرطوب به ۸۷۰ میلی‌متر و در مناطق گرمسیری به ۱۵۲/۸ میلی‌متر کاهش خواهد یافت (شکل ۶ ت).

به‌طور کلی مقدار بارش سالانه نسبت به دوره مبنا کاهش خواهد یافت. بر محدوده با بارش کمتر افزوده خواهد شد. به‌جز مناطق مرتفع به دلیل نقش سد‌کنندگی در مقابل توده‌های باران‌زا؛ در بیشتر مناطق بخصوص مناطق نیمه شرقی مانند استان‌های همدان و کردستان از مقدار بارش کاسته خواهد شد. از طرف دیگر در دوره آینده تحت شرایط تغییر بر پهنه با بارش کمتر افزوده خواهد شد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: پیش‌نگری تغییرات بارش سالانه در منطقه پژوهش در دوره آینده نسبت به دوره مبنا

در تأیید مطالعات محمد لو و همکاران (۱۳۹۵) مقدار دمای هوا در دوره‌های آبی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. همچنین هر چند بارندگی در دوره‌های آبی در بعضی از مدل‌ها در ایام پاییز و فصول بهار به صورت ناچیز افزایش خواهد یافت، اما افزایش دمای هوا و افزایش تبخیر - تعرق بر روی آن تأثیر می‌گذارد. به‌طور کل بارش در الگوی سالانه بیشتر کاهش خواهد بود. در تأیید مطالعات جهانبخش و همکاران (۱۳۹۵) بارش در دهه آبی میانی نسبت به دوره پایه کاهش خواهد یافت اما دمای کمینه و بیشینه افزایش بالاتری خواهند داشت. همچنین در تأیید مطالعات سلطانی محمدی (۱۳۹۸) نتایج مدل‌های گزارش پنجم بالاتر از گزارش چهارم است. نتایج این بخش در تأیید مطالعات بابائیان و

همکاران (۱۳۹۸) است. مطالعات آن‌ها در بررسی وضعیت تغییر اقلیم ایران بر اساس مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم نشان داده که در نیمه غربی و جنوبی غربی به‌عنوان مناطق زاگرس کشور؛ در آخر قرن حاضر مقدار دمای هوا افزایش یافته و مقدار بارش کاهش قابل توجهی خواهد داشت. همچنین منطقه زاگرس به‌عنوان یکی از مناطق بارشی عمده در کشور؛ با کاهش شدید مواجه خواهد شد. مطالعات احمدی و همکاران (۱۳۹۸) در بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بارش فصلی مناطق سردسیر ایران نشان داده که کانون مناطق پربارش زاگرس مرتفع و جنوب غرب ایران؛ به مناطق عرض‌های بالاتر جابجا خواهد شد. در تأیید مطالعات و ینگ (۲۰۱۲) توانمندی و عملکرد مدل‌های سری پنجم تغییر اقلیم (CMIP5) حائز اهمیت است.

بنابراین در تأیید و تکمیل مطالب انجام شده در داخل کشور؛ پدیده تغییر اقلیم بر مناطق مختلف کشور اثرگذاری جدی خواهد داشت؛ اما در مناطق مرطوب زاگرس به‌عنوان دومین منطقه پربارش کشور، مقدار دمای هوا و بارش به ترتیب افزایش و کاهش خواهد یافت؛ بنابراین ارائه راهکارهای سازگارانه در جهت کاهش آثار سوء حائز اهمیت است.

نتیجه‌گیری

پیش‌نگری تغییرات دمای هوا و بارش در منطقه پربارش نیمه غربی بر اساس داده‌های مشاهده‌ای و برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی کننده در الگوهای واداشتی مختلف بررسی شد. بررسی داده‌های مشاهده‌ای ثبت شده نشان داد که در سری کمینه دمای هوا در منطقه پژوهش، روند افزایشی معنی‌داری وجود دارد. برای بارش نیز روند کاهشی معنی‌دار در بیشتر مناطق بخصوص مناطق پربارش زاگرس مرتفع و شیب منفی در بیشتر ایستگاه‌ها مشاهده گردید. توزیع مکانی دمای هوا و بارش نشان داد که در منطقه مورد مطالعه، عامل مکانی ارتفاع از سطح دریا نقش مهمی در وضعیت اقلیمی و شرایط دمای هوا و بارش ایفا می‌نماید. برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی کننده نشان داد که چشم‌انداز دمای هوا در قالب کمینه و بیشینه دمای هوا؛ در الگوی حد بالا و حد وسط واداشت تابشی نسبت به دوره مبنا با افزایش همراه خواهد بود. از طرفی دیگر محدوده و پهنه‌های با دمای بالا از نیمه جنوبی و غربی به سمت نیمه شرقی و مرتفع‌گسترش خواهد یافت. این افزایش در کمینه و بیشینه دمای هوا برای مناطق مرتفع و سردسیر نیمه شمالی و شرقی منطقه پژوهش؛ حیاتی‌تر از نیمه گرمسیری منطقه است؛ زیرا هرگونه افزایش دمای هوا بر وضعیت منابع آبی مناطق سردسیر تأثیر جدی خواهد داشت. برون‌داد مدل‌های شبیه‌سازی کننده از وضعیت بارش برای منطقه مرتفع زاگرس و مناطق مجاور؛ حاکی از کاهش در مقدار بارش‌ها می‌باشد. کانون پربارش جنوب غرب در زاگرس مرتفع، کاهش خواهد یافت. در بعضی از ماه‌های فصل پاییز و بهار مقدار بارش به‌طور جزئی نسبت به دوره مبنا افزایش ناچیزی خواهد داشت؛ اما در الگوی کلی مقدار بارش سالانه نسبت به دوره مبنا کاهش خواهد یافت؛ به‌طوری که در الگوی واداشتی حد بالا (۲۰۴۰ - ۲۰۲۰)، مقدار بارش در مناطق مرطوب مقدار بارش سالانه به ۸۶۷/۵ میلی‌متر و در مناطق گرمسیری به ۱۵۰/۴ میلی‌متر کاهش خواهد یافت؛

بنابراین اثرات تغییر اقلیم بر نیمه غربی به عنوان دومین منطقه پربارش در کشور و یکی از مناطق حیاتی از نظر منابع آبی و انرژی برق آبی جدی خواهد بود؛ اعمال برنامه‌های سازگارانه و مدیریت منابع آب حائز اهمیت است.

منابع

- ۱- احمدی، محمد، عزیزی، قاسم، کردوانی، پرویز. (۱۳۹۸). پیش‌نگری اثرات تغییر اقلیم بر درجه روزهای نیاز سرمایشی و گرمایشی در ایستگاه‌های منتخب استان ایلام، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱ (۲): ۳۰۰ - ۲۸۳.
- ۲- بابائیان، ایمان، کوهی، منصوره (۱۳۹۱). ارزیابی شاخص‌های اقلیم کشاورزی تحت سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه‌های منتخب خراسان رضوی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۶(۴): ۹۵۳-۹۶۷.
- ۳- تیرگر فاخری، فاطمه. (۱۳۹۶): ارزیابی رواناب ناشی از ذوب برف تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی.
- ۴- جهانبخش اصل، سعید، خورشید دوست، علی محمد، عالی نژاد، محمدحسین، پور اصغر، فرناز. (۱۳۹۵): تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل‌ها و سناریوهای اقلیمی (مطالعه موردی: حوضه شهر چای ارومیه). هیدروژئومورفولوژی، ۷: ۱۲۲-۱۰۷.
- ۵- سلطانی محمدی، عقیل، ملائی نیا، محمود رضا، عجم زاده، علی. (۱۳۹۸): بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش بر اساس گزارش‌های چهارم و پنجم IPCC (مطالعه موردی: استان اصفهان). نشریه علوم و مهندسی آبیاری، ۲ (۲): ۱-۱۶.
- ۶- محمد لو، محمد، حقی زاده، علی، زینی وند، حسین، طهماسبی پور، ناصر. (۱۳۹۵): ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر روند تغییرات دما و بارندگی حوضه آبخیز باراندوز چای در استان آذربایجان غربی با استفاده از مدل‌های چرخش عمومی جو. فصل‌نامه علمی - پژوهشی فضای جغرافیایی، ۱۶ (۵۶): ۱۶۸ - ۱۵۱.
- ۷- مسعودیان، سید ابوالفضل، دارند، محمد، ناظمی، گلاره. (۱۳۹۸): واکاوی فصول دمایی ایران زمین و وردایی آن طی دهه‌های اخیر. جغرافیا و توسعه، ۵۵: ۶۲ - ۴۵.
- ۸- میر اکبری، مریم، مصباح زاده، طیبیه، محسنی ساروی، محسن، خسروی، حسن، مرتضایی فریزه‌ندی، قاسم. (۱۳۹۷): ارزیابی کارایی مدل سری CMIP5 در شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی بارندگی، دما و سرعت باد (مطالعه موردی: استان یزد). پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۰ (۳): ۶۰۹ - ۵۹۳.
- ۹- عباسی، فاطمه، بابائیان، ایمان، حبیبی نو خندان، مجید، گلی مختاری، لیلا، ملبوسی، شراره. (۱۳۸۹): ارزیابی تأثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش ایران در دهه‌های آینده با کمک مدل Magic-scengen. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۷۲: ۱۱۰-۹۱.
- ۱۰- نیکبخت شهبازی، علیرضا. (۱۳۹۵): ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر بارندگی و دما در حوزه آبریز سد کارون ۳. مجله محیط‌زیست و مهندسی آب، ۳ (۲): ۱۳۳-۱۴۳.

- 11- Ahmadi, H. Azizzadeh, J. (2020): The Impacts Of Climate Change Based On Regional And Global Climate Models (Rcms And Gcms) Projections (Case Study: Ilam Province). Modeling Earth Systems And Environment, 1-12.
- 12- Christensen, N.S.A.W. Wood Et Al. (2004): The Effects Of Climate Change On The Hydrology And Water Resources Of The Colorado River Basin, Climatic Change, 62(3): 337-363.

- 13- Dahal, P. Shrestha, M. L. Panthi, J. & Pradhananga, D. (2020): Modeling The Future Impacts Of Climate Change On Water Availability In The Karnali River Basin Of Nepal Himalaya. *Environmental Research*: 109-430.
- 14- Deng, H. Luo, Y. Yao, Y. Liu, C. (2013): Spring And Summer Precipitation Changes From 1880 To 2011 And The Future Projections From CMIP5 Models In The Yangtze River Basin, China. *Quaternary International*, 304: 95-106.
- 15- Gebrechorkos, S. H. Bernhofer, C. Hulsmann, S. (2019): Impacts Of Projected Change In Climate On Water Balance In Basins Of East Africa. *Science Of The Total Environment*, 682: 160-170.
- 16- Hai, X. C. Ying, X. (2012): The Projection Of Temperature And Precipitation Over China Under RCP Scenarios Using A CMIP5 Multi-Model Ensemble. *ATMOSPHERIC AND OCEANIC SCIENCE LETTERS*, 5 (6): 527-533.
- 17- Hong, E. M. Nam. W.H. Choi, J.Y. Pachepsky, Y.A. (2016): Projected Irrigation Requirements For Upland Crops Using Soil Moisturemodel Under Climate Change In South Korea. *Agricultural Water Management* 165: 163-180.
- 18- Shrestha, S. Bach, T.V. Pandey, V.P. (2016): Climate Change Impacts On Groundwater Resources In Mekong Delta Under Representative Concentration Pathways (Rcps) Scenarios. *Environmental Science & Policy* 61: 1-13.
- 19- Singh, V. Kumar Jain, S. Kumar Singh, P. (2019): Inter-Comparisons And Applicability Of CMIP5 Gcms, Rcms And Statistically Downscaled NEX-GDDP Based Precipitation In India. *Science Of The Total Environment* 697: 134163.