

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال نوزدهم، شماره ۵۵، زمستان ۹۸

مدل سازی و پیش بینی تغییرات مکانی هسته های بارشی در ایران

دریافت مقاله: ۹۷/۱/۱۴ پذیرش نهایی: ۹۷/۵/۲۶

صفحات: ۱۱۷-۱۳۳

محمد حسین ناصرزاده: استادیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: Nasserzadeh2100@yahoo.com

فریبا صیادی: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.^۱

Email: Sayadi.Fariba@yahoo.com

میثم طولابی نژاد: دانشجوی دکتری اقلیم شناسی، دانشکده علوم جغرافیایی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

Email: Meysam.toulabi@gmail.com

چکیده

این پژوهش با هدف شناخت جابجایی مکانی هسته های بارش به عنوان یک عامل تأثیرگذار در شرایط هیدرولوژیکی آینده ایران به انجام شد و از دو نوع پایگاه داده استفاده قرارگردید. نوع اول داده ها شامل بارش ماهانه ۸۶ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ و نوع دوم آنها داده های پیش بینی حاصل از خروجی مدل CCSM4 تحت سناریوهای سه گانه (RCP2.6, RCP4.5, RCP6) سال های ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۶ را شامل می شد. نقشه های آن نیز در محیط ARCGIS ترسیم گردید. نتایج بررسی ها نشان داد که هسته های بارشی در کل پهنه ایران در فصول چهارگانه تغییراتی با روند منفی در آینده خواهد داشت. به طوری که ضریب تغییرات بارش در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب برابر با ۶۱/۴، ۱۰۱/۴، ۵۸/۹ و ۵۵/۸ درصد در نوسان خواهند بود. نتایج حاصل از بررسی سناریو های سه گانه نشان داد که جابجایی هسته بارشی فصل بهار از سراسر نیمه شمالی کشور به منتهی الیه شمال غرب کشور در مرزهای مشترک ایران، ترکیه و ارمنستان (منطقه ماکو و جلفا) محدود شد اما در فصل تابستان، هسته پربارش سواحل شمالی و بخش هایی از شمال غرب کشور به منتهی الیه جنوب شرق کشور (اطراف خاش و سراوان) منتقل گردیده است. در فصل پاییز پهنه پربارش که در سراسر نیمه شمالی کشور قرار دارد به دو هسته مجزا در زاگرس مرکزی (مناطق دنا و زدکوه) و جنوب غرب خزر (منطقه انزلی و آستارا) تغییر مکان داده و هسته بارشی فصل زمستان از بخش های زاگرس مرکزی و ناحیه خزری به شمال غرب کردستان و جنوب غرب آذربایجان غربی انتقال یافته که این موضوع در تمام سناریوها وجود داشت. نکته دیگر اینکه، علاوه بر کاهش پهنه های بارشی، پهنه های خشکی مساحت بیشتری از کشور را شامل می شد.

کلیدواژگان: مدل سازی بارش، هسته های بارش، مدل CCSM، RCP، ایران.

۱. نویسنده مسئول: تهران، خیابان مفتاح، دانشگاه خوارزمی تهران، دانشکده علوم جغرافیایی، گروه اقلیم شناسی.

مقدمه

بارش به عنوان یکی از عناصر مهم دارای پیچیدگی های خاص و از متغیرترین عناصر اقلیمی است که مقدار آن در مکان پیوسته تغییر می کند. این عنصر آب و هوایی یکی از متغیرهای اساسی برای ارزیابی بالقوه منابع آب بوده اما توزیع زمانی مکانی آن بسیار ناموزون است. به همین دلیل توزیع منابع آب کشور نیز یکنواخت نیست. نگهداری و مدیریت منابع آب، تابعی از بارش دریافتی است و هم به تغییرپذیری بارش بستگی دارد. هرچه تغییرات مکانی بارش کوتاه تر باشد همگنی و یکدستی منابع آب بیشتر می شود. از سوی دیگر، هر چه تغییرپذیری زمانی بارش کمتر باشد منابع آب نیز باثبات تر خواهد بود و عرضه دائمی آب امکان پذیرتر می شود. به همین دلیل تغییرپذیری زمانی بارش در ارزیابی منابع آب آبخیزها و مطالعه ی نسبی منابع آب در مقیاس محلی و منطقه ای اهمیت زیادی دارد (طولابی نژاد، ۱۳۹۲: ۲۰). تفاوت های مکانی بارش در ایران بسیار زیاد است. این تفاوت ها از یک سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی گردد که تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می دهد. از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف ایران سبب شده است تا در هر منطقه مقدار بارش های جوی و زمان بارش متفاوت باشد (مسعودیان و کاویانی، ۱۳۸۷: ۸۱). پراکندگی جغرافیایی قلمرو رژیم های بارش نشان می دهد که تفاوت رژیم های بارش ایران عمدتاً متأثر از عرض جغرافیایی است. این خصوصیت زمانی آشکارتر می شود که از تفاوت های جزئی این رژیم های بارش چشم پوشی نموده و آن ها را در گروه های بزرگ تر دسته بندی کنیم (علیچانی، ۱۳۸۸: ۱۰۵). اما با بروز تغییرات اقلیمی این رژیم ها دستخوش تغییراتی در هسته های بارشی شده اند که به تبع منابع آب نیز دستخوش نوسان خواهد شد و ممکن است در آینده مشکلات فراوان انسانی و زیست محیطی به وجود آورد. از آنجاکه بارش ایران اندک است و مبنای زندگی ما در ایران با همین بارش اندک هماهنگ شده است، وجود روند کاهشی یا افزایشی در بارش به معنای تغییر شکل زندگی در ایران خواهد بود. بر همین اساس، به منظور سازگاری با این پدیده، جوامع علمی اقدام به ارائه راهکارهایی در زمینه های گوناگون کرده اند. برای شبیه سازی واکنش سیستم اقلیم زمین به دو برابر شدن گازهای گلخانه ای و تغییرات اقلیمی، از مدل های اقلیمی استفاده می شود که شرایط اقلیمی احتمالی در آینده را پیش بینی می کنند و متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارش، سرعت باد، فشار و... را برآورد می کنند. تغییر اقلیم آینده، به ویژه اثرات ترکیبی افزایش دما و بالا رفتن غلظت CO₂ جو، افزایش احتمال وقوع حوادث حدی (خشک سالی، سیلاب و یخبندان)، می تواند آثار فراوانی روی محصولات کشاورزی داشته باشد (Johston & Chiotti 1995, 336). از آنجاکه دستگاه اقلیم حاصل اندرکنش عناصر، عوامل و اجزاء مختلف اقلیمی است، تغییر در هر یک از این عناصر، عوامل و اجزاء باعث شکل گیری رفتارهای مختلف در این سامانه می شود (عساکره و صیادی، ۱۳۹۱: ۱). بارش یکی از عناصر تغییرپذیر در بعد زمان و مکان به شمار می آید لذا شناخت کامل و کافی از بارش دانشمندان را بر آن داشت که در دهه های اخیر بیشتر مطالعات خود را معطوف به پیش بینی و مدل سازی بارش با استفاده از مدل های ریزمقیاس نمایی-آماري نمایند. با شروع دهه ۲۰۱۰، CMIP5 سناریوهای جدید RCPS^۲ را پیشنهاد داد که در سال های اخیر تمرکز زیادی بر استفاده از

1- Coupled Model Intercomparison Project 5

2- Representative Concentration Pathways

آن ها شده است. سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت 2.6, 4.5, 6.8, 8.5 تقریباً با سناریوهای A₂ و B₁, A₁B مطابقت دارند (Moss et al, 2010, Plattner and Stocker, 2010, Van Vuuren et al, 2011, Taylor et al, 2001, Zhang et al, 2013, Kharin et al, 2014, IPCC, 2014, Muhire and Marengo et al, 2014). پیش بینی و شبیه سازی عناصر آب و هوایی به ویژه دما و بارش بر اساس ریزمقیاس نمایی مدل های گردش عمومی جو نیز مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور را به خود معطوف داشته است. برای مثال آلیسون^۲ و همکاران (۲۰۰۴) تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت تناوب سیلاب در انگلستان تحت خروجی های شبیه گردش عمومی HadRM3H و سناریوی انتشار A2 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که به رغم کاهش میانگین سالانه بارش در بیشتر دوره های بازگشت اکثر حوضه ها، تناوب سیلاب ها افزایش یافته است. گانگن^۳ و همکاران (۲۰۰۵) کاربرد مدل ریزمقیاس نمایی آماری در شبیه سازی داده های آب و هوایی در «کبک» کانادا را بررسی و به این نتیجه رسیدند که وقتی از داده های NCEP برای شبیه سازی استفاده می شود مدل شایسته و به هنگام استفاده از داده های CGCM1 مدل ناکارآمدی است و دما را کمتر از دمای مشاهده شده نشان می دهد. هارمسن^۴ و همکاران (۲۰۰۹) داده های بارش و دما در پورتوریکو را به صورت آماری و با استفاده از مدل گردش عمومی DOE/NCR PCM تحت سه سناریوی A₂, B₁ و A₁ ریزمقیاس نمودند و بر این باورند که فصل بارش مرطوب تر و فصل خشکی، خشک تر خواهد شد. ساوویگنت^۵ و همکاران (۲۰۱۰) مدل ریزمقیاس نمایی آماری را برای دما و بارندگی شمال شیلی در حوضه خشک، «ال کویی» آزمودند. نتایج نشان داد که این مدل برای دما مناسب ولی برای بارندگی ضعیف است. لیتیتوس^۶ و همکاران (۲۰۱۳) بر اساس مدل های گردش عمومی جو CGCM3 طبق سناریوی A₂ برای «شرواتر» در کانادا ۵ درجه سلسیوس افزایش دما را تا سال ۲۱۰۰ پیش بینی کردند. پروز^۷ و همکاران (۲۰۱۴) مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM را برای شبیه سازی بارندگی حوضه «گنگ» و «برهماپوترا» به کاربرند. نتایج تحقیق قهرمان و طباطبایی^۸ (۲۰۱۵) نشان داد که میزان بارش دوره رشد در پنج دهه آتی از ۲۰۲۱-۲۰۷۰ نسبت به بارش متوسط فعلی منطقه در دوره پایه ۱۹۹۱-۲۰۰۵ هر دو سناریو RCP4.5 و RCP8.5 تغییر چندانی نخواهد داشت. در سطح داخلی نیز مطالعاتی چند صورت گرفته، از جمله رضایی و همکاران (۱۳۹۳) با بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک کرمان و بم به این نتیجه رسیدند که این مدل در منطقه خشک نسبت به منطقه فراخشک از کارایی بالاتر و دقت قابل قبولی برای پیش بینی دما برخوردار است. محمدی و همکاران (۱۳۹۳)، اثر تغییر اقلیم بر زمان کشت و طول دوره رشد گندم دیم در منطقه سرارود کرمانشاه را با استفاده از سناریوی RCP4.5 در افق سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۳۹ شبیه سازی کردند. یافته ها نشان داد که در دوره آتی متوسط دما در

1-Intergovernmental Panel on Climate Change

2-Alison

3-Gagnon

4-Harmen

5-Souvignet

6-Lee Titus

7-Pervez

8-Ghahreman and Tabatabaei

تمامی ماه‌های سال، افزایشی بین ۱/۷ تا ۲/۵ تا درجه سانتی‌گراد داشته و تا پایان سال ۲۰۳۹ ادامه می‌یابد. نتایج نشان داد که تحت شرایط تغییر اقلیم در آینده، طول دوره رشد ۲۵ روز کوتاه‌تر خواهد شد و دوره زمانی مناسب برای کشت گندم دیم بین ۹-۲۰ روز کاهش خواهد یافت. در پژوهشی اسماعیلی و یزدان پناه (۱۳۹۳) وضعیت اقلیم آسایش گردشگری حال حاضر شهر اصفهان را با استفاده از مدل PET و در افق ۲۱۰۹-۲۱۱۴ با استفاده از مدل LARS-WG و مدل پیش‌بینی CCSM ۴ در غالب دو سناریوی انتشار A1B و B1، مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند. خروجی مدل نشان داد که تغییرات در دهه‌ی اول ماه آوریل، دهه دوم و سوم ماه سپتامبر و دهه اول و سوم ماه می مشاهده شده است و در بقیه ایام سال به‌غیر از اندکی تغییر در مقادیر PET، تغییر کلی در بازه اقلیم آسایشی ایجاد نشده است. حجازی زاده و همکاران (۱۳۹۴) به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو (Hadcm3) پرداختند. نتایج حاکی از این است که به‌طور کلی سناریوهای مورد استفاده در مدل HadCM3، قابلیت بالایی در شبیه‌سازی سری‌های زمانی متغیرهای هواشناسی در این استان را دارا می‌باشد. دشت بزرگی و همکاران (۱۳۹۴) با شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP نشان دادند که در وضعیت موجود (۲۰۱۲-۱۹۸۲) کمینه‌های دما (۲/۷۲+) نسبت به بیشینه‌های آن (۱/۲+) با سرعت تقریباً بیشتری در حال افزایش هستند؛ به‌طوری‌که این مسئله منجر به روند کاهشی شاخص DTR شده است و شبیه‌سازی روند تغییرات دما بر اساس سناریوهای RCP حاکی از آن است که در آینده (۲۰۵۰-۲۰۱۳) روند افزایش دما همچنان ادامه خواهد داشت. ریوندی و خطیبی (۱۳۹۴) برای پیش‌بینی و مدل‌سازی تغییرات اقلیمی برای منطقه خاورمیانه و ایران از مدل اقلیم جهانی CCSM برای سه‌ماهه زمستان ۲۰۱۶-۲۰۳۶ برحسب سناریوهای A1B و B و A2 با استفاده از پارامترهای دما و مجموع بارش ماهیانه بهره بردند. عساکره و شاه منصوری (۱۳۹۵) با بررسی و پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری به این نتیجه دست یافتند که دمای میانگین، کمینه و بیشینه اراک به ترتیب از ۱۳/۹۸، ۷/۱۱ و ۲۰/۸۳ تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴/۵، ۷/۸ و ۲۳/۲ درجه سلسیوس خواهد رسید. همچنین قهرمان و همکاران (۱۳۹۵)، با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی در استان خوزستان نشان دادند که، طول دوره رشد در سناریو RCP8.5 به شکل معنی‌داری برای تمامی ایستگاه‌ها کاهش نشان می‌داد.

بر اساس مطالعات انجام شده در طرح اطلس اقلیمی ایران در دوره ۱۹۶۱-۱۹۹۰ بیش از دو سوم وسعت کشور دارای میانگین سالیانه بارش کمتر از ۳۰۰ میلی متر می باشد، اما هسته‌های پربارش بالاتر از ۱۰۰۰ میلی متر در منطقه زاگرس و دامنه‌های شمالی البرز وجود دارد. تقریباً تمام نقاط استانهای شمالی گیلان و مازندران از میانگین سالیانه بیش از ۵۰۰ میلی متر برخوردارند. هسته‌های کم بارش کمتر از ۵۰ میلی متر در کویر لوت و دشت کویر قرار دارند (عسگری و رحیم زاده، ۱۳۸۴: ۶۸). بر همین اساس پژوهش حاضر بر آن است تا با به‌کارگیری مدل CCSM تغییرات هسته‌های بارش در پهنه ایران را برای دوره‌های آینده تحت سناریوهای واداشت تابشی (RCPs) بررسی و پیش‌بینی نموده تا با توجه به تغییرات اقلیمی حاصل از گرمایش جهانی بتوان تمهیدات لازم را در راستای مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب در ایران به عمل آورد.

روش تحقیق

با توجه به این که مدل های گردش عمومی جو (GCM) یکی از ابزارهای قدرتمند و مهم ارزیابی تغییرات آب و هوایی به شمار می روند ولی نکته اساسی در بکارگیری نتایج آن ها برای پیش بینی شرایط آب و هوایی در مقیاسی کوچک، مسئله عدم قطعیت است که این خود ناشی از ساختار و فیزیک گردش عمومی جو است (فولر و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۵۵۰). از طرفی چون نتایج آن ها قادر به ارائه اطلاعات در مقیاس محلی برای ارزیابی پدیده ها نیست بنابراین از روش ریزمقیاس نمایی استفاده شد تا اطلاعات را از داده های خروجی مدل گردش عمومی جو استخراج و خروجی را تولید کند که در حد یک ایستگاه قابل استفاده باشد. در واقع با این رویکرد این امکان فراهم شد تا با اتکا بر اصل پیوستگی داده ها و در نتیجه ارتباط آماری بین آب و هوا در مقیاس بزرگ و مقیاس منطقه ای و بهره گیری از خروجی های مدل گردش عمومی جو، متغیرهای آب و هوایی را در مقیاس کوچک پیش بینی کنیم.

برای انجام شبیه سازی و پیش بینی هسته بارش ایران از دو نوع داده استفاده گردید. نوع اول داده ها شامل داده های مشاهداتی مجموع بارش ماهانه ۸۶ ایستگاه سینوپتیک کشور، شکل (۱)، طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ به عنوان سال پایه و داده های پیش بین شامل داده های ریزمقیاس شده حاصل از خروجی مدل CCMM4 تحت واداشت های تابشی (RCPs) مندرج در جدول (۱) از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۶ مورد استفاده قرار گرفته و نهایتاً هسته های بارشی کشور با استفاده از نرم افزار ARC GIS با مدل کریجینگ پهنه بندی گردید.



شکل (۱). ایستگاه های مورد مطالعه

جهت ارزیابی تغییرات هسته‌های بارشی آینده کشور، از مدل تدوین شده مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا CCSM4^۱ تحت سناریوهای RCP استفاده شده است. مدل مذکور از مجموع سناریوهای جدید منتشره RCP است که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود (AR5^۲) از آن با عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای نام برده‌اند (Van Vuuren et al, 2011). این سناریوهای بر اساس مشخصات متفاوت سطح تکنولوژی، وضعیت اجتماعی و اقتصادی، خط‌مشی‌ها در آینده است که در هر شرایط می‌تواند منجر به سطح انتشار متفاوت گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی گردد (دشت بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲۵). CCSM یک مدل جفت شده جهانی آب و هوا^۳ (GCM) است که توسط مرکز ملی تحقیقات جوی^۴ (NCAR) با حمایت مالی بنیاد ملی علوم^۵ (NSF)، وزارت انرژی^۶ (DOE)، و سازمان ملی هوانوردی و فضا^۷ (NASA) توسعه یافته است. این مدل از پنج مدل جداگانه اتمسفری، اقیانوسی، زمینی، زمین-یخ و دریا-یخ، به اضافه یک مؤلفه ترکیبی مرکزی تشکیل شده است (Hoffman et al, 2006, 364). ورژن جدید این مدل CCSM4 است که قدرت تفکیک آن ۰/۹۴۶ درجه عرض در ۱/۲۵ درجه طول جغرافیایی می‌باشد که نسبت به ورژن ۳ این مدل (با ۱/۴ در ۱/۴ درجه قوسی) از قدرت تفکیک بالاتری برخوردار است.

این مدل از چهار بخش مختلف شکل گرفته است:

- ۱- مؤلفه فعال مدل: این مؤلفه بخش پویای مدل است که برای پیش آگاهی‌ها و تجزیه و تحلیل استفاده می‌شود. در واقع در این بخش وظیفه اجرا، آزمون، پارامتریک کردن و چرخش مدل را بر عهده دارد.
- ۲- مؤلفه داده: وظیفه این مؤلفه دریافت داده است.
- ۳- مؤلفه غیر فعال: این مؤلفه برای آزمون فنی مدل بکار می‌رود. در واقع این مؤلفه بخش غیر فعال مدل است که هیچگاه با بخش فعال مدل ترکیب نمی‌شود.
- ۳- مؤلفه رابط: این مؤلفه نقش رابط را داشته و در مواقعی کاربردی دارد که مدل نیازی به پیکر بندی ندارد.

1. Community Climate System Model V4

2. Assessment Report Fifth

3. Global System Model

4. National Center for Atmospheric Research

5. National Science Foundation

6. Department of Energy

7. National Aeronautics and Space Administration

جدول (۱): سناریوهای انتشار گازهای گلخانه ای و فرض های به کاررفته و مؤسسه های طراح آن

سناریو	مؤسسه طراح	فرض های سناریو
RCP8.5	این سناریو توسط تیم مدل سازی MESSAGE و مؤسسه بین المللی آنالیز دستگاه های کاربردی یاسا (IIASA) به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در اتریش توسعه و طراحی شد.	این سناریو بدون اتخاذ هیچ گونه سیاست های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب و هوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار پیش خواهد رفت؛ به طوری که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می گردد.
RCP6	این سناریو توسط تیم مدل سازی AIM در مؤسسه ملی مطالعات محیطی ژاپن	در این سناریو، واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری های جدید و سیاست های کاهش گازهای گلخانه ای ثابت مانده و اثر گازهای گلخانه ای بر واداشت های تابشی را تا ۶ وات بر مترمربع تخمین زده است.
RCP4.5	توسط تیم مدل سازی رصدخانه ملی شمال غرب آمریکا طراحی شده است	واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه ای، قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می ماند.
RCP2.6	این سناریو توسط تیم مدل سازی IMAGE از مؤسسه ارزیابی های محیطی هلند طراحی شده است.	مطابق این سناریو واداشت تابشی در اواسط این قرن به حدود ۳/۱ رسیده و سپس با کاهش به ۲/۶ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می رسد.

(منبع: هیئت بین الدول تغییر اقلیم: ۲۰۰۷، به نقل از حجازی زاده و طولابی نژاد، ۱۳۹۵)

نتایج

پیش بینی شرایط اقلیمی برای سال های آینده است، یعنی اینکه بدانیم وضعیت آب و هوایی مناطق مختلف جهان در سال های آینده چگونه تغییر خواهد کرد. بنابراین باید بتوان پارامترهایی را که بطور مستقیم یا غیر مستقیم در تغییر وضعیت آب و هوایی مؤثر می باشند را نیز پیش بینی کنیم. بدین منظور مدل های گردش عمومی جو (General Circulation Models) ابداع گردیدند. هر مدل اقلیمی تلاش می کند تا با استفاده از یکسری از سناریوهای تعریف شده، فرآیندهایی که روی اقلیم تاثیر می گذارند را شبیه سازی کرده و بر اساس آن برای سال های آینده پیش بینی کند (Manab, 1998; 183). در این تحقیق نیز جهت شناسایی و پیش بینی هسته های بارش ایران از مدل CCSM4 جهت تحت واداشت های تابشی (RCPs) پیش استفاده گردید. جدول (۱)

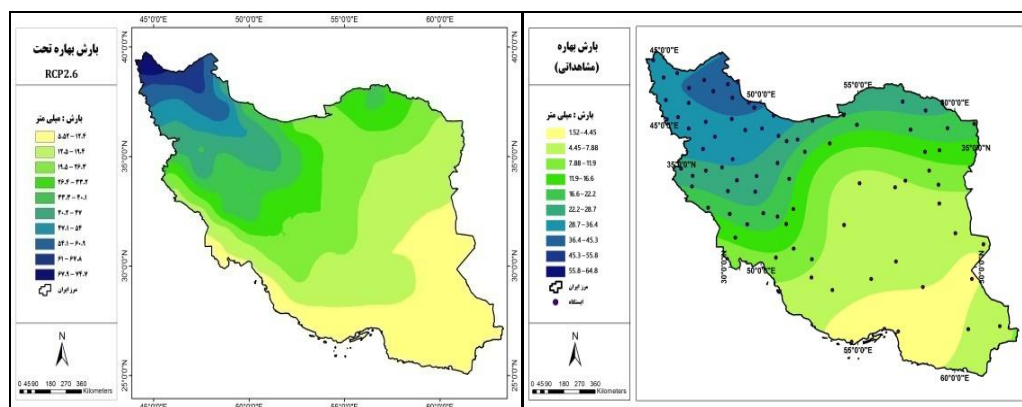
تغییرات هسته های بارش بهاره

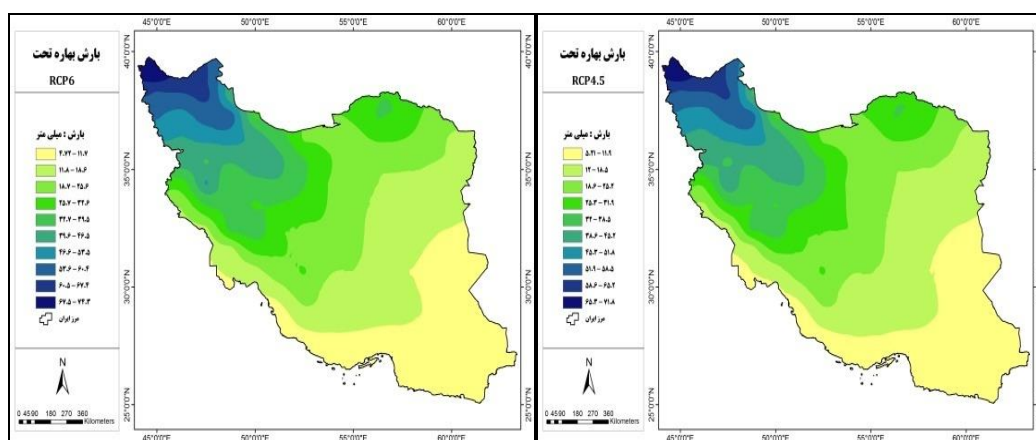
جدول (۲) مشخصات آماری بارش فصل بهار طی دوره پایه و پیش بین را نشان می دهد. با توجه به جدول، میانگین بارش در دوره مشاهداتی فصل بهار ۲۱/۲ میلی متر می باشد این در حالی است که تحت RCP های سه گانه این میزان کاهش پیدا می کند. حداکثر بارش در دوره پایه به میزان ۶۴/۸ میلی متر و در دوره پیش بین به مقدار ۷۴ میلی متر است که نشان دهنده افزایش بارش های فرین در آینده می باشد. همچنین کمترین مقدار بارش نیز به میزان ۲۲/۹ میلی متر مربوط به RCP4.5 است که این میزان نسبت به دوره مشاهداتی (پایه) بیشتر شده است.

جدول (۲): مشخصات فراسنج های آماری بارش بهاره در ایران

فراسنج	مشاهداتی	RCP2.6	RCP4.5	RCP6
میانگین	۲۱/۲	۲۴	۲۲/۹	۲۳/۴
حداکثر	۶۴/۸	۷۴/۷	۷۱/۹	۷۴/۴
حداقل	۱/۵	۵/۸	۵/۲	۴/۷
انحراف معیار	۱۴/۶	۱۴/۷	۱۳/۹	۱۴/۶
ضریب تغییرات	۶۸/۹	۶۱/۱	۶۰/۶	۳۴/۹
چولگی	۰/۶	۱/۱	۱/۱	۱/۲
کشیدگی	-۰/۱	۰/۸	۰/۹	۰/۹

شکل (۱) میانگین بارش مشاهداتی فصل بهاره را در طول دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵ نشان می‌دهد. با توجه به شکل بیش از نیمی از مساحت کشور دارای بارش کمتر از ۱۶/۶ میلی‌متر می‌باشد که بیان‌کننده این است میانگین بارش دریافتی در فصل بهار در بیشتر پهنه کمتر از میانگین بارش در فصول دیگر بوده است که با توجه به جدول (۱) این میزان برابر ۲۱/۲ میلی‌متر است. این در حالی است که بیشتر مناطق شمالی و غربی کشور در فصل بهار بارش بالاتر از ۳۰ میلی‌متر داشته‌اند. بر اساس شکل (۲) هسته‌های بارش بهاره ایران با ۶۵ میلی‌متر در غرب دریای خزر در محدوده بین استان‌های اردبیل و آذربایجان شرقی بین کوه سبلان و سهند و ارتفاعات تالش قرار دارد. اما طبق پیش‌بینی بر اساس مدل CCSM4 و تحت واداشت تابشی ۲،۶ هسته بارش بین ۶۷-۷۵ میلی‌متر به منتهی‌الیه شمال غرب کشور در مناطق جلغا و ماکو (مرز بین ایران و ارمنستان و ترکیه) منتقل شده است. همچنین بارش‌های بهاره طبق دو سناریو دیگر (۴/۵ و ۶) همانند سناریو ۲/۶ در منتهی‌الیه شمال غرب کشور قرار می‌گیرد اما از نظر مقدار بارش با یکدیگر اندکی اختلاف دارند؛ بطوریکه پهنه هسته‌های بارشی نسبت به داده‌های مشاهداتی از نظر گستردگی مساحت کمتری را پوشش می‌دهند. علاوه بر پهنه‌های بارشی، پهنه‌های خشکی در آینده نیز مساحت بیشتری از کشور را در بر گرفته است. اما مقدار بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی اندکی افزایش را نشان می‌دهد.





شکل (۱). تغییرات هسته های بارش طی فصل بهار در دوره پایه و پیش بین

تغییرات هسته های بارش تابستانه

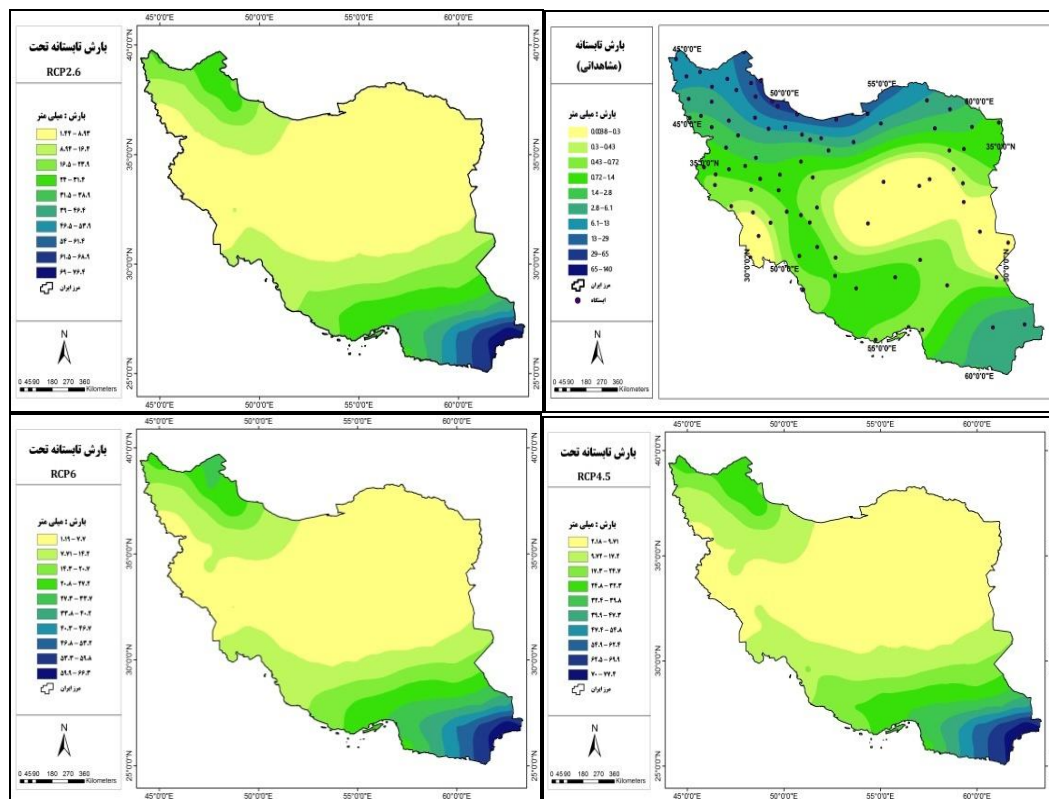
با توجه به جدول (۳) میانگین بارش در فصل تابستان در دوره مشاهداتی ۸/۴ میلی متر می باشد؛ این در حالی است که میانگین بارش در RCP های سه گانه کاهش چشمگیری داشته است. با توجه به جدول می توان گفت در آینده بارش فصل تابستان به میزان قابل توجه ای کاهش پیدا خواهد کرد که دلیل آن را در می توان تغییر اقلیم و به دنبال آن گرمایش جهانی جستجو کرد. حداقل بارش در فصل تابستان طی سناریوهای پیش بین مربوط به RCP6 می باشد که ۱۱/۹ میلی متر است.

جدول (۳): مشخصات فراسنج های آماری بارش تابستانه در ایران

فراسنج	مشاهداتی	RCP2.6	RCP4.5	RCP6
میانگین	۸/۴	۱۳/۷	۱۵	۱۱/۹
حداکثر	۱۴۴/۳	۷۶/۵	۷۷/۴	۶۶/۴
حداقل	۰	۱/۴	۲/۲	۱/۲
انحراف معیار	۲۴/۲	۱۴/۳	۱۴/۴	۱۲/۴
ضریب تغییرات	۲۸۹/۸	۱۰۴/۳	۹۵/۵	۱۰۴/۶
چولگی	۴/۲	۱/۲	۲	۲
کشیدگی	۱۸	۴/۷	۴/۶	۴/۳

همان طور که از شکل (۲) مشاهده می شود الگوی حاکم بر توزیع بارش تابستانه ایران طی دوره مورد مطالعه نشان می دهد که بارش ها به طور نامتوازی در گستره ایران پراکنده می باشد. بر اساس این شکل میانگین بارش تابستانه ایران ۴/۸ میلی متر می باشد. اما بر اساس سه سناریوی مورد استفاده در این تحقیق، میانگین بارش اندکی افزایش پیدا کرده است. بر طبق پیش بینی مدل CCSM4 و تحت واداشت تابشی ۲،۶ هسته بارش بین ۶۹-۷۶ میلی متر به منتهی الیه جنوب شرق کشور در مناطق خاش و سراوان منتقل شده است. هم چنین بارش های

بهاره طبق دو سناریو دیگر همانند سناریو ۲/۶ در منتهی‌الیه جنوب شرق کشور قرار می‌گیرد اما از نظر مقدار بارش سناریو ۴/۵ نیز همانند سناریو ۲/۶ دارای بارش یکسانی می‌باشند؛ به‌طوری‌که پهنه هسته‌های بارشی نسبت به داده‌های مشاهداتی از نظر گستردگی مساحت کمتری را پوشش می‌دهند. علاوه بر پهنه‌های بارشی، پهنه‌های خشکی در آینده نیز مساحت بیشتری از کشور را در بر گرفته است. اما مقدار بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی اندکی افزایش نشان می‌دهد.



شکل (۲). تغییرات هسته‌های بارش طی فصل تابستان در دوره پایه و پیش‌بین

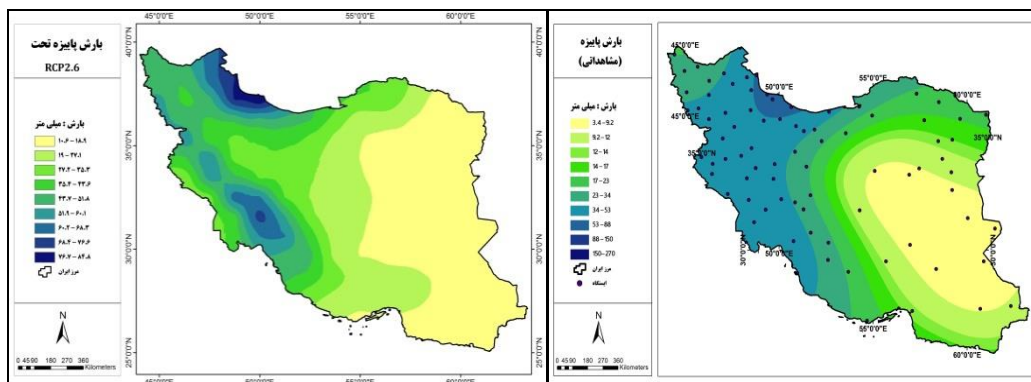
تغییرات هسته‌های بارش پاییزه

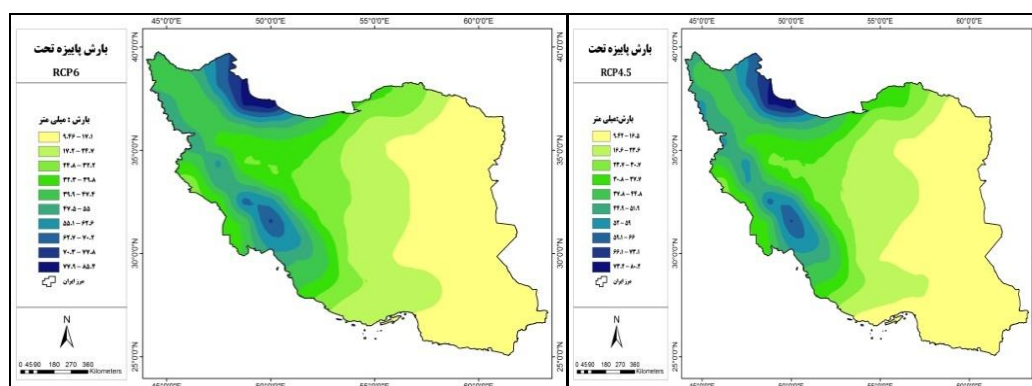
جدول (۴) مشخصات آماری بارش فصل پاییز نشان می‌دهد. میانگین بارش دوره مشاهداتی ۳۸/۹ میلی‌متر می‌باشد این در حالی است که میزان بارش طی پیش‌بینی RCPها کمتر از دوره پایه می‌باشد. به‌عبارتی دیگر، خروجی حاصل از مدل CCSM نیز کاهش میزان بارش تحت هر سه سناریو فوق را تأیید می‌کند. با توجه به نقشه‌های این فصل بیشتر هسته‌های بارش به سمت‌های جنوب غرب دریای خزر و منتهی‌الیه شمال غرب منتقل می‌شود و بیشتر مساحت کشور بارش‌های کمتری را دریافت می‌کنند که این میزان از روی ضریب چولگی نیز قابل تأیید است.

جدول (۴): مشخصات فراسنج های آماری بارش پاییزه در ایران

فراسنج	مشاهداتی	RCP2.6	RCP4.5	RCP6
میانگین	۳۸/۹	۲۹/۴	۲۷/۲	۲۸/۶
حداکثر	۲۶۸/۲	۸۴/۶	۸۰	۸۴/۸
حداقل	۳/۴	۱۰/۶	۹/۴	۹/۴
انحراف معیار	۴۵/۶	۱۶/۹	۱۶/۳	۱۷/۱
ضریب تغییرات	۱۱۷/۴	۵۷/۴	۵۹/۹	۵۹/۶
چولگی	۳	۱/۱	۱/۱	۱/۲
کشیدگی	۹/۹	۰/۶	۰/۵	۰/۹

شکل (۳) الگوی حاکم بر میانگین بارش های پاییزه مشاهداتی و سه سناریو واداشت تابشی در پهنه ایران نشان می دهد. بر این اساس قسمت های غربی و شمالی کشور دارای هسته های پربارش است که در قسمت های جنوب غربی دریای خزر این میزان بین ۱۵۰ - ۲۷۰ میلی متر است. اما تحت سه سناریو مورد بررسی، هسته های کوچکی از بارش در قسمت های زاگرس جنوبی و مرکزی و بخش هایی از بندر انزلی و آستارا مشاهده می شود. بنابراین می توان گفت طبق پیش بینی سناریو ها بارش های مناطق مذکور بیشتر حالت متمرکز داشته و مساحت کمتری را در برمی گیرد. بنابراین انتظار می رود طبق این پیش بینی بارش های پاییزه کشور بیشتر در مناطق غربی دریای خزر و سپس در ارتفاعات زاگرس مرکزی و تا حدودی در مناطق غربی و شمال غربی متمرکز شود. در بیشتر مساحت کشور بارش های کمتر از حد نرمال داشته باشیم.





شکل (۳). تغییرات هسته‌های بارش طی فصل پاییز در دوره پایه و پیش‌بین

تغییرات هسته‌های بارش زمستانه

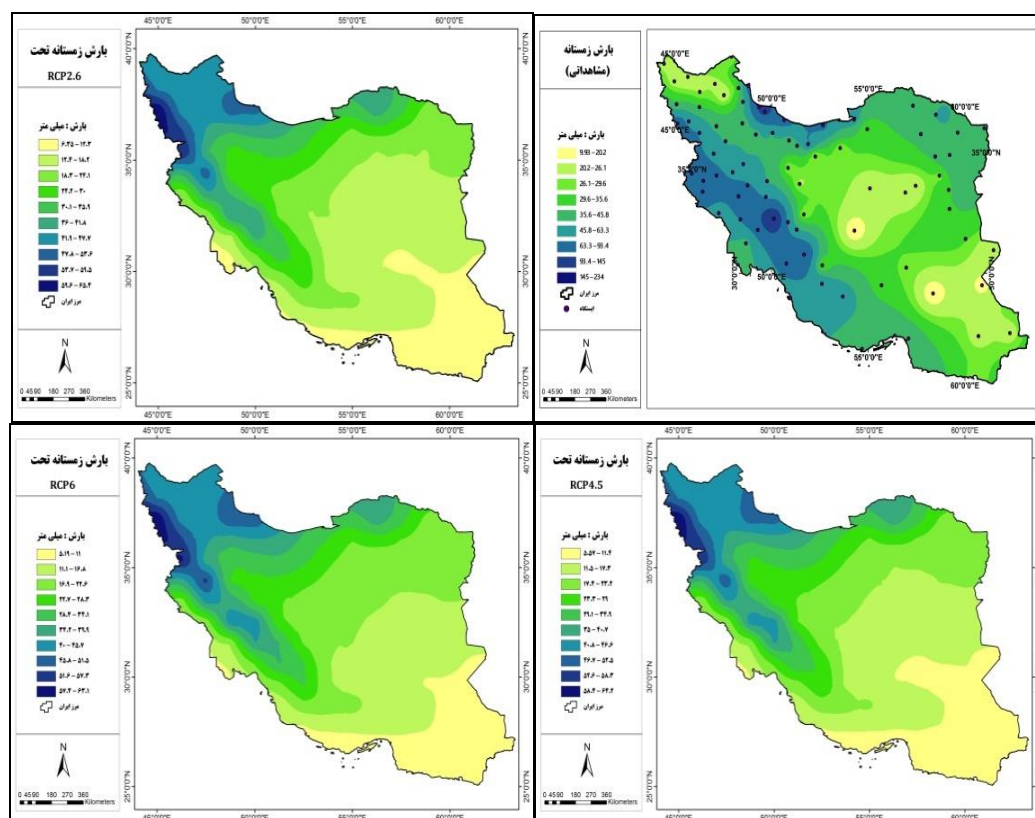
جدول (۵) برخی از مشخصات آماری بارش فصل زمستان آورده شده است. میانگین بارش در دوره پایه فصل زمستان طی سال‌های (۱۹۸۶-۲۰۱۵) ۴۵/۴ میلی‌متر است. اما خروجی حاصل از مدل CCSM و سناریوهای سه‌گانه طی پیش‌بینی برای آینده (۲۰۱۶-۲۰۳۶) بیشتر بخش‌های ایران میزان بارش کمتری دریافت می‌کنند که این میزان در پارامترهای حداقل و حداکثر نیز دیده می‌شود. بنابراین در آینده می‌توان انتظار دریافت بارش‌های کمتری در بیشتر بخش‌های کشور بویژه قسمت‌های مرکزی و جنوب و جنوب غرب کشور می‌توان داشت.

جدول (۵): مشخصات فراسنج‌های آماری بارش زمستانه در ایران

فراسنج	مشاهداتی	RCP2.6	RCP4.5	RCP6
میانگین	۴۵/۴	۲۲/۹	۲۲/۵	۲۲/۹
حداکثر	۲۳۳/۷	۶۵/۶	۶۴/۴	۶۳/۲
حداقل	۹/۹	۶/۷	۵/۸	۵/۵
انحراف معیار	۳۳/۸	۱۲/۶	۱۲/۸	۱۲/۸
ضریب تغییرات	۷۴/۶	۵۴/۸	۵۶/۹	۵۵/۹
چولگی	۲/۷	۱/۱	۱	۰/۹
کشیدگی	۱۱/۳	۰/۶	۰/۳	۰/۲

شکل (۴) تغییرات هسته‌های بارش طی دوره آماری ۱۹۸۶-۲۰۱۵ برای دوره مشاهداتی و سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۳۶ تحت سناریوهای سه‌گانه RCP نشان می‌دهد. طی دوره مشاهداتی در بیشتر مناطق کشور بارش مشاهده شده است زیرا فصل زمستان به عنوان پربارش ترین فصل ایران به حساب می‌آید، به طوری که بیشتر مساحت کشور دارای بارش بالای ۵۰ میلی‌متر هستند. میانگین بارش فصل زمستان بین ۲۳۴-۱۴۵ میلی‌متر می‌باشد. اما بررسی نقشه‌های خروجی حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد در

هر سه سناریو، قسمت های شمال غربی (شامل ارومیه و سلماس) اولین هسته پربارش به حساب می آید زیرا در قسمت های شمال غربی فصل زمستان به عنوان پربارش ترین فصل بوده که در مسیر سیکلون های وارده دریای مدیترانه می باشند این در حالی است که در بخش های غربی دریای خزر هسته کم بارش تر به عنوان هسته دوم دیده می شود. بخش های غربی دریای خزر بیشترین هسته بارش را در فصل پاییز به خود اختصاص می دهند. سومین هسته پربارش مربوط به زاگرس مرکزی که شامل بخش هایی از شهرکرد، همدان و خرم آباد می باشد. جابجایی هسته بارش فصل مذکور تحت سناریو RCP6 نسبت به دو سناریو دیگر اندکی متفاوت تر بوده است و قسمت های بیشتری از جنوب شرق بارش کمتری دریافت می کنند. این در حالی است که طبق پیش بینی های مدل CCSM هسته های بارش بیشتر به سمت قسمت های شمال غربی کشیده شده و بیشتر مساحت کشور بارش کمتر از ۵۰ میلی متر در آینده خواهند داشت.



شکل (۴). تغییرات هسته های بارش طی فصل زمستان در دوره پایه و پیش بین

نتیجه‌گیری

در بسیاری از کشورهای جهان برنامه‌ریزیهای کلان و نیز بسیاری از پروژه‌های اقتصادی و عمرانی برمبنای الگوهای طولانی مدت بارش وجود دارد. به عنوان مثال، مکان یابی مناسب سدها با توجه به میزان بارش دریافتی در حوضه و همچنین با در نظر گرفتن این مطلب که به طور عمده ذوب برف و یخ در بهار و تابستان انجام می‌شود، صورت می‌گیرد. از این رو تغییر در الگوهای آن از جمله تغییر در نوع، میزان و تاریخ بارش اهمیت ویژه‌ای پیدا می‌کند. بر اساس مطالعات صورت گرفته به غیر از روند کاهشی در میزان بارش، تغییر در الگوهای بارش هم مانند نوع بارش، تاریخ وقوع، مقادیر فصلی، شدت مدت‌ها و نیز تعامل بین بارش و سایر عناصر بویژه دما که تأثیرگذار بر تبخیر و تعرق بالقوه و مصرف آب است نیز حاکی از میزان جابجایی هسته‌های بارش در کل پهنه ایران می‌باشد.

بررسی تغییرات بارش نشان می‌دهد که نوسانات میزان این پارامتر بیشتر است؛ که این خود نمایانگر پیچیدگی‌های حاکم بر رفتار بارش می‌باشد که پیش‌بینی آن را نسبت به دیگر فراسنج‌ها مشکل می‌سازد. نتایج حاصل از بررسی‌های RCPهای سه‌گانه نشان داد که جابجایی هسته‌های بارشی فصل بهار از سراسر سراسر نیمه شمالی کشور به منتهی‌الیه شمال غرب کشور در مرزهای مشترک ایران، ترکیه و ارمنستان (جلفا و ماکو) محدود می‌گردد که این امر می‌تواند سرچشمه رودهای بزرگ کشور که اکثراً در غرب کشور قرار دارند را با مشکل کم‌آبی و خشکسالی پی در پی مواجه کند. در فصل تابستان، هسته پربارش سواحل شمالی و بخش‌هایی از شمال غرب کشور به منتهی‌الیه جنوب شرق کشور (مناطق خاش تا چابهار) منتقل خواهد شد که این امر می‌تواند با توجه به توپوگرافی خاص این مناطق سیلابهای مخرب گریبانگیر این مناطق خواهد بود. در فصل پاییز پهنه پربارش کشور که در سراسر نیمه شمالی کشور قرار دارد به دو هسته مجزای در زاگرس مرکزی (مناطق دنا و زرد کوه) و جنوب غرب خزر تغییر مکان خواهد داد. هسته بارشی فصل زمستان از بخش‌های زاگرس مرکزی و ناحیه خزری به به شمال غرب کردستان و جنوب غرب آذربایجان غربی (بوکان و مریوان و بانه) منتقل خواهد شد. بنابراین با توجه به نتایج پیش‌بینی‌های مدل CCSM و سناریوهای در نظر گرفته‌شده می‌توان گفت علاوه بر تغییراتی در مساحت پهنه‌های بارشی کشور، پهنه‌های خشکی نیز در آینده مساحت بیشتری از کشور را در بر خواهد گرفت، با توجه به اینکه میانگین بارش ایران کمتر از ۲۵۰ میلی‌متر و حدود یک‌سوم بارش جهانی را دارا است؛ این مسئله منجر به بروز مشکلات و مخاطرات اقلیمی و زیست‌محیطی در آینده خواهد شد بنابراین بدون مدیریت قوی منابع آب نمی‌توان چشم‌انداز امیدبخشی در بخش کشاورزی، صنعت و مصرف خانگی متصور شد.

با بررسی جابجایی هسته‌های بارش با استفاده از مدل CCSM و سناریوهای RCP می‌توان ادعان داشت که جابجایی هسته‌های بارش در فصول سال در کل پهنه ایران در تمامی سناریوها مشهود و امری مسلم می‌باشد. همچنین بر اساس مدل CCSM بیشترین مساحت پهنه‌های خشک را در ایران را می‌توان بر اساس سناریوی RCP6 طی فصل تابستان انتظار داشت. مطالعاتی در مورد بررسی عناصر اقلیمی و تغییرپذیری شرایط اقلیمی در آینده با استفاده از مدل CCSM که نتایج آن‌ها با ریوندی و همکاران (۱۳۹۴)، اسماعیلی و

همکاران (۱۳۹۳)، آلیسون و همکاران (۲۰۰۱) و لیتیوس و همکاران (۲۰۱۳)، صورت گرفته که با مطالعه حاضر مطابقت دارد.

منابع

- اسماعیلی، آرزو؛ یزدان پناه، حجت الله. (۱۳۹۳)، بررسی اقلیم آسایش گردشگری و تأثیرات تغییر اقلیم بر آن در افق ۲۰۱۴-۲۰۳۹ با استفاده از مدل CCSM4 نمونه موردی شهر اصفهان، کنفرانس بین المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط زیست و گردشگری، تبریز. حجازی زاده، زهرا؛ طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۵)، شبیه سازی اقلیمی، با تأکید بر مدل اقلیم منطقه ای RegCM4، تهران، نشر آکادمیک- انجمن جغرافیایی ایران، چاپ اول.
- حجازی زاده، زهرا؛ حسینی سید محمد؛ کربلائی درئی، علیرضا. (۱۳۹۴)، شبیه سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو (Hadcm3)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۵: ۲۴-۱.
- دشت بزرگی، آمنه؛ علیجانی، بهلول؛ جعفرپور، زین العابدین؛ شکیب، علیرضا. (۱۳۹۴)، شبیه سازی شاخص های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهای RCP، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۴ (۱۶): ۱۰۵-۱۲۳.
- رضائی، مریم؛ نهتانی، محمد؛ آبکار، علیجان؛ رضایی، معصومه؛ میرکازهی ریگی، مهری. (۱۳۹۳)، بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM) در پیش بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۵ (۱۰): ۱۳۱-۱۱۷.
- ریوندی، امیر؛ خطیبی، فریده. (۱۳۹۴)، بارورسازی ابرها، مقابله با تهدیدات ژئوپلیتیکی ناشی از تغییر اقلیم ایران طی سال های ۲۰۳۶-۲۰۱۶، اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی، شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری حکیم عرفی شیراز.
- طولابی نژاد، میثم. (۱۳۹۲)، آشکارسازی نقش گازهای گلخانه ای در نوسانات بارش ایران، پایان نامه- کارشناسی ارشد رشته آب و هواشناسی کاربردی، به راهنمایی دکتر یوسف قویدل رحیمی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- عساکره، حسین؛ شاه منصوری، بهرام (۱۳۹۵)، بررسی و پیش بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۸ (۲): ۲۱۲-۱۹۳.
- عساکره، حسین؛ صیادی، فریبا. (۱۳۹۱)، تحلیل و پیش بینی روزهای خشک ایران زمین با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی، پایان نامه کارشناسی ارشد اقلیم شناسی، دانشگاه زنجان.
- عسگری، احمد؛ رحیم زاده، فاطمه. (۱۳۸۴)، مطالعه تغییر پذیری بارش دهه های اخیر ایران، پژوهش های جغرافیایی، ۳۸ (۵۸): ۸۰-۶۷.
- علیجانی، بهلول. (۱۳۸۸)، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ نهم، بهمن ۱۳۸۸.

فتاحی، ابراهیم. (۱۳۹۴)، **تغییر اقلیم: شواهد، مدل سازی، چشم انداز و پیامدها**، کارگاه آموزشی قطب علمی تحلیل مکانی مخاطرات محیطی، آبان ماه ۱۳۹۴، دانشگاه خوارزمی.

قهرمان، نوذر؛ باباییان ایمان؛ طباطبایی، سیدمحمد رضا. (۱۳۹۵)، **بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نیاز آبی و طول دوره رشد گیاه نیشکر تحت سناریوهای واداشت تابشی**، نشریه حفاظت منابع آب و خاک، ۶(۱): ۶۳-۷۳.

محمدی، الهام؛ یزدان پناه، حجت الله؛ محمدی، فریبا (۱۳۹۳)، **بررسی رخدادهای تغییر اقلیم و تأثیر آن بر زمان کاشت و طول دوره رشد گندم دوروم (دیم) مطالعه موردی: ایستگاه سرارود کرمانشاه**، پژوهش های جغرافیای طبیعی، ۴۶ (۲): ۲۳۱-۲۴۶.

مسعودیان، ابوالفضل؛ کاویانی، محمد رضا. (۱۳۸۷)، **اقلیم شناسی ایران**، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول، بهار ۱۳۸۷.

Alison, L. K, Richard, G. L, Nicholas, S. R. (2004). **RCM rainfall for UK flood frequency estimation: Climate change results**. Journal of Hydrology, 318(1), 163- 172.

Chiotti, Q.P., and Johnston, T., (1995), **Extending the Bound Arics of Climate Change Research, A Discussion on Agriculture**, Journal of Rural Studies, 11:335-350.

Gagnon, S.; Singh, B.; Rousselle, J. and Roy, L. (2005). **An Application of the Statistical Downscaling Model (SDSM) to Simulate Climatic Data for Stream Flow Modeling in Québec**, Canadian Water Resources Journal, 30(4): 297-314.

Ghahreman, N, Tabatabaei, M, (2015), **Feasibility of sugarcane cultivation during the next five decades under RCP climate change scenarios. (Case study: Khuzestan province, Iran)**, ICID 2015, Montpellier, France.

Harmesen, E, Miller, N. L, Schlegel, N. J, Gonzalez, J. E. (2009). **Seasonal climate change impacts on evaporation, precipitation deficit and cop yield in Puerto Rico**. Agricultural Water Management, 96(7), 1085-1095.

Hoar. T, Nychka.D. (2008), **Statistical downscaling of the Community Climate System Model (CCSM) monthly temperature and precipitation projections**, Instant research, pp1-8.

Hoffman.F & et al. (2006). **Terrestrial biogeochemistry in the community climate system model (CCSM)**, Journal of Physics: Conference Series, 46:363-369.

Kharin, V. V, Zwiers, F. W, Zhang, X, & Wehner, M. (2013). **Changes in temperature and precipitation extremes in the CMIP5 ensemble**. Climatic Change, 119(2), 345-357

Lee Titus, M, Sheng, J, Greatbatch, R, Folkins, I. (2013). **Improving Statistical Downscaling of General Circulation Models**, Atmosphere-Ocean, pp. 1-13

Marengo, J. A, Chou, S. C, Torres, R. R, Giarolla, A, Alves, L. M, & Lyra, A. (2014). **Climate change in central and South America: Recent trends, future projections, and impacts on regional agriculture**. Working Paper, No 73.

Manabe S, (1998), **Study of global warming by GFDL climate models**. Ambio, 27(3): 182-186.

- Moss, R. H, Edmonds, J. A, Hibbard, K. A, Manning, M. R, Rose, S. K, Van Vuuren, D. P, Wilbanks, T. J. (2010). **The next generation of scenarios for climate change research and assessment**. *Nature*, **463**(7282), 747-756.
- Muhire, I, Ahmed, F. (2016). **Spatiotemporal trends in mean temperatures and aridity index over Rwanda**. *Theoretical and Applied Climatology*, **123**(1-2), 399-414.
- Pervez, Md, S, Geoffrey, M, Henebry, G.M. (2014). **Projections of the Ganges–Brahmaputra precipitation Downscaled from GCM predictors**, *Journal of Hydrology*, **517**: 120–134.
- Plattner, G. K, Stocker, T. F. (2010). **From AR4 to AR5: New Scenarios in the IPCC Process. Workshop Report**.
- Souvignet, M, Gaese1. H, Ribbe, L, Kretschmer, N. and Oyarzún, R. (2010). **Statistical downscaling of precipitation and temperature in north-central Chile: an assessment of possible climate change impacts in an arid Andean watershed**, *Hydrological Sciences Journal– Journal des Sciences Hydrology*, **55**: 41-57.
- Taylor, K. E, Stouffer, R. J, Meehl, G. A. (2012). **An overview of CMIP5 and the experiment design**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **93**(4), 485-498.
- Van Vuuren, D. P, Edmonds, J, Kainuma, M, Riahi, K, Thomson, A, Hibbard, K., Rose. S. K. (2011). **The representative concentration pathways: An overview**. *Climatic Change*, **109**, 5-31.
- Van Vuuren, D. P., Edmonds, J., Kainuma, M., Riahi, K., Thomson, A., Hibbard, K. & Rose, S. K. (2011). **The representative concentration pathways: An overview**. *Climatic Change*, **109**, 5-31.
- Zhang, X, Hogg, W. D, Bonsal, B. R. (2001). **A cautionary note on the use of seasonally varying thresholds to assess temperature extremes: Comments on the use of indices to identify changes in climatic extremes'**. *Climatic Change*, **50**(4), 505-507.