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

مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات مکانی هسته‌های بارشی در ایران

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

صفحات: ۱۳۳-۱۱۷

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. [1]
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 هسته‌های بارش به‌عنوان یک عامل تأثیرگذار در شرایط هیدرولوژیکی آینده ایران به انجام شد و از دو نوع پایگاه داده استفاده قرارگردید. نوع اول داده‌ها شامل بارش ماهانه ۸۶ ایستگاه سینوپتیک با طول دوره آماری ۲۰۱۵-۱۹۸۶ و نوع دوم آنها داده‌های پیش بینی حاصل از خروجی مدل CCSM4 تحت سناریوهای سه‌گانه (RCP2.6,RCP4.5,RCP6) سال‌های ۲۰۱۶ تا ۲۰۳۶ را شامل می شد. نقشه‌های آن نیز در محیط ARCGIS ترسیم گردید. نتایج بررسی‌ها نشان داد که هسته‌های بارشی در کل پهنه ایران در فصول چهارگانه تغییراتی با روند منفی در آینده خواهد داشت. به‌طوری‌که 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 سه‌گانه 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 منتها 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 پهنه‌های بارشی، پهنه‌های خشکی مساحت بیشتری از کشور را شامل می شد.

کلیدواژگان: مدل‌سازی بارش، هسته‌های بارش، مدل CCSM، RCP، ایران.

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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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 می‌کند. این عنصر آب‌وهوایی 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 کوتاه‌تر باشد همگنی و یکدستی منابع آب بیشتر می‌شود. از سوی دیگر، هر چه تغییرپذیری زمانی بارش کمتر باشد منابع آب نیز باثبات‌تر خواهد بود و عرضه دائمی آب امکان‌پذیرتر می‌شود. به همین دلیل تغییرپذیری زمانی بارش در ارزیابی منابع آبِ آبخیزها و مطالعه‌ی نسبیِ منابع آب در مقیاس محلی و منطقه‌ی اهمیت زیادی دارد(طولابی نژاد، ۱۳۹۲: ۲۰). تفاوت‌های مکانی بارش در ایران بسیار زیاد است. این تفاوت‌ها از یک‌سو به طبیعت رفتار مکانی بارش بازمی‌گردد که تغییرات مکانی شدیدی از خود نشان می‌دهد. از سوی دیگر، تنوع منشأ بارش در نقاط مختلف ایران سبب شده است تا در هر منطقه مقدار بارش‌های جوی و زمان بارش متفاوت باشد(مسعودیان و کاویانی،۸۱:۱۳۸۷). پراکندگی جغرافیایی قلمرو رژیم‌های بارش نشان می‌دهد که تفاوت رژیم‌های بارش ایران عمدتاً متأثر از عرض جغرافیایی است. این خصوصیت زمانی آشکارتر می‌شود که از تفاوت‌های جزئی این رژیم‌های بارش چشم‌پوشی نموده و آن‌ها را در گروه‌های بزرگ‌تر دسته‌بندی کنیم(علیجانی،۱۰۵:۱۳۸۸). اما با بروز تغییرات اقلیمی این رژیم‌ها دستخوش تغییراتی در هسته‌های بارشی شده‌اند که به‌تبع منابع آب نیز دستخوش نوسان خواهد شد و ممکن است در آینده مشکلات فراوان انسانی و زیست‌محیطی به وجود آورد.ازآنجاکه بارش ایران اندک است و مبانی 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 زمینه‌های گوناگون کرده‌اند.برای شبیه‌سازی واکنش سیستم اقلیم زمین به دو برابر شدن گازهای گلخانه‌ای و تغییرات اقلیمی، از مدل‌های اقلیمی استفاده می‌شود که شرایط اقلیمی احتمالی در آینده را پیش‌بینی می‌کنند و متغیرهای اقلیمی مانند دما، بارش، سرعت باد، فشار و.... را برآورد می‌کنند. تغییر اقلیم آینده، به‌ویژه اثرات ترکیبی افزایش دما و بالا رفتن غلظت CO_2 جو، افزایش احتمال وقوع حوادث حدی(خشک‌سالی، سیلاب و یخبندان)،می‌تواند آثار فراوانی روی محصولات کشاورزی داشته باشد(Johston&Chiotti 1995,336).ازآنجاکه دستگاه اقلیم حاصل اندرکنش عناصر، عوامل و اجزاء مختلف اقلیمی است، تغییر در هر یک از این عناصر، عوامل و اجزاء باعث شکل‌گیری رفتارهای مختلف در این سامانه می‌شود(عساکره و صیادی،۱:۱۳۹۱).بارش یکی از عناصر تغییرپذیر در بعد زمان و مکان به شمار می‌آید لذا شناخت کامل و کافی از بارش دانشمندان را بر آن داشت که در دهه‌های اخیر بیشتر مطالعات خود را معطوف به پیش‌بینی و مدل‌سازی بارش با استفاده از مدل‌های ریزمقیاس نمایی دینامیکی-آماری نمایند. با شروع دهه ۲۰۱۰،CMIP5[1] سناریوهای جدید RCPS[2] را پیشنهاد داد که در سال‌های اخیر تمرکز زیادی بر استفاده از

1- Coupled Model Intercomparison Project 5
2- Representative Concentration Pathways

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

آن‌ها شده است. سناریوهای پیشنهادی در چهار حالت2.6,4.5,6,8.5 تقریباً با سناریوهای B_1,A_1B وA_2 مطابقت دارند(Moss et al ,2010 ، Plattner and Stocker,2010؛ Van Vuuren et al ,2011؛ et al ,2012؛ Taylor et al ,2001؛ Zhang et al ,2013؛ Kharin et al ,2014؛IPCC,2014[1]؛ Marengo et al ,2014؛ Muhire and Ahmed,2016).پیش‌بینی و شبیه‌سازی عناصر آب‌وهوایی به ویژه دما و بارش بر اساس ریزمقیاس نمایی مدل‌های گـردش عمومی جو نیز مطالعات متعددی در داخل و خارج از کشور را به خـود معطـوف داشـته اسـت. برای مثال آلیسون[2] و همکاران(۲۰۰۴) تأثیر تغییر اقلیم را بر وضعیت تناوب سیلاب در انگلستان تحت خروجی‌های شبیه گردش عمومی HadRM3H و سناریوی انتشار A2 مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاکی از این بود که به‌رغم کاهش میانگین سالانه بارش در بیشتر دوره‌های بازگشت اکثر حوضه ها، تناوب سیلاب‌ها افزایش‌یافته است.گـاگنون[3] و همکـاران(۲۰۰۵) کاربرد مدل ریزمقیاس نمایی آماری در شبیه‌سازی داده‌های آب‌وهوایی در «کبک» کانادا را بررسی و به این نتیجه رسیدند که وقتی از داده‌های NCEP برای شبیه‌سازی استفاده می‌شود مـدل شایسـته و بـه هنگام استفاده از داده‌های CGCM1 مدل ناکارآمدی است و دما را کمتر از دمای مشاهده شده نشان می‌دهد. هارمسن[4] و همکاران (۲۰۰۹) داده‌های بارش و دما در پورتوریکو را به‌صورت آماری و با استفاده از مدل گردش عمومی DOE/NCR PCM تحت سه سناریوی B1، A2 و A1ریزمقیاس نمودند و بر این باورند که فصل بارش مرطوب‌تر و فصل خشکی، خشک‌تر خواهد شد.ساوویگنت[5] و همکاران(۲۰۱۰)مدل ریزمقیاس نمایی آماری را برای دما و بارندگی شمال شیلی در حوضه خشک، «ال‌کویی» آزمودند. نتایج نشان داد که این مـدل بـرای دمـا مناسـب ولـی بـرای بارندگی ضعیف است. لیتیتوس[6] و همکاران(۲۰۱۳)بر اساس مـدل‌هـای گـردش عمـومی جـوCGCM3 طبق سناریوی A2 برای «شرواتر» در کانادا۵ درجهٔ سلسیوس افزایش دما را تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی کردند. پروز[7] و همکاران(۲۰۱۴) مدل ریزمقیاس نمایی آماری SDSM را برای شبیه‌سازی بارندگی حوضهٔ «گنگ» و «برهمـاپوترا»به کاربردند.نتایج تحقیق قهرمان و طباطبایی[8](۲۰۱۵) نشان داد که میزان بارش دوره رشـد در پـنج دهـه 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،ازجمله،رضایی و همکاران(۱۳۹۳) با بررسی کارایی مدل ریزمقیاس نمایی آماری (SDSM)در پیش‌بینی 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 پیش‌بینی دما برخوردار است. محمدی و همکاران(۱۳۹۳)،اثر تغییر اقلیم بر زمان کشت و طول دوره رشد گندم دیـم در منطقه سـرارودکرمانشاه را بـا اسـتفاده سـناریوی RCP4.5در افق سال‌های۲۰۱۳ تا ۲۰۳۹ شبیه‌سازی کردند. یافته‌ها نشان داد که در دوره آتی متوسط دما در

1-Intergovernmental Panel on Climate Change
2-Alison
3-Gagnon
4 -Harmsen
5-Souvignet
6-LeeTitus
7- Pervez
8-Ghahreman and Tabatabaei

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

تمـامی 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 ۲۵روز کوتاه‌تر خواهد شد و دوره زمانی مناسب برای کشت گندم دیم بین ۹-۲۰روز 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 انتشارA1B و B1، موردبررسی و ارزیابی قراردادند. 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 به‌غیراز اندکی تغییر در مقادیرPET، 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 به‌طورکلی سناریوهای مورداستفاده در مدلHadCM3، 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 سناریوهایRCP 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 بیشینهٔ اراک به ترتیب از ۱۳/۹۸، ۷/۱۱ و ۲۰/۸۳ تا سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۴/۵، ۷/۸ و ۲۳/۲ درجهٔ 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 دادندکه، 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 دورهٔ۱۹۶۱-۱۹۹۰ بیش از دو سوم وسعت کشور دارای میانگین سالیانه بارش کمتر از ۳۰۰ میلی متر می باشد، اما هسته های پربارش بالاتر از ۱۰۰۰ میلی متر در منطقه زاگرس و دامنه های 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،۶۸:۱۳۸۴). بر همین اساس پژوهش حاضر بر آن است تا با به‌کارگیری مدلCCSM 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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 بنابر این 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 وپیش بینی هسته بارش ایران از دو نوع داده استفاده گردید. نوع اول داده‌ها شامل داده‌های مشاهداتی مجموع بارش ماهانه ۸۶ ایستگاه سینوپتیک کشور، شکل(۱)، طی دوره آماری ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۵ به‌عنوان سال پایه و داده های پیش بین شامل داده‌های ریزمقیاس شده حاصل از خروجی مدل CCMM4 تحت واداشت‌های تابشی(RCPs) مندرج در جدول (۱) از سال۲۰۱۶ تا ۲۰۳۶ مورداستفاده قرار گرفته و نهایتاً هسته‌های بارشی کشور با استفاده از نرم افزار ARC GIS با مدل کریجینگ پهنه‌بندی گردید.



شکل(۱). ایستگاه های مورد مطالعه

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

جهت ارزیابی تغییرات هسته‌های بارشی آینده کشور، از مدل تدوین شده مرکز ملی تحقیقات جوی آمریکا CCSM4[1] تحت سناریوهایRCP استفاده‌شده است. مدل مذکور از مجموع سناریوهای جدید منتشرۀ RCP است که هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی خود(AR5[2]) از آن با عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای نام برده‌اند(Van Vuurenet 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 اقلیمی‌گردد (دشت بزرگی و همکاران، ۱۳۹۴ :۱۲۵). CCSMیک مدل جفت شده جهانی آب و هوا [3] (GCM)است که توسط مرکز ملی تحقیقات جوی [4] (NCAR)با حمایت مالی بنیاد ملی علوم [5](NSF)، وزارت انرژی[6](DOE) ، و سازمان ملی هوانوردی و فضا [7](NASA) توسعه‌یافته است. این مدل از پنج مدل جداگانه اتمسفری، اقیانوسی، زمینی، زمین-یخ و دریا-یخ، به اضافۀ یک مؤلفۀ ترکیبی مرکزی تشکیل‌شده 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 آگاهی ها و تجزیه و تحلیل استفاده می شود. 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 می رود. در واقع این مؤلفه بخش غیر فعال مدل است که هیچگاه با بخش فعال مدل ترکیب نمی شود.

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 ModelV4
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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

جدول(۱): سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و فرض‌های به‌کاررفته و مؤسسه‌های طراح آن

سناریو	موسسه طراح	فرض‌های سناریو
RCP8.5	این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه بین‌المللی آنالیز دستگاه‌های کاربردی یاسا(IIASA۱)به سرپرستی پروفسور کیوان ریاحی در اتریش توسعه و طراحی شد.	این سناریو بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای تغییر اقلیم، آب‌وهوای کره زمین در خط سیر سناریوی انتشار پیش خواهد رفت؛ به‌طوری‌که ادامه این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر مترمربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد.
RCP6	این سناریو توسط تیم مدل‌سازیAIMدر مؤسسهٔ ملی مطالعات محیطی ژاپن	در این سناریو، واداشت تابشی بعد از سال ۲۱۰۰ به دلیل استفاده از فناوری‌های جدید و سیاست‌های کاهش گازهای گلخانه‌ای ثابت مانده و اثر گازهای گلخانه‌ای بر واداشت‌های تابشی را تا ۶ وات بر مترمربع تخمین زده است.
RCP4.5	توسط تیم مدل‌سازی رصدخانه ملی شمال غرب آمریکا طراحی‌شده است	واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵وات بر مترمربع ثابت می‌ماند.
RCP2.6	این سناریو توسط تیم مدل‌سازی IMAGE از موسسه ارزیابی‌های محیطی هلند طراحی‌شده 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 ۲۱۰۰می‌رسد.

(منبع: هیئت بین‌الدول تغیر اقلیم : ۲۰۰۷، به نقل از حجازی‌زاده 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 مدلهای 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 مدلCCSM4 جهت تحت واداشت‌های تابشی(RCPs) پیش استفاده گردید.جدول(۱)

تغییرات هسته‌های بارش بهاره

جدول(۲) مشخصات آماری بارش فصل بهار طی دوره پایه و پیش‌بین را نشان می‌دهد. با توجه به جدول، میانگین بارش در دوره مشاهداتی فصل بهار ۲۱/۲ میلی‌متر می‌باشد این در حالی است که تحت RCP های سه‌گانه این میزان کاهش پیدا می‌کند. حداکثر بارش در دوره پایه به میزان ۶۴/۸ میلی‌متر و در دوره پیش‌بین به مقدار ۷۴ میلی‌متر است که نشان‌دهنده افزایش بارش‌های فرین در آینده می‌باشد. همچنین کمترین مقدار بارش نیز به میزان ۲۲/۹ میلی‌متر مربوط به RCP4.5 است که این میزان نسبت به دوره مشاهداتی(پایه) بیشتر شده است.

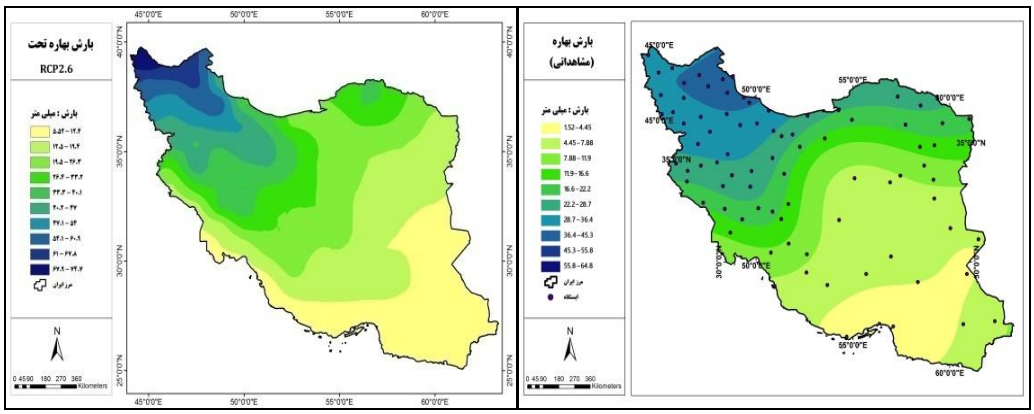
1. International Institute for Applied Systems Analysis

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

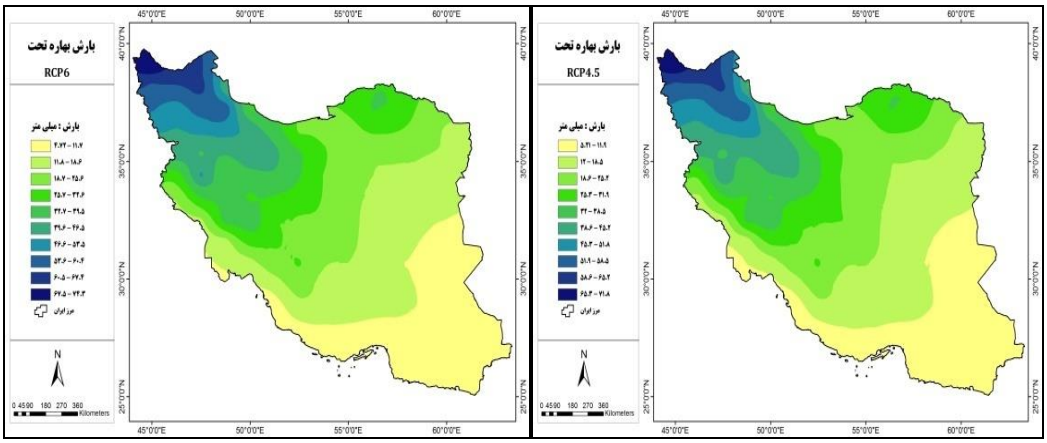
جدول(۲): مشخصات فراسنج های آماری بارش بهاره در ایران

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 از۱۶/۶ 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 برابر۲۱/۲ 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 تابشی۲,۶هسته بارش بین۶۷-۷۵ میلی‌متر به منتهی‌الیه شمال غرب کشور در مناطق جلفا و ماکو(مرز بین ایران و ارمنستان و ترکیه) منتقل‌شده است. هم‌چنین بارش‌های بهاره طبق دو سناریو دیگر(۴/۵ و ۶) همانند سناریو ۲/۶ در منتهی‌الیه شمال غرب کشور قرار می‌گیرد اما ازنظر مقدار بارش با یکدیگر اندکی اختلاف دارند؛ بطوریکه پهنه هسته‌های بارشی نسبت به داده‌های مشاهداتی ازنظر گستردگی مساحت کمتری را پوشش می‌دهند. علاوه بر پهنه‌های بارشی، پهنه‌های خشکی در آینده نیز مساحت بیشتری از کشور را در برگرفته است . اما مقدار بارش نسبت به داده‌های مشاهداتی اندکی افزایش را نشان می‌دهد.



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]



شکل(۱). تغییرات هسته‌های بارش طی فصل بهار در دوره پایه و پیش‌بین

تغییرات هسته‌های بارش تابستانه

با توجه به جدول(۳) میانگین بارش در فصل تابستان در دوره مشاهداتی۸/۴ میلی‌متر می‌باشد؛ این در حالی است که میانگین بارش در RCPهای سه‌گانه کاهش چشمگیری داشته است. با توجه به جدول می‌توان گفت در آینده بارش فصل تابستان به میزان قابل‌توجه ای کاهش پیدا خواهد کرد که دلیل آن را در می‌توان در تغییر اقلیم و به دنبال آن گرمایش جهانی جستجو کرد. حداقل بارش در فصل تابستان طی سناریوهای پیش‌بین مربوط به RCP6 می‌باشد که ۱۱/۹ میلی‌متر است.

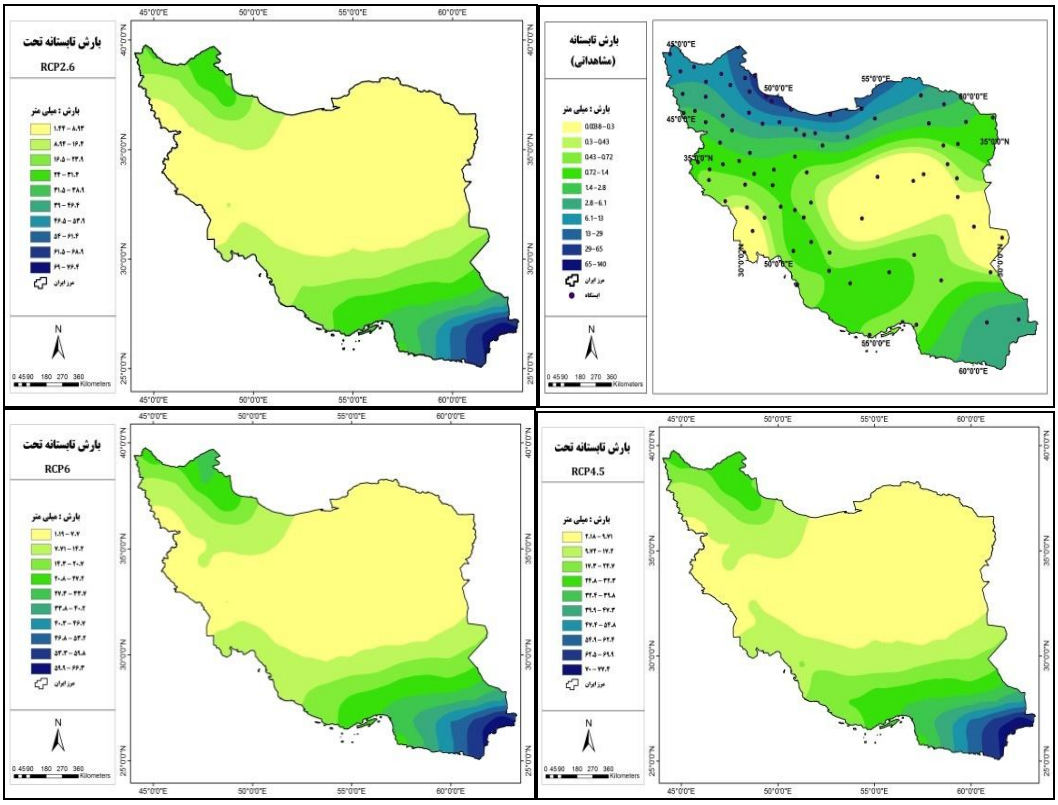
جدول (۳): مشخصات فراسنج های آماری بارش تابستانه در ایران

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

همان‌طور که از شکل(۲) مشاهده می‌شود الگوی حاکم بر توزیع بارش تابستانه ایران طی دوره موردمطالعه نشان می‌دهد که بارش‌ها به‌طور نامتوازنی در گستره ایران پراکنده می‌باشد. بر اساس این شکل میانگین بارش تابستانه ایران ۴/۸میلی‌متر می‌باشد. اما بر اساس سه سناریوی مورداستفاده در این تحقیق، میانگین بارش اندکی افزایش پیداکرده است.بر طبق پیش‌بینی مدل ccsm4 و تحت واداشت تابشی۲,۶هسته بارش بین۶۹-۷۶میلی‌متر به منتهی‌الیه جنوب شرق کشور در مناطق خاش و سراوان منتقل‌شده است. هم‌چنین بارش‌های

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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

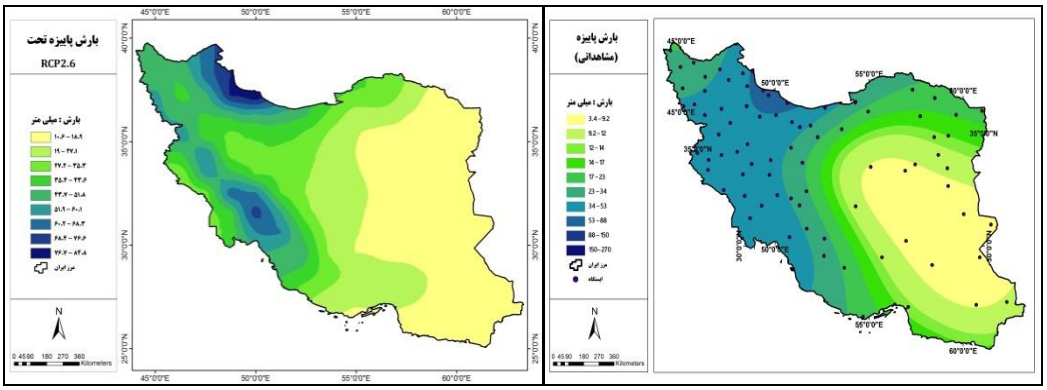
جدول(۴) مشخصات آماری بارش فصل پاییز نشان می‌دهد. میانگین بارش دوره مشاهداتی ۳۸/۹ میلی‌متر می‌باشد این در حالی است که میزان بارش طی پیش‌بینیRCPها کمتر از دوره پایه می‌باشد. به‌عبارتی‌دیگر، خروجی حاصل از مدل CCSM نیز کاهش میزان بارش تحت هر سه سناریو فوق را تائید می‌کند. با توجه به نقشه‌های این فصل بیشتر هسته‌های بارش به قسمت‌های 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 تائید است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

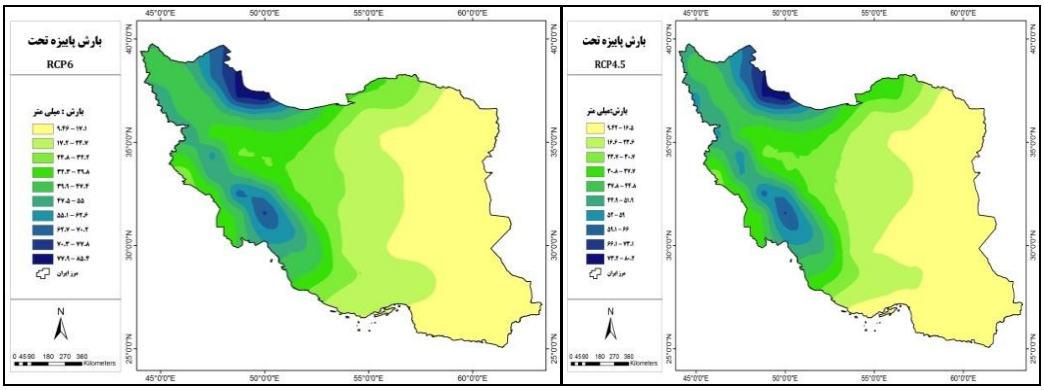
جدول(۴): مشخصات فراسنج های آماری بارش پاییزه در ایران

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 بارش‌های پاییزه مشاهداتی و سه سناریو واداشت تابشی در پهنه ایران نشان می‌دهد. بر این اساس قسمت‌های غربی و شمالی کشور دارای هسته‌های پربارش است که در قسمت‌های جنوب غربی دریای خزر این میزان بین ۱۵۰ -۲۷۰ میلی‌متر است. اما تحت سه سناریو مورد بررسی، هسته‌های کوچکی از بارش در قسمت‌های زاگرس جنوبی و مرکزی و بخش‌هایی از بندر انزلی و آستارا مشاهده می‌شود. بنابراین می‌توان گفت طبق پیش‌بینی سناریوها بارش‌های مناطق مذکور بیشتر حالت متمرکز داشته و مساحت کمتری را در برمی‌گیرد. بنابراین انتظار می‌رود طبق این پیش‌بینی بارش‌های 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 بارش‌های کمتر از حد نرمال داشته باشیم.



[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]



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 مدلCCSM 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.

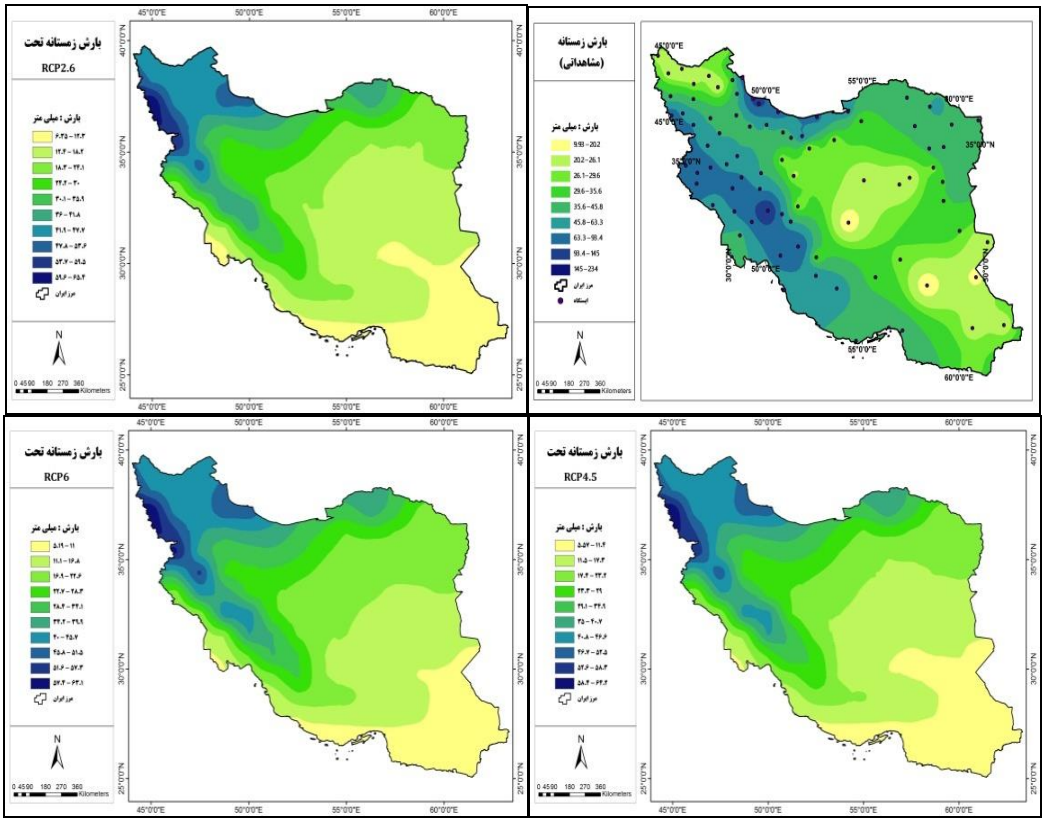
جدول (۵): مشخصات فراسنج های آماری بارش زمستانه در ایران

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 سه‌گانهRCP نشان می‌دهد. طی دوره مشاهداتی در بیشتر مناطق کشور بارش مشاهده‌شده است زیرا فصل زمستان به‌عنوان پربارش ترین فصل ایران به‌حساب می‌آید، به‌طوری‌که بیشتر مساحت کشور دارای بارش بالای ۵۰ میلی‌متر هستند. میانگین بارش فصل زمستان بین۲۳۴-۱۴۵ میلی‌متر می‌باشد. اما بررسی نقشه‌های خروجی حاصل از مدل‌سازی نشان می‌دهد در

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

هر سه سناریو، قسمت‌های شمال غربی(شامل ارومیه و سلماس) اولین هسته پربارش به‌حساب می‌آید زیرا در قسمت‌های شمال غربی فصل زمستان به‌عنوان پربارش ترین فصل بوده که در مسیر سیکلون های وارده دریای مدیترانه می‌باشند این در حالی است که در بخش‌های غربی دریای خزر هسته کم بارش تر به‌عنوان هسته دوم دیده می‌شود. بخش‌های غربی دریای خزر بیشترین هسته بارش را در فصل پاییز به خود اختصاص می‌دهند. سومین هسته پربارش مربوط به زاگرس مرکزی که شامل بخش‌هایی از شهرکرد، همدان و خرم‌آباد می‌باشد. جابجایی هسته بارش فصل مذکور تحت سناریو RCP6 نسبت به دو سناریو دیگر اندکی متفاوت‌تر بوده است و قسمت‌های بیشتری از جنوب شرق بارش کمتری دریافت می‌کنند. این در حالی است که طبق پیش‌بینی‌های مدلCCSM هسته‌های بارش بیشتر به سمت قسمت‌های شمال غربی کشیده شده و بیشتر مساحت کشور بارش کمتر از ۵۰ میلی‌متر در آینده خواهند داشت.



شکل(۴). تغییرات هسته‌های بارش طی فصل زمستان در دوره پایه و پیش‌بین

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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 می شود، صورت می گیرد. از این رو تغییر در الگوهای آن از جمله تغییر در نوع، میزان و تاریخ بارش اهمیت ویژه ای پیدا می کند. 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 بیشتراست؛که این خود نمایانگر پیچیدگی‌های حاکم بر رفتار بارش می‌باشد که پیش‌بینی آن را نسبت به دیگر فراسنج ها مشکل می‌سازد. نتایج حاصل از بررسی‌های RCPهای سه‌گانه نشان داد که جابجایی هسته‌های بارشی فصل بهار از سراسر سراسر نیمه شمالی کشور به منتهی الیه شمال غرب کشور در مرزهای مشترک ایران، ترکیه و ارمنستان(جلفا و ماکو) محدود می گردد که این امر می‌تواند سرچشمه رودهای بزرگ کشور که اکثرا در غرب کشور قرار دارند را با مشکل کم آبی و خشکسالی پی در پی مواجه کند. در فصل تابستان، هسته پربارش سواحل شمالی و بخش هایی از شمال غرب کشور به منتها الیه جنوب شرق کشور(مناطق خاش تا چابهار) منتقل خواهد شد که این امر می تواند 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 بخش های 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 مساخت 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 هسته های بارش با استفاده از مدل CCSM و سناریوهای RCP می توان اذعان داشت که جابجایی هسته های بارش در فصول سال در کل پهنه ایران در تمامی سناریوها مشهود و امری مسلم می باشد. همچنین بر اساس مدل CCSM بیشترین مساحت پهنه های 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

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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 مدلCCSM4 نمونه موردی شهر اصفهان**، کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار، راهکارها و چالش‌ها با محوریت کشاورزی، منابع طبیعی، محیط‌زیست و گردشگری،تبریز.

حجازی زاده، زهرا؛ طولابی‌نژاد، میثم. (۱۳۹۵)، **شبیه‌سازی اقلیمی، با تأکید بر مدل اقلیم منطقه‌ای RegCM4**، تهران، نشر آکادمیک- انجمن جغرافیایی ایران، چاپ اول.

حجازی‌زاده، زهرا؛ حسینی سیدمحمد؛ کربلائی درئی، علیرضا. (۱۳۹۴)، **شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی استان سمنان با سناریوهای مدل گردش عمومی جو(Hadcm3)**، جغرافیا و مخاطرات محیطی، **۱۵**:۲۴-۱.

دشت‌بزرگی، آمنه؛ علیجانی، بهلول؛ جعفرپور، زین العابدین؛ شکیبا، علیرضا. (۱۳۹۴)، **شبیه‌سازی شاخص‌های حدی دمای استان خوزستان بر اساس سناریوهایRCP**، 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 پیش‌بینی پارامترهای دمایی در دو اقلیم خشک و فراخشک (مطالعه موردی: کرمان و بم)**، پژوهشنامهٔ مدیریت حوضهٔ آبخیز، **۵(۱۰)**:۱۳۱-۱۱۷.

ریوندی، امیر ؛خطیبی، فریده. (۱۳۹۴)، **بارورسازی ابرها، مقابله با تهدیدات ژئوپلیتیکی ناشی از تغییر اقلیم ایران طی سال‌های ۲۰۳۶-۲۰۱۶**، اولین کنگره سالیانه جهان و بحران انرژی،شیراز، موسسه عالی علوم و فناوری حکیم عرفی شیراز.

طولابی‌نژاد، میثم. (۱۳۹۲)، **آشکارسازی نقش گازهای گلخانه‌ای در نوسانات بارش ایران**، پایان‌نامه-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 پیش‌بینی تغییرات دمای ایستگاه اراک بر اساس مدل ریزمقیاس نمایی آماری**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، **۴۸(۲)**: ۲۱۲-۱۹۳.

عساکره، حسین؛ صیادی، فریبا.(۱۳۹۱).**تحلیل و پیش‌بینی روزهای خشک ایران زمین با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی**،پایان‌نامه کارشناسی ارشد اقلیم‌شناسی، 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)، **آب‌وهوای ایران**، انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ نهم، بهمن ۱۳۸۸.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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

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

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

مسعودیان، ابوالفضل؛ کاویانی، محمدرضا .(۱۳۸۷)، **اقلیم‌شناسی ایران**، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول، بهار۱۳۸۷.

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 Johston, 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.

Harmsen, 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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]

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.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1398.19.55.11.3]
[DOI: 10.29252/jgs.19.55.117]