



## Projected Changes in Precipitation Extremes of Mashhad During the Twenty First Century

M. Kouhi<sup>1\*</sup>, I. Babaeian<sup>2</sup>, M. Mousavi-Baygi<sup>3</sup>,  
A. R. Farid Hosseini<sup>4</sup> and L. Khazanedari<sup>5</sup>

### Abstract

In assessing the potential impacts of climate change on different sections including water, agriculture, and urban drainage management, projection of changes in climate extremes as the results of climate change and global warming are essential. To have an outlook on future projections of climate extremes particularly precipitation, the outputs derived from three coupled general circulation models (HadCM3, NCCCSM, and CGCM3T47) contributing to the Fourth Assessment Report of the IPCCAR4, have been downscaled for Mashhad station under A1B emission scenarios by LARS-WG during three period 2011-2030, 2046-2065 and 2080-2099. The extremes are described by seven indices based on precipitation including CDD, R10mm, R20mm, RX5day, SDII, R95T, and R99T. The results showed that heavy precipitation events for pentads increase the maximum five-day precipitation and their intensity in three sequential periods. In addition, a larger fraction of the total annual precipitation is projected to occur during heavy precipitation events, i.e. events that exceed the 95<sup>th</sup> and 99<sup>th</sup> percentile. Increases are found for these indices indicated the more frequent future occurrence of floods in the twenty first century.

**Keywords:** Atmospheric-Ocean General Circulation Model, Extreme events, Mashhad, Downscaling.

Received: December 19, 2011

Accepted: January 26, 2013

## تغییرات پیش بینی شده در بارش های فرین مشهد طی قرن بیست و یکم

منصوره کوهی<sup>۱\*</sup>، ایمان بابائیان<sup>۲</sup>، محمد موسوی بایگی<sup>۳</sup>،  
علیرضا فریدحسینی<sup>۴</sup> و لیلی خزانه داری<sup>۵</sup>

### چکیده

پیش بینی تغییرات در رویدادهای فرین ناشی از گرمایش جهانی و تغییر اقلیم در ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر بخش های مختلف مانند آب، کشاورزی و مدیریت سامانه های جمع آوری آب شهری بسیار مهم است. جهت ارایه دورنمایی از تغییرات آتی رویدادهای فرین به ویژه بارش، خروجی های سه مدل گردش عمومی جو (NCCCSM, HadCM3 و CGCM3T47) تحت سناریوی A1B گزارش چهارم هیات بین الدول تغییر اقلیم توسط مدل LARS-WG برای سه دوره آتی برای ایستگاه مشهد ریزمقیاس شدند. نمایه های بارش فرین شامل R10mm, CDD, R99T, SDII و R20mm, R95T, RX5day برای سه دوره محاسبه گردید. نتایج نشان داد که بارش سنگین و ابرسنگین، بیشینه بارش پنج روزه و شدت بارش طی سه دوره افزایش خواهد یافت. همچنین سهم بیشتری از کل بارش سالانه به وقوع بارش های بیش از صدک ۹۵ و ۹۹ دوره پایه تعلق خواهد داشت. افزایش این نمایه ها به معنی افزایش فراوانی وقوع سیل و شدت آن طی قرن بیست و یکم خواهد بود.

**کلمات کلیدی:** مدل گردش عمومی جو- اقیانوس، نمایه های فرین، مشهد، ریزمقیاس کردن.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۸ اذر ۱۳۹۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۷ بهمن ۱۳۹۱

1- Ph.D. Student of Agrometeorology, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad-Iran, Email: man\_koochi@yahoo.com  
2-Climate Change Division, Climatological Research Institute, I. R. of Iran Meteorological Organization, Mashhad-Iran  
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad-Iran  
4-Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad-Iran  
5- Climatology of Atmospheric Disasters Division, Climatological Research Institute (CRI), Mashhad- Iran  
\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد-ایران.  
۲- دکتری اقلیم شناسی، گروه پژوهشی تغییر اقلیم، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد-ایران  
۳- دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد-ایران  
۴- استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد- مشهد-ایران  
۵- عضو گروه پژوهشی اقلیم شناسی بلایای جوی، پژوهشکده اقلیم شناسی، سازمان هواشناسی کشور، مشهد-ایران  
\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

ردیابی پدیده تغییر اقلیم از طریق ردیابی تغییر عناصر اقلیمی قابل درک است که در بسیاری از پژوهش‌ها، این امر از طریق ردیابی تغییر سطح میانگین عناصر اقلیمی انجام شده است، زیرا بسیاری از اقلیم‌شناسان، میانگین (ماهانه و سالانه) متغیرهای جوی را توصیفی از اقلیم می‌دانند. با این وصف میانگین، تمامی صفات اقلیمی را آرایه نمی‌دهد چرا که ممکن است بی آن که میانگین اقلیمی تغییر یابد، جنبه‌هایی از ویژگی‌های اقلیم دگرگون گردد و یا تغییر بسیار کوچکی در میانگین، تغییرات قابل توجهی در برخی مشخصات اقلیمی دیگر را به دنبال داشته باشد (Yan et. al., 2002). طی سالیان اخیر دانشمندان توجه خود را به ردیابی دگرگونی در مقادیر بسیار بزرگ یا کوچک عناصر اقلیمی معطوف داشته‌اند زیرا این اعتقاد وجود دارد که تغییر پذیری متغیرهای اقلیمی از طریق ردیابی صفات پرشماری از جمله فرین‌ها<sup>۱</sup> قابل ردیابی است (عساکره، ۱۳۸۹). رویداد فرین به رویدادهای نادری اطلاق می‌شود که از دیدگاه آماری احتمال وقوع آن رویداد خیلی کم می‌باشد و در برگیرنده معانی مختلفی است. برای مثال می‌تواند به صورت مقادیر پایین و بالای صدک‌های (۹۵ و ۵) (۹۰ و ۱۰) و یا مقادیر بالاتر از یک آستانه یا تداوم یک شرایط ویژه تعریف می‌شود (رحیم زاده و همکاران، ۱۳۸۸). لازم به ذکر است که رویدادهای فرین دیگری نیز وجود دارند که در یک مکان و در زمان خاص نادر می‌باشند و نیاز به روش‌های تحلیل متفاوتی دارند (Tank et. al. 2009).

گزارش‌های هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC<sup>۲</sup>) طی سالیان اخیر، بر افزایش فراوانی و شدت رویدادهای فرین آب و هوایی تحت شرایط تغییر اقلیم تاکید کرده به طوری که افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمایش زمین به شکل افزایش شدت، فراوانی و سهم رویدادهای فرین تجلی یافته است. در این راستا، مقایسه‌ای بین روند مشاهده شده و شبیه‌سازی شده توسط مدل HADAM3 با تلفیقی از سه اجرای متفاوت در شرایط اولیه سطح زمین و جو انجام شد. مقایسه نتایج حاصل از مدل و روند رویدادهای فرین مشاهده شده (تعداد روزهای یخبندان، تعداد روزهای خشک متوالی، نمایه ساده روزانه شدت بارش، تعداد روزهای با بارش بیش از ۱۰ میلی‌متر) نشان داد که لحاظ اثرات انسانی در تلفیق مدل به ویژه افزایش گازهای گلخانه‌ای به طور چشمگیری شبیه‌سازی تغییر رویدادهای فرین را بهبود می‌بخشد (Kiktev et. al., 2003). طی سالیان اخیر بسیاری از مناطق جهان شاهد وقوع رخداد‌های فرین بوده‌اند مانند رخداد دمای بسیار پایین در زمستان ۲۰۰۹-۲۰۱۰ در قسمت‌های اعظم نیمکره شمالی شامل اروپا، آسیا و آمریکای شمالی، وقوع مخرب‌ترین سیل

پاکستان در تابستان ۲۰۱۰ و ... (WMO, 2011)<sup>۳</sup>. در چنین شرایطی، توسعه اقتصادی و شرایط زندگی پایدار در سال‌های آتی، بستگی به توانایی ما در مدیریت ریسک‌های مرتبط با رویدادهای فرین دارد (IPCC, 2010) لذا هر نوع تلاشی برای پیش‌بینی وضعیت رویدادهای فرین بویژه بارش در هر منطقه امری ضروری به نظر می‌رسد. در این راستا و جهت بررسی و تحلیل مقادیر (متوسط) فرین اقلیمی بارش و دما می‌توان از مجموعه نمایه‌های فرین که توسط شبکه پشتیبانی اقلیم اروپا (۲۷ نمایه فرین شامل ۱۶ نمایه بارش و ۱۱ نمایه دما) معرفی شده استفاده کرد. این نمایه‌ها در سال ۱۹۹۸ و توسط کمیسیون اقلیم شناسی سازمان جهانی هواشناسی (CCL)<sup>۴</sup> و برنامه تحقیقات اقلیم جهانی (WCRP)<sup>۵</sup> وابسته به طرح پیش‌بینی‌پذیری و تغییرپذیری اقلیم (CLIVAR)<sup>۶</sup> متشکل از یک تیم کارشناسی در زمینه آشکارسازی و پایش تغییر اقلیم و نمایه‌های آنها (ETCCDMI)<sup>۷</sup> جهت بررسی و تعیین نمایه‌های فرین اقلیمی، تعیین و معرفی شدند (Tank et. al. 2009): عساکره، ۱۳۸۹). نمایه‌های رویدادهای فرین متوسط در پنج دسته به شرح زیر قرار می‌گیرند:

الف- نمایه‌های آستانه‌ای مانند تعداد روزهایی که دما یا بارش از یک آستانه ثابت عبور می‌کنند به عنوان مثال تعداد روزهای با مقدار بارش مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی‌متر (R10mm).

ب- نمایه‌های فرین دوره‌ای مانند تعداد روزهای متوالی خشک (CDD)<sup>۸</sup>.

ج- نمایه‌های فرین نسبی که نشان دهنده تغییر مقادیر فرین نسبت به دوره‌ی پایه مانند ۱۹۹۰-۱۹۶۱ می‌باشند مانند R95pTOT که نشان دهنده مجموع بارش روزهایی با میزان بارش بیش از صدک ۹۵ دوره‌ی پایه می‌باشد.

د- نمایه‌های فرین مطلق مانند بیشینه حداکثر بارش ۵ روزه (RX5day).

ه- تعدادی از نمایه‌های اقلیمی نیز وجود دارند که در هیچ کدام از دسته‌ها نمی‌گنجد مانند نمایه تفاوت دمای کمینه و بیشینه (DTR)<sup>۹</sup>.

تاکنون پژوهش‌هایی در ارتباط با بررسی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای جوی با تاکید بر وضعیت آبی رویدادهای فرین و نمایه‌های مذکور انجام شده است. به عنوان مثال (Sillmann 2005) اقدام به برآورد نمایه‌های بارش و دما با استفاده از خروجی مدل ECHAM5 نمود. نتایج نشان داد طی دوره‌های آبی، امواج گرمایی و بیشینه تعداد روزهای خشک متوالی افزایش و مجموع تعداد روزهای یخبندان کاهش می‌یابد. (Semenov 2008) در پژوهش خود اقدام به تحلیل تغییرات در بزرگی و الگوهای زمانی دو نمایه فرین برای گندم شامل احتمال تنش‌های گرمایی طی زمان

گلدھی و شدت تنش‌های خشکسالی نمود. جهت محاسبه این نمایه‌ها، از یک مدل شبیه‌سازی گندم در ترکیب با سناریوهایی بر مبنای خروجی های مدل HadRM3 در ۱۸ ایستگاه اینگلدن و والز (ریزگردانی شده توسط مدل LARS-WG<sup>1</sup>) استفاده کرد. علی‌رغم دمای بالاتر و بارش تابستانی کمتری که برای دوره ۲۰۵۰ پیش بینی شده بود اما اثر تنش خشکسالی بر عملکرد گندم نسبت به دوره‌ی حاضر کمتر پیش‌بینی شد زیرا گندم جهت فرار از تنش خشکسالی تابستانی در زمان کوتاه‌تری می‌رسید. اما احتمال خسارات ناشی از تنش گرمایی در زمان گلدھی به طور چشمگیری طی این دوره افزایش نشان داد. (Jiang et al. (2012) از داده های ۵۵۰ ایستگاه زمینی در چین طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۰ جهت ارزیابی هفت مدل جفت شده اقلیمی در شبیه‌سازی نمایه‌های فرین دما و بارش استفاده کردند. یافته‌های این پژوهش نشان داد که مدل‌ها دارای قابلیت مطمئنی در شبیه‌سازی روند و توزیع مکانی رویدادهای فرین اقلیمی هستند. Zongxing et al. (2011) نیز اقدام به بررسی روند رویدادهای فرین اقلیمی در جنوب غربی چین در ۱۱۰ ایستگاه طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۰۸ نمودند. بر اساس نتایج بدست آمده، تغییر در رویدادهای فرین بارش به نسبت کم برآورد شد. نتایج پژوهش Wang et. al. (2011) که با هدف بررسی میزان تغییر رویدادهای فرین دما و بارش تحت سناریوهای مختلف اقلیمی در حوضه رودخانه زرد انجام شد نیز نشان داد که برای قرن ۲۱، نمایه‌های دما و تبخیر تحت سناریوهای اقلیمی افزایش و بیشینه بارش و میانگین آن کاهش خواهند داشت. گل محمدی و مساح (۱۳۹۰) نیز اقدام به ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت خشکسالی حوضه قره سو در دوره‌های آتی با استفاده از شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)<sup>۱۱</sup> کردند. در این پژوهش، خروجی های مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت سناریوی A2 در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی برای منطقه با استفاده از SDSM<sup>۱۲</sup> ریزمقیاس و با داده‌های مشاهداتی بارندگی منطقه در دوره پایه (۱۹۷۱-۲۰۰۰) مقایسه گردید. نتایج نشان داد که حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ میلادی شاهد افزایش بارش و به تبع آن کاهش شدت خشکسالی نسبت به دوره پایه خواهد بود.

هدف از این پژوهش نگاهی اجمالی به میزان تغییر مقادیر فرین بارش بینی شده‌ی ایستگاه مشهد توسط سه مدل گردش عمومی جو شامل HadCM3، NCCCSM و CGCM3T47 طی سه دوره‌ی زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ می‌باشد. انجام این پژوهش با هدف ارایه چشم‌اندازی از وضعیت آتی مقدار بارش و تغییرات رویدادهای فرین آن انجام شده که این امر امکان برنامه

ریزی‌های بلند مدت و صحیح را در بخش های مختلف کشاورزی، منابع آب و برنامه ریزی های شهری مانند جمع‌آوری آب‌های سطحی فراهم می‌آورد.

## ۲- داده ها و روش تحقیق

### ۲-۱- داده ها

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های دیدبانی و شبیه‌سازی شده هستند. داده‌های دیدبانی شامل داده‌های دمای کمینه، بیشینه، بارش روزانه و ساعت آفتابی می‌باشند که این داده‌ها مربوط به دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱ میلادی ایستگاه مشهد (طول جغرافیایی ۳۸°۵۹′، عرض جغرافیایی ۳۶°۱۶′ و ارتفاع ۹۹۹ متر بالاتر از سطح دریا) می‌باشند. داده‌های شبیه‌سازی شده توسط سه مدل گردش عمومی مربوط به سه دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱، ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ است که تحت سناریوی A1B و توسط مدل LARS-WG (دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱) در مقیاس ایستگاه ریزگردانی شده و در راستای کاهش عدم قطعیت (IPCC, 2010) میانگین نمایه های محاسبه شده برای سه مدل بدست آمده است (برای تمام مدل‌ها به طور یکسان و بدون وزن دهی عمل شد). در نهایت، مقدار درصد تغییر نمایه توسط رابطه (۱) محاسبه گردید. نمایه‌های فرین بارش مورد بررسی در این پژوهش در جدول ۱ آورده شده است.

$$\Delta 2020s = \frac{(PRC_{2020s} - PRC_{base}) * 100}{PRC_{base}} \quad (1)$$

$\Delta 2020s$ : درصد تغییر نمایه طی دوره (به عنوان مثال ۲۰۲۰) نسبت به دوره پایه،  
 $PRC_{2020s}$ : مقدار بارش (یا هر کدام از نمایه های مورد بررسی) در دوره مورد نظر (در اینجا ۲۰۲۰)،  
 $PRC_{base}$ : میزان بارش طی دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱ م).

در ارزیابی رویدادهای فرین به رکوردهای اقلیمی طولانی مدت، با کیفیت بالا و قابل اعتماد با تفکیک زمانی روزانه (یا بالاتر) مورد نیاز است (Tank et. al. 2009). لذا در اولین قدم، کنترل کیفی و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق کنترل کیفی داده‌ها با بسته‌ی نرم افزاری به نام RCLIMDEX انجام شد که به عنوان یک ابزار استاندارد توسط ETCCDI معرفی شده است. همچنین در زمان استفاده از داده‌های روزانه دما و بارش یک ایستگاه باید مطمئن بود که علاوه بر اینکه داده‌های ایستگاه از کیفیت بالایی برخوردارند، به طور غیر طبیعی ناهمگن نباشند. همگنی داده‌های مورد استفاده نیز با بهره‌گیری از بسته نرم‌افزاری

جدول ۱- نمایه‌های فرین بارش

ردیف	نماد	تعریف نمایه بارش فرین	واحد
۱	CDD	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه بیشترین تعداد روزهای خشک متوالی که $RR_{ij} < 1mm$ شمارش می‌شود	روز
۲	SDII	اگر $RR_{wj}$ میزان بارش در یک روز بارانی ( $RR \geq 1mm$ ) در دوره $j$ و $w$ عبارت باشد از روزهای تر در دوره $j$ آنگاه $SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^w RR_{wj}}{w}$	میلی متر بر روز
۳	R10mm	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش روزانه در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه روزهای با بارش سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۱۰ میلی متر عبارتست از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 10mm$	روز
۴	R20mm	اگر $RR_{ij}$ میزان بارش روزانه در روز $i$ در دوره $j$ باشد، آنگاه روزهای با بارش خیلی سنگین یعنی تعداد روزهایی با مقدار بارش روزانه مساوی یا بیشتر از ۲۰ میلی متر عبارتست از تعداد روزهایی که $RR_{ij} \geq 20mm$	روز
۵	R95p	اگر $RR_{wj}$ میزان بارش روزانه دوره $j$ در یک روز تر ( $RR \geq 1.0mm$ ) و $RR_{wn}95$ صدک ۹۵ ام بارش در روزهای تر دوره ۹۰-۱۹۶۱ و $w$ نماینده روزهای تر در دوره باشد، آنگاه $R95p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ که در آن $RR_{wj} > RR_{wn}95$	میلی متر
۶	R99p	اگر $RR_{wj}$ میزان بارش روزانه دوره $j$ در یک روز تر ( $RR \geq 1.0mm$ ) و $RR_{wn}99$ صدک ۹۹ ام بارش در روزهای تر دوره ۹۰-۱۹۶۱ و $w$ نماینده روزهای تر در دوره باشد، آنگاه $R99p_j = \sum_{w=1}^w RR_{wj}$ که در آن $RR_{wj} > RR_{wn}99$	میلی متر
۷	RX5day	اگر $RR_{kj}$ میزان بارش برای فاصله ۵ روزه $k$ در دوره $j$ باشد، آنگاه بیشینه مقدار بارش ۵ روزه برای دوره $j$ عبارتست از $RX5day_j = \max(RR_{kj})$	میلی متر

### ب- معرفی مدل LARS-WG

قدرت تفکیک پایین زمانی و مکانی مدل های گردش عمومی جو و عدم قطعیت بالای آنها در خروجی های روزانه بویژه بارش، استفاده مستقیم از این خروجی ها را در مطالعات تحلیل رویدادهای فرین و کاربرد در مدل های مختلف نامناسب ساخته است (Semenov, 2008). لذا جهت استفاده از این داده ها لازم است تا خروجی های این مدل ها توسط تکنیک های مختلف در سطوح ایستگاهی ریزمقیاس گردد.

روش های ریزمقیاس کردن شامل ریزمقیاس کردن دینامیکی با استفاده از مدل های اقلیمی منطقه ای نظیر REGCM<sup>۱۵</sup>، ریزمقیاس کردن آماری با استفاده از مدل هایی چون ASD<sup>۱۶</sup> و SDSM و مدل های تولیدکننده تصادفی آب و هوا<sup>۱۷</sup> مانند LARS-WG می باشد (Semenov and Stratonovitch, 2010). مدل اخیر یکی از پرکاربردترین مدل های آماری در ریزگردانی خروجی های مدل های گردش عمومی جو محسوب می گردد. نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست طی سال ۱۹۹۱ به عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک های کشاورزی در کشور مجارستان ابداع شد. هدف اصلی از اجرای این روش، غلبه بر محدودیت های روش زنجیره مارکف در وقوع بارش بود. کارایی این مدل توسط (Semenov) در سال ۱۹۹۸ در ۱۸ ایستگاه هواشناسی واقع در آمریکا، اروپا و آسیا مورد ارزیابی قرار گرفته است (Semenov and Brooks, 1999). این مدل توزیع نیمه تجربی (SED)<sup>۱۸</sup> را برای برآورد توزیع احتمالاتی سری های خشک و تر، بارش روزانه، بیشینه و کمینه دما و تابش

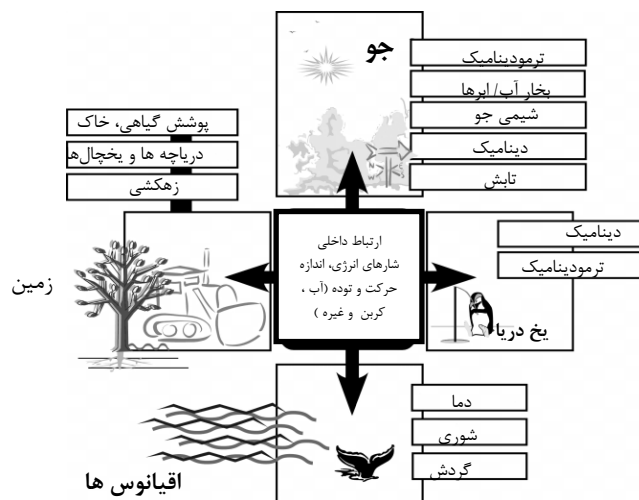
RHtests\_dlyPrecp تحت زبان برنامه نویسی R انجام شد (Wang, 2008).

### ۲-۲- مدل های مورد استفاده

#### الف- مدل های AOGCM<sup>۱۳</sup>

جهت بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر سیستم های مختلف مانند منابع آب در دوره های آتی و تولید سناریوهای مقادیر فرین بارش، در ابتدا می بایست متغیرهای اقلیمی تحت تاثیر تغییرات گازهای گلخانه ای شبیه سازی شوند. روش های مختلفی برای شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم وجود دارد که معتبرترین آنها استفاده از مدل های گردش عمومی جو (GCM)<sup>۱۴</sup> می باشد. (مساح و آشفته، ۱۳۸۶).

تاکنون مدل های مختلفی در مراکز گوناگون تحقیقاتی طراحی شده اند که دارای مؤلفه هایی هستند که در شکل ۱ نشان داده شده اند مانند مدل های CGCM2، CSIRO، ECHAM4، HadCM3، ECHO-G. از آنجا که مهمترین ورودی این مدل ها میزان انتشار گازهای گلخانه ای در دوره های آتی می باشد، از این رو سناریوهای مختلف انتشار که دربرگیرنده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می باشد، ارائه شده اند (جدول ۲) (Semenov and Stratonovitch, 2010).



شکل ۱- ساختار یک مدل جفت شده جو- اقیانوس

$$v_i = \min\{v: P(v_{obs} \leq v) \geq p_i\} \quad i = 0, \dots, n \quad (2)$$

که در این رابطه  $P()$  نشان دهنده احتمال بر مبنای داده مشاهداتی  $\{v_{obs}\}$  می باشد. برای هر متغیر اقلیمی، دو مقدار  $p_n$  و  $p_0$  به صورت  $p_n = 1$  و  $p_0 = 0$  و متناظر با  $v_0 = \min\{v_{obs}\}$  و  $v_n = \max\{v_{obs}\}$  تعیین می شود. برای تقریب مقادیر فرین هر متغیر اقلیمی به طور دقیق، مقدار  $p_i$  برای مقادیر خیلی پایین متغیر، نزدیک به صفر و برای مقادیر خیلی بالا، نزدیک به یک تعیین می شود.

خورشیدی به کار می برد. خواص آماری داده‌های تولید شده مشابه دوره آماری بوده اما انحراف معیار آنها به نسبت اختلاف داده‌های مدل GCM در دوره آینده و گذشته پریشده می‌شود (بابائیان و نجفی، ۱۳۸۴).

این توزیع به صورت تابع توزیع تجمعی احتمالات<sup>۱۹</sup> مشخص می‌شود. برای هر متغیر اقلیمی ( $v$ )، یک مقدار از متغیر اقلیمی ( $v_i$ ) متناظر با احتمال  $p_i$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

جدول ۲- مشخصات سناریوهای انتشار (غلظت  $CO_2$  در سناریوی دوره‌ی پایه: ۳۳۴ ppm)

سناریو	فرض های کلیدی		
	غلظت $CO_2$ (ppm) ۲۰۱۱-۲۰۳۰	غلظت $CO_2$ (ppm) ۲۰۴۶-۲۰۶۵	غلظت $CO_2$ (ppm) ۲۰۸۱-۲۱۰۰
B1 (جهان پایدار)	۴۱۰	۴۹۲	۵۳۸
B2 (جهانی با فناوری نا برابر)	۴۰۶	۴۸۶	۵۸۱
A1B (جهان غنی)	۴۱۸	۵۴۱	۶۷۴
A2 (جهان تفکیک شده)	۴۱۴	۵۴۵	۷۵۴

دارای داده های همگن می باشد (شکل ۲ و ۳).

### ۳-۲- بررسی توانمندی مدل های مورد استفاده

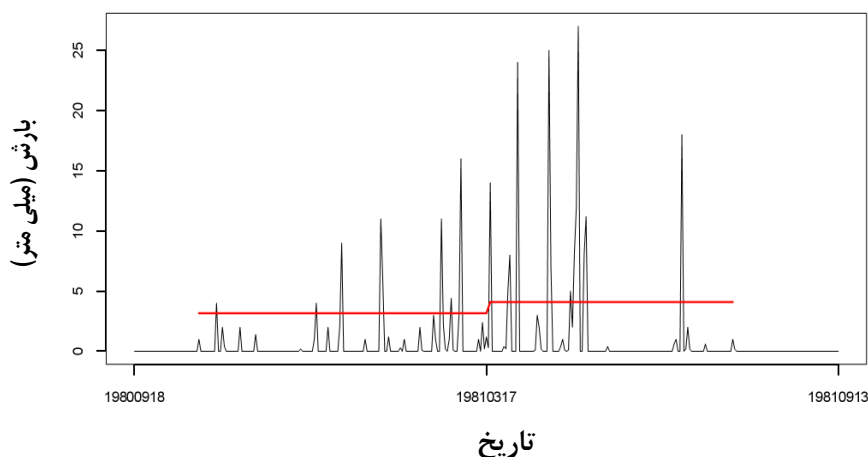
جهت بررسی توانمندی سه مدل NCCCSM، HadCM3 و CGCM3T47 یا CGMR در شبیه سازی داده های آب و هوایی بویژه بارش از ضریب همبستگی بین داده های ماهانه بارش مشاهده شده و داده های شبیه سازی سه مدل (مربوط به یاخته منطقه مورد نظر) ([www.cccsn.ca](http://www.cccsn.ca)) طی دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ استفاده گردید (جدول ۳). لازم به ذکر است که با توجه به عدم قطعیت زیاد داده های بارش در مقیاس روزانه از داده های بارش مدل های گردش عمومی جو در مقیاس ماهانه استفاده می شود. با وجود پایین بودن مقدار ضریب همبستگی موجود بین داده های مشاهده شده و شبیه سازی شده، در آزمون معنی داری این ضریب، مشخص شد که با اطمینان ۹۹ بین این دو سری داده رابطه وجود دارد.

مقادیر باقیمانده  $p_i$  طبق وزن احتمالاتی به صورت یکنواخت توزیع می گردد. برای بارش سه مقدار نزدیک به ۱ ( $p_{n-3} = 0/988$  و  $p_{n-2} = 0/995$ ،  $p_{n-1} = 0/999$ ) استفاده می شود. این مقادیر امکان تقریب بهتری از رویدادهای فرین بارش روزانه که با احتمال خیلی کمی رخ می دهد (مانند بارش هنگام توفان) را فراهم می سازند. تعداد فواصل استفاده شده در SED در نسخه ۵ این مدل، برابر ۲۳ است که امکان ارایه دقیق توزیع مشاهداتی را نسبت به نسخه قبلی (با فاصله ۱۰) میسر می سازد (Semenov and Stratonovitch, 2010).

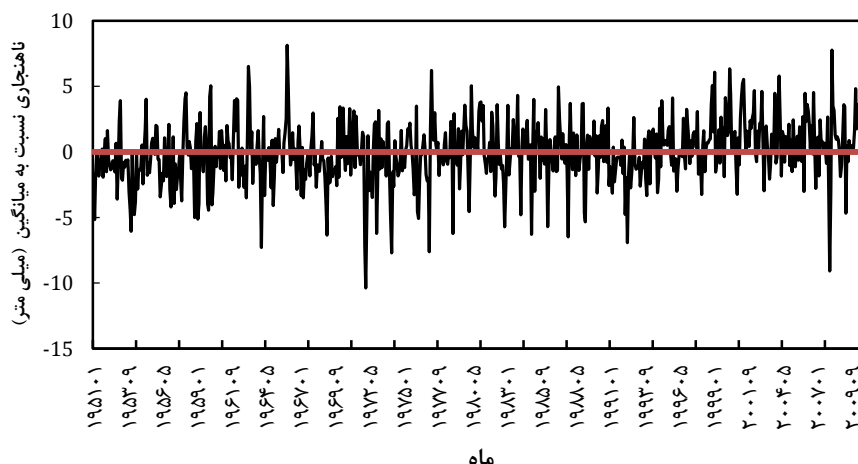
### ۳- نتایج و تحلیل نتایج

#### ۳-۱- کنترل کیفی و همگنی داده ها

داده های ایستگاه مشهد دارای کیفیت مطلوبی می باشد. نتایج همگنی داده های بارش نیز نشان داد که این ایستگاه در مقیاس روزانه



شکل ۲- نمایش نقطه تغییر در سری داده های بارش روزانه مشهد ۱۹۶۱-۲۰۱۰

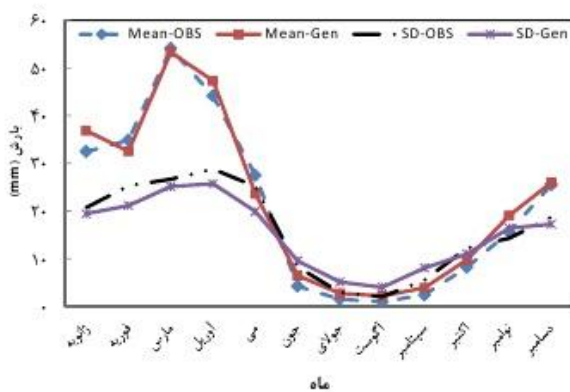


شکل ۳- سری های ناهنجاری پایه (ناهنجاری های مرتبط با چرخه میانگین سالانه بارش) طی دوره ۱۹۶۱-۲۰۱۰

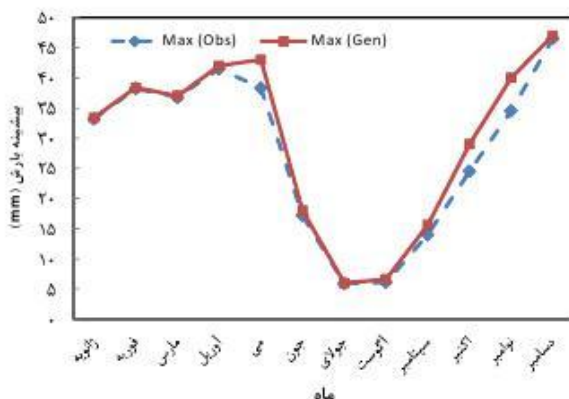
جدول ۳- مشخصات مدل های اقلیمی و ضریب همبستگی ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه سازی شده

مدل جهانی اقلیم	کشور	تفکیک شبکه	سناریو های انتشار	ضریب همبستگی
HadCM3	انگلستان	$2/5^{\circ} \times 3/75^{\circ}$	SRA1B, SRA2, SRB1	۰/۵۶
NCCCSM3	امریکا	$1/4^{\circ} \times 1/4^{\circ}$	SRA1B, SRA2, SRB1	۰/۶۱
CGCM3T47	کانادا	$2/8^{\circ} \times 2/8^{\circ}$	SRA1B	۰/۶۲

درصد افزایش یا کاهش بارش نسبت به مقدار آن در دوره پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ میلادی ارایه شده است. همانطور که ملاحظه می شود در هر سه دوره شاهد افزایش این نمایه خواهیم بود. بیشترین درصد افزایش مربوط به دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ در مدل CGMR به میزان ۳۴/۴ و میانگین حاصل از سه مدل به میزان ۳۰/۲ درصد خواهد بود. میانگین بارش حاصل از سه مدل طی سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به ترتیب به میزان ۱۱/۴، ۲۵/۹ و ۳۰/۲ درصد می باشد که هر سه مدل در این افزایش توافق دارند (شکل ۶). کمترین درصد افزایش بارش توسط مدل NCCCSM پیش بینی شده است.



شکل ۴- مقایسه میانگین و انحراف معیار بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده (۱۹۶۱-۱۹۹۰)



شکل ۵- مقایسه میانگین بیشینه بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده (۱۹۶۱-۱۹۹۰)

در بررسی توانمندی مدل LARS-WG در شبیه سازی داده های آب و هوایی می توان مقادیر میانگین و واریانس های متغیرهای اقلیمی را با استفاده از آزمون t و F مورد مقایسه قرار داد (Semenov, 2008). در این رابطه، ابتدا با استفاده از ۵۰ سال داده دیدبانی شده در ایستگاه مشهد (۲۰۱۰-۱۹۶۱) پارامترهای اقلیمی بارش ایستگاه مشهد با استفاده از تابع مربوطه در مدل LARS-WG محاسبه گردید. سپس مدل برای تولید ۵۰۰ سال داده بر اساس پارامترهای بدست آمده بر اساس سری داده های مشاهده شده ایستگاه اجرا گردید. با تغییر عدد تصادفی این عمل چندین بار اجرا شد تا نتایج آماری قابل قبولی بدست آمد. نتایج حاصل از آزمون t برای این ایستگاه نشان داد که بین میانگین شبیه سازی شده ی بارش با مقدار واقعی آن اختلاف معنی داری در سطح معنی داری ۰/۰۵ وجود ندارد. همچنین ضرایب همبستگی، اربیی و میانگین خطای مطلق در سری ماهانه داده های دیدبانی شده و شبیه سازی شده نیز برای این ایستگاه محاسبه شد (جدول ۴). همچنین مقایسه ی مقادیر میانگین، انحراف معیار و بیشینه بارش ماهانه دو سری مشاهداتی و شبیه سازی شده در شکل ۴ و ۵ ارایه شده است.

با واسنجی مدل LARS-WG و اطمینان از قابلیت آن در شبیه سازی مطلوب سری داده ها برای ایستگاه مشهد، این مدل برای سه دوره زمانی ۲۰۱۱-۲۰۳۰، ۲۰۴۶-۲۰۶۵ و ۲۰۸۰-۲۰۹۹ با استفاده از خروجی سه مدل گردش عمومی جو HadCM3، NCCCSM و CGMR تحت سناریوی A1B (با تولید ۱۵۰ سال داده ی روزانه بارش) اجرا شد. سپس با استفاده از نرم افزار RCLIMDEX نمایه های فرین محاسبه گردید. در ادامه میانگین هر کدام از نمایه ها برای دوره پایه و سه دوره آتی به دست آمد.

جدول ۴- مقایسه مقادیر مدل سازی مدل LARS-WG5 با

مقادیر واقعی در دوره ۲۰۱۰-۱۹۶۱

ایستگاه	BIAS	MAE	همبستگی
مشهد	-۰/۰۲	۱	۰/۹۹

۳-۳- محاسبه نمایه های فرین

۳-۳-۱- مقدار سالانه بارش در روزهای تر

در جدول ۵ مقدار میانگین بارش پیش بینی شده برای سه دوره و

### ۲-۳-۳- روزهای با بارش سنگین<sup>۲۰</sup> (R10mm)

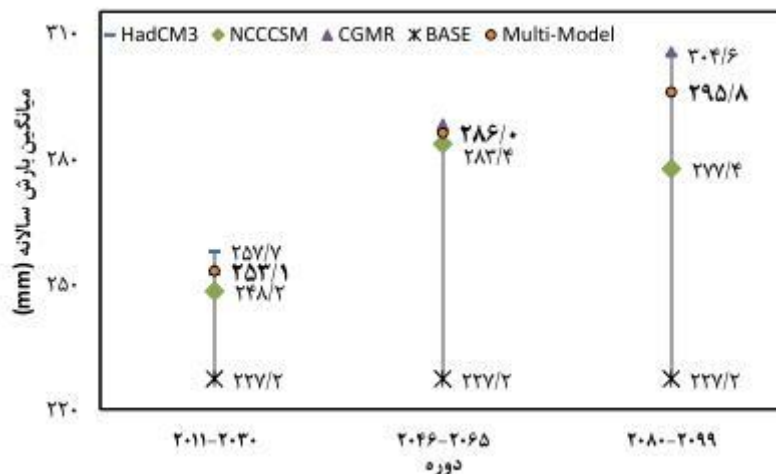
همانطور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود تعداد این روزها طی سه دوره‌ی آتی افزایش خواهد داشت که بیشترین افزایش طی دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ به میزان ۹/۶ روز (میانگین سه مدل) می‌باشد که نسبت مقدار این نمایه طی دوره پایه ۱۹۶۱-۱۹۹۰ (۶/۸ روز) به میزان دو روز افزایش نشان می‌دهد. از بین ۳ مدل، HadCM3 بیشترین مقدار این نمایه را برای سه دوره برآورد کرده است (شکل ۷).

### ۳-۳-۳- روزهای با بارش ابر سنگین<sup>۲۱</sup> (R20mm)

این نمایه نشان‌دهنده تعداد روزهای با بارش ابر سنگین است. همانطور در شکل ۸ نشان داده شده است این نمایه طی سه دوره آتی شاهد افزایش خواهد بود. بیشترین افزایش در تعداد این نوع روزها در مدل CGMR و HadCM3 طی دوره ۲۰۸۰-۲۰۹۹ مشاهده می‌شود که این مقدار دو برابر دوره پایه خواهد بود. کمترین مقدار این نمایه توسط مدل NCCCSM پیش‌بینی شده است (شکل ۸).

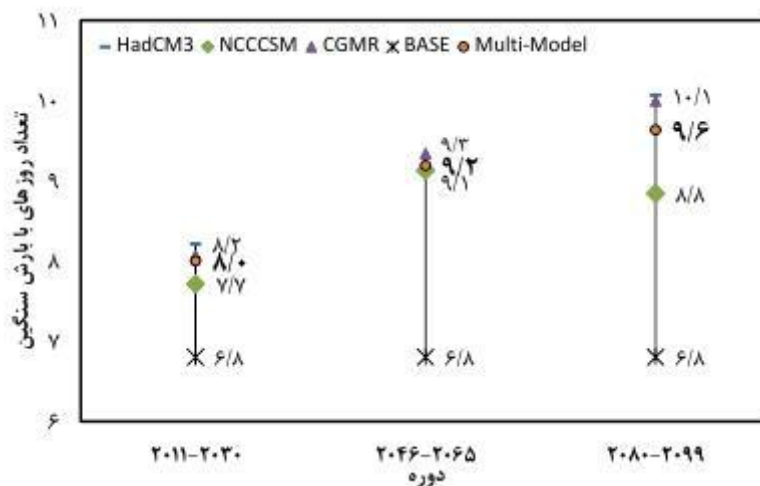
جدول ۵- میانگین بارش پیش‌بینی شده و درصد افزایش آن نسبت به دوره پایه در سه دوره

دوره زمانی	مدل	میزان بارش پیش‌بینی شده (میلی متر)	درصد افزایش نسبت به دوره پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰)
۲۰۱۱-۲۰۳۰	HadCM3	۲۵۷/۷	۱۳/۴
	NCCCSM	۲۴۸/۲	۹/۲
	CGMR	۲۵۳/۳	۱۱/۵
	Multi-model Mean	۲۵۳/۱	۱۱/۴
۲۰۴۶-۲۰۶۵	HadCM3	۲۸۶/۶	۲۶/۱
	NCCCSM	۲۸۳/۴	۲۴/۷
	CGMR	۲۸۸/۱	۲۶/۸
	Multi-model Mean	۲۸۶	۲۵/۹
۲۰۸۰-۲۰۹۹	HadCM3	۳۰۴/۶	۳۴/۱
	NCCCSM	۲۷۷/۴	۲۲/۱
	CGMR	۳۰۵/۴	۳۴/۴
	Multi-model Mean	۲۹۵/۸	۳۰/۲



شکل ۶- مقایسه میانگین بارش سالانه پیش‌بینی شده سه مدل با دوره پایه





شکل ۷- مقایسه میانگین نمایه R10mm پیش بینی شده توسط سه مدل با دوره پایه

### ۳-۳-۵- سهم بارش کل سالانه به علت بارش‌های بیش از صدک ۹۵ و ۹۹ بارش دوره پایه

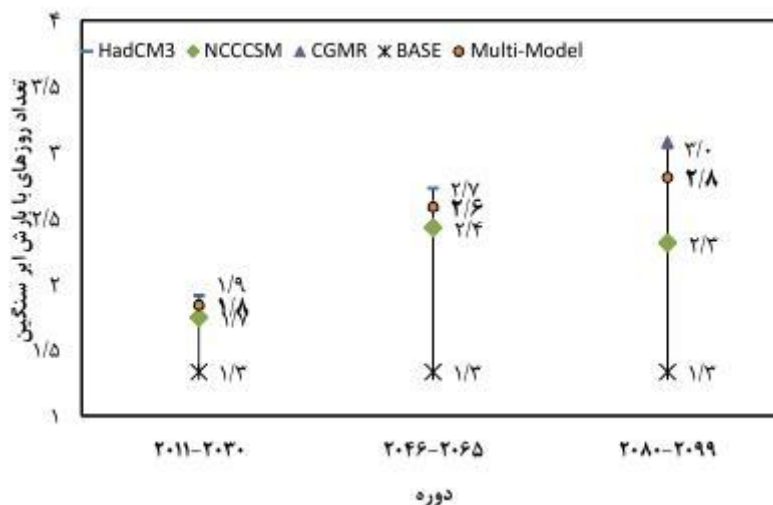
این دو نسبت با محاسبه میانگین مقدار بارش به علت روزهای بسیار تر و بیش از اندازه تر طی دوره پایه و سه دوره پیش‌بینی و تقسیم آن بر میانگین بارش طی دوره‌های یاد شده به دست می‌آید. همانطور که در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود میانگین این نمایه در هر سه دوره افزایش دارد که مقدار افزایش هر دو نمایه در دو دوره آخر قابل ملاحظه می‌باشد (به ویژه در مدل HadCM3).

### ۳-۳-۶- نمایه ساده شدت روزانه (SDII)

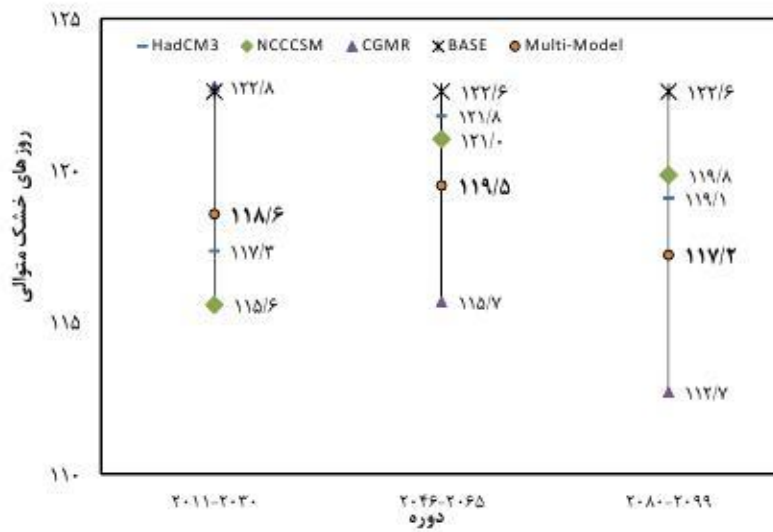
این نمایه ساده شدت روزانه بارش را نشان می‌دهد. این نسبت نشان دهنده نسبت بارش کل سالانه به تعداد روزهای با بارش بیش از ۱ میلی‌متر می‌باشد.

### ۳-۳-۴- روزهای خشک متوالی (CDD)

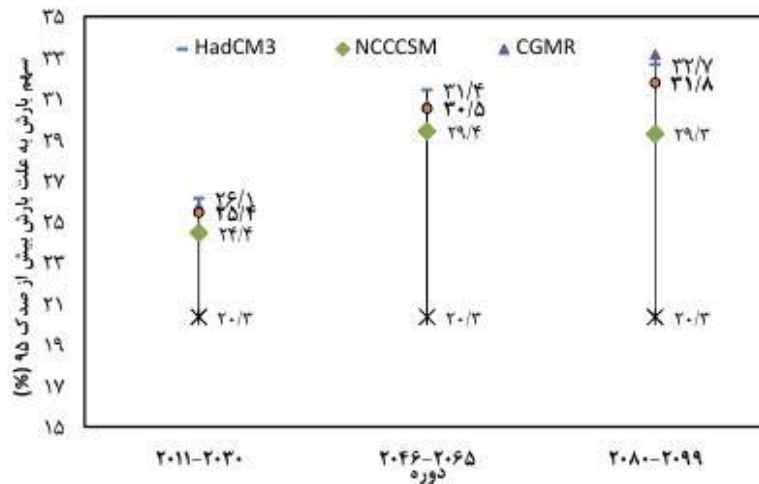
همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود تعداد روزهای خشک متوالی طی سه دوره کاهش خواهد داشت. طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ میزان کاهش پیش‌بینی شده این نمایه از ۰/۲ (در مدل CGMR) تا ۷ روز (در مدل NCCCSM) متغیر می‌باشد. میزان کاهش طی دوره ۲۰۴۶-۲۰۶۵ دارای دامنه‌ای بین ۰/۸ (در مدل HadCM3) و ۶/۹ تا ۹/۹ (CGMR) است. با توجه به تفاوت کم مقادیر پیش‌بینی شده دو مدل مذکور با مقدار دوره پایه، می‌توان نتیجه گرفت که در این دو مدل، این نمایه تقریباً معادل این دوره می‌باشد. دامنه تغییرات طی سال‌های ۲۰۸۰-۲۰۹۹ بین ۲/۸ تا ۹/۹ روز پیش‌بینی شده است (شکل ۹).



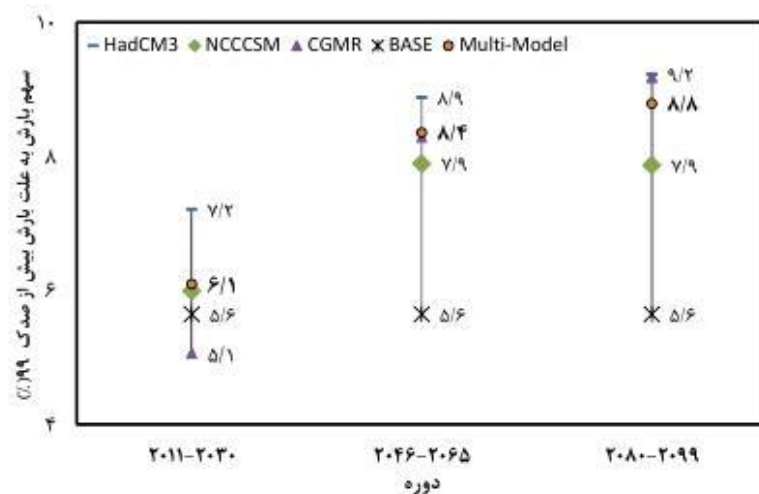
شکل ۸- مقایسه میانگین پیش‌بینی شده نمایه R20mm توسط سه مدل با دوره پایه



شکل ۹- مقایسه میانگین پیش بینی شده نمایه CDD توسط سه مدل با دوره پایه



شکل ۱۰- سهم بارش کل سالانه به علت بارش‌های بیش از صدک ۹۵



شکل ۱۱- سهم بارش کل سالانه به علت بارش‌های بیش از صدک ۹۹

نتایج حاصل از ریزگردانی سه مدل در ایستگاه مشهد نشان دهنده افزایش این نمایه فرین طی سه دوره آتی می‌باشد.

### ۳-۳-۷- بیشینه بارش ۵ روزه (Rx5day)

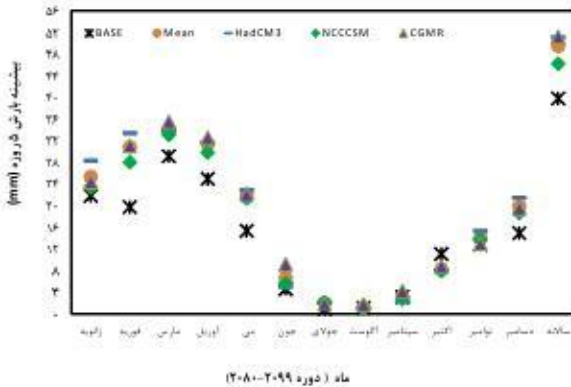
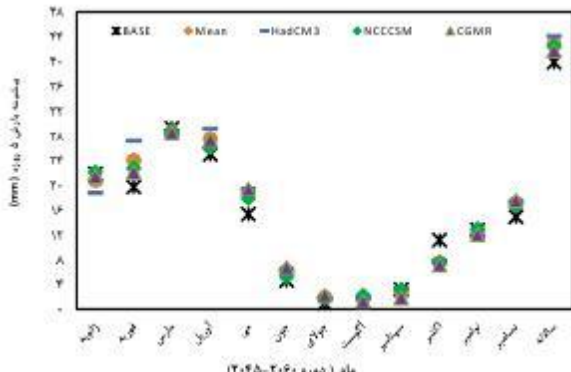
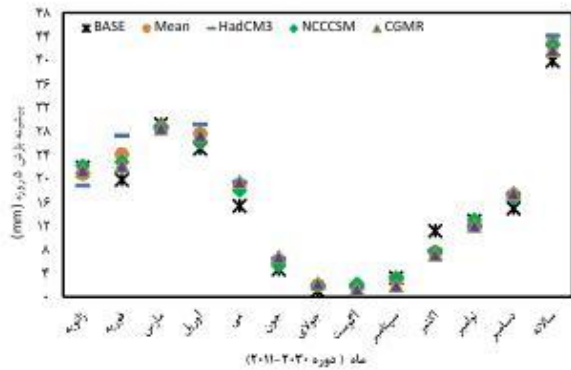
این نمایه فرین نشان دهنده بیشینه بارش پنج روزه طی دوره مورد بررسی می‌باشد. با توجه به اینکه این نمایه بیانگر تداوم فعالیت سامانه های بارانزا و یا ناپایداری در دوره های چند روزه است لذا نمایه ای مناسب برای سیل محسوب می گردد. نتایج بدست آمده در مقیاس سالانه نشان دهنده افزایش این نمایه در سه دوره می باشد که برای دو دوره آخر، افزایش بیشتری برای این نمایه پیش بینی شده است. نکته قابل توجه افزایش میزان این نمایه در ماه جون در هر سه دوره می باشد که نشان از افزایش پتانسیل سیل و خسارات ناشی از آن در منطقه دارد (شکل ۱۲).

### ۴- خلاصه و نتیجه گیری

با توجه به اثر انکارناپذیر تغییر اقلیم بر مقادیر فرین بارش، ارایه سناریوهای این رویدادها جهت برنامه ریزی های دقیق تر برای بخش های مختلف اقتصادی- اجتماعی ضروری به نظر می رسد. شهرهای در حال توسعه ای مانند مشهد به علت زیرساخت های شهری پیچیده، مناطق حاشیه ای با ساختار غیر استاندارد شهری و تغییرات در الگوهای بارش به علت تغییر اقلیم، به طور روزافزونی در معرض خطر سیل قرار دارند. تاکنون پژوهش هایی در رابطه با بررسی روند نمایه های فرین بارش مشهد برای دوره ای آماری ۲۰۰۳-۱۹۵۱ انجام شده است که نتایج بیانگر روند افزایشی نمایه های Rx5day, SDII, R10mm و روند کاهشی خیلی ملایم نمایه های CDD, R95p, R99p بوده است (رحیم زاده، ۱۳۸۴ و عسکری و همکاران، ۱۳۸۶).

در این پژوهش با هدف ارایه دورنمایی از این رویدادها، تاثیر تغییرات میزان گازه های گلخانه ای بر مبنای سناریوی A1B بر نمایه های فوق به صورت درصد تغییر آنها نسبت به دوره پایه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۶). نتایج نشان داد که با افزایش احتمالی بارش طی سه دوره، تعداد روزهای خشک متوالی (میانگین سه مدل) کاهش خواهد داشت. این نمایه به عنوان نمایه پتانسیل خشکسالی مطرح می باشد و تحت افزایش گازه های گلخانه ای انتظار می رود جهان به دلیل افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر، خشک تر شود

اما نتیجه این پژوهش نشان از کاهش میانگین این نمایه طی سه دوره دارد که این امر ممکن است بدلیل فرآیندهای برگشتی رطوبت



شکل ۱۲- میانگین نمایه بیشینه بارش پنج روزه طی دوره پایه و سه دوره مورد بررسی

و بارندگی رخ دهد. اما نکته قابل تأمل این است که درصد افزایش احتمالی بارش میانگین طی سه دوره، دو تا سه برابر میزان کاهش این نمایه می باشد بویژه در دوره دوم که با افزایش ۲۵٪ بارش تنها شاهد کاهش ۲/۵٪ این نمایه خواهیم بود. نمایه های R20mm و R10mm در تمام مدل ها، افزایش چشمگیری را بویژه در دوره سوم (۲۰۸۰-۲۰۹۹) از خود نشان دادند. با توجه به اینکه در اغلب اقلیم ها این دو نمایه ارتباط زیادی با جمع بارش فصلی و سالیانه دارند لذا با افزایش بارش و کاهش کم CDD، چنین نتیجه ای قابل انتظار می باشد. نمایه SDII نیز طی سه دوره بویژه دوره ای سوم افزایش خواهد یافت که این امر با پیش بینی های صورت گرفته مبنی بر

مثبت در شدت بارش در منطقه شمال شرق ایران) همخوانی دارد (Wehner, 2011).

با توجه به نتایج این پژوهش یعنی افزایش نمایه‌های سیل همچون R95p, R99p و Rx5day، احتمالاً برخی زیرساخت‌ها و مناطق شهری (به ویژه مناطق حاشیه‌ای شهر) در معرض خطر آسیب پذیری بالایی نسبت به این رخداد قرار خواهند گرفت. اگرچه عدم قطعیت‌های زیادی در پیش بینی بارش و بویژه مقادیر فرین آن وجود دارد، اما در بسیاری از کشورهای پیشرفته چنین نتایجی در سیاست‌گذاری‌های آبی این کشورها (در بخش‌های اقتصادی- اجتماعی) منظور می‌گردد (Willems et. al. 2012). امید است که با توجه خاص مسوولین، زمینه انجام مطالعات بیشتری در این عرصه فراهم آید چراکه لحاظ چنین نتایجی در برنامه‌ریزی‌های بلند مدت در بخش خدمات شهری (در راستای مدیریت ریسک بلایای طبیعی) ضروری به نظر می‌رسد.

افزایش شدت بارندگی در اغلب اقلیم‌ها بر اثر افزایش قدرت گازه‌های گلخانه‌ای مطابقت دارد. از آنجایی که نمایه‌های R95p و R99p معیارهای مناسبی برای بارندگی‌های حدی به شمار می‌روند لذا می‌توان چنین نتیجه گرفت که افزایش بارش‌های حدی در نتیجه قدرت گازه‌های گلخانه‌ای (بر مبنای میزان فرض شده مقدار این گازها در سناریوی A1B) رخ خواهد داد که این امر بویژه در دوره دوم و سوم قابل ملاحظه است.

بر اساس پیش‌بینی‌های انجام شده، با احتمال بسیار زیادی بارش در عرض‌های بالا افزایش می‌یابد. همچنین با احتمال بسیار زیادی فراوانی موج‌های گرمایی، رویدادهای فرین گرمایی و بارش‌های فرین فزونی خواهند یافت (WMO, 2011). نتایج حاصل از این پژوهش نیز نشان دهنده افزایش میزان کل بارش با دامنه متفاوت بر حسب مدل مورد استفاده می‌باشد. همچنین این نتایج با برخی از نتایج بدست آمده از سایر پژوهش‌ها (به عنوان مثال، انحراف معیار

جدول ۶- درصد تغییرات نمایه‌های مورد بررسی نسبت به دوره پایه

نمایه	دوره	مدل			
		HadCM3	NCCCSM	CGMR	Multi-Model
PRC	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۱۳/۴	۹/۲	۱۱/۵	۱۱/۴
	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۲۶/۱	۲۴/۷	۲۶/۸	۲۵/۹
	۲۰۸۰-۲۰۹۹	۳۴/۱	۲۲/۱	۳۴/۴	۳۰/۲
SDII	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۴	۰/۶	۴/۴	۳
	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۱۱/۶	۹/۴	۱۱/۸	۱۰/۹
	۲۰۸۰-۲۰۹۹	۱۶/۴	۹	۱۷/۱	۱۴/۱
R20mm	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۴۳/۵	۳۱	۳۹/۵	۳۸
	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۱۰۴/۵	۸۲	۹۵	۹۳/۸
	۲۰۸۰-۲۰۹۹	۱۲۷/۵	۷۳/۵	۱۳۱	۱۱۰/۷
R10mm	۲۰۱۱-۲۰۳۰	۲۰/۸	۱۳/۴	۱۸/۶	۱۷/۶
	۲۰۴۶-۲۰۶۵	۳۳/۸	۳۴/۲	۳۷/۴	۳۵/۱
	۲۰۸۰-۲۰۹۹	۴۸	۳۰	۴۷	۴۱/۷
CDD	۲۰۱۱-۲۰۳۰	-۴/۳	-۵/۷	۰/۱	-۳/۳
	۲۰۴۶-۲۰۶۵	-۰/۷	-۱/۳	-۵/۶	-۲/۵
	۲۰۸۰-۲۰۹۹	-۲/۹	-۲/۳	-۸/۱	-۴/۴

- 8- Consecutive dry days
- 9- Diurnal Temperature Range
- 10- Long Ashton Research Station Weather Generator
- 11- Standard Precipitation Index
- 12- Statistical Downscaling Model
- 13- Atmospheric-Ocean General Circulation Model
- 14- General Circulation Models
- 15- REGional Climate Model
- 16- Automated Statistical Downscaling
- 17- Weather Generator

پی‌نوشت‌ها

- 1- Extremes
- 2- Intergovernmental Panel on Climate Change
- 3- World Meteorological Organization
- 4- Commission for Climatology
- 5- World Climate Research Program
- 6- Climate Variability and Predictability
- 7- Expert Team on Climatic Change Detection, Monitoring and Indices

- Observed Trends in Indices of Daily Climate Extremes," *Journal of Climate*, 16, pp.3560–3571.
- Semenov, M. (2008). "Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator," *Climate Research*, 35, 203–212.
- Semenov, M. A. and Stratonovitch, P. (2010). "Use of Multi-model Ensembles from Global Climate Models for Assessment of Climate Change Impacts," *Climate Research*, 4, pp. 1–14.
- Semenov, M.A. and Brooks R.J. (1999). "Spatial Interpolation of the LARS-WG Stochastic Weather Generator in Great Britain," *Climate Research*, 11, pp.137-148.
- Sillmann, J. (2005). "Extreme Events in Climate Model Data," IPCC Workshop, International Max Plank Research School on Earth System Modeling.
- Tank, A. K., Zwiers, F. W. and Zhang, X. (2009). "Guidelines on Analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation," World Meteorological Organization, pp. 52.
- Wang, X., L. (2008). "Accounting for autocorrelation in detecting mean shifts in climate data series using the penalized maximal t or F test," *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47, pp. 2423-2444.
- Wang, X., Yang, T., Shao, Q., Kumud, A., Wang, W. and Yu, Z. (2011). "Statistical downscaling of extremes of precipitation and temperature and construction of their future scenarios in an elevated and cold zone," *Stoch. Environ. Res. Risk. Asses*, 26, 405-418.
- Wehner, M. F. (2011). "Extremes from Climate Models Overview of AR4 and USGCRP reports Plans for AR5, Summer Colloquia: Statistical Assessment of Extreme Weather Phenomena under Climate Change (RAL/MMM/IMAGe), Advanced Study Program," National Center for Atmospheric Research (NCAR).
- Willems, P., Arnbjerg-Nielsen, K., Olsson, J. and Nguyen, V.T.V. (2012). "Climate change impact assessment on urban rainfall extremes and urban drainage: Methods and shortcomings," *Atmospheric Research*, 103, pp. 106–118.
- World Meteorological Organization (2011). *Weather extremes in a changing climate: hindsight on foresight*, ISBN:978-92-63-11075-6.
- Yan, Z., Jones, P. D., Davies, T. D., Moberg, A., Bergstrom, H., Camuffo, D., Cocheoc, M., Demaree, G. R., Verhoeve, T., Theoen, E., Barriendos, M., Rodriguez, R., Marttin Vide, J. and
- 18- Semi-empirical distribution  
19- Cumulative Probability Distribution Function  
20- Number of heavy precipitation days  
21- Number of very heavy precipitation days  
22- Simple daily intensity index

## ۷- مراجع

- بابائیان، ا.، نجفی نیک، ز. (۱۳۸۴)، "ارزیابی تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره ۲۰۳۹ - ۲۰۱۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی خروجی مدل GCM"، گزارش پروژه پژوهشکده اقلیم شناسی و سازمان هواشناسی کشور.
- رحیم زاده، ف. (۱۳۸۴)، "بررسی تغییرات مقادیر فرین بارش در ایران"، نیوار، شماره ۵۸-۵۹، صص ۷-۲۰.
- رحیم زاده، ف.، عسکری، ا.، فتاحی، ا.، محمدیان، ن. و تقی پور، ا. (۱۳۸۸)، "روند نمایه های فرین اقلیمی دما در ایران طی دوره ۲۰۰۳-۱۹۵۱"، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره ۹۳، صص ۱۵۷۱۷-۱۵۷۴۲.
- عساکره، ج. (۱۳۸۹)، "تحلیل تغییرات بارش های فرین شهرزنان"، پژوهش های اقلیم شناسی، سال اول، شماره اول و دوم، صص ۸۹-۱۰۰.
- عسکری، ا.، رحیم زاده، ف.، محمدیان، ن. و فتاحی، ا. (۱۳۸۶)، "تحلیل روند نمایه های بارش های فرین در ایران"، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۳، ۵۶-۴۲.
- گل محمدی، م. و مساح بوانی، ع. (۱۳۹۰). "بررسی تغییرات شدت و دوره بازگشت خشکسالی حوضه قره سو در دوره های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم". نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵ (۲): ۳۱۵ تا ۳۲۶.
- مساح، ع. و سادات آشفته، پ. (۱۳۸۶). "بررسی اهمیت موضوع تغییر اقلیم در جهان و تاثیر آن بر سیستم های مختلف". کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب، ۲۴ بهمن ماه ۱۳۸۶. تهران.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2010). Meeting Report, IPCC Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections, National Center for Atmospheric Research, Boulder, Colorado. USA.
- Jiang, Z., Song, J., Li, L., Chen, W., Wang, Z. and Wang, J. (2012). "Extreme climate events in China: IPCC-AR4 model Evaluation and projection," *Climatic Change*, 11(1-2), pp. 385-401.
- Kiktev, D., David, M. H. Sexton, L. A. and Folland, C.K. (2003). "Comparison of Modeled and

(2011). "Changes of daily climate extremes in southwestern China during 1961–2008," *Global and Planetary Change*, 80-81, pp. 255–272.

Yang, C. (2002). "Trends of extreme temperature in Europe and China based on daily observations," *Climatic Change*, 53, pp. 355-392.

Zongxing, L., He, Y., Wang, P., Theakstone, W.H., An, W., Wang, X., Lu, A., Zhang, W. and Cao, W.