

بررسی خروجی مدل‌های پیش‌بینی عددی تحت سناریوی RCP4.5 در پیش‌بینی خشک‌سالی‌های هواشناسی

نسرین صالح‌نیا^۱، امین علیزاده^۲، حسین ثنائی‌نژاد^{۳*}، محمد بنایان^۴، آذر زرین^۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۷/۱۵

چکیده

تغییرات اقلیمی بوجودآمده تکرار و تناوب وقوع خشک‌سالی‌ها در جهان را دست‌خوش تغییرات معنی‌داری کرده‌است که منابع آبی و کشاورزی کشور ما ایران نیز از گزند این تغییرات در امان نبوده‌است. در این مطالعه به دلیل اهمیت حوضه‌ی آبریز کشف‌رود در شمال‌شرق ایران، به بررسی خشک‌سالی‌های هواشناسی این منطقه در طی سه دهه‌ی آتی (۱۳۹۷-۱۴۰۶)، (۱۴۰۷-۱۴۱۶) و (۱۴۱۷-۱۴۲۶) پرداخته شد. از آن‌جایی که یکی از پرکاربردترین شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی شاخص بارش استاندارد شده (SPI) است، در این پژوهش، شاخص SPI مورد محاسبه قرار گرفت. بهره‌گیری از مدل‌های پیش‌بینی عددی و استفاده از روش ریزمقیاس دینامیکی، دقیق‌ترین و معتبرترین راه جهت تولید داده‌های جوی برای انجام پیش‌بینی‌های اقلیمی است. در تحقیق حاضر از خروجی بارش مدل EC-EARTH تحت سناریوی RCP4.5 استفاده شد. با در نظر گرفتن قدرت تفکیک مکانی خروجی‌های مدل، کل حوضه‌ی کشف‌رود به ۶ پیکسل ۰/۴۴ در ۰/۴۴ درجه تقسیم شد و ارزیابی مقادیر بر روی هر پیکسل مورد محاسبه قرار گرفت. همچنین، تعداد ماه‌های خشک و بسیارخشک به‌طور متوسط در کل حوضه محاسبه شد. نتایج نشان داد که مدل مذکور در سطح اطمینان ۹۹ درصد با ضریب همبستگی به‌طور متوسط ۶۴ درصد در پیش‌بینی مقادیر بارش، توانمند است. تحلیل نتایج بدست آمده در سه دهه‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه (۱۳۹۵-۱۳۶۶) نشان داد که تعداد وقوع خشک‌سالی‌ها افزایش، اما به‌طور متوسط شدت خشک‌سالی‌های آینده کاسته خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: پروژه‌ی CORDEX، ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی، سناریوی RCP4.5، منطقه‌ی MENA، نمایه‌ی توافق

مقدمه

خشک‌سالی به آرامی توسعه پیدا می‌کند و از لحاظ زمانی طولانی‌ترین مدت زمان را برای ایجاد اثرات و آسیب‌های مختلف به خود اختصاص می‌دهد و در حال حاضر در میان تمام پدیده‌های زیان‌بخش جوی، پیش‌بینی آن با عدم قطعیت‌های بالا و دقت کم‌تر همراه می‌باشد (Mishra and Singh., 2010). خشک‌سالی یک دوره‌ی غیر طبیعی خشک و طولانی مدت است که در آن آب به اندازه‌ی کافی برای نیازهای طبیعی موجود نیست. به‌طور کلی، این پدیده هنگامی رخ می‌دهد که یک منطقه کم‌تر از میانگین بارش نرمال آن نسبت به سال‌های گذشته - بارش دریافت کند (Lashkari and Bannayan., 2013). این پدیده یکی از بلاهای طبیعی ناخوشایند است که اثرات نامطلوبی را در منابع آبی، محیط زیست، کشاورزی، اقتصاد و سایر ابعاد اجتماعی بشریت برجای می‌گذارد. در ۲۰ سال گذشته، نزدیک به یک میلیارد نفر در سراسر جهان تحت تاثیر خشک‌سالی و اثراتش قرار گرفته‌اند (UNISDR., 2012). مرکز ملی کاهش خشک‌سالی، خشک‌سالی‌ها را به سه نوع تقسیم می‌کند: خشک‌سالی هواشناسی،

با توجه به پنجمین گزارش ارزیابی هیئت بین‌دولت‌ها تغییرات اقلیمی ۶ (IPCC)، پیش‌بینی می‌شود که الگوهای دما و بارش به‌طور قابل توجهی تا پایان قرن بیست و یکم، تغییر یابد (IPCC, 2013) که این تغییرات با ادامه‌ی انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs) ادامه خواهند داشت. تغییرات اقلیمی منجر به وقوع و تشدید مخاطرات جوی از جمله، گرمایش زمین، سیل و خشک‌سالی می‌شود. با احتمال بسیار بالا در میان مخاطرات هواشناسی و در مقایسه با همه‌ی آن‌ها،

- ۱- دانش آموخته دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشکده کشاورزی، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۲- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۴- استاد گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
 - ۵- استادیار گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد
- * - نویسنده مسئول: (Email: sanaein@gmail.com)

سیستم کامپیوتری معمولی اجرا نمی‌شوند و نیاز به سیستم‌های چند هسته‌ای با پردازنده‌های بسیار قدرتمند دارند، از این رو اجرای آن‌ها هزینه‌بر، زمان‌بر و مستعد خطاست (Misra et al., 2003; Castro et al., 2005; De Sales and Xue, 2006).

به دلیل پیچیدگی و زمان‌بر بودن اجرای مدل‌های دینامیکی بصورت فردی، برای اولین بار در سال ۲۰۰۹، پروژه‌ای تحت عنوان CORDEX^۴ که برنامه‌ی جهانی تحقیقات اقلیمی (WCRP)^۵ حامی آن است، به اجرای مدل‌های منطقه‌ای (RCM)^۶ برای همه‌ی قاره‌ها در سطح جهانی پرداختند (Giorgi et al., 2009). خروجی برخی از مدل‌های دینامیکی و منطقه‌ای اجرا شده در این پروژه در سایت این مرکز ارایه شده است.

با توجه به مطالب ارایه شده در ادامه به مطالعاتی که در سرتاسر جهان انجام شده‌است، اشاره می‌شود. مطالعات مختلفی براساس نتایج حاصل از CMIP5 انجام شده که تغییرات مقادیر بارش، خشک‌سالی و رویدادهای حدی اقلیمی را در سراسر جهان تحت سناریوهای مختلف RCP ارزیابی کرده‌اند. همه‌ی این مطالعات نشان می‌دهند که این مدل‌ها از توانمندی مناسبی در تولید و پیش‌بینی داده‌های آینده برخوردارند (Xu and Xu., 2012; Chen et al., 2013).

در جمهوری کره جنوبی، پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI و توسط پنج مدل RCM، تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای سال‌های ۲۰۲۱-۲۱۰۰ انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که تعداد ماه‌های خشک‌سالی برای سال‌های ۲۰۴۱-۲۰۷۰ تحت سناریوی RCP8.5 و در سال‌های ۲۰۷۱-۲۱۰۰ تحت سناریوی RCP4.5 افزایش خواهد یافت (Choi et al., 2016). نصراللهی و همکاران با محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI و با استفاده از مقایسه داده‌های شبکه‌بندی CRU^۷ با ۴۱ مدل CMIP5 به بررسی مقادیر خشک‌سالی پرداختند. این نویسندگان نتیجه گرفتند که تنها ۴۰ درصد از شبیه‌سازی‌های CMIP5، روند خشک‌سالی بدست آمده از داده‌های مشاهداتی CRU را نشان می‌دهند (Nasrollahi et al., 2015). با توجه به این نتایج لزوم استفاده از روش‌های ریزمقیاس دینامیکی برای افزایش دقت خروجی داده‌های آینده اهمیت بسزایی دارد. در شرق آفریقا، اندریس و همکاران، با اجرای مدل‌های RCM از مجموعه مدل‌های CORDEX با شبیه‌سازی مقادیر بارش نشان دادند که بسیاری از مدل‌های RCM قادر به شبیه‌سازی ویژگی‌های اصلی اقلیمی بارش در مقیاس‌های ماهانه و فصلی هستند. آن‌ها نشان دادند در برخی موارد اختلافاتی در

کشاورزی و هیدرولوژیکی (Wilhite., 2000). خشک‌سالی هواشناسی به معنای عدم وقوع بارش در یک منطقه‌ی خاص و طی یک دوره‌ی زمانی مشخص تعریف می‌شود (Eltahir., 1992).

به دلیل خسارت‌های جانی و مالی بسیاری که خشک‌سالی بر جای می‌گذارد، پایش و پیش‌بینی این پدیده به چالشی بزرگ برای محققین علوم مختلف تبدیل شده‌است بنابراین آن‌ها بر تولید روش‌ها و مدل‌های دقیق‌تر برای کاهش زیان‌های ممارست می‌ورزند (Salehnia et al., 2013). یکی از این روش‌ها تولید اعدادی بی‌بعد به نام شاخص‌های خشک‌سالی است. شاخص‌های مختلفی در سراسر جهان ارایه شده‌اند که قادر به عددی کردن پدیده‌ی خشک‌سالی می‌باشند. یکی از پرکاربردترین آن‌ها شاخص بارش استاندارد (SPI) است که توسط مک‌کی ارایه شده است (McKee et al., 1993). علاوه بر ارایه‌ی شاخص‌های متفاوت جهت پایش خشک‌سالی، مدل‌های جهانی گردش عمومی (GCM)^۱ نیز می‌توان برای پیش‌بینی این پدیده بهره‌برد. در سال ۲۰۱۳ طبق توافق IPCC در گزارش پنجم، مدل‌های GCM با نام کلی CMIP5^۲ به همراه چهار سناریوی تحت عنوان سناریوهای RCP^۳ تا سال ۲۱۰۰، ارایه شدند (IPCC., 2013).

اگر چه مدل‌های GCM امروزه از قدرتمندترین ابزارها برای شبیه‌سازی فرآیندهای فیزیکی آب و هوا می‌باشند، اما این مدل‌ها عمدتاً از قدرت تفکیک مکانی پایینی برخوردارند، به طوری که در بهترین حالت تفکیک افقی داده‌های آن‌ها از حدود ۱۰۰ کیلومتر کم‌تر نخواهد بود و این دقت برای مخاطرات منطقه‌ای و یا سایر پدیده‌های محلی مناسب و دقیق نمی‌باشند. برای غلبه بر این مشکل و تطبیق نتایج این مدل‌ها به مقیاس محلی از تکنیک‌های ریزمقیاس‌نمایی استفاده می‌شود. این تکنیک به دو روش اصلی ریزمقیاس‌نمایی آماری و ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی تقسیم می‌شود (Murphy., 1999; Deque et al., 2007). روش ریزمقیاس‌نمایی آماری مانند پلی است که بوسیله‌ی روش‌های آماری اتصال بین متغیرهای مدل‌های بزرگ مقیاس به متغیرهای اقلیمی در سطح منطقه و محلی را ایجاد می‌کند (Sayari et al., 2013). اجرای این مدل‌ها با استفاده از یک پردازنده‌ی معمولی و با انواع سیستم عامل‌ها و در مدت زمان کم، امکان‌پذیر است (Chang and Jung, 2010). در مقابل روش‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی از آن‌جایی که تولید داده در آن‌ها از دقت بالایی برخوردار است و در بدنه‌ی آن‌ها از معادلات پیچیده‌ی فیزیکی جو در لایه‌های مختلف اطلاعاتی استفاده می‌شود، بنابراین تحت یک

4 - The Coordinated Regional climate Downscaling Experiment (CORDEX)

5 - World Climate Research Program

6 - Regional Climate Model (RCM)

7 - Climatic Research Unit

1 - General Circulation Model (GCM)

2 - the Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5)

3 - Representative Concentration Pathways (RCP)

۵۸°۲' (مهم‌ترین رودخانه‌ی بخش شما شرقی استان خراسان رضوی بوده و زهکش اصلی دشت مشهد به‌شمار می‌آید. این رودخانه از یک بستر میان‌دستی استفاده نموده و در دره‌ای واقع بین کوه‌های هزار مسجد از یک سو و بینالود از سوی دیگر جریان می‌یابد. این حوضه مساحتی در حدود ۱۶۵۰۰ کیلومتر مربع را تحت پوشش قرار می‌دهد. از این مساحت ۵۰۰۰ کیلومتر را دشت و مابقی را ارتفاعات به خود اختصاص می‌دهند. این منطقه از لحاظ آب و هوایی و طبقه‌بندی دومارتن دارای اقلیمی خشک و سرد است. به دلیل اهمیت این حوضه در مطالعه‌ی حاضر این حوضه به عنوان منطقه‌ی مورد مطالعه انتخاب شد. موقعیت مکانی این حوضه به همراه دو ایستگاه سینوپتیک واقع در آن در شکل ۱، ارائه شده است.

روش تحقیق، داده‌ها و مدل‌های مورد استفاده

برای انجام مطالعه داده‌های روزانه‌ی بارش (میلی‌متر) ایستگاه‌های سینوپتیک مشهد و گلکان از سازمان هواشناسی خراسان رضوی اخذ گردید. دوره‌ی پایه ۱۳۶۶-۱۳۹۵ و دوره‌ی پیش‌بینی ۱۳۹۷-۱۴۲۶ می‌باشد.

از شاخص خشک‌سالی هواشناسی SPI برای پایش و پیش‌بینی خشک‌سالی در دوره‌های مذکور استفاده شد. در بین توزیعات بررسی شده مک کی دریافت که توزیع گاما مناسب‌ترین توزیع برای برآزش داده‌ها در محاسبه این شاخص می‌باشد. محاسبه‌ی شاخص خشک‌سالی SPI و مراحل محاسبات این شاخص در معادلات ذیل ارائه شده است. در گام اول محاسبه‌ی معادله‌ی ۱ ضروری است. معادله‌ی ۱، پارامتر x برای مقادیر بزرگ‌تر از صفر و $\Gamma(\alpha)$ تابع گاما است.

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \times \Gamma(\alpha)} \times x^{\alpha-1} \times e^{-\frac{x}{\beta}} \quad (1)$$

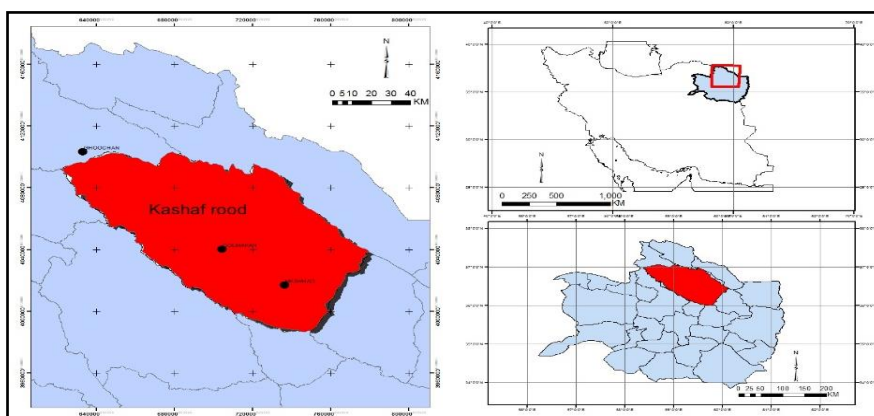
شبیه‌سازی نتایج وجود دارد (Endris et al., 2013). در مطالعه‌ای شدت، مدت و تناوب خشک‌سالی‌ها در مناطق آسیای شرقی با استفاده از خروجی داده‌های CORDEX برای این منطقه مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که خشک‌سالی‌ها در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه روند کاهشی خواهد داشت. همچنین تناوب خشک‌سالی‌ها کاهش و مدت آن‌ها افزایش خواهند یافت (Um et al., 2017). با استفاده از هشت مدل اقلیم منطقه‌ای و پنج مدل مختلف گردش عمومی، تغییرات خشک‌سالی اروپا در دوره‌ی پایه ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و دوره‌ی پیش‌بینی ۲۰۲۱-۲۰۵۰ با استفاده از مقیاس‌های مختلف شاخص SPI (SPI-3, SPI-6, SPI-12, SPI-18, SPI-24) مورد بررسی قرار گرفت. این تحقیق نشان داد که افزایش بیش‌تر در شرایط خشک‌سالی (تناوب، طول، مدت و شدت) در سراسر اروپا در دوره‌ی زمانی آینده اتفاق خواهد افتاد (Heinrich and Gobiet., 2012). در پژوهش دیگری لپرایس و همکاران، خروجی مدل‌های CORDEX در منطقه‌ی آفریقا را در کنار عملکرد دو مدل اقلیم- منطقه‌ای کانادا مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که خطا در شرایط مرزی مدل‌های منطقه‌ای، در شبیه‌سازی برخی از ویژگی‌های اقلیمی اختلال ایجاد می‌کند (Laprise et al., 2012).

هدف از این مطالعه، پایش خشک‌سالی هواشناسی در حوضه‌ی آبریز کشف‌رود با استفاده از شاخص SPI و پیش‌بینی تغییرات آن طی سه دهه‌ی آینده با استفاده از خروجی مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی در این حوضه و در نهایت تحلیل و مقایسه سه دهه‌ی پایه با سه دهه‌ی آینده می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

رودخانه‌ی کشف‌رود (N ۳۱° ۳۶'، E ۸۱° ۶۰' ت)



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبریز کشف‌رود و دو ایستگاه سینوپتیک مشهد و گلکان

نویسندگان این مقاله تهیه شده است، محاسبه شد. این نرم افزار کلیه‌ی شاخص‌های خشک‌سالی هواشناسی بر پایه‌ی بارش را محاسبه می‌کند و از آدرس www.agrimetsoft.com قابل دسترسی است. برای توضیحات کامل به مقاله‌ی (Salehnia et al., 2017) مراجعه کنید.

مدل ریزمقیاس دینامیکی و سناریوی‌های RCP¹

با توجه به اینکه اجرای مدل‌های دینامیکی فرآیندی زمان‌بر و مستعد خطاست، در سال ۲۰۰۹ برای اولین بار، آغاز پروژه‌ای به نام CORDEX کلید خورد (Giorgi et al., 2009). این پروژه مطابق با معیارها و حمایت‌های برنامه‌ی پژوهش جهانی آب و هوا (WCRP)² به انجام رسید. کوردکس مجموعه‌ی منحصر به فرد و جدیدی از پروژه‌های ریزمقیاس شده‌ی دینامیکی را با استفاده از مدل‌های منطقه‌ای اقلیمی مختلف، بر روی تمامی قاره‌ها در سراسر کره‌ی زمین، فراهم می‌کند (Jones et al., 2011). هدف این پروژه ریزمقیاس کردن مدل‌های گردش عمومی جو CMIP5 است. برای بررسی دقیق تغییرات اقلیمی و ایجاد استراتژی‌های دقیق انطباقی نیاز به خروجی مدل‌های منطقه محدود با قدرت تفکیک مکانی کم‌تر از ۴۵ کیلومتر است. پروژه‌ی CORDEX دارای ۱۴ منطقه است. با بررسی مناطق مختلف و دقت خروجی‌ها اجرا شده در این پروژه، ناحیه‌ی ۱۳ که ایران در داخل آن قرار دارد انتخاب شد. مدل‌های اجرا شده توسط پروژه‌ی CORDEX دارای قدرت تفکیک مکانی مختلف هستند. در ناحیه‌ی ۱۴ که به نام منطقه‌ی MENA (مناطق خاورمیانه و شمال آفریقا)³ مدل‌های مختلفی تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 و با استفاده از مدل ریزمقیاس دینامیکی RCA4 ریزمقیاس شده‌اند. با توجه به این که سناریوی RCP4.5 سناریوی است که مقدار افزایش تابش‌های خورشیدی تا سال ۲۱۰۰ را ۴/۵ وات بر مترمربع (برابر با ۶۵۰ پی‌پی‌ام CO₂) تخمین می‌زند، از این رو این سناریو به عنوان یک سناریوی متوسط در نظر گرفته می‌شود (Meinshausen et al., 2007). اما سناریوی RCP8.5 این افزایش را تا ۸/۵ وات بر مترمربع (برابر با ۱۳۷۰ پی‌پی‌ام CO₂) تخمین می‌زند و به عنوان یک سناریوی افزایشی در نظر گرفته می‌شود، به طوری که در این سناریو افزایش تا پایان قرن ۲۱ ادامه خواهد یافت (Riahi et al., 2007). در جدول ۱، مدل‌های مورد استفاده تحت سناریوهای RCP8.5 و RCP4.5 و با دو دقت ۰/۴۴ و ۰/۲۲ درجه، در این مطالعه

در معادله‌ی ۱، $\alpha > 0$ پارامتر شکل و $\beta > 0$ پارامتر مقیاس می‌باشند که باید برای هر ایستگاه و هر مقیاس زمانی تخمین زده شوند و $x > 0$ مقدار بارش است. برای محاسبه‌ی معادله‌ی ۱ نیاز به محاسبه معادله‌ی ۲ داریم. به عبارتی محاسبه‌ی تابع گاما از معادله‌ی ۲، امکان‌پذیر است.

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (2)$$

برازش توزیع برای داده‌های آلفا و بتا باید تخمین زده شود. تخمین این دو پارامتر توسط توماس (۱۹۵۸) انجام گرفت. برای محاسبه‌ی دو پارامتر فوق، از معادله‌ی ۳ و یا به عبارتی پارامتر A استفاده می‌شود.

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (3)$$

در این معادله n، تعداد مشاهدات بارندگی و \bar{x} متوسط آن‌ها می‌باشد. مقادیر آلفا و بتا توسط معادلات ۴ و ۵ محاسبه می‌شوند.

$$\alpha = \frac{1}{4A} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right], \alpha > 0 \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha}, \quad \beta > 0 \quad (5)$$

پس از این که پارامترهای توزیع گاما برای هر یک از ایستگاه‌ها استخراج شد، باید تابع توزیع احتمال تجمعی با استفاده از معادله‌ی ۶ برای هر یک از داده‌ها محاسبه گردد.

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx = \frac{1}{\beta \Gamma(\hat{\alpha})} \int_0^x x^{\hat{\alpha}-1} e^{-\frac{x}{\beta}} dx \quad (6)$$

از آنجایی که تابع گاما برای مقادیر x برابر صفر تعریف نشده است و رخداد مقدار بارش صفر امری طبیعی است بنابراین باید تابع احتمال تجمعی کل را که در برگیرنده‌ی مقادیر صفر هم باشد، بصورت معادله‌ی ۷، تعریف کرد.

$$H(x) = q + (1 - q) \times F(x) \quad (7)$$

که در این رابطه q احتمال بارندگی به میزان صفر است. بنابراین اگر تعداد داده‌های بارش برابر n و تعداد داده‌های بارندگی در سری زمانی که مقدار آن‌ها صفر است، برابر m باشد، آن گاه می‌توان مقدار q را از معادله‌ی ۸ محاسبه نمود.

$$q = \frac{m}{n} \quad (8)$$

در پایان، توزیع احتمال تجمعی به توزیع نرمال استاندارد انتقال داده می‌شود که در نهایت می‌توان مقادیر SPI را با توجه به آن بدست آورد (Abramowitz and Stegun, 1965). مقادیر این شاخص بین مقادیر ۲ و ۲- طبقه‌بندی می‌شود که مقادیر مثبت مربوط به ترسالی‌ها و مقادیر منفی مربوط به خشک‌سالی‌ها است.

تمامی محاسبات مذکور در نرم‌افزاری به نام MDM که توسط

1 - Representative Concentration Pathways (RCPs)

2 - The World Climate Research Program (WRCP)

3 - MENA (Middle East and North Africa region)

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2 / n} \quad (11)$$

اجرا شدند.

$$MAE = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n |O_i - P_i| \quad (12)$$

مرحله‌ی کالیبراسیون

در این مطالعه، در مرحله‌ی کالیبراسیون با اعمال ضریب اصلاحی نتایج بهبود یافت. این ضریب اصلاحی با اجراهای مختلف و معادلات متعدد بدست آمد. طبق معادله‌ی ۱۳، این ضریب بر روی داده‌های مدل انتخابی اعمال شد و سپس تحلیل‌های آماری مجدداً مورد محاسبه قرار گرفت.

$$Coeff_m = \frac{\overline{Pr}_m^{st}}{\overline{Pr}_m^{cortex}} \quad (13)$$

ضریب اصلاحی معادله‌ی ۱۳، از تقسیم متوسط داده‌های بارش ماهانه‌ی ایستگاهی (\overline{Pr}_m^{st}) بر متوسط داده‌های بارش ماهانه‌ی کوردکس (\overline{Pr}_m^{cortex}) بدست آمد.

نتایج و بحث

نتایج دوره‌ی صحت‌سنجی مدل

به منظور بهره‌گیری از خروجی مدل‌های ارایه شده (جدول ۱)، داده‌های بارش خروجی مدل برای یک دوره‌ی تاریخی (۱۳۹۵-۱۳۸۵)، با داده‌های بارش مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت. جدول ۲ نتایج ارزیابی را برای دوره‌ی تاریخی (دوره‌ی صحت‌سنجی) نشان می‌دهد. بررسی داده‌های بارش، بیانگر آن است که تنها خروجی‌های ۰/۴۴ درجه مدل EC-EARTH تحت مدل دینامیکی RCA4 برای دوره‌ی یاد شده، از ارزش قابل‌قبولی برخوردار است. با استفاده از داده‌های بارش در این مدل مقدار همبستگی بین داده‌های بارش ایستگاه مشهد و مدل منتخب، ۰/۵۳ و در ایستگاه گلکان برابر ۰/۵۵ بدست آمد. با توجه به نتایج جدول ۲، می‌توان دریافت که در هر دو ایستگاه با مدل منتخب تحت سناریوی RCP4.5 و با دقت ۰/۴۴ درجه انتخاب مطلوب در مقایسه با سایر مدل‌ها و سناریوهای ارایه شده می‌باشند.

به منظور مقایسه‌ی داده‌های خروجی مدل و داده‌های مشاهداتی، مقادیر بارش ماهانه خروجی مدل EC-EARTH به همراه مقادیر بارش ماهانه دو ایستگاه مشهد و گلکان برای دوره‌ی صحت‌سنجی (۱۳۸۵-۱۳۹۵) در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است. در هر دو نمودار در ماه چهل‌م از دوره‌ی ۱۳۹۵-۱۳۸۵ مقادیر مدل شده ۲/۵

چالش عمده‌ای که محققین در دانلود و خواندن داده‌های مدل‌های ریزمقیاس دینامیکی و پروژه‌ی کوردکس دارند، اول، ثبت‌نام در سایت‌های وابسته و گرفتن نام کاربری از این سایت‌هاست و دوم خواندن داده‌های با فرمت فایل nc4 است. در پروژه‌ی حاضر، داده‌های nc4 از طریق MATLAB خوانده شدند و سپس با بازنویسی داده‌ها در فایل اکسل توسط یک قطعه کد منطقه‌ی مورد مطالعه از کل داده‌ها استخراج شد. کلیه‌ی فرآیندها نیز توسط قطعات کدنویسی MATLAB انجام شد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی مدل دینامیکی، کل حوضه به ۶ شبکه (grid) تقسیم شد و کل محاسبات بر روی این شبکه‌ها انجام شد.

معیارهای کارایی

برای دوره‌ی صحت‌سنجی و ارزیابی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی و هم‌چنین میزان خطا از معیارهای آماری مختلف در این مطالعه استفاده شد که عبارتند از، نمایه‌ی توافق (d)، شاخص کارایی نش-ساتکلیف (NSE)، ریشه‌دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین قدرمطلق خطا (MAE). میزان تغییرات شاخص NSE بین منهای بی‌نهایت تا یک است و هر چه مقادیر بدست آمده به یک نزدیک‌تر باشد، دقت داده‌های پیش‌بینی بالاتر خواهد بود (Nash and Sutcliffe, 1970). مقادیر d، بین یک و صفر است و هر چه مقدار نمایه‌ی d به یک نزدیک‌تر باشد، مدل پیش‌بینی از قطعیت بالاتری برخوردار خواهد بود و توافق کاملی بین داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی وجود خواهد داشت (Willmot, 1984). مقادیر RMSE و MAE بیانگر میزان متوسط خطا بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی می‌باشند (Legates and McCabe, 1999). هر یک از معیارهای مذکور از روابط ذیل محاسبه می‌شوند. که در روابط ذیل، متغیر O_i و \bar{O} به ترتیب داده‌های مشاهداتی و میانگین آن‌ها در زمان i می‌باشند. متغیر P_i مقادیر داده‌های پیش‌بینی و N تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \quad (9)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (10)$$

- 1 - Index of agreement (d)
- 2 - Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)
- 3 - Root mean squared error (RMSE)
- 4 - Mean Absolute Error (MAE)

بعد، با استفاده از داده‌های خروجی مدل دینامیکی، مقادیر شاخص SPI برای کل حوضه و برای سه دهه‌ی آینده (۱۳۹۷-۱۴۲۶) مورد محاسبه قرار گرفت. نتایج محاسبات این شاخص در شکل ۶، ارایه شده است. با توجه به نتایج بدست آمده در دهه‌ی اول (۱۴۰۶-۱۳۹۷) شدیدترین خشک‌سالی طبق خروجی مدل دینامیکی RCA4 اتفاق خواهد افتاد. در دهه‌ی دوم (۱۴۱۶-۱۴۰۷) در حوضه‌ی کشف‌رود، نیمی از دهه با خشک‌سالی‌های متوسط همراه خواهد بود و در نهایت در دهه‌ی سوم (۱۴۲۶-۱۴۱۷) حوضه‌ی کشف‌رود در سال‌های ابتدایی این دهه با خشک‌سالی‌های متوسط همراه خواهد بود و در نیمه‌ی دوم این دهه، حوضه‌ی کشف‌رود با ترسالی‌ها روبرو خواهد شد و احتمالاً ریزش‌های بیش‌تر بارش را تجربه خواهد کرد.

هم‌چنین بطور کلی از نتایج می‌توان چنین اظهار داشت که تکرار و تناوب وقوع خشک‌سالی‌ها در سی ساله‌ی آینده بیش‌تر از سی ساله‌ی مشاهداتی خواهد بود. به عبارتی فواصل بین وقوع خشک‌سالی‌ها بطور متوسط کم‌تر خواهد شد. انتظار می‌رود بنا بر نتایج مدل دینامیکی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال‌های ۱۴۱۷ تا ۱۴۲۶ طولانی‌ترین خشک‌سالی‌ها را بطور پیوسته تجربه کنند. اما بطور کلی تحلیل نتایج نشان داد که در سه دهه‌ی آینده از شدت خشک‌سالی‌ها کاسته خواهد شد.

میلی‌متر مقدار بارش را کم‌تر از مقدار مشاهداتی تخمین می‌زنند و این عدم تطابق در چندماه دیگر هم تکرار می‌شود. به‌طور کلی، در ایستگاه مشهد نسبت به ایستگاه گل‌مکان تطابق کم‌تری بین داده‌های خروجی مدل و داده‌های مشاهداتی وجود دارد.

در دوره‌ی مشاهداتی (۱۳۹۵-۱۳۶۶)، مقادیر SPI برای دو ایستگاه مشهد و گل‌مکان محاسبه شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌گردد، ایستگاه گل‌مکان که در میانه‌ی دشت قرار گرفته است در طول سال‌های ۱۹۹۳ و ۱۳۸۷ دارای خشک‌سالی خیلی شدید و در طی سال‌های ۱۳۶۹، ۱۳۷۱، ۱۳۷۹، ۱۳۸۰ و ۱۳۸۵ دارای خشک‌سالی‌های شدید بوده‌است. در ایستگاه مشهد که در انتهای حوضه قرار گرفته‌است، مانند گل‌مکان در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۸۰، شدیدترین خشک‌سالی را تجربه کرده‌است. همان‌طور که از دو شکل ۴ و ۵ مشخص است، شدت خشک‌سالی‌ها در دو ایستگاه مذکور متفاوت است. تفاوت عمده در دو ایستگاه در سال ۱۳۹۲ و ۱۳۹۳ است که در گل‌مکان این سال‌ها، سال‌های خشک هستند، در صورتی‌که این دو سال در مشهد، سال‌های تر هستند، بنابراین برای تصمیم‌گیری برای کل حوضه اگر از داده‌های این دو ایستگاه استفاده شود باید از مقادیر دو ایستگاه میانگین‌گیری شود، تا بتوان تصویری از خشک‌سالی به‌وقوع پیوسته از کل حوضه به‌طور متوسط ترسیم نمود. در مرحله‌ی

جدول ۱ - مشخصات مدل‌ها، موسسات تولیدکننده، سناریوها و سال‌های موجود پیش‌بینی

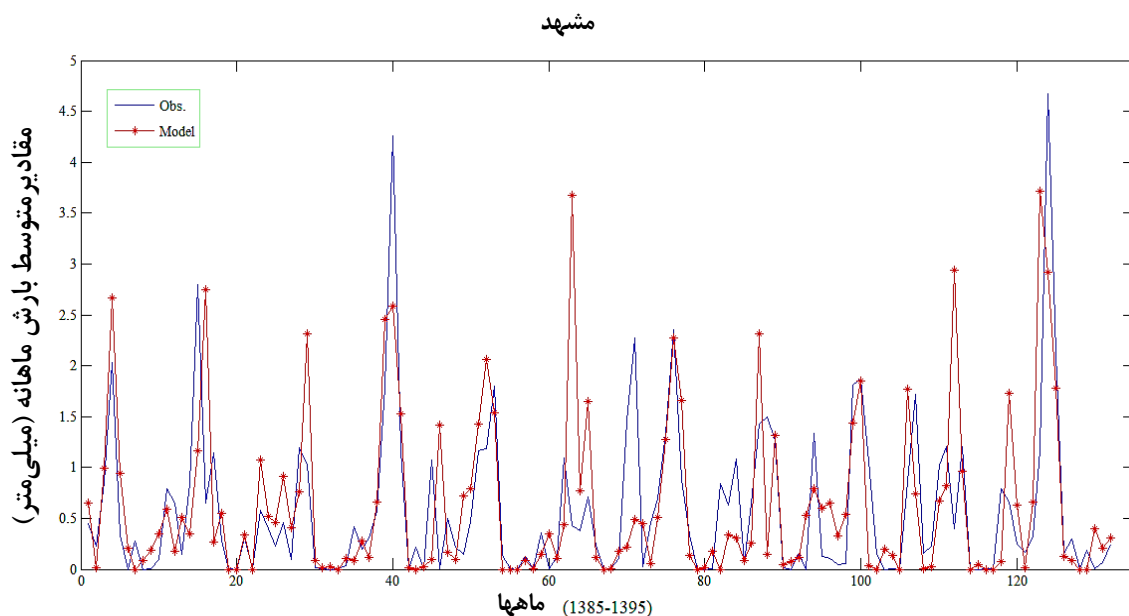
زمان	سناریو	شناسه مدل CIMP5	قدرت تفکیک مکانی	دینامیکی	شناسه مدل	شناسه موسسه
۱۳۸۵-۱۴۹۷	RCP8.5,4.5	GFDL-ESM2M	۰/۲۲ و ۰/۴۴ درجه	RCA4	شناسه مدل	SMHI
۱۳۸۵-۱۴۹۷	RCP8.5,4.5	EC-EARTH	۰/۲۲ و ۰/۴۴ درجه	RCA4	دینامیکی	SMHI
۱۳۸۵-۱۴۹۷	RCP4.5	CNRM-CM5	۰/۴۴ درجه	RCA4	دینامیکی	SMHI

جدول ۲- نتایج همبستگی بین داده‌های بارش مدل و داده‌های مشاهداتی برای مدل‌های مختلف در دوره‌ی ۱۳۹۵-۱۳۸۵

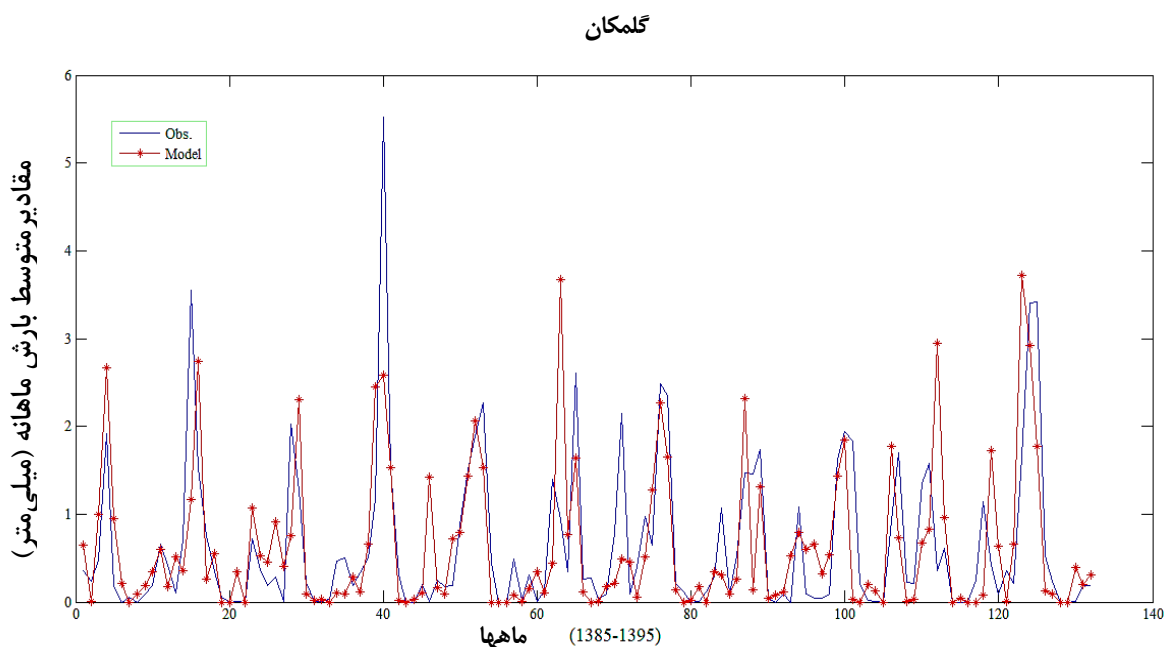
ایستگاه	مدل CIMP5	مدل دینامیکی	سناریو	دقت (درجه)	همبستگی پیرسون	P-value
	GFDL-ESM2M	RCA4	RCP85	۰/۲۲	۰/۲۹	۰/۰۱ <
	EC-EARTH	RCA4	RCP85	۰/۲۲	۰/۳۰	۰/۰۱ <
مشهد	CNRM-CM5	RCA4	RCP45	۰/۴۴	۰/۳۴	۰/۰۱ <
	GFDL-ESM2M	RCA4	RCP45	۰/۴۴	۰/۴۲	۰/۰۱ <
	EC-EARTH	RCA4	RCP45	۰/۴۴	۰/۵۳	۰/۰۱ <
	GFDL-ESM2M	RCA4	RCP85	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۰۱ <
	EC-EARTH	RCA4	RCP85	۰/۲۲	۰/۳۱	۰/۰۱ <
گل‌مکان	CNRM-CM5	RCA4	RCP45	۰/۴۴	۰/۳۷	۰/۰۱ <
	GFDL-ESM2M	RCA4	RCP45	۰/۴۴	۰/۴۷	۰/۰۱ <
	EC-EARTH	RCA4	RCP45	۰/۴۴	۰/۵۵	۰/۰۱ <

جدول ۳- نتایج دوره‌ی صحت‌سنجی (۱۳۸۵-۱۳۹۵) پس از اعمال ضریب مقادیر بارش در دو موقعیت مشهد و گل‌مکان

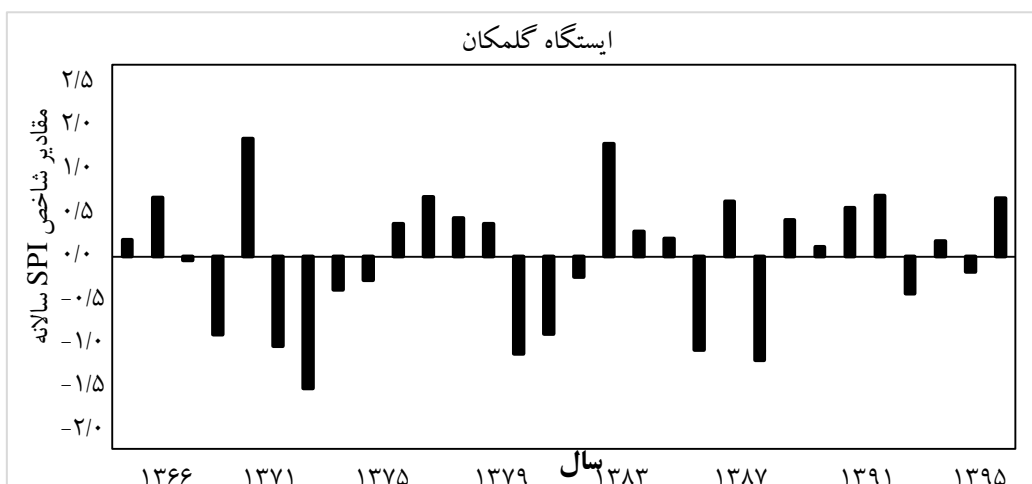
موقعیت	d	NSE	RMSE	MAE	ضریب همبستگی	P-value
مشهد	۰/۷۸	۰/۱۸	۰/۶۵	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۰۰۳
گل‌مکان	۰/۸۰	۰/۳۴	۰/۶۳	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۰۰۱



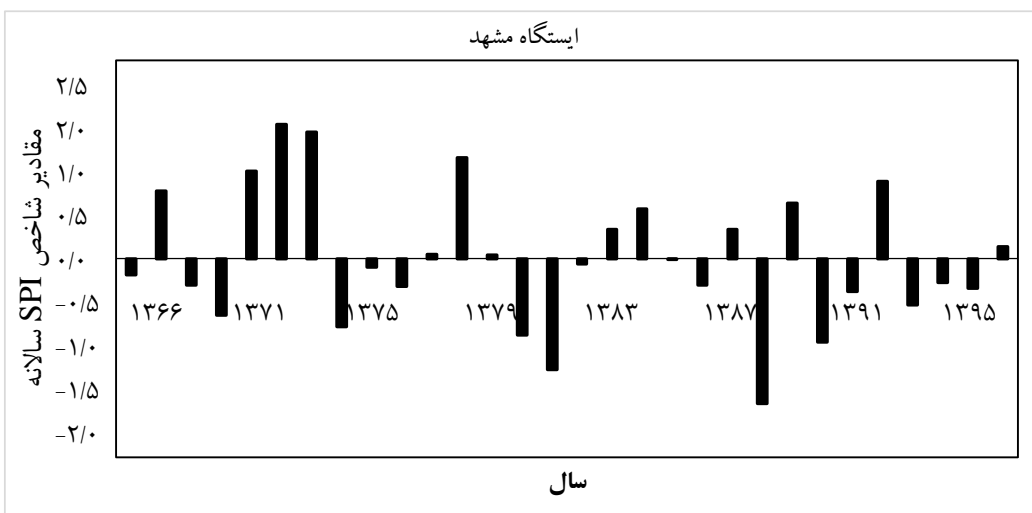
شکل ۲- مقادیر ماهانه بارش در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۵ بین مقادیر مدل شده و مشاهداتی ایستگاه مشهد



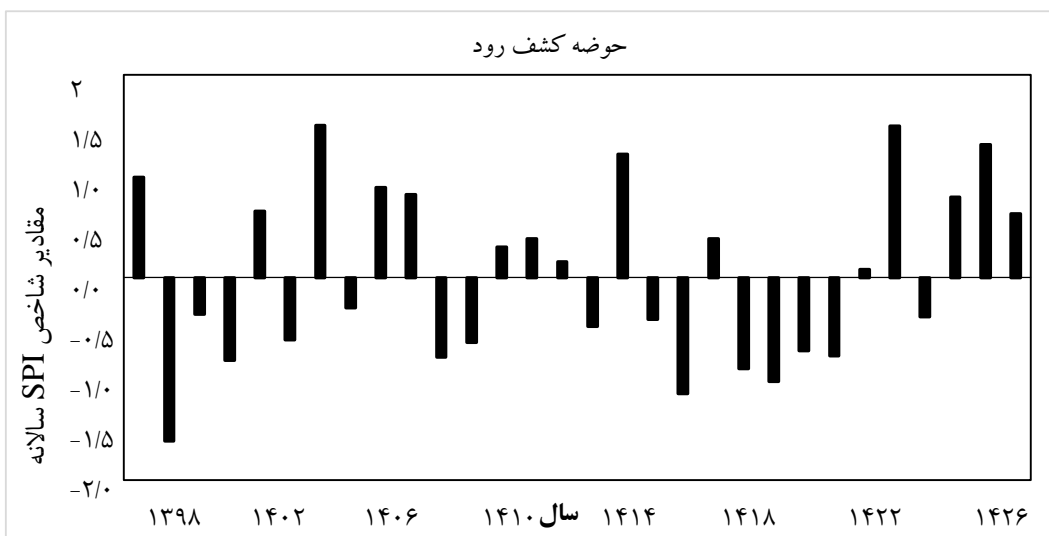
شکل ۳- مقادیر ماهانه بارش در دوره ۱۳۸۵-۱۳۹۵ بین مقادیر مدل شده و مشاهداتی ایستگاه گل‌مکان



شکل ۴- مقادیر سالانه SPI در دوره‌ی ۱۳۶۶-۱۳۹۵ در ایستگاه گلنجان



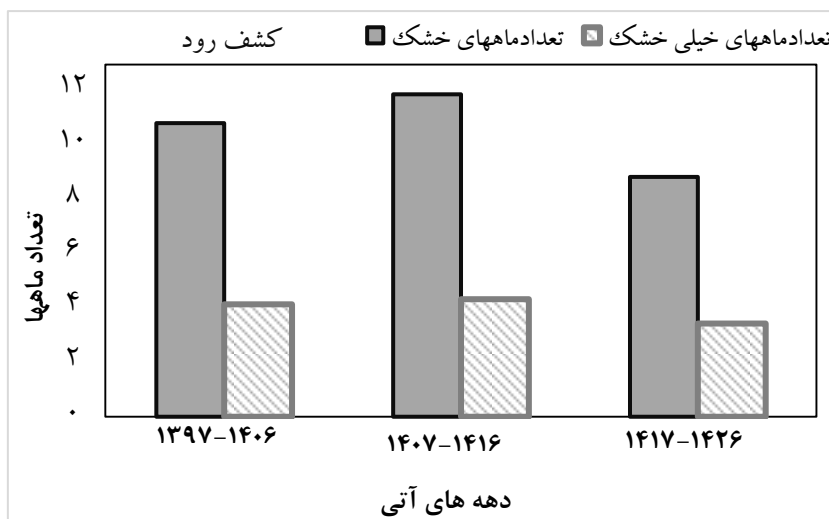
شکل ۵- مقادیر سالانه SPI در دوره‌ی ۱۳۶۶-۱۳۹۵ در ایستگاه مشهد



شکل ۶- مقادیر سالانه SPI در دوره‌ی ۱۴۲۶-۱۳۹۷ در کل حوضه‌ی کشف‌رود

خیلی خشک ۴ و ۳ ماه توسط مدل EC-EARTH پیش‌بینی شد. بنابراین طبق شکل‌های ۶ و ۷، بنا بر نتایج احتمالی مدل پیش‌بینی، به‌نظر می‌رسد که دهه‌ی میانی دارای خشک‌سالی‌های بیش‌تری باشد.

برای درک بهتر از تغییرات ماه‌های خشک و خیلی‌خشک در سه دهه‌ی آتی و بنا بر خروجی مدل دینامیکی RCA4، شکل ۷، برای کل حوضه (۶ شبکه) بطور متوسط محاسبه و ترسیم شد. نتایج نشان می‌دهد که در نخستین دهه (۱۳۹۷-۱۴۰۶) تعداد ماه‌های خشک ۱۰ ماه و تعداد ماه‌های خیلی‌خشک ۴ ماه خواهد بود. در دو دهه‌ی دیگر نیز به‌ترتیب تعداد ماه‌های خشک ۱۱ و ۸/۵ و تعداد ماه‌های



شکل ۷- تعداد ماه‌های خشک و خیلی‌خشک در سه دهه آینده در حوضه‌ی کشف‌رود

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این مطالعه ابتدا از خروجی‌های پروژه‌ی کوردکس به‌منظور ارزیابی مقادیر بارش و صحت آن‌ها در دوره‌ی بوقوع پیوسته ۱۳۹۵-۱۳۸۵ استفاده شد. نتایج آماری نشان از توانمندی مدل EC-EARTH و مدل دینامیکی RCA4 داشت. سپس از مقادیر بارش برای پیش‌بینی خشک‌سالی‌های هواشناسی با شاخص SPI استفاده شد. نتایج محاسبات نشان داد که در طی سه دهه‌ی آینده (۱۳۹۷-۱۴۰۶)، (۱۴۰۷-۱۴۱۶) و (۱۴۱۷-۱۴۲۶) شدت خشک‌سالی‌ها نسبت به سی ساله‌ی مشاهداتی کم‌تر خواهد شد، اما تکرار و تناوب خشک‌سالی‌ها اندکی بیش‌تر از دوره‌ی مشاهداتی خواهد داشت. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که خروجی مدل‌های دینامیکی منبع مناسبی برای پیش‌بینی‌های آینده هستند. پیشنهاد می‌شود به‌منظور دستیابی به نتایجی با عدم قطعیت کم‌تر از سایر مدل‌های CMIP5 و سایر روش‌های دینامیکی در کنار سناریوهای مختلف RCP استفاده شود. همچنین انتظار می‌رود که در صورت وجود تحقیقات مشابه برای دهه‌های آینده، نتایج این تحقیق با نتایج آن‌ها مقایسه گردد.

منابع

- صالح‌نیا، م.، موسوی، م. و انصاری، ج. ۱۳۹۲. پیش‌بینی خشک‌سالی با استفاده از نمایه PDSI به کمک مدل‌های LARS-WG و HadCM3 (مطالعه موردی: حوضه نیشابور). نشریه آبیاری و زهکشی ایران. ۷. ۱: ۹۲-۱۰۳.
- Abramowitz, M., Stegun, A. 1965. Handbook of mathematical formulas, graphs, and mathematical tables. Dover publications, New York
- Castro, C.L., Pielke, S.R., Leoncini, G. 2005. Dynamical downscaling: Assessment of value retained and added using the regional atmospheric modeling system (RAMS). Geophysical Research, 110.5: 1-21.
- Chang, H., Jung, I.W. 2010. Spatial and temporal changes in runoff caused by climate change in a complex large river basin in Oregon. Journal of Hydrology. 388. 3-4: 186-207.
- Chen, H., Sun, J., Chen, X. 2013. Future changes of drought and flood events in China under a global

- Separovi L., Martynov, A., Winger, K., Valin, M. 2012. Climate projection over the CORDEX Africa domain using the fifth-generation Canadian regional climate model (CRCM5). *Climate Dynamics* 41:3219-3246
- Lashkari, A., Bannayan, M. 2013. Agrometeorological study of crop drought vulnerability and avoidance in northeast of Iran. *Theoretical application climatology*. 113:17-25.
- Legates, D.R., McCabe, G.J. 1999. Evaluating the use of goodness-of-fit measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resource. Research*. 35 .1: 233-241.
- McKee, T.B., Doesken, N.J., Kleist, J. 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Paper presented at the Proceedings of the 8th conference on applied climatology.
- Meinshausen, M., Smith, S.J., Calvin, K., Daniel, J.S., Kainuma, M.L.T., Lamarque, J.F., Matsumoto, K., Montzka, S.A., Raper, S.C.B., Riahi, K., Thomson, A., Velders, G.J.M and Van Vuuren, D.P.P. 2011. The RCP greenhouse gas concentrations and their extensions from 1765 to 2300, *Climate change*. 109: 213-241.
- Misra, V., Dirmeyer, P.A and Kirtman, B.P. 2003. Dynamic downscaling of seasonal simulations over South America. *Journal of climate*. 16: 103-117.
- Mishra, A.K and Singh, V.P. 2010. A review of drought concepts. *Journal of hydrology*, 391.1: 202-216.
- Murphy, J. 1999. An evaluation of statistical and dynamical techniques for downscaling local climate. *Journal of climate*. 12:2256-2284
- Nash, J.E and Sutcliffe, J.V. 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles. *Journal of hydrology*. 10: 282-290.
- Nasrollahi, N., AghaKouchak, A., Cheng, L., Damberg, L., Phillips, T.J., Miao, C., Hsu, K and Sorooshian, S. 2015. How well do CMIP5 climate simulations replicate historical trends and patterns of meteorological droughts? *Water resource. Research*. 51: 2847-2864.
- Riahi, K., Gruebler, A and Nakicenovic, N. 2007. Scenarios of long-term socio-economic and environmental development under climate stabilization. *Technological forecasting and social change*. 74.7: 887-935.
- Salehnia, N., Alizadeh, A., Sanaeinejad, H., Bannayan, M., Zarrin, A., Hoogenboom, G. 2017. Estimation of warming scenario. *Atmospheric and Oceanic Science Letters*. 6.1:8-13
- Choi, Y., Ahn, J., Suh, M., Cha, D., Lee, D., Hong, S., Min, S., Park, S and Kang, H. 2016. Future changes in drought characteristics over South Korea using multi regional climate models with the standardized precipitation index. *Asia-Pac. Journal of Atmospheric science*, 52. 2: 209-222.
- De Sales, F., Xue, Y. 2006. Investigation of seasonal prediction of the South American regional climate using the nested model system, *journal of geophysics research*. 111:1-15.
- Deque, M., Rowell, D.P., Luthi, D., Giorgi, F., Christensen, J.H., Rockel, B., Jacob, D., Kjellstrom, E., Castro, M., Van den Hurk, B. 2007. An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climate change*. 81: 53-70.
- Eltahir, E.A.B. 1992. Drought frequency analysis in Central and Western Sudan. *Hydrological science journal*. 373: 185-199.
- Endris, H.S., Omondi, P., Jain, S., Lennard, C., Hewitson, B., Chang, L., Awange, J. L., Dosio, A., Ketiem, P., Nikulin, G., Panitz, H.J., Büchner, M., Stordal, F., Tazalika, L. 2013. Assessment of the performance of CORDEX regional climate models in simulating east African rainfall. *Journal of Climate*. 26.21:8453-8475.
- Giorgi, F., Jones, C and Asrar, G.R. 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework, *WMO bulletin*. 58.3: 175-183.
- Heinrich, G., Gobiet, A. 2012. The future of dry and wet spells in Europe: a comprehensive study based on the ENSEMBLES regional climate models. *International journal of climatology*. 32.13: 1951-1970.
- IPCC. 2013. Stocker, T.F. Qin, D., Plattner, G-K, Tignor M, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex, V., Midgley, P.M. (eds) *climate change, the physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge university press, Cambridge.
- Jones, C., Giorgi, F and Asrar, G. 2011. The coordinated regional downscaling experiment: CORDEX an international downscaling link to CMIP5. *Clivar exchanges* 16:34-40.
- Laprise, R., Hernandez-Diaz, L., Tete, K., Sushuma, L.,

- reduction, Impacts of disasters since the 1992 Rio de Janeiro earth summit. 2012. http://www.unisdr.org/files/27162_2012no21.pdf
- Wilhite, D. 2000. Drought: a global assessment, Routledge Publication, London, U. K.
- Willmot, C.J. 1984. On the evaluation of model performance in physical geography, in: Spatial Statistics and Models, edited by: Gaile, G.L and Willmot, C.J., D. Riedell, Dordrecht. 443-460
- Xu, C and Xu, Y. 2012. The projection of temperature and precipitation over China under RCP scenarios using a CMIP5 multimodel ensemble. Atmospheric and oceanic science letter. 5.6:527-533
- meteorological drought indices based on AgMERRA precipitation data and station-observed precipitation data. J. Arid Land. 9: 797. <https://doi.org/10.1007/s40333-017-0070-y>
- Sayari, N., Bannayan, M., Alizadeh, A., Farid, A. 2013. Using drought indices to assess climate change impacts on drought conditions in the northeast of Iran (case study: Kashafrud basin). Meteorological application. 20: 115-127.
- Um, M., Kim, Y and Kim, J. 2017. Evaluating historical drought characteristics simulated in CORDEX East Asia against observations. International journal of climatology. 10.1002/joc.5112
- UNISDR, the United Nations office for disaster

Investigating the Output of Numerical Prediction Models under RCP4.5 Scenario for Forecasting Meteorological Droughts

N. Salehnia¹, A. Alizadeh², H. Sanaeinejad^{3*}, M. Bannayan⁴, and A. Zarrin⁵

Received: Agu.18, 2017

Accepted: Oct.07, 2017

Abstract

Climate change increases the repetition and frequency of droughts and this event has undergone significant changes. Water resources and agriculture in Iran has not been spared from the harm of these changes. In this study, because of the importance of Kashafrud basin in the North-East of Iran, the meteorological droughts in the region over the next three years (2027-2018), (2037-2028) and (2047-2038) will be discussed. Since the Standardized Precipitation Index (SPI) is one of the most useful indices of drought, this index was calculated in this study. Numerical calculations and dynamic models are the most accurate sources for prediction of meteorological variables. In this research, the precipitation outputs of the EC-EARTH model under the RCP4.5 scenario that has been downscaled with RCA4 dynamic model were used. According to the resolution of the RCA4 dynamical model, the Kashafrud basin was divided into 6 pixels (0.44 at 0.44 degrees) and then assessment values were determined on each pixel. The results showed that the EC-EARTH model is competent in the prediction of precipitation at a confidence level of 99% with a correlation coefficient averaged 64%. The average number of dry and very dry months was calculated on the whole basin. Analysis of the results in the next three years compared to the observation period (2016-1987) showed that the number of droughts will increase, but the severity of future droughts will be reduced.

Keywords: CORDEX project, Dynamical downscaling, Index of agreement, MENA Region, RCP4.5 scenario

1 - Ph.D. Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

2 - Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

3 - Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

4 - Professor, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran

5 - Assistant Professor, Department of Geography. Ferdowsi University of Mashhad

(* - Corresponding Author Email: sanaein@gmail.com)