

ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر بارش در مناطق فاقد آمار مشاهداتی با استفاده از بسته نرم‌افزاری CCT مطالعه موردی: حوضه دریان

الهام محمدعلیزاده فرد^۱

سید حسین میر موسوی^۲

جمشید یاراحمدی^۳

عبدالله فرجی^۴

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی تغییرات مکانی- زمانی بارندگی تحت تاثیر احتمالی تغییر اقلیم در سطح حوضه دریان در شمال دریچه ارومیه انجام گرفته است. با توجه به عدم وجود ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری بلندمدت در نزدیکی منطقه مطالعاتی، امکان استفاده از داده‌های (CRU) به‌عنوان داده‌های مشاهداتی با بررسی وجود همبستگی بین این داده‌ها با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در منطقه انجام گرفت. نوسانات آبی بارش در دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۰) با استفاده از پنج مدل‌های اقلیمی (GCM) و در قالب دو سناریوی انتشار RCP2.6 و RCP8.5 با استفاده از بسته نرم‌افزاری CCT پیش‌بینی شده است. انتخاب مناسب‌ترین مدل اقلیمی هر ایستگاه براساس مقدار RMSE انجام گرفت. نقشه‌های توزیع مکانی بارندگی در دوره‌های پایه و آبی به روش IDW در محیط GIS تهیه شده است. وجود همبستگی معنی‌دار در سطح اطمینان ۰/۰۱

۱- دانشجوی دکتری تخصصی گروه اقلیم‌شناسی دانشگاه زنجان (نویسنده مسئول)

Email: el.alizadehfard@gmail.com – Tel: 09144158767

۲- دانشیار دانشگاه زنجان

۳- استادیار تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان آذربایجان شرقی

۴- استادیار دانشگاه زنجان

داده‌های (CRU) با ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک مجاور آنها، بیانگر امکان استفاده از آنها به عنوان داده‌های مشاهداتی بالاخص در مناطق فاقد ایستگاه هواشناسی می‌باشد. درصد تغییرات وزنی بارش حوضه دریاں در سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب (+۶/۳) و (-۱۶/۴) نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شده است. متوسط وزنی بارش حوضه دریاں در دوره پایه و سناریوهای یاد شده به ترتیب ۳۱۹، ۳۱۲/۷ و ۲۹۶ میلیمتر در سال برآورد گردید. علیرغم وجود عدم قطعیت در مطالعات تغییر اقلیم، نتایج حاصله در این تحقیق می‌تواند تصویر کلی از روند آتی بارندگی منطقه ارائه کرده و این اطلاعات می‌توند در برنامه‌ریزی منابع آب منطقه که ارتباط مستقیمی با حجم بارندگی‌ها دارند مفید واقع شود.

واژگان کلیدی: تغییر اقلیم، بارش، بسته نرم‌افزاری CCT، حوضه دریاں

مقدمه

امروزه پدیده تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از مشکلات اصلی زیست محیطی قرن حاضر در سراسر دنیا به حساب می‌آید. تغییر اقلیم از طریق تغییر در الگوی دما، بارش و سایر متغیرهای آب و هوایی بر همه فرایندهای هیدرولوژیکی تاثیر گذار است. در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم در بسیاری از نقاط جهان آثار خود را به‌جا گذاشته و پیش‌بینی می‌شود اثرات این تغییرات در آینده نیز تشدید گردد. در این میان، دما و بارش از مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی بوده که پراکندگی سایر عناصر اقلیمی را تعیین می‌کند. این شاخص‌ها، از اصلی‌ترین عوامل تاثیر گذار در مطالعات اقلیمی محسوب می‌شوند (Rezaei and Ghasemieh 2019).

نظر به تاثیر مستقیم بارندگی بر ذخیره رطوبت خاک، جنبه‌های اکولوژیکی محیط زیست، میزان خسارات مخاطرات طبیعی مانند سیل و ...، بررسی تغییرات احتمالی ویژگی‌های رخدادهای بارندگی تحت تاثیر تغییرات اقلیمی، ضرورتی اجتناب ناپذیر است (Easterling et al., 2000; He et al., 2012; Tarasova et al., 2018). در همین راستا، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرپذیری مشخصات وقایع بارندگی در مطالعات متعددی انجام گرفته است (Gao et al. 2019a):

تغییرات اقلیمی حوضه آبخیز مکینزی^۱ در بازه زمانی (۲۰۴۱-۲۰۷۰) بر مبنای مدل اقلیمی CanESM2 تحت دو سناریوی RCP 4.5 و RCP 8.5 بررسی شده و نتایج آن افزایش ۲ تا ۴ درجه سانتیگراد دما و بارش به مقدار ۷۵ میلیمتر در سناریوی RCP 4.5 و افزایش دمای هوای ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد و بارش ۸۵ میلیمتر در سناریوی RCP8.5 نسبت به دوره پایه نشان داده است (Pervin, 2016). اثر تغییر اقلیم بر فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های رودخانه‌های Yarlung Zangbo و Lancang واقع در فلات تبت تحت ۱۸ مدل گردش عمومی جو (GCM) و دو سناریوی RCP2.6 و RCP8.5 توسط (Gao et al. 2019b) بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که احتمال افزایش بارندگی، دما، تبخیر و تعرق پتانسیل و رواناب تحت سناریوهای یاد شده بالاخص RCP8.5 در مناطق یاد شده قابل انتظار است. ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه Tona کلمبیا در قالب دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 (موضوع تحقیق Villamizar et al. 2019) بوده است. نتایج آنها بیانگر افزایش ۱۶/۲ و ۲۱/۹ درصدی بارش نسبت به دوره پایه به ترتیب در سناریوهای سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 بوده است. اثرات فصلی و سالانه افزایش ۱/۵ تا ۲ درجه سانتیگراد دمای جهانی بر تغییرات بارش و دمای مناطق مختلف هندوستان با استفاده از مدل‌های CMIP5 تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 ارزیابی شده و نتایج آن بیانگر افزایش بارندگی با شیب ملایم از مناطق غربی هندوستان و تغییرات شدید آن در مناطق شمال شرقی و جنوبی هندوستان در سناریوی RCP8.5 بوده است. بر همین اساس، حدود ۳۵ درصد هندوستان احتمال افزایش دمای مشابه با افزایش جهانی داشته و ۶۵ درصد بقیه دارای افزایش بیشتری از افزایش جهانی دما خواهد داشت (Yaduvanshi et al. 2019).

متأسفانه کشور ایران نیز از تغییرات بزرگ مقیاس اقلیمی مستثنی نبوده و ارزیابی اثرات احتمالی بر مناطق مختلف کشور در قالب مطالعات متعددی انجام گرفته است: محمودی و ریگی چاهی اثرات تغییر اقلیم بر بارش ایران را بر مبنای داده‌های روزانه بارش ۴۰ ایستگاه سینوپتیک و با استفاده از مدل اقلیمی (HADCM3) تحت سه سناریوی A2, A1B و B2

1 Mackenzie

ارزیابی کرده و نتایج آنها بیانگر کاهش ۱۱/۵ درصدی بارش در سناریوی B2 و کاهش ۱۴/۲ درصدی در سناریوی A2 در دوره (۲۰۴۰-۲۰۷۰) بوده در حالیکه در دوره (۲۰۷۱-۲۰۹۹) بارش ۰/۸ درصد افزایش نشان می‌دهد (Mahmoudi and Rigi Chahi 2019). نتایج تحقیق صالح‌پور و همکاران در حوضه حبله رود نشان داد که تغییرات بارش در دوره (۲۰۱۱-۲۰۴۰) نسبت به دوره پایه (۱۹۹۵-۲۰۱۰) براساس خروجی مدل HadCM3 و سه سناریوی A2, B1 و A1B اختلاف معنی‌داری وجود ندارد (Salehpoor et al. 2019). نتایج تحقیق جهانبخش اصل و همکاران (۱۳۹۵) در ارتباط با اثرات تغییر اقلیم بر بارش حوضه شهرچای ارومیه که با استفاده از مدل (HADCM3) تحت سناریوی A1B انجام گرفته بود کاهش ۹ میلیمتری بارش در دوره (۲۰۱۱-۲۰۳۰) را نشان می‌دهد (Jahanbakhsh Asl et al. 2016).

سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۸) در تحقیق خود اقدام به ارزیابی تاثیر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان اصفهان تحت سناریوهای گزارش چهارم و پنجم کرده و نتایج آنها نشان داد که تا اواخر قرن بیست و یکم، تحت سناریوهای گزارش چهارم و پنجم، بارش منطقه به ترتیب ۴/۶۸ درصد کاهش و ۱۱/۹۶ درصد افزایش خواهد داشت. در حالیکه افزایش دمای هوا به ترتیب ۴/۴۹ و ۴/۱۹ درجه سانتیگراد پیش‌بینی شده است (Soltani Mohammadi et al. 2019).

رضازاده از مدل اقلیمی GFDL-ESM2M تحت چهار سناریوی مختلف RCP در محیط بسته نرم‌افزاری CCT، تغییرات آبی اقلیم استان کرمان را برای دوره آبی ۲۰۲۰ تا ۲۰۵۰ ارزیابی کرده است. نتایج حاصل از تمامی سناریوها بیانگر افزایش بارش تا ۶۰ درصد در تمامی مناطق بجز قسمت‌های جنوبی استان کرمان بوده در حالیکه در مناطق جنوبی و مرکزی بارش بین ۱۰ تا ۴۰ درصد کاهش از خود نشان می‌دهد (Rezazadeh 2018). همانطوریکه پیداست امروز خروجی مدل‌های گردش عمومی (GCM) از منابع اصلی تولید داده‌های اقلیمی آبی محسوب می‌شوند. ولی قدرت تفکیک مکانی خیلی پایین این قبیل داده‌ها باعث شده تا مناسب مطالعات منطقه‌ای تغییر اقلیم نباشند؛ از این رو لازم است

تا بر مبنای داده‌های بلندمدت ایستگاه‌های هواشناسی منطقه و با استفاده از روش‌های مناسب ریزمقیاس‌نمایی، در مطالعات منطقه‌ای بکار گرفته شوند (Wilby et al. 2002). متأسفانه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در کشور در نقاط مشخص و قابل دسترسی احداث شده و از این نظر، از پراکنش مکانی مناسبی برخوردار نیستند؛ از طرف دیگر، در اکثر مواقع با کمبود ایستگاه‌های هواشناسی با دوره آماری بلندمدت در ارزیابی تغییرات محلی اقلیم مواجه هستیم. در همین راستا، تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان ارزیابی تغییرات اقلیمی در مناطق فاقد آمار مشاهداتی در حوضه دریاچه ارومیه واقع در شمال دریاچه ارومیه اجرا شده است. در این تحقیق، اثر احتمالی تغییر اقلیم بر تغییرات مکانی بارش و نوسانات آبی آن با استفاده از بسته نرم‌افزار تغییر اقلیم (CCT^۱) ارزیابی شده است. این برنامه توسط (Vaghefi et al. 2017) توسعه یافته است. از قابلیت‌های آن می‌توان به: ۱- قابلیت کار با حجم بالای داده‌های مورد نیاز در فرایند تجزیه و تحلیل‌های تغییر اقلیم در مقیاس وسیع و دوره زمانی طولانی ۲- سهولت کار و عدم شباهت به مراحل مختلف محاسبات ضروری رایج در مطالعات تغییر اقلیم از قبیل: تغییر فرمت داده، میانبندی اطلاعات، ریزمقیاس‌نمایی و تصحیح اریبی^۲ ۳- محاسبه رخدادهای حدی آبی بر مبنای شناسایی الگوی آن رخدادهای گذشته اشاره کرد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز دریاچه‌چای در موقعیت جغرافیایی ۳۸ درجه و ۶ دقیقه و ۲۰/۴۹ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۱۹ دقیقه و ۴۸/۰۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳۶/۵۶ ثانیه تا ۴۵ درجه و ۴۰ دقیقه و ۱۵ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است (شکل شماره ۱). واحد هیدرولوژیکی دریاچه‌چای از زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه می‌باشد. مساحت این حوضه تا محل ایستگاه هیدرومتری دریاچه ۵۱ کیلومتر مربع است. رودخانه اصلی این حوضه دریاچه‌چای بوده که از ارتفاعات جنوبی میشو سرچشمه گرفته و با امتداد شمالی-جنوبی به دریاچه ارومیه زهکشی می‌کند (Yarahmadi and Rostamizad 2019). مطابق اطلاعات

1 Climate Change Toolkit (CCT)

2 Bias Correction

ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تبریز (۱۳۳۰-۹۷) به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه به حوضه دریان، میانگین بارندگی منطقه حدود ۲۸۴ میلی‌متر در سال می‌باشد. بیشترین درصد بارندگی در ماه‌های اردیبهشت و فروردین با (۱۶/۸ درصد) و کمترین مقدار آن در ماه مرداد (۱/۳ درصد) ثبت شده است. فصل بهار با ۴۲ درصد بارندگی مرطوب‌ترین فصل و تابستان با ۶ درصد بارندگی خشک‌ترین فصل منطقه محسوب می‌شود. متوسط سالانه، حداکثر مطلق و حداقل مطلق دمای منطقه به ترتیب ۱۲/۳، ۴۲ و ۲۵- درجه سانتیگراد می‌باشد. ماه‌های دی و بهمن با ۱- درجه سانتیگراد سردترین ماه سال بوده و در مقابل، ماه‌های مرداد و تیر به ترتیب با ۲۶/۶ و ۲۵/۴ درجه سانتیگراد گرم‌ترین ماه‌های سال هستند. از نظر آب و هوایی منطقه تحت تاثیر توده‌های هوای قطبی بری از شمال، توده هوای قطبی بحری از شمال غرب و توده هوای حاره بحری از جنوب می‌باشد نوع اقلیم براساس روش‌های مختلف طبقه‌بندی از نوع نیمه‌خشک است (Mohamad Alizadeh Fard, 2020).

روش تحقیق

در این تحقیق از دو سری داده‌های اقلیمی استفاده شده است: ۱- داده‌های (CRU¹) که توسط واحد تحقیقات اقلیمی دانشگاه Anglia ارائه شده در اینجا به‌عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده شده است. اطلاعات این ایستگاه‌ها در جدول (۱) و توزیع مکانی آنها به همراه پراکنش ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در منطقه در شکل (۱) نشان شده است. برای مناطق که فاقد ایستگاه‌های هواشناسی بوده و یا داده‌های مشاهداتی قابل اطمینانی ندارند، می‌توان از داده‌های تاریخی (CRU) به‌عنوان داده‌های مشاهداتی استفاده کرد (Vaghefi, et al. 2017). این داده‌ها در مقیاس 0.5*0.5 درجه برای کل کره زمین در بازه زمانی (۱۹۷۰-۲۰۰۵) قابل دسترس است (Harris et al. 2014). ۲- داده‌های آرشیوی^۲ (۱۹۵۰-۲۰۰۵) و آینده^۳ (۲۰۰۶-۲۰۹۹) مدل‌های اقلیمی (GCM) با همان تفکیک مکانی (Hempel et al. 2013). مشخصات مدل‌های اقلیمی پنجگانه منتخب در

1 Climate Research Unit East Anglia (CRU TS 3.1)

2 Historical

3 Future

جدول (۲) ارائه شده است. در اینجا، هر دو سری داده در فرمت ASCII و بطور رایگان از سایت <https://www.2w2e.com> دریافت شده است.

در ادامه، ابتدا کل داده‌های دریافتی وارد بانک اطلاعاتی^۱ بسته نرم‌افزاری CCT شده؛ سپس از داده‌های دریافتی قبلی، داده‌های مربوط به بارش روزانه برای محدوده جغرافیایی ۳۷/۵ تا ۳۹ درجه عرض شمالی و ۴۵ تا ۴۶/۵ درجه طول شرقی، به تفکیک داده‌های آرشیوی CRU و مدل‌های اقلیمی (GCM) استخراج شدند. باتوجه به یکسان بودن مختصات جغرافیایی و همچنین تفکیک مکانی داده‌های CRU و داده‌های مدل‌های اقلیمی، ضرورتی برای انجام فرایند ریزمقیاس‌نمایی وجود ندارد (Vaghefi, et al. 2017).

در ادامه، همبستگی بین داده‌های آرشیوی CRU و مدل‌های اقلیمی (GCM) در بازه زمانی مشترک (۱۹۷۰-۲۰۰۵) و به تفکیک هر یک از ایستگاه‌های نه‌گانه، در محیط برنامه CCT بررسی گردید تا از این طریق، احتمال وجود آنومالی بین دو سری داده‌های هر کدام از ایستگاه تعیین گردد. در تحقیق حاضر، علاوه بر توجه به مقدار آنومالی محاسبه شده که خود معیاری بر میزان همبستگی بین دو سری داده مورد بررسی است، برای انتخاب مناسب‌ترین مدل اقلیمی (GCM) از شاخص آماری میانگین مربعات خطا^۲ (RMSE) نیز استفاده شده است (Eslahi 2017).

در مرحله بعدی، با استفاده از روش نسبت‌گیری^۳ در محیط برنامه CCT اقدام به تصحیح ارببی^۴ موجود در داده‌های بارش مربوط به مدل‌های اقلیمی (GCM) به تفکیک هر یک از ایستگاه‌های منتخب گردید. در ادامه، تولید سری زمانی داده‌های بارش در دوره آتی (۲۰۵۰-۲۰۲۰) با اعمال ضریب تصحیح ماهانه حاصله در مراحل قبلی برای هر یک از مدل‌های اقلیمی و به تفکیک ایستگاه‌های هواشناسی انجام گرفت. در اینجا، سری زمانی مقادیر بارش بر مبنای فاکتور اصلاح مضاربی^۵ (رابطه ۱) محاسبه شده است (Vaghefi et al. 2017):

$$P_{Corrected_{ij}=GCM_{ij}} + P_{GCM_{ij}} * (\bar{P}_{reference_{jk}} / \bar{P}_{GCM_{jk}}) \quad (\text{رابطه ۱})$$

-
- 1 Database
 - 2 Root Mean Square Error (RMSE)
 - 3 Ratio method
 - 4 Bias Correction
 - 5 Multiplicative correction factor

در اینجا P بارش بوده و \bar{P} نیز میانگین بلندمدت بارش می‌باشند. اندیکس‌های i، j و k به ترتیب بیانگر روز، ماه و سال هستند.

بررسی تغییرات مکانی توزیع بارش در سطح حوضه دریا با استفاده از ابزار تحلیل مکانی و الگوریتم درونیابی^۱ IDW موجود در نرم‌افزار ArcGIS 10.5 بر مبنای داده‌های بارندگی در دوره پایه و داده‌های مستخرج از پیش‌بینی مدل‌های اقلیمی منتخب به تفکیک هر دو سناریوی انتشار RCP8.5 و RCP2.6 انجام گرفته است. در ادامه، بعد از تهیه‌های نقشه‌های بارش به تفکیک هر کدام از سناریوها، نقشه اختلاف هر سناریو با دوره پایه نیز تهیه گردید و میانگین بارش حوضه دریا در هر سناریو براساس متوسط وزنی هر کدام از نقشه محاسبه شده است.

در تحقیق حاضر، به منظور حصول اطمینان بیشتر برای استفاده از داده‌های CRU برای مناطق فاقد آمار مشاهداتی، همبستگی موجود بین داده‌های CRU با داده‌های بارش نزدیک‌ترین ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در منطقه در بازه زمانی مشترک بین آنها بررسی شده است. در جدول (۳) مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک موجود در مجاورت محدوده حوضه دریا و ایستگاه‌های متناظر CRU جهت بررسی همبستگی موجود بین آنها نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات داده‌های (CRU) مورد استفاده در بازه زمانی (۲۰۰۵-۱۹۷۰)

نام ایستگاه	۴۵۱۲۵۸	۴۵۱۲۵۷	۴۵۱۲۵۶	۴۵۲۲۵۸	۴۵۲۲۵۷	۴۵۲۲۵۶	۴۵۳۲۵۸	۴۵۳۲۵۷	۴۵۳۲۵۶
عرض	۳۸.۸	۳۸.۳	۳۷.۸	۳۸.۸	۳۸.۳	۳۷.۸	۳۸.۸	۳۸.۳	۳۷.۸
طول	۴۵.۳	۴۵.۳	۴۵.۳	۴۵.۸	۴۵.۸	۴۵.۸	۴۶.۳	۴۶.۳	۴۶.۳
ارتفاع	۹۴	۱۲۶۷	۱۳۸۷	۲۲۶۳	۱۹۰۹	۱۲۷۵	۱۱۴۷	۱۵۲۱	۲۷۱۱

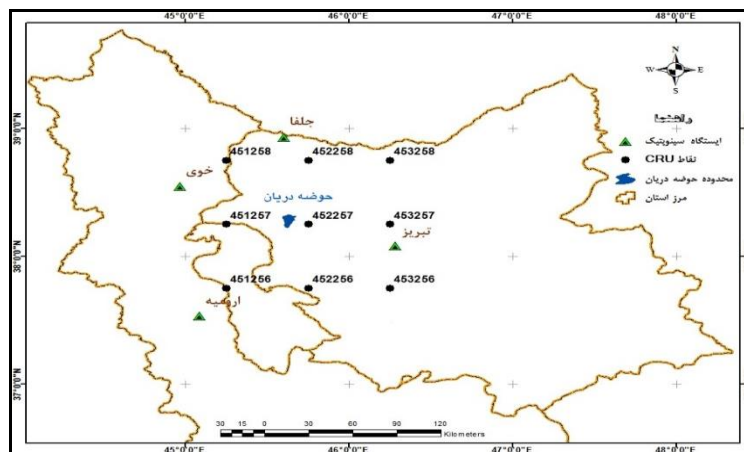
¹ Invers Distance Weighted

جدول ۲- مشخصات مدل‌های اقلیمی (GCM) مورد استفاده

GCM	Model	Scenarios	Institute
GCM1	GFDL-ESM2M	RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)	NOAA/Geophysical Fluid Dynamics Laboratory
GCM2	HadGEM2-ES	RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)	Met Office Hadley Center
GCM3	IPSL-CM5A-LR	RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)	L'Institute Pierre-Simon Laplace
GCM4	MIROC	RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)	AORI, NIES and JAMSTEC
GCM5	NoerESM1-M	RCP (2.6, 4.5, 6.0, 8.5)	Norwegian Climate Center
	CRU	Historical	Climate Research Unit East Anglia

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک منطقه و ایستگاه‌های CRU

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (m)	طول دوره آمار (۱۹۷۵-۲۰۰۵)	CRU
ارومیه	۳۷.۵۳	۴۵.۱	۱۳۱۶	(۱۹۷۵-۲۰۰۵)	۴۵۱۲۵۶
تبریز	۳۸.۱	۴۶.۲۸	۱۳۶۴	(۱۹۷۵-۲۰۰۵)	۴۵۲۲۵۷
خوی	۳۸.۵۵	۴۵.۹۶	۱۱۰۳	(۱۹۷۵-۲۰۰۵)	۴۵۱۲۵۷
جلفا	۳۸.۹۳	۴۵.۶	۷۳۶	(۱۹۸۵-۲۰۰۵)	۴۵۲۲۵۸



شکل ۱- پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و نقاط CRU نسبت به موقعیت حوضه دریا (رنگ آبی)،

نتایج و بحث

نتایج همبستگی بین مقادیر بارش ایستگاه‌های سینوپتیک منطقه (تبریز، ارومیه، خوی و جلفا) با مقادیر بارش داده‌های CRU نشان داد که همبستگی بین این دو مجموعه داده در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار بوده و همه این پارامترهای متناظر دارای ضریب همبستگی بالای ۸۷ درصد هستند. بنابراین می‌توان استنباط کرد که استفاده از داده‌های CRU برای مناطق فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری امکان‌پذیر بوده و استفاده از آنها راهکار مناسبی برای تکمیل خلاء آماری مناطق فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری اقلیمی می‌باشد.

نتایج آزمون RMSE برای انتخاب مناسب‌ترین مدل اقلیمی به تفکیک ایستگاه‌ها در جدول (۴) ارائه شده است؛ مطابق کمترین مقدار این شاخص، به غیر از مدل GCM5 که مناسب هیچ کدام از ایستگاه‌ها نبوده، مدل اقلیمی GCM1 یا همان GFDL-ESM2M برای اکثر ایستگاه‌ها مناسب تشخیص داده شد. مدل اقلیمی HadGEM2-ES نیز مناسب ایستگاه‌های (453257) و (452257) می‌باشد. در این میان، ایستگاه (452257) نزدیک‌ترین ایستگاه به حوضه آبریز دریاچای می‌باشد.

نتایج محاسبات درصد تغییرات ماهانه و سالانه بارش ۳۰ ساله آبی منتهی به سال ۲۰۵۰ نسبت به دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۵) به تفکیک ایستگاه‌های منتخب و در قالب سناریوی‌های انتشار RCP2.6 و RCP8.5 به ترتیب در جدول‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. علیرغم افزایش بارش در چهار ایستگاه (452257)، (453257)، (451257) و (453258)، ولی نتایج کلی بیانگر کاهش مقدار بارندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه در سال-های آبی نسبت به دوره پایه در هر دو سناریوی منتخب می‌باشد. هرچند که نسبت این تغییرات در هر دو سناریو یکسان نبوده و میزان تغییرات سناریوی دوم (RCP8.5) خیلی بیشتر از سناریوی اولی بوده و دامنه این تغییرات در مقادیر سالانه و ماهانه کاملاً مشهود است. خروجی هر دو سناریو در تمامی ایستگاه‌ها حاکی از کاهش شدید بارندگی در فصل تابستان است.

در این میان، ایستگاه (452257) که نزدیک‌ترین موقعیت را نسبت به حوضه دریاچای دارد؛ در سناریوی RCP2.6 علیرغم کاهش شدید بارندگی در فصل تابستان و کاهش نسبی

آن در فصل بهار، در بقیه ایام سال با روند افزایش بارندگی پیش‌بینی می‌شود و این روند در فصل پاییز خیلی بیشتر از فصل زمستان است. متوسط درصد افزایش سالانه بارش در دوره ۳۰ ساله آتی نسبت به دوره پایه ۶ درصد پیش‌بینی شده است. ولی در سناریوی RCP8.5 کاهش یک درصدی سالانه را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. در این سناریو، فقط در ماه‌های ژانویه، مارس، آوریل و نوامبر شرایط نسبت به دوره پایه مرطوب‌تر خواهد بود و این برتری در ماه ژانویه با ۲۴ درصد خیلی بیشتر از سه ماه دیگر است. ولی در بقیه ماه‌های سال مقدار بارندگی کمتر از بارندگی دوره پایه پیش‌بینی می‌شود. در این میان، بالاترین کاهش با ۳۲ درصد مربوط به ماه جولای است. به همراه ایستگاه (452257) به عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه در شرق حوضه دریان، درصد تغییرات بارش سالانه ایستگاه (451257) نیز واقع در قسمت غرب آن مثبت بوده و از این لحاظ، انتظار می‌رود روند بارندگی حوضه دریان در سناریو RCP2.6 نسبت به دوره پایه افزایش داشته باشد.

جدول ۴- نتایج آزمون RMSE برای انتخاب مناسب‌ترین مدل اقلیمی (GCM)

کد ایستگاه	مدلهای اقلیمی				
	GCM _۱	GCM _۲	GCM _۳	GCM _۴	GCM _۵
۴۵۱۲۵۶	۲.۸	۳.۷	۴	۳.۳	۳.۳
۴۵۳۲۵۷	۶.۲	۵.۱	۵.۷	۷.۳	۵.۹
۴۵۱۲۵۸	۳	۳.۱	۳.۹	۴	۳.۴
۴۵۲۲۵۶	۲.۷	۳.۸	۳.۵	۲.۸	۳.۴
۴۵۲۲۵۷	۲.۶	۲.۳	۲.۳	۲.۶	۲.۴
۴۵۲۲۵۸	۲	۲.۴	۳.۶	۲.۸	۲.۴
۴۵۳۲۵۶	۱۰.۴	۱۱.۸	۱۱.۶	۱۰.۶	۱۱.۲
۴۵۱۲۵۷	۴.۴	۵.۹	۵.۵	۴.۶	۵
۴۵۳۲۵۸	۷.۵	۹.۲	۹.۱	۷.۳	۷.۹

جدول ۵- درصد تغییرات بارش دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۰) در سناریوی

RCP2.6

CODE	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	AN.
451256	-11	-8	-1	14	-2	-14	-24	-16	9	5	1	-9	-1
453257	19	14	7	1	-2	5	-16	-17	-10	14	21	28	7
451258	-10	-5	0	13	-1	-19	-13	-21	28	1	6	-9	-1
452256	-11	-7	0	13	-2	-13	-20	-17	7	7	4	-8	-0.2
452257	19	12	4	-3	-5	5	-15	-21	-15	9	20	30	6
452258	-10	-4	-2	13	-1	-18	-10	-23	24	4	12	-9	-0.4
453256	-10	-6	-0.4	12	-3	-12	-16	-18	6	8	8	-8	-1
451257	-1	1	4	1	5	8	59	69	27	7	-4	1	5
453258	-11	-11	1	-8	-6	-13	46	34	49	4	22	-2	4

جدول ۶- درصد تغییرات بارش دوره (۲۰۲۰-۲۰۵۰) نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۷۰) در سناریوی

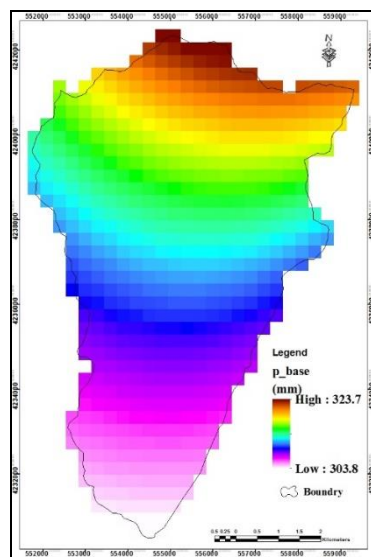
RCP8.5

CODE	J.	F.	M.	A.	M.	J.	J.	A.	S.	O.	N.	D.	AN.
451256	2	-14	-11	11	0	-13	-39	-16	9	-36	-16	-4	-7
453257	24	-6	6	5	-2	-14	-38	-11	-1	-8	7	4	-1
451258	1	-12	-11	8	2	-18	-38	-19	15	-29	-15	-7	-8
452256	3	-14	-11	10	0	-13	-37	-17	7	-35	-13	-3	-6
452257	24	-10	5	2	-4	-13	-32	-16	-16	-9	4	-2	-1
452258	2	-14	-13	7	3	-18	-37	-21	11	-28	-11	-6	-8
453256	4	-14	-11	8	0	-13	-34	-20	4	-33	-9	-3	-8
451257	-7	-4	-4	-9	-7	-11	43	68	10	1	-9	6	-3
453258	-17	-16	-19	-19	-13	-10	37	37	20	-5	25	-25	-5

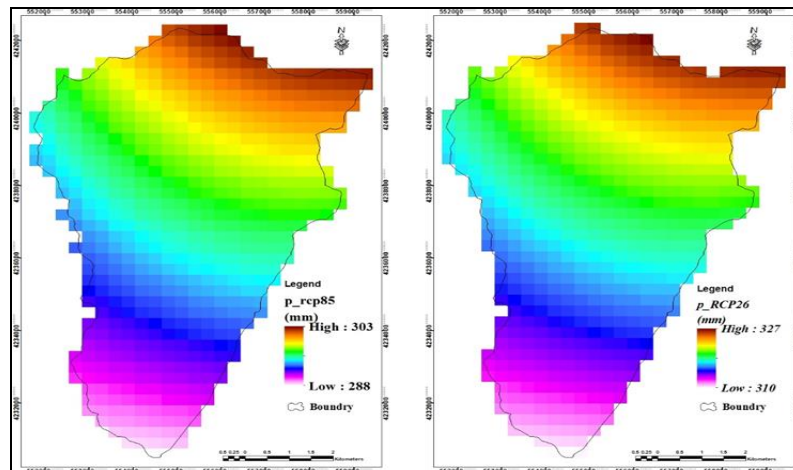
توزیع مکانی بارندگی حوضه دریا در سال پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۵) در شکل (۲) نشان داده شده است. متوسط وزنی بارش در این دوره ۳۱۳ میلیمتر برآورد شده است؛ بیشترین مقدار آن (۳۲۴ میلیمتر) منطبق بر ارتفاعات در شمال حوضه بوده و کمترین مقدار (۳۰۴ میلیمتر) نیز در سطح دشت منتهی به دریاچه ارومیه واقع شده است.

نتایج تحلیل مکانی بارش حوضه دریا چای در سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 در شکل (۳) ارائه شده است. در این دو سناریو نیز توزیع مکانی بارش همچنان مطابق بر شرایط توپوگرافی منطقه بوده است. متوسط وزنی بارش در دو سناریو یاد شده به ترتیب ۳۱۹ و ۲۹۶ میلیمتر محاسبه شده است.

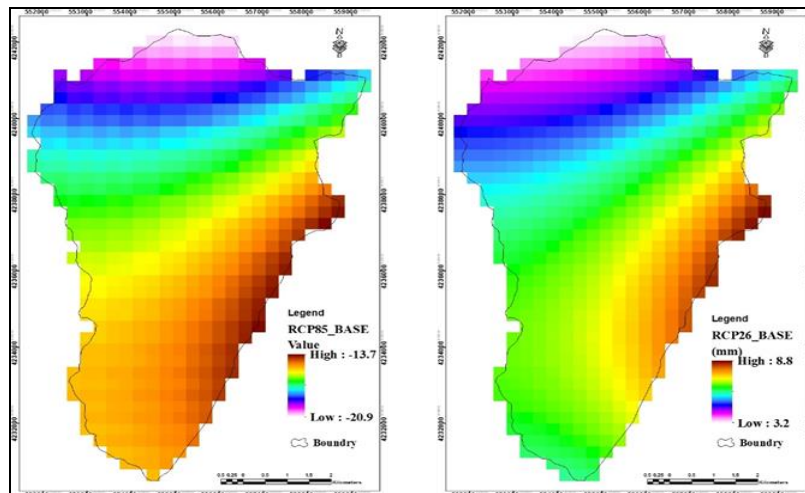
در شکل (۴) نقشه‌های ترسیمی، اختلاف توزیع مکانی ارتفاع بارش هر کدام از سناریوها را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد. متوسط وزنی اختلاف بارش مستخرج از سناریوهای RCP2.6 و RCP8.5 نسبت به دوره پایه به ترتیب $6/3$ و $-16/4$ میلی‌متر در سطح حوضه دریان محاسبه شده است.



شکل ۲- توزیع مکانی بارش در حوضه دریان - دوره پایه (۱۹۷۰-۲۰۰۵)



شکل ۳- توزیع مکانی بارش در ۳۰ سال آتی- سناریوی RCP2.5 (راست) و سناریوی RCP8.5 (چپ)



شکل ۴ اختلاف توزیع مکانی بارش دوره پایه با سناریوی RCP2.5 (راست) و سناریوی RCP8.5 (چپ)

نتیجه گیری

تغییرات جهانی اقلیم می‌تواند توزیع زمانی-مکانی متغیرهای آب و هوای (بارش و دما) یک منطقه را متاثر سازد. ارزیابی صحیح این اثرات نیازمند وجود اطلاعات اقلیمی با توزیع مکانی مناسب و سری زمانی بلندمدت و همچنین شناخت کاملی از روند آبی آن در مقیاس منطقه‌ای و محلی می‌باشد. علیرغم اینکه امروزه خروجی مدل‌های گردش عمومی (GCM) از منابع اصلی تولید داده‌های اقلیمی آبی محسوب می‌شوند؛ اما قدرت تفکیک مکانی بسیار پایین این مدل‌ها، استفاده آنها در پیش‌بینی آبی متغیرهای اقلیمی در مقیاس محلی را محدود ساخته است (Chokkavarapu and Mandla 2019). از این‌رو، لازم است که خروجی این مدل‌ها براساس داده‌های مشاهداتی موجود و به روش‌های مناسب ریزمقیاس^۱ گردند. ولی متأسفانه ایستگاه‌های هواشناسی موجود در کشور ضمن اینکه از توزیع مکانی مناسبی برخوردار نیستند؛ بلکه طول دوره آماری آنها نیز متفاوت و عمدتاً کوتاه مدت می‌باشند. از این‌رو، دسترسی به سری زمانی کامل داده‌ها و اطلاعات این ایستگاه‌ها از چالش‌های جدی در مطالعات تغییر اقلیم در کشور محسوب می‌شود.

به همین خاطر، تحقیق حاضر با هدف بررسی امکان آشکارسازی اثر تغییر اقلیم بر نوسانات بارش و تغییرات مکانی آن در مناطق فاقد آمار مشاهداتی در حوضه دریان در شمال دریاچه ارومیه اجرا شده است. برای این منظور از قابلیت‌های بسته نرم‌افزار تغییر اقلیم (CCT) استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که بین مجموعه داده‌های CRU و ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه همبستگی معنی‌داری وجود دارد. در اصل، داده‌های CRU بر مبنای اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی محلی تهیه می‌شوند؛ از این‌رو، وجود همبستگی بالای داده‌های CRU با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی محلی دور از انتظار نیست. از طرف دیگر، پراکنش مکانی نقاط CRU در ابعاد 0.5×0.5 درجه در سراسر زمین، منظم‌تر از توزیع مکانی ایستگاه‌های هواشناسی است؛ همان‌طوریکه در شکل (۱) مشاهده می‌شود، موقعیت نقطه 452257 از داده‌های CRU نزدیک‌تر از تمامی ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه به حوضه دریان است. بنابراین، استناد به اطلاعات نزدیک‌ترین

1 Downscale

موقعیت ایستگاه در مقایسه با ایستگاه‌های دورتر ارجحیت داشته و نتایج قابل اعتمادی خواهد داشت. قابلیت استفاده از داده‌های CRU به‌عنوان داده‌های مشاهداتی، قبلاً توسط (Sipayung et al. 2018, Vaghefi et al. 2017) تشریح شده است.

از طرف دیگر، باتوجه به یکسان بودن مختصات جغرافیایی و تفکیک مکانی نقاط CRU و داده‌های مدل‌های اقلیمی (GCMs)، دیگر نیازی به انجام فرایند سخت و زمان‌بر ریزمقیاس‌نمایی وجود ندارد. حال آنکه، در ارزیابی اثرات محلی تغییر اقلیم، انجام فرایند ریزمقیاس‌کردن داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی اجتناب‌ناپذیر است. از این‌رو، استفاده از داده‌های CRU و مدل‌های اقلیمی (GCMs) با بکارگیری بسته نرم‌افزاری CCT موجب تسهیل و تسریع در فرایند ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی در مقیاس محلی خواهد شد.

علیرغم اینکه نتایج حاصله در پیش‌بینی بارش مدل اقلیمی HadGEM2-ES تحت سناریوهای RCP2.5 و RCP8.5 در محل نقطه 452257 با نتایج پیش‌بینی ایستگاه هواشناسی تبریز بر مبنای مدل اقلیمی CanESM (محمد‌علیزاده فرد، ۱۳۹۸) مطابقت دارد؛ با این وجود، پیشنهاد می‌شود اعتبار خروجی داده‌های CRU در مقایسه با داده‌های مدل‌های اقلیمی مختلف و ایستگاه‌های هواشناسی محلی ارزیابی گردد.

منابع

- Ahmed, K., Sachindra, D.A., Shahid, S., Demirel, M.C. and Chung, E.-S. (2018) Selection of multi-model ensemble of GCMs for the simulation of precipitation based on spatial assessment metrics. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 1-35.
- Chokkavarapu, N. and Mandla, V.R. (2019) Comparative study of GCMs, RCMs, downscaling and hydrological models: a review toward future climate change impact estimation. *SN Applied Sciences* 1(12).
- Easterling, D.R., Meehl, G.A., Parmesan, C., Changnon, S.A., Karl, T. R. and Mearns, L.O. (2000) Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 289(5487), 2068–2074.
- Eslahi, M. (2017) Assessment of Statistical Downscaling Models in Explanation of Climate Change over North West of Iran, P.h.D, Department of Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil.(Farsi)
- Gao, C., Booij, M.J. and Xu, Y.P. (2019a) Impacts of climate change on characteristics of daily-scale rainfall events based on nine selected GCMs under four CMIP5 RCP scenarios in Qu River basin, east China. *International Journal of Climatology*.
- Gao, C., Liu, L., Ma, D., He, K. and Xu, Y.P. (2019b) Assessing responses of hydrological processes to climate change over the southeastern Tibetan Plateau based on resampling of future climate scenarios. *Sci Total Environ* 664, 737-752.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H. (2014) Updated high-resolution grids of monthly climatic observations - the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.* 34(3), 623-642.
- He, Z., Zhao, W., Liu, H. and Chang, X. (2012) The response of soil moisture to rainfall event size in subalpine grassland and meadows in a semi-arid mountain range: a case study in northwestern China's Qilian Mountains. *Journal of Hydrology*, 420–421, 183–190. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2011.11.056>.

- Jahanbakhsh Asl, S., Khorshiddoust, A.M., Alinejad, M.H. and Pourasghr, F. (2016) Impact of Climate Change on Precipitation and Temperature by Taking the Uncertainty of Models and Climate Scenarios (Case Study: Shahrchay Basin in Urmia). *Hydrogeomorphology*, 2(7), 122-107. (Farsi)
- Mahmoudi, P. and Rigi Chahi, A. (2019) Climate change impact on spatial and temporal distribution of precipitation in Iran, Tehran, IRAN. 1-9
- Mohammad Alizadeh Fard, E. (2020) Assessing the Effects of Precipitation Changes on Surface Runoff (Case Study: Daryan catchments in East-Azerbaijan Province), PhD, Department of Geography, University of Zanjan, IRAN. p. 125
- Pervin, Lia, 2016, Potential impact of climate change to the future climate and streamflow of the Mackenzie River Basin, MSc Thesis, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, p108
- Rezaei, M. and Ghasemieh, H. (2019) Assessing the impact of climate change on rainfall and temperature variability (Case Study: Kashan and Khur and Biabank Stations). *Arid Biome Scientific Journal* 9(1), 81-99. (Farsi)
- Rezazadeh, M.S. (2018) Assessment climate change impact on runoff, sediment and evapotranspiration in Kerman province using SWAT model, M.Sc., Department of Water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman. p.123 (Farsi)
- Salehpoor, J., Ashrafzadeh, A. and Moussavi, S.A. (2019) Technical Note: Investigating the effect of climate change on flow of the Hablehroud Basin. *Journal of Watershed Engineering and Management* 11(4), 1140-1153. (Farsi)
- Soltani Mohammadi, A., Mollaeinia, M.R. and Ajamzadeh, A. (2019) Assessment of Climate Change Effect on Temperature and Precipitation Based on Fourth and Fifth IPCC reports (Case study: Isfahan Province). *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)* 42(2), 1-16. (Farsi)

- Tarasova, L., Basso, S., Zink, M. and Merz, R. (2018) Exploring controls on rainfall-runoff events: 1. Time series-based event separation and temporal dynamics of event runoff response in Germany. *Water Resources Research*, 54(10), 7711–7732. <https://doi.org/10.1029/2018wr022587>.
- Vaghefi, S.A., Abbaspour, N., Kamali, B. and Abbaspour, K.C. (2017) A toolkit for climate change analysis and pattern recognition for extreme weather conditions e Case study: California-Baja California Peninsula. *Environmental Modelling & Software* 96, 181-198.
- Villamizar, S.R., Pineda, S.M. and Carrillo, G.A. (2019) The Effects of Land Use and Climate Change on the Water Yield of a Watershed in Colombia. *Water* 11(2), 1-19
- Wilby, R.L., Dawson, C.W. and Barrow, E.M. (2002) SDSM - a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software* 17, 147–159.
- Yaduvanshi, A., Zaroug, M., Bendapudi, R. and New, M. (2019) Impacts of 1.5 °C and 2 °C global warming on regional rainfall and temperature change across India. *Environmental Research Communications* 1(12)., 1-15
- Yarahmadi, J. and Rostamizad, G. (2019) Hydrological Droughts analysing in North part of uromia Lake. *Hydrogeomorphology*, 5(19), 100-179. (Farsi)