

ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر طبقه بندی‌های اقلیمی در قسمت‌هایی از شمال غرب ایران

محمد محمدلو^۱ ناصر طهماسبی پور^۲

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲- دانشیار گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری دانشگاه لرستان

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۲

چکیده

تغییر اقلیم یکی از مهمترین چالش‌هایی است که بخش‌های مختلف زندگی بشر را تحت تأثیر قرار داده است. در این مطالعه ابتدا نوع اقلیم در دوره پایه (۱۹۷۹-۲۰۰۹) در دو ایستگاه ارومیه و خوی طبق طبقه‌بندی‌های اقلیمی دوماترن و سلیانینف مشخص گردید. پس از ارزیابی توانمندی مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در دوره پایه، از بین مدل‌های گردش عمومی جو، دو مدل که دارای بیشترین شباهت با گذشته مناطق مورد مطالعه بودند، برای مطالعات دوره آتی انتخاب گردید. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر الگوی بارندگی و دما در ایستگاه‌های ارومیه و خوی در دوره آتی ۲۰۱۱ تا ۲۰۴۰ میلادی انجام گردید. طبقه‌بندی اقلیمی دوماترن در دوره گذشته برای ایستگاه ارومیه و تمام سناریوهای دو مدل منتخب HADGEM1 و HADCM3 اقلیم نیمه خشک را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که تحت تأثیر تغییر اقلیم در ایستگاه ارومیه، ضریب خشکی دوماترن دارای روند افزایشی خواهد بود و نوع اقلیم از نوع نیمه خشک در دوره پایه، به سمت اقلیم مدیترانه‌ای در دوره آینده سوق خواهد یافت. طبق طبقه‌بندی اقلیمی سلیانینف، این ضریب در تمام سناریوهای دو مدل منتخب، بجز سناریوی A2 مدل HADGEM1 افزایش خواهد یافت و اقلیم منطقه از استپ خشک به سمت استپ مرطوب خواهد یافت. در ایستگاه خوی در دوره گذشته و تمام سناریوهای دو مدل منتخب HADCM3 و ECHO-G طبق طبقه‌بندی اقلیمی دوماترن، اقلیم از نوع خشک بوده و تحت تأثیر تغییر اقلیم ضریب اقلیمی دوماترن کاهش یافته و منطقه خشک‌تر می‌گردد. طبق طبقه بندی سلیانینف به ازای تمام سناریوها، ضریب سلیانینف روند نزولی را نشان می‌دهد. طوری که اقلیم منطقه از نوع بیابانی بوده و در دوره‌های آتی به دلیل افزایش دما و کاهش بارندگی، نوع اقلیم منطقه خشک‌تر و بیابانی‌تر خواهد گردید.

واژه‌های کلیدی: ارومیه و خوی، مدل‌های گردش عمومی جو، LARS-WG, HADGEM1, HADCM3

مقدمه

انجام پژوهش‌های مرتبط با تغییر اقلیم برای آمادگی هر چه بیشتر جهت مقابله و نیز کاهش هزینه‌های خسارات بار ناشی از این تغییر بسیار ضروری است. به منظور بررسی اثرات آینده تغییر اقلیم بر بخش‌های مختلف نظیر منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، بهداشت، صنعت، اقتصاد و غیره ابتدا باید متغیرهای اقلیمی تحت تأثیر تنش‌های ناشی از گازهای گلخانه‌ای شبیه‌سازی شوند. یکی از مهمترین چالش‌ها در مطالعات مربوط به مدل‌های GCM، بزرگ مقیاس بودن مکانی متغیرهای شبیه‌سازی شده است. لذا خروجی‌های حاصل از این مدل‌ها که شبیه‌سازی‌های آتی پارامترهای اقلیمی را دارند، در مقیاس ایستگاهی قابل استفاده نیستند. بنابراین لازم است که خروجی این مدل‌ها در مقیاس ایستگاه ریزمقیاس^۲ شوند. معتبرترین ابزار موجود برای شبیه‌سازی اقلیمی آینده استفاده از خروجی مدل‌های AOGCM^۳ است (شاکرمی و مساح بوانی، ۱۳۸۵). ریزمقیاس‌نمایی داده‌های حاصل از مدل‌های GCM معمولاً به دو روش آماری و دینامیکی صورت می‌گیرد (بابائیان و نجفی‌نیک، ۱۳۸۴). برای روش آماری نیز سه روش اصلی کوچک

^۱ muhammad.muhammadlou@gmail.com نویسنده مسئول: محمد محمدلو

^۲ Downscaling

^۳ Atmospheric-Ocean General Circulation Model

مقیاس کردن وجود دارد که عبارت‌اند از روش طبقه‌بندی هواشناسی، روش مولدهای هواشناسی^۴ و روش مولدهای رگرسیونی. روش مولدهای رگرسیونی نیز خود شامل روش‌های رگرسیون خطی، روش شبکه عصبی مصنوعی، روش همبستگی CCA و روش کریجینگ می‌باشد (مهدی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). قربانی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای تأثیرات تغییر اقلیم بر پهنه بندی اقلیمی استان گلستان با روش دومرتن گسترش یافته را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که در آینده نزدیک (۲۰۱۱-۲۰۴۰) تغییر اقلیم باعث مرطوب شدن منطقه گردیده ولی در دوره آینده دور (۲۰۷۱-۲۱۰۰) اقلیم منطقه خشک‌تر می‌گردد. مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG که یک روش آماری ریزمقیاس نمایی بوده و از توزیع‌های نیمه تجربی برای شبیه سازی و ریزمقیاس نمایی استفاده می‌کند، می‌تواند پارامترهای آتی اقلیمی را در سطح ایستگاه تولید نماید. Semenov و همکاران (1998) با استفاده از مدل LARS-WG سناریوهای تغییر اقلیم را در انگلستان بررسی نموده و قابلیت این مدل برای شبیه‌سازی داده‌های روزانه را مورد تأیید قرار دادند. اشرف و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ را با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده مدل LARS-WG بررسی نموده و نتایج حاصل نشان از توانمندی بالای این مدل مولد هواشناسی در تولید داده‌های روزانه پارامترهای اقلیمی داشت. نیک بخت شهبازی (۱۳۹۶)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات دما و بارندگی در حوضه آبخیز کارون ۳ را مطالعه نمود نتایج نشان داد که در فصل بهار و تابستان در حوضه کارون ۳، اختلاف دمای حداکثر و حداقل ماهانه تحت تأثیر تغییر اقلیم کاهش پیدا می‌کند. میزان بارش‌ها در فصل بهار افزایش یافته و در فصل تابستان و پاییز کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش بارش در فصل زمستان و در دی ماه اتفاق می‌افتد. نتایج همچنین نشان داد که فراوانی سال‌های نرمال و مرطوب نسبت به میانگین دراز مدت بارش منطقه در سناریو انتشار B1 و A2 بیشتر از A1B است. Miller (2004)، با در نظر گرفتن شرایط تغییر اقلیم در حوضه‌های رودخانه‌های ایالت کالیفرنیا آمریکا پیش‌بینی کرد که پایان قرن حاضر ذوب برف هر سال زودتر آغاز می‌گردد و ذخایر برف زمستانه به میزان ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. در مطالعه‌ای روند بارش پاییزی شمال شرق آمریکا طی دوره ۱۹۹۹-۱۹۰۰ و بر اساس روش رگرسیون خطی مطالعه شد. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که بارش شمال شرق ایالات متحده طی دوره مورد بررسی افزایشی بوده است و بارش‌های پاییزه بیشترین نقش را در این افزایش داشته است (Henderson, 2000). Tomozeiu و همکاران (2000) با استفاده از روش من-کندال و توابع تجربی متعامد، تغییر پذیری میانگین بارندگی زمستانی در ایملیا رومانیای ایتالیا را بررسی کردند. نتایج مطالعات آنها نشان داد که همه ایستگاه‌ها دارای روند کاهشی در بارندگی زمستانه بوده‌اند. Mosmann و همکاران (2004) با استفاده از روش ناپارامتریک من-کندال روند بارش تابستانه را در اسپانیا بررسی کردند. نتایج مطالعه ایشان نشان داد که روند بارش تابستانه در این کشور از نظر آماری معنی‌دار بوده است طوری که در بخش‌های جنوبی طی ماه‌های جولای و آگوست بارش حدود ۲۰ درصد افزایش و در ماه‌های جون و سپتامبر حدود ۱۰ درصد کاهش یافته است. Hidalgo و همکاران (2008) روند بارش ماهانه را در شبه جزیره ایبری طی نیمه دوم قرن بیستم مطالعه کردند. نتیجه بررسی آنها تغییر پذیری مکانی و زمانی قابل توجهی را در روند بارندگی ماهانه نشان داد، اما عموماً روند بارندگی منفی بوده است. Yates و Strzepek (1998)، با مدل کردن حوضه رودخانه نیل تحت تأثیر سناریوی‌های اقلیمی با استفاده از ۵ مدل گردش عمومی نشان دادند که این حوضه در دوره‌های آتی نسبت به تغییر اقلیم حساس بوده و به خصوص مقادیر متوسط دما در آن افزایش خواهد یافت. در تحقیقی که توسط Ghorbani و Shariatmadari (2014) به انجام رسیده است وی به ارزیابی مدل‌های داده کاوی در ریزمقیاس نمایی بارش روزانه حاصل از مدل گردش عمومی NCEP در کرمانشاه پرداخت و سه روش ماشین بردار پشتیبان (SVM)، درخت تصمیم (M5) و نزدیکترین همسایه K (KNN) را در ریزمقیاس نمایی بارش مقایسه کرد. نتایج وی نشان داد که بارش شبیه سازی شده با این سه روش از میانگین و انحراف معیار کمتری نسبت به داده‌های مشاهداتی برخوردار هستند و مقادیر حدی را نمی‌توانند به خوبی پیش بینی

⁴ Weather Generator

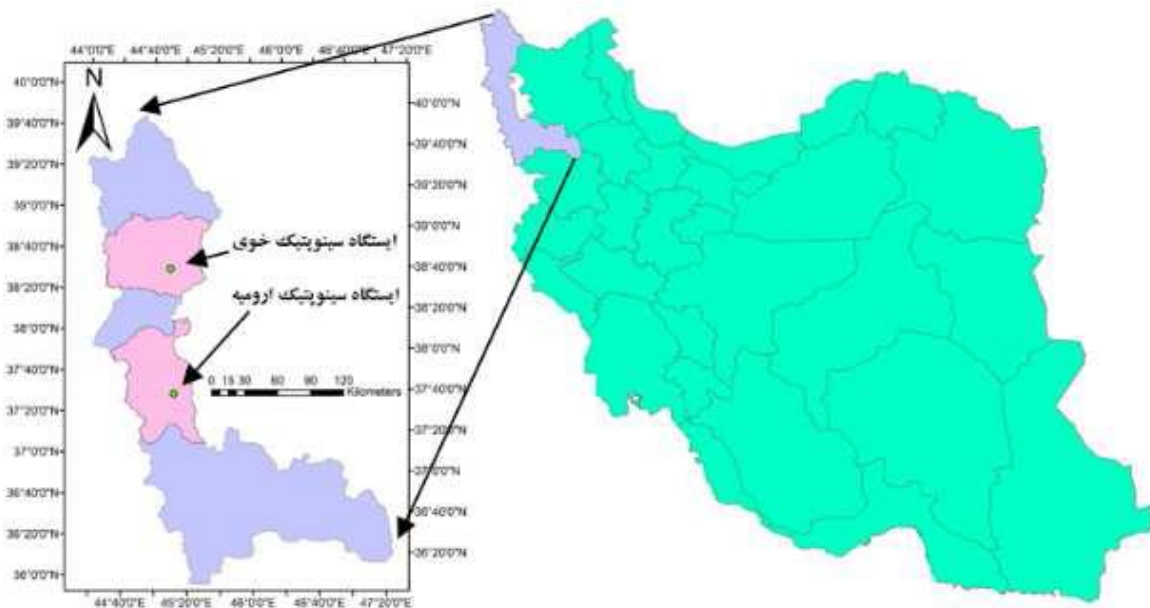
کنند. با این وجود روش KNN نسبت به دیگر روش‌ها، نتایج بهتری را ارائه می‌کند. نتایج پژوهشی در بالادست رودخانه بنو در کامرون نشان داد که تا سال ۲۱۰۰ این منطقه می‌تواند شاهد افزایش بارندگی به میزان ۴ تا ۱۳ درصد، افزایش دما به میزان ۱ تا ۳ درجه سانتی‌گراد و تغییرات متوسط سالانه جریان به میزان ۳- تا ۱۸+ درصد باشد (Kamga, 2001). در پژوهشی، اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش حوضه اسکندری در استان اصفهان را برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۱ توسط مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 ارزیابی گردید. بر این اساس پژوهشگران نتیجه گرفتند بارش سالانه در این حوضه به میزان ۲۰٪ افزایش خواهد یافت (Bahri et al., 2013). در این مطالعه ابتدا عملکرد مدل LARS-WG برای تولید داده‌های اقلیمی در دو شهرستان خوی و ارومیه ارزیابی می‌گردد سپس با استفاده از دو مدل برتر گردش عمومی جو که بیشترین شباهت را با گذشته هر منطقه داشتند، اقدام به تولید داده‌های اقلیمی برای دوره آینده در دو ایستگاه می‌گردد. در ادامه بارندگی ماهانه در دو ایستگاه برای دوره پایه و تحت سناریوهای مختلف دو مدل برتر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و در نهایت با استفاده از طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن، طبقه‌بندی اقلیمی برای دو ایستگاه در دوره پایه و تمام سناریوهای دو مدل برتر دوره آتی تغییرات نوع اقلیم منطقه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

استان آذربایجان غربی در شمال غربی کشور ایران و در مرز با کشورهای ترکیه، عراق و ارمنستان قرار دارد. دریاچه ارومیه که یکی از بزرگترین و مهمترین اکوسیستم‌های آبی ایران می‌باشد در این استان واقع شده است (شکل ۱). در چند سال اخیر شاهد تغییراتی در روند بارندگی و تغییر اقلیم از جمله افزایش تدریجی دما و کاهش میزان بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه بوده‌ایم که منجر به کاهش شدید تراز سطح آب دریاچه شده است. بنابراین شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی دوره‌های آینده برای دریاچه و مناطق اطراف آن امری ضروری می‌نماید. ایستگاه سینوپتیک ارومیه در مختصات ۴۴ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۴۰ دقیقه عرض شمالی و ارتفاع ۱۳۲۸ متری از سطح دریا و ایستگاه سینوپتیک خوی در مختصات ۴۴ درجه و ۵۸ دقیقه شرقی و ۳۸ درجه و ۳۳ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۸ متری از سطح دریا قرار دارد.

در این مطالعه ابتدا داده‌های دمای حداقل، دمای حداکثر، بارندگی و تابش خورشیدی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه و خوی برای دوره پایه ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۹ میلادی از اداره هواشناسی استان تهیه گردید. قبل از اجرای مدل، نرمال بودن و همگنی داده‌ها مورد بررسی قرار گرفت. سپس این داده‌ها به عنوان ورودی‌های مدل LARS-WG انتخاب گردیدند. همچنین خروجی داده‌های دما و بارندگی مدل‌های گردش عمومی HADGEM1 و BCM2, ECHO-G, HADCM3 برای دوره ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ میلادی تهیه گردیده و جهت جلوگیری از عدم قطعیت بیشتر، بهترین مدل که بیشترین شباهت را با دوره پایه منطقه مورد مطالعه دارد، برای شبیه‌سازی دوره آتی انتخاب می‌گردد.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ارزیابی مدل LARS-WG

LARS-WG یکی از معروف‌ترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی آب و هوا است که برای تولید مقادیر بارندگی، تابش، درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به کار می‌رود. مبنای این مدل برای مدل‌سازی طول دوره‌های خشک و تر، بارش روزانه و سری‌های تابش، توزیع نیمه تجربی می‌باشد. سری‌های فوریه، درجه حرارت را تخمین می‌زنند. درجه حرارت‌های حداقل و حداکثر روزانه به صورت فرآیندهایی تصادفی با میانگین و انحراف معیارهای روزانه که وابسته به وضعیت تر یا خشک بودن روز مورد نظر هستند، مدل‌سازی می‌شوند. سری فوریه مرتبه سوم برای شبیه‌سازی میانگین و انحراف معیار درجه حرارت فصلی به کار می‌رود. مقادیر مانده‌ها که از تفریق مقادیر میانگین از مقدار دیدبانی شده به دست می‌آیند، در تحلیل خود همبستگی زمانی داده‌های مینیمم و ماکزیمم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این تحقیق ارزیابی عملکرد مدل از طریق مقایسه و بررسی داده‌های تولید شده مدل و داده‌های مشاهداتی در دوره پایه و استفاده از آماره‌های ضریب تبیین (R^2), میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) که از روابط (۱)، (۲) و (۳) به دست می‌آیند، انجام می‌گردد. نتایج ارزیابی مدل LARS-WG که توانایی این مدل برای تولید داده‌های آینده را مورد تایید قرار می‌دهد در جدول (۳) در بخش نتایج آمده است.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (1)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|}{n} \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{n}} \quad (3)$$

در روابط (۱) تا (۳)، X_i و Y_i به ترتیب داده‌های مشاهداتی و داده‌های تولید شده توسط مدل هستند. n نیز تعداد داده‌های مورد نیاز است. \bar{X} و \bar{Y} میانگین داده‌های مشاهداتی و میانگین داده‌های تولید شده توسط مدل هستند.

بررسی عدم قطعیت مدل‌های GCM

از آنجایی که در مطالعات اقلیمی بحث عدم قطعیت وجود دارد، برای جلوگیری از عدم قطعیت بیشتر نتایج، باید از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو مختلف همراه با سناریوهای انتشار مختلف بهره برد. چون مدل‌های GCM داده-های اقلیمی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۱۰۰ میلادی را دارند، لذا با مقایسه داده‌های پیش‌بینی دوره گذشته (پیش‌بینی گذشته‌نگر) با مقادیر مشاهداتی می‌توان صحت و وزن آنها را یافت و در آینده اعمال کرد. در این تحقیق با استفاده از داده‌های دما و بارندگی چهار مدل گردش عمومی HADGEM1، BCM2، ECHO-G، HADCM3 و مربوط به سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۰ میلادی و داده‌های دیدبانی دما و بارندگی ایستگاه‌های سینوپتیک ارومیه و خوی با استفاده از رابطه وزنی و عکس قدر مطلق خطای هر مدل وزن هر مدل در بازه زمانی مورد نظر طبق رابطه (۴) محاسبه گردیده و با استفاده از روش وزنی در نهایت مدل‌هایی که دارای بیشترین ضریب وزنی هستند به عنوان مدل شاخص برای مطالعه دوره آتی و فرآیند ریزمقیاس‌نمایی انتخاب گردیدند.

$$(۴) \quad \frac{1}{ABS(\Delta T(GCM))}$$

رابطه (۴) بیانگر عکس قدر مطلق اختلاف مقادیر پارامترهای اقلیمی مشاهده شده در ایستگاه مورد مطالعه، با مقادیر بدست آمده از مدل‌های GCM مختلف برای منطقه مورد مطالعه در دوره‌ی پایه ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۹ میلادی می‌باشد. در نهایت مقادیر بدست آمده، برای مدل‌های مختلف و به ازای تمام سال‌ها را با هم جمع نموده و فراوانی نسبی برای هر سال بدست می‌آید که با میانگین‌گیری از آن به ازای تمام سال‌ها، وزن هر مدل بدست می‌آید. جدول (۳) نتایج حاصل از وزن چهار مدل انتخابی GCM و انتخاب بهترین مدل برای ایستگاه‌های ارومیه و خوی را نشان می‌دهد. سناریوهای غیر اقلیمی (سناریوهای انتشار)

از آنجا که تغییرات اقلیمی آینده به شدت به فعالیت‌های بشری در سال‌های آینده بستگی دارد، لذا مدل‌های اقلیمی با استفاده از داده‌های سناریوهای انتشار اجرا می‌شوند. به طور کلی ۴۰ سناریوی مختلف وجود دارند که هر کدام فرضیات متفاوتی از میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای، پوشش سطح زمین و دیگر واداشتهای اقلیم در آینده را مد نظر قرار داده‌اند. علاوه بر آن فرضیاتی برای نحوه توسعه فنی و رشد اقتصادی آینده کشورها را در نظر گرفته‌اند (بابائیان، ۱۳۹۲). این سناریوها بیشتر افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی را در نظر می‌گیرند. در بین سناریوهای موجود و مورد استفاده در این مطالعه سناریوی B1 یک حالت خوشبینانه از آینده و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد. سناریوی A2 یک حالت اغراق آمیز و بدبینانه و سناریوی A1B یک حالت متعادل و مابین دو حالت خوش بینانه و بدبینانه را در نظر می‌گیرد. از آنجایی که اکثر مدل‌های GCM نیز بر اساس این سه سناریو طراحی شده‌اند و به دلیل عدم قطعیت دوره‌های آتی، در این مطالعه در شبیه‌سازی دوره‌های آتی از سه سناریوی مذکور استفاده می‌گردد.

طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش دومارتن

ضریب خشکی دومارتن

دومارتن معتقد است که مقدار تبخیر با میانگین درجه حرارت سالانه متناسب است و با استفاده از محاسبه ضریب خشکی که از رابطه (۵) محاسبه می‌شود، می‌توان اقلیم‌های مختلف را مشخص نمود.

$$(۵) \quad I = \frac{P}{T + 10}$$

که در آن: I ضریب خشکی، P بارندگی سالانه برحسب میلی‌متر و T متوسط دمای سالانه بر حسب درجه سانتی‌گراد می‌باشند. بر اساس روش دومارتن ۶ نوع آب و هوا به شرح زیر در جدول (۱) طبقه‌بندی شده‌اند (علیزاده، ۱۳۸۹).

جدول (۱): طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش دومارتن

نام اقلیم	محدوده ضریب خشکی دومارتن (I)
خشک	کوچکتر از ۱۰
نیمه خشک	۱۰ تا ۱۹/۹
مدیترانه‌ای	۲۰ تا ۲۳/۹
نیمه مرطوب	۲۴ تا ۲۷/۹
مرطوب	۲۸ تا ۳۴/۹
بسیار مرطوب	بزرگتر از ۳۵

سیستم طبقه‌بندی اقلیمی سلیمانینوف (Selyaninov)

این روش بر اساس نسبت بارندگی به گرما استوار است. این ضریب که بنام ضریب هیدروترمیک سلیمانینوف معروف است، با استفاده از رابطه (۶) محاسبه می‌گردد:

$$I = \frac{\sum P}{0.10 \sum H} \quad (6)$$

که در آن: $\sum P$ مقدار کل بارندگی سالانه (بر حسب میلی‌متر)، $\sum H$ مجموع درجه-روز سالانه (بر حسب درجه سانتی‌گراد) می‌باشد. در جدول (۲) طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش سلیمانینوف آورده شده است.

جدول (۲): طبقه‌بندی اقلیمی بر اساس روش سلیمانینوف

نوع اقلیم	ضریب سلیمانینوف
بیابانی	$I < 0.5$
استپ خشک	$0.5 < I < 0.7$
استپ معمولی	$0.7 < I < 1.0$
استپ جنگلی	$I > 1.0$

نتایج و بحث

در (جدول ۳) نتایج حاصل از انتخاب بهترین مدل GCM برای ریزمقیاس‌نمایی داده‌های دوره آبی در دو ایستگاه ارومیه و خوی آورده شده است.

جدول (۳): ضرایب وزنی مدل‌های گردش عمومی جو برای دو ایستگاه ارومیه و خوی

مدل گردش عمومی جو	ضریب وزنی برای شهرستان ارومیه	ضریب وزنی برای شهرستان خوی
BCM2	۰/۰۲۴۹	۰/۲۱۶۵
HADGEM1	۰/۰۸۹۵	۰/۱۹۹۰
HADCM3	۰/۰۵۲۲	۰/۲۹۶۷
ECHO-G	۰/۰۲۴۳	۰/۲۸۷۶

با توجه به نتایج حاصل از میانگین ضرایب وزنی مدل‌های GCM و جدول (۲) برای ایستگاه ارومیه، مدل‌های HADGEM1 و HADCM3 دارای بیشترین وزن بوده و برای ریزمقیاس نمایی داده‌های ایستگاه ارومیه از این دو مدل استفاده می‌گردد. در ایستگاه خوی نیز مدل‌های HADCM3 و ECHO-G دارای بیشترین ضریب وزنی می‌باشند و برای ریزمقیاس نمایی داده‌های ایستگاه خوی از این دو مدل استفاده خواهد شد. در بین مدل‌های منتخب ذکر گردیده مدل‌های HADCM3 و ECHO-G دارای سه سناریوی A1B، A2 و B1 در نرم‌افزار LARS-WG هستند و مدل HADGEM1 دارای دو سناریوی A1B و A2 می‌باشد.

جدول (۴) نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل LARS-WG جهت تولید داده‌های بارندگی، دمای حداکثر و حداقل و تابش خورشیدی در ایستگاه‌های ارومیه و خوی را با استفاده از آماره‌های R2، RMSE و MAE را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، مدل دارای عملکرد خوبی در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی است.

جدول (۴): نتایج ارزیابی مدل LARS-WG در ایستگاه ارومیه و ایستگاه خوی

ایستگاه ارومیه			ایستگاه خوی			آماره
MAE	RMSE	R ²	MAE	RMSE	R ²	
۰/۰۰۱	۰/۱۸۷	۰/۹۹۹	۰/۰۳	۰/۱۲۴	۰/۹۹۹	دمای حداقل
۰/۰۱۱	۰/۳۸۸	۰/۹۹۸	۰/۱	۰/۳۳۷	۰/۹۹۹	دمای حداکثر
۰/۰۱۸	۲/۲۸	۰/۹۲۲	۱/۷۹۱	۳/۴۹۹	۰/۹۷۹	بارندگی
۰/۱۰۵	۰/۲۲۷	۰/۹۹۴	۰/۰۱۴	۰/۱۶۵	۰/۹۹۶	تابش خورشیدی

جداول (۵) و (۶) تغییرات ماهانه بارندگی دوره آتی (۲۰۱۱-۲۰۴۰) را نسبت به دوره پایه (۲۰۰۹-۱۹۷۹) در دو مدل HADGEM1 و HADCM3 و تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 نشان می‌دهند. همچنین جداول (۷) و (۸) این تغییرات را برای دو مدل منتخب HADCM3 و ECHO-G در ایستگاه خوی نشان می‌دهند.

جدول (۵): تغییرات ماهانه میزان بارندگی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای مختلف مدل HADCM3 برای ایستگاه ارومیه (برحسب میلی‌متر)

تغییرات بارندگی	میانگین بارندگی (mm)						ماه‌های سال
	HADCM3			دوره آتی براساس مدل HADCM3			
	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	
						دوره پایه	
+۱/۷۹	+۱/۴۵	+۰/۹۱	۲۹/۱۷	۲۸/۸۳	۲۸/۲۹	۲۷/۳۷	ژانویه
-۰/۳۰	-۰/۴۸	-۰/۳۴	۲۸/۶۹	۲۸/۵۲	۲۸/۶۵	۲۹/۰۱	فوریه
+۱۲/۴۱	+۱۱/۷۳	+۱۳/۸۸	۴۸/۷۶	۴۸/۰۸	۵۰/۲۴	۳۶/۳۵	مارس
+۱۰/۱۷	+۷/۰۷	+۱۲/۲۷	۶۱/۸۴	۵۸/۷۴	۶۳/۹۳	۵۱/۶۶	آوریل
+۰/۶۴	-۱/۳۴	+۰/۷۳	۴۱/۲۵	۳۹/۲۷	۴۱/۳۴	۴۰/۶۱	می
+۰/۷۴	+۰/۴۰	+۰/۴۴	۱۱/۵۳	۱۱/۱۹	۱۱/۲۳	۱۰/۷۸	ژوئن
+۰/۵۰	+۰/۴۱	+۰/۸۸	۸/۳۴	۸/۲۶	۸/۷۳	۷/۸۴	ژوئیه
-۰/۱۴	-۰/۱۵	-۰/۳۴	۱/۰۲	۱/۰۱	۱/۱۲	۱/۱۶	اوت
-۲/۱۵	-۲/۳۸	+۲/۱۴	۳/۲۴	۳/۰۱۳	۳/۲۵	۵/۳۹	سپتامبر
-۰/۶۶	-۱/۵۸	+۱/۸۱	۲۰/۶۶	۱۹/۷۴	۱۹/۵۱	۲۱/۳۲	اکتبر
-۴/۹۳	-۴/۲۹	-۱/۷۶	۴۱/۴۱	۴۰/۷۷	۳۸/۲۴	۳۶/۴۸	نوامبر
+۰/۱۳	+۰/۰۱	+۰/۹۳	۱۹/۴۵	۱۹/۳۳	۱۸/۳۸	۱۹/۳۲	دسامبر

جدول (۶): تغییرات ماهانه میزان بارندگی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای مختلف مدل HADGEM1 برای ایستگاه ارومیه

تغییرات بارندگی	میانگین بارندگی (mm)				دوره پایه	ماه‌های سال
	دوره آبی بر اساس مدل HADGEM1					
	A2	A1B	A2	A1B		
+۱/۹۶	+۴/۳۳	۲۹/۳۴	۳۱/۷۱	۲۷/۳۷	ژانویه	
+۳/۸۱	+۴/۸۰	۳۲/۸۲	۳۳/۸۱	۲۹/۰۱	فوریه	
+۱۱/۹۱	+۱۳/۲۴	۴۸/۲۶	۴۹/۶	۳۶/۳۵	مارس	
+۵/۵۶	+۹/۰۹	۵۷/۲۲	۶۰/۷۵	۵۱/۶۶	آوریل	
-۳/۲۱	-۲/۱۸	۳۷/۳۹	۳۸/۴۲	۴۰/۶۱	می	
-۰/۱۳	-۰/۵۴	۱۰/۶۵	۱۰/۲۴	۱۰/۷۸	ژوئن	
+۲/۵۲	+۰/۰۸	۱۰/۳۷	۷/۹۲	۷/۸۴	ژوئیه	
+۰/۳۷	-۰/۱۴	۱/۵۳	۱/۰۲	۱/۱۶	اوت	
-۱/۷۶	-۱/۷۵	۳/۶۲	۳/۶۳	۵/۳۹	سپتامبر	
-۲/۷۴	+۳/۳۷	۱۸/۵۸	۲۴/۷	۲۱/۳۲	اکتبر	
-۱/۱۱	+۵/۵۱	۳۵/۳۷	۴۱/۹۹	۳۶/۴۸	نوامبر	
-۲/۱۷	+۰/۵۷	۱۷/۱۴	۱۹/۸۹	۱۹/۳۲	دسامبر	

جدول (۷): تغییرات ماهانه میزان بارندگی برای دوره ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوهای مختلف مدل HADCM3 برای ایستگاه خوی

تغییرات بارندگی	میانگین بارندگی (mm)				دوره پایه	ماه‌های سال	
	دوره آبی بر اساس مدل HADCM3						
	B1	A2	A1B	B1			A2
+۹/۷۸	+۹/۶۰	+۹/۳۷	۱۶/۶۸	۱۶/۵۰	۱۶/۲۷	۶/۹	ژانویه
-۰/۰۳	-۰/۰۱	+۰/۰۹	۱۴/۸۸	۱۴/۹۱	۱۵/۰۱	۱۴/۹۲	فوریه
+۴/۵۵	+۴/۶۶	+۵/۲۶	۲۴/۴۰	۲۴/۵۲	۲۵/۱۱	۱۹/۸۵	مارس
+۱/۲۸	+۰/۵۱	+۱/۸۳	۳۶/۱۳	۳۵/۳۵	۳۶/۶۸	۳۴/۸۴	آوریل
-۷/۰۷	-۷/۸۴	-۷/۵۴	۲۹/۶۹	۲۸/۹۲	۲۹/۲۲	۳۶/۷۶	می
-۰/۸۷	-۱/۱۱	-۱/۳۴	۱۹/۱۶	۱۸/۹۱	۱۸/۶۸	۲۰/۰۳	ژوئن
+۰/۰۴	+۰/۰۷	-۰/۰۱	۹/۵۱	۹/۵۴	۹/۴۶	۹/۴۷	ژوئیه
-۰/۳۴	-۰/۴۳	-۰/۳۶	۴/۳۰	۴/۲۱	۴/۲۸	۴/۶۴	اوت
-۴/۶۸	-۵/۱۵	-۴/۸۷	۶/۹۵	۶/۴۸	۶/۷۶	۱۱/۶۳	سپتامبر
+۰/۸۲	-۰/۲۶	+۰/۴۹	۱۴/۱۵	۱۳/۰۶	۱۳/۸۲	۱۳/۳۳	اکتبر
+۳/۱۶	+۳/۲۱	+۲/۳۴	۲۰/۴۴	۲۰/۴۹	۱۹/۶۲	۱۷/۲۸	نوامبر
+۰/۳۹	+۰/۳۷	-۰/۳۷	۱۳/۹۰	۱۳/۸۸	۱۳/۱۳	۱۳/۵۰	دسامبر

جدول (۸): تغییرات ماهانه میزان بارندگی برای دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ تحت سناریوهای مختلف مدل ECHO-G برای ایستگاه خوی

ماه های سال	میانگین بارندگی (mm)						
	تغییرات بارندگی			دوره آبی براساس مدل ECHO-G			
	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	
ژانویه	+۱۰/۶۵	+۱۰/۵۹	+۹/۷۸	۱۷/۵۵	۱۷/۴۹	۱۶/۶۸	۶/۹
فوریه	+۰/۴۶	+۱/۳۱	+۰/۴۱	۱۵/۳۹	۱۶/۲۳	۱۵/۳۳	۱۴/۹۲
مارس	+۳/۹۰	+۵/۱۸	+۴/۱۶	۲۳/۷۵	۲۵/۰۴	۲۴/۰۲	۱۹/۸۵
آوریل	-۰/۶۶	-۱/۰۳	-۲/۹۴	۳۴/۱۸	۳۳/۸۱	۳۱/۸۹	۳۴/۸۴
می	-۹/۸۲	-۹/۷۱	-۱۲/۶۵	۲۶/۹۴	۲۷/۰۵	۲۴/۱۱	۳۶/۷۶
ژوئن	-۲/۶۵	-۱/۹۸	-۴/۱	۱۷/۳۷	۱۸/۰۵	۱۵/۹۳	۲۰/۰۳
ژوئیه	-۰/۳۵	-۰/۰۳	-۰/۸۶	۹/۱۲	۹/۴۳	۸/۶۱	۹/۴۷
اوت	-۰/۵۳	+۰/۲۳۶	-۰/۲۱	۴/۱۱	۴/۸۸	۴/۴۳	۴/۶۴
سپتامبر	-۵/۳۴	-۳/۱۷	-۴/۴۱	۶/۲۹	۸/۴۵	۷/۲۲	۱۱/۶۳
اکتبر	-۰/۱۷	+۲/۰۵	+۰/۰۵	۱۳/۱۵	۱۵/۳۹	۱۳/۳۹	۱۳/۳۳
نوامبر	+۲/۱۰	+۲/۸۹	+۱/۸۰	۱۹/۳۸	۲۰/۱۷	۱۹/۰۹	۱۷/۲۸
دسامبر	+۰/۱۱	+۰/۰۷	-۰/۱۱	۱۳/۶۲	۱۳/۵۸	۱۳/۳۹	۱۳/۵۰

جداول (۹) و (۱۰) نوع اقلیم در ایستگاه‌های ارومیه و خوی با استفاده از روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن و سلیمانینف، برای دوره پایه و دوره آینده را نشان می‌دهند.

جدول (۹): تعیین نوع اقلیم در ایستگاه ارومیه با استفاده از روش دومارتن و سلیمانینف برای دوره پایه و دوره آینده

دوره پایه	مدل HADGEM1		مدل HADCM3		مدل سناریوی اقلیمی	
	A1B	A2	A1B	A2		
۱۱/۴۴	۱۲/۱۵۴	۱۲/۳۶۱	۱۲/۱۳۴	۱۲/۲۶۶	۱۲/۲۷۶	میانگین دمای سالانه
۲۸۷/۲۹	۳۲۳/۶۸	۳۰۲/۲۹	۳۱۲/۹۱	۳۰۶/۷۵۳	۳۱۵/۳۶	بارندگی سالانه (mm)
۱۳/۴	۱۴/۶۱	۱۳/۵۲	۱۴/۱۳۷	۱۳/۷۸	۱۴/۱۵۷	مقدار I در فرمول دومارتن
۰/۶۸۸	۰/۷۳	۰/۶۷	۰/۷۰۶	۰/۶۹	۰/۷۰۴	مقدار I در فرمول سلیمانینف
نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	نیمه خشک	نوع اقلیم در روش دومارتن
استپ خشک	استپ معمولی	استپ خشک	استپ معمولی	استپ خشک	استپ معمولی	نوع اقلیم در روش سلیمانینف

جدول (۱۰): تعیین نوع اقلیم در ایستگاه خوی با استفاده از روش دومارتن و سلیمانینف برای دوره پایه و دوره آینده

دوره پایه	مدل ECHO-G			مدل HADCM3			مدل سناریوی اقلیمی
	B1	A2	A1B	B1	A2	A1B	
۱۲/۲۵	۱۳/۱۱۳	۱۳	۱۳/۰۵۹	۱۳/۱۱۶	۱۳/۴۹	۱۳/۰۱	میانگین دمای سالانه
۲۰۳/۱۵	۲۰۰/۸۵	۱۹۲/۰۸	۱۷۷/۴۱	۲۱۰/۱۹	۲۰۶/۷۷	۲۰۸/۰۴	بارندگی سالانه (mm)
۹/۱۳۰	۸/۶۹۰	۸/۳۵۱	۷/۶۹۳	۹/۰۹۳	۸/۸۰۲	۹/۰۴۱	مقدار I در فرمول دومارتن
۰/۴۵۴	۰/۴۲۰	۰/۴۰۵	۰/۳۷۲	۰/۴۳۹	۰/۴۲۰	۰/۴۳۸	مقدار I در فرمول سلیمانینف
خشک	خشک	خشک	خشک	خشک	خشک	خشک	نوع اقلیم در روش دومارتن
بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی	بیابانی	نوع اقلیم در روش سلیمانینف

با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه، در ایستگاه ارومیه تحت مدل HADCM3 در هر سه سناریوی A2، B1 و A1B، بیشترین میزان افزایش بارندگی به ترتیب در ماه‌های مارس و آوریل خواهد بود ولی بیشترین کاهش بارندگی برای دو سناریوی B1 و A2 در ماه‌های سپتامبر و اکتبر و در سناریوی A1B در ماه‌های نوامبر و فوریه رخ داده است که نشان‌دهنده افزایش بارندگی در فصل زمستان و بهار و کاهش بارندگی در تابستان و پاییز خواهد بود. برای همین ایستگاه در هر دو سناریوی مدل HADGEM1 بیشترین میزان افزایش بارندگی مربوط به ماه‌های مارس و آوریل و کاهش بارندگی در ماه می خواهد بود که نشان‌دهنده افزایش بارندگی در فصل زمستان و کاهش آن در تابستان می‌باشد. در مجموع برای ایستگاه ارومیه و تحت دو مدل HADGEM1 و HADCM3 میزان بارندگی‌های سالانه دوره آتی نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. برای ایستگاه خوی، در هر دو مدل HADCM3 و ECHO-G و تحت هر سه سناریوی B1، A2 و A1B، بیشترین میزان افزایش بارندگی برای دوره آینده به ترتیب مربوط به ماه‌های ژانویه، مارس و نوامبر می‌باشد و بیشترین کاهش بارندگی مربوط به ماه‌های می، سپتامبر و ژوئن خواهد بود که نشانگر افزایش بارندگی در فصل زمستان و پاییز و کاهش آن در فصل تابستان و بهار که فصول رویش گیاهی در منطقه هستند.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که طبق طبقه‌بندی اقلیمی دوماستن، در ایستگاه ارومیه نوع اقلیم از نوع نیمه‌خشک و در ایستگاه خوی نوع اقلیم از نوع خشک است. تحت تأثیر تغییر اقلیم در دوره‌های آتی اگر چه نوع اقلیم منطقه عوض نمی‌شود ولی آنچه که مسلم است این است که مقدار شاخص I در روش دوماستن تغییراتی دارد. ضریب خشکی دوماستن در تمام سناریوهای دو مدل منتخب مورد مطالعه در ایستگاه ارومیه روند افزایشی خواهد داشت ولی در ایستگاه خوی این مقدار برای تمام سناریوهای دو مدل منتخب، روند کاهشی خواهد داشت؛ یعنی ایستگاه ارومیه که نوع اقلیم آن طبق طبقه‌بندی اقلیمی دوماستن از نوع نیمه‌خشک است به سمت آب و هوای مدیترانه‌ای سوق خواهد یافت. در ایستگاه خوی نوع اقلیم منطقه از نوع خشک می‌باشد که تحت تأثیر تغییر اقلیم، دما افزایش و بارندگی کاهش خواهد یافت. در نتیجه نوع اقلیم در ایستگاه خوی خشک‌تر خواهد گردید. مقدار ضریب سلینینف نیز در دو ایستگاه ارومیه و خوی دارای تغییراتی است. در ایستگاه ارومیه تحت تأثیر تغییر اقلیم این ضریب در تمام سناریوهای دو مدل منتخب مورد مطالعه، به جز سناریوی A2 مدل HADGEM1 افزایش خواهد یافت. طوری که نوع اقلیم منطقه طبق طبقه‌بندی سلینینف از استپ خشک به سمت استپ مرطوب سوق خواهد یافت. در ایستگاه خوی به ازای تمام سناریوهای دو مدل منتخب مورد مطالعه، این ضریب روند نزولی خواهد داشت. طوری که اقلیم منطقه از نوع بیابانی بوده و در دوره‌های آتی به دلیل افزایش دما و کاهش بارندگی، نوع اقلیم منطقه خشک‌تر و بیابانی‌تر خواهد گردید. با توجه به نتایج حاصل از این مطالعه تغییرات زمانی در الگوی بارش در دوره‌های آتی مشاهده می‌گردد. طوری که با افزایش درجه حرارت افزایش بارندگی در ایستگاه ارومیه مشاهده شده ولی در ایستگاه خوی بارندگی کاهش خواهد یافت. این تغییرات می‌تواند بر کل سیستم آب و هوایی و اکوسیستم منطقه تأثیر بگذارد. نظر بر این که تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی بر سیستم آب و هوایی تأثیر خواهد گذاشت، لذا جهت مدیریت صحیح مقابله با چالش تغییر اقلیم، نیاز است تا برنامه‌ریزی‌های اصولی و لازم در این زمینه انجام گیرد.

منابع

۱. اشرف، ب.، م. موسوی بایگی، غ. کمالی و ک. داوری (۱۳۹۰). بررسی روند تغییر پارامترهای اقلیمی مشهد در دوره ۲۰۱۱ تا ۲۰۳۰ با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی توسط مدل LARS-WG. مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی هواشناسی و مدیریت آب کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی تهران.
۲. بابائیان، ا. (۱۳۹۲). <http://climate.mihanblog.com/post/16>.

۳. بابائیان، ا.، و ز. نجفی نیک (۱۳۸۴). مطالعه مقدماتی و ارزشیابی الگوهای Weather Generator. مطالعه موردی: ارزیابی الگوی LARS-WG بر روی ایستگاه‌های منتخب خراسان، پژوهشکده اقلیم‌شناسی، گزارش پروژه.
۴. شاکرمی، ن. و ع. مساح بوانی (۱۳۸۵). تحلیل عدم قطعیت الگوهای جفت شده افیانوس- اتمسفر گردش عمومی جو بر سناریوهای تغییر اقلیم دما و بارندگی در حوضه زاینده رود کارگاه فنی اثرات تغییر اقلیم در مدیریت منابع آب.
۵. علیزاده، ا. (۱۳۸۹). اصول هیدرولوژی کاربردی. انتشارات دانشگاه امام رضا. چاپ بیست و نهم.
۶. قربانی، خ. و ز. آقاشریعتمداری (۱۳۹۱). تاثیر گرادیان‌های موضعی در افزایش دقت داده‌های اقلیمی به روش رگرسیون وزن دار جغرافیایی. پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، سال پنجم، شماره ۱۰، پاییز و زمستان.
۷. قربانی، خ.، م. بذرافشان دریاسری، م. مفاح هلقی و ن. قهرمان (۱۳۹۵). تأثیرات تغییر اقلیم بر پهنه بندی اقلیمی استان گلستان با روش دومارتن گسترش یافته، تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۷، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۵، ص ۳۱۹-۳۳۲.
۸. مهدی‌زاده، ص.، م. مفتاح هلقی، ا. مساعدی و س. سیدقاسمی (۱۳۹۰). بررسی تاثیر تغییر اقلیم بر میزان بارش در حوضه سد گلستان. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد هجدهم. شماره سوم.
۹. نیک بخت شهبازی، ع. (۱۳۹۶). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات بارندگی و دما در حوضه آبریز سد کارون ۳. مجله محیط زیست و مهندسی آب. دوره ۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۶، صفحه ۱۳۳-۱۴۳.

10. Bahri M., Dastorany M. and Goudarzi M. (2013). *Assessment of the effects of climate change on precipitation and temperature 2011-2030 period using LARS-WG (case study: Watershed Eskandari, Isfahan)*. The 9th National Congress of Watershed Management Science and Engineering, Nov. 8-9, University of Yazd.
11. Henderson K.G. (2000). "Autumn precipitation trends in the northeast united states" Middle States Geographer, 33:74-81.
12. Hidalgo J.C.G., Lopez-Bustins J.A., Step'aneck P., Martin-Videb J. and De Luisa M. (2009). *Monthly precipitation trends on the Mediterranean fringe of the Iberian Peninsula during the second-half of the twentieth century (1951-2000)* Int. J. Climatol. 29: 1415-1429.
13. Kamga F.M. (2001). *Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon)*. J. Hydrol. 252: 145-156.
14. Miller N.I. (2004). *Potential impacts of climate change on California hydrology*. J. of the American Water Resources Association (JAWRA) 39 (4):771-784. Emilia-Romagna, Italy "Theor. Appl. Climatol. 67, 193±200.
15. Mosmann A., Castro R., Fraile J., Dessens J. and Sanchez L. (2004). *Detection of statistically significant trends in the summer precipitation of mainland Spain*. Atmospheric Research 70,4353.
16. Semenov M.A., Brooks R.J., Barrow E.M. and Richardson C.W. (1998). *Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators in divers climates*. Climate Research 10.
17. Tomozeiu I.R., Busuioc A. Marletto1 V., Zinoni1 F. and Cacciamani C. (2000). *Detection of changes in the summer precipitation time series of the region*. Theoretical and Applied Climatology December, Volume 67, pp 193-200.
18. Yates D.N. and Strzepek K.M. (1998). *Modeling the Nile basin under climate change*. J. Hydrol. Eng. 3 (2): 98-108.

Evaluation of the effects of climate change on climate classifications in parts of northwest of Iran

Mohammad Mohammadlou^{1*} Naser Tahmasbipour²

1- PhD Student, Watershed Sciences and Engineering, Gorgan University of Agriculture and Natural Resources

2- Associate Professor, Department of Rangeland Engineering and Watershed Management, University of Lorestan

Received: 2017/12

Accepted: 2018/04

Abstract

Climate change is one of the most important challenges which have affected various aspects of human life. In this study, first the type of climate was studied at the base period (1979-2009) at two stations of Urmia and Khoy. Climate was also identified according to the classifications of De Martonne and Selyaninov. After assessing the capability of the LARS-WG downscaling model during the base period, two models which were most similar to the base period of the studied regions were selected from general atmospheric circulation models for future studies. Assessing the effects of climate change on rainfall and temperature patterns at the two stations in the period from 2011 to 2040, De Martonne climate classification in the past period for the Urmia station and all scenarios of the two models of HADCM3 and HADGEM1 indicate a semi-arid climate. The results show that under the influence of changes at the Urmia station, the De Martonne drought factor will have an increasing trend and the region will shift from a semi-arid climate in the base period, towards a Mediterranean climate in the future period. According to the Selyaninov climate classification, this coefficient will increase in all scenarios of the two selected models, except for the A2 scenario of the HADGEM1 model. Regional climate will move from dry steppe to wet steppe. At Khoy Station in the base period and all scenarios of the two selected models of HADCM3 and ECHO-G, according to the climatic classification of De Martonne, the climate was dry and influenced by climate change. The De Martonne climate factor will decrease and the region becomes drier. According to the Selyaninov climate classification for all scenarios, the Selyaninov coefficient shows a downward trend. Thus, the climate of the region is desert type and due to increasing temperature and decreasing rainfall, the climate of the region will become drier and more arid in future periods.

keywords: Urmia & Khoy, General atmospheric circulation models, HADCM3, HADGEM1, LARS-WG