

جغرافیا و توسعه شماره ۴۲ بهار ۱۳۹۵

وصول مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۱۱

تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۱۰/۰۵

صفحات: ۱۸۳-۱۹۸

## ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر میزان رواناب رودخانه نازلوچای در حوضه آبریز دریاچه ارومیه

غلامحسین لکزانیان پور<sup>۱</sup>، دکتر ام‌البینی محمدرضا پور<sup>۲</sup>، مهسا مال‌میر<sup>۳</sup>

### چکیده

معتبرترین روش برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی، تحت تأثیر تغییر اقلیم، استفاده از داده‌های مدل گردش عمومی جو و GCMs بوده که بزرگ مقیاس می‌باشند و لازم است تا ریزگردانی گردند. در این پژوهش، از داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه واقع در شمال غرب ایران، طی دوره آماری ۱۹۷۱ الی ۲۰۰۰ جهت ورودی به نرم‌افزار اقلیمی ریز مقیاس نمایی SDSM استفاده گردیده است. با در نظر گرفتن دو سناریو A2 و B2 برای دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۹۹، در آینده دما به میزان ۰/۴۵ و ۰/۳۵ درجه سانتیگراد و بارندگی نیز تحت این دو سناریو به ترتیب ۱۰ و ۹ درصد افزایش می‌یابد. در پایان این تحقیق با استفاده از داده‌های دما و بارش پیش‌بینی شده از مدل اقلیمی و رواناب رودخانه نازلوچای در دوره پایه و همچنین با استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی پویا، میزان آورد دبی رودخانه نازلوچای تحت دو سناریوی A2 و B2 برای دوره آتی و همچنین وضعیت سیلاب‌ها در سطح حوضه برآورد گردیده است. برآوردها حاکی از افزایش رواناب رودخانه در دوره آتی تحت سناریوهای انتشار مذکور به میزان ۴۸ و ۴۹ درصد بوده است. کلیدواژه‌ها: دما، بارش، شبکه‌ی عصبی مصنوعی، ارومیه، SDSM.

## مقدمه

تغییر اقلیم یعنی هر تغییر مشخص در الگوهای مورد انتظار برای وضعیت میانگین آب و هوایی، که در طولانی مدت در یک منطقه خاص یا برای کل اقلیم جهانی، رخ بدهد و در نتیجه فاکتورهایی همچون فرایندهای دینامیکی زمین و یا عوامل بیرونی همچون تغییرات در شدت تابش آفتاب و یا فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد. عوامل خارجی تأثیرگذار بر اقلیم را اغلب نیروهای اقلیمی می‌نامند و شامل فرایندهایی همچون نوسانات در شدت نورخورشید، انحراف در مسیر حرکت زمین و افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌شود (مالمیر، ۱۳۹۳: ۴۸).

در هواشناسی معمولاً شرایط حال حاضر آب و هوا مورد بررسی قرار می‌گیرد در حالی که در اقلیم‌شناسی مشخصه‌های درازمدت آب و هوا مورد توجه است (قندهاری، ۱۳۹۱: ۲۴). تمام مدل‌های AOGCMs<sup>۱</sup> افزایش دما در سطح زمین و افزایش شدت بارش و مقدار آن بر اثر افزایش گازهای گلخانه‌ای را در قرن حاضر پیش‌بینی می‌کنند (Hamlet et al, 2007: 6). افزایش دما به میزان ۰/۳ تا ۰/۶ سانتیگراد در طول قرن گذشته بوده که در دهه‌های اخیر شتاب بیشتری یافته است (سلطانی، ۱۳۸۱: ۵۶). طبق گزارش IPCC (۲۰۰۱) تغییر اقلیم باعث ایجاد تغییرات در رژیم هیدرولوژی در چند دهه‌ی اخیر در سطح جهان شده است. بطوری‌که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر و در عرض‌های پایینی کمتر شده و احتمال مواجهه با رخداد‌های حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی افزایش یافته است (Lane et al, 1999: 198). به دلیل اهمیت تغییر اقلیم و آثاری که می‌تواند روی منابع آب داشته

باشد، در سال‌های اخیر این مهم برای حوضه‌های آبریز مختلف در سطح کره زمین مد نظر قرار گرفته است. آشفته و همکاران (۱۳۸۹) با بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر حوضه آیدوغموش در آذربایجان شرقی با استفاده از مدل HadCm3 تحت سناریوی A2 و روش ریزگردان کردن مکانی تناسبی و روش ریزگردان کردن زمانی عامل‌تغییر و مدل IHACRES برای شبیه‌سازی رواناب روزانه حوضه، نتیجه‌گیری نمودند که افزایش ۱/۵ تا ۴ درجه‌ای دما و تغییرات ۳۰ و ۴۰ درصد بارندگی دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۶۹ نسبت به دوره‌ی مشاهداتی ۱۹۷۱-۲۰۰۰ قابل انتظار است و همچنین احتمال وقوع دبی‌های حداکثر با مقدار معین در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه کمتر خواهد بود.

دهقانی‌پور و همکاران (۱۳۹۰) توانمندی مدل ریزمقیاس‌نمایی SDSM را برای سه پارامتر هواشناسی بارش، دما و تبخیر در ایستگاه سینوپتیک تبریز مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادند که مدل SDSM توانایی مناسبی را در ریزگردان نمودن داده‌های دما، بارش و تبخیر دارد. مدل SDSM، برای ریزمقیاس‌نمایی<sup>۲</sup> مدل بزرگ مقیاس گردش عمومی جو، با توجه به پژوهش صمدی و همکاران (۱۳۹۰) در استان خراسان، دارای میانگین خطای ۰/۵ در بارش بوده و عملکرد آن در دما بسیار خوب ارزیابی شده است.

ثانی‌خانی و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی آثار تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌ی آبریز آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی با استفاده از مدل گردش عمومی جو (GCM) و مدل ریزگردان‌نمایی LARS-WG، با به‌کارگیری مدل HadCm3 و سناریوهای A1B، A2 و B1 در افق ۲۰۵۵، تغییرات بارش و دما را شبیه‌سازی نمودند. نتایج به‌دست آمده حاکی از افزایش دما و کاهش بارش بوده است.

ویلیبی (۲۰۰۷) در کانادا مدل SDSM را کارا و نتایج آن را خوب قلمداد نمود. تیم‌بال (۲۰۰۹) در استرالیا با بررسی شش پارامتر هواشناسی من جمله بارش و دما و بررسی آنها، کارایی مدل SDSM در مدل جهانی گردش عمومی جو و بررسی تغییرات اقلیم را مطلوب برآورد کردند. چن و همکاران (۲۰۱۲) با ارزیابی و شبیه‌سازی رواناب رودخانه‌ی هانجیانگ<sup>۵</sup> در چین با استفاده از GCM (مدل گردش عمومی جو) و روش‌های ریزگردان نمایی SDSM و SSVM نشان دادند مدل SDSM کارایی بهتری در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولوژیکی نسبت به مدل SSVM دارد. آرتلرت<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی پدیده‌ی بارش در اثر تغییر اقلیم در رودخانه‌ی مان<sup>۳</sup>، چی<sup>۴</sup> و مکونگ<sup>۵</sup> در تایلند با استفاده از شبیه‌سازی مدل‌های گردش عمومی جو (GCMs) و مدل ریز گردان نمایی آماری (SDSM) پرداختند و نشان دادند که مدل ریزگردان نمایی SDSM به خوبی می‌تواند بارندگی مشاهداتی با ساختارهای فیزیکی و آماری را در دوره‌ی ۱۹۷۵-۱۹۶۱ کالیبره کرده و در دوره‌ی ۱۹۹۰-۱۹۷۶ اعتبارسنجی کند. کوترولیس و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آب در جزیره کرت در یونان تحت ۲۴ سناریوی اقلیمی مختلف پرداختند. به صورت کلی، در مدل گردش عمومی منطقه‌ای تحت سناریو A1B میزان کاهش بارش بیشتر از بارش پیش‌بینی شده در مدل گردش عمومی جهانی جو تحت سناریو A2 و B1 به دست آمد. ریبالایگوا و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی سناریوهای تغییر اقلیم بر دما و بارش در آراگون<sup>۷</sup> اسپانیا پرداختند. نتایج برای دما بسیار عالی و برای بارش قابل قبول بود.

فرج‌زاده (۱۳۹۲) در مطالعه‌ی آثار تغییر اقلیم بر میزان آبدهی رودخانه‌ی شش‌پیر (جز شرقی‌ترین بخش رودخانه‌ی زهره- جراحی در شهر اردکان استان فارس که در نهایت به خلیج فارس می‌ریزد) را در سال‌های ۲۰۴۰، ۲۰۷۰ و ۲۱۰۰ مورد بررسی قرار داد و نتایج این مطالعه کاهش شدید آورد رودخانه در دوره‌های آتی را به ترتیب ۳۹، ۴۳ و ۳۲ درصد نشان داد. نبی‌زاده بلخکانلو و همکاران (۱۳۹۳) به ارزیابی آثار تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک ارومیه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند.

نتایج حاکی از افزایش ۴/۰۳ درصدی بارندگی روزانه و افزایش ۰/۴۶ تا ۱/۵۳ درجه‌ی سانتیگراد دما در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه بوده است. مطالعاتی که ذکر شد نشان از حساس بودن فرآیندهای هیدرولوژیکی و متفاوت بودن نتایج تغییر اقلیم در نقاط مختلف زمین می‌باشد. در مطالعه‌ی کامگا (۲۰۰۱) گزارش داد که افزایش دما به میزان ۱ و ۳ درجه و تغییر در مقدار بارش به میزان ۴ و ۱۳ درصد منجر به تغییراتی در جریان سالانه رودخانه به ترتیب به میزان ۳- و ۱۸ درصد در منطقه‌ی ساحلی کامرون خواهد بود. پروکسی و نیرینگ (۲۰۰۲) با استفاده از خروجی‌های بارندگی ماهانه مدل HadCM3<sup>۱</sup> بارندگی را در هشت منطقه در ایالت متحده بررسی کردند. آن‌ها گزارش کردند تغییرات در بارندگی سالانه از ۹/۶- درصد تا ۱۰/۶ درصد متغیر می‌باشد. عباس‌پور (۲۰۰۷) در مطالعه‌ی بر داده‌های اقلیمی آینده، افزایش شدت بارندگی روزانه و فراوانی سیلاب در دوره‌ی زمانی ۲۰۴۰-۲۰۱۰ در مناطق مرطوب ایران و خشکسالی‌های طولانی‌تر در مناطق خشک را نتیجه‌گیری کرد.

2-Artlert  
3-Mun  
4-Chi  
5-Mekong  
6-Global Circulation Models  
7-Aragón (Spain)

1-Hadley Center Coupled Model, version 3

عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها، حائز اهمیت است. انجام مطالعات برای پیش‌آگاهی از تأثیر تغییر اقلیم بر شرایط پارامترهای هیدرولوژیکی از جمله بارش و دما دارای اهمیت خاصی بوده و نقش مهمی در دیگر فرآیندهای هیدرولوژیکی از جمله وقوع سیلاب، میزان رواناب، وقوع یا عدم وقوع خشکسالی در دوره‌های آتی دارد. از این رو هدف از این مطالعه بررسی آثار تغییر اقلیم بر متغیرهای هواشناسی بارش و دما در دوره‌ی زمانی ۲۰۹۹-۲۰۰۰ و جریان رودخانه‌ی نازلوچای ارومیه می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه‌ی مورد مطالعه

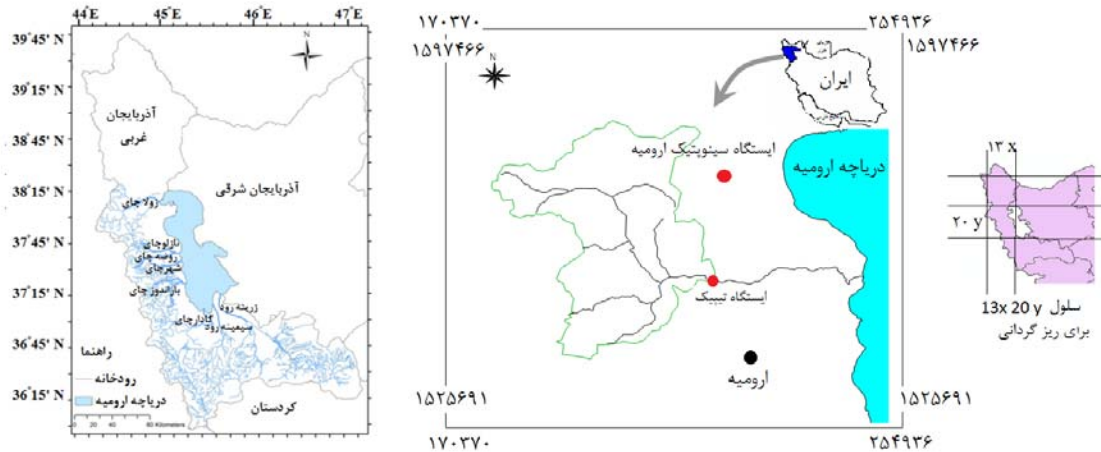
این حوضه در استان آذربایجان غربی و در غرب دریاچه ارومیه، در شمال غربی شهرستان ارومیه و ۳۰ کیلومتری آن واقع شده است. حوضه‌ی نازلوچای یکی از زیرحوضه‌های دریاچه‌ی ارومیه به شمار می‌آید و با کشور ترکیه دارای مرز مشترک بوده و مساحت آن بالغ بر ۲۰۳۰ کیلومترمربع می‌باشد. محدوده‌ی مطالعاتی در بین طول جغرافیایی ۲۴° و ۴۴° تا ۵۳° و ۴۵° و عرض جغرافیایی ۳۰° و ۳۷° و در ارتفاع ۱۲۹۰ متری واقع شده است. ارتفاع متوسط اراضی ۱۴۲۰ متر از سطح دریای آزاد می‌باشد. بارندگی متوسط سالانه حوضه‌ی نازلوچای در حدود ۳۰۰ میلیمتر برآورد شده است. شکل ۱ موقعیت حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی نازلوچای را در شمال غرب ایران نشان می‌دهد.

آرتلرت (۲۰۱۴) و همکارانش به بررسی پدیده‌ی بارش در اثر تغییر اقلیم در رودخانه‌ی مان<sup>۱</sup>، چی<sup>۲</sup> و مکونگ<sup>۳</sup> در تایلند با استفاده از شبیه‌سازی مدل‌های گردش عمومی جو و مدل ریزگردان نمایی آماری (SDSM) پرداختند و نشان دادند که مدل ریزگردان-نمایی SDSM به خوبی می‌تواند بارندگی مشاهداتی با ساختارهای فیزیکی و آماری، در دوره‌ی ۱۹۶۱-۱۹۷۵ کالیبره کرده و در دوره‌ی ۱۹۷۶-۱۹۹۰ اعتبارسنجی کند. استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژی در مطالعات تغییر اقلیم، تنوع زیادی دارد (Jialan, 2013: 17).

پیش‌بینی جریان رودخانه‌ها با توجه به اهمیت آن در طراحی سازه‌های آبی، آبرگیری از رودخانه‌ها، بهره‌برداری از مخازن سدها و غیره، از دیرباز مورد توجه مهندسان قرار داشته است (نبی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳: ۷).

امروزه استفاده از روش‌های هوشمند و از جمله هوش مصنوعی در مباحث مدل‌سازی و پیش‌بینی در مهندسی منابع آب گسترش یافته است. پناهی و علیجانی (۱۳۹۳) به پیش‌بینی دبی اوج سیلابی با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی و رگرسیون چند متغیره در مطالعه‌ی حوضه‌ی آبریز مادرسو پرداختند. نتایج نشان داد استفاده از شبکه‌ی عصبی مصنوعی در مقایسه با روش رگرسیون چند متغیره بسیار بهتر عمل نموده است.

عراقی‌نژاد و کارآموز (۲۰۰۵) جریان ماهانه را با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی پیش‌بینی نمودند. نتایج این پژوهش نشان داد که علاوه بر دقت قابل قبول در پیش‌بینی نقطه‌ای و بلند مدت جریان، امکان پیش‌بینی به صورت مجموعه‌ای از جریان‌های ممکن را نیز فراهم آورده که در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب با در نظر گرفتن



شکل ۱: موقعیت حوضه آبریز نازلوچای در شمال غرب ایران

تهیه و ترسیم: برهانی و فاتحی، ۱۳۸۷

مقیاس جهانی و یا قاره‌ای در مقیاس بزرگ، بر اساس سناریوهای اقلیمی، شبیه‌سازی کنند (عباسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۰۸).

مدل‌های گردش عمومی (GCMs) نشان می‌دهند که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای، تأثیر قابل توجهی برای اقلیم در مقیاس جهانی و منطقه‌ای خواهد داشت. متأسفانه فواید GCMs برای مطالعات آثار محلی، به واسطه‌ی تفکیک مکانی درشت آنها (تقریباً حدود  $5000 \text{ km}^2$ ) و ناتوانی در حل و فصل مشخصه‌هایی در مقیاس کمتر از شبکه، مانند ابرها و توپوگرافی، محدود شده است (Wilby & Dawson, 2007: 17). در این مدل‌ها اتمسفر در سه جهت مکانی شبکه‌بندی شده و محاسبات در فواصل زمانی مختلف در گره‌ها انجام می‌شوند. استفاده از این روش در مقیاس ماهانه و بالاتر به دلیل محدودیت‌های زمانی و محاسباتی با مشکلاتی مواجه است، بطوری که در این مقیاس زمانی محدودیت‌های جدی برای تفکیک مکانی مدل‌ها وجود دارد. باتوجه به قدرت تفکیک این مدل‌ها که حدود ۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع است، خروجی این مدل‌ها از نظر مقیاس مکانی و زمانی برای مطالعات محلی و

در پژوهش حاضر، از داده‌های اخذ شده از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی استفاده شده است. داده‌های بارش و دمای روزانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه جهت ساخت مدل اقلیمی و رواناب نیز از ایستگاه هیدرومتری تپیک واقع در حوضه نازلوچای مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند.

### ریزگردان نمایی بر اساس سناریو اقلیمی

مدل‌های اقلیمی را بر اساس ساختار و نوع عملکرد به چهار نوع مدل‌های توازن انرژی ( $EBM^1$ )، مدل‌های تابشی همرفتی ( $RCM^2$ )، مدل‌های دو بُعدی دینامیکی-آماری ( $SDM^3$ )، مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) دسته بندی می‌شوند. مدل‌های مذکور آثار افزایش گازهای گلخانه‌ای را به طور مکانیکی برای تمام کره‌ی زمین ارزیابی می‌کنند که مدل‌های GCM در بین آنها، سه بُعدی و دارای زمان بوده و به علت گستردگی ابعاد زمانی و مکانی و پیچیدگی خاصی که دارند، قادرند سیستم اقلیمی را با لحاظ نمودن اکثر فرآیندها در

1-Energy Balance Model  
2-Regional Climate Model  
3-System Definition Model

اقتصادی و تجمع گازهای گلخانه‌ای و ذرات معلق بیان می‌کند. IPCC از بین سناریوهای زیر بر استفاده از سناریوهای A2 و B2 تأکید بیشتری دارد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده قبلی و تأیید دقت بالای مدل SDSM، در این مطالعه ابتدا با استفاده از مدل SDSM داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو (HadCM<sup>3</sup>) در دو سناریوی اقلیمی A2 و B2، برای پارامترهای هواشناسی دما و بارندگی در حوضه نازلو چای ریزگردان نمایی شده است.

کاربردی نظیر هیدرولوژیکی مناسب نمی‌باشند. بنابراین برای افزایش دقت این مدل‌ها مقیاس مکانی و زمانی خروجی‌ها کاهش می‌یابند که ریزگردان نمایی نام دارد. در واقع خروجی‌های GCM با روش‌های ریزگردان نمایی لذا اساس سناریوهای اقلیمی طوری تغییر می‌یابند که بتوانند تغییرات اقلیمی ناشی از گرم شدن هوا را در نقاط و نواحی داخل شبکه GCM پیش‌بینی و بررسی کنند (قندهاری، ۱۳۹۱: ۲۶). سناریوی اقلیمی توسط IPCC<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) تعریف شده و چگونگی تغییرات متغیرهای اقلیمی در مقیاس‌های منطقه‌ای در آینده، بر اساس پیشرفت‌های اجتماعی-

جدول ۱: نوین‌ترین سناریوهای اقلیمی مجموعه SRES (IPCC-TGCI, 1999)

نام سناریو	توضیح
A1	رشد اقتصادی بسیار سریع جهان آینده و توسعه‌ی چشمگیر تکنولوژی و همچنین استفاده افراطی از سوخت‌های فسیلی
A2	رشد متوسط اقتصاد، تکنولوژی و نرخ رشد سریع جمعیت و دنیایی متمایز با وضعیت فعلی
B1	رشد سریع در ساختار اقتصادی ملت‌ها، رشد تکنولوژی‌های تمیز و نرخ رشد کند جمعیت
B2	تأکید بر فعالیت‌های اجتماعی- اقتصادی و زیست‌محیطی پایدار، رشد متوسط اقتصادی

مأخذ: قندهاری، ۱۳۹۱

### شبکه‌های عصبی دینامیکی (پویا)

شبکه‌ی عصبی مصنوعی ابزاری قدرتمند برای مدل کردن بسیاری از فرآیندهای هیدرولوژیکی غیر خطی همانند بارش- رواناب، پیش‌بینی جریان رودخانه و بارش است. رابطه‌ی بارش- رواناب، رابطه‌ی غیرخطی و بسیار پیچیده است. خصوصیت جذاب شبکه‌ی عصبی مصنوعی، در توانایی آن در استخراج رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌های یک پروسه است، بدون اینکه فیزیک مسأله بطور روشن مشخص باشد. در این راستا، از داده‌های بارش و دما (به دلیل مؤثر بودن این پارامترها بر میزان رواناب)، برای شبیه‌سازی رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی دینامیکی (پویا) در

نرم‌افزار متلب استفاده شده است. برای آموزش شبکه از سی سال داده دما، بارش و رواناب به صورت روزانه استفاده شد، که بهترین ورودی‌ها با استفاده از نتایج آزمون‌های آماری و برقراری رگرسیون تعیین شد. پس از آموزش شبکه و ساخت مدل بارش-رواناب از خروجی‌های نرم‌افزار ریزمقیاس‌کننده SDSM، یعنی بارش و دما برای دوره‌ی آینده (۲۰۱۱-۲۰۴۰) تحت سناریوهای اقلیمی مدل HadCM3 (A2 و B2) به عنوان ورودی به مدل معرفی شده (منظور از داده‌های ورودی، داده‌های خروجی از مدل ریزگردانی است که در واقع برای آینده است و ورودی مدل شبکه‌ی عصبی است) و رواناب آینده در محل ایستگاه تیپیک با

لایه‌ی بعدی (TDNN<sup>۴</sup>) ایجاد کرد. روش دوم ایجاد اتصالات برگشتی از خروجی لایه‌ی میانی و اعمال آن با تأخیر در ورودی‌ها (NARX<sup>۵</sup>) می‌باشد (خروجی می‌تواند خروجی واقعی یا تخمین زده شده توسط مدل باشد). در تحقیق حاضر پس از بررسی انواع مدل‌های شبکه عصبی، شبکه عصبی NARX با اتصال برگشتی از خروجی تخمینی به عنوان بهترین نوع شبکه جهت ساخت مدل بارش-رواناب انتخاب شد (مالمیر، ۱۳۹۳: ۷۱).

**معیارهای ارزیابی نتایج مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی**  
در این پژوهش از شاخص R و RMSE برای ارزیابی خطای مدل استفاده شده است. در معادله ۲، R رفتار کلی مدل را بیان می‌کند و معادله ۳ جذر میانگین مربعات خطا است. که در این رابطه، مقدار مشاهداتی،  $\bar{p}_f$  توسط مقدار مشاهداتی،  $p_{f,i}$  مقدار پیش‌بینی شده و  $\bar{p}_p$  متوسط مقدار پیش‌بینی شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

$$R = \frac{\sum (p_i - \bar{p})(p_{f,i} - \bar{p}_p)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2 + \sum_{i=1}^n (p_{f,i} - \bar{p}_p)^2}} \quad \text{معادله ۲:}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (p_i - p_{f,i})^2}{n}} \quad \text{معادله ۳:}$$

**بحث**

برای ریزگردان نمایی بارش و دما در منطقه‌ی مورد مطالعه از خروجی‌های مدل HadCM3 به صورت روزانه (متغیرهای خروجی مدل HadCM3 و متغیرهای ثانویه که از فشار هوا در سطوح مختلف محاسبه شده‌اند) و سناریوهای A2 و B2 استفاده شده است. با توجه به پژوهش‌های انجام شده‌ی قبلی و تأیید دقت بالای مدل SDSM، در این مطالعه ابتدا با استفاده از

استفاده از مدل شبیه‌سازی شد. برای اینکه بتوان جواب منطقی و مطلوب از مدل به دست آورد، لازم است پیش از آغاز آموزش شبکه‌ی ورودی‌ها، مخصوصاً خروجی‌ها توسط روش‌های آماری به بازه‌ی خاصی محدود شوند. هدف از این کار کاهش خطای مدل‌سازی شبکه است. برای یکسان‌سازی (نرمال‌سازی) مقیاس داده‌های ورودی به شبکه عصبی از معادله‌ی زیر استفاده شد که در این رابطه،  $D_N$ : داده استاندارد شده،  $D$ : داده واقعی،  $D_{min}$ : کوچکترین داده واقعی،  $D_{max}$ : بزرگترین داده واقعی می‌باشد.

معادله ۱:

$$D_N = 0.9 - \frac{(D_{max} - D)(0.9 - 0.1)}{(D_{max} - D_{min})} \quad \text{(مالمیر، ۱۳۹۳: ۶۸)}$$

شبکه‌های استاتیکی فقط الگوهای ورودی که طبیعت مکانی (فضایی) دارند، یعنی الگوهای ورودی که می‌توانند در طول یک یا چند محور فضایی قرار گیرند، را پردازش می‌کنند. شبکه‌های عصبی پویا در مواردی که مسأله دارای حالت پویا (تغییرات زمانی) باشد، کاربرد دارند. به عنوان مثال برای مسائلی نظیر شبیه‌سازی سری‌های زمانی از این شبکه‌ها استفاده می‌شود. چرا که در چنین مواردی مقدار متغیر وابسته نه فقط به مقدار متغیر مستقل در زمان متناظر که به مقدار آن در زمان‌های قبل نیز بستگی دارد. شبکه‌های پویا به دو صورت می‌توانند ایجاد شوند. اگر اتصالات از نوع پیش‌خور باشد و اتصالات برگشتی در شبکه جایز نباشد (همانند شبکه MLP)، شبکه‌ی پویا را می‌توان با استفاده از اعمال تأخیر فقط در ورودی‌ها (IDNN<sup>۳</sup>) یا اعمال تأخیر هم در ورودی‌ها و هم در نورون‌های

4-Time Delay Neural Network  
5-Nonlinear autoregressive network with exogenous inputs

1-Intergovernmental Panel on Climate Change  
2-Multi Layer Perceptron  
3-Input Delay Neural Network

استفاده از داده‌های واسنجی شده‌ی مدل، اقدام به تولید داده‌ها در دوره آتی شده است.

### تجزیه و تحلیل داده‌های دما بر اساس داده‌های تغییر اقلیم

با توجه به آنچه که تاکنون توضیح داده شد مقادیر دما در دوره‌های زمانی آتی تولید گردیده و با دوره‌ی آماری درازمدت موجود مقایسه شدند. نتایج تغییرات دما تحت دو سناریو A2, B2 در جدول ۲ و مقایسه‌ی آنها در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدل SDSM داده‌های بزرگ مقیاس مدل گردش عمومی جو (HadCM3) در دو سناریوی اقلیمی A2 و B2، پارامترهای هواشناسی دما و بارندگی در حوضه‌ی نازلوچای ریزگردان نمایی شده است.

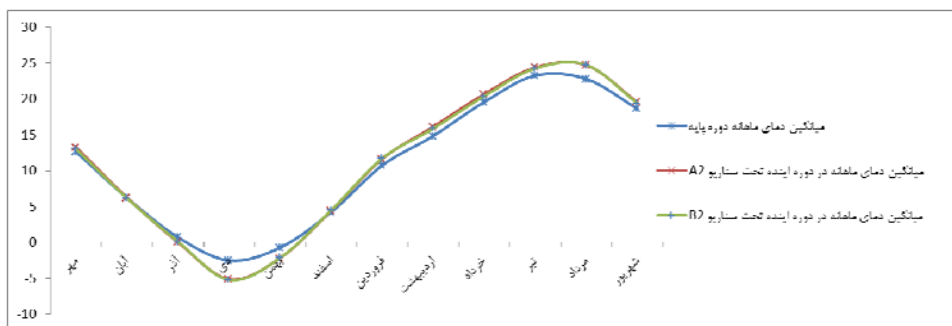
### تولید داده‌های آینده تحت سناریوهای اقلیمی

در ادامه برای تولید داده‌های آینده تحت دو سناریوی اقلیمی A2 و B2 در مدل SDSM در قسمت تعمیم سناریو با توجه به داده‌های بزرگ مقیاس HadCM3 (دوره‌ی ارزیابی مدل) برای این دو سناریو و

جدول ۲: مقایسه‌ی میانگین دما (برحسب سانتیگراد) دوره‌ی پایه و ارزیابی در ایستگاه سینوپتیک نازلوچای تحت سناریو A2 و B2

میانگین دمای ماهانه در دوره‌ی آینده تحت سناریو B2	میانگین دمای ماهانه در دوره‌ی آینده تحت سناریو A2	میانگین دمای ماهانه دوره‌ی پایه	
۱۳/۰۴	۱۳/۲۶	۱۲/۶۲	مهر
۶/۱۴	۶/۲۲	۶/۲۰	آبان
۰/۰۸	۰	۰/۷۰	آذر
-۵/۲۲	-۵/۱۳	-۲/۵۲	دی
-۲/۱۶	-۲/۱۹	-۰/۷۲	بهمن
۴+/۴۶	۴/۴۲	۴/۲۰	اسفند
۱۱/۷۰	۱۱/۶۳	۱۰/۷۱	فروردین
۱۵/۸۶	۱۶/۱۱	۱۴/۸۳	اردیبهشت
۲۰/۴۰	۲۰/۶۶	۱۹/۵۷	خرداد
۲۴/۲۴	۲۴/۳۷	۲۳/۲۵	تیر
۲۴/۷۳	۲۴/۶۹	۲۲/۷۶	مرداد
۱۹/۳۹	۱۹/۵۳	۱۸/۶۴	شهریور

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۲: مقایسه میانگین دما دوره پایه و ارزیابی در ایستگاه سینوپتیک نازلوچای تحت سناریو A2 و B2

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳



### تغییرات دما در آینده تحت سناریو A2

دوره پایه قابل انتظار خواهد بود. بیشترین کاهش دما در بهمن‌ماه رخ خواهد داد. در آذر ماه و زمستان، کاهش دما و در دیگر ماه‌های سال، افزایش دما پیش‌بینی شده است. ماه‌های گرم سال، گرمتر و ماه‌های سرد سال، تغییراتی را تجربه خواهند کرد که این تغییرات در جهت افزایش کلی دما به میزان ۳/۳۵ درصد در آینده خواهد بود. ناهنجاری در تغییرات دما ولو تغییر جزئی آن، سرآغاز تغییر در روند بسیاری از پدیده‌های هیدرولوژیکی در منطقه خواهد بود.

این افزایش دما در پژوهش نی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳) به میزان ۰/۶۴ درجه سانتیگراد محاسبه شده است. همچنین خلیلی‌ا قدم و سلطانی (۱۳۸۸) با بررسی تغییر اقلیم روند صعودی دما را در سال‌های اخیر در پژوهشی که انجام دادند، نتیجه گرفتند. بطور کلی افزایش دما در دهه‌های آتی در پژوهش‌های پورعلی و مساح‌بوانی (۱۳۹۲) و اکبرزاده و همکاران (۱۳۸۲) نتیجه گرفته شده است.

با توجه به جدول ۲، همانطور که دیده می‌شود میانگین دمای سالانه برای دوره‌ی پایه ۱۰/۷ بوده و میانگین دما برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۰۰، میزان ۱۱/۱۵ درجه سانتیگراد پیش‌بینی شده است. افزایش دما به میزان ۰/۴۵ درجه سانتیگراد تحت سناریو A2 در صد سال آینده، قابل انتظار خواهد بود. همچنین این افزایش دما در تمامی ماه‌های سال بجز آذر، دی و بهمن دیده شده است. افزایش دما در اردیبهشت، فروردین و مرداد ماه محسوس‌تر بوده و روند کاهش دما در دی و بهمن‌ماه، کاملاً مشهود می‌باشد. این ناهنجاری در تغییرات دما، بر سیکل طبیعی چرخه بارش اثرگذار خواهد بود و به تبع آن، بر کشاورزی منطقه تغییراتی را تحمیل خواهد کرد. با توجه به ارقام مذکور در جدول ۲، میزان ۴ درصد افزایش دما در دوره‌ی آتی، نسبت به دوره‌ی پایه، تحت سناریو A2 پیش‌بینی شده است.

### تغییرات دما در آینده تحت سناریو B2

#### تجزیه و تحلیل داده‌های بارندگی براساس داده‌های تغییر اقلیم

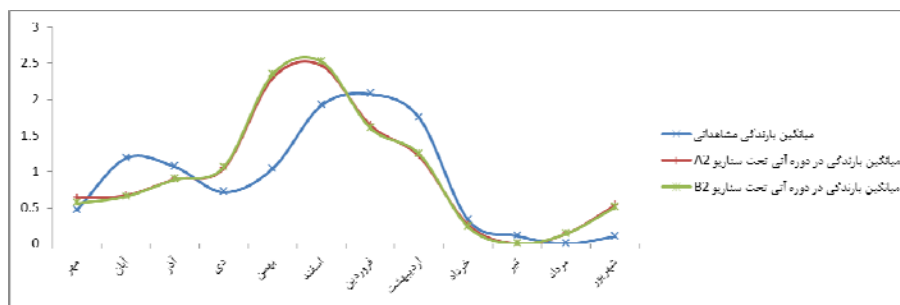
بررسی تغییرات بارش در منطقه و بر اساس ایستگاه‌های مورد مطالعه برای سناریوهای مختلف اقلیمی نشان از افزایش آن دوره‌های آتی دارد. نتایج تغییرات بارش تحت دو سناریو A2, B2 در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۹۹-۲۰۰۰ در جدول ۳ و مقایسه بین سناریوها در شکل ۳ نشان داده شده است.

در سناریو B2 همانند سناریو A2، دما روند صعودی در پیش رو خواهد داشت. میانگین دمای سالانه برای دوره‌ی پایه ۱۰/۷ محاسبه شده و میانگین دما برای دوره ۲۰۹۹-۲۰۰۰، میزان ۱۱/۰۵ درجه سانتیگراد پیش‌بینی شده است. افزایش دما به میزان ۰/۳۵ درجه سانتیگراد تحت سناریو B2 در صد سال آینده، قابل انتظار خواهد بود. در فروردین‌ماه، بیشترین افزایش دما پیش‌بینی شده است. بطوری‌که در این ماه، ۰/۹۸ درجه‌ی سانتیگراد افزایش دما (۹ درصد) نسبت به

جدول ۳: مقایسه میانگین بارندگی بین دوره‌ی پایه و آتی تحت سناریو A2 و B2

میانگین بارندگی مشاهده‌ای	میانگین بارندگی در دوره‌ی آتی تحت سناریو A2	میانگین بارندگی در دوره‌ی آتی تحت سناریو B2	
۰/۴۶	۰/۶۳	۰/۵۵	مهر
۱/۱۸	۰/۶۶	۰/۶۵	آبان
۱/۰۶	۰/۸۹	۰/۸۸	آذر
۰/۷۱	۱/۰۴	۱/۰۶	دی
۱/۰۴	۲/۲۹	۲/۳۴	بهمن
۱/۹۱	۲/۴۶	۲/۵۲	اسفند
۲/۰۷	۱/۶۳	۱/۶۰	فروردین
۱/۷۴	۱/۲۱	۱/۲۴	اردیبهشت
۰/۳۲	۰/۲۶	۰/۲۳	خرداد
۰/۱۰	۰	۰	تیر
۰	۰/۱۳	۰/۱۳	مرداد
۰/۱۰	۰/۵۳	۰/۵۰	شهریور

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۳: مقایسه میانگین بارندگی بین دوره‌ی پایه و آتی تحت سناریو A2 و B2

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

در مهرماه افزایش بارش و در آبان‌ماه و آذرماه، کاهش بارندگی رخ خواهد داد. در سه ماه فصل زمستان، روند صعودی بارش بخصوص در بهمن‌ماه قابل انتظار خواهد بود. با در نظر گرفتن تغییرات دما در فصل زمستان، می‌توان گفت در دی و بهمن‌ماه، کاهش دما و افزایش بارندگی در سده‌ی آینده رخ خواهد داد. بطور کلی، در فصل پاییز ۸ درصد کاهش، در زمستان ۶۵ درصد افزایش و در بهار ۲۵ درصد کاهش در سده‌ی پیش‌رو

### تغییرات بارش در آینده تحت سناریو A2

همانطور که از جدول ۳ قابل مشاهده است، روند تغییرات بارش در آینده، در ماه‌های مختلف سال رفتار متفاوتی نسبت به دوره‌ی پایه خواهد داشت. بطوریکه ضمن این تغییرات، در برخی ماه‌ها کاهش بارندگی و در برخی افزایش بارندگی پیش‌بینی شده است. در فصل پاییز، بنا بر پیش‌بینی اقلیمی، تحت سناریو A2،

### تغییرات رواناب در آینده بر اساس داده‌های تغییر اقلیمی

#### نتایج مدل بارش- رواناب

برای آموزش شبکه‌ی عصبی در این تحقیق از داده‌های دوره‌ی پایه از سال ۱۹۷۱ الی ۲۰۰۰ میلادی، که شامل داده‌های بارش و دمای روزانه بودند به عنوان ورودی و رواناب روزانه به عنوان خروجی مدل استفاده شد. به منظور دستیابی به بهترین نتیجه‌ی ممکن و تعیین بهینه‌ی پارامترهای مؤثر در روند کار مدل شبکه‌ی عصبی، از قابلیت کدنویسی نرم‌افزار MATLAB استفاده شد. بر اساس نتایج به دست آمده از این مرحله، بهترین ترکیب ورودی برای مدل شبکه عصبی به صورت بارش روز حاضر، دمای روز حاضر و دبی تخمینی روز قبل تعیین گردید. به عبارت دیگر در نظر نگرفتن دما و بارش روز قبل به عنوان ورودی نتیجه‌ی بهتری به دست داد. انتخاب بهترین شبکه از بین شبکه‌ها با آزمودن‌های پیاپی، با رسیدن به بالاترین میزان R برای مرحله صحت‌سنجی پایان یافته و مدت انجام هر پروسه‌ی انتخاب شبکه، بیش از ۴۸ ساعت به طول انجامید. در جدول ۴ به صورت خلاصه ورودی‌ها، تعداد لایه‌ها و نوع شبکه‌ی مورد استفاده، آورده شده است. پس تعیین ورودی‌های بهینه، تعداد نورون‌های بهینه در لایه‌ی مخفی و ساخت مدل بارش-رواناب، جهت تخمین رواناب دوره‌ی آتی تحت تاثیر سناریوهای A2 و B2، خروجی مدل‌های اقلیمی وارد مدل بارش-رواناب شدند و سپس میزان رواناب تحت سناریوهای اقلیمی A2 و B2 پیش‌بینی شد. در جدول ۵، مقادیر رواناب گذشته و رواناب آینده در ایستگاه تیبیک هیدرومتری رودخانه نازلوچای تحت سناریو A2 و B2 آورده شده است.

قابل انتظار خواهد بود. میزان بارندگی سالانه ۱۰ درصد افزایش یافته و از حدود ۳۲۵ میلیمتر در سال، بطور متوسط، ضمن دوره‌ی آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰، به ۳۵۸ میلیمتر در سال تغییر خواهد کرد (جدول ۳).

#### تغییرات بارش در آینده تحت سناریو B2

تغییرات بارش در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۹۹-۲۰۰۰، تحت سناریو B2 در شکل ۳ آورده شده است. روند تغییرات بارش تحت سناریو B2، مشابه با سناریو A2 می‌باشد. تحت سناریو B2، در فصل پاییز در مهر ماه، افزایش ۱۹ درصدی بارش و در آبان و آذرماه ۳۰ درصد کاهش بارش رخ خواهد داد. بطور کلی در پاییز، ۱۵ درصد کاهش بارش نسبت به دوره‌ی پایه، قابل انتظار خواهد بود. مشابه سناریو A2، در فصل زمستان، بر میزان بارندگی افزوده خواهد شد و این افزایش بطور متوسط در دوره‌ی آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰، نسبت به دوره‌ی پایه، ۶۸ درصد بیشتر خواهد شد. در بهار نیز ۲۷ درصد کاهش بارندگی پیش‌بینی شده است (جدول ۳). در تیرماه کاهش بارندگی و در مرداد و شهریور ماه، افزایش بارندگی مورد انتظار خواهد بود. به صورت کلی در دوره‌ی آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰، ۹ درصد افزایش بارندگی تحت سناریو B2 پیش‌بینی شده است. در پژوهشی مشابه در منطقه‌ی مورد مطالعه، یاورزاده و همکاران (۱۳۸۸)، تغییرات داده‌های حداکثر بارش روزانه را صعودی پیش‌بینی کردند. همچنین نبی‌زاده و همکاران (۱۳۹۳)، افزایش ۴/۰۳ درصدی بارش سالانه را در این حوضه برآورد نمودند. مشابه با پژوهش حاضر، بیشترین بارندگی در ماه بهمن در هر دو پژوهش پیش‌بینی شده است. در پژوهشی مشابه توسط پورعلی حسین و مساح‌یوانی (۱۳۹۲) افزایش بارش به ویژه در فصل سرد سال پیش‌بینی شده است.

جدول ۴: نتایج حاصل از مدل سازی بارش-رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی

نوع شبکه	تعداد لایه‌ها و تعداد نرونها در هر لایه	خروجی شبکه	ورودی به شبکه در مرحله شبیه‌سازی	ورودی به شبکه در مرحله آموزش و تست
NARX	۳-۴-۱	$Q(t)$	$R(t), T(t), \hat{Q}(t-1)$	$R(t), T(t), \hat{Q}(t-1)$

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۳

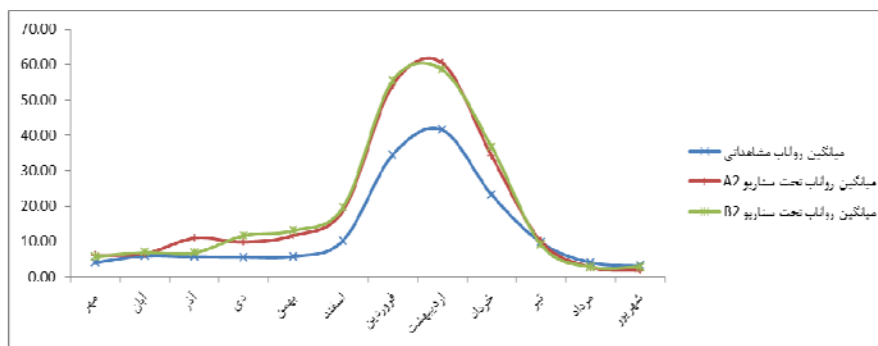
B2 برای دوره‌ی آتی ( ۲۰۹۹-۲۰۰۰)، با توجه مقادیر جدول ۵ به میزان ۴۹ درصد افزایش رواناب در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه برآورد شده است. همانطور که در جدول ۵ مشخص گردیده است در فصل پاییز افزایش رواناب نسبت به دوره‌ی پایه برآورد شده است. در مهرماه ۴۲ درصد و در آبان‌ماه ۱۶ درصد و در آذر ماه به میزان ۲۰ درصد افزایش رواناب مورد انتظار خواهد بود. در فصل زمستان، دی‌ماه و بهمن‌ماه، افزایش دو برابری رواناب نسبت به دوره پایه پیش‌بینی شده است. این افزایش در دی‌ماه به حداکثر خود می‌رسد. با توجه به داده‌های موجود در جدول ۵، رودخانه در فصل بهار پر آب بوده و در این فصل، مانند فصل‌های گذشته، روند رواناب صعودی بوده و در طی این سه ماه، میزان رواناب ۵۳ درصد افزایش خواهد داشت. در ادامه، بر خلاف سه فصل دیگر سال، در سه ماه فصل تابستان، کاهش رواناب به میزان ۲۴ درصد نسبت به دوره‌ی پایه پیش‌بینی شده است. در پژوهشی مشابه در منطقه‌ی مورد مطالعه، یاورزاده و همکاران (۱۳۸۸)، با بررسی تغییر دبی در منطقه، خطر سیلابی شدن رودخانه را پیش‌بینی نمودند.

میزان رواناب تحت سناریو A2 برای دوره‌ی (۲۰۹۹-۲۰۰۰) پیش‌بینی شده است با توجه به مقادیر جدول ۵، به میزان ۴۸ درصد افزایش رواناب در دوره‌ی آتی نسبت به دوره‌ی پایه برآورد شده است. این افزایش در طی سال، روند یکسانی نداشته و در ماه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. همانطور که در شکل ۵ مشخص است در فصل پاییز افزایش رواناب نسبت به دوره‌ی پایه برآورد شده است. در مهرماه ۵۰ درصد و در آبان‌ماه ۱۰ درصد و در آذرماه به میزان ۹۲ درصد افزایش رواناب مورد انتظار خواهد بود. در فصل زمستان، همانند فصل پاییز روند صعودی در رواناب مشاهده شده است. این افزایش در بهمن‌ماه به حداکثر خود می‌رسد. در فصل بهار، رودخانه پرآب بوده و حداکثر رواناب در این فصل دیده شده است. در این فصل، روند رواناب صعودی بوده و در طی این سه ماه، میزان رواناب ۵۰ درصد افزایش خواهد داشت. در سه ماه فصل تابستان، کاهش رواناب به میزان ۲۴ درصد نسبت به دوره‌ی پایه پیش‌بینی شده است. نتایج سناریو B2، برای پیش‌بینی رواناب مشابه با نتایج سناریو A2 می‌باشد. میزان حجم رواناب تحت سناریو

جدول ۵: میانگین رواناب ماهانه تحت سناریو A2 و B2 بر حسب متر مکعب بر ثانیه

ماه	میانگین ماهانه رواناب سال‌های ۱۹۷۱-۲۰۰۰ مشاهداتی	میانگین ماهانه رواناب سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی A2	میانگین ماهانه رواناب سال‌های ۲۰۱۱-۲۰۴۰ تحت سناریوی B2
مهر	۰۵/۴	۶/۱۱	۵/۷۳
آبان	۵/۹۸	۶/۵۹	۶/۹۵
آذر	۵/۶۹	۱۰/۹۴	۶/۸۳
دی	۵/۵۵	۹/۸۳	۱۱/۶۵
بهمن	۵/۸۰	۱۱/۷۰	۱۳/۱۰
اسفند	۱۰/۳۱	۱۸/۷۳	۱۹/۶۳
فروردین	۳۴/۴۹	۵۴/۱۹	۵۵/۴۶
اردیبهشت	۴۱/۵۵	۶۰/۴۹	۵۸/۵۷
خرداد	۲۳/۲۰	۳۴/۱۵	۳۶/۷۰
تیر	۹/۶۷	۹/۹۳	۹/۰۰
مرداد	۴/۰۷	۲/۷۹	۲/۸۲
شهریور	۳/۱۹	۱/۸۳	۲/۸۳
میانگین	۱۲/۸۰	۱۸/۹۴	۱۹/۱۱

مأخذ: مطالعات میدانی نگارندگان، ۱۳۹۳



شکل ۴: مقایسه بین رواناب دوره پایه و دوره ارزیابی (۲۰۰۰-۲۰۹۹) تحت سناریو A2 و B2

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۳

## نتیجه

تحت سناریو B2 در صد سال آینده، قابل انتظار خواهد بود. ماه‌های گرم سال، گرمتر و ماه‌های سرد سال، تغییراتی را تجربه خواهند کرد که این تغییرات در جهت افزایش کلی دما به میزان ۳/۳۵ درصد در آینده خواهد بود. ناهنجاری در تغییرات دما ولو تغییر جزئی آن، سرآغاز تغییر در روند بسیاری از پدیده‌های هیدرولوژیکی در منطقه خواهد بود. روند تغییرات

در این تحقیق آثار تغییر اقلیم روی منابع اب حوضه نازلوچای ارومیه در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۹۹ با استفاده از مدل گردش عمومی جو HadCM3 تحت دو سناریو تغییر اقلیمی A2 و B2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. افزایش دما به میزان ۰/۴۵ درجه سانتیگراد تحت سناریو A2 و به میزان ۰/۳۵ درجه سانتیگراد

رواناب آینده رودخانه‌ها، امکان اتخاذ تصمیمات مدیریتی، تعدیل اثرات سوء احتمالی و به کار گیری روش‌های جدید تطبیق با شرایط اقلیمی متفاوت را فراهم نموده و با استفاده از نتایج پژوهش‌های اقلیمی، در مناطقی که افزایش بارندگی و رواناب برای آن‌ها پیش‌بینی شده است، توسط مدل‌های هیدرولوژیکی یا هوش مصنوعی، خطر وقوع سیلاب را پیش‌بینی کرده و اقدامات مدیریتی و مهندسی در آن مناطق، صورت گیرد.

### منابع

- آشفته، پریسا؛ علیرضا مساح‌بوانی (۱۳۸۹). تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر (مطالعه موردی: حوضه آیدوغموش، آذربایجان شرقی)، مجله علوم وفنون کشاورزی و منابع طبیعی. علوم آب و خاک. سال چهاردهم. شماره پنجاه و سوم.
- اکبرزاده، یونس؛ فاطمه صادقی‌شقایقی؛ مصطفی حسین‌بابایی (۱۳۸۲). تحلیل مکانی خشکسالی SPI در استان آذربایجان شرقی طی دوره آماری ۲۰۰۶-۱۹۸۷، همایش منطقه‌ای بحران آب و خشکسالی. رشت. ایران.
- برهانی‌دارایان، علیرضا؛ احمد فاتحی‌مرجد (۱۳۸۷). کاربرد شبکه‌ی عصبی در پیش‌بینی جریان رودخانه با استفاده از شاخص‌های اقلیمی، مطالعه موردی: حوضه آبریز نازلوچای، مجله دانشکده فنی. جلد ۳۵. شماره ۳.
- پناهی، علی؛ بهلول علیجانی (۱۳۹۳). پیش‌بینی دبی اوج سیلاب با استفاده از مدل شبکه‌ی عصبی مصنوعی و رگرسیون چندمتغیر، فصلنامه‌ی بین‌المللی انجمن جغرافیای ایران. سال یازدهم. شماره ۳۸.
- پورعلی‌حسین، سیده‌شیماء؛ علیرضا مساح‌بوانی (۱۳۹۲). تحلیل مخاطره و ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر دما و بارش استان آذربایجان شرقی ۲۰۲۲-۲۰۱۳. مجله فیزیک زمان و فضا. دوره ۳۹. شماره ۴. صفحات ۲۰۸-۱۹۱.

بارش در آینده، در ماه‌های مختلف سال رفتار متفاوتی نسبت به دوره‌ی پایه خواهد داشت. بطوری‌که ضمن این تغییرات، در برخی ماه‌های سال کاهش بارندگی و در برخی ماه‌ها افزایش بارندگی پیش‌بینی شده است. بر اساس پیش‌بینی بارندگی، تحت سناریو A2، میزان بارندگی سالانه ۱۰ درصد افزایش یافته و از حدود ۳۲۵ میلیمتر در سال، بطور متوسط، در طول دوره‌ی آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰، به ۳۵۸ میلیمتر در سال تغییر خواهد کرد. روند تغییرات بارش تحت سناریو B2، میزان بارندگی سالانه ۹ درصد افزایش یافته و از حدود ۳۲۵ میلیمتر در سال، بطور متوسط، در طول دوره‌ی آماری ۲۰۹۹-۲۰۰۰، به ۳۵۴/۷ میلیمتر در سال تغییر خواهد کرد. جهت شبیه‌سازی فرایند بارش-رواناب از مدل شبکه‌ی عصبی پویا استفاده شد. مدل بارش-رواناب تحت سناریو A2 و B2 برای دوره‌ی (۲۰۹۹-۲۰۰۰)، به ترتیب ۴۸ و ۴۹ درصد افزایش رواناب در دوره‌ی آبی نسبت به دوره‌ی پایه را نشان داد. این افزایش در طی سال، روند یکسانی نداشته و در ماه‌های مختلف، متفاوت می‌باشد. وجود تفاوت در مقادیر پیش‌بینی شده سناریوی تغییر اقلیم دما و بارندگی در ماه‌های مختلف در دوره‌ی ارزیابی نشان از وجود عدم قطعیت‌های مختلف در شبیه‌سازی این دو متغیر تحت پدیده تغییر اقلیم می‌باشد. در هر حال در صورت بروز چنین تغییراتی در دما و بارش، شدت و مدت خشکسالی‌ها به دلیل افزایش دما، افزایش خواهد یافت و همچنین خطر وقوع سیلاب به علت ذوب برف و افزایش تبخیر- تعرق گیاهان از دیگر مضرات تغییر اقلیم در منطقه می‌باشد.

در نهایت می‌توان نتیجه‌گیری نمود که این گونه مطالعات و بررسی تغییرات اقلیم آینده در مناطق مختلف کشور و شبیه‌سازی بارش-رواناب و پیش‌بینی

- ثانی‌خانی، هادی؛ یعقوب دین‌پژوه؛ سعید پوریوسف؛ سروین زمان‌دادقویدل؛ بهاره صولتی (۱۳۹۲). بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوضه‌های آبریز (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبریز آجی‌چای در استان آذربایجان شرقی)، نشریه‌ی آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۷. شماره ۶. اسفند. صفحات ۱۲۳۴-۱۲۲۵.
- دهقانی‌پور، امیرحسین (۱۳۹۰). ارزیابی توانمندی مدل SDSM در ریزمقیاس‌نمایی بارش، دما و تبخیر (مطالعه موردی: ایستگاه سینوپتیک تبریز)، یازدهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر. کرمان. دانشگاه شهید باهنر.
- سلطانی، سعید (۱۳۸۱). ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی در پیش‌بینی کوتاه‌مدت و میان‌مدت جریان رودخانه‌ها، پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تربیت مدرس. تهران.
- عباسی، فاطمه؛ ایمان بابائیان؛ شراره ملبوسی؛ مرتضی اثمیری؛ لیلی‌گلی مختاری (۱۳۹۱). ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. ۲۷ (۱). صفحات ۲۳۰-۲۰۵.
- فرج‌زاده، منوچهر (۱۳۹۲). تحلیل اثرات تغییر اقلیم بر میزان‌آبدهی رودخانه (مطالعه موردی: رودخانه شش‌پیر)، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۴. پیاپی ۴۹. شماره ۱.
- قندهاری، قاسم (۱۳۹۱). ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر سناریوهای تخصیص بهینه آب در سطح حوضه‌ی رودخانه بار شهرستان نیشابور با مدل WEAP، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب. دانشگاه زابل. دانشکده علوم آب و خاک. گروه مهندسی آب.
- مالمیر، مهسا (۱۳۹۳). ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیم بر سناریوهای تخصیص بهینه آب در سطح حوضه‌ی قره‌سو با مدل WEAP، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب. دانشگاه زابل. دانشکده علوم آب و خاک. گروه مهندسی آب.
- نبی‌زاده‌بلخکانلو، عادل؛ اردشیر یوسف‌زاده؛ آزاد توحیدی (۱۳۹۳). ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی ایستگاه سینوپتیک ارومیه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG. اولین همایش ملی بهداشت محیط. سلامت و محیط زیست پایدار. دانشکده شهید مفتح. شهر یورماه. همدان.
- یاورزاده، محمد؛ اسماعیل شیدای؛ آرش زارع؛ قاسم همدی (۱۳۸۸). بررسی نحوه‌ی تغییرات بلندمدت بارندگی و دبی در حوضه‌ی آبریز نازلوچای، دریاچه ارومیه. همایش ملی علوم آب، خاک، گیاه و مکانیزاسیون کشاورزی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول.
- Abbaspour K.C (2007). User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Eawag: Swiss Fed. Inst. Of Aquat. Sci. and Technol., Dübendorf, Switzerland
- Araghi Nejad, Sh., Kar Amouz, M (2011). Advanced Hydrology. Tehran. Press2, Amir Kabir university, p 486. (In Persian)
- Artlert, K., Chaleeraktragoon, C and Nguyen Van-Thanh-Van (2013). Modeling and analysis of rainfall processes in the context of climate change for Mekong, Chi, and Mun River Basins (Thailand) [Article]. - [s.l.]: Journal of Hydro-environment Research., 7: 2-17.
- Chen H., Xu C.Y., and Guo S (2012). Comparison and evaluation of multiple GCMs, statistical downscaling and hydrological models in the study of climate change impacts on runoff. Journal of Hydrology. 434-435(0): PP: 36-45.
- Hamlet, A.F. and Lettenmaier D.P (2007). Effects of 20th century warming and climate variability on flood risk in the western U.S. Water Resour. Res., 43, W06427. Dol: 10.1029/2006WR005099.

- IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change). (2007). Fourth Assessment Report, Climate Change.
- IPCC-TGCIA (2001). Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment.
- IPCC-TGCIA (2007). Guidelines on the use of scenario data for climate impact and adaptation assessment.
- Jialan, S., Xiaohui, L., Yu, T., Liao, W., Wang, Y (2013). Hydrological impacts of climate change in the upper reaches of the Yangtze River Basin. *Quaternary International*. 304 (2013) 62e74.
- Mkankam Kamga F (2001). Impact of greenhouse gas induced climate change on the runoff of the Upper Benue River (Cameroon). *Journal of Hydrology*, 252(1-4): PP: 145-156.
- Pruski F.F. and Nearing M.A (2002). Runoff and soil-loss responses to changes in precipitation: A computer simulation study. *Journal of Soil and Water Conservation*, 57(1):PP: 7-16.
- Koutroulis, A.G, Tsanis, I.K, Daliakopoulos, I.N and Jacob. D (2013). "Impact of climate change on water resources status: A case study for Crete." *Journal of Hydrology* 479(2013)146-158.
- Ribalaygua, Jaime (2013). Climate change scenarios for temperature and precipitation in Aragón (Spain). *Science of the Total Environment*. 463-464 (2013) 1015-1030.
- Timbal B, E. Fernandez, Z. Li (2009). Generalization of a statistical downscaling model to provide local climate change projections for Australia. *Environmental Modelling & Software*, 24 (2009) 341-358.
- Wilby R.L, Davson, C.W and Barrow, E.M. (2007). SDAM a decision support tool for the assessment of regional climate change impacts. *Environmental Modelling & Software*, 17: 145-157.
- Lane, M. E., P. H. Kirshen and R. M. Vogel (1999). Indicators of impact of global climate change on U.S. water resources. *ASCE, J. Water Resour. Planning and Manag.* 125(4): 194-204.