

## بررسی اثرات تغییر اقلیم بر نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه

مجید دلاور<sup>۱</sup>، ام‌السلمه بابایی\*<sup>۲</sup>، ابراهیم فتاحی<sup>۳</sup>

۱-استادیار گروه مهندسی منابع آب دانشگاه تربیت مدرس

۲-استادیار، گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور

۳-دانشیار پژوهشکده هواشناسی

تاریخ پذیرش: ۹۳/۵/۵

تاریخ وصول: ۹۲/۲/۱۰

### چکیده

دریاچه ارومیه به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین دریاچه‌های کشور در شمال غرب ایران واقع شده است. با توجه به تغییرات بارش و دما و رخداد خشک‌سالی‌ها و ترسالی‌های شدید در این حوضه و ویژگی‌های مرفولوژیک آن (شیب کم سواحل) سطح تراز آن دچار نوسانات و تغییرات زیادی می‌شود. بطوریکه در سال‌های اخیر توسعه طرح‌های منابع آبی و به‌ویژه احداث سدهای مخزنی بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه، تأثیر زیادی بر ورودی آب و درنهایت تراز آب آن داشته است. در این مطالعه با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی، شبیه‌سازی نوسانات دریاچه مورد بررسی قرار گرفته است. نقش تغییر اقلیم بر تراز آینده دریاچه تحت سناریوهای A2 و B2 با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی خروجی مدل‌های اقلیمی به کمک الگوی ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG تحلیل شده است. نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که تراز دریاچه طی سال‌های آینده روند کاهشی را طی خواهد کرد.

**واژگان کلیدی:** دریاچه ارومیه، شبیه‌سازی، شبکه عصبی مصنوعی، تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌نمایی

## مقدمه

از جمله منابع آبی در معرض خطر در کشور دریاچه ارومیه است. اهمیت دریاچه ارومیه و فرآیند رو به خشک شدن آن در سال‌های اخیر، بررسی علل و راه‌کارهای حفظ آن را بیش از پیش حائز اهمیت ساخته است. در مورد علل این پدیده دلایل متفاوت و بعضاً غیر مستدل ارائه شده است. اثبات و یا رد هر یک از آن‌ها، نیاز به پژوهش‌های زیادی دارد. اما دو دلیل اصلی برای آن، بیشتر از بقیه قابل بررسی است. یکی تغییر در اقلیم و نوسانات آب و هوایی و دیگری مدیریت نادرست استحصال آب در حوضه‌های آبریز این دریاچه است. بررسی فرض اول، مستلزم تحلیل ارتباط سری‌های زمانی طولانی‌مدت عوامل اقلیمی و تراز آب دریاچه دارد و فرض دوم، بررسی روند جریان‌های ورودی به دریاچه را طلب می‌کند.

بررسی‌های اولیه IPCC بر روی داده‌های مشاهداتی دما، بارندگی، پوشش برف و سطح آب دریاها نشان از تغییرات در این متغیرها دارد. اما تأثیر این تغییرات تنها بر ارقام متوسط نبوده، رخداد‌های فرین اقلیمی مانند طوفان‌ها، سیلاب‌ها و خشک‌سالی‌ها را نیز تحت شعاع قرار می‌دهد. (IPCC, 1996a).

این تغییرات می‌تواند ناشی از دو عامل تغییرات درونی و عوامل خارجی باشد. تغییرات درونی در سیستم اقلیم ناشی از تغییرات ذاتی موجود در سیکل پدیده بوده که به صورت تغییرات دهه‌ای یا چند دهه‌ای ظاهر می‌شوند. عوامل خارجی نیز شامل دو عامل، عوامل طبیعی مؤثر، مانند میزان فعالیت خورشید و یا فعالیت‌های آتشفشانی و عوامل انسانی شامل افزایش گازهای گلخانه‌ای و مواد معلق ناشی از فعالیت‌های انسانی است. اما بررسی‌های IPCC نشان می‌دهد که نقش عوامل انسانی (انتشار گازهای گلخانه‌ای) و بخصوص گاز دی اکسید کربن در گرم‌تر شدن اقلیم کره زمین نسبت به عوامل دیگر بسیار بیشتر است. از این رو به منظور تولید داده‌های اقلیمی در دوره‌های آتی تنها اثر گازهای گلخانه‌ای لحاظ می‌گردد (IPCC, 1996).

در ارزیابی اثرات منطقه‌ای تغییر اقلیم پیش از هر چیز نیاز به سری زمانی متغیرهای اقلیمی (سناریوی اقلیمی) دوره‌های آتی می‌باشد. در ساخت این داده‌ها دو رویکرد: (۱) استفاده از روش‌های آماری که در آن با بررسی روند در گذشته و تعمیم آن در آینده داده‌ها تولید می‌گردد. تحقیق یو و همکاران (۲۰۰۲) از این نمونه است که برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب حوضه‌ای در تایلند به انجام رسیده است و (۲) استفاده از خروجی مدل‌های جفت شده اتمسفر-اقیانوس گردش عمومی جو (AOGCM) می‌باشد که از اعتبار بیشتری برخوردار است.

مندوز و همکاران (۲۰۰۶) در تلاشی علل تغییرات دریاچه Cuitzeo در مکزیک را بررسی نمودند، آن‌ها از مدل‌های آماری برای ارتباط دادن نوسانات تراز آب به بارندگی و دما استفاده نمودند. تراز آب دریاچه به این منظور به صورت سری زمانی مورد استفاده قرار گرفت.

بررسی امکان استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور برای تخمین فراوانی و مدت سیلاب‌های دریاچه بسته Rosamond (اسپانیا) موضوع تحقیقاتی فرنچ و همکاران (۲۰۰۶) بوده که در آن ارتباط سطح دریاچه مزبور با بارندگی‌هایی که منجر به ایجاد رواناب می‌شوند، به دست آمد. برای این کار آستانه موردنظر برای بارندگی‌ها از رویکرد شماره منحنی با تعیین نوع خاک حوضه، پوشش گیاهی و کاربری اراضی به دست آمده است. سپس ارتباط داده‌های بارندگی بالاتر از آستانه، با سطح دریاچه بررسی شده است. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داده است که تغییر تراز آب دریاچه با بارندگی متوسط در هر بازه زمانی ارتباط دارد و پیشنهاد شده است، با مدنظر قرار دادن اثر تبخیر و باد، این روش برای پیش‌بینی سیلاب‌های دریاچه در آینده بکار رود.

برای ارائه مدلی رگرسیون برای پیش تراز آب دریاچه Balkhash (قزاقستان)، پروپاستین (۲۰۰۸) از پایش پوشش گیاهی (شاخص NDVI) در دلتای رودخانه Ili منتهی به دریاچه مزبور همراه با داده‌های بارندگی و رواناب استفاده کرد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مدلی بر اساس NDVI

فرایندهای فیزیکی و شیمیایی حاکم بر سیستم اقلیمی و تأثیر تغییرات اجتماعی و اقتصادی جوامع بر آنها است. بر اساس توصیه IPCC معتبرترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرایندهای موجود در یک سیستم اقلیمی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای قرار دارد. تاکنون مدل‌های گردش عمومی جو توسط مراکز مختلف تحقیقاتی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به مدل‌های UKMO, GISS, GFDL, ECHAM4, CCC, PIHadCM2 و HadCM3 اشاره کرد (مرید و مساح ۲۰۰۴).

خروجی‌های مدل‌های مختلف GCM جو توسط سایت IPCC به آدرس <http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk> قابل دسترسی است. مقیاس داده‌های تولید شده توسط مدل‌های مختلف گردش عمومی جو متفاوت است. برای مثال مدل HadCM3 قادر است داده‌های اقلیمی را در مقیاس ۲/۵ درجه (عرض جغرافیایی)  $\times$  ۳/۷۵ درجه (طول جغرافیایی) را برای سال‌های ۱۹۵۰ تا ۲۰۹۹ شبیه‌سازی کند و مدل ECHAM4 نیز داده‌های اقلیمی را در مقیاس ۲/۸۱۲۵ درجه  $\times$  ۲/۸۱۲۵ درجه برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ شبیه‌سازی می‌نماید. همچنین باید توجه داشت که به دلیل این که مدل‌های GCM دارای نوسانات درونی غیر صحیح می‌باشند بنابراین نمی‌توان دقیقاً از داده‌های این مدل‌ها استفاده کرد و این داده‌ها احتیاج به تعدیل‌هایی دارند. بنابراین برای کاربرد داده‌های مربوط به مدل‌ها لازم است که آن‌ها کوچک‌مقیاس شوند و از نظر آماری هم تعدیل‌هایی بر روی آن‌ها انجام شوند.

با توجه به اهمیت تغییر اقلیم در بحران آبی دریاچه ارومیه در تحقیق حاضر تلاشی شده است تا با بکارگیری خروجی‌های مدل‌های گردش عمومی جو و مدل‌های داده محور به بررسی و شبیه‌سازی تراز دریاچه تحت شرایط تغییر اقلیم پرداخته شود.

با دقت بالا (۷۶٪) قادر به پیش‌بینی تراز آب دریاچه مزبور می‌باشد.

در تحقیق دیگری پایش زمانی تغییرات ۲۶ ساله سطح دریاچه Seyfe (ترکیه)، توسط رایس و ایلمایز (۲۰۰۸) انجام شده است. سطح دریاچه ۳۳٪ کاهش را در طول این سال‌ها نشان می‌دهد. در صورتی که رابطه تراز آب دریاچه با پارامترهای جوی مانند بارش، دما و تبخیر در همان مدت ۲۱٪ کاهش را نشان می‌دهد. نتیجه‌گیری شده است که ۱۲٪ باقیمانده، کاهش تراز آب دریاچه به سبب فعالیت‌های انسانی بر روی دریاچه در همان مدت بوده است.

بررسی رابطه تغییرات جریان رودخانه با تغییر اقلیمی و استفاده از تکنیک‌های طیفی نیز توجه پژوهشگران را جلب نموده است. در این رابطه روش‌شناسی هانسن و همکاران (۲۰۰۴) برای ارزیابی تأثیر تغییرات اقلیمی در سری‌های زمانی هیدرولوژیکی برای جنوب غرب ایالات متحده با این رویکرد ارائه گردیده است. هدف طرح، بررسی تأثیر این تغییرات بر روی تراز آب زیرزمینی بوده است. برای کمی نمودن آن، بارندگی و رواناب به عنوان معرف ورودی به جریان زیرزمینی و جریان پایه رودخانه‌ها به عنوان معرف جریان خروجی زیرزمینی تعیین شده‌اند.

در تحقیقی دیگر نمدار و براوو (۲۰۰۸) ارتباط بین تراز دریاچه‌های Superior, Michigan, Erie و Ontario را با شاخص‌های اتمسفری TNI, PDO, NAM/AO, PNA و اقلیم منطقه‌ای (شامل بارش روی سطح دریاچه، تبخیر، دمای هوا و جریان‌های ورودی به دریاچه از حوضه‌های دیگر) بررسی نمودند.

## مدل‌های گردش عمومی جو

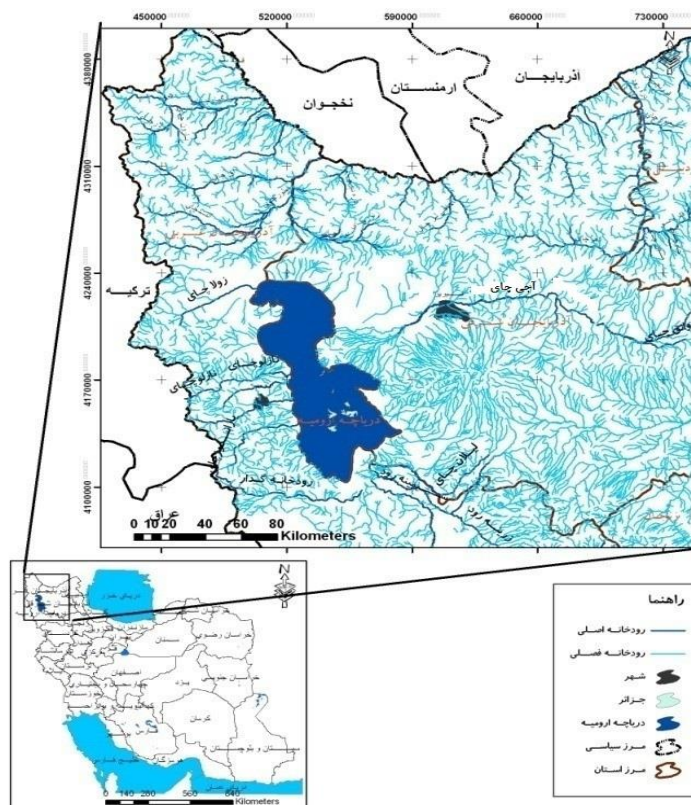
برای شبیه‌سازی فرایندهای موجود در یک سیستم اقلیمی مدل‌های متعددی ارائه گردیده است. از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌های گردش عمومی جو یا GCM اشاره کرد. اصلی بنیادین در این‌گونه مدل‌ها فهم و شناسایی

## مواد و روش‌ها

## الف- معرفی منطقه

دریاچه ارومیه در شمال غربی کشور واقع شده است. این دریاچه سیستم بسته‌ای است که آب ورودی آن از طریق رودخانه‌هایی که به آن می‌ریزند، چشمه‌های درون دریاچه و باران ریزش یافته بر سطح و مناطق اطراف آن تأمین می‌گردد. ولی طی فرایند تبخیر، مقدار قابل توجهی آب از این سیستم خارج می‌گردد. حوضه آبریز این دریاچه با مختصات جغرافیایی ۴۴/۷ تا ۴۷/۵۳ درجه طول شرقی و ۳۵/۴۰ تا ۳۸/۳۰ درجه عرض شمالی از مناطق کوهستانی وسیعی تشکیل شده که دریاچه ارومیه و دشت‌های مجاور آن را احاطه کرده است.

در این حوضه رودخانه‌های بزرگ و کوچک، شبکه زهکشی به سمت دریاچه را تشکیل می‌دهند که بزرگترین آنها زربینه رود و بعد از آن سیمینه رود و گادارچای در جنوب، نازلوچای و باراندوزچای در غرب، مردوقچای در شرق و آجی چای در شمال شرقی دریاچه می‌باشند. دریاچه ارومیه وسعتی در حدود ۵۷۵۰ کیلومترمربع دارد. تراز کف دریاچه ۱۲۶۸ متر و تراز متوسط سطح آب دریاچه ۱۲۷۶/۲ متر است که دامنه نوساناتی از ۱۲۷۴/۱۳ تا ۱۲۷۸/۴ متر از سطح دریا در ۳۰ سال اخیر داشته است. اراضی اطراف دریاچه بسیار کم شیب بوده و بخش‌هایی از آن در فصل بهار زیر آب می‌روند.



شکل ۱- موقعیت دریاچه ارومیه به همراه رودخانه‌های ورودی به آن

(۲)  $a_{i-1} \langle a_i \quad [a_{i-1}, a_i]$   
 $h_i$  تعداد رخداد بارش در  $i$  امین فاصله را نشان می‌دهد (IPCC, 1996a).

با توجه به اهداف تحقیق، داده‌های مورد نیاز شامل دبی رودخانه‌های ورودی، بارش و تبخیر در دوره آماری ۱۳۸۸-۱۳۵۰ از ایستگاه‌های منطقه جمع‌آوری گردیده است. در انتخاب ایستگاه‌ها سعی شده است تا جایی که ممکن است از تمامی ایستگاه‌های آب‌سنجی منطقه که ورودی‌های دریاچه را تشکیل می‌دهند، استفاده شود.

مقادیر تصادفی از توزیع‌های نیمه تجربی با انتخاب یکی از فاصله‌ها و سپس انتخاب یک مقدار در آن محدوده از توزیع یکنواخت مشخص می‌شوند. این نوع توزیع قابل انعطاف است و می‌تواند تا حدودی تبدیل به تنوع وسیعی از شکل‌های مختلف با بازه‌های مختلف  $[a_{i-1}, a_i]$  شوند. فاصله  $[a_{i-1}, a_i]$  بر اساس توزیع قابل انتظار از رفتار متغیرهای هواشناسی است. برای تابش خورشیدی فاصله‌ها بین مقادیر بیشینه و کمینه داده‌های دیدبانی شده ماهانه برابر هستند، در صورتی که برای طول سری خشک و تر و بارش، اندازه فاصله‌ها به تدریج با افزایش  $i$ ، افزایش می‌یابد. در این دو مورد به نوعی مقادیر کوچک به تعداد زیاد و مقادیر بزرگ به مقدار کمی وجود دارد که این نحوه انتخاب فاصله از یک دقت پائین برای فواصل کوچک جلوگیری می‌کند. در اینجا رخداد بارش با استفاده از سری‌های تر و خشک مدل‌سازی شده است. طول هر سری به‌طور تصادفی از توزیع نیمه تجربی ماهانه خشک و تر (از جاییکه سری شروع می‌شود)، انتخاب شده است. برای یک روز تر، یعنی روزی با بارش بیش از صفر میلی‌متر، مقدار بارش با به کار بردن توزیع نیمه تجربی به دست می‌آید. دمای بیشینه و کمینه روزانه با بکار بردن تری یا خشکی روز مورد نظر تولید می‌شود. مدل‌سازی دماهای بیشینه و کمینه روزانه به‌صورت فرآیندی آماری با لحاظ میانگین و انحراف معیار روزانه آن‌ها صورت می‌گیرد. مؤلفه‌های فصلی میانگین و انحراف معیار دما با استفاده از

## شبیه‌سازی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی

هدف اصلی در این مطالعه شبیه‌سازی تغییرات تراز آب دریاچه ارومیه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و بر اساس مهم‌ترین عوامل مؤثر بر نوسانات تراز آب دریاچه که شامل دبی ورودی، بارش و تبخیر از سطح دریاچه است. بدین منظور از جعبه نرم‌افزاری شبکه عصبی مصنوعی MATLAB استفاده شد. این نرم‌افزار امکان طراحی، یادگیری و ارزیابی شبکه‌های عصبی مصنوعی را داشته و می‌تواند قوانین یادگیری مختلفی را در برداشته باشد.

### معرفی مدل Lars-WG

مدل Lars-WG از جمله مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، دمای بیشینه و کمینه، تابش و تبخیر روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیم پایه و آینده به کار می‌رود. مدل‌های مولد داده‌های آب و هوایی عمدتاً برای دو هدف توسعه یافته‌اند که شامل الف- تهیه میانگین سری‌های زمانی داده‌های مصنوعی شبیه‌سازی شده با مشخصات آماری مطابق با داده‌های دیدبانی شده در یک ایستگاه ب- فراهم کردن میانگین‌های طولانی‌مدت سری‌های زمانی پارامترهای هواشناسی برای ایستگاه‌هایی که دارای داده‌های گمشده بوده و یا اینکه امکان دیدبانی در آنجا وجود نداشته.

مبانی نظری مدل‌های مولد داده‌های هواشناسی بر اساس روش‌های آماری نظیر زنجیره مارکوف و توزیع نیمه تجربی است. مبانی نظری مدل Lars-WG بر مبنای توزیع نیمه تجربی قرار دارد. در این مدل برای محاسبه طول دوره تر و خشک بارش روزانه تابش و تبخیر از توزیع نیمه تجربی استفاده می‌شود.

$$EMP = \{a_0, a_i, h_i; i = 0, 1, 2, \dots, 10\} \quad (1)$$

که در اینجا EMP یک تاریخ نگاشت (هیستوگرام) با ده بازه شدت‌های مختلف بارش است.

ماهانه دوره ۱۳۵۰ لغایت ۱۳۸۸ استفاده شده است که ۷۰ درصد داده‌ها برای مرحله آموزش و ۳۰ درصد نیز برای مرحله صحت یابی به کار برده شد. در نهایت در شرایط به کارگیری همزمان بارندگی و دمای متوسط ماهانه به همراه شماره ماه مورد نظر بهترین نتایج به دست آمده است (دلاور، ۱۳۸۴):

$$Q_t = f(P_t, T_t, N_t) \quad (3)$$

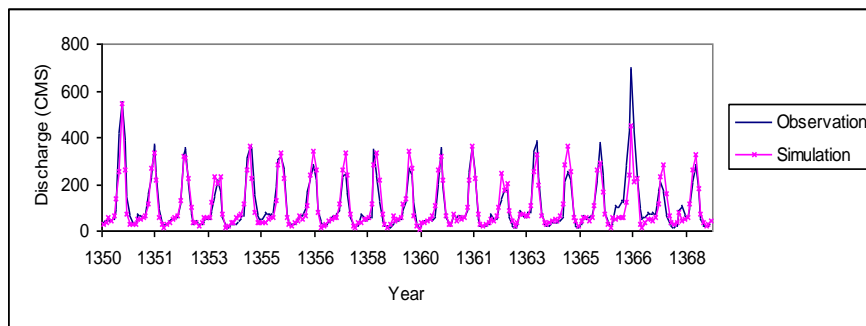
که در آن  $Q$ : دبی ماهانه ورودی به دریاچه ( $m^3$ ) در ماه  $t$ : بارندگی ماهانه تحت سناریوهای اقلیمی ( $mm$ ) در ماه  $t$ : متوسط دمای ماهانه تحت سناریوهای اقلیمی ( $mm$ ) در ماه  $t$  و  $N$ : شماره ماه مورد نظر که از ۱ تا ۱۲ به ترتیب برای ماه‌های ژانویه تا دسامبر تغییر می‌کند.

یک سری فوریه مرتبه سوم مدل‌سازی می‌شوند. مقادیر باقیمانده دما نیز با استفاده از توزیع نرمال مدل می‌شوند. چنانچه تابش از توزیع نرمال تبعیت نکند آنگاه آن را با استفاده از یک توزیع نیمه تجربی مستقل از دما مدل‌سازی می‌شود.

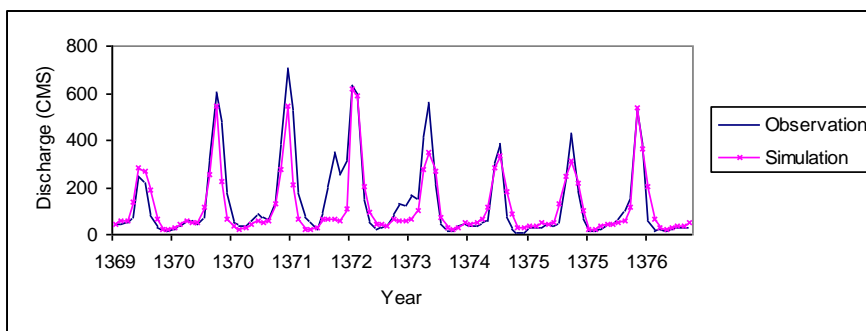
## نتایج

### الف- شبیه‌سازی دبی ورودی به دریاچه

برای تخمین دبی ماهانه ورودی به دریاچه، بر اساس متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی، از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده شد. در این خصوص، مدل‌های ورودی-های متنوعی از دما و بارش با تأخیرهای زمانی متفاوت استفاده گردید. برای آموزش و صحت یابی از داده‌های



شکل ۲- مقایسه دبی‌های محاسباتی و مشاهداتی مدل شبکه عصبی در مرحله آموزش



شکل ۳- مقایسه دبی‌های محاسباتی و مشاهداتی مدل شبکه عصبی در مرحله صحت یابی

در جدول (۱) نحوه تغییرات مشخصات بارندگی و دما نسبت به سناریوهای مختلف تغییر اقلیم در دوره‌های (۲۰۱۱-۲۰۳۰) و (۲۰۱۱-۲۰۶۰) بر اساس خروجی مدل Lars-WG نشان داده شده است. شکل‌های (۴) تا (۱۱)

ب- تغییرات ماهانه دما و بارش بر اساس داده‌های مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم

نیز رژیم تغییرات بارش و دمای متوسط ماهیانه ایستگاه‌های منتخب ارائه شده است.

جدول ۱- مقایسه مشخصات آماری دما و بارندگی تحت سناریوهای مختلف تغییر اقلیم

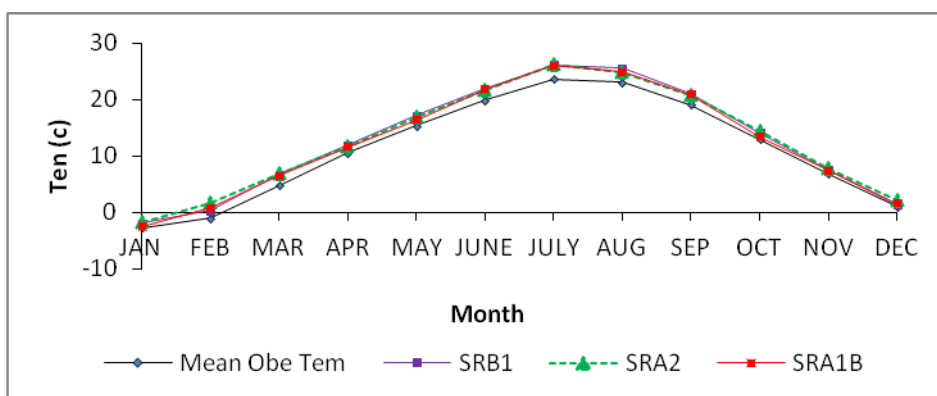
دوره	ایستگاه	مشخصه آماری	متوسط بارندگی ماهانه (میلیمتر)	دما (سانتیگراد)	متوسط بارندگی ماهانه (میلیمتر)	دما (سانتیگراد)	متوسط بارندگی ماهانه (میلیمتر)	دما (سانتیگراد)
			مشاهداتی		بازتولید شده			
1961-1990	خوی	میانگین	26.37	11.67	31.46	11.73		
		حداکثر	61.11	24.47	64.16	24.58		
		حداقل	5.66	-2.62	10.35	-2.30		
		انحراف معیار	15.22	9.03	15.57	8.95		
	ارومیه	میانگین	28.84	11.11	30.90	11.20		
		حداکثر	58.73	23.67	53.58	23.78		
		حداقل	2.62	-2.70	5.08	-2.40		
		انحراف معیار	17.88	8.94	18.08	8.82		
	تبریز	میانگین	25.68	12.25	28.36	12.39		
		حداکثر	52.71	26.21	51.44	26.40		
		حداقل	3.17	-2.66	5.03	-2.20		
		انحراف معیار	14.85	9.82	14.26	9.64		
سناریوی تغییر اقلیم			A2	A2	B1	B1	A1B	A1B
2011-2030	خوی	میانگین	30.06	13.28	29.81	13.27	30.32	12.97
		حداکثر	58.38	27.11	55.22	27.16	64.14	26.78
		حداقل	3.01	-1.83	2.53	-1.76	2.46	-2.41
		انحراف معیار	17.81	9.69	16.70	10.03	19.07	9.89
	ارومیه	میانگین	31.41	12.76	32.58	12.97	30.98	12.46
		حداکثر	58.29	26.25	61.37	26.78	61.99	26.02
		حداقل	2.16	-1.70	1.88	-2.41	1.77	-2.30
		انحراف معیار	20.86	9.53	21.46	9.89	20.64	9.77
	تبریز	میانگین	29.11	12.97	30.07	12.97	28.52	12.97
		حداکثر	51.33	26.78	61.17	26.78	53.52	26.78
		حداقل	2.98	-2.41	2.41	-2.41	4.51	-2.41
		انحراف معیار	16.51	9.89	17.56	9.89	16.27	9.89
2011-2060	خوی	میانگین	30.06	13.28	29.81	13.27	30.32	12.97
		حداکثر	58.38	27.11	55.22	27.16	64.14	26.78
		حداقل	3.01	-1.83	2.53	-1.76	2.46	-2.41
		انحراف معیار	17.81	9.69	16.70	10.03	19.07	9.89
	ارومیه	میانگین	31.41	12.76	32.58	12.97	30.98	12.46
		حداکثر	58.29	26.25	61.37	26.78	61.99	26.02
		حداقل	2.16	-1.70	1.88	-2.41	1.77	-2.30
		انحراف معیار	20.86	9.53	21.46	9.89	20.64	9.77
	تبریز	میانگین	29.11	12.97	30.07	12.97	28.52	12.97
		حداکثر	51.33	26.78	61.17	26.78	53.52	26.78
		حداقل	2.98	-2.41	2.41	-2.41	4.51	-2.41
		انحراف معیار	16.51	9.89	17.56	9.89	16.27	9.89



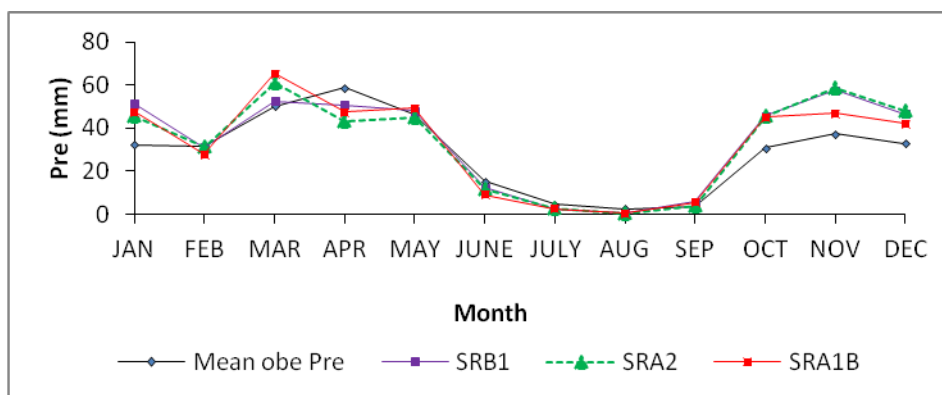


ایستگاه تبریز این رقم برابر ۴/۵ میلیمتر است. همچنین میانگین ماهانه دما تحت سناریوهای مذکور به طور متوسط ۱/۴۹، ۱/۴۸ و ۱/۵۱ درجه سلسیوس به ترتیب در ایستگاه‌های خوی، ارومیه و تبریز در طی دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ افزایش خواهد داشت که حاکی از وجود یک روند گرمایشی در سطح حوضه مورد مطالعه است. همچنین مقایسه نتایج شبیه‌سازی سناریوهای اقلیمی B1,A2 و A1B در دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱ نسبت به دوره ۲۰۳۰-۲۰۱۱ نیز نتایج مذکور را تأیید می‌نماید.

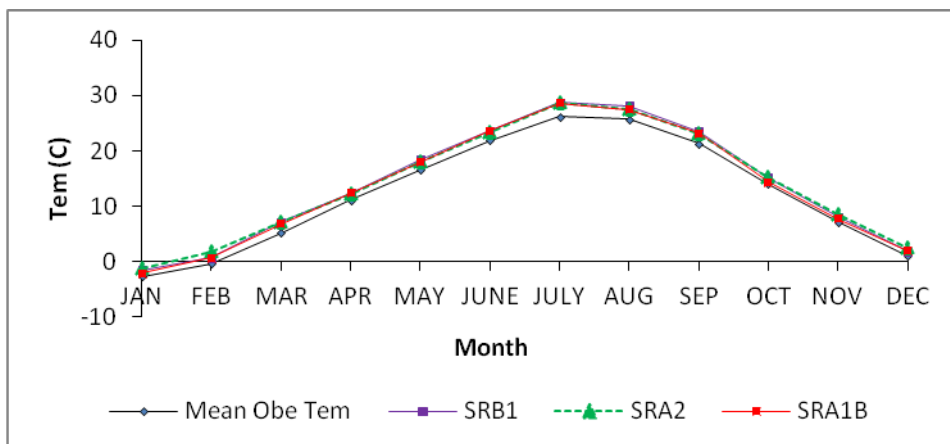
همان‌گونه که در جدول شماره (۱) مشاهده می‌گردد میانگین بارندگی ماهانه در سه ایستگاه خوی، ارومیه و تبریز در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ تحت سناریوی B1,A2 و A1B نسبت به دوره مشاهداتی قبل از یک روند افزایشی برخوردار هستند، بطوریکه متوسط میانگین بارندگی ماهانه در ایستگاه خوی با توجه به نتایج حاصل از سناریوهای ذکر شده به میزان ۲/۱۱ میلیمتر افزایش را نشان می‌دهد. در ایستگاه ارومیه نیز تغییرات بارش نسبت به دوره پایه، تحت سناریوهای B1,A2 و A1B به طور متوسط ۴/۲ میلی‌متر افزایش در میانگین بارش ماهانه پیش‌بینی شده است. و در



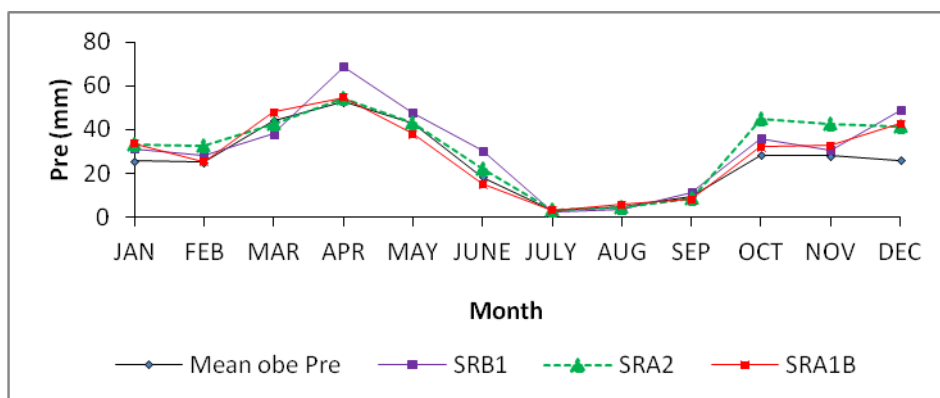
شکل ۴- تغییرات ماهانه دما بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه ارومیه ۲۰۱۱-۲۰۳۰



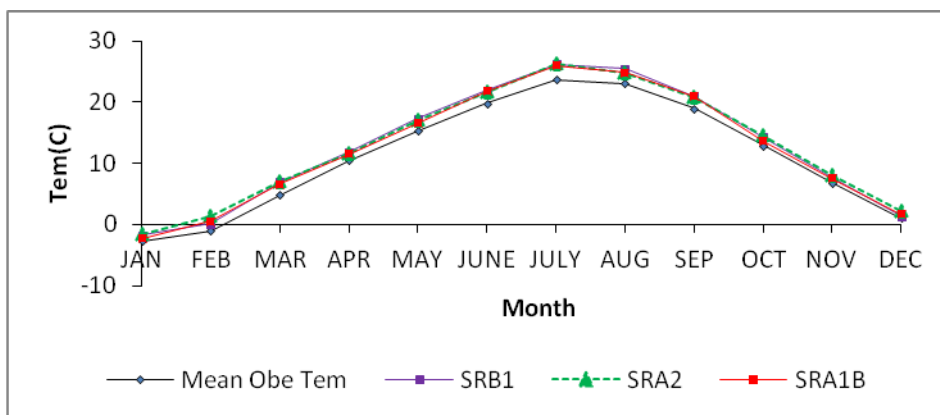
شکل ۵- تغییرات ماهانه بارندگی بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه ارومیه ۲۰۱۱-۲۰۳۰



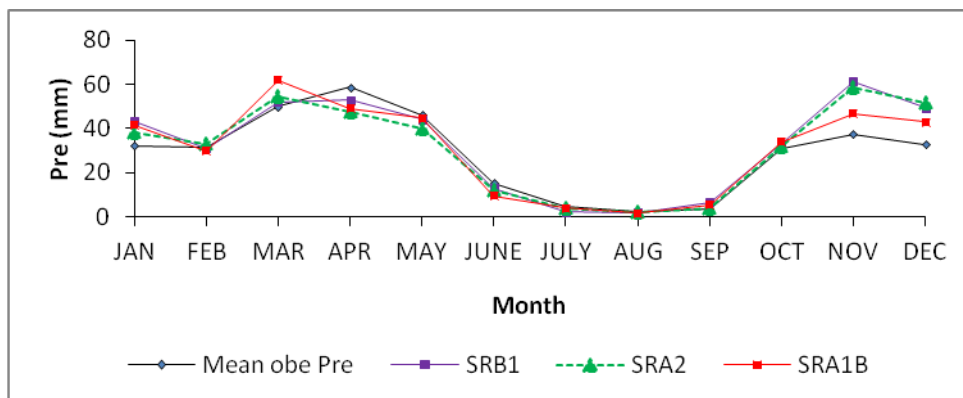
شکل ۶- تغییرات ماهانه دما بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه تبریز ۲۰۱۱-۲۰۳۰



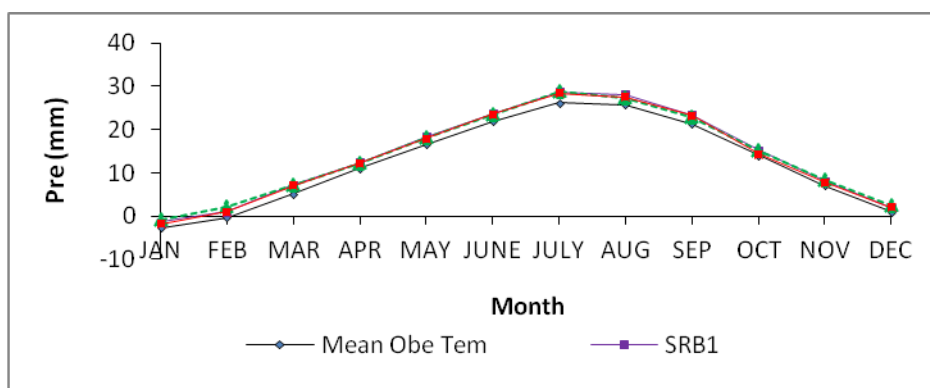
شکل ۷- تغییرات ماهانه بارندگی بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه تبریز ۲۰۱۱-۲۰۳۰



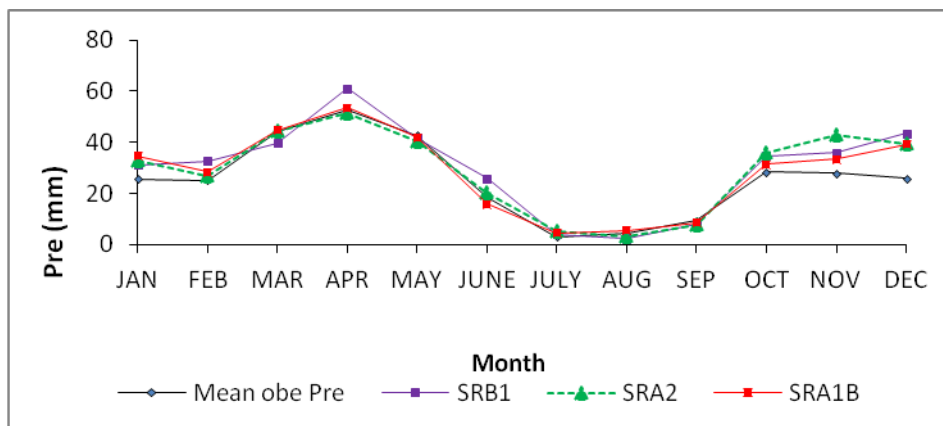
شکل ۸- تغییرات ماهانه دما بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه ارومیه ۲۰۱۱-۲۰۶۰



شکل ۹- تغییرات ماهانه بارندگی بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه ارومیه ۲۰۱۱-۲۰۶۰



شکل ۱۰- تغییرات ماهانه دما بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه تبریز ۲۰۱۱-۲۰۶۰



شکل ۱۱- تغییرات ماهانه بارندگی بر اساس داده‌های دوره مشاهداتی و سناریوهای تغییر اقلیم در ایستگاه تبریز ۲۰۱۱-۲۰۶۰

در تمامی ماه‌های سال نسبت به داده‌های مشاهداتی افزایش را نشان می‌دهند. مقایسه متوسط بارندگی داده‌های مشاهداتی و تغییر اقلیم در شکل‌های (۵)، (۷)، (۹)، (۱۱)

همان‌طور که در شکل‌های (۴)، (۶)، (۸)، (۱۰) مشاهده می‌گردد میانگین ماهانه دما تحت سناریوهای A1B و B1, A2 در دوره‌های ۲۰۱۱-۲۰۳۰ و ۲۰۱۱-۲۰۶۰

دسامبر می‌باشد. این روند در مورد ماه‌های ژانویه تا آوریل با شدت کمتری قابل ملاحظه است که در مجموع باعث کاهش بارندگی تحت تأثیر تغییر اقلیم در آینده منطقه مطالعاتی شده است.

### ج- شبیه‌سازی تراز آب دریاچه ارومیه در شرایط

#### تغییرات اقلیم

شبیه‌سازی تراز آب دریاچه ارومیه بر اساس مدل شبکه عصبی که ورودی‌های این مدل شامل دبی، بارندگی و تبخیر است. بدین جهت ابتدا ضرورت داشت تا ورودی‌ها بر اساس اطلاعات تغییرات اقلیم شبیه‌سازی گردند و به عبارت دیگر ورودی‌های مدل ۱۰ شبکه عصبی، تحت سناریوهای اقلیمی، برآورد شوند.

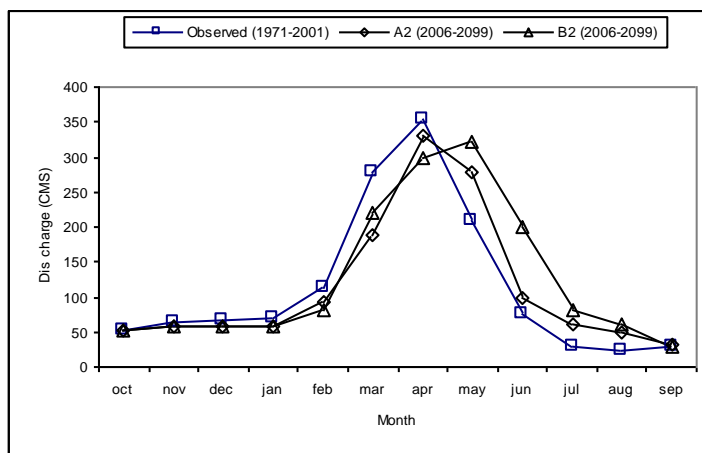
در مرحله بعد، دبی ورودی به دریاچه طی ۱۰۰ سال آینده بر اساس داده‌های دما و بارندگی مربوط به سناریوهای اقلیمی و مدل شبکه عصبی محاسبه شد. شکل دبی ورودی به دریاچه تحت سناریوهای  $A_2$  و  $B_2$  نشان داده شده است. با بررسی بر دبی‌های شبیه‌سازی شده مشاهده می‌گردد که دبی تحت تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم روندی کاهشی دارد. در این مورد نتایج تحت سناریوی  $A_2$  روند کاهشی شدیدتری نسبت به سناریوی  $B_2$  دارد.

نشان داده شده است. در ایستگاه ارومیه هر سه سناریوی مورد بررسی در ماه‌های ژانویه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر نسبت به دوره پایه از روند افزایشی قابل ملاحظه‌ای برخوردارند و در ماه آوریل هر سه سناریو بارش کمتری را نسبت به دوره مشاهداتی نشان داده‌اند شکل (۵).

در شکل (۷) مقایسه متوسط بارندگی داده‌های مشاهداتی و تغییر اقلیم در دوره ۲۰۱۱-۲۰۳۰ در ایستگاه تبریز حاکی از افزایش میانگین بارش ماهانه در تمامی ماه‌های سال به جز ماه مارس تحت سناریوی  $B_1$  است. سناریوی  $A_2$  در تمامی ماه‌های سال افزایش در متوسط بارش ماهانه را نشان داده و سناریوی  $A_1B$  از ماه می تا سپتامبر بارش کمتری را پیش‌بینی کرده است.

در ایستگاه ارومیه شکل شماره (۹) برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۱۱ سناریوهای  $A_1B$  و  $B_1$ ،  $A_2$  در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، نوامبر و دسامبر افزایش و در ماه آوریل کاهش در میانگین بارندگی ماهانه قابل مشاهده است. همچنین بیشترین روند افزایش در میانگین بارش ماهانه با توجه به شکل شماره (۱۱) در ایستگاه تبریز تحت سناریوی  $B_1$  قابل پیش‌بینی است بطوریکه در تمامی ماه‌های سال به جز ماه مارس این افزایش قابل مشاهده است.

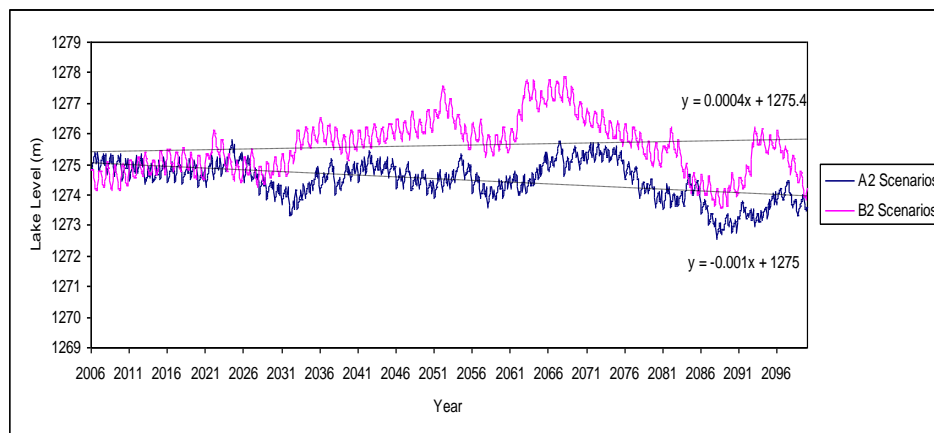
مقایسه متوسط بارندگی داده‌های مشاهداتی و تغییر اقلیم نیز حاکی از وجود روند کاهشی شدید در ماه‌های آگوست تا



شکل ۱۲- رژیم ماهانه دبی ورودی به دریاچه ارومیه طی دوره مشاهداتی و بر اساس سناریوهای اقلیمی

و کاربرد مدل شبکه عصبی تراز آب دریاچه را تا سال ۲۰۹۹ شبیه‌سازی و نتایج در شکل (۱۳) ارائه شده است.

با توجه به دبی محاسبه شده و همچنین استفاده از داده‌های بارندگی و دمای برآورد شده تحت سناریوهای تغییر اقلیمی



شکل ۱۳- شبیه‌سازی تراز دریاچه ارومیه تا سال ۲۰۹۹ تحت سناریوهای  $A_2$  و  $B_2$  از مدل

بنابراین بررسی تأثیرات این عوامل که داخلی محسوب می‌گردد و عوامل خارج از سیستم که مهم‌ترین آن تغییر اقلیم است، بر تراز آب دریاچه امری ضروری به نظر می‌رسد. تحقیق حاضر تلاشی برای بررسی و شبیه‌سازی تراز دریاچه تحت شرایط اقلیمی شرح داده شده در بالا بوده است. در جهت نیل به این هدف تحلیل‌های متفاوتی به انجام رسیده که مهم‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از: شبیه‌سازی تراز آب دریاچه بر اساس روش شبکه‌های عصبی مصنوعی و بررسی نقش تغییرات اقلیم در نوسانات تراز آب دریاچه و در یک افق ۱۰۰ ساله با استفاده از مدل‌های GCM نتایج زیر از این تحقیق قابل‌ارائه می‌باشد:

- شبکه عصبی مصنوعی با ورودی‌های همزمان ماهیانه دبی، متوسط بارندگی و تبخیر با دقت بالایی تراز و نوسانات آب دریاچه ارومیه را شبیه‌سازی نمود.

- استفاده از شبکه عصبی مصنوعی دارای کمترین حساسیت نسبت به عدم قطعیت پارامترهای ورودی به آن می‌باشد.

- تغییر اقلیم نقش مؤثری در کاهش تراز دریاچه در سال‌های آینده خواهد داشت. بر این اساس روند کاهش تراز دریاچه در اثر اعمال سناریوی اقلیمی متکی بر گسترش

با توجه به شکل مزبور تحت سناریوی  $A_2$  حداکثر و حداقل تراز دریاچه تا سال ۲۰۹۹ به ترتیب برابر با ۱۲۷۵/۸ و ۱۲۷۲/۶ متر از سطح دریا خواهد بود. این مقادیر برای سناریوی  $B_2$  به ۱۲۷۷/۹ و ۱۲۷۳/۵ می‌رسد. همچنین مشاهده می‌گردد که تراز دریاچه روندی کاهشی داشته که این روند در اثر سناریوی  $A_2$  بیشتر است. در این حالت میانگین ماهانه تراز آب دریاچه از ۱۲۷۶/۲ متر در دوره ۲۰۰۱-۱۹۷۱ به ۱۲۷۴/۶ متر تحت سناریوی  $A_2$  و ۱۲۷۵/۵ متر تحت سناریوی  $B_2$  در دوره ۲۰۹۹-۲۰۰۶ می‌رسد که حاکی از کاهشی چشم‌گیر در تراز آب دریاچه است.

## جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

دریاچه ارومیه از زیستگاه‌های با اهمیت کشور است. با توجه به تغییرات زیاد بارش در حوضه مربوط به این دریاچه و نیز شیب کم سواحل، تراز، عمق و سطح این دریاچه دچار نوسانات و تغییرات زیادی است. علاوه بر این توسعه طرح‌های منابع آبی طی سال‌های اخیر و بخصوص احداث سد‌های مخزنی بر روی رودخانه‌ها، تأثیراتی بر ورودی‌ها و در نتیجه تراز آب این دریاچه داشته است.

- Fluctuation Of Continental Lakes: A RS And GIS Based Approach In Central Mexico, Water Resources Management (2006) 20, 291–311.
8. Mendoza M.E., G. Bocco, M., Bravo, E.L., Granados and W. R., Osterkamp, (2006) Predicting Water-Surface Fluctuation Of Continental Lakes: A RS And GIS Based Approach In Central Mexico, Water Resources Management (2006) 20, 291–311.
  9. Morid, S. and A. R. Massah (2004) Modelling Zayandeh Rud Basin under Climate Change. British Hydrological Society, Volume I, 50-56.
  10. Namdar Ghanbari, R. and H. R. Bravo, (2008) Coherence between atmospheric teleconnections, Great Lakes water levels, and regional climate, Advances in Water Resources.
  11. Namdar Ghanbari, R. Bravo, H. R. (2008). Climate signals in groundwater and surface water systems: Spectral analysis of hydrologic processes. Project I.D. WR05R005 .
  12. Propastin P. A. (2008) Simple model for monitoring Balkhash Lake water levels and Ili River discharges: Application of remote sensing, Lakes & Reservoirs, Research and Management , 13, 77–81.
  13. Reis S. and H. M. Yilmaz, (2008). Temporal monitoring of water level changes in Seyfe Lake using remote sensing. Hydrological Process.
  14. Yu, P.S., Yang, T.C. and Wu, C.K. (2002). Impact of climate change on water resources in southern Taiwan, Journal of Hydrology, Vol. 260, 161-175.
- مؤلفه‌های اقتصادی تقریباً دو برابر بیشتر از اعمال سناریوهای متکی بر حفظ محیط زیست، نقش دارد.
- منابع**
1. Alborzi, M , 2001, Introduction to neural networks ,First Edition, sharif University of Technology, Tehran.
  2. Delavar, M, 2005, Analytical model level fluctuations Urmia lake water and Risk analysis of coastal, Thesis submitted for Degree of Master , Tarbiat Modares University, Tehran.
  3. Hanson, R.T., M.W. Newhouse and M.D., Dettinger, (2004). A methodology to assess relations between climatic variability and variations in hydrologic time series in the southwestern United States. Journal of Hydrology.
  4. IPCC, (1996a). Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, 572 pp.
  5. Jones, R.N. (2000) Managing uncertainty in climate change projections—issues for impact assessment. Climatic Change, 45, 403–419.
  6. Massah Bavani , A, R & S. Morid , 2006, Impact of Climate Change on the Water Resources of Zayandeh Rud Basin Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 9, No. 4, pp. 17-27.
  7. Mendoza M.E., Bocco G., Bravo M., Granados E.L. and Osterkamp W. R.. 2006. Predicting Water-Surface