



The Impact of Climate Change on Urmia Lake Water Level

H. Mahsfar^{1*}, R. Maknoon² and B. Saghafian³

Abstract

The Urmia Lake is one of the largest and most important natural ecosystems in Iran. Temperature increase, high fluctuation in rainfall, and frequent droughts have caused high fluctuations in the lake water level. In this research, the monthly change of the Urmia Lake water level under the climate change condition was simulated by the Adaptive Neuro - fuzzy inference system (ANFIS) from 2000-2100 by the HadCM3 model under SRES emission scenario (A2 and B2). Monthly inputs to the model are the rain on the lake, the temperature mean values, and the total inflow discharge. The effect of climate change on future water level based on the projection of the results from HadCM3 model under A2 scenario has shown the increase in average annual temperature and decrease in average annual lake level by 2.80 °C and 4.60 m, respectively. The B2 scenario model predicted increase in the average annual temperature and decrease in the average annual lake level by 2.35 °C and 3.93 m, respectively. Comparin the A2 and B2 scenarios, it was concluded that the A2 scenario predicted a more critical state for the Urmia Lake.

Keywords: Climate change, GCM projections, ANFIS, Urmia Lake.

Received: February 4, 2009
Accepted: February 20, 2011

اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه

حمید مهسافر^{۱*}، رضا مکنون^۲ و بهرام ثقفیان^۳

چکیده

دریاچه ارومیه یکی از بزرگترین و مهم‌ترین اکوسیستم‌های آبی در ایران می‌باشد. با توجه به افزایش دما، تغییرات زیاد در بارندگی و همچنین وقوع خشکسالی در سطح حوضه، تراز آب دریاچه دچار تغییرات زیادی شده است. در این تحقیق تغییرات تراز سطح دریاچه ارومیه ناشی از تغییر اقلیم براساس مدل HadCM3 از سری مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوهای گازه‌های گلخانه‌ای (A2 و B2) با استفاده از شبکه‌های نرو فازی (ANFIS) برای دوره ۲۰۰۰-۲۱۰۰ شبیه سازی شده است. ورودی‌های ماهانه مدل شبیه سازی شامل بارش بر سطح دریاچه، توسط دمای حوضه آبریز و دبی ورودی به دریاچه می‌باشد. اثرات تغییر اقلیم بر تراز آبی دریاچه ارومیه براساس پیش‌بینی مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 حاکی از افزایش میانگین سالانه دما و کاهش میانگین سالانه تراز سطح دریاچه به ترتیب به اندازه ۲/۸۰ درجه سانتیگراد و ۴/۶۰ متر می‌باشد. همچنین سناریوی B2 حاکی از افزایش میانگین سالانه دما و کاهش میانگین سالانه تراز سطح دریاچه به ترتیب به اندازه ۲/۳۵ درجه سانتی‌گراد و ۳/۹۳ متر می‌باشد. با مقایسه سناریوهای A2 و B2 مشاهده گردید که سناریوی A2 حالت بحرانی‌تری را برای شرایط آبی دریاچه ارومیه پیش‌بینی می‌کند و دریاچه تحت سناریوی A2 تا سال ۲۱۰۰ خشک می‌شود.

کلمات کلیدی: تغییر اقلیم، مدل‌های گردش عمومی، شبکه نرو فازی، دریاچه ارومیه.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۶ بهمن ۱۳۸۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱ اسفند ۱۳۸۹

1- Former M.sc Student of Water Eng., Dept. of Civil and Environmental Eng., University of Amirkabir, Tehran, Iran, Email: hamidm_engineer@yahoo.com
2- Assistant Professor, Dept. of Civil and Environmental Eng., University of Amirkabir, Tehran, Iran.
3- Associate Professor of Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Tehran, Iran.
*- Corresponding Author

۱- فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۲- استادیار دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
۳- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.
*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

بین زمان بارش‌های حداکثر و زمان رسیدن تراز دریاچه به نقطه پیک وجود دارد (Mistry and Conway, 2003). تحقیقی دیگر توسط Eitzinger et al. (2002) با هدف بررسی اثرات تغییر اقلیم بر روی تراز دریاچه کم آب Neusiedler در شرق استرالیا برای دو دهه ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ انجام گردید. نتایج نشان از افزایش دما، کاهش بارش و تراز سطح دریاچه در دهه دوم نسبت به دهه اول بود.

(Atsushi et al. 2004) به منظور بررسی نقش تغییرات اقلیم بر روی نوسانات تراز آب دریاچه Bikal در سبیری جنوبی، نحوه تغییرات تراز ۱۰۰۰۰۰ ساله با استفاده از نمونه‌گیری از رسوبات کف دریاچه در دوره‌های مختلف اقلیمی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که در دوران‌های گرم منطقه تراز آب دریاچه بالا و در دوران‌های سرد آن تراز آب افت قابل ملاحظه‌ای داشته است. علت این امر ناشی از ورود حجم بیشتری از آب به دریاچه در دوران گرم منطقه بوده است.

وجود روند برای تراز سطح دریاچه Abyata در آفریقا برای سال‌های ۱۹۷۶ تا ۲۰۰۰ توسط Ayenew (2004) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از وجود یک روند کاهشی در تراز سطح دریاچه تا ۴ متر بود. Gunn et al. (2005) اثرات تغییر اقلیم را بر روی افزایش تراز دریاها به خصوص افزایش ارتفاع دریاچه Malaren برای سال‌های ۲۰۱۰ - ۲۰۷۰ بررسی کردند. آنها در این تحقیق از مدل ECHAM4 از سری مدل‌های GCM تحت سناریوی A2 استفاده کردند. نتایج حاکی از افزایش تراز سطح دریاچه Malaren به اندازه ۵۰ سانتی‌متر برای دوره آتی بود. همچنین می‌توان به پیش‌بینی بلند مدت رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی توسط عراقی نژاد و کارآموز (۱۳۸۴) اشاره کرد. هدف اصلی این تحقیق توسعه و پیش‌بینی مدل تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه توسط شبکه‌های نرو فازی و به کارگیری آن در سناریوهای تغییر اقلیم تا پایان قرن حاضر می‌باشد.

۲- روش تحقیق

برای انجام این تحقیق ابتدا متوسط داده‌های ماهانه ۳۰ ساله (۱۳۸۰-۱۳۵۰) بارش بر روی سطح دریاچه ارومیه، کل جریان‌های ورودی به دریاچه و دمای ایستگاه ارومیه از موسسه تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو و سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری گردید. سپس مدل دبی ورودی به دریاچه و مدل تراز دریاچه با استفاده از داده‌های فوق توسط شبکه‌های نرو فازی (ANFIS) شبیه‌سازی گردید. در مرحله بعدی داده‌های ۱۰۰ ساله (۲۰۰۰ - ۲۱۰۰)

دگرگونی اقلیم یک پدیده طبیعی است که در مقیاس زمانی بلند مدت به وقوع می‌پیوندد. مهمترین فاکتورهایی که تغییر اقلیم را تشدید می‌کنند عبارتند از: تغییر تابش منعکس شده خورشید، تغییر مدار زمین، گازهای گلخانه‌ای و رانش قاره‌ها. از نتایج تغییر اقلیم می‌توان به گرم‌ترین سال در انگلستان ۱۹۵۹ تا ۱۹۷۵ اشاره کرد که خود شاهدهی بر تغییر اقلیم است. تغییرات عمده در میزان بارندگی، تغییرات فصلی و تداوم خشکسالی از جمله آثار قابل پیش‌بینی گرمایش جهانی هستند. یکی از عوارض تغییرات آب و هوا در سال‌های اخیر افزایش عمومی درجه حرارت هوا است (عراقی نژاد و کارآموز، ۱۳۸۴). به گزارش انجمن چند دولتی تغییر اقلیم^۱ (IPCC) دمای سطح زمین به دلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای ۰/۳ تا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد در طول قرن گذشته افزایش داشته است و بر اساس سناریوی انتشار گازهای گلخانه‌ای^۲ (SRES) پیش‌بینی می‌گردد که تا سال ۲۱۰۰ میلادی مقدار آن ۱ تا ۳/۵ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. طبق گفته IPCC مناطق آسیایی در مقابل تغییر اقلیم آسیب‌پذیر نشان می‌دهند (IPCC, 2001). تراز آب دریاچه‌ها نسبت به اقلیم و فاکتورهای مرتبط با آن واکنش معنی‌داری نشان می‌دهند. بنابراین نوسانات دریاچه‌ها را می‌توان به واسطه این عوامل و فاکتورها تجزیه و تحلیل کرد (Harrison, 1989).

دلاور (۱۳۸۴) در تحقیقی با هدف تحلیل و ارائه مدل نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه و آنالیز ریسک مناطق ساحلی با ورودی همزمان تبخیر و بارش بر روی سطح دریاچه به اضافه دبی ورودی، نوسانات تراز دریاچه را بر اساس مدل HadCM3 تحت سناریوهای تغییر اقلیم با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از کاهش تراز دریاچه تحت هر دو سناریوی A2 و B2 در طی سال‌های آینده بود. مطالعه‌ای دیگر با هدف بررسی آثار ناشی از تغییر اقلیم بر روی دما و بارندگی و رواناب در حوضه آبریز زاینده‌رود اصفهان بر اساس مدل گردش عمومی HadCM3 برای دو دوره ۲۰۱۰-۲۰۳۹ و ۲۰۷۰-۲۰۹۹ میلادی تحت دو سناریوی A2 و B2 با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی توسط مساح و مرید (۱۳۸۴) انجام گرفت. نتایج حاکی از افزایش دما، کاهش بارندگی، دبی و افزایش توالی سال‌های خشکسالی در هر دو دوره تحت هر دو سناریوهای A2 و B2 بود. در مطالعه‌ای دیگر اثرات تغییر اقلیم بر روی افزایش تراز دریاچه Victoria در شرق آفریقا مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق نتایجی بدست آمد که نشان می‌داد بین نوسانات تراز دریاچه و بارش بر روی سطح دریاچه ارتباط و همبستگی مستقیمی وجود دارد. همچنین یک زمان تاخیر بلند مدت

متغیرهای اقلیمی دما و بارش مربوط به مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 بر گرفته از سایت IPCC، کوچک مقیاس شدند. در نهایت تراز دریاچه با استفاده از متغیرهای اقلیمی دما و بارش مدل HadCM3 و دبی شبیه سازی شده توسط شبکه‌های نرو فازی شبیه سازی گردید.

گرچه تحقیقات انجام شده قبلی بر روی تراز دریاچه ارومیه روش‌های قابل قبولی را به منظور شبیه‌سازی بیلان و تراز دریاچه ارائه می‌کنند ولی در تمام این مطالعات از روش شبکه‌های عصبی استفاده شده است. در این تحقیق از روش جدید شبکه‌های نرو فازی جهت شبیه سازی تراز دریاچه استفاده شده است. شبکه‌های نرو فازی به دلیل قابلیت آسان خود آموزی، تصحیح و بهینه سازی سریع و موثر نسبت به شبکه‌های عصبی برتری دارد (شعبانی‌نیا و سعیدنیا، ۱۳۸۶).

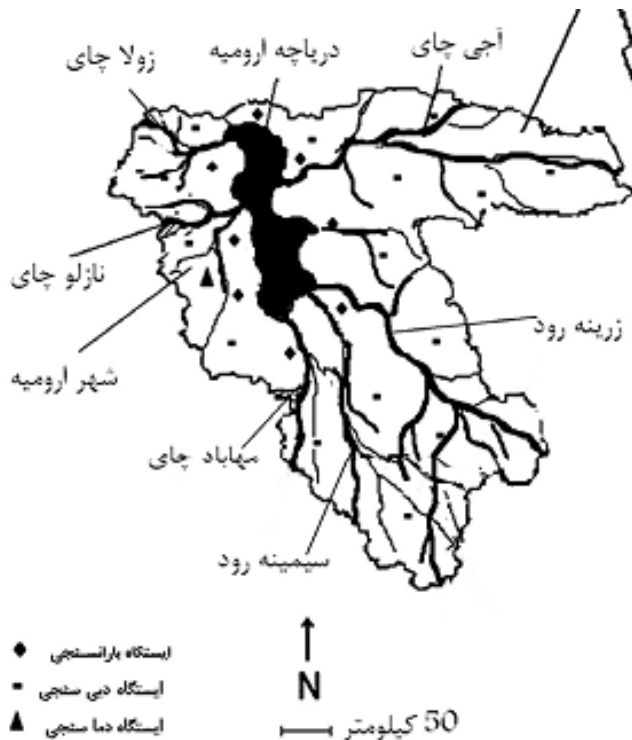
۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مطالعاتی

دریاچه ارومیه در شمال غرب ایران بیستمین دریاچه جهان از لحاظ وسعت محسوب می‌گردد. وسعت حوضه آبریز دریاچه ۵۲۳۵۵ کیلومتر مربع است که از این مقدار حدود ۵۸۲۲ کیلومتر مربع وسعت

خود دریاچه مستقیماً با ارتفاع آب دریاچه رابطه داشته و با افزایش یا کاهش آن تغییر پیدا می‌کند. تراز کف دریاچه از سطح آزاد دریاها ۱۲۶۸ متر است. متوسط درجه حرارت سالیانه آن ۱۱ درجه سانتیگراد و میانگین سالانه بارندگی در این منطقه بین ۱۸۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر متغیر است. رودخانه‌های عمده حوضه عبارتند از نازلوچای، باراندوزچای، آجی چای، زرینه رود و سیمینه رود، مهاباد چای و زولا چای و مجموعه‌ای دیگر از رودخانه‌های بخش غربی دریاچه ارومیه. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و رودهای اصلی ورودی به دریاچه را نشان می‌دهد.

تراز سطح آب یکی از مشخصه‌های مهم دریاچه‌ها می‌باشد که ارتباط مستقیمی با بیلان آبی دریاچه دارد. در چند سال اخیر شاهد تغییراتی در روند بارندگی و تغییر اقلیم از جمله افزایش تدریجی دما، کاهش میزان بارندگی در حوضه دریاچه ارومیه بودیم که منجر به کاهش شدید تراز سطح آب دریاچه شده است. آگاهی از نحوه نوسانات تراز سطح آب دریاچه‌ها می‌تواند در تفسیر و بررسی تغییرات ذخیره آبی و همچنین مسائل مربوط به برنامه‌ریزی برای مدیریت منابع آب، مباحث زیست محیطی و ساخت و ساز ساحلی موثر باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و رودهای اصلی ورودی به دریاچه

۳-۲- مدل‌های گردش عمومی جو

بر اساس توصیه IPCC معتبرترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی فرایندهای موجود در یک سیستم اقلیمی بر اساس افزایش گازهای گلخانه‌ای می‌باشند. مدل‌های گردش عمومی جو^۴ (AOGCM) بر پایه قوانین فیزیکی که بوسیله روابط ریاضی ارائه می‌شوند استوار می‌باشند. این روابط در یک شبکه سه بعدی در سطح کره زمین حل می‌گردند. دقت مکانی افقی مدل‌ها در سطح خشکی‌های کره زمین نوعاً ۲۵۰ کیلومتر و دقت مکانی قائم آن برابر ۱ کیلومتر می‌باشد. در حالی که دقت مکانی قائم در اقیانوس‌ها ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر و دقت مکانی افقی برابر ۱۲۵ تا ۲۵۰ کیلومتر می‌باشد. این مدل‌ها در چند دهه اخیر با افزایش قدرت رایانه‌ها توسعه چشمگیری یافته‌اند. تاکنون مدل‌های زیادی از گردش عمومی جو توسط مراکز مختلف تحقیقات ارائه شده است که از جمله می‌توان به مدل‌های HadCM3, HadCM2, GISS, UKMO, GFDL, ECHAM4, CSIRO اشاره کرد. در تمام این مدل‌ها هشت متغیر اقلیمی شامل میزان بارندگی، میانگین فشار سطح دریاها، تابش خورشیدی، میانگین دمای هوا، دمای نقطه شبنم، حداقل دمای هوا، حداکثر دمای هوا و سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوهای مختلف انتشار شبیه‌سازی شده‌اند (Wilby, 2004). در این تحقیق از خروجی‌های مدل HadCM3 در مقیاس ۲/۵° (عرض جغرافیایی) × ۳/۷۵° (طول جغرافیایی) تحت سناریوهای A2 و B2 استفاده شده است. سناریوی A2 بر رشد متوسط اقتصاد، تکنولوژی و نرخ رشد سریع جمعیت و دنیایی متمایز با وضعیت فعلی تاکید دارد. سناریوی B2 بر فعالیتهای اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی پایدار، رشد متوسط اقتصادی تاکید دارد (Gleick, 1987).

۳-۳- کوچک مقیاس کردن داده‌ها

یکی از مشکلات عمده در استفاده از خروجی مدل‌های GCM در مطالعات تاثیر تغییر اقلیم در سطوح منطقه‌ای، بزرگ بودن مقیاس مکانی سلول محاسباتی آنها نسبت به منطقه مورد مطالعه است. بنابراین لازم است تصحیحاتی بر روی آنها انجام شود. تصحیحات شامل دو مرحله کوچک مقیاس کردن آماری و کوچک مقیاس کردن مکانی می‌باشد.

۳-۳-۱- کوچک مقیاس نمودن آماری خروجی‌های مدل HadCM3

سری زمانی ماهانه متغیرهای اقلیمی دما و بارش مدل HadCM3 بر گرفته شده از سایت IPCC با توجه به موقعیت منطقه مورد مطالعه از فایل دوره پایه مدل‌های اقلیمی برای دوره ۳۰ ساله استخراج

می‌شود. این کار با استفاده از برنامه نرم افزاری GCM-RDP (GCM-Retrieve Data Program) تهیه شده انجام پذیرفت (مساح و مرید، ۱۳۸۴). در گام بعدی تصحیح و تعدیل داده‌های ماهانه اقلیمی دما و بارش با روش Alcamo et al. (1997) که مبنای آن تصحیح بر اساس تفاوت میانگین سالانه داده‌های مشاهداتی و شبیه سازی شده است صورت می‌پذیرد.

$$T'_{GCM} = T_{GCM} - (\bar{T}_{GCM} - \bar{T}_{CRU}) \quad (۱)$$

$$P'_{GCM} = P_{GCM} \times (\bar{P}_{CRU} / \bar{P}_{GCM}) \quad (۲)$$

T'_{GCM} و P'_{GCM} به ترتیب دما و بارش تصحیح شده برای ماه مورد نظر، T_{GCM} و P_{GCM} دما و بارش تصحیح نشده شبیه سازی شده، \bar{T}_{GCM} و \bar{P}_{GCM} به ترتیب میانگین سالانه دما و بارش شبیه سازی شده برای دوره ۳۰ ساله مبنای در مدل GCM همچنین \bar{T}_{CRU} و \bar{P}_{CRU} به ترتیب میانگین سالانه دما و بارش مشاهداتی برای دوره ۳۰ ساله مورد نظر می‌باشد. گام نهایی تغییر مختصات سلول‌های محاسباتی از طول و عرض جغرافیایی به کارتیزین می‌باشد. به همین منظور از یک روش بسیار مرسوم، سیستم تصویر استوانه‌های هم مساحت (Area Cylindrical projection) در محیط MATLAB استفاده می‌شود. در این روش سطح کره زمین به صورت محاطی بر روی سطح استوانه محیطی تصویر می‌شود. به این ترتیب مساحت سلول‌های روی کره زمین به گونه‌ای وزن‌دهی می‌شوند تا در هنگام تصویرسازی در سیستم استوانه‌ای دارای مساحت یکسان گردد.

۳-۳-۲- کوچک مقیاس مکانی خروجی‌های مدل HadCM3 به روش وزن دهی عکس فاصله^۵ (IDW)

در مرحله کوچک مقیاس مکانی داده‌ها از روش درون‌یابی سلول‌های مجاور منطقه مورد مطالعه جهت حذف عدم پیوستگی در تغییرات بین متغیرهای اقلیمی شبیه سازی شده در سایت‌های نزدیک به هم در دو سلول متفاوت استفاده می‌شود. برای محاسبات درون‌یابی باید به این نکته توجه داشت که مسئله مهم در روش درون‌یابی تعداد سلول‌های مورد نیاز در اطراف سلول اصلی می‌باشد. (Wilby et al., 2004) (Hewiston et al., 2006). در این تحقیق از ۲۴ سلول و روش IDW استفاده شده است. در این روش فرض بر این است که نقاط نزدیک به نقطه مورد درون‌یابی (نقطه مرکزی) تاثیر بیشتری را نسبت به نقاط دورتر بر مقدار کمیت مورد درون‌یابی دارند.

$$Z^*(x_j) = \sum_{i=1}^n Z(x_i) \frac{\frac{1}{(d_{ij})^p}}{\sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{(d_{ij})^p} \right]} \quad (۳)$$

پارامترهای تابع عضویت آن به روش انتشار برگشتی (Back Propagation) به تنهایی و یا همراه با روش حداقل مربعات (Least Square) تعدیل می شوند. آموزش مدل به این صورت است که FIS، داده‌هایی که برای آموزش آماده شده است را تقلید می‌کند. بدین معنی که سیستم یاد می‌گیرد با ورودی داده شده خروجی‌هایی را که ما آموزش داده‌ایم، تولید کند. این کار با تصحیح پارامترهای تابع عضویت (MF) بر اساس معیار خطای انتخاب شده انجام می‌گیرد. به منظور سنجش کیفیت مدل FIS در پیش بینی مجموعه مقادیر خروجی باید عمل اعتبار یابی انجام پذیرد. بدین صورت که یک بردار ورودی از داده‌های ورودی- خروجی را که FIS تا به حال آن را آموزش ندیده، به مدل FIS آموزش دیده نشان می‌دهند تا اعتبار مدل مورد سنجش قرار گیرد (Jang, 1993).

اولین گام در شبیه سازی با مدل ANFIS انتخاب تابع عضویت است. تابع عضویت گوسی gauss2mf و تابع عضویت زنگوله‌ای gbellmf به علت همواری و پیچیدگی کم از پرکاربردترین توابع عضویت ANFIS می‌باشند. در این تحقیق تمامی توابع عضویت (MF) تک تک مورد استفاده و آزمایش قرار گرفته است و در نهایت با توجه به خروجی بهتر تابع گوسی gauss2mf به عنوان تابع عضویت برای تمامی ورودی خروجی در مدل ANFIS انتخاب شده است. برای آموزش و بهینه سازی مدل از روش شبکه انتشار برگشتی استفاده شده است. ساختار FIS بکار رفته جهت شبیه سازی تراز دریاچه متشکل از ۲۷ قانون فازی و ۳ متغیر مستقل دما، بارش و دبی می‌باشد.

در رابطه بالا $Z^*(x_j)$ مقدار کمیت تخمین زده شده در نقطه x_j ، $Z(x_i)$ مقدار کمیت اندازه‌گیری شده در نقطه x_i ، d_{ij} فاصله بین نقطه $Z(x_i)$ و $Z^*(x_j)$ و p توان وزن دهی می‌باشد. توان وزن دهی P مشخص کننده نرخ کاهش وزن داده شده به نقاط، نسبت به افزایش فاصله آنها از نقطه تخمین می‌باشد. در این تحقیق از توان $P=1$ استفاده شده است (Ahrens, 2006). جدول ۱ مقایسه میانگین سالانه متغیرهای اقلیمی مشاهده‌ای با مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 را نشان می‌دهد.

طبق جدول ۱ میانگین دمای متوسط ماهانه در مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۲/۸ و ۲/۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش نشان می‌دهد. همچنین میانگین بارش ماهانه تحت سناریوی A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۱۱ و ۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. میانگین دبی ماهانه شبیه‌سازی شده تحت سناریوی A2 و B2 نسبت به دبی دوره مشاهداتی به ترتیب ۱۳/۵ و ۲/۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. کاهش میزان دبی تحت هر دو سناریو در دروره آتی از افزایش دما، تبخیر و همچنین کاهش بارندگی نتیجه می‌شود.

۳-۴- شبکه‌های نرو فازی (ANFIS)

شبکه‌های نرو فازی (ANFIS) در حقیقت ترکیبی از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های فازی می‌باشد. کلمه ANFIS اسم خود را از عبارت سیستم استنتاج تطبیقی فازی عصبی گرفته است. با استفاده از یک مجموعه اطلاعات ورودی- خروجی، تابع جعبه ابزار منطق فازی ANFIS یک سیستم استنتاج فازی (FIS) می‌سازد که

جدول ۱- مقایسه میانگین ماهانه متغیرهای اقلیمی مشاهده‌ای با خروجی مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2

مدل HadCM3 (۲۰۰۰-۲۱۰۰)		دوره مشاهداتی ۱۹۷۱ - ۲۰۰۰	مشخصات آماری	متغیر اقلیمی
B2	A2			
۲۲/۰۹	۲۰/۶۷	۲۳/۲۴	میانگین	بارش (mm)
۳۹/۵۱	۳۵/۹۳	۴۵/۷۲	ماکزیمم	
۱/۰۳	۱/۹۰	۱/۱۲	مینیمم	
۱۶/۶۳	۱۶/۸۶	۲۰/۹۴	انحراف معیار	
۱۳/۵۲	۱۳/۹۷	۱۱/۱۷	میانگین	دمای متوسط (°C)
۲۹/۴۹	۳۲/۹۵	۲۶/۳۰	ماکزیمم	
-۰/۴۳	-۰/۳۹۰	-۱/۹۳	مینیمم	
۹/۳۳	۹/۴۶	۸/۸۷	انحراف معیار	
۱۵۸/۷۷	۱۴۰/۲۱	۱۶۲/۴۴	میانگین	دبی (cms)
۴۷۹/۱۲	۴۲۸/۸۲	۴۷۲/۷۹	ماکزیمم	
۴۵/۳۹	۳۴/۷۵	۴۰/۴۱	مینیمم	
۷۲/۰۶	۶۷/۰۹	۷۵/۶۳	انحراف معیار	
(شبیه سازی شده)	(شبیه سازی شده)	(مشاهده ای)		

۳-۴-۱- بررسی ورودی‌های مدل ANFIS

مهمترین عامل در انتخاب ورودی‌های مدل در طراحی شبکه‌های نرو فازی، تاثیرگذارترین عوامل موثر بر نوسانات تراز دریاچه ارومیه می‌باشد. این عوامل موثر که به عنوان ورودی مینا خوانده می‌شوند عبارتند از دبی ورودی رودخانه‌ها، دما و بارندگی. در این تحقیق جهت انتخاب ورودی‌های شبکه از ۱۲ مدل معرفی شده توسط همسافر (۱۳۸۷) ۶ مدل کارآمد و موثر جهت شبیه سازی نوسانات تراز دریاچه ارائه می‌شود:

$$1-H_t = f(P_t, T_t, Q_t)$$

$$2-H_t = f(P_{t-1}, T_{t-1}, Q_{t-1})$$

$$3-H_t = f(P_{t-3}, T_{t-3}, Q_{t-3})$$

$$4-\Delta H_t = f(P_t, T_t, Q_t)$$

$$5-\Delta H_t = f(P_{t-1}, T_{t-1}, Q_{t-1})$$

$$6-\Delta H_t = f(P_{t-3}, T_{t-3}, Q_{t-3})$$

در رابطه بالا H_t (msl) تراز سطح دریاچه در زمان t و Q_t (cms) متوسط دبی ماهانه ورودی به دریاچه در ماه t ، P_t (mm) ارتفاع بارندگی ماهانه در ماه t ، T_t (°C) دمای متوسط ماهانه در ماه t و ΔH_t تغییرات تراز هر ماه نسبت به ماه قبل است. ۸۰ درصد از داده‌ها جهت آموزش و ۲۰ درصد باقیمانده نیز جهت صحت‌یابی به شبکه معرفی شدند.

۳-۴-۲- معیارهای ارزیابی شبکه

برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های نرو فازی از دو معیار ضریب همبستگی R^2 و ریشه میانگین مربعات خطا RMSE استفاده می‌شود. R^2 معیار بدون بعد بوده و بهترین مقدار آن واحد می‌باشد و RMSE نشان دهنده میزان خطای مدل با بعد متغیرها می‌باشد که بهترین مقدار برای آن صفر می‌باشد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=0}^n X_i Y_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^n X_i^2 Y_i^2}} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^n (X_i - Y_i)^2}{i}} \quad (5)$$

در روابط فوق X_i مقادیر مشاهداتی، Y_i مقادیر برآورد شده و n تعداد داده‌ها می‌باشد.

۳-۴-۳- بررسی عملکرد مدل‌های ورودی به شبکه ANFIS در شبیه سازی تراز دریاچه

جهت ارزیابی مدل‌ها و انتخاب بهترین مدل برای شبیه‌سازی، عملکرد مدل‌ها در مرحله آموزش و مرحله صحت‌یابی تحت مقایسه قرار گرفتند (جدول ۲). نتایج حاکی از عملکرد بهتر مدل (۵) نسبت

به مدل‌های دیگر می‌باشد. مدل (۵) به عنوان مدل انتخابی جهت شبیه‌سازی تراز آب در دوره‌های آبی دریاچه توسط متغیرهای اقلیمی انتخاب می‌گردد. شکل ۲ نمودار مقایسه تراز مشاهداتی و شبیه سازی شده را در مرحله آموزش و صحت‌یابی با استفاده از مدل (۵) را نشان می‌دهند. شکل ۳ نمودار تابع عضویت ورودی‌های بارش (input1)، دما (input2) و دبی (input3) را در مرحله قبل و بعد آموزش تحت مدل (۵) بکار رفته برای شبیه سازی تراز دریاچه نشان می‌دهد.

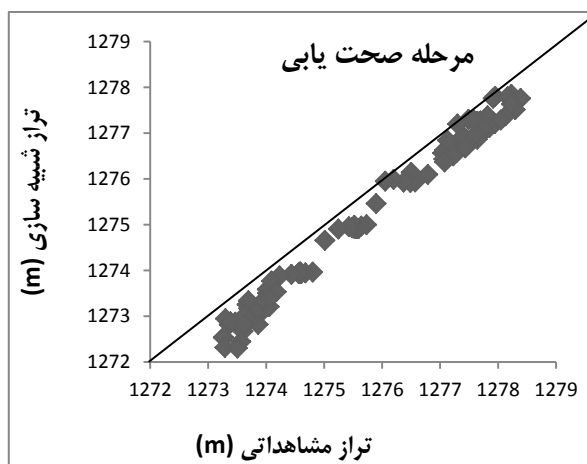
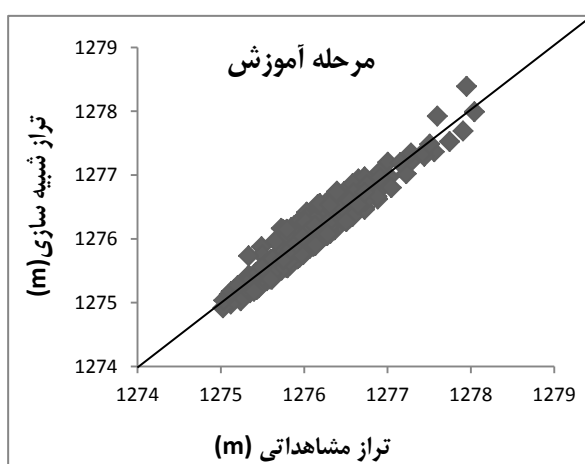
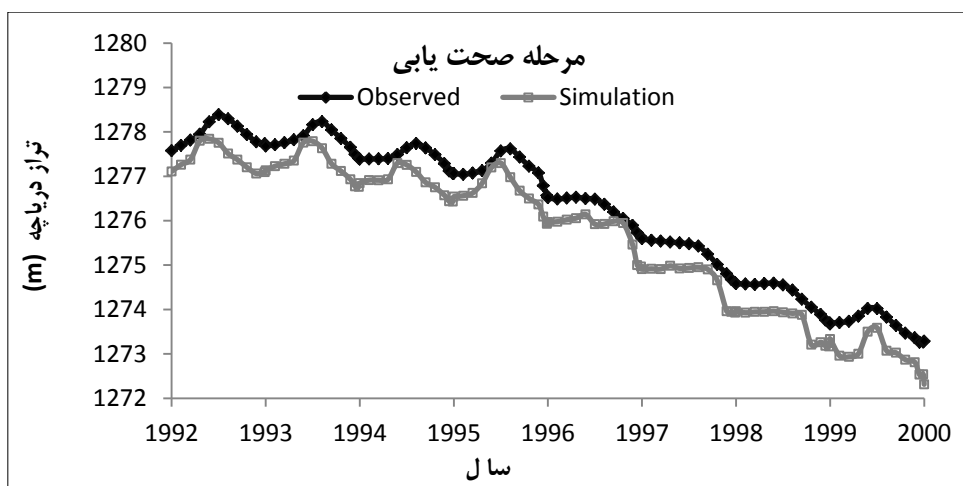
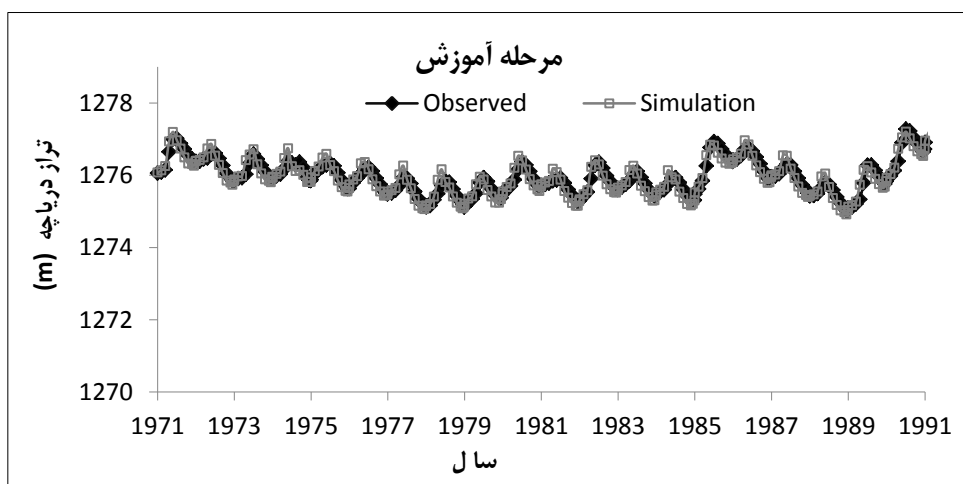
۴- نتایج

۴-۱- تجزیه و تحلیل دما و بارش

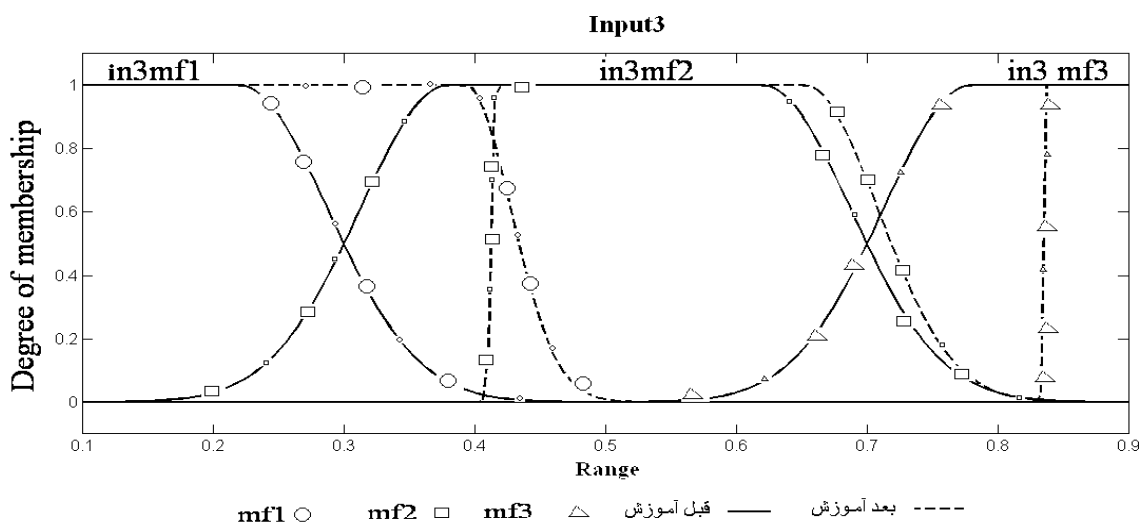
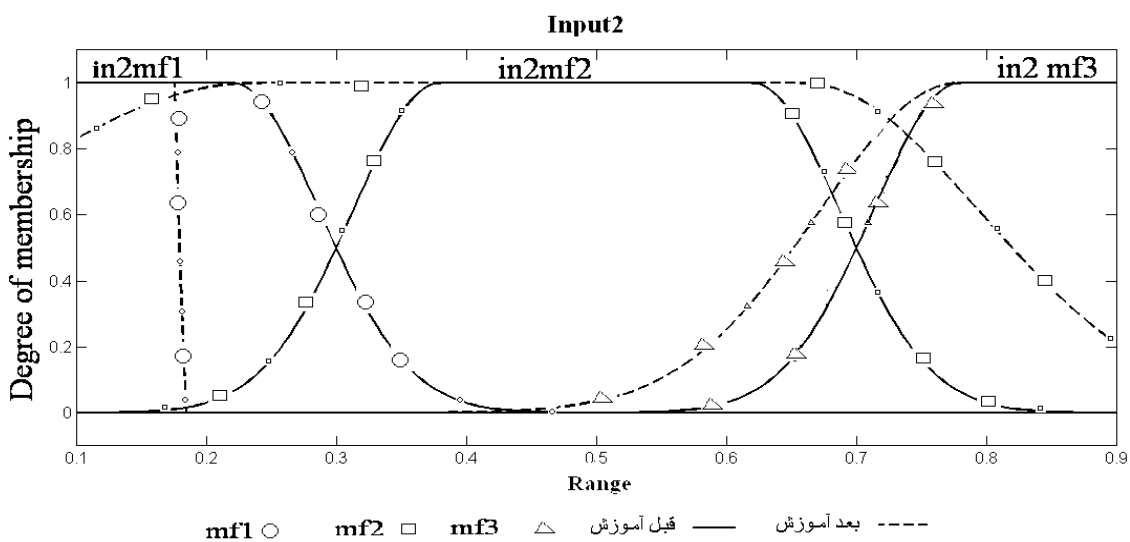
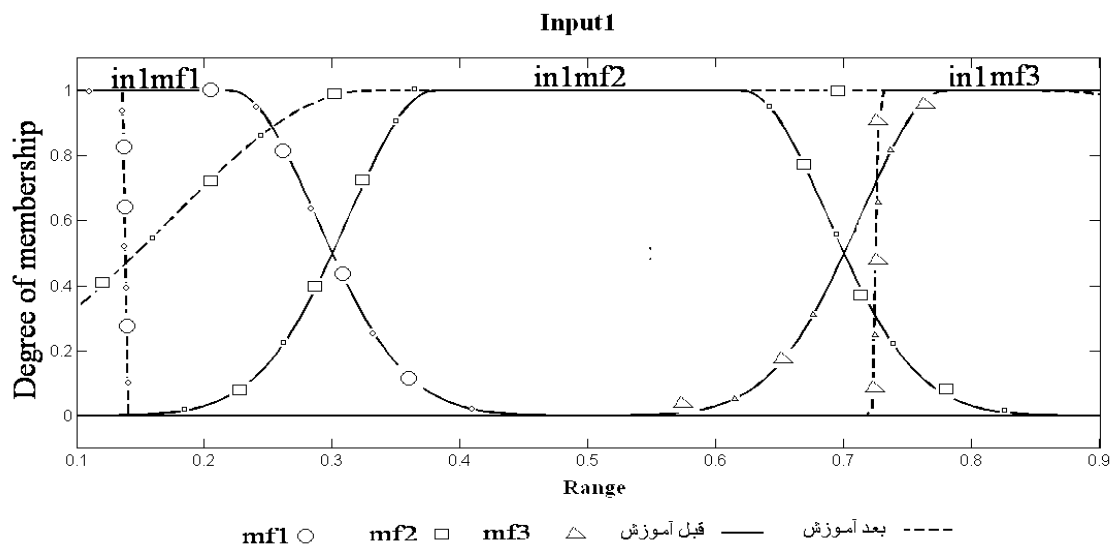
نتایج حاصل از کوچک مقیاس کردن متغیرهای اقلیمی برای حوضه مطالعاتی دریاچه ارومیه حاکی از روند افزایشی دمای سطح دریاچه و روند کاهشی بارش بر سطح دریاچه تحت هر دو سناریوی A2 و B2 برای سالهای ۲۰۰۰-۲۱۰۰ می‌باشد. میانگین دمای سالانه در مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 به ترتیب به اندازه ۱۳/۹۷ و ۱۳/۵۲ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه به ترتیب ۲۰/۶۷ و ۲۲/۰۹ میلی‌متر تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌شود. میانگین بارش سالانه تحت سناریوی A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۱۱ و ۵ درصد کاهش نشان می‌دهد (جدول ۱). بیشترین افزایش میانگین دمای ماهانه تحت سناریوی A2 در ماه نوامبر به اندازه ۸/۸۶ درجه سانتی‌گراد و برای سناریوی B2 در ماه اکتبر به اندازه ۸/۶۷ درجه سانتی‌گراد نسبت به حالت مشاهده‌ای اتفاق می‌افتد. همچنین بیشترین افزایش میانگین بارش ماهانه تحت سناریوی A2 و B2 به ترتیب ۶۹/۵۵ درصد در ماه آگوست و ۱۹ و ۱۹ درصد در ماه دسامبر و بیشترین کاهش میانگین بارش ماهانه تحت سناریوی A2 و B2 به ترتیب ۴۷/۶۹ درصد در ماه جولای و ۲۷ درصد در ماه می اتفاق می‌افتد (شکل ۴-ا و ۴-ب) (جدول ۳).

۴-۲- تجزیه و تحلیل دبی شبیه سازی شده

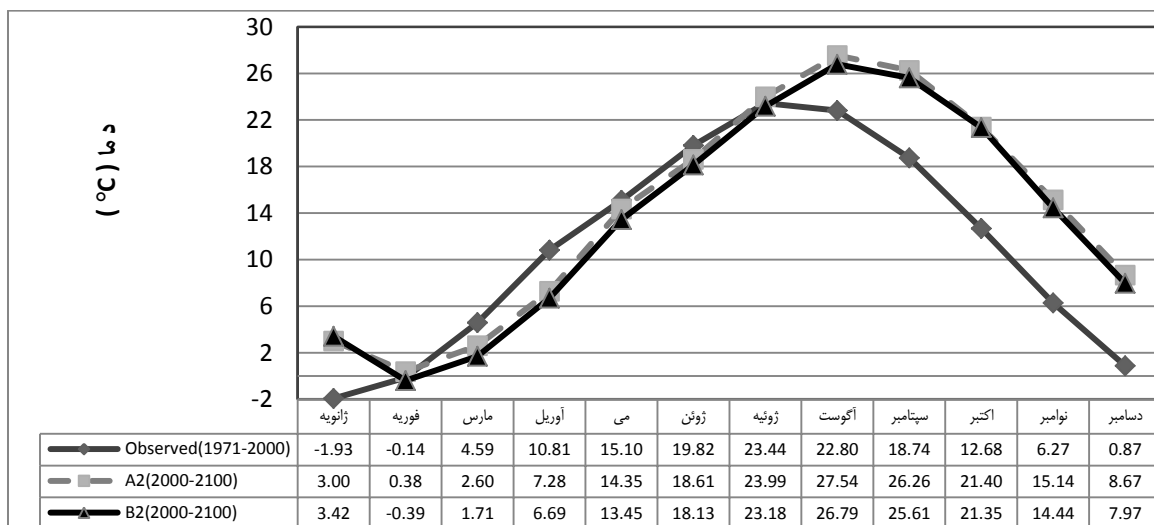
قبل از شبیه سازی تراز دریاچه، لازم است تا دبی ورودی به دریاچه در دوره ۲۱۰۰ - ۲۰۰۰ بر اساس متغیرهای دما و بارش توسط شبکه‌های ANFIS شبیه سازی گردد. نتایج حاصل از شبیه سازی دبی ورودی به دریاچه طبق جدول ۱ نشان می‌دهد که میانگین دبی ورودی به دریاچه تحت سناریوی تغییر اقلیم روند کاهشی در ۱۰۰ سال آینده خواهد داشت. میانگین دبی سالانه براساس مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 به ترتیب به اندازه ۱۴۰/۲۱ و ۱۵۸/۷۷ متر مکعب بر ثانیه تا سال ۲۱۰۰ پیش‌بینی می‌شود.



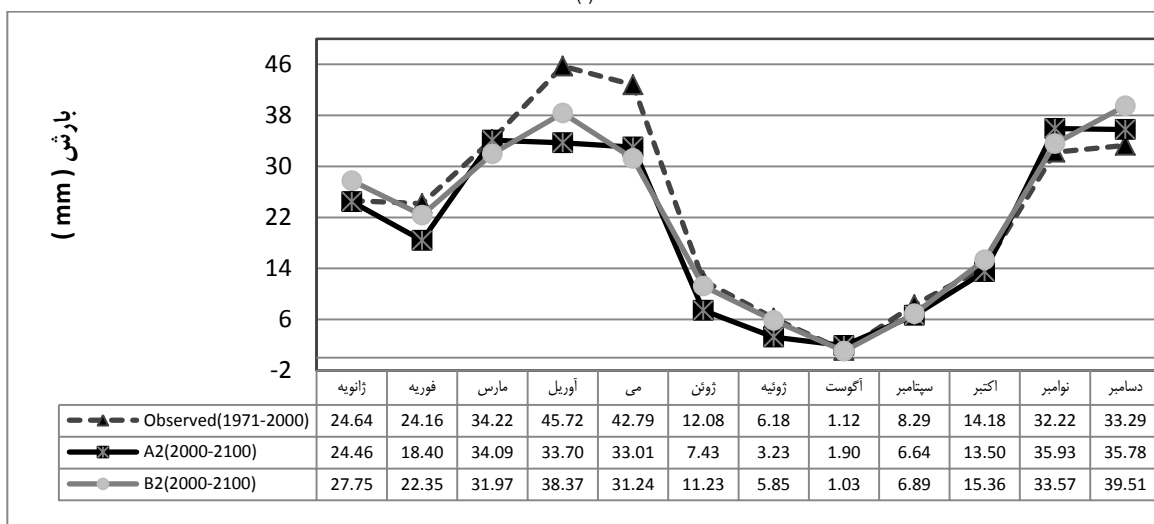
شکل ۲- مقایسه تراز شبیه سازی با تراز مشاهداتی تحت مدل (۵) در مرحله آموزش (۱۹۷۱-۱۹۹۱) و صحت یابی (۱۹۹۲-۲۰۰۰)



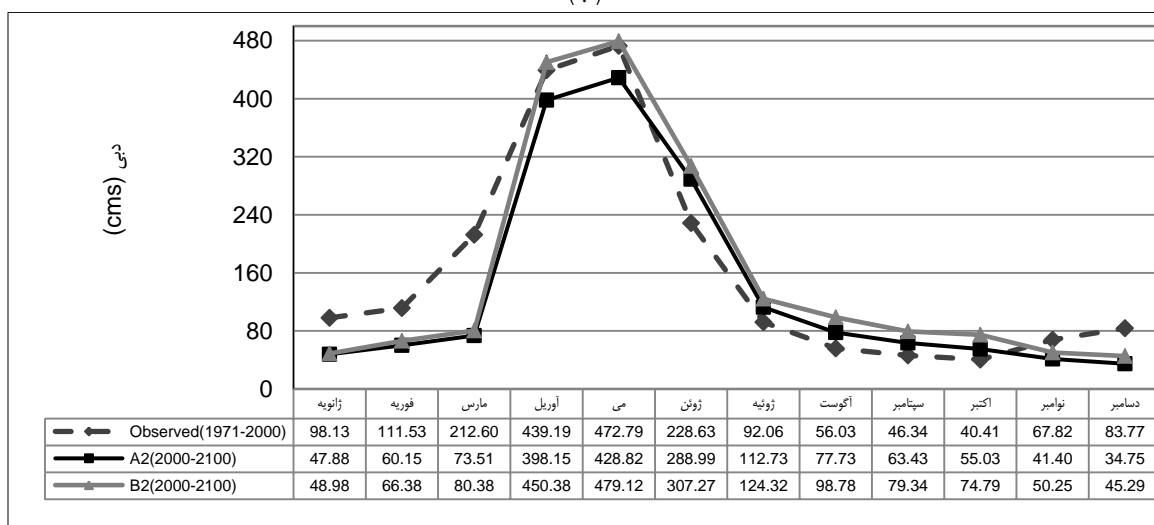
شکل ۳- نمودار توابع عضویت بارش (input1)، دما (input2) و دبی (input3) مرحله قبل و بعد آموزش مدل (۵) تراز دریاچه



(ا)



(ب)



(ج)

شکل ۴- میانگین ماهانه دما، بارش و دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده براساس مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2

جدول ۳ تراز سطح دریاچه در حالت مشاهده‌ای و شبیه سازی شده را براساس مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 نشان می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله آثار ناشی از تغییر اقلیم بر روی تراز سطح دریاچه ارومیه با استفاده از تکنیک شبکه‌های ANFIS بر اساس مدل HadCM3 تحت سناریوهای A2 و B2 از سری سناریوهای گازهای گلخانه‌ای (SRES) در دوره ۲۰۰۰-۲۱۰۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاکی از حساسیت منطقه مورد مطالعه به فاکتورهای تغییر اقلیم می‌باشد. تجزیه و تحلیل داده‌های دما نشان از افزایش دما تحت هر دو سناریو را دارد. به طوری که میانگین سالانه دما به اندازه ۲/۸۰ درجه سانتیگراد تحت سناریوی A2 و ۲/۳۵ درجه سانتیگراد تحت سناریوی B2 افزایش می‌یابد. همچنین میانگین بارش سالانه تحت سناریوی A2 و B2 نسبت به دوره مشاهداتی به ترتیب ۱۱ و ۵ درصد کاهش نشان می‌دهد. افزایش دما، کاهش بارندگی و به تبع آن کاهش دبی ورودی به دریاچه از علل کاهش تراز دریاچه نتیجه می‌شود. به طوری که تراز سطح دریاچه به اندازه ۴/۶۰ متر تحت سناریوی A2 و ۳/۹۳ متر تحت سناریوی B2 کاهش می‌یابد. در نهایت دهه ۲۱۰۰ به عنوان خشک‌ترین سال برای دریاچه پیش بینی می‌شود. دریاچه تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی A2 خشک خواهد شد (شکل ۵ و جدول ۳).

میانگین دبی سالانه شبیه سازی شده تحت سناریوی A2 و B2 نسبت به دبی دوره مشاهداتی به ترتیب ۱۳/۵ و ۲/۵ درصد کاهش را نشان می‌دهد. دبی ورودی شبیه‌سازی شده تحت سناریوی A2 تا ۳۸/۷۲ درصد در ماه آگوست و تحت سناریوی B2 تا ۸۵/۰۸ درصد در ماه اکتبر نسبت به دبی ورودی مشاهده‌ای افزایش داشته است. همچنین بیشترین کاهش دبی ورودی تحت سناریوی A2 و B2 در ماه مارس به ترتیب ۶۵/۴۲ درصد و ۶۲/۱۹ درصد نسبت به دبی مشاهده‌ای دیده می‌شود (شکل ۴ - ج و جدول ۳).

۳-۴- تجزیه و تحلیل تراز دریاچه

نتایج شبیه سازی تراز دریاچه در دوره ۲۰۰۰-۲۱۰۰ نشان از روند کاهشی تراز دریاچه تحت متغیرهای اقلیمی در افق آینده می‌باشد. بیشترین کاهش تراز سطح آب دریاچه بر اساس مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2 به ترتیب ۴/۶۰ و ۳/۷۳ متر در ماه سپتامبر تا سال ۲۱۰۰ پیش بینی می‌شود.

این حالت می‌تواند مربوط به بالا رفتن شدید دما در ماههای آگوست تا فوریه و کاهش محسوس دبی ورودی به دریاچه در ماههای نوامبر تا آوریل باشد. تراز دریاچه تا سال ۲۱۰۰ تحت سناریوی A2 به تراز متوسط کف دریاچه (۱۲۸۶ متر از سطح دریا) می‌رسد. شکل ۵ و

جدول ۲- عملکرد مدل‌های ورودی جهت شبیه سازی تراز دریاچه

مدل	آموزش			صحت یابی		
	R	R ²	RMSE(m)	R	R ²	RMSE(m)
۱	۰/۶۴	۰/۴۱	۰/۳۶	۰/۳۹	۰/۱۵	۱/۵۰
۲	۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۳۸	۰/۳۶	۰/۱۳	۱/۷۰
۳	۰/۷۰	۰/۴۹	۰/۴۰	۰/۴۷	۰/۲۲	۱/۳۰
۴	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۴۲	۰/۹۰	۰/۸۱	۰/۳۴
۵	۰/۹۴	۰/۸۸	۰/۳۱	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۴۱
۶	۰/۸۲	۰/۶۷	۰/۷۲	۰/۸۹	۰/۷۹	۰/۴۸

جدول ۳- مقایسه تغییرات متغیرهای اقلیمی مشاهده‌ای با شبیه سازی شده تحت سناریوهای A2 و B2

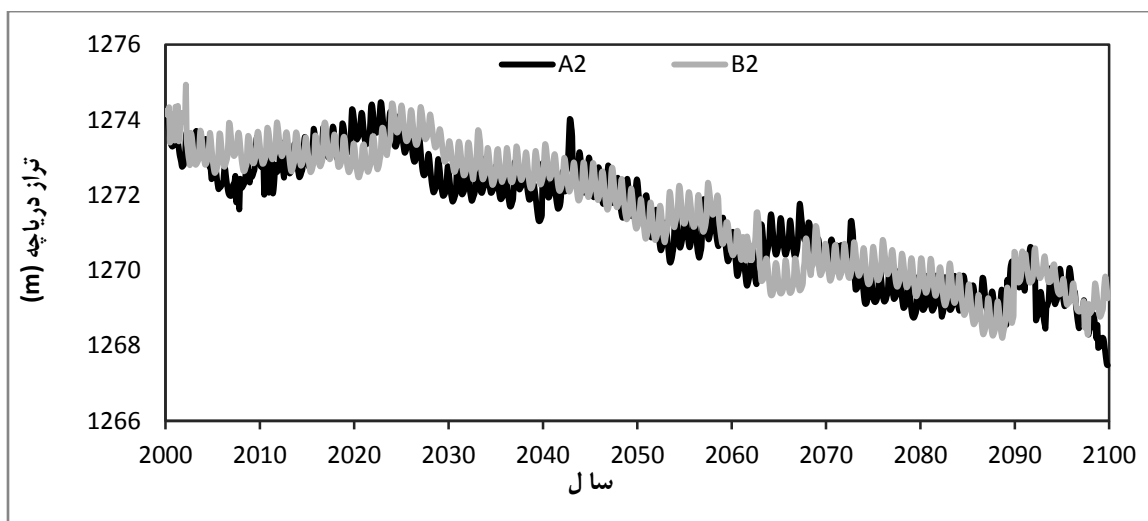
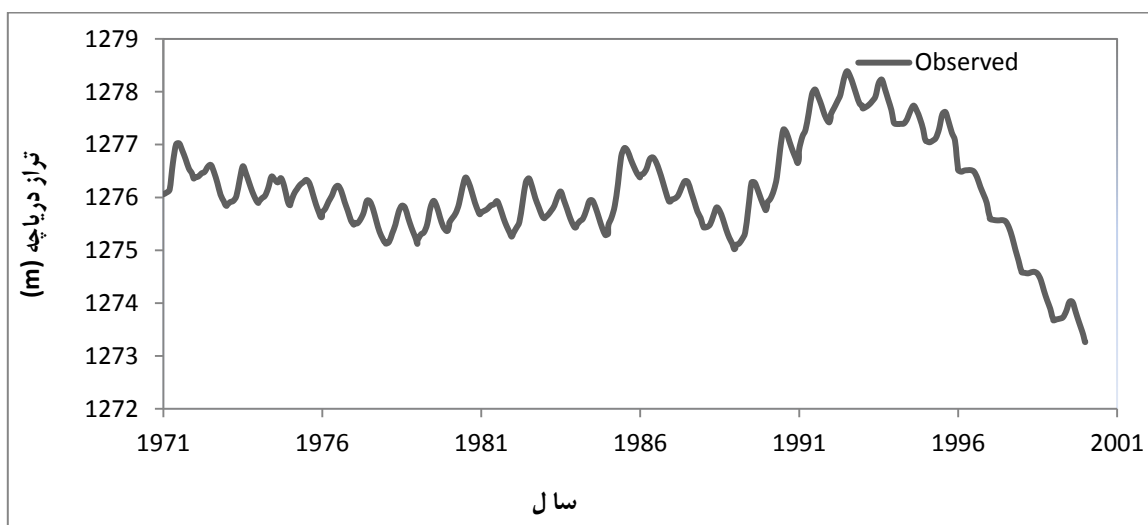
متغیر اقلیمی	سناریو	ماه											
		ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	آگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
$\Delta T(^{\circ}C)$	A2	4.93	0.52	-1.99	-3.53	-0.75	-1.21	0.54	4.74	7.52	8.72	8.86	7.80
	B2	5.32	-0.25	-2.88	-4.12	-1.65	-1.68	-0.27	3.98	6.87	8.67	8.17	7.10
P (%)	A2	-0.70	-23.85	-0.35	-26.29	-22.85	-38.53	-47.69	69.55	-19.90	-4.81	11.52	7.47
	B2	13.00	-8.00	-7.00	-16.00	-27.00	-7.00	-5.00	-8.00	-17.00	8.00	4.00	19.00
Q (%)	A2	-51.21	-46.07	-65.42	-9.35	-9.30	26.40	22.46	38.72	36.88	36.18	-38.96	-58.52
	B2	-50.08	-40.48	-62.19	2.55	1.34	34.40	35.05	76.29	71.21	85.08	-25.91	-45.93
$\Delta H (m)$	A2	-4.24	-4.13	-4.10	-4.06	-4.09	-4.16	-4.28	-4.45	-4.60	-4.57	-4.51	-4.38
	B2	-3.40	-3.38	-3.42	-3.48	-3.57	-3.61	-3.58	-3.66	-3.73	-3.72	-3.49	-3.44

P (%): درصد اختلاف بارش شبیه سازی شده با بارش مشاهده‌ای.

$\Delta T(^{\circ}C)$: اختلاف درجه حرارت مشاهده‌ای با درجه حرارت شبیه سازی شده.

$\Delta H (m)$: اختلاف تراز مشاهده‌ای با تراز شبیه سازی شده.

Q (%): درصد اختلاف دبی شبیه سازی شده با دبی مشاهده‌ای.



شکل ۵- تراز آب مشاهداتی و شبیه سازی شده دریاچه براساس مدل HadCM3 تحت سناریوی A2 و B2

پی نوشتها

عراقی نژاد، ش. و کارآموز، م. (۱۳۸۴)، "پیش بینی بلند مدت رواناب با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی"، تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲.

مساح یوانی، ع. و مرید، س. (۱۳۸۴)، "اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب و تولید محصولات کشاورزی" مطالعه موردی حوضه زاینده رود اصفهان، مجموعه مقالات علوم و فنون کشاورزی، سال نهم، شماره چهارم.

مهسافر، ح. (۱۳۸۷)، "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر بیلان آبی دریاچه ارومیه"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.

- 1- Intergovernmental Plan on Climate Change.
- 2- Special Report on Emission Scenarios.
- 3- Adaptive Neuro - Fuzzy Inference System.
- 4- Atmosphere-Ocean General Circulation Models.
- 5- Inverses Distance Weighting.

۶- مراجع

دلاور، م. (۱۳۸۴)، "تحلیل و ارائه مدل نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه و آنالیز ریسک مناطق ساحلی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

شعبانی نیا، ف. و سعیدنیا، س. (۱۳۸۶)، "مقدمه ای بر منطق فازی با استفاده از MATLAB"، انتشارات خانیران، تهران.

- Harrison, S.P. (1989), "Lake level and climate changes in eastern North America", *Climate Dynamic*, pp. 157-167.
- Hewitson B.C., and Crane, R. (2006), "Consensus between GCM climate change projections with empirical downscaling: precipitation downscaling over South Africa", *Journal of Climatology*, 26 (10) pp. 1315-1337.
- Jang, J. S. R. (1993), "ANFIS: Adaptive-network-based fuzzy inference system", *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, 23(3), pp. 665-684.
- Mistry, V.V., and Conway, D. (2003), "Remote forcing of East African rainfall and relationships with fluctuations in levels of Lake Victoria", *Journal of Climatology*, 23, pp. 67-89.
- IPCC-TGCI. (1999), "Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment", *Intergovernmental Panel on Climate*.
- IPCC. (2001), *Climate Change, the Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 881 p.
- IPCC. (2007), "Fourth assessment report climate change", Paris, <http://www.IPCC.ch>.
- Wilby, R., Charles, S., Zorita, E., Timbal, B., Whetton, P., and Mearns, L.O. (2004), "Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods", *Technical report, Data Distribution Centre of the IPCC*.
- Ahrens, B. (2006), "Distance in spatial interpolation of daily rain gauge data", *Journal of Hydrology. Sci.*, 10, pp. 197-208.
- Alcamo, J. P., Doll, F. K. and Siebert, S. (1997), "Global change and global scenarios of water use and availability", An application of Water GAP 1.0 Report A9701. *Center for Environmental Systems Research, University of Kassel, Germany*.
- Atsushi, U., Masaki, T. and Yoshio, I. (2004), "Lake level change during the past 100,000 years at lake Baikal, Southern Siberia", *Quater. Reserch*, 62, pp. 214-222.
- Ayenew, T. (2004), "Environmental implications of changes in the levels of lakes in the Ethiopian Rift since 1970", *Reg. Environ. Change, Springer-Verlag*, pp. 192-204.
- Eitzinger, J., Kubu, G. and Formayer, H. (2004), "Impact of climate change on the water level of a shallow lake in eastern Austria", *Institute of Meteorology, University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU), Vienna, Austria*.
- Flato, G. and Boer, G. (2001), "Warming asymmetry in climate change simulations", *Journal of Geophys Research. Lett.*, 28, pp. 195-198.
- Gleick, P. (1987), "The Development and Testing of a Water Balance Model for Climate Impact Assessment: Modeling the Sacramento Basin", *Water Resources Research*, 23(6), pp. 1049-1061.
- Gunn Persson, L., Graham, P., and Andereasson, J. (2005), "Impact of climate change effects on sea-level rise in combination with an altered river flow in the Lake Malar Region", *Swedish Meteorological and Hydrological Institute, SE 601 76Norrköping, Sweden*.