

بررسی تغییرات سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای

فرزاد حاج محمود عطار¹ و علیرضا شریفی^{2*}

¹ دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

² استادیار، گروه مهندسی نقشه برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

a_sharifi@sru.ac.ir

چکیده: افزایش نوسانات و کاهش محسوس ژرفای آب در دریاچه ارومیه به موازات پیشروی شتابناک وسعت شوره‌زارهای کویری در طول یک دهه اخیر به یکی از مهم‌ترین و بحث برانگیزترین چالش‌های محیط زیستی کشور تبدیل گردیده است. در این تحقیق از منظر مؤلفه‌های تأثیر گذار بر سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه، سطح آب آنالیز شده و با استفاده از شبکه‌های عصبی، مقدار آن برای سال‌های آتی پیش بینی گردیده است تا بدین وسیله طرح مدیریتی مناسب برای برنامه‌ریزی و انجام اقدامات لازم جهت پیشگیری از خشکسالی دریاچه ارومیه انجام گیرد. بدین ترتیب، برای رسیدن به بالاترین دقت در پیش بینی و شبیه سازی سطح تراز آب، پنج سناریو مورد بررسی قرار گرفت که داده‌های ورودی هر کدام به ترتیب تبخیر، دما، بارش، دما-بارش و تبخیر-دما بارش در نظر گرفته شدند و سطح تراز آب به‌عنوان خروجی برای آموزش شبکه انتخاب شد. در آخر با رسیدن به مقدار $RMSE$ برای سناریو اول و مقدار 0.023 برای $RMSE$ در سناریو دوم و همچنین مقدار 0.093 برای $RMSE$ در سناریو سوم متوجه می‌شویم که تأثیر بارش از دما و تبخیر و تأثیر دما از تبخیر بیشتر است؛ اما با توجه به حاصل شدن نتایج 0.068 برای $RMSE$ در سناریو پنجم می‌توان گفت دقیق‌ترین سناریو، سناریوی پنجم است که نتیجه وارد کردن هم‌زمان هر سه متغیر دما، تبخیر و بارش به شبکه عصبی است.

کلمات کلیدی: دریاچه ارومیه، شبکه عصبی، تغییرات ارتفاعی سطح، تغییرات اقلیمی، سنجش از دور.

Investigation of changes in water level in Urmia Lake using satellite data

F. haj Mahmoud attar and A. sharifi

Abstract: Increasing volatility and decreasing water depths in the Lake Urmia, Iran along with the rapid progress of desertification during the last few decades has become one of the most important and controversial environmental challenges in the country. In this study, from the viewpoint of the components that affect elevation level of Lake Urmia water, the water level is analyzed and using the neural networks, its amount is foreseen for the coming years, so that an appropriate management plan for the program design and implement necessary measures to prevent drought in Lake Urmia. Thus, in order to achieve the highest accuracy in predicting and simulating the water level, five scenarios were investigated, in which the input data were considered as evaporation, temperature, precipitation, temperature-precipitation and evapotranspiration, respectively. The water level was selected as the output for network training. Finally, reaching the value of 0.026 for RMSE in the first scenario and 0.023 for RMSE in the scenario Second, as well as 0.093 for RMSE in the third scenario, we find that the effect of precipitation from temperature and evaporation and the effect of temperature on evaporation is greater, but given the results of 0.068 for RMSE in the fifth scenario. The most accurate scenario is the fifth scenario, which is the result of concurrent import of all three variables of temperature, evaporation and precipitation into the neural network

Keywords: Lake Urmia, Neural Network, Elevation Level, Climate Change, Remote Sensing.

1 - مقدمه

دریاچه ارومیه در شمال غربی ایران و در منطقه آذربایجان واقع شده است. این دریاچه با 12 میلیارد متر مکعب آب، بزرگترین دریاچه داخلی ایران و بزرگترین دریاچه آب شور دنیاست و از این رو برای ورزش‌هایی مانند شنا و قایقرانی بسیار مناسب است [1]. پارک ملی دریاچه ارومیه از جالب‌ترین زیستگاه‌های طبیعی جانوران در ایران به شمار می‌رود. حوضه آبریز دریاچه ارومیه با داشتن دشت‌های متعدد یکی از کانون‌های ارزشمند فعالیت کشاورزی و دامداری در ایران به شمار می‌رود. شهر ارومیه بدلیل ورود ریزگردها از کشور عراق و پدیده وارونگی هوا در شمار یکی از شهرهای آلوده ایران قرار گرفته است و بنابراین پوشش گیاهی اطراف دریاچه ارومیه نقش بسیار مهمی در کاهش آلودگی هوا در این منطقه دارد [2].

متأسفانه این دریاچه در دهه اخیر با بحران خشک شدن مواجه شده است. با رشد جمعیت استان‌های مجاور دریاچه ارومیه و همچنین توسعه‌ی بخش‌های مختلف صنعتی و کشاورزی در دهه‌های اخیر، احداث سدهای متعدد جهت رفع نیازهای این مناطق به آب شیرین در دستور کار قرار گرفت [3]. احداث میان گذر شهید کلانتری، عملاً چرخه‌ی آبی دریاچه را با مشکل روبه رو ساخته است که مهمترین تأثیر آن افزایش روند تبخیر آب دریاچه ارومیه است [4]. همچنین به دلیل برهم‌زدن چرخه‌ی آبی دریاچه، به نوعی چرخه زیستی آن نیز با مشکل روبه‌رو شده است. در دهه‌های اخیر استحصال آب‌های زیرزمینی در ارومیه با هدف توسعه کشاورزی باعث شده چشمه‌هایی که آب دریاچه را تأمین می‌کردند، خشک شوند [5].

با خشک شدن دریاچه ارومیه گونه‌های جانوری در خطر انقراض قرار گرفته و به دنبال آن اکوسیستم بیولوژیکی و زیستی دریاچه هم از بین می‌رود. همچنین، از بین رفتن پوشش گیاهی اطراف دریاچه از تأثیرات مخرب این مسأله به شمار می‌رود [6]. از تبعات این مسأله می‌توان به افزایش غلظت نمک دریاچه اشاره کرد. نمک، زمین‌های حاصلخیز منطقه را از بین خواهد برد و این منطقه تبدیل به بیابان می‌شود. بدین ترتیب عدم توانایی برای کشاورزی، بعنوان مهم‌ترین منبع درآمد روستاییان، مردم این مناطق را مجبور به مهاجرت خواهد کرد. متعاقباً بادهای بهاری را بلند کرده و غبارهای نمکی مناطق اطراف را تحت تأثیر قرار خواهد داد [7].

مرگ تدریجی دریاچه ارومیه بزرگترین تالاب کشور، دومی دریاچه شور جهان تنها خشک شدن یک دریاچه نمک بی خاصیت نیست، مرگ دریاچه ارومیه به معنی به هم ریختن وضعیت اکوسیستم و از بین رفتن منابع کلان کشاورزی و اقتصادی، یعنی از دست دادن یکی از بزرگترین زیستگاه‌های جهان، از بین رفتن میراثی چند هزار ساله و نابودی یکی از جاذبه‌های منحصر به فرد گردشگری ایران و جهان است [1].

با توجه به میزان نمک اشباع در آب دریاچه، املاح موجود در آن حدود هفت تا هشت میلیارد متر مکعب برآورد می‌شود که در صورت خشک شدن کامل آن میتوندند به مرکزی برای انتشار ریزگرد های نمک در منطقه تبدیل شده و ذرات معلق نمک در هوا تا شهرهای مرکزی ایران و دیگر کشورهای همسایه نیز برسد. در صورت بروز چنین پدیده‌های استان‌های همجوار دریاچه ارومیه از قبیل استان‌های آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و کردستان غیر قابل سکونت شده و زندگی در دیگر استان‌ها نیز با فجایع زیست محیطی روبه‌رو خواهد شد [8].

رسولی و همکاران (1387) در رابطه با تغییر پذیری نوسان سالانه سطح آب دریاچه با آنالیز متقاطع داده‌های دراز مدت دریاچه ارومیه و با در نظر گرفتن فاکتورهای اقلیمی (از قبیل بارش و درجه حرارت)، فاکتورهای هیدرولوژی (تبخیر و حجم روان آب‌ها) و فاکتور ژئومورفولوژی (نوسان وسعت و مساحت سطح آب) با استفاده از روش موجک پیوسته، نوسانات تراز آب دریاچه ارومیه را بررسی کردند. این نوسانات، پهنه‌های کویری را در حاشیه دریاچه به وجود آورده است که در فصل خشک به نمک‌زار تبدیل می‌شوند [8]. مهسافر و همکاران (1389) با استفاده از تصاویر *MODIS*¹ سطح دریاچه ارومیه را با دقتی قابل قبول تعیین کردند [9].

روشن و همکاران (1391) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و داده‌های *GPS*² نقشه این منطقه را استخراج کردند. نتایج این مطالعه نشان داده که دریاچه ارومیه با کاهش قابل توجهی در سطح آب در طول بیست سال گذشته به خصوص در دهه گذشته مواجه بوده است [10]. قاسم زاده و همکاران (1395)، از روش آماری

¹ Moderate resolution imaging spectroradiometer

² Global positioning system

بررسی تغییرات سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه

در این تحقیق از منظر مؤلفه‌های تأثیر گذار بر سطح ارتفاعی آب دریاچه ارومیه، سطح آب آنالیز و با استفاده از شبکه‌های عصبی، مقدار آن برای سال‌های آتی پیش بینی می‌گردد تا بدین وسیله طرح مدیریتی مناسب برای برنامه‌ریزی و انجام اقدامات لازم جهت پیشگیری از خشکسالی دریاچه ارومیه انجام گیرد. سناریوهای مختلف که هر یک از ترکیب داده‌های تبخیر، دما و بارش حاصل می‌شوند.

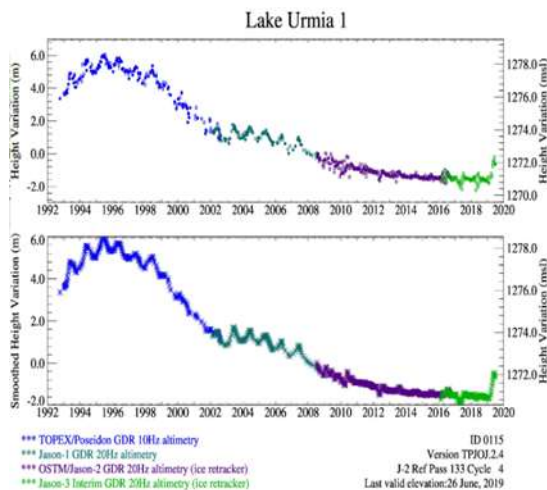
2- روش شناسی

در این بخش به بررسی داده‌های مورد استفاده در این پژوهش می‌پردازیم.

2-1 داده‌های زمینی و داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از داده‌های تبخیر، بارش و دما در سال‌های 2003 الی 2014 استفاده شده، به صورت ماهانه میانگین‌گیری شده و از سازمان هواشناسی کشور تهیه شده است.

با توجه به وسعت زیاد دریاچه ارومیه از ایستگاه‌های متعددی جهت محاسبه مقادیر متوسط بارش و تبخیر استفاده شده است. برای حذف تفاوت زمانی برداشت ایستگاه‌ها با استفاده از نمودار میله‌ای یک پایه زمانی مشترک انتخاب شده است و برای بررسی صحت و همگنی داده‌ها از آزمون غیر نموداری، آزمون توالی و دنباله‌ها استفاده شده است. برای بازسازی نواقص آماری و تخمین داده‌های غیر موجود روش درون یابی بکار گرفته شده است. داده‌های آلتیمتری ماهواره‌ای نیز به منظور تعیین ارتفاع سطح آب دریاچه جمع‌آوری شده است.



تحلیل خوشه‌ای و تحلیل مؤلفه اصلی استفاده کردند و نهایتاً نقشه مرکب مربوط به هر خوشه، تهیه و تحلیل شد [11].

تحقیقات متعددی برای اثبات کاربرد شبکه عصبی در تخمین سطح دریاچه ارومیه انجام گرفته است. محمدی و همکاران (1390) تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه را با توجه به پارامترهای هیدرولوژیکی با استفاده از شبکه مصنوعی تخمین زدند [12]. اکبری و کرمی (1392) نیز تغییرات سطح دریاچه ارومیه را با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی ارزیابی نمودند [13]. بررسی تغییرات خط ساحلی دریاچه ارومیه نیز به روش شبکه عصبی توسط جعفری و همکاران در سال 2013 انجام گرفت [14]. مطالعه ایشان بر اساس تحقیقی بود که کاربرد شبکه‌های عصبی را برای اندازه‌گیری سطح آب‌های زیرزمینی در تالاب ونیز ایتالیا نشان داد [15].

سو و همکاران در سال 2015 به کمک شبکه عصبی مصنوعی و مدل جریان حاصل از ذخیره برف به پیش‌بینی ارتفاع آب دریاچه پرداختند [16]. گائو و همکاران در سال 2018 به پیش‌بینی سطح آب دریاچه‌ها به کمک روش‌های گوناگون همچون ماشین‌های بردار پشتیبان و سیستم‌های عصبی فازی و مقایسه آن با شبکه عصبی مصنوعی پرداختند. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از قدرتمندترین روش‌ها در پیش‌بینی مسائل مختلف است [17]. قربانی و همکاران در سال 2018 توسط شبکه‌های عصبی چندلایه نیمه فازی به پیش‌بینی ارتفاع آب دریاچه آگیرید در ترکیه پرداختند. نتایج حاکی از دقت قابل‌قبول این روش در مقابل روش کلاسیک شبکه عصبی بود [18]. هرینجسین و همکاران سال 2019 به پیش‌بینی سطح آب دریاچه‌ها به کمک شبکه‌های عصبی پرداختند. در این تحقیق با توجه به کاهش سطح آب دریاچه و رانا در کاروتیا به پیش‌بینی سطح آب این دریاچه به کمک شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته شد. با توجه به داده‌های سری زمانی موجود دریاچه طی 38 سال گذشته به پیش‌بینی سطح آب آن در 12 ماه آتی پرداخته شد. در این مقاله جهت به دست آوردن بهترین عملکرد مدل از دو نوع شبکه عصبی با حافظه کوتاه و شبکه عصبی بازگشتی استفاده شد. با توجه به آنالیز آماری توسط پارامترهای مجذور مربع میانگین خطاها و شاخص همبستگی به دقت قابل‌قبول هر دو نو استراتژی پی برده شد [19].

در آن از موضوع شبکه های عصبی استفاده نشده باشد [23].

یک شبکه عصبی، الگویی برای پردازش اطلاعات می باشند که با تقلید از شبکه های عصبی بیولوژیکی مثل مغز انسان ساخته شده اند. عنصر کلیدی این الگو ساختار جدید سیستم پردازش اطلاعات آن می باشد و از تعداد زیادی عناصر (نورون) با ارتباطات قوی داخلی که هماهنگ با هم برای حل مسائل مخصوص کار می کنند تشکیل شده اند. شبکه های عصبی مصنوعی با پردازش روی داده های تجربی، دانش یا قانون نهفته در ورای داده ها را به ساختار شبکه منتقل می کند که به این عمل یادگیری می گویند. اصولاً توانایی یادگیری مهمترین ویژگی یک سیستم هوشمند است. سیستمی که بتواند یاد بگیرد منعطف تر است و ساده تر برنامه ریزی میشود، بنابراین بهتر میتواند در مورد مسایل و معادلات جدید پاسخگو باشد [23].

شبکه های عصبی ترکیبی از «نورون ها» یا «گره ها» یا «واحدهای پردازشگر اطلاعات» هستند که به صورت سلسله مراتبی، در لایه ها سازماندهی شده اند. اولین لایه در شبکه «لایه ورودی» است که اطلاعات را از محیط خارج شبکه، دریافت می کند. این لایه در مورد مغز، به پنج حس انسان و در مورد یک شبکه عصبی مصنوعی، به متغیرهای مستقل انتخاب شده توسط محقق، ارتباط دارد [24].

«لایه های میانی یا پنهان» ورودی ها را به صورت تدریجی از مبدأ دریافت و به خروجی نهایی، تبدیل می کنند. آخرین لایه در شبکه، «لایه خروجی» نامیده می شود. این لایه به پاسخ انسان در مقابل تحریک ورودی در مغز و به پاسخ متغیر وابسته در مقابل تحریک متغیرهای مستقل در شبکه عصبی مصنوعی، مربوط می شود [23] و [24].

یک شبکه عصبی شبیه شبکه های بیولوژیکی می تواند به طرق مختلف، سازماندهی شود. به این مفهوم که نرون ها می توانند از راه های متفاوت به هم متصل شوند. بنابراین شبکه های عصبی با ساختارهای مختلف پدیدار می شوند. در پردازش اطلاعات، تعدادی از عناصر پردازش، محاسبات خود را در یک زمان انجام می دهند. این پردازش موازی شبیه به روشی است که مغز کار می کند و از پردازش سری محاسبات مرسوم، متفاوت است [25-27].

شکل 1. داده های آلتیمتری دریاچه ارومیه که توسط ماهواره های TOPEX/Poseidon، Jason-1 و OSTM¹ از سال 2003 تا 2014 تهیه شده است را نشان می دهد [20].

Fig. 1. shows the altimetry data of Lake Urmia provided by TOPEX / Poseidon, Jason-1 and OSTM satellites from 2003 to 2014 [20].

2-2 تجزیه و تحلیل داده ها

برای ارزیابی، از آمار بارش ایستگاه هایی که پایه زمانی مشترک، آمار طولانی مدت و تراکم نسبتاً خوب و فاصله مناسب از دریاچه دارند استفاده شده است. آمارهای خام تبخیر بدست آمده برای ماه های سرد و گرم با ضرایب مابین 0.58 تا 0.78 مورد ارزیابی قرار گرفتند [21].

$$E = K(EPAN) \quad (1)$$

که $EPAN$ مقدار تبخیر بدست آمده از تشت تبخیر و K ضریب تشت تبخیر و E مقدار تبخیر از سطح آب دریاچه می باشد. در ادامه از روش پنمن-فائو برای تعیین میزان تبخیر و تعرق، متناسب با آب و هوای این منطقه، استفاده گردید [22].

$$PET = \left[\gamma R_n + \frac{\gamma}{\Delta} + \gamma 0.27(1 + 0.01U_2)(e_s - e_a) \right] \quad (2)$$

که γ میانگین دمای هوا در بازه زمانی مورد نظر، R_n تابش خالص، U_2 سرعت باد در طول ساعات روز، e_s فشار بخار اشباع و e_a کمبود فشار بخار آب می باشند. Δ شیب منحنی فشار بخار آب نسبت به درجه حرارت است که از رابطه (3) بدست می آید و سایر پارامترها با استفاده از روابط تجربی محاسبه می شوند.

$$\Delta = 2(0.00738T_{mean} + 0.8072)^7 - 0.00116 \quad (3)$$

2-3 روش شبکه عصبی

شبکه های عصبی ابزاری تحلیلی و آموزش پذیر هستند که تلاش میکنند تا الگوی های پردازش اطلاعات در مغز بشر را تقلید کنند. امروزه بقدری استفاده از سیستم های هوشمند و به ویژه شبکه عصبی مصنوعی گسترده شده است که میتوان این ابزار ها را، در ردیف عملیات پایه ریاضی و به عنوان ابزار های عمومی و مشترک طبقه بندی کرد. چرا که کمتر رشته دانشگاهی است که نیازی به تحلیل، تصمیم گیری، تخمین، پیش بینی، طراحی و ساخت داشته باشد؛ و

2-3-1 روش شبکه عصبی پرسپترون

در این پژوهش از شبکه پرسپترون استفاده شد زیرا این شبکه پیچیدگی کمتر دارد و نسبت به روش‌های دیگر پارامترهای کمتری برای حل مسئله نیاز دارد.

یکی از متداول‌ترین انواع شبکه‌های عصبی، پرسپترون چندلایه است و به دلیل اینکه الگوریتم آموزش آن معمولاً پس انتشار است، به آن پس انتشار نیز گفته می‌شود. روش شبکه عصبی پرسپترون توسط روزنبلات مطرح شد لایه‌ی ورودی فقط به‌عنوان واسطه‌ای با دنیای خارج عمل می‌کند و هر گره آن یک ورودی را بدون تغییر به نورون‌های لایه‌ی بعدی می‌فرستد. بنابراین تعداد گره‌ها در لایه‌ی ورودی (R)، برابر با تعداد متغیرهای مستقل است. تعداد نورون‌های لایه‌ی خروجی (S)، تعداد متغیرهای وابسته‌ی موردنظر را نشان می‌دهد و تعداد گره‌های هر لایه بستگی به پیچیدگی مسئله خواهد داشت. لایه‌های پنهان در ناحیه‌ی بین لایه‌ی ورودی و خروجی قرار می‌گیرند که تعداد لایه‌های پنهان نورون‌های یک‌لایه، کاملاً به نورون‌های لایه‌ی مجاور، متصل شده‌اند. یعنی هر نورون لایه‌ی پنهان، به همه‌ی گره‌های لایه‌ی ورودی و گره‌های یک‌لایه‌ی مشخص انجام نمی‌گیرد و اطلاعات در جهت پیکان نشان داده‌شده (همیشه به سمت جلو) حرکت می‌کنند. این نوع شبکه‌ها، اصطلاحاً پیش‌خور نامیده می‌شوند [24].

در گام اول، هر ورودی p_i ($i=1,2,\dots,R$)، در وزن منسوب به آن (W_{ji}) ضرب می‌شود و با دیگر ورودی‌ها و مقدار آستانه‌ی b_j جمع می‌گردد. به عبارت دیگر، مجموع وزن‌دار ورودی‌ها به‌اضافه‌ی آستانه، محاسبه می‌شود و مقدار خالص n_j به دست می‌آید. مقدار آستانه در واقع جایگزین نورونی با مقدار واحد و وزن مربوطه‌ی b_j می‌شود که عملکردی مانند عرض از مبدأ دارد [28 و 29].

$$n_j = \left[w_{j1} \cdot P_1 + w_{j2} \cdot P_2 + \dots + w_{jR} \cdot P_R + b_j \right] = \left[\sum_{i=1}^R w_{ji} \cdot P_i + b_j \right] \quad (4)$$

که هر کدام از این پارامترها عبارت‌اند از:

P_i ($i=1,2,3,\dots,R$): مقدار ورودی نورون i ام

w_{ji} ($i=1,2,3,\dots,R$): مقدار وزن اتصال بین نورون j ام با نورون i ام لایه قبل

b_j وزن مربوط به بایاس برای نورون j ام

در گام دوم، تابع فعالسازی به صورت f_j بر روی n اعمال می‌گردد تا خروجی نورون a به دست آید.

$$a_j = f(n_j) \quad (5)$$

که هر کدام از پارامترها عبارت‌اند از:

a_j : برابر است با مقدار خروجی به ازای نورون j ام

f_j : تابع آستانه نورون j ام

n_j : مقدار خالص خروجی نورون j ام

در مورد نورون‌های لایه‌ی خروجی نیز الگوریتم به صورت مشابه با لایه‌ی پنهان پیاده‌سازی می‌گردد. تابع فعال‌ساز برای همه‌ی نورون‌های یک‌لایه‌ی مشخص، یکسان است. معروف‌ترین توابع فعال‌ساز مورد استفاده در پرسپترون‌های چندلایه، برای لایه‌های پنهان، تابع سیگموئید و برای لایه‌ی خروجی تابع همانی هستند که معادلات توابع همانی و سیگموئید به ترتیب در فرمول‌های 6 و 7 نشان داده‌شده است [30].

$$f(n_j) = n_j \quad (6)$$

$$f(n_j) = \left[\frac{1}{1+e^{-(n_j)}} \right] \quad (7)$$

جدول 1. ویژگی‌های شبکه عصبی پیشنهادشده در هر سناریو

Table 1. Proposed neural network features in each scenario

سنار یو	تکرار	تعداد نورون‌ها			نوع تابع انتقال		
		لایه 1	لایه 2	لایه 3	لایه 1	لایه 2	لایه 3
1	92	7	6	1	tansig	tansig	purelin
2	10 6	3	5	1	logsig	tansig	purelin
3	89	6	8	1	tansig	tansig	purelin
4	10 7	4	7	1	logsig	logsig	purelin
5	10 4	8	6	1	logsig	tansig	purelin

2-4 معماری شبکه

در شبکه‌ی عصبی ساختار شبکه شامل نوع ورودی‌ها و خروجی‌ها، تعداد لایه‌های مخفی و تعداد نورون‌ها در هر لایه مخفی، نوع تابع فعالسازی و نوع الگوریتم آموزشی است. تعیین تعداد لایه‌ها و تعداد نورون‌ها در هر لایه و همچنین نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر از مواردی است که در معماری شبکه از اهمیت برخوردار است. در جدول (1)

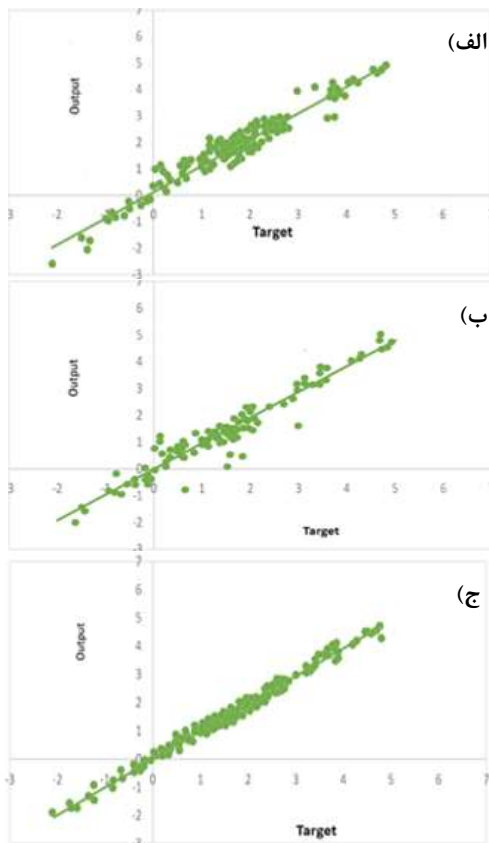
به تنهایی تأثیر کمتری نسبت به بارش و دما دارد.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - f_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2} \quad (8)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (T_i - O_i)^2}{N}} \quad (9)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |T_i - O_i| \quad (10)$$

که y_i مقدار حقیقی، f_i مقدار تخمینی و \bar{y} میانگین داده‌های مشاهداتی می‌باشند. همچنین O_i ، T_i و N به ترتیب مقادیر پیش‌بینی، مقادیر واقعی و تعداد داده‌ها می‌باشند. کم بودن میزان خطا، بیانگر دقت قابل قبول مدل و ملاک برتری آن خواهد بود و نشان‌دهنده کارایی مناسب شبکه عصبی به‌عنوان روشی مناسب برای پیش‌بینی سطح تراز آب در هر سناریو است.



مشخصات شبکه عصبی طراحی شده برای هر سناریو آورده شده است. در این جدول تعداد نورون‌ها و همچنین نوع تابع انتقال که شبکه برای آموزش انتخاب کرده است، نمایان است.

3- نتایج

برای رسیدن به بالاترین دقت در پیش‌بینی، پنج سناریو که در آن‌ها سال به‌عنوان متغیر تکراری در نظر گرفته شده، طراحی شده است. ورودی‌ها در هر سناریو به ترتیب زیر در نظر گرفته شده است: الف) در سناریوی اول 130 داده تبخیر؛ ب) در سناریوی دوم 130 داده دما؛ ج) در سناریوی سوم 130 داده بارش؛ د) در سناریوی چهارم 130 داده دما و بارش؛ ه) در سناریوی پنجم 130 داده‌های تبخیر، دما و بارش. سطح تراز آب در تمام سناریوها به‌عنوان خروجی در نظر گرفته شده است. سپس مجموعه ورودی‌ها و خروجی‌هایی که بر اساس داده‌های اندازه‌گیری است، برای مدل‌سازی سطح تراز استفاده شده است. در تمامی سناریوها به‌عنوان داده‌ها به‌عنوان داده آموزشی مدل، حدود 20٪ داده‌ها به‌عنوان داده اعتبارسنجی مدل و همچنین 20٪ باقی‌مانده برای تست کردن مدل انتخاب شدند.

عملکرد شبکه عصبی را می‌توان تا اندازه‌ای به‌وسیله خطای آموزش، اعتبارسنجی و مجموعه تست‌ها، اندازه گرفت. یک روش اعتبارسنجی، تحلیل رگرسیونی بین خروجی شبکه و اهداف مرتبط با آن‌هاست. خطای *postreg* برای اجرای این تحلیل‌ها استفاده شده است. شکل (2) خروجی *postreg* هر پنج سناریو را نشان می‌دهد.

همچنین به‌منظور سنجش عملکرد هر یک از مدل‌های شبکه پیشنهادی، علاوه بر ضریب تعیین (R^2)، دو شاخص معیاری متفاوت شامل ریشه میانگین مربع خطا ($RMSE^3$) و میانگین قدر مطلق خطا (MAE^4) مورد استفاده قرار گرفت [22 و 23]. همانطور که در جدول (2) مشاهده می‌شود، تأثیر بارش، از دما و رطوبت و نیز تأثیر دما از رطوبت بیشتر است که این امر به خاطر کمتر بودن مقادیر MSE و $RMSE$ در سناریوی بارش است. با توجه به شکل (2) و مقایسه مقادیر خطا که در جدول (2) نشان داده شده است، نتایج هر یک از سناریوها را می‌توان با یکدیگر مقایسه نمود. مقدار R^2 و MSE سناریو اول مشخص شد که تبخیر

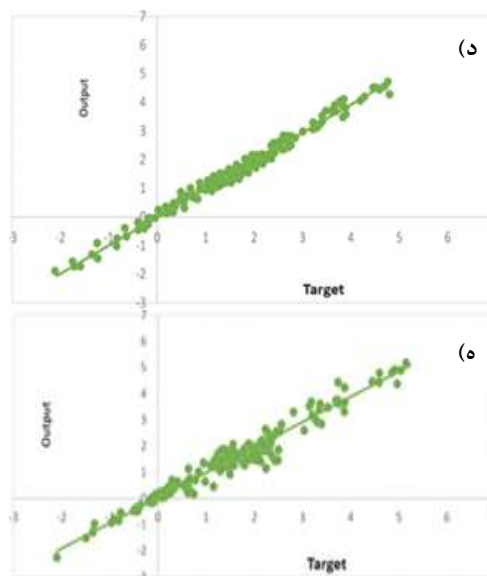
³ Root mean square error

⁴ Mean absolute error

تبخیر و تأثیر دما از تبخیر بیشتر است که این امر به خاطر مناسب‌تر بودن مقادیر R^2 و $RMSE$ در سناریوی بارش است. هرچه مقدار R^2 به عدد یک و مقدار $RMSE$ به عدد صفر نزدیک‌تر باشند شبکه‌ی ما بهتر آموزش‌دیده و پیش‌بینی ما دقیق‌تر خواهد شد. ضمناً علاوه بر سناریوهای تک و دومتغیره، سناریو دیگری هم شامل هر سه متغیر تبخیر، دما و بارش در نظر گرفته شد که تأثیر هر سه داده ورودی را به صورت هم‌زمان نشان داد. همان‌طور که نتایج نشان داد، دقت این سناریو از سایر سناریوها بهتر است. در این سناریو هر سه متغیر دما، تبخیر و بارش هم‌زمان وارد محاسبات شدند و چون هر سه متغیر از عوامل تأثیرگذار بر کاهش سطح آب دریاچه ارومیه بودند لذا دقت این سناریو از حالت‌های تک متغیره و دومتغیره، بهتر بوده است. به دلیل اینکه تبخیر کمترین تأثیر را در کاهش سطح داشت، در سناریو چهارم از آن صرف‌نظر شده و فقط داده‌های دما و بارش در نظر گرفته شده است اما دقت این سناریو از سناریو پنجم کمتر شد. بدین ترتیب، با توجه به نتایج حاصل شده، می‌توان بیان نمود که روش شبکه عصبی، روشی کاملاً مناسب برای آنالیز و پیش‌بینی تغییرات سطح تراز آب دریاچه‌ها است. با توجه به جدول (2) می‌توان اظهار کرد که روش شبکه عصبی مصنوعی، روشی کاملاً مناسب برای آنالیز و پیش‌بینی تغییرات سطح تراز آب دریاچه‌ها است؛ بنابراین می‌توان از نتایج این روش در راستای پیش‌بینی سطح آب و در نتیجه مدیریت منابع آبی حوضه آبریز بهره گرفت.

مراجع

1. Mehsafar, H., Mina, R., Soghafian, B. "The Impact of Climate Change on the Urmia Lake Aquatic Basin," Iran Water Resources Research 7(1). Page: 58. Wilcox, D.A., Thompson, T.A., Booth, R.K., and Nicholas, J.R. (2007) "Lake-Level Variability and Water Availability in the Great Lakes." U.S. Geological Survey, Reston, Virginia. 2010. (In Persian)
2. Afshin, H., Karbala'i Faraji, H. "Performance and durability of concrete containing different pozzolans in the environmental conditions of Lake Urmia." Journal of Faculty of Engineering, Tabriz University, 35(3): 12-1. 2008. (In Persian)



شکل 2. مقایسه بین خروجی شبکه عصبی ارائه‌شده و داده‌های هدف در: الف) سناریوی اول؛ ب) سناریوی دوم؛ ج) سناریو سوم؛ د) سناریوی چهارم؛ ه) سناریوی پنجم.

Fig. 2. Comparison between the output of the proposed neural network and the target data in: a) first scenario; b) second scenario; c) third scenario; d) fourth scenario; e) fifth scenario.

جدول 2. پارامترهای ارزیابی عملکرد شبکه.

Table 2. Network performance evaluation parameters

سناریو	سناریو	سناریو	سناریو	سناریو	معیار
پنجم	چهارم	سوم	دوم	اول	سنجش
0.068	0.083	0.093	0.23	0.26	$RMSE$
0.021	0.028	0.033	0.035	0.042	MAE

در سناریو دوم دما به‌تنهایی تأثیر کمتری نسبتاً به بارش دارد ولی تأثیر دما از تبخیر بیشتر است و با استفاده از سناریوی سوم بارش تأثیر بیشتری نسبت به دما و تبخیر دارد. با استفاده از سناریوی چهارم مشخص شد که تأثیر دما و بارش به‌طور هم‌زمان بیشتر از هرکدام از آن‌ها به صورت منفرد است. با در نظر گرفتن هر سه پارامتر دما و بارش و تبخیر به‌طور هم‌زمان در سناریو پنجم مشخص شد که به کار گرفتن هر سه داده در شبکه عصبی می‌تواند به شبکه دقیق‌تری منجر شود.

4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه متوجه می‌شویم که تأثیر بارش، از دما و

- to Hydrological Parameters Using Artificial Neural Network." Fourth Iranian Water Resources Management Conference, Amirkabir University of Technology. **2011**. (In Persian)
12. Mehdi Akbari, M., Karami, J. "Investigating changes in Lake Urmia using artificial neural networks." Third International Conference on Environmental Planning and Management, Tehran University, Tehran, Iran. **2013**.
 13. Jaafari, S., Danehkar, A., and Alizadeh Shabani, A. "Investigation of coastline change of the Urmia Lake using remote sensing and GIS (1992-2012)." International Journal of Aquatic Biology, 1(5): 215-220. **2013**.
 14. Taormina, R., Chau, K., Sethi, R. "Artificial Neural Network simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon." Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25(8): 1670-1676. **2012**.
 15. Y. Seo, S. Kim, O. Kisi, and V. P. Singh, "Daily water level forecasting using wavelet decomposition and artificial intelligence techniques," Journal of Hydrology, vol. 520, pp. 224-243, **2015**.
 16. Gong, Y., Wang, Z., Xu, G., Zhang, Z., "A comparative study of groundwater level forecasting using data-driven models based on ensemble empirical mode decomposition," Water, vol. 10, p. 730, **2018**.
 17. Ghorbani, M., Deo, R. C. Yaseen, Z. M., Kashani, M. H., Mohammadi, B. "Pan evaporation prediction using a hybrid multilayer perceptron-firefly algorithm (MLP-FFA) model: case study in North Iran," Theoretical and applied climatology, vol. 133: 1131-1119. **2018**.
 18. Hrnjica, B., Bonacci, O. "Lake Level Prediction using Feed Forward and Recurrent Neural Networks," Water Resources Management, vol. 33: 2471-2484 **2019**.
 19. Shabani Nia, F. "Introduction to fuzzy logic using MATLAB." Khaniran Publishing House, Tehran. **2007**. (In Persian)
 20. Sovereign, b. "Prediction of Intermittent Demand using Artificial Neural Networks"
 3. Water Engineer Consulting Engineers. "Study of the second phase of the martyr Kalantari Highway located at Lake Urmia." Report on Lake Livestock Studies and water level changes during its useful life. **1992**. (In Persian)
 4. Asghari Zamani, A. "Assessment of changes in Lake Urmia as a major environmental challenge to the northwestern region of Iran." Geographical Space, Volume 13(41): 91-77. **2013**. (In Persian)
 5. Khosrowzadeh, Sh., Khosrowederi, A. "Evaluation of the durability of concrete in marine environments in terms of position relative to sea level (Case study of Lake Urmia and Persian Gulf)", 10th International Congress on Civil Engineering, Tabriz University. **2011**. (In Persian)
 6. Mahsafar, H., Maknoon, R., Saghafian, B. "Impact of climate change effects on sea level rise in combination with an altered river flow in the lake malar Region." Research in Marine Sciences, 2(2): 83-94. **2017**.
 7. Rasuli, A., Abbasian, Sh., And Jahanbakhsh, S. "Monitoring the fluctuations of Lake Urmia water level with multi-sensory satellite processing and several times." Quarterly Journal of Humanities, 12(2): -53 71. **2008**. (In Persian)
 8. Mehsafar, H., Mina, R., Soghafian, B. "Estimation of evaporation from Lake Urmia using satellite images of the MODIS sensor." Iran Water Resources Research. Volume 11. Number 1. Page: 48-32. **2010**. (In Persian)
 9. Roshan, Gh., Mohammad Nezhad A., "Prognosis of hydrologic changes in the Lake Urmia water level by approaching different hypothetical plans for global warming in the coming decades." Quantitative geomorphology studies, 3(1): 69-88. **2012**. (In Persian)
 10. Ghasemzadeh, M., Azad, N., Oriental, A. "Investigation of the effect of hydroclimatological parameters on the surface of Lake Urmia by using a wavelet communication criterion". Civil and Environmental Studies, 2(1): 37-50. **2016**. (In Persian)
 11. Mohammadi, K., Hassanzadeh, Y. Hosseinzadeh Delir, AS. "Simulation of Lake Urmia Water Level Level Change Due

Maharlou Lake Basin, Zagros Mountains of Iran.” *Journal of Geology*, 47:30–40. **2012**.

30. Flohr, P., Fleitmann, D., Zorita, E., Sadekov, A., Cheng, H., Bosomworth, M., Edwards, L., Matthews, W., Matthews, R. “Late Holocene droughts in the Fertile Crescent recorded in a speleothem from northern Iraq.” *Geophysical Research Letter*, 44:2016GL071786. **2017**.
21. Djamali, M., de Beaulieu, J.L., Miller, N. F., Andrieu-Ponel, and Ponel, V. “Vegetation history of the SE section of the Zagros Mountains during the last five millennia; a pollen record from the Maharlou Lake, Fars Province, Iran.” *Vegetation Historical Archaeobotany*, 18:123–136. **2009**.
22. Zhao, D. Ren, D., Zhao, K., Pan, S., Guo, X. “Effect of welding parameters on tensile strength of ultrasonic spot welded joints of aluminum to steel - by experimentation and artificial neural network,” *J. Manuf. Process.* 30 (2017) 63–74. **2017**.
23. Leke, C. and Marwala, T. “Missing data estimation in high-dimensional datasets: A swarm intelligence-deep neural network approach.” In *International Conference in Swarm Intelligence*, Springer: 259– 270. **2016**.
24. Zeng, Y.R., Zeng, Y., Choi, B., Wang, L. “Multifactor-influenced energy consumption forecasting using enhanced back-propagation neural network,” *Energy* 127 (2017) 381–396. **2017**.
25. Prabhu, M.V., Karthikeyan, R., and Shanmugaprasath, M. “Modeling and optimization by response surface methodology and neural network–genetic algorithm for decolorization of real textile dye effluent using *Pleurotus ostreatus*: a comparison study.” *Desalination and Water Treatment*, 57(28): 13005-13019. **2016**.
26. Kumar, S., Merwade, V., Kam, J., Thurner, K. “Streamflow trends in Indiana: Effects of long term persistence, precipitation and subsurface drains.” *Journal of Hydrology*, 374(1): 171-183. **2009**.
27. Flato, G.M., Boer, G.J. “Warming asymmetry in climate change simulations.” *Geophysical Research Letter*, 28(1): 195-198. **2001**.
28. Govindaraju, R.S. “Artificial Neural Networks in Hydrology. II: Hydrologic Applications.” *Journal of Hydrologic Engineering*, 5(2): 14-30. **2000**.
29. Faghieh, A., Samani, B., Kusky, T., Khabazi, S., Roshanak, R. “Geomorphologic assessment of relative tectonic activity in the

