نشریه علمی علوم و فنون نقشه برداری، دوره نهم، شماره ۳، اسفند ماه ۱۳۹۸ - مقاله پژوهشی

توسعه راهکاری بااستفاده از آنالیزهای مکانی و شبکه‌های عصبی برای بررسی و تحلیل مکانمند سطوح آب در زمان‌های خشکسالی

سپیده برزگری[۱]، حسین آقامحمدی*[۲]، سعید بهزادی[۳]

[۱] کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات - تهران
sepidehbarzegari71@gmail.com

[۲]استادیارگروه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور - دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست - دانشگاه آزاداسلامی واحد علوم تحقیقات - تهران
h-aghamohammadi@srbiau.ac.ir

[۳] استادیار گروه نقشه‌برداری - دانشکده عمران - دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
behzadi@sru.ac.ir

(تاریخ دریافت مهر ۱۳۹۷، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۸)

چکیده

دریاچه ارومیه به جهت داشتن انواع گونه‌های حیات وحش، انواع گونه‌های پوشش گیاهی در سطح جزایر، ایجاد تعادل طبیعی در منطقه آذربایجان، ارزش توریستی ، تفریحی و اجتماعی، ارزش طبی، ذخیره‌گاه زیست سپهر و همچنین به عنوان یک تالاب بین المللی دارای اهمیت ویژه‌ای است. ازطرفی مطالعه پارامترهای هواشناسی دریاچه ارومیه و بررسی تغییرات تراز آن، به منظور اعمال مدیریت برمنابع آب حائز اهمیت است. درنتیجه به منظور احیای دوباره دریاچه ارومیه و مدیریت منابع آب این دریاچه لازم است نقش پارامترهای موثر مشخص شود. لذا در این تحقیق از روش شبکه عصبی استفاده شد و پارامترهای هواشناسی نظیر تبخیر، دما، بارش و مقادیرسالانه برداشت از آب‌های زیرزمینی چاه‌های اطراف دریاچه ارومیه و مقادیرسالانه دبی ورودی به دریاچه بین سالهای ۱۳۷۶ تا۱۳۹۰، به عنوان پارامترهای ورودی و ارتفاع و مساحت سالانه آب دریاچه به عنوان پارامترهای خروجی وارد شبکه عصبی شدند. دراین تحقیق از قوانین لونبرگ برای آموزش شبکه استفاده شد. پس از آموزش مدل توسط پارامترهای هواشناسی، مشخص گردید مدل شبکه عصبی به شکل کاملا مناسبی و با دقت بالایی داده‌ها را تقریب می‌زند. این شبکه، مساحت دریاچه ارومیه را به اندازه ٪۳ خطا و ٪۹۷ دقت و سطح تراز دریاچه با خطای ۰/۸ m تخمین میزند. همچنین ضریب همبستگی پارامتر برداشت از آب‌های زیرزمینی با ارتفاع و مساحت ۰/۴- و ضریب همبستگی بارش با ۲ پارامتر وابسته ۰/۱۵+ وضریب دبی ورودی ۰/۴+ به دست‌آمد. پس از بررسی مدل معلوم شد که پارامترهای برداشت از چاه‌های زیرزمینی و مقدار دبی ورودی دریاچه نسبت به دیگر پارامترها برروی ارتفاع و مساحت تاثیربیشتری دارند.

واژگان کلیدی: دریاچه ارومیه، تغییرات اقلیمی، شبکه عصبی، تغییرارتفاع و مساحت

* نویسنده رابط

۱- مقدمه

بررسی اطلاعات و داده‌های هواشناسی و هیدرومتری دهه اخیر نشان می‌دهد که فرآیند پیچیده‌ای درسیستم آب و هوایی کشور به مرور درشرف تکوین است، و در برخی مناطق میزان تبخیر، مقدار، شدت و نوع بارش، زمان ذوب برف و درنتیجه میزان رواناب و مقادیرحدی آن، دبی ورودی دریاچه و میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی دستخوش تغییرات بوده است بخشی از بلای طبیعی که ناشی ازتغییرات و نوسانات آب وهوایی، وقوع خشکسالی است که به عنوان بلای اقلیمی و اکولوژیکی قلمداد می‌گردد[۱]. مطابق تعریف آژانس مطالعات محیطی اروپا، خشکسالی وضعیتی تکراری است که در هر منطقه و با هر میزان بارش و در هر فصلی می‌تواند اتفاق بیفتد[۲]. تالاب‌ها یکی از اکوسیستم‌های با ارزشی هستند که کارکردهای بسیاری از جمله تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی، پناهگاه پرندگان مهاجر و نیز تنوع زیستی بالایی دارند. این اکوسیستم‌های ارزشمند درطی سال‌های اخیر به دلیل خشکسالی و عوامل انسانی مورد تهدید قرارگرفته‌اند. از عوامل انسانی موثر بر آنها می‌توان به احداث سد و احدث چاه برای بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی اشاره کرد. خشکسالی نیز می‌تواند برکاهش حجم جریان‌های آب ورودی به تالاب ،زیستگاه‌های تالابی و نیز اقتصاد تالاب اثربگذارد. لذا حفاظت از تالاب‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک نیازمند مدیریتی صحیح میباشد[۴]. هدایت و برنامه‌ریزی در راستای پیش‌بینی و کنترل خشکسالی‌های اقلیمی از مهمترین عوامل مدیریتی در کاربرد اقلیم وتغییرات اقلیم می‌باشد. پیشرفت و صنعتی شدن جوامع بشری در قرن گذشته باعث تشدید غلظت گازهای گلخانه‌ای و مشاهده تغییراتی در اقلیم و آب‌وهوای مختلف کره زمین شده است[۴]. در بررسی خشکسالی‌ها، استفاده از مدل‌هایی بر اساس روش‌های تصادفی و احتمالاتی سابقه‌ای طولانی دارد، اما بسیاری از این روش‌ها روابط بین متغیرها را خطی فرض نموده و در مدل کردن پدیده‌های غیرخطی مانند سری‌های زمانی هیدرولوژیکی با شکست مواجه می‌شوند. از این رو پژوهشگران برای ساختن مدل‌های پیش‌بینی معتبر، به استفاده از تکنیک‌های مدل‌کننده‌ی غیرخطی نظیر شبکه عصبی و سیستم‌های فازی که ازجمله مدل‌های پیش‌بینی هستند روی آورده‌اند[۵].

مطالعه پارامترهای هواشناسی دریاچه‌ها و بررسی تغییرات تراز آن در زمان خشکسالی، به منظور اعمال مدیریت بر منابع آب حائز اهمیت است. درکشورهای درحال توسعه سالیانه دولت‌ها برای اجرای پروژه‌های منابع آب، منابع مالی و انسانی عظیمی را هزینه می‌کنند[۱].

از آن جایی که عدم موفقیت این پروژه‌ها میتواند مشکلات زیادی را به دنبال داشته باشد. لذا ضرورت استفاده از تکنولوژی‌های نوین در جهت مطالعات هرچه دقیق‌تر همسوی با اهداف طرح‌ها و پروژه‌ها تایید می‌گردد [۱].

پیچیدگی پدیده‌های طبیعی و عدم امکان پیش‌بینی، برآورد و اندازه‌گیری دقیق و مقرون به صرفه‌ی آنها از لحاظ مالی و زمانی، محققان را به استفاده از فن‌آوری‌های نوین و توابع و فرمول‌های مختلف وا داشته است. یکی از فناوری‌های نوین که امروزه در زمینه‌های مختلف علمی به خصوص علوم مرتبط با پدیده‌های طبیعی بسیار موردتوجه محققین قرار گرفته است شبکه‌های عصبی مصنوعی است[۱]. شبکه‌های عصبی مصنوعی یکی از دستاوردهایی می‌باشد که با الگوبرداری از شبکه عصبی مغز انسان، می‌تواند پدیده‌های پیچیده و ناشناخته را به خوبی بررسی نماید. همچنین استفاده از روش شبکه عصبی می تواند برای پیش بینی تغییرات سطح آب درچند سال آینده مفید واقع شود. استفاده از شبکه عصبی روشی نو در پیش بینی سطح تراز دریاچه‌ها در ایران بوده است. استفاده از این روش شامل فوایدی مانند قابلیت تطبیق یا انطباق، قابلیت تعمیم، غیرخطی بودن، قابلیت پردازش موازی، داده محور بودن و غیره می باشد[۶].

ابرقویی و همکاران در سال ۱۳۹۰ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، شاخص خشکسالی SPI[۱] را برای ۱تا۱۲ماه درمحدوده‌ی اردکان یزد پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد شبکه‌های عصبی مصنوعی که به صورت جعبه سیاه عمل می کنند، قابلیت زیادی در پیش‌بینی خشکسالی دارند. محمدی و همکاران درسال ۱۳۹۰، درشبیه سازی تغییرات تراز سطح آب دریاچه ارومیه باتوجه به پارامترهای هیدرولوژیکی با استفاده ازشبکه‌های عصبی به این نتیجه رسیدند که لحاظ نمودن آبهای زیرزمینی در بررسی تغییرات تراز سطح آب دریاچه می‌تواند دقت محاسبات را افزایش داده و در صورت

۱ Standardized Precipitation Index.

آموزش صحیح، شبکه عصبی می تواند به خوبی تراز سطح آب دریاچه را تخمین بزند. خلیلی و همکاران در سال ۱۳۹۳درمقاله‌ای به بررسی نقش عوامل و تأثیر هر یک در خشک شدن دریاچه ارومیه درسال ۱۳۹۳پرداخته اند. برای این منظور ابتدا روند تغییرات بلند مدت ۲۰ ساله (۲۰۰۹-۱۹۸۹) پارامترهای دما، بارش و دبی رودخانه‌ها محاسبه گردیده و نحوه تغییر آن شناسایی شد. همچنین به بررسی وقوع پدیده خشکسالی با استفاده از شاخص SPI پرداخته شد. که نتایج آن حاکی از بروز پدیده خشکسالی در دهه‌های اخیر می‌باشد که شدیدترین آن در طول سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۷ به وقوع پیوسته است. مقایسه تراز سطح آب دریاچه‌های ارومیه و وان ترکیه نیز نشان داد که سطح تراز هر دو دریاچه از سال ۱۹۹۷ به بعد به دلیل وقوع خشکسالی‌ها به شدت کاهش یافته است. اما از سال ۲۰۰۲ به بعد سطح دریاچه وان روند افزایشی به خود گرفته، این در حالی است که سطح دریاچه ارومیه دوباره با یک روند کاهشی شروع به نزول نموده است. دلیل این پدیده، عدم مدیریت منابع آبی در حوضه دریاچه ارومیه و استفاده بیشتر از منابع آبی، هم در دوره‌های خشکسالی و هم بعد از آن، بخصوص در بخش کشاورزی می باشد. بدین منظور به بررسی میزان آب مصرفی حوضه در بخش کشاورزی به عنوان پرمصرف‌ترین بخش آب شیرین، پرداخته شد. نتایج نشان داد که سطوح تحت کشت آبیاری در طی ۳۵ سال گذشته رشد قابل توجهی داشته بطوریکه مصرف در بخش کشاورزی از ۱/۸ میلیارد متر مکعب به ۵/۶ میلیارد متر مکعب در سال افزایش پیدا کرده است که در این میان کشت محصولات پرمصرفی مانند سیب و عدم رضایت الگوی صحیح کشت، به تخلیه بیش از پیش منابع آبی در این حوضه دامن زده است. رضیئی درسال ۱۳۹۴ به پیش‌بینی خشکسالی درمنطقه خشک ونیمه خشک ایران با استفاده ازمدلهای سری زمانی و زنجیره مارکف پرداخت. نتیجه این بررسی نشان داد که مدل ARIMA[۱] با سری‌های منطقهای SPI سه وشش ماهه و مدل SARIMA[۲] با سری‌های منطقه‌ای SPI دوازده ماهه بهترین برازش را دارند.

آداموسکی[۳] و همکاران درسال ۲۰۱۱ به کمک مدلهای شبکه عصبی، شبکه عصبی موجکی و ARIMA به پیش‌بینی ماهانه‌ی سطح آب زیرزمینی در حوضه‌ی آبریز Chateauguay در Quebec کانادا پرداختند.آن‌ها نتایج پیش بینی سطح آب زیرزمینی توسط مدل تلفیقی را با مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل ARIMA مقایسه نمودند. نتایج این مقایسه نشان داد که مدل تلفیقی با دقت بالاتری نسبت به ۲ مدل دیگر، قادر به پیش بینی سطح آب زیرزمینی می باشد. باروا[۴] و همکاران در سال۲۰۱۲ برای پیش‌بینی خشکسالی روش ADI[۵] یا شاخص تجمیعی خشکسالی و دو نوع از شبکه‌های عصبی بازگشتی و شبکه عصبی مستقیم را به کارگرفتند. نتایج نشان داد شبکه‌های RMSNN[۶] برای پیش‌بینی۳ماهه وشبکه‌های DMSNN[۷] برای بازه‌ی ۶ ماهه نتایج بهتری دارند. همچنین آن‌ها نشان دادند که این ۲ مدل نسبت به مدل ARIMA ازدقت بالاتری برخوردارند. ریکاردو و چائو[۸] در سال ۲۰۱۲ مطالعه‌ای را انجام دادند که در آن شبکه‌های عصبی مصنوعی با موفقیت برای پیش‌بینی سطح آب‌های زیرزمینی تا چند مرحله زمانی آتی، بکار گرفته شده‌اند. در این مقاله، کاربرد شبکه‌های عصبی پیشخور[۹] را برای شبیه‌سازی طولانی مدت از سطح آبهای زیرزمینی در آبخوان محصور نشده ساحلی مستقر در تالاب ونیز ایتالیا نشان می‌دهد. پس از مقداردهی اولیه مدل با سطوح آبهای زیرزمینی مشاهده شده در یک زمان معین، FNN توسعه یافته باید قادر به تولید تغییرات سطح آب تنها با استفاده از متغیرهای ورودی که به عنوان بارش و تبخیر و تعرق شناسایی شده اند، باشد. آداموسکی و بلاینه[۱۰] درسال ۲۰۱۵ به پیش بینی طولانی مدت خشکسالی براساس شاخص SPI و با استفاده ازشبکه عصبی موجک درحوضه آبشاری در اتیوپی پرداختند که در تحقیق آنها ازمدلهای ANN و SVR[۱۱] استفاده شده است. تجزیه و تحلیل موجک به عنوان یک پیش پردازش مورد استفاده قرارگرفت. نتیجه این تحقیق دقت بالای این

۱ Autoregressive integrated moving average
۲ Seasonal autoregressive integrated moving average

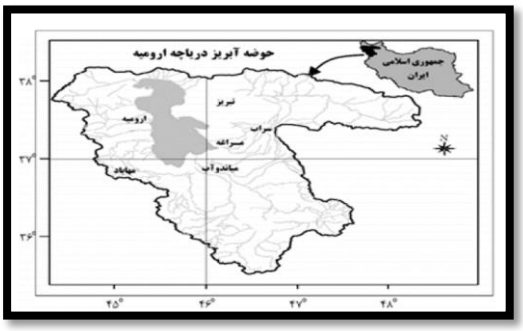
۳ Adamowski
٤ Barrua
٥ Aggregate drought index
٦ Recursive stochastic modeling neural network
۷ Direct stochastic modeling neural networ
۸ Riccardo and chau
۹ Feed Forward neural network
۱۰ Adamowski and Belayneh
۱۱ Support vector regression

روش را در پیش‌بینی خشکسالی نشان داد. در تحقیق بلاینه و آداموسکی عملکرد تمام مدلها با استفاده از شاخص‌های انحراف معیار و میزان همبستگی مقایسه شد. نتیجه کلی این تحقیق نشان داد که ANN و SVR نسبت به سایرمدلها نتایج پیش‌بینی را بهترارزیابی می‌کند.

اکثر مدل‌هایی که درباره خشکسالی و تغییرات سطح تراز آب وجود دارد بیشتر برروی بررسی تغییرات سطح آب دریاچه‌ها بوده و برروی پیش‌بینی تغییرات مساحت و ارتفاع سطح آب با توجه به تغییرات پارامترهای دبی ورودی و میزان برداشت ازچاه‌ها کار نشده است. دراین مطالعه ما به دنبال ارائه مدلی هستیم که با توجه به پارامترهای موثر درخشکسالی ازقبیل دما، تبخیر و بارش وهمچنین بادرنظرگرفتن پارامترهای دبی ورودی ومیزان برداشت ازچاه‌ها برای هر یک از زیرحوضه‌های اطراف دریاچه به صورت مکانمند با استفاده از مدل شبکه عصبی تغییرات سطح آب دریاچه‌ها را با دقت بالایی تقریب بزنند. در نتیجه هدف کلی از این تحقیق ارائه و توسعه‌ی راهکاری برای بررسی و تحلیل تغییرات سطوح آب در زمان‌های خشکسالی با استفاده از روش شبکه عصبی و آنالیزهای مکانی می‌باشد. از طرفی دیگر این تحقیق در نظر دارد که عوامل تاثیرگذار و میزان تاثیرگذاری هر یک از این عوامل برروی مساحت و سطح تراز آب و مدلسازی تغییرات سطوح آب با استفاده از روش شبکه عصبی تحلیل و تعیین کند.

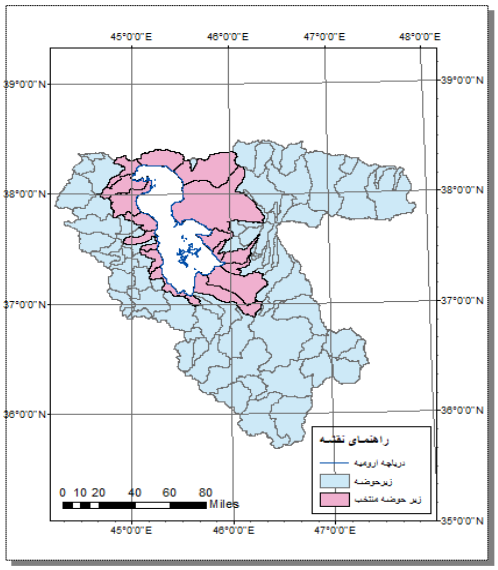
۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق دریاچه ارومیه بود که این دریاچه درشمال غرب ایران، بین استانهای آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی واقع شده است.این دریاچه با مساحت‌بالغبر ۵۸۲۲ کیلومترمربع در رقوم ۱۲۷۷/۸ بیستمین دریاچه جهان از لحاظ وسعت محسوب میگردد. طول دریاچه از ۱۳۰ تا ۱۴۶کیلومتر متغیر بوده و عرض دریاچه در پهن‌ترین قسمت، ۵۸ کیلومتر و در کم-عرض‌ترین قسمت آن که در محلی بین کوه زنبیل وجزیره اسلامی واقع شده است ۱۵ کیلومتر می‌باشد. وسعت حوضه آبریز دریاچه ۵۲۳۵۵ کیلومترمربع می‌باشد که از این مقدارحدود ۵۸۲۲ کیلومترمربع وسعت خود دریاچه مستقیما با ارتفاع آب دریاچه رابطه داشته و با افزایش یا کاهش حجم آب آن تغییر پیدا می‌کند[۱۴]. موقعیت دریاچه درکشور حوضه‌های اطراف آن در شکل ۳-۱- قابل مشاهده است[۱۴].



شکل۱- نقشه حوضه آبریز دریاچه ارومیه [۱۴]

در این تحقیق جهت پیش‌بینی خشکسالی، داده‌های مساحت و ارتفاع دریاچه ارومیه بین سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ به عنوان متغیرهای وابسته با استفاده از روش شبکه عصبی پیش‌بینی شده‌اند. در این راستا از ۵ پارامتر مستقل زیرحوضه‌های مرزی دریاچه ارومیه جهت پیش‌بینی استفاده شده است که شامل داده‌های بارش، دما و رطوبت اخذ شده از ۵ ایستگاه سازمان هواشناسی کشور و داده‌های مربوط به دبی ورودی و برداشت آب‌های زیرزمینی اخذ شده از ۳۱ ایستگاه سازمان ستاد احیای دریاچه ارومیه می‌باشد. دلیل انتخاب این پارامترها به این علت بود که همزمان با تغییرات آب وهوایی و افزایش احداث سدها و چاه در منطقه در مساحت و ارتفاع آب دریاچه تغییرات قابل توجهی بوجودآمده بود. مقادیر ماهانه مربوط به دما و بارش و تبخیر از سازمان هواشناسی کشور تهیه شد و سپس مقادیر سالانه هرکدام میانگین‌گیری شد. ایستگاهای هواشناسی منتخب باران-سنجی و دما و تبخیر دارای ویژگی‌های زیر بودند: دارا بودن پایه زمانی مشترک ،دارا بودن آمار طولانی مدت ،دارا بودن تراکم نسبتا خوب و قرار گرفتن در فاصله‌ای مناسب در اطراف دریاچه ارومیه . واحد دما براساس میلی‌متر و تبخیر براساس درصد و دما براساس واحد درجه سانتی-گراد بدست آمد. در رابطه با دریاچه ارومیه، ۹۸ زیرحوضه اطراف آن وجود دارد، مطابق شکل ۲که در این تحقیق فقط از ۱۸ زیرحوضه مرزی دریاچه ارومیه استفاده شده است.



شکل ۲- زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه

برای آموزش شبکه عصبی نیاز است که مقادیر هریک از ۵ پارامتر مستقل برای ۱۸ زیرحوضه اطراف دریاچه ارومیه که درشکل ۲ با رنگ بنفش مشخص شده‌اند را داشته باشیم، در این تحقیق برای تحقق این امر، ابتدا با استفاده از درونیابی نقاط گسسته از ایستگاه‌ها به یک سطح پیوسته از پارامترها تبدیل شده است، سپس با استفاده از عملگر منطقه‌ای[1] (در توابع آمار منطقه ای لایه ورودی توسط لایه همپوشانی به چندین زون تبدیل می شود و آماره ها برای زونها محاسبه می شود). مقادیر هر یک از پارامترها برای ۱۸ زیرحوضه مذکور محاسبه شده است.

در نهایت داده‌های ورودی شبکه عصبی این تحقیق جهت آموزش شبکه داده‌ها شامل ۹۰ (به ازای هر پارامتر در هر زیرحوضه) ستون و ۱۵ (به ازای هر سال) سطر می باشد. از طرفی هریک از این پارامترها دارای واحد متفاوتی هستند و جهت آموزش صحیح شبکه و حذف واحد پارامترها هر یک از ستون‌ها مطابق رابطه(۱) نرمالایز می شوند.

$$n'_{ij} = \frac{(n_{ij} - min_j)}{(max_j - min_j)} \qquad (1)$$

$$j = 1,2,\dots,90,\ \ i = 1,2,\dots,15$$

در رابطه (۱) n_{ij} داده مربوطه سطر i و پارامتر j ، n'_{ij} داده تصحیح شده به فضای مقیاسی [0 1] ، min_j و max_j به ترتیب کمینه و بیشینه ستون j می‌باشد.

[1] Zonal

در این تحقیق از شبکه‌های پرسپترون چندلایه جهت آموزش شبکه عصبی استفاده شده است این شبکه‌ها از یک نرون ساخته شده‌اند و دارای محدودیت‌هایی می‌باشند و همچنین توانایی پیاده‌سازی توابع غیرخطی را ندارند به عنوان مثال توسط این شبکه‌ها نمی‌توان تابع XOR را پیاده‌سازی نمود[۱۵].

مدل عمومی شبکه‌های پرسپترون، شبکه جلو رونده با روال تعلیم انتشار به عقب است. روال انتشار به عقب بدین معنی است که پس از مشخص شدن خروجی شبکه، ابتدا وزنهای لایه آخر تصحیح شده و بعد به ترتیب اوزان لایه‌های قبلی تصحیح می‌شوند. شبکه‌های پرسپترون ازیک لایه ورودی، تعدادی لایه پنهان و یک لایه خروجی تشکیل شده است. لایه پنهان که داده‌ها را پردازش می کند و لایه خروجی که نتایج را به ازای ورودی‌های مشخص، استخراج می‌کند. یک شبکه می‌تواند چندین لایه پنهان داشته باشد. ولی تحقیقات تئوریک انجام گرفته در این زمینه نشان داده‌اند که یک لایه پنهان برای اینگونه مدلها می‌تواند هر تابع پیچیده و غیر خطی را تقریب بزند. همچنین نتایج تجربی و عملی نیز این موضوع را تایید می کنند [۱۶]. براساس پژوهش‌های انجام شده،۹۰ درصد شبکه‌های عصبی مصنوعی که در مسایل هیدرولوژی مورد استفاده قرار گرفته‌اند، از نوع الگوریتم پس انتشار هستند [۱۷]. بنابراین در این تحقیق از شبکه پرسپترون چندلایه با یک لایه پنهان و الگوریتم پس انتشار خطا برای پیش بینی خشکسالی استفاده گردید.

در شبکه عصبی ابتدا درصدی از داده‌ها به مدل برای عمل آموزشی وارد شده و در مرحله بعدی درصد باقیمانده داده‌ها برای عمل اعتبارسنجی و آزمایش شبکه استفاده می شود. که در این تحقیق ۷۰٪ داده‌ها برای آموزش و ۳۰٪ باقیمانده برای اعتبارسنجی و تست شبکه استفاده شده است. در مرحله آموزش، شبکه عصبی مصنوعی روابط بین متغیرها را به کمک داده‌های ورودی فرا گرفته است. سپس در مرحله اعتبارسنجی، داده‌های پارامترهای هریک از حوضه‌های آبریز به عنوان ورودی به شبکه آموزش دیده شده در مرحله آموزش، داده شده در نهایت مقادیر مساحت و سطح تراز دریاچه به عنوان مقادیر خروجی شبکه تخمین و پیش‌بینی خواهند شد سپس نتایج پیش‌بینی با مقادیر واقعی مقایسه شده و میزان خطا محاسبه می‌شود.مقادیر خطا باید در کمترین مقدار خود باشد که برای این کار باید

شبکه دلخواه طراحی شده و چندین بار عمل آموزش و تست تکرار شده تا خطا به حداقل خود برسد. از طرفی دیگر با توجه به اینکه نرون‌های لایه خروجی مساحت دریاچه ارومیه، دارای مقادیر بزرگی هستند شاخص RMSE نمی تواند به خوبی کیفیت تخمین شبکه را برای این نرون نشان بدهد، بدین منظور در این تحقیق علاوه بر این شاخص، از شاخص میانگین درصد خطا (MPE) برای ارزیابی کیفیت استفاده شده‌است. در نتیجه به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از روش برآورد خطا، ضریب همبستگی (R2)، جذرمیانگین مربعات‌خطا (RMSE) و میانگین درصد خطا (MPE) استفاده شده است. روابط این معیارها به صورت زیر است.

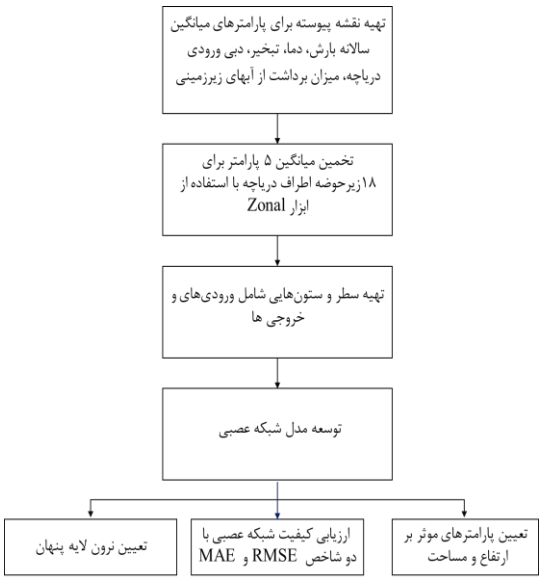
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=0}^{n}(y_o - y_f)}{\sum_{i=0}^{n} {y_o}^2 - \frac{\sum {y_f}^2}{n}} \quad (۲)$$

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{n}(y_o - y_f)^2}{r}} \quad (۳)$$

$$MPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{(y_o - y_f)}{y_o} \quad (۴)$$

در رابطه بالا y_o و y_f به ترتیب اندازه مشاهده‌ای و برآورد شده پارامتر مورد نظر با شبکه و r تعداد کل داده-های استفاده شده است [۶].

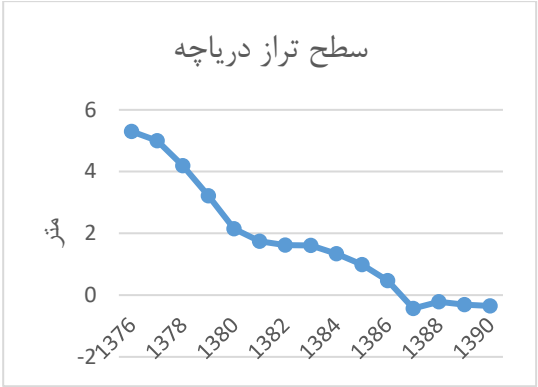
عموما هر شبکه عصبی از سه لایه تشکیل شده که عبارتند از ۱) لایه ورودی: شامل چند نرون است که در این پژوهش، ۵ پارامتر مربوط به هر یک از زیرحوضه‌های مرزی منتخب دریافت می‌کند، ۲) لایه پنهان: شامل تعدادی نرون متغیر است که تعداد بهینه آن‌ها برای حداقل شدن خطا از طریق R^2، RMSE و MAE آزمایش و تکرار تعیین می‌گردد. ۳) لایه خروجی: لایه خروجی شبکه به گونه‌ای طراحی شده است که با ۵ پارامتر مربوط به هر یک از زیرحوضه‌های مرزی منتخب، مساحت و سطح تراز دریاچه ارومیه با میزان خطای بسیار کم و دقت زیاد پیش‌بینی می‌کند که برای افزایش سرعت شبکه در این لایه، از تابع فعال‌ساز استفاده می‌شود تا با استفاده از آن هم سرعت یادگیری افزایش یابد و هم مقادیر خروجی بدون تغییر به شبکه ارائه شده، در نهایت خروجی مطلوب را بسازد. در این پژوهش از قوانین یادگیری لونبرگ- مارکوارت استفاده شده است. ازطرفی برای شبیه‌سازی شبکه پرسپترون چند لایه با الگوریتم پس انتشار خطا برگزیده شد و اجرا گردید و تابع غیرخطی سیگموئید به عنوان تابع انتقال شبکه مورد استفاده قرار گرفت. همچنین تعداد نرون‌های لایه میانی باید به درستی تعیین گردد به صورتی که اگر تعداد نرون‌های لایه میانی کم باشد ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌ها توسط شبکه شناسایی نخواهد شد ، از طرفی اگر تعداد نرون‌ها از حد لازم بیشتر باشد شبکه شروع به حفظ داده‌ها می‌کند، درنتیجه در مرحله آموزش نتیجه مثبت اما برای داده‌های آزمون ضعیف عمل نموده و قابلیت تعمیم‌پذیری ندارد[۱۵]. در نهایت فلوچارت این تحقیق در شکل ۳ آمده است.



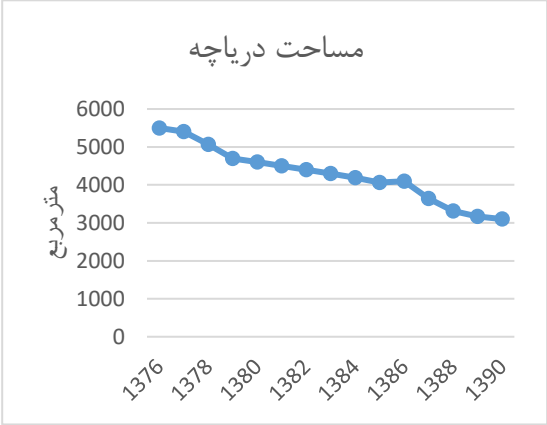
شکل ۳- فلوچارت روش تحقیق

۳- بحث و نتایج

در این بخش نتایج روش پیشنهادی برای تخمین تراز و مساحت دریاچه‌ی ارومیه، روش پیش‌بینی شبکه عصبی براساس ۵ پارامتر مستقل میانگین بارش سالانه، میانگین دما سالانه، میانگین تبخیر سالانه، دبی ورودی و میانگین برداشت از آب‌های زیرزمینی دریاچه ارومیه به همراه جزییات شرح داده شده است. با توجه به نبود این داده‌ها در زیرحوضه‌های دریاچه ارومیه، از داده‌های گسسته ایستگاه‌های اطراف دریاچه ارومیه استفاده شده‌است تا با استفاده از درونیابی مقادیر این پارامترها برای زیرحوضه-های دریاچه ارومیه محاسبه شود. سری زمانی داده‌های سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه بین سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰که در شکل ۴ و ۵ ترسیم شده است.



شکل ۴- سری زمانی سطح تراز دریاچه ارومیه بین سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰برحسب متر



شکل ۵- سری زمانی مساحت دریاچه ارومیه بین سالهای ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰برحسب مترمربع

همانطور که در اشکال ۴و۵ مشخص است سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه با گذشت زمان کاهش پیدا کرده است. برای بررسی همبستگی میان متغیرهای مستقل و وابسته از ضریب همبستگی پیرسون[۱] استفاده شده است، مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که «۱» به معنای همبستگی مثبت کامل، «۰» به معنی نبود همبستگی، و «۱-» به معنی همبستگی منفی کامل است. هر چقدر ضریب بدست آمده به ۱ نزدیکتر باشد نشانه تاثیر مثبت و قوی تر پارامتر مستقل روی پارامتر وابسته است و هر چه این ضریب به ۱- نزدیکتر باشد نشانه تاثیر معکوس و قوی تر پارامتر مستقل است. ضریب همبستگی پیرسون بین دو متغیر تصادفی برابر با کوواریانس آنها تقسیم بر انحراف معیار آنها تعریف می‌شود[۶]. در جدول ۱ ضریب همبستگی بین ۵ پارامتر مستقل و ۲ پارامتر وابسته برای داده‌های این تحقیق آمده است.

۱ Pearson Correlation Coefficient

جدول۱- ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای مستقل و وابسته

پارامتر مستقل	ضریب همبستگی نسبت به متغییر وابسته سطح تراز	ضریب همبستگی نسبت به متغییر وابسته مساحت
بارش	۰/۱۵	۰/۱۷
دما	-۰/۳۴	-۰/۲۲
تبخیر	-۰/۳۳	-۰/۳۹
دبی ورودی	۰,۴۱	۰,۴۶
برداشت از آب‌های زیرزمینی	-۰,۴۵	-۰,۴۸

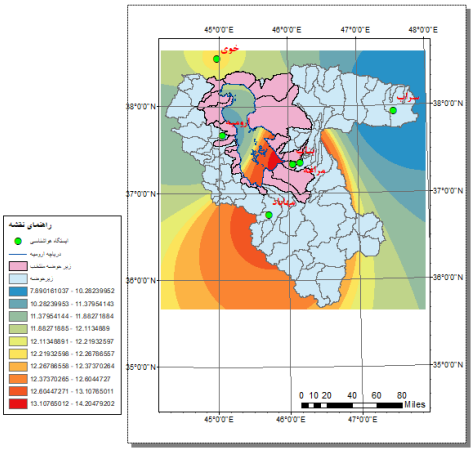
همانطور که در جدول(۱) پیداست پارامتر مستقل بارش و دبی ورودی همبستگی ضعیف و مثبت و همچنین پارامترهای مستقل دما، تبخیر و برداشت از آب‌های زیرزمینی همبستگی نسبتاً کامل و منفی با پارامترهای وابسته، سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه دارند که این نشان می‌دهد پارامترهای این تحقیق برای تخمین سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه به درستی انتخاب شده‌اند. بدین منظور از این پارامترها برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است.برای اجرای شبکه عصبی نیاز به وجود مقادیر ۵ پارامتر مذکور در ۱۸ زیرحوضه‌ی منتخب است، با استفاده از درونیابی سطح گسسته از نقاط ایستگاه‌های موجود وابسته به ۵ پارامتر، سطح پیوسته‌ای برای هریک از این ۵ پارامتر به دست آمد. سپس مقادیر هریک از این پارامترها در هریک از ۱۸ زیرحوضه توسط سطح پیوسته‌ی ایجاد شده بدست آمد، در این تحقیق با استفاده از عملگر مکانی Zonal این مقادیر بدست آمده است. برای درونیابی روش‌های مختلف زمین آماری و غیر زمین آماری مانند روش IDW[۲]، Global polynomial[۳]، Local Polynamial[۴] و Kriging به عنوان نمونه برای پارامتر دما بررسی شده است که در جدول (۲) نتایج آن آمده است.

جدول ۲- مقایسه نتایج روش‌های مختلف زمین آماری و غیر زمین آماری پارامتردما برحسب درجه سانتی گراد

روش درونیابی	RMSE
IDW	۲/۳۳
Global Polynomial	۴/۳۳
Local Polynomial	۴/۰۴
Kriging	۲/۷۶

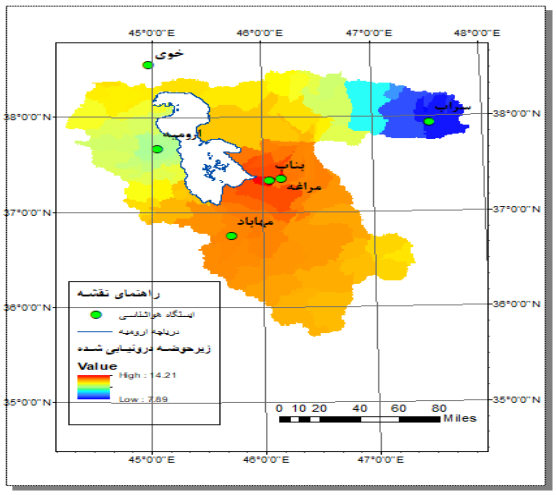
۲ معکوس فاصله وزن دار
۳ پلی نومیال جهانی
۴ پلی نومیال محلی

همانطور که در جدول (۲) پیدا است روش IDW برای داده های سالیانه تحقیق ما بهترین روش است ، این روش برای بقیه پارامترها هم بررسی شده است که نتایج مشابهی داشته است. بنابراین در این تحقیق از این روش برای تبدیل سطح گسسته از نقاط ایستگاه‌های موجود وابسته به ۵ پارامتر به سطح پیوسته‌ای برای هریک از این ۵ پارامتر استفاده شده است. در شکل (۶) نقشه درونیابی سطح گسسته ایستگاه‌های دما در سال ۱۳۷۶نشان داده شده است.



شکل ۶- نقشه سطح پیوسته از میانگین دمای سالیانه در اطراف دریاچه ارومیه

همانطور که در شکل (۶) پیداست این نقشه فقط یک سطح پیوسته می باشد که به خودی خود نمی‌تواند مقدار پارامتر دما را در هر یک از زیرحوضه‌های منتخب نشان دهد، زیرا این زیر حوضه‌ها هرکدام یک پلی گون می‌باشند. بدین منظور عملگر مکانی Zonal استفاده شده است تا مقدار میانگین سلول‌های درونی پلی‌گون زیرحوضه برای هر پارامتر بدست آید. در شکل (۷) نقشه‌ی الحاقی لایه درونیابی با لایه زیرحوضه‌ها را مشاهده می‌کنید.



شکل ۷- نقشه زیرحوضه های درونیابی شده پارامتر دما

این عملیات برای تمامی پارامترها در بین سال‌های ۱۳۷۶ و ۱۳۹۰ در این تحقیق انجام شده است، در نهایت با داشتن ۵ پارامتر برای ۱۸ زیرحوضه‌ی منتخب در طی ۱۵ سال مذکور، ۱۳۵۰ داده‌ی خروجی در این بخش بدست آمد و سپس این داده‌ها به عنوان داده‌های ورودی ، وارد EXCEL شدند. همچنین جدول دیگری به عنوان داده‌های خروجی شامل ارتفاع و مساحت سال ۱۳۷۶ تا سال ۱۳۹۰ تهیه گردید.در این تحقیق ٪۷۰ داده‌ها به عنوان داده‌ی آموزشی و ٪۱۵ داده‌ها به عنوان داده‌ی آزمون و ٪۱۵ داده‌ها به عنوان داده‌ی اعتبارسنج در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در شبکه عصبی تعداد نرون‌های پنهان مساله مهمی است و یک ساختار مشخصی برای تعیین آن وجود ندارد در این تحقیق شبکه عصبی را برای $n=\{1,2,3,\ldots,25\}$ بررسی کردیم. تا اینکه بهترین نرون پنهان برای این شبکه بدست آید. از طرفی دیگر، مقادیر اولیه شبکه عصبی (بایاس[1] و وزن‌ها) و داده‌های آموزش به صورت تصادفی انتخاب می-شوند، در نتیجه نتایج یک شبکه در دفعات مختلف متفاوت است بنابراین در این تحقیق هر شبکه را ۲۰ بار اجرا کرده و میانگین نتایج را به عنوان نمونه جامعه در نظر گرفته شده است. در نهایت نتایج ارزیابی کیفیت تخمین تراز و مساحت دریاچه‌ی ارومیه در جدول (۳) برای تعداد نرون‌های مختلف لایه پنهان نشان داده شده است.

طبق نتایج جدول (۳)، هشت نرون پنهان برای شبکه عصبی تحقیق بهترین نتیجه را در بر داشته است که میزان خطای کمتری نسبت به بقیه حالت ها داشته است. همانطور که در جدول پیداست شاخص MPE برای ارزیابی کیفیت تخمین تراز دریاچه، شاخص مناسبی نمی‌باشد زیرا این شاخص برای مقادیر کم، نمی‌تواند کیفیت را ارزیابی کند، اما برای تخمین مساحت دریاچه این شاخص به خوبی توانسته کیفیت روش شبکه عصبی این تحقیق را نشان دهد در صورتی که شاخص RMSE به تنهایی نمی-تواند کیفیت این پارامتر را نشان دهد. در نتیجه شبکه عصبی این تحقیق مساحت دریاچه ارومیه را به اندازه ٪۳ خطا و ٪۹۷ دقت و سطح تراز دریاچه به اندازه ۰/۸ متر به خوبی تخمین میزند. نتایج رگرسیون برازش داده‌های آموزش، تست و اعتبارسنج با خروجی متناظر آن در شبکه در شکل (۸) آمده است.

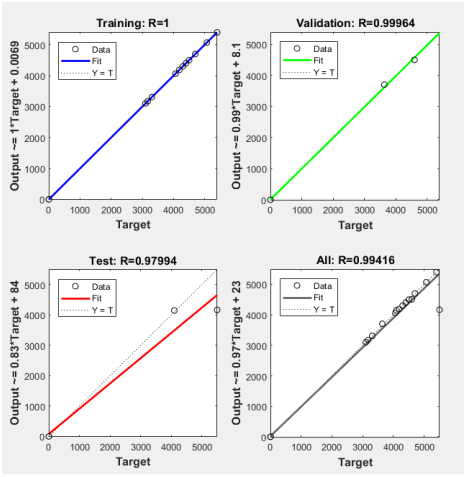
---

۱ Bios

طبق شکل (۸)، تمامی داده‌های آموزش به درستی در شبکه بدست آمده‌اند و در نهایت برای تمامی داده‌ها خروجی‌های شبکه به خوبی تطبیق داده شده‌اند. همچنین ۹۸ درصد داده‌های تست در آموزش، مقدار بدست آمده از خروجی‌های آن‌ها در شبکه عصبی با مقدار واقعی مقادیر خروجی منطبق هستند. داده‌های اعتبارسنج اطمینان حاصل می کند که داده های ما پاک ، درست و با معنی هستند. پس می‌توان نتیجه گرفت مدل شبکه عصبی توسعه داده شده با دقت بالایی خروجی‌ها را تقریب می-زند. برای مثال با اجرای شبکه عصبی با ۸ نرون در لایه پنهان، مقدار پیش‌بینی شده برای مساحت و ارتفاع سال ۱۳۹۰ به ترتیب ۳۲۲۵ مترمربع و ۰/۴۲- متر بدست آمد در حالیکه درسال ۱۳۹۰ مقدار واقعی مساحت و تراز ارتفاعی آب دریاچه به ترتیب ۳۱۷۳ مترمربع و ارتفاع ۰/۳۸- متر مشاهده شده است، در واقع شاخص RMSE برای سال ۱۳۹۰مقدار ۰/۰۴ متر و شاخص MPE مقدار ۰/۰۱ مترمربع به دست آمد. از نتایج جدول ارزیابی کیفیت شبکه عصبی و نمودار رگرسیون می‌توان نتیجه گرفت که مدل شبکه عصبی توسعه داده شده قادر است تنها با وارد کردن مقدار متغیرهای بارش، دما، تبخیر، میزان دبی ورودی و میزان برداشت از آب‌های زیرزمینی، ارتفاع و مساحت را برای سالهای آتی به خوبی پیش‌بینی کند. یکی از تحلیل‌های دیگر این تحقیق برای مشخص شدن پارامترهای موثر از بین ۵ پارامتر ورودی، بررسی دودویی افزایش یا کاهش مقدار دو پارامتر و بررسی خروجی آن در شبکه با خروجی اولیه است، این تحلیل نشان می‌دهد که به عنوان مثال با افزایش بارش و کاهش دما در زیرحوضه‌ها مقدار ارتفاع و مساحت دریاچه ارومیه چه تغییری خواهند کرد. در جدول (۴-۴) و جدول (۴-۵) مقدار افزایش یا کاهش خروجی‌های شبکه برای ۱۸ زیرحوضه برای سال ۱۳۸۱ با تغییر دودویی پارامترهای مستقل نشان می‌دهد که در این تحلیل پارامترهای مستقل به یک نسبت افزایش یا کاهش داده شده‌اند.که افزایش به اندازه ۲ برابر و کاهش به ۱/۲ برابر نسبت به مقدار اولیه پارامترها درنظر گرفته شده است.

جدول ۳- ارزیابی کیفیت شبکه عصبی با دو شاخص RMSE و MPE

نرون لایه پنهان	خطای مجذور مربعات تراز دریاچه برحسب m	خطای مجذور مربعات مساحت دریاچه برحسب m^2	میانگین درصد خطای تراز دریاچه M	میانگین درصد خطای مساحت دریاچه m^2
1	۲/۱۴	۵۱۳/۰۷	۲/۰۵	۰/۰۹۱
2	۲/۹۹	۵۶۵/۴۰	۳/۷۶	۰/۰۹۴
3	۱/۷۳	۵۰۲/۲۶	۱/۸۷	۰/۰۸۶
4	۲/۲۸	۵۴۶/۶۰	۲/۱۱	۰/۰۹
5	۱/۷۱	۳۳۱/۴۹	۱/۷۵	۰/۰۵۷
6	۱/۷۲	۴۰۹/۷۹	۱/۳۱	۰/۰۶۴
7	۱/۴۹	۶۴۶/۸۳	۱/۲۳	۰/۱۱
8	۰/۰۸	۲۷۶/۶۹	۰/۵۷	۰/۰۳۴
9	۱۱/۱	۳۲۶/۲۰	۰/۹۴	۰/۰۵۱
10	۰/۶۷	۳۹۰/۹۳	۰/۵۲	۰/۰۵۳
11	۰/۹۱	۴۵۹/۷۸	۰/۶۸	۰/۰۶۹
12	۰/۸۴	۴۵۰/۱۴	۰/۴۹	۰/۰۵۰
13	۰/۹۰	۴۳۲/۵۰	۰/۶۶	۰/۰۵۵
14	۱/۱۹	۵۲۶/۰۸	۱/۱۷	۰/۰۸۷
15	۱/۷۸	۵۱۴/۹۸	۱/۴۱	۰/۰۶۴
16	۱/۵۵	۵۷۳/۷۷	۱/۳۴	۰/۰۷۷
17	۰/۹۵	۳۲۷/۴۶	۰/۳۶	۰/۰۳
18	۳/۲۸	۹۵۰/۸۴	۳/۵۴	۰/۱۸
19	۲/۰۲	۸۰۶/۰۹	۱/۶۱	۰/۱۱
20	۲/۲۴	۹۳۶/۷۴	۱/۸۳	۰/۱۵
21	۳/۳۹	۶۲۱/۲۷	۱/۲۳	۰/۰۷۲
22	۱/۰۰۴	۵۵۶/۰۴	۰/۷۱	۰/۰۶
23	۱/۶۸	۷۴۷/۶۳	۱/۴۴	۰./۱۱
24	۱/۵۹	۴۴۶/۶۵	۱/۳۶	۰/۰۵
25	۲/۰۸	۱۰۰۷/۵۴	۲/۴۹	۰/۱۵



شکل ۸- رگرسیون داده‌های آموزش، تست و اعتبار سنج شبکه عصبی با ۸ نرون لایه پنهان

جدول ۴- تغییرات مساحت سطح دریاچه ارومیه بر اساس افزایش یا کاهش دودویی پارامترهای مستقل در شبکه عصبی بر حسب m^2

کاهش برداشت از آب-های زیرزمینی	کاهش دبی ورودی	کاهش تبخیر	کاهش بارش	کاهش دما	واحد m2
۷۴۹/۲	۱۰۵	۵۹۳	-۳۲۴/۵	-	افزایش دما
۸۵۵/۸	-۸۷	۳۵۰	-	۳۵۰/۸	افزایش بارش
-۷۱/۷۳	-۲۱۷	-	-۴۳/۸	-۴۳/۵	افزایش تبخیر
۹۹۳	-	۵۳۴/۴	۳۴۲	۳۲۳/۱	افزایش دبی ورودی
-	-۱۰۶۸	-۷۴۷/۳	-۸۴۶/۴	-۸۱۴/۲	افزایش برداشت از آب-های زیرزمینی

جدول ۵- تغییرات تراز سطح دریاچه ارومیه بر اساس افزایش یا کاهش دودویی پارامترهای مستقل در شبکه عصبی بر حسب m

کاهش برداشت ازآب‌های زیرزمینی	کاهش دبی ورودی	کاهش تبخیر	کاهش دما	کاهش بارش	واحد m
۲/۴۶	-۰/۸	۰/۸۴	۰/۸۶۳	-	افزایش بارش
۰/۳۳	-۱/۷۱	-۱/۴۲	-	-۰/۹۵	افزایش دما
-۰/۳	-۱/۵۴	-	-۱/۶۵	-۱/۷۴	افزایش تبخیر
۳/۲۳	-	۱/۲۶	۰/۸۸	-۰/۸۸	افزایش دبی ورودی
-	-۲/۲۲	-۲/۳۰	-۲/۳۶	-۲/۳۳	افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی

به عنوان مثال در جداول (۴-۴) و(۴-۵)، با افزایش دبی ورودی و کاهش تبخیر، همانطور که انتظار می‌رفت مقدار سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه افزایش پیدا کرده است. همچنین با افزایش بارش و کاهش برداشت از آب‌های زیرزمینی، همانطور که انتظار میرفت مقدار سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه افزایش پیدا کرده است. درنتیجه پارامترهای میزان دبی ورودی و برداشت از آب-های زیرزمینی همانطور که در جدول قابل مشاهده است، دارای بیشترین تاثیر در مقدار سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه از میان بقیه پارامترها شده‌اند ، زیرا افزایش یا کاهش این پارامترها در جداول (۴-۴) و (۴-۵) ماکزیمم تغییر را در مقدار سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه نسبت به سایر پارامترها به وجود آورده‌اند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه مبتنی بر سری‌های زمانی حاصل از میانگین بارش سالانه،میانگین دما سالانه،میانگین تبخیر سالانه، دبی ورودی و میانگین برداشت از آب‌های زیرزمینی دریاچه ارومیه در طی سال‌های ۱۳۷۶ تا ۱۳۹۰ برای هر سال پیش‌بینی شده است. از آنجا که کارایی الگوریتم شبکه عصبی در پیش بینی سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه در تحقیقات مختلفی به اثبات رسیده است ، در این تحقیق این الگوریتم به عنوان الگوریتم مبنا در نظر گرفته شده است، اما از آنجا که در این الگوریتم نیاز به داده‌های ۵ پارامتر در زیرحوضه‌های کناری دریاچه ارومیه بود از درونیابی برای انتقال داده‌ها از ایستگاه‌ها به این زیرحوضه-ها استفاده شده است، طبق نتایجی که قبلا ذکر شد بهترین روش درونیابی برای این تحقیق روش زمین آماری IDW انتخاب شد. برای برآورد کارایی الگوریتم IDW نتایج حاصل از این الگوریتم با نتایج روش‌های دیگر زمین آماری و غیر زمین آماری مقایسه شد. مقایسه دقت الگوریتم‌ها ، نشان دهنده دقت بالای روش IDW نسبت به سایر الگوریتم‌ها است و در نهایت این الگوریتم اطلاعات مورد نظر برای هر پارامتر را با دقت معقولی بدست آورده است. استفاده از این پنج پارامتر برای زیرحوضه‌های منتخب باعث افزایش دقت محاسبات پیش‌بینی سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه می‌شود. نتایج شبکه عصبی به خوبی نشان می‌دهد که برای تخمین سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه نیاز به ۸ نرون در لایه پنهان است ، این شبکه چندین بار با استفاده از از نرم افزار متلب ارزیابی شده است که در تمامی حالت‌ها نتایج مشابهی دربر داشته

است، در نتیجه برای تخمین سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه شبکه عصبی بهترین نتیجه را در بر خواهد داشت برای ارزیابی کیفیت این شبکه تنها شاخص RMSE کافی نبوده است و شاخص MPE می‌تواند به خوبی دقت تخمین مساحت دریاچه ارومیه را نشان دهد. در نتیجه این شبکه، مساحت دریاچه ارومیه را به اندازه ٪۳ خطا و ٪۹۷ دقت و سطح تراز دریاچه با خطای ۰/۸ m تخمین میزند. در سال ۱۳۸۱ تغییرات زیادی در مقدار سطح تراز و مساحت دریاچه ارومیه اعمال شد، که با بررسی افزایش و کاهش دودویی پارامترها در این سال مشخص شد که اگر در آن سال مقدار برداشت از آبهای زیرزمینی کاهش پیدا می‌کرد و دبی ورودی افزایش پیدا می‌کرد افزایش چشم‌گیری در سطح تراز و مساحت دریاچه ایجاد می‌شد و یا اگر بارش بسیار افزایش می‌یافت و دبی ورودی کاهش جزیی داشت، ارتفاع ومساحت دریاچه کاهش آنچنانی پیدا نمی‌کرد. از طرفی دیگر، پارامترهایی که تغییرات آن‌ها تاثیرات به سزایی در کاهش ارتفاع و مساحت داشته‌اند، پارامتر میانگین سالیانه برداشت از آب‌های زیرزمینی و دبی ورودی هستند.که این نتیجه‌گیری نشان‌دهنده این است که مصارف آب برای کشاورزی و میزان برداشت از منابع آب افزایش پیدا کرده و همچنین محصولاتی که کشت می‌شوند محصولاتی هستند که الگوی مصرفی آب آن‌ها زیاد است و همچنین آبی که پشت سدها ذخیره می‌شوند باعث شده که دبی ورودی به دریاچه کاهش پیدا کند. به طور کلی می‌توان گفت که شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی خشکسالی دریاچه ارومیه از توانمندی بالایی برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان گزینه‌ای سودمند مورد توجه و بررسی قرار گیرد و همچنین می‌توان از نتایج حاصل از آن در بهره‌برداری و مدیریت منابع آب، مطالعات زیست محیطی، مدیریت خشکسالی و تغییرات اقلیمی بهره جست.

مراجع

[1] Jafari H, Azhdari Aghdam M, and Khosravi M .(2012).” Neural network prediction withphase-neural network, Climate Indicators, Rainfall, Drought”proc. Conference on Geography and Development,26.

[2] Hughes L. B and Saunders M. (2002). “A Drought Climatology for Europe”, International Journal of Climatology 22, 1571-1592.

[3] Keshtkar H, Cheraghi M and Sabzghabaei GH.R.(2015).” Investigating the effects of drought on tributaries”. First international conference on new findings of science and technology in Qom. Islamic studies and research center Soroush Hekmat Mortazavi.

[4] Gandamkar A and Shaabani N.(2013).” Investigation of temperature changes in the Minab river basin and its influence international Minab Lake”, The first conference on protection of water supply systems. Iran's water systems, Hamedan, Tomorrow's Environment Society.

[5] Farrokhniya A, Morid S and Ghaemi H .(2008).” Data mining on large-scale signals to predict long-term droughts”, Third Conference on Iranian Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University.

[6] Menhaj M.B .(2002).” The foundations of neural networks”, Volume I Computational Intelligence, Amir Kabir University of Technology Publishing Center. 986 p.

[7] Mohammadi K , Hasanzadeh Y,Hoseinzadeh A.(2011).” Simulation of Lake Urmia water level level changes due to hydrological parameters using artificial neural network”, Fourth Iranian Water Resources Management Conference, Amirkabir University of Technology.

[8] Khalili K ,Rasooli N .(2014).” Investigating the Role of Climate Change and Human Factors in Drying Lake Urmia”, First National Conference on Environmental Management and Environmental Assessment in Iran,Hamedan, Hegmatane Environmental Assessment Center, Center for the Development of Aria Hegmatan Conferences.

[9] Raziye T.(2015).” Drought prediction in dry and semi-arid region of Iran using time series and Markov chain models”, Journal of Engineering and Watershed Management, Volume 8, Number 4.

[10] Belayneh A , Khalil J. B , Quilty J.(2012), “Coupling machine learning methods with wavelet transforms and the bootstrap and boosting ensemble approaches for drought prediction”, Atmospheric Research, 37-47.

[11] Barrua .(2012).” Drought prediction of ADI”, Journal of hydraulic engineering, April, pp. 339-350.

[12] Riccardo T, wingChau k.(2012).”2Artificialneuralnetwork simulation of hourly groundwater levels in a coastal aquifer system of the Venice lagoon”, Engineering Applications of Artificial IntelligenceVolume 25, Issue 8, 1670-1671.

[13] Belayneh A and Adamowski J .(2015).” Standard precipitation index drought forecasting using neuranetworks, wavelet neural networks, and support vector regression”. Applied Computational Intelligence and Soft Computing, 6: 1-13.

[14] Shams Esfandabadi B.(2014).” Investigation of changes in elevation level of Lake Urmia using altitude and meteorological satellite data via neural network method”, Master's thesis.

[15] Abghari H , Rezaeian Zadeh M and Moradzadeh, F. (2009).” Reservoir dam inflow modeling using wavelet-baseneural network and Multi Layer Perceptron Network”, ICWR 2009 International Conference on Water Resources. 16-18 August 2009 Shahrood, Iran.

[16] Zhang G, Patuwo B.E and Hug M.Y. (1998). “Forecasting with artificial neural networks: the state of the art.” Int. J. Forecasting, vol. 14, no. 1, pp: 35-62.

[17] ASCE Task Committee. (2000).” Artificial neural networks in hydrology”, II. Hydrology application, Journal of Hydrology Engineering, vol. 5, pp: 124-137.