



کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی عناصر اقلیمی و پیش بینی سیکل خشکسالی (مطالعه موردی : شهرستان نیشابور)

شیما ترحمی^۱، محمدرضا خالقی^۲، سیدهاشم حسینی^۳
۱-۳- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، گروه مهندسی آبخیزداری، تربت جام، ایران
۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تربت جام، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تربت جام، ایران

چکیده

در این پژوهش، از شبکه عصبی مصنوعی^۱ به عنوان ابزاری توانمند در مدل سازی فرآیندهای غیرخطی و نامعین، به منظور پیش بینی عناصر اقلیمی در ۱۷ ایستگاه سینوپتیک، کلیماتولوژی و هیدرومتری شهرستان نیشابور که حداقل ۳۵ سال آمار روزانه داشتند، استفاده شد. از نرم افزار MATLAB در شاخه Neural Network برای پیش بینی و تجزیه و تحلیل عناصر اقلیمی کمک گرفته شد. ورودی مدل ANN داده های میانگین ماهانه بارش، دبی حداقل و دمای بیشینه است که این داده ها، بازه زمانی سالهای ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۴ را در بر می گیرند. اطلاعات ۲۸ سال برای آموزش مدل ها و ۷ سال باقی مانده برای آزمایش آنها به کار رفته است. شبکه مورد استفاده از نوع پرسپترون چندلایه^۲ با الگوریتم پس انتشار خطا^۳ و تکنیک یادگیری مارکوارت-لونبرگ^۴ است. ساختار شبکه عصبی با ۷ گره در لایه ورودی، ۳ گره در لایه پنهان و ۱ گره در لایه خروجی ایجاد گردید. نتایج حاصل از تحقیق حاضر، نشان می دهد که دمای بیشینه، دبی و بارش، نقش مثبتی در پیش بینی بارشهای شهرستان نیشابور داشته، با کاربرد شبکه عصبی مصنوعی میتوان با دقت بالای ۹۵ درصد، سیکل خشکسالی این شهرستان را پیش بینی نمود.

واژه های کلیدی: پرسپترون چندلایه، پیش بینی عناصر اقلیمی، خشکسالی، دبی اوج، شبکه عصبی مصنوعی، نیشابور

Using Artificial Neural Networks in Simulation of Climatic Parameters and Prediction of Drought (Case Study: Neyshabur)

Shima Tarahhomi¹, Mohammad Reza Khaleghi^{2*}, Seyyed Hashem Hosseini³

1, 3 - Islamic Azad University, Torbat Jam Unit, Department of Watershed Management Engineering

2- Islamic Azad University, Torbat Jam Unit, Club of Young Researchers and Elites

Abstract

In this research, artificial neural networks as a tool for modeling nonlinear and uncertain processes, in order to predict the climate of the 17 synoptic stations, Climatology and gauging city of Neyshabur, who were at least 35 years of daily data, were used. MATLAB software in a plug Neural Network for predicting and analyzing the elements were used. ANN model input data, average monthly precipitation, minimum temperature and maximum

* Corresponding Author's E-mail (drrmrkhaleghi@gmail.com)

¹ Artificial Neural Networks

² Multi-layer Perceptron

³ Back Propagation

⁴ Levenberg-Marquardt

* Corresponding Author's E-mail (drrmrkhaleghi@gmail.com)



flow rate of the data, the period from 1350 to 1384 in the fall. 28 years data for model training and testing have been used for the remaining 7 years. Back propagation algorithm of multilayer perceptron networks using learning techniques Marquardt- Marquardt is. The structure of neural network with 7 nodes in the input layer, 3 nodes in the hidden layer and one node in the output layer is established. The results of this study indicate that the maximum temperature, flow and precipitation have a positive role in the prediction of precipitation city of Neyshabur, the application of artificial neural networks can accurately 95 percent of the city's drought cycles predicted.

Keywords: Multilayer perceptron, climatic prediction, drought, peak discharge, artificial neural network, Neyshabur.

الف- مقدمه

در چند دهه اخیر، اغلب محققان برای پیشبینی و مدل سازی فرآیندهای هواشناختی و هیدرولوژیک و تعیین خصوصیات سیلابها و خشکسالیها از رگرسیون چندمتغیره و مدل های زمین آمار استفاده کرده اند. (منهاج، ۱۳۸۴؛ رضایی، ۱۳۸۳؛ کار آموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴) این مدلها، در حقیقت پارامترها را به شکل خطی وارد فرآیندهای تصمیم گیری نموده که در اغلب موارد نمی تواند به خوبی مسایل پیچیده اقلیمی- هیدرولوژیکی را تحلیل نمایند و ضروری است، مدلهایی با کارایی بیشتر به منظور پیش بینی پدیده ای غیرخطی و پیچیده معرفی شوند (Kim & Valdes, 2003) بدین خاطر متخصصان و دانشمندان علم هیدرولوژی و سایر رشته های مرتبط در پی ایجاد مدل هایی مناسب، به منظور پیش بینی بهنگام این حوادث شده اند. ظهور، تئوریهای توانمندی، همچون الگوریتم های فازی و شبکه عصبی تحولی عظیم در تحلیل رفتار سیستمهای دینامیک در علوم مختلف مربوط به آب ایجاد کرده است. امروزه از جمله روش های کارآمد که استفاده فراوانی در علوم مربوط به هوا و آب دارد، شبکه عصبی مصنوعی است که به عقیده محققان امر، علت اصلی مقبولیت و استفاده روزافزون آن، قدرت و سرعت بالا در شبیه سازی فرآیندهایی است که درک و شناخت درستی از آن وجود نداشته و یا بررسی آنها با دیگر روش های موجود، بسیار دشوار و وقت گیر است (کار آموز و عراقی نژاد، ۱۳۸۴؛ خوشحال و حسینی، ۱۳۸۹). به طور کلی، میتوان اظهار داشت، مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدلی قوی با توانمندی بالاست که می توان با دیدگاهی مثبت در پیش بینی مسایل اقلیمی- هیدرولوژیک به آن نگریت؛ بخصوص آنجا که این شبکه، قادر است قانون حاکم بر داده ها، حتی داده های مغشوش را استخراج نماید. (دهقانی و احمدی ۱۳۸۷) و در ضمن نیازی به توضیح صریح طبیعت فرآیندها به صورت ریاضی ندارد. (Basheer et al., 2000) امروزه، تحقیقات بسیار زیادی در زمینه پیش بینی جریان رودخانه ها، شبیه سازی بارش - رواناب و تخمین پارامترهای هیدرولوژی با استفاده از شبکه عصبی انجام شده است و می توان بیان داشت که در اغلب موارد، شبکه عصبی مصنوعی قادر به پیش بینی و شبیه سازی قابل قبول پارامترهای هیدرولوژیک است. (Hosseini & Borhani, 2009)



هدف این مقاله ، شبیه سازی عناصر اقلیمی و هیدرومتری مؤثر بر پدیده خشکسالی مانند : دمای بیشینه، دبی حداقل و بارش در شهرستان نیشابور است .

ب- مواد و روش ها

۱- منطقه مطالعاتی

حوزه آبخیز فاروب رومان نیشابور با مساحتی در حدود ۱۸۶۳۷/۴۰ هکتار در حوزه آبریز کویر مرکزی، شهرستان نیشابور و بخش مرکزی (دهستان مازول و فضل) واقع شده است. فاصله این حوزه از شهرستان نیشابور در حدود ۱۱/۵ کیلومتر می باشد. (شکل ۱) راه دسترسی به منطقه نیز از طریق جاده میراباد-نیشابور می باشد که از شمال شهر نیشابور و روستای میراباد بسمت حوضه فاروب رومان ادامه می یابد. روستای عیش آباد در خروجی حوضه قرار گرفته است که رودخانه فاروب رومان از کنار این روستا می گذرد و روستاهای میراباد و صومعه در فاصله های کم از خروجیهای حوضه واقع شده اند و روستایی در داخل حوضه قرار ندارد. در بخش شمالی منطقه کوههای بینالود واقع شده و آبریز آن سرشاخه های غربی رودخانه فاروب رومان را تشکیل می دهند.

مختصات جغرافیایی محدوده مطالعات بر اساس طول و عرض جغرافیایی و سیستم UTM بشرح جداول ۱ و ۲ می باشد:

جدول ۱- مختصات جغرافیایی حوضه فاروب رومان بر اساس طول و عرض جغرافیایی

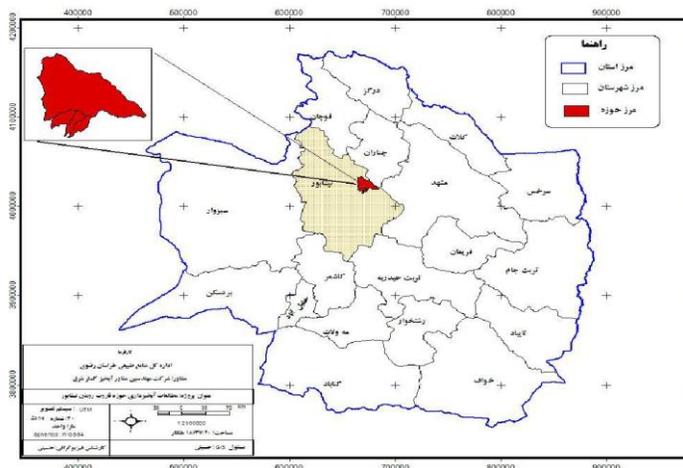
طول جغرافیایی	۵۹° ۰۲' تا ۵۸° ۴۹'
عرض جغرافیایی	۳۶° ۲۶' تا ۳۶° ۱۵'

جدول ۲- مختصات جغرافیایی حوضه فاروب رومان براساس سیستم تصویر UTM

X	۶۶۳۵۸۱	تا	۶۸۴۰۰۶
Y	۴۰۱۴۸۰۴	تا	۴۰۳۳۷۷۳

ایستگاه های مورد مطالعه در این شهرستان، شامل ۱۷ ایستگاه سینوپتیک و کلیماتولوژی و هیدرومتری با دوره ی آماری ۴۰ سال و بالاتر است که آمار مورد نیاز آنها از سازمان هواشناسی و سازمان آب منطقه ای استان دریافت و تجزیه و تحلیل گردید. در نهایت ۳۵ سال دوره آماری مشترک از سال ۱۳۵۰ تا ۱۳۸۴ برای مطالعه انتخاب گردید . دلیل انتخاب دوره آماری ۳۵ ساله، این است که اولاً داده های موجود در سالهای اخیر با توجه به افزایش اطلاعات دیده بانها و گسترش تکنولوژی ثبت داده ها، از دقت و اعتبار بیشتری برخوردارند و ثانیاً به دلیل خلأ کمتر اطلاعات و آمار هواشناسی در این بازه زمانی، میزان داده های

بازسازی شده کمتر است. (جدول ۳) به طور کلی، از مجموعه این داده ها، ۸۱ درصد در مرحله آموزش^۵ و ۱۰ درصد در مرحله تست^۶ شبکه عصبی استفاده گردید.



شکل ۱- موقعیت حوزه فاروب رومان نیشابور در استان خراسان رضوی

جدول ۳- مشخصات ایستگاه های مجاور حوزه فاروب رومان نیشابور

نام ایستگاه	مساحت	محیط	شیب ابراهه اصلی	شیب حوضه	ارتفاع متوسط	طول ابراهه اصلی	ضریب گراویلیوس	زمان تمرکز	بارندگی سالیانه
صنوبر	85	37.5	5.2	10.8	2106.8	14.5	1.14	3	359
باغ عباس	285	82.5	1.5	11.5	1988	25	1.41	2.6	342
کلانه رحمان	115	51.5	1.2	19.6	2085	20	1.32	2.6	357
غارشیشه	75	38.5	3.03	25.1	2211	15	1.25	2.6	378
دیزبادبالا	28.88	23	12.5	47.9	2316.2	6.6	1.2	1.32	392
چشمه علی	59.85	36	11.9	51.4	242.6	13.3	1.3	2.43	408
خرومجموع	108.44	48.73	9.8	52.1	2341	15.7	1.31	2.7	396
عیش اباد	147.31	62.61	11.9	51.4	2421.6	13.3	1.3	2.43	408
طاغون	102.7	54.98	6.5	39.7	2291.3	2286	1.52	4.17	388
اریه	115.61	59.89	3.4	29.7	2254.1	27.9	1.56	5.32	382
کرتیان	140	53	6	7.3	1560	23	1.3	2.2	302
گلستان	76	57	7	6.5	1971	24	1.86	2.6	367
هوشنگ	277	79	6.5	18.9	2160	26	1.31	2.3	399
گلمکان	49	31	8.2	7.7	2599	15.5	1.17	1.3	474
دولت اباد	40	41	8	23.8	2735	19	1.8	1.7	498
سرآسیاب	203	65	5.6	6.8	2068	30	1.27	2.6	384
حصاردهبار	116	53	7.5	8.2	1800	23	1.38	2.6	338

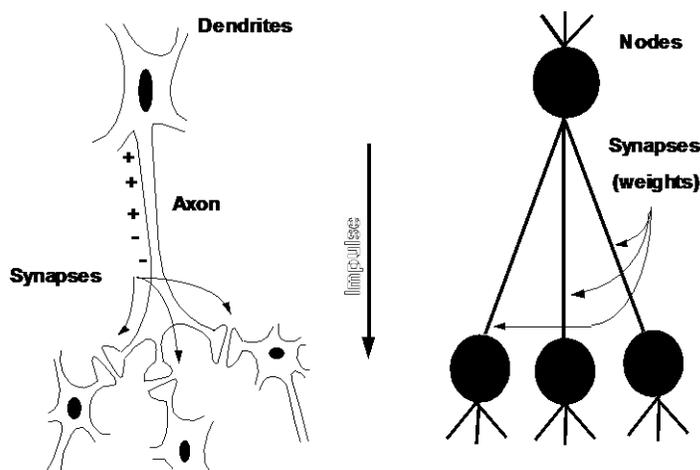
⁵ Training stage

⁶ Test stage

۲- شبکه های عصبی مصنوعی

۲-۱- ساختار سلولهای عصبی

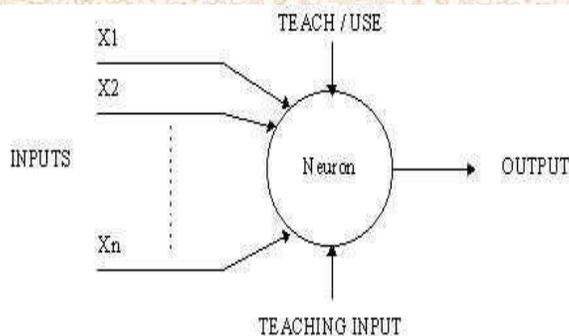
شبکه های عصبی مصنوعی روشی است که بر پایه اتصال چندین واحد پردازش ساخته می شود. به زبان ساده تر شبکه های عصبی سیستمها و روش های محاسباتی نوینی هستند برای یادگیری ماشینی، نمایش دانش، و در انتها اعمال دانش به دست آمده در جهت پیش بینی پاسخ های خروجی از سامانه های پیچیده. ایده اصلی این گونه شبکه ها (تا حدودی) الهام گرفته از شیوه کارکرد سیستم عصبی زیستی، برای پردازش داده ها، و اطلاعات به منظور یادگیری و ایجاد دانش قرار دارد. عنصر کلیدی این ایده، ایجاد ساختارهایی جدید برای سامانه پردازش اطلاعات است. شبکه از تعداد دلخواهی سلول یا گره یا واحد یا نرون تشکیل می شود که مجموعه ورودی را به خروجی ربط می دهند. (بایزیدی، ۱۳۹۲)



شکل ۲- ساختار شبکه عصبی

مطالعه شبکه های عصبی مصنوعی تا حد زیادی ملهم از سیستم های یادگیر طبیعی است که در آنها یک مجموعه پیچیده از نرونهای به هم متصل در کار یادگیری دخیل هستند.

گمان می رود که مغز انسان از تعداد 10^{11} نرون تشکیل شده باشد که هر نرون با تقریباً 10^4 نرون دیگر در ارتباط است. با این وجود آدمی قادر است در ۰.۱ ثانیه تصویر یک انسان را بازشناسائی نماید. این قدرت فوق العاده باید از پردازش موازی توزیع شده در تعدادی زیادی از نرونها حاصل شده باشد. (بایزیدی، ۱۳۹۲)



شکل ۳- اجزا شبکه عصبی

شبکه های عصبی از پرکاربردترین و عملی ترین روش های مدل سازی مسائل پیچیده و بزرگ که شامل صدها متغیر هستند می باشد. شبکه های عصبی می توانند برای مسائل کلاس بندی (که خروجی یک کلاس است) یا مسائل رگرسیون (که خروجی یک مقدار عددی است) استفاده شوند.

شبکه عصبی مصنوعی شاخه ای از هوش مصنوعی است، که با پردازش روی داده های تجربی، قانون نهفته در ورای داده ها را به ساختار شبکه منتقل می کنند. به همین خاطر به این سیستمها هوشمند گویند (نگارش و همکاران، ۱۳۹۱).

این شبکه ها از عناصر عملیاتی ساده ای به صورت موازی ساخته می شوند این عناصر از سیستم های عصبی زیستی الهام گرفته اند. در طبیعت ساختار شبکه های عصبی از طریق نحوه ی اتصال بین اجزاء تعیین می شود و با تنظیم مقادیر هر اتصال تحت عنوان وزن اتصال نحوه ارتباط بین اجزای آن تعیین می گردد (کیا، ۱۳۸۷).

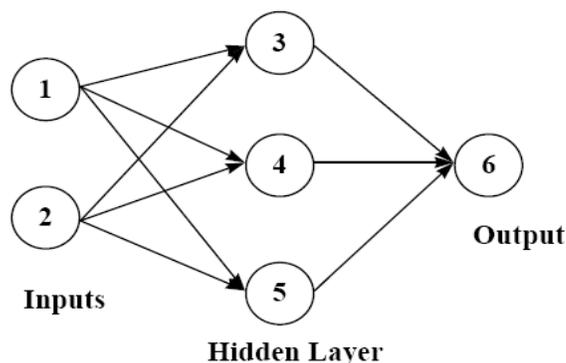
شبکه با تجزیه و تحلیل داده های ورودی و نتایج نظیر آنها ارتباطی منطقی بین داده ها برقرار کرده که ممکن است غیرخطی و نامشخص بوده، سپس با استفاده از این ارتباط منطقی، کار شبیه سازی را برای موارد احتمالی مشابه انجام می شود. (کوچک زاده و بهمنی، ۱۳۸۴)

۲-۲- اجزا شبکه عصبی مصنوعی

عناصر کوچک پردازش کننده ی اطلاعات، نرون ها هستند تنظیم مدل شبکه های عصبی با کمترین خطا (RMSE) و بیشترین ارزش ضریب همبستگی اجرا می شود (Aksoy & Dahamsheh, 2009).

پردازش توزیعی اطلاعات، حساسیت شبکه را به وجود خطا کاهش می دهد. چون تعداد زیادی نرون در یک زمان درگیر فعالیت هستند سهم هر یک از نرون ها چندان حائز اهمیت نیست، بنابراین وجود خطا در یکی از آنها و نتیجه ی آن تأثیر چندانی بر روی سایر واحدهای محاسباتی ندارد. (میتاکی و محمدی، ۱۳۸۱)

هر شبکه عصبی شامل یک لایه ورودی^۷ می باشد که هر گره در این لایه معادل یکی از متغیرهای پیش بینی می باشد و هر گره ورودی به همه گره های لایه نهان^۸ وصل می شود. گره های موجود در لایه نهان می توانند به گره های یک لایه نهان دیگر وصل شوند یا می توانند به لایه خروجی^۹ وصل شوند. لایه خروجی شامل یک یا چند متغیر خروجی می باشد.



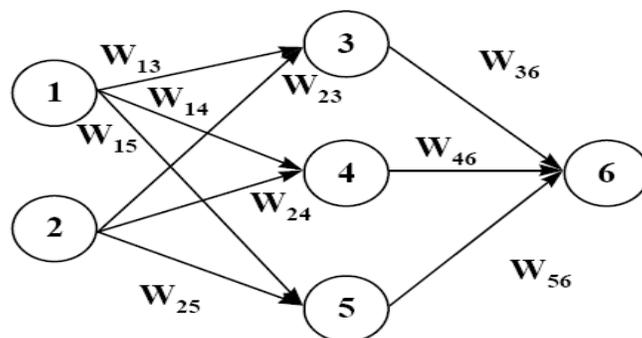
شکل ۴- شبکه عصبی با یک لایه نهان

هر لایه که بین نود های X, Y می باشد دارای یک وزن است که با $W_{x,y}$ نمایش داده می شود. این وزن ها در محاسبات لایه های میانی استفاده می شوند و طرز استفاده آنها به این صورت است که هر نود در لایه های میانی (لایه های غیر از لایه اول) دارای چند ورودی از چند یال مختلف می باشد که همانطور که گفته شد هر کدام یک وزن خاص دارند. هر نود لایه میانی میزان هر ورودی را در وزن یال مربوطه آن ضرب می کند و حاصل این ضرب ها را با هم جمع می کند و سپس یک تابع از پیش تعیین شده (تابع فعال سازی) روی این حاصل اعمال می کند و نتیجه را به عنوان خروجی به نودهای لایه بعد می دهد. وزن یال ها پارامترهای ناشناخته ای هستند که توسط تابع آموزش^{۱۰} و داده های آموزشی که به سیستم داده می شود تعیین می گردند.

۲-۳- توپولوژی شبکه عصبی مصنوعی

تعداد گره ها و تعداد لایه های نهان و نحوه وصل شدن گره ها به یکدیگر معماری (توپولوژی) شبکه عصبی را مشخص می کند. کاربر یا نرم افزاری که شبکه عصبی را طراحی می کند باید تعداد نودها، تعداد لایه های نهان، تابع فعال سازی و محدودیت های مربوط به وزن یال ها را مشخص کند.

⁷ Input Layer
⁸ Hidden Layer
⁹ Output Layer
¹⁰ Training Method



شکل ۵- توپولوژی شبکه عصبی

با استفاده از دانش برنامه‌نویسی رایانه می‌توان ساختار داده‌ای طراحی کرد که همانند یک نرون عمل نماید. سپس با ایجاد شبکه‌ای از این نورون‌های مصنوعی به هم پیوسته، ایجاد یک الگوریتم آموزشی برای شبکه و با اعمال این الگوریتم به شبکه آن را آموزش داد.

این شبکه‌ها برای تخمین^{۱۱} و تقریب^{۱۲} کارایی بسیار بالایی از خود نشان داده‌اند. گستره کاربرد این مدل‌های ریاضی بر گرفته از عملکرد مغز انسان، بسیار وسیع می‌باشد که به عنوان چند نمونه کوچک می‌توان استفاده از این ابزار ریاضی در پردازش سیگنال‌های مخابراتی و الکترونیکی تا کمک در نجوم و فضا نوردی را نام برد. (Chang et al., 2014)

ج- نتایج و بحث

برای انجام این تحقیق از شبکه پرسپترون چندلایه استفاده شد. در نرم افزار matlab با انجام تکرارهای متعدد، اثر تغییر پارامترها بر روی عملکرد شبکه، بررسی و در نهایت ضرایبی که نتایج مناسب تری داشت، برای آموزش شبکه به مدل معرفی شدند.

برای تعیین میزان تاثیر گذاری هریک از متغیرهای ورودی در اندازه تغییرات متغیر خروجی تحلیل حساسیت سنجی انجام گرفت و با تغییر یک متغیر در دامنه و ثابت نگه داشتن سایر متغیرها نسبت به برآورد مقدار متغیر خروجی اقدام گردید. درصد تغییرات متغیر خروجی نشان دهنده میزان اهمیت متغیر ورودی مربوطه می‌باشد.

آمار بارش، دبی و دمایبیشینه در مقیاس زمانی ماهانه و در دوره آماری ۳۵ ساله استفاده شد. داده‌های ورودی و خروجی به دو دسته تقسیم شدند؛ اطلاعات ۲۸ سال برای آموزش مدلها و ۷ سال باقیمانده برای آزمون آنها به کار رفته است.

¹¹ Estimation

¹² Approximation

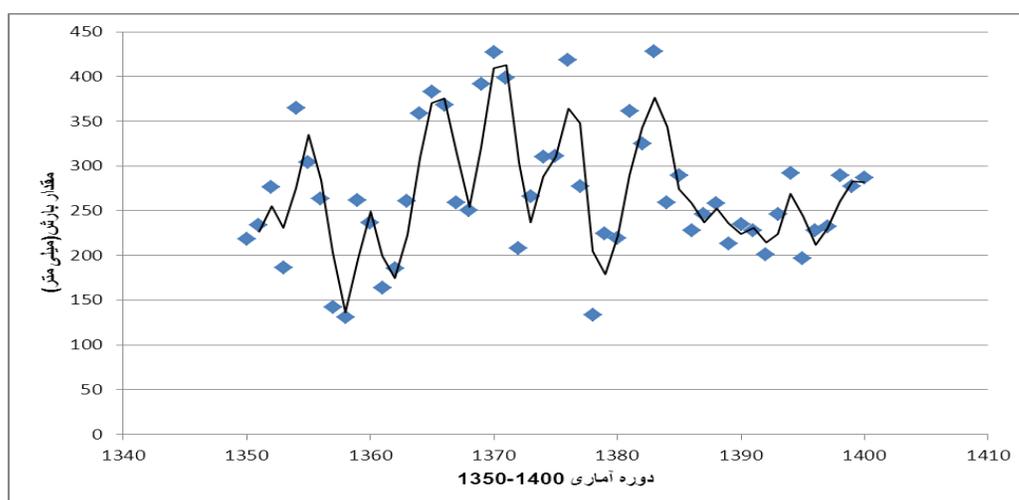
به منظور ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از مدل به کار برده شده در این پژوهش، از شاخص های آماری مانند جذر میانگین مربعات خطا^{۱۳}، ضریب همبستگی^{۱۴} و متوسط قدر مطلق خطا^{۱۵} استفاده شده است. هرچه مقدار RMSE و MAE به صفر و مقدار R^۲ به یک نزدیکتر باشد، نشان دهنده نزدیکتر بودن مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده به یکدیگر و دقیقتر بودن جوابها است. (جدول ۴)

جدول ۴- مقادیر خطا در مدل شبکه عصبی

آموزش	RMSE	0.09	MAE	0.25
آزمایش		5.37		0.67

شبکه پرسپترون چندلایه دارای سرعت بالا، دقت بالا و خطای کمتر نسبت به مدل های دیگر است و در مسائل تخمین کارایی بالاتری از خود نشان می دهد این تکنیک در مواقعی که با کمبود داده روبرو هستیم کارایی مناسبی دارد معماری شبکه پس از آموزش و خطاهای مکرر بصورت (۱-۳-۷) بهینه شد یعنی ۷ نرون در لایه ورودی ۳ نرون در لایه پنهان و یک نرون در لایه خروجی.

بمنظور پیش بینی روند بارش بعنوان بارزترین و مهم ترین عنصر اقلیمی در تعریف خشکسالی ها از شبکه عصبی مصنوعی طی یک دوره ۳۵ ساله استفاده شد و مشخص گردید که روند بارش این ایستگاه ها در سالهای اخیر کاهش داشته که ادامه همین روند در سالهای پیش بینی شده توسط مدل تایید شده است. (شکل ۶)



شکل ۶- پیش بینی بارش سالانه نیشابور با شبکه عصبی مصنوعی طی دوره آماری ۱۴۰۰-۱۳۵۰

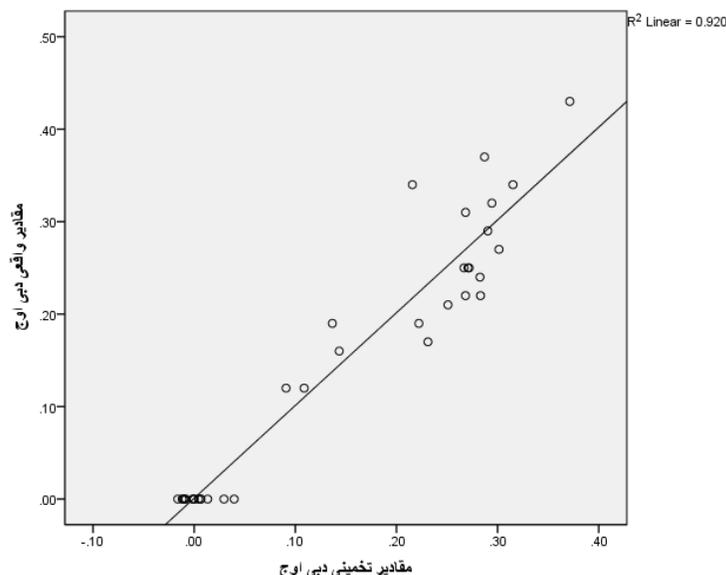
¹³ Root Mean Square Error (RMSE)

¹⁴ Random Error (R2)

¹⁵ Mean Absolute Error (MAE)



نتایج حاصل از مدل شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سالی مقدار دبی و مقایسه آن با مقادیر مشاهده شده (واقعی) شکل ۷ نشان داده شده که دقت بالای مدل و شبکه را به نمایش می گذارد.



شکل ۷- رابطه دبی اوج برآوردی و مشاهده ای

با توجه به کارایی شبکه های عصبی مصنوعی در مدل سازی عناصر اقلیمی و پیش بینی آنها واضح است که توانایی این تکنیک با توجه به ساختارهای مختلف آن و نیز طبیعت مساله ای که به دنبال حل آن هستیم متفاوت است با انتخاب نوع و تعداد مناسب عوامل ورودی و نیز کالیبره کردن مناسب آن می توان گفت این تکنیک ابزاری بسیار کارآمد و قدرتمند برای مدل کردن خشکسالی های نیشابور است.

مناسب ترین ساختار برای پیش بینی عناصر اقلیمی نیشابور به کمک شبیه سازی عناصر اقلیمی با ۷ نرون در لایه ورودی ۳ نرون در لایه پنهان و یک نرون در لایه خروجی یعنی آرایش (۷-۳-۱) است با ضریب همبستگی ۰/۹۲ که میزان جذر میانگین مربعات خطا و متوسط قدر مطلق خطا به ترتیب برای مرحله آموزش ۰/۰۹ و ۰/۲۵ و برای مرحله آزمایش ۵/۳۷ و ۰/۶۷ برآورد شده است.

خشکسالی هیدرولوژیک در شهرستان نیشابور بین سالهای ۱۳۶۵-۱۳۵۵ و ۱۳۸۳-۱۳۷۸ بیشترین شدت را داشته و این روند توسط داده های شبیه سازی شده در نرم افزار شبکه عصبی کاملاً مشهود است.



شبکه های عصبی به علت داشتن خاصیت غیر خطی و نامعین نسبت به روشهای کلاسیک از اهمیت بیشتری برخوردارند. البته، شایان ذکر است که شبکه های عصبی در درون خود مدل های خطی را نیز شامل میشوند؛ یعنی به تناسب با روشهای کلاسیک، بسیار جامعتر هستند. (خوشحال و حسینی، ۱۳۸۹)

به طور کلی، میتوان اظهار داشت که مدل شبکه عصبی مصنوعی، مدلی قدرتمندی با توانمندی بالاست که میتوان با دیدگاهی مثبت در پیش بینی مسایل هیدرولیکی به آن نگرینست؛ خصوصاً آنجا که این شبکه قادر است قانون حاکم بر داده ها، حتی دادههای مغشوش را استخراج نماید و این خصوصیت، برجسته ترین ویژگی این مدل در مقایسه با سایر مدل هاست.

د- فهرست منابع

- عراقی نژاد، ش. و کارآموز، م.، ۱۳۸۴. پیش بینی بلندمدت رواناب با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج فازی، مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، صفحه ۴۱-۲۹.
- عراقی نژاد، ش. و کارآموز، م.، ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، صفحه ۲۹۵-۲۹۳.
- رضایی، ع.، ۱۳۸۳. مدلسازی منطقه ای دبی- های اوج زیرحوزه های آبخیز سد سفیدرود با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، پایان نامه دکتری در علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
- منهاج، م. ب.، ۱۳۸۴. مبانی شبکه های عصبی هوش محاسباتی، جلد ۱، مرکز نشر پروفیسور حسابی.
- دهقانی، ا. ا. و احمدی، ر.، ۱۳۸۷. تخمین آبدهی حوزه های آبخیز فاقد آمار با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی. اولین کنفرانس بین المللی، دانشگاه زابل.
- بازیدی ا.، ۱۳۹۰. روشهای آماری در علوم انسانی، انتشارات ارشد سپاهان تهران.
- کوچک زاده، م. و بهمنی، ع.، ۱۳۸۴. ارزیابی عملکرد شبکه های عصبی مصنوعی در کاهش پارامترهای مورد نیاز جهت برآورد تبخیر و تعرق مرجع. مجله علوم کشاورزی، ۱۱، شماره ۴.
- کیا، م.، ۱۳۸۷. شبکه های عصبی در Matlab. انتشارات کیان رایانه. تهران.
- میثاقی، ف. و محمدی، ک.، ۱۳۸۱. شبیه سازی بارش رواناب و روندیابی در رودخانه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- نگارش، ح.، ۱۳۹۱. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی و پیش بینی سیلاب در حوضه ابریز سرباز. مجله جغرافیا و توسعه، ۳۱، صفحه ۱۵-۲۸.
- خوشحال دستجردی، ج. و حسینی، س. م.، ۱۳۸۹. کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی عناصر اقلیمی و پیش بینی سیکل خشکسالی. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۱، شماره ۳، صفحه ۱۲۰-۱۰۷.
- Aksoy, H. and Dahamshed, A., 2009. Artificial neural network models for forecasting monthly precipitation in Jordan, *Stock Environ Res Risk Assess*, 23(7).
- Chang, F. J., Chen, P. A., Lu, Y. R., Huang, E., Chang, K.Y., 2014. Real-time multi-step-ahead water level forecasting by recurrent neural networks for urban flood control, *Journal of Hydrology*, Volume 517, P.836-846, ISSN 0022-1694,
- Basheer, I. A. and Hajmeer, M., 2000. Artificial neural networks: fundamentals, computing, design, and application, *Journal of Microbiological Methods*, 43: 3-31.
- Hosseini, S.M. and Borhani, R., 2009. The Application of Artificial Neural Network in Estimating The River Yield by Minimum Temperature and Discharge (Case Study: Basin Hamoon). The First International Conference of Water Crisis. Zabol University.



Kim, T. and Valdes, J.B., 2003. Nonlinear model for drought forecasting based on conjunction of wavelet transforms and neural networks, Journal of Hydro. Eng. ASCE, Volume 8(6):319-328.