



برآورد دبی رودخانه با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی و نرم‌افزار NeuroSolutions: مطالعه موردی رودخانه زرینه رود میاندوآب

معروف سی و سه مرده^{۱*}، علی ولی پور^۲

^{۱*} استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

(Maroof1397@yahoo.com)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران.

(تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۱/۰۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۲/۲۱)

چکیده

برآورد دقیق دبی رودخانه‌ها یکی از مهمترین ارکان در مدیریت منابع آب‌های سطحی به ویژه جهت اتخاذ تدابیر مناسب در مواقع سیلاب، بروز خشکسالی، مصارف آشامیدنی، کشاورزی و صنعتی است. در این تحقیق جهت برآورد دبی رودخانه زرینه رود، از آمار و اطلاعات دبی روزانه رودخانه زرینه رود با طول دوره آماری ۱۰ سال در محل ایستگاه ساری قمیش با استفاده از نرم‌افزار نروسولوشن استفاده شد. در این تحقیق ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد بقیه نیز برای تست مورد استفاده قرار گرفت. شبکه‌های گوناگون با مدل‌های مختلف عصبی پرسپترون چندلایه، پیشخور عمومی و تابع پایه شعاعی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج بیانگر آن است که مدل عصبی پرسپترون چندلایه با کمترین مقدار میانگین مربعات خطا بهترین مدل عصبی بوده است. در این تحقیق چندین شبکه با توابع انتقال مختلف (LinearSigmoidAxon, LinearTanhAxon, SigmoidAxon, TanhAxon) مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج بیانگر آنست که تابع انتقال LinearTanhAxon با کمترین مقدار میانگین مربعات خطا بهترین تابع انتقال بوده است. همچنین شبکه‌های با تعداد یک و دو لایه پنهان مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که شبکه با یک لایه پنهان بهتر از شبکه با دو لایه پنهان بوده است.

کلمات کلیدی

دبی، زرینه رود، شبکه عصبی مصنوعی، نرم‌افزار NeuroSolutions.



Estimation of River Flow Using Artificial Neural Networks and NeuroSolutions software: A Case Study of Zarineh Rood Miandoab River

Maroof Siosemarde ^{1*}, Ali Valipour ²

^{1*} Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.

(maroof1397@yahoo.com)

² Department of Civil Engineering, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran.

(Date of received: 26/01/2020, Date of accepted: 10/05/2020)

ABSTRACT

Accurate river discharge estimation is one of the most important pillars in the management of surface water resources, especially for appropriate measures in flood situations, droughts, and drinking, agricultural and industrial applications. In this research, to estimate the discharge of the Zarrineh River, daily data and data of the Zarrineh River with a statistical period of 10 years at the site of the Sari Station of Qomish were used using the NeuroSolutions software. In this research, 60% of the data for training, 20% of data for validation and 20% for the rest were also used for testing. Various networks have been compared with multi-layered perceptron neural network (MLP), general predictor and radial base function. And the results indicate that the Multilevel Perceptron Neural Model (MLP) with the lowest mean square error was the best neural model. In this study, several networks with different transmission functions (TanhAxon, SigmoidAxon, LinearTanhAxon, and LinearSigmoidAxon) were compared. And the results indicate that the LinearTanhAxon transmission function with the lowest mean square error was the best transfer function. Also, networks with one and two hidden layers were compared and the results showed that the network with a hidden layer was better than the hidden two-layer network.

Keywords:

Discharge, Zarrinehroud, Artificial Neural Network, NeuroSolutions software.



۱- مقدمه

آب برای زندگی و توسعه در تمام نقاط جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در کشور ما جهت توسعه اقتصادی به‌ویژه در زمینه کشاورزی و صنعت آب نقش کلیدی را به عهده دارد، به‌طوری‌که مدیریت صحیح منابع آب عامل مهمی در توسعه سایر بخش‌ها است [۱]. بر اساس مطالعاتی که توسط موسسه بین‌المللی مدیریت آب در سال ۱۹۵۰ انجام شد، تعداد ۱۲ کشور با جمعیتی حدود ۲۰ میلیون نفر با کمبود آب مواجه بودند. این رقم در سال ۱۹۹۰ به ۲۶ کشور با جمعیتی حدود ۳۰۰ میلیون نفر رسید و در سال ۲۰۱۰ به ۴۲ کشور با جمعیتی حدود ۳ میلیارد نفر افزایش پیدا کرد و پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۵۰ تعداد ۶۵ کشور جهان با جمعیتی بالغ بر ۷ میلیارد نفر با کمبود آب مواجه شوند. همچنین این موسسه پیش‌بینی کمبود آب را برای ۴۵ کشور جهان در سال ۲۰۲۵ مورد مطالعه و ارزیابی قرار داده است. حاصل این مطالعه، منتج به تقسیم‌بندی این کشورها در سه گروه کمبود فیزیکی، کمبود اقتصادی و فاقد کمبود شده است. گروه ۱ شامل کشورهایی است که در سال ۲۰۲۵ با کمبود فیزیکی آب مواجه هستند. این بدان معنا است که حتی بالاترین راندمان و بهره‌وری ممکن در مصرف آب، آب کافی برای تامین نیازهایشان در اختیار نخواهند داشت. حدود ۲۵ درصد مردم جهان از جمله ایران مشمول این گروه می‌باشند. گروه ۲ شامل کشورهایی است که در سال ۲۰۲۵ با کمبود اقتصادی آب روبه‌رو خواهند شد. این کشورها برای تأمین نیازهای خود در سال ۲۰۲۵ از آب کافی برخوردار هستند، اما ناگزیرند از طریق احداث سد و صرف هزینه‌های سنگین، تأمین آب خود را حداقل ۲۵ درصد نسبت به سال ۱۹۹۵ افزایش دهند. بسیاری از کشورهای این گروه دچار مشکل حاد مالی هستند و به همین واسطه در تأمین نیازهای آبی خود با تنگنا مواجه خواهند بود. گروه ۳ در حال حاضر کمبودی ندارند، اما برای تأمین نیازهای سال ۲۰۲۵ به حدود ۲۵ درصد آب بیشتر نیاز دارند [۲].

ایران به عنوان کشوری خشک و نیمه‌خشک واقع در منطقه خاورمیانه با کمبود شدید فیزیکی آب مواجه است. به استناد مطالعات طرح جامع آب کشور، منشاء اصلی منابع آب ایران را ریزشهای آسمانی بر پهنه جغرافیایی کشور تشکیل می‌دهد که سالانه بالغ بر ۴۱۳ میلیارد مترمکعب برآورد می‌گردد. از این مقدار حدود ۹۳ میلیارد مترمکعب به صورت جریانهای سطحی جاری شده، ۲۵ میلیارد متر مکعب مستقیماً به آبخوانهای آبرفتی نفوذ کرده و مابقی بصورت تبخیر و تعرق (از سطح زمین، جنگلها، مراتع، دیمزارها و غیره) از دسترس خارج می‌گردد. علاوه بر منابع آب حاصل از ریزشهای جوی سالانه حدود ۱۲ میلیارد مترمکعب آب به صورت جریانهای سطحی و از طریق رودخانه‌های مرزی وارد کشور می‌شود که با پیوستن آن به جریانهای سطحی، مجموع جریانات آب سطحی کشور به ۱۰۵ میلیارد متر مکعب می‌رسد. با لحاظ کردن ۲۵ میلیارد مترمکعب منابع آب زیرزمینی حاصل از نفوذ آب باران به آبرفتها، منابع آب تجدیدپذیر کل کشور به ۱۳۰ میلیارد مترمکعب بالغ می‌گردد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که در حال حاضر از کل منابع آب تجدیدشونده کشور حدود ۸۹/۵ میلیارد مترمکعب جهت مصارف بخشهای کشاورزی، صنعت، معدن و خانگی برداشت می‌شود که حدود ۸۳ میلیارد متر مکعب آن (۹۳ درصد) به بخش کشاورزی ۵/۵ میلیارد مترمکعب (۶ درصد) به بخش خانگی و مابقی به بخش صنعت و نیازهای متفرقه دیگر اختصاص دارد. رشد سریع جمعیت مهمترین عامل کاهش سرانه آب تجدیدشونده کشور در طول هشتاد سال گذشته بوده است [۳]. جمعیت ایران در طی هشت دهه حدود ۶/۸ برابر شده و کمتر از ۱۰ میلیون نفر در سال ۱۳۰۰ به ۷۰ میلیون نفر براساس سرشماری سال ۸۵ و بالغ بر ۷۵ میلیون نفر در سرشماری ۹۰ گردیده است. همچنین بر اساس گزارش سازمان ملل، ایران به عنوان هفدهمین کشور پرجمعیت دنیاست و با نرخ رشد جمعیت پیش‌بینی شده توسط سازمان ملل متحد، کشورمان تا سال ۲۰۲۵ جزو ۱۰ کشور اول پرجمعیت جهان خواهد بود و این پیش‌بینی براساس نرخ رشد جمعیت کاهنده پیشین صورت گرفته است و انتظار می‌رود به علت سیاست‌های جدیدی که امروز دولت‌مردان ایران اتخاذ کرده‌اند، متأسفانه جمعیت در آینده بیش از مقدار برآورد شده کنونی باشد. همچنین پیش‌بینی شده است که میزان سرانه آب تجدیدپذیر کشور نیز از میزان حدود ۱۳۰۰۰ به حدود ۹۲۰۰ متر مکعب در سال ۹۳ تقلیل یابد و در صورت ادامه این روند، وضعیت در آینده به مراتب بدتر



خواهد شد. بر اساس شاخص مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، ایران در وضعیت بحران شدید آبی قرار دارد. بنا به گزارش این مؤسسه بین‌المللی مدیریت آب، کشور ایران برای حفظ وضع موجود خود تا سال ۲۰۲۵ باید بتواند ۱۱۲ درصد به منابع آب قابل استحصال خود بیفزاید که این مقدار با توجه به امکانات و منابع آب موجود غیرممکن به نظر می‌رسد [۴]. لذا وضعیت موجود آب کشور می‌بایست جزو نگرانی‌های و دغدغه‌های کارشناسان، مدیران و دولت مردان بوده و برای حل این معضل، لازم است با اتخاذ تصمیمات اصولی و کارساز مانع از گسترش این بحران شوند. گستردگی کشور و توزیع ناهمگون ریزش‌های جوی و شرایط متنوع آب و هوایی باعث گردیده در پاره‌ای مواقع سیلاب‌های عظیمی جریان یافته و سبب به وجود آمدن خسارات و صدمات جانی و مالی بسیاری گردد. ایجاد سامانه‌های هشداردهنده سیل در حوضه‌های آبریز یکی از روش‌های منطقی در جهت رفع و یا کاهش زیان‌های ناشی از این پدیده طبیعی بوده که مستلزم بررسی‌ها و مطالعات گسترده‌ای است. به‌ویژه در مناطقی که فاقد آمار بوده و یا از آمار و اطلاعات مطمئن برخوردار نمی‌باشد [۵]. در مدیریت بهینه منابع آب پیش‌بینی جریان رودخانه اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به این که بیشتر رودخانه‌های داخل کشور ما فصلی هستند، باید برای مهار و استفاده حداکثری از این منابع طبیعی برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح و کارآمدی ارائه داد. داشتن برنامه و مدیریت صحیح مستلزم به مدل درآوردن رفتار رودها و جریان‌های آبی کشور می‌باشد. از حدود نیم میلیارد کیلومتر مکعب آب موجود در زمین حدود ۹۵٪ را آب‌های شور تشکیل می‌دهند و از ۵٪ درصد باقیمانده فقط ۱٪ بصورت آب شیرین و قابل استفاده است. امروزه علاوه بر آمارهایی که نشان دهنده کمبود آب در سطح کره زمین است، آمارهایی نیز نشان دهنده تشدید این وضعیت در دهه‌های اخیر می‌باشد. بطوری که هم اکنون رشد مصرف آب سریعتر از رشد جمعیت جهان می‌باشد. از سال ۱۹۵۰ تا ۱۹۹۰ میزان مصرف آب در دنیا ۳۰۰ درصد افزایش یافته است که از این مقدار ۲۳۰ درصد ناشی از رشد جمعیت و بقیه در نتیجه افزایش سرانه مصرف آب بوده است. در حال حاضر حدود ۳۰ کشور جهان در چنین وضعیتی به سر می‌برند [۶]. پیش‌بینی دبی در پروژه‌هایی نظیر پخش سیلاب، طراحی زهکشی‌های مزروعی، طرح‌های آبخیزداری، طراحی کالورتها، محاسبه ارتفاع دیواره‌های تثبیت سواحل رودخانه‌ها، طراحی شبکه دفع فاضلاب آب سطحی ناشی از بارندگی در حوضه‌های شهری و بزرگراه‌ها، طراحی حوضچه آرامش سد و از همه مهمتر در طراحی سرریز سد باعث پایین آمدن خسارات مالی و جانی می‌شود.

در مطالعات منابع آب، شبکه عصبی از سال ۱۹۹۲ توسط فرنچ و همکاران مورد استفاده قرار گرفت و از آن پس بطور روز افزونی در این علم به کار گرفته شده است. علت استقبال از شبکه‌های عصبی را میتوان، قدرت شبیه‌سازی مدل در فرآیندهایی که تعریف دقیق و درک خاصی از آنها وجود ندارد، دانست. حسنپور کاشانی و همکاران [۷] در مطالعه حوضه جنوب دریاچه ارومیه با پیشنهاد یک مدل رگرسیون جدید جهت پیش‌بینی سیل با دوره‌های بازگشت مختلف و سپس ترکیب با شبکه‌های عصبی پیشخور و پسخور، شبکه MLP و شبکه Elman نشان دادند که توانایی مدل تلفیقی و ANN در پیش‌بینی سیل با دوره‌های بازگشت مختلف با کمترین داده‌ها و نیز با در نظر گرفتن تاثیر انتخاب نوع شبکه در دقت پیش‌بینی به مراتب بیشتر و دقیقتر است. نورانی و ملکانی [۸] پس از مقایسه سه مدل ANN، FIS، ANFIS در مورد حوزه لبقوان چای دریافتند که چون پارامترهای بارش و رواناب بکار رفته در مدلسازی معروض به خطا و دارای عدم قطعیت می‌باشد، بنابراین فازی ابزار مناسبی جهت مدلسازی این سیستمها است و از سایر مدلها دقیقتر بوده و بیشترین مقدار نش-ساتکلیف و کمترین خطا را داشته است. امیدوار و اژدرپور [۹]، شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS را در برآورد بارش- رواناب حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات را مورد مقایسه قرار داده و به برتری شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل HEC-HMS دست یافتند. دستورانی و همکاران [۱۰] به بررسی کارایی الگوهای شبکه‌های عصبی مصنوعی ANN و ANFIS در الگوبندی بارش - رواناب در حوضه آبخیز سد زاینده‌رود پرداختند و نتایج را با روش‌های آماری مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هر دو الگو با به کارگیری پارامترهای ورودی و ساختار مناسب، نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهند. فتحیان و هرمزی‌نژاد [۱۱]، مدل های شبکه عصبی مصنوعی MLP، FF، RBF را برای پیش‌بینی کمی و کیفی جریان در رودخانه کارون را



مورد بررسی قرار داد و نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی از توانایی بالایی برای شناخت رابطه پیچیده بین مجموعه داده‌های ورودی و خروجی سیستم مورد مطالعه دارند. تنها ضعف این مدلها نیاز به تعداد الگو داده نسبتاً زیاد برای آموزش می‌باشند. محمدی نژاد و همکاران [۱۲]، شبکه‌های عصبی مصنوعی دقت و توانایی بالایی جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی پارامترهای کمی و کیفی جریان در رودخانه دارند. دالینگ و وارس در سال ۲۰۰۷ [۱۳] از شبکه عصبی پیشرو با متد پس انتشار خطا در پیش‌بینی میزان جریان ماه جولای تا ژانویه استفاده کردند. منطقه مورد بررسی حوزه رودخانه سان جان واقع در آرژانتین بوده است که حوزه مورد نظر حوزه‌ای کوهستانی می‌باشد. نتایج بیانگر این واقعیت هستند که شبکه عصبی در برآورد میزان جریان به خوبی عمل می‌کند. همچنین نتیجه دیگری که از این تحقیق بعمل آمده نشان می‌دهد که تنها در دو مورد پیش‌بینی جریان خطای شبکه بیش از ۱۴٪ بوده است و برای بقیه ماهها خطا بسیار ناچیز بوده است. کیسی در سال ۲۰۰۷ [۱۴]، اقدام به پیش‌بینی جریان در رودخانه ای در ایالت کولورادو با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی نمود. در این مطالعه از چهار الگوریتم آموزشی در روش ANN بهره گرفت که نتایج نشان از برتری مدل مرکوات - لونبرگ نسبت به مدل های دیگر بود. فرات در سال ۲۰۰۸ [۱۵] و چانگ و چانگ در سال ۲۰۰۶ [۱۶] و تایفور و سینگ در سال ۲۰۰۶ [۱۷] از شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی برای پیش‌بینی جریان رودخانه بهره گرفتند. بر اساس این تحقیقات مدل ANFIS انعطاف‌پذیری و کارایی بیشتری نسبت به سایر روشها دارد. اوانال و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۱۸] نتایج شبکه عصبی مصنوعی را با نتایج مدل‌های یک و دوبعدی تخمین جریان در مقاطع مرکب مستقیم را مورد مقایسه قرار دادند. این مقایسه نشان داد که نتایج شبکه عصبی مصنوعی، دارای دقت بهتری نسبت به مدل‌های ریاضی است. کوک و همکاران در سال ۲۰۱۰ [۱۹] به منظور مدل‌سازی و پیش‌بینی رواناب از شبکه‌های عصبی مصنوعی استفاده نموده‌اند. اهمیت انجام پیش‌بینی جریان در تصمیماتی است که بر مبنای این پیش‌بینی‌ها به منظور مدیریت بهینه منابع آب صورت می‌گیرد. از این رو این مساله همواره یکی از مهمترین چالش‌های موجود در زمینه مدیریت منابع آب بوده است. در دهه‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت جهان و همچنین افزایش مصرف سرانه آب، کمبود آب شیرین قابل استحصال به معضلی جهانی تبدیل گشته است. از اینرو با توجه به محدود بودن منابع آب، مدیریت صحیح و بهینه مهمترین وظیفه سیاست‌گذاران و مهندسين منابع آب می‌باشد. یکی از مهمترین ارکان مدیریت منابع آب، میزان این منابع در آینده است. جدیدالتأسیس بودن بیشتر ایستگاههای هیدرومتری، نواقص موجود در آمار اکثر این ایستگاهها، قرارگرفتن بیشتر رودها در مناطق خشک، وضعیت بحرانی برداشت آبهای زیرزمینی و لزوم توجه بیشتر به آبهای سطحی همه و همه دلایل بیشتر و ظرفیتری می‌باشد که به مقوله پیش‌بینی و تولید آمار مصنوعی در حوضه‌های آبریز کشورمان جلوه و نمودی کاملتر می‌بخشد. در این تحقیق برای بالابردن دقت آموزش و نتایج پیش‌بینی رواناب اقدام به استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر هوش جمعی برای بهینه نمودن بردارهای وزن شبکه عصبی گردیده است. نتایج نشان دهنده مطلوبیت بالای ساختار پیشنهاد شده در آموزش شبکه‌های عصبی برگشت به عقب به منظور پیش‌بینی رابطه بین بارش-رواناب است.

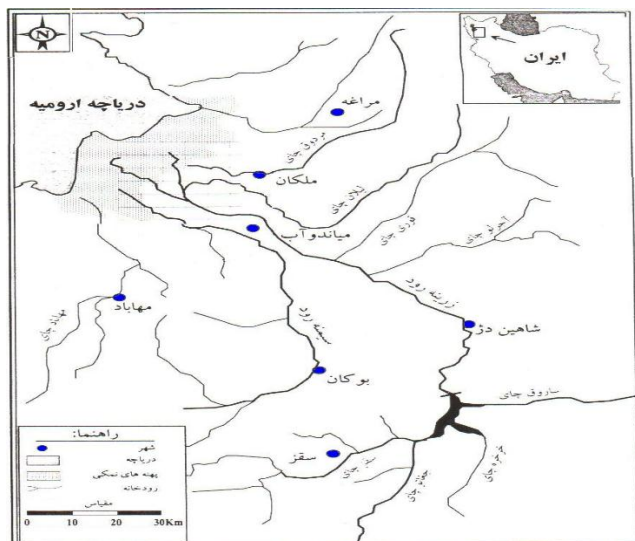
۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

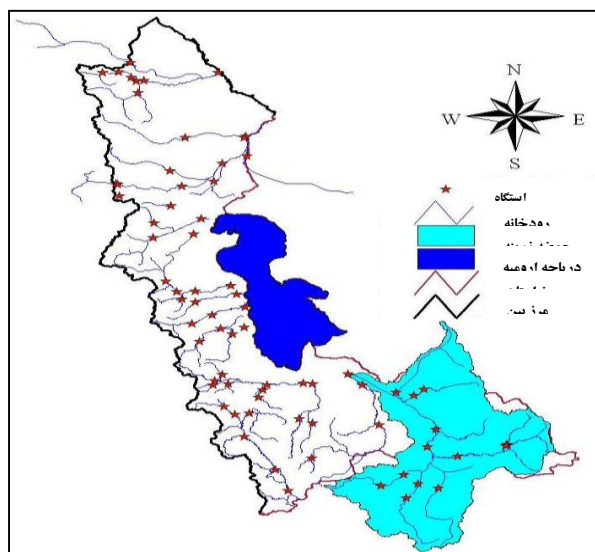
منطقه مورد مطالعه رودخانه همیشه جاری و پر برکت زرينه‌رود می‌باشد که در جنوب شرقی دریاچه ارومیه واقع گردیده است (شکل ۱). رودخانه با طی مسیرهای ماندردی و انشعابات انتهایی فراوان به دریاچه ارومیه ملحق می‌شوند. زرينه‌رود مهمترین زهکش سطحی دشت میاندوآب می‌باشند که منابع آب سطحی منطقه را از طریق دلتای مشترک زرينه‌رود به دریاچه ارومیه تخلیه می‌نمایند.



در شکل موقعیت دلتای زرينه رود و سيستم تخليه آبهاي سطحي ديده مي شود. در (شکل ۲) موقعیت ایستگاههای هیدرومتری استان و حوضه زرينه رود را نشان می دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی رودخانه های حاشیه جنوبی دریاچه ارومیه.



شکل ۲: موقعیت ایستگاه های هیدرومتری استان و حوضه زرينه رود.



دشت زرينه رود يکي از مناطق مهم کشاورزي در استان آذربايجان غربي و کشور محسوب مي‌گردد. اين دشت با وسعتي بالغ بر ۱۰۰۰ كيلومتر مربع در محل دلتاي مشترک رودخانه‌هاي زرينه رود و سيمينه رود واقع شده است. اکثر زمينهاي اين دشت از نوع درجه يک و مرغوب مي‌باشد و محصولاتي زراعي و باغي زيادي در آن کشت و توليد مي‌گردد. متاسفانه در سالهاي اخير تا حد زيادي از کيفيت منابع آبي اين دشت کاسته شده است. اين امر موجب شده تا بخش وسيعي از نواحي شمال غربي دشت که سابقاً مورد کشت قرار مي‌گرفت به دليل افت کيفيت آب سطحي و زيرزميني و شوري خاک بلا استفاده رها گردد. همچنين هزينه‌هاي تصفيه آب شرب نيز بالا رود [۲۰]. منبع عمده تامين آب در اين دشت استفاده از آب‌هاي سطحي و زير زميني است. بالغ بر ۸۰ درصد آب سطحي مصرفي در بخش کشاورزي از رودخانه زرينه رود تامين مي‌گردد. اين در حالي است که اگر تغذيه آبخانه‌هاي زيرزميني که در بالادست دشت توسط رودخانه تغذيه مي‌گردد نباشد، بخش عمده‌اي از نياز آبي اين دشت تامين نخواهد شد. همچنين در سالهاي اخير بدون وقفه آب از اين رودخانه براي تامين آب شرب به سمت تبريز و شهرهاي مسير خط لوله انتقال نظير بناب، آذرشهر، عجب شير، خسرو شهر، اسکو، ايلخچي و سردرود در حال انتقال است. فاز افتتاح شده اين طرح ۵ متر مکعب بر ثانيه، فاز دوم که نزديک به اتمام است با ظرفيت ۵ متر مکعب و فاز سوم که مراحل مطالعاتي آن تمام شده است، ۱۰ متر مکعب بر ثانيه از آب اين رودخانه را به سمت تبريز منتقل خواهد نمود. اين يعني ۶۷۵ ميليون مترمکعب در سال. با توجه به اهميت شهر تبريز، اهميت کشاورزي، زندگي و اشتغال ساکنين بومي منطقه مديريت صحيح و علمي بسيار لازم و ضروري به نظر مي‌رسد. لذا پيش بيني نوسانات دبي اين رودخانه در ايستگاه‌هاي مختلف مي‌تواند کمک شاياني به برنامه‌ريزي و تصميم‌گيري‌هاي بعدي، جهت تامين دراز مدت آب شرب، کشاورزي و صنعت نمايد.

۲-۲- شبکه عصبی

شبکه عصبی، مدل‌های محاسباتی هستند که با الهام از شبکه‌های عصبی مغزی ایجاد شده‌اند و این ایده با تحقیق در مورد سلول‌های مغزی انسان شروع شد. مغز انسان از هزاران هزار نرون^۱ عصبی منحصر بفرد در اشکال و اندازه‌های مختلف که به صورت فیزیکی بهم متصل یا از لحاظ عملکردی بهم وابسته اند، تشکیل شده است. هر نرون از اجزای زیر تشکیل شده است:

۱- سوما^۲: بدنه ی سلول شامل هسته و قسمت‌های حفاظتی

۲- دندريت^۳: ورودی سلول شامل مجموعه ی الياف شاخه ای

۳- آکسون^۴: ناحیه ی خروجی و خط انتقال نرون

۴- سیناپس^۵: محل تلاقی آکسون یک سلول به دندريتهای سلول ديگر

شبکه عصبی یک سیستم ارگانی شامل نرون‌ها می‌باشد که اعمال و واکنش جانداران را هماهنگ می‌سازد و سیگنال‌ها را به بخشهای متفاوت بدن می‌فرستد. در استفاده‌های جدیدتر این عبارت به شبکه عصبی مصنوعی که از نرون‌هایی مصنوعی ساخته شده است هم اشاره دارد. بنابراین عبارت شبکه عصبی، در حالت کلی به دو مفهوم مختلف (شبکه‌های عصبی زیستی و شبکه‌های عصبی مصنوعی^۶) اشاره دارد. شبکه‌های عصبی مصنوعی، مدل‌های پردازش اطلاعات هستند که با تقلید از شبکه‌ی عصبی مغز انسان ساخته شده‌اند. سیستم پردازش اطلاعات در شبکه‌های عصبی مصنوعی دارای ساختاری جدید است و از تعداد زیادی عناصر پردازنده‌ی

¹ neuron

² soma

³ Dendrite

⁴ Axon

⁵ Synapse

⁶ Artificial Neural Network



متصل به هم تشکیل یافته، که بصورت هماهنگ با یکدیگر کار می کنند. شبکه های عصبی مصنوعی، مجموعه ای از عناصر پردازنده متصل غیرخطی می باشند. این شبکه ها از اتصال عناصر پردازنده ی منفرد - با تعداد زیادی ورودی و خروجی - تشکیل شده اند. عناصر پردازنده ی شبکه های عصبی مصنوعی در دو مرحله فعالیت می کنند: مرحله ی یادگیری و مرحله ی کاربرد. در حالت یادگیری عنصر پردازنده می آموزد که برای حالت خاصی فعال و برانگیخته شود، یا برای همان حالت برانگیخته نشود و در حالت کاربردی، وقتی الگوی ورودی آموزش یافته ای شناسایی شود، خروجی مرتبط با آن تولید می گردد. اگر الگوی ورودی به لیست الگوهای ورودی ای که از پیش به سلول آموزش داده شده شبیه نباشد، قوانین فعال سازی تعیین می کنند که خروجی سلول فعال کننده باشد یا نه. هر واحد پردازنده در شبکه های عصبی مصنوعی، دارای یک مشخصه ورودی و خروجی است. خروجی هر واحد با توجه به اتصال درونی اش به سایر واحدها و احتمالاً ورودی های خارجی تعیین می گردد. عمل یا عملکرد کلی شبکه عصبی مصنوعی توسط توپولوژی شبکه، خصوصیات نرون های منفرد، روش یادگیری و داده های آموزش تنظیم می شود. دو مرحله جداگانه در شبکه های عصبی مصنوعی وجود دارد: مرحله آموزش^۷ که در آن داده ها به صورت پیوسته به شبکه وارد می شوند، و تا زمانی که پاسخ مطلوب به دست آید وزن ها احیا می شوند. مرحله ی دوم مرحله ی بازپس دهی^۸ است که در آن شبکه با وزن های نهایی، برای داده های جدید به کار می رود. مرحله ی آموزش بسیار زمان بر است، ولی به محض اینکه شبکه آموزش داده شود، مرحله ی بازپس دهی به سرعت انجام می شود. بدین ترتیب، می توان شبکه های عصبی مصنوعی را به صورت یک سیستم در نظر گرفت [۲۱].

۲-۳- اجزاء یک شبکه عصبی

شبکه های عصبی مصنوعی از قسمتهای مختلفی تشکیل شده اند، که عبارتند از: ورودی ها: ورودی ها می توانند داده های عددی، رقمی، متون ادبی، فنی و تصویری و ... باشند. بردار وزن: معادل مقادیر اتصالات سیناپسی ورودی های نرون می باشند، وزن ها قابل تنظیم بوده و براساس تابع تبدیل و نوع الگوریتم یادگیری تعدیل می شوند. تابع جمع^۹: عملیات پردازش نرون را انجام می دهد، در شبکه های تک نرونی تابع جمع خروجی مسئله را تا حدودی مشخص می کند و در شبکه های چند نرونی تابع جمع سطح فعالیت نرون [در لایه های درونی را مشخص می سازد توابع فعالیت^{۱۰}: تابع فعالیت که آن را تابع تبدیل و تابع فشرده سازی نیز می نامند مقادیر خروجی یک نرون مصنوعی را، براساس مقادیر ورودی اش تعیین می کند. انواع مختلفی از توابع فعالیت وجود دارند، از قبیل تابع فعال سازی آستانه ای، خطی، چندتکه ای، سیگموئید، گوسین و تابع تانژانت هایپربولیک.

- خروجی: منظور همان پاسخ مسئله است که از تابع زیر مشخص می شود:

$$y_i = \text{Activation Function} \left[\sum_{j=1}^n (x_j w_{ij}) \right] \quad (1)$$

⁷ training

⁸ test

⁹ adder

¹⁰ activation function



۴-۲- معیارهای ارزیابی شبکه

در این تحقیق شاخص‌های کمی ذیل مورد استفاده قرار گرفت:

ضریب همبستگی^{۱۱}: به منظور برآورد تناسب میان خروجی شبکه با خروجی مطلوب یا مورد انتظار استفاده می‌شود. ولی لزوماً به این معنی نیست که این دو مجموعه داده در یک جهت حرکت می‌کنند.

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (۲)$$

مقدار ۲ همیشه بین ۱ و ۱- متغیر است. هر اندازه به ۱ نزدیک باشد، نشانه این است که بین دو متغیر یک رابطه‌ی خطی و مستقیم وجود دارد و به عبارت دیگر پراکندگی یکسانی دارند. هر اندازه به ۱- نزدیک گردد، بیانگر این نکته است که دو متغیر در جهت عکس با هم رابطه پیدا می‌کنند. ضریب همبستگی صفر، نشانه نبود رابطه بین آن دو است. میانگین مجموع مربع خطاها^{۱۲}: برای مقایسه مقدار خطای داده اندازه‌گیری شده با داده پیش‌بینی شده ابزار مناسبی می‌باشد.

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2 \quad (۳)$$

که در آن P_i مقادیر پیش‌بینی شده و O_i مقادیر مشاهده شده هستند. میانگین مربعات خطای نرمال شده^{۱۳}: فرمول زیر بیانگر میانگین مربعات خطای نرمال شده است، در این رابطه P بیانگر تعداد عناصر پردازنده‌ی خروجی، N تعداد نمونه‌های شبکه‌ی داده‌ها، MSE میانگین مربعات خطا و d_{ij} خروجی مطلوب برای نمونه i در عنصر پردازنده‌ی j است.

$$NMSE = \frac{P \cdot N \cdot MSE}{\sum_{j=0}^P \frac{N \sum_{i=0}^N d_{ij}^2 - (\sum_{i=0}^N d_{ij})^2}{N}} \quad (۴)$$

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق ۶۰ درصد داده‌ها برای آموزش، ۲۰ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی و ۲۰ درصد بقیه نیز برای تست مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق جهت برآورد دبی رودخانه زربنه رود، از آمار و اطلاعات دبی روزانه رودخانه زربنه رود در محل ایستگاه ساری قمیش (به عنوان ورودی سد بوکان) استفاده شده است، در این ایستگاه آمار رواناب روزانه با طول دوره آماری ۱۰ سال (۳۶۵۳ سری داده) استفاده شده است. با استفاده از نرم‌افزار نروسولوشن^{۱۴}، چندین شبکه با مدل‌های مختلف عصبی پرسپترون چند لایه^{۱۵}، پیشخور عمومی و تابع پایه شعاعی و توابع انتقال مختلف (LinearTanhAxon, SigmoidAxon, TanhAxon, LinearSigmoidAxon) با یک و دو لایه پنهان ساخته شد و شبکه‌های مختلف با استفاده از ضریب همبستگی، میانگین مربعات خطا و میانگین مربعات خطای نرمال شده^{۱۶} مورد مقایسه قرار گرفت. در همه شبکه‌ها از الگوریتم آموزشی مونتوم و تعداد Epoch

^{۱۱} r

^{۱۲} MSE

^{۱۳} NMSE

^{۱۴} NeuroSolutions

^{۱۵} MLP

^{۱۶} NMSE



۱۰۰۰۰ استفاده شده است. در این تحقیق، پس از جمع آوری اطلاعات و داده‌ها، چندین شبکه عصبی متفاوت با نرم‌افزار نروسولوشن ایجاد شد که نتایج آن در ذیل آمده است.

۳-۱- انتخاب بهترین مدل عصبی

در این تحقیق مدل‌های مختلف عصبی پرسپترون چند لایه^{۱۷}، پیشخور عمومی و تابع پایه شعاعی مورد بررسی قرار گرفت و از تابع انتقال TanhAxon با یک لایه پنهان استفاده شد. نتایج (جدول ۱) بیانگر آنست که مدل عصبی پرسپترون چند لایه بهترین مدل عصبی با کمترین مقدار خطا بوده است.

جدول ۱: مقادیر آماره های مدل عصبی MLP با تابع انتقال تانژانت هیپربولیک با یک لایه پنهان.

مدل عصبی MLP	میانگین مجموع مربع خطاها	۳۶۱.۶۸۷۳۴۴۸
	میانگین مربعات خطای نرمال شده	۰.۱۰۹۶۳۶۵۸۹
	ضریب همبستگی	۰.۹۴۳۹۱۶۴۷۵
مدل عصب پیش بینی عمومی	میانگین مجموع مربع خطاها	۳۶۵.۲۸۴۱۲۰۷
	میانگین مربعات خطای نرمال شده	۰.۱۱۰۷۲۶۸۶۳
	ضریب همبستگی	۰.۹۴۳۹۲۵۱۷۵
مدل عصبی تابع پایه شعاعی	میانگین مجموع مربع خطاها	۳۳۵۸.۲۵۵۰۸۱
	میانگین مربعات خطای نرمال شده	۱۰.۱۷۹۷۲۱۱۹
	ضریب همبستگی	۰.۰۱۲۲۳۰۷۷۴

۳-۲- انتخاب بهترین تابع محرک

در این تحقیق توابع مختلف انتقال LinearSigmoidAxon, LinearTanhAxon, SigmoidAxon, TanhAxon مورد بررسی قرار گرفت و از یک لایه پنهان استفاده شد. نتایج (جدول ۲) بیانگر آنست که تابع محرک LinearTanhAxon بهترین تابع محرک با کمترین مقدار خطا بوده است.

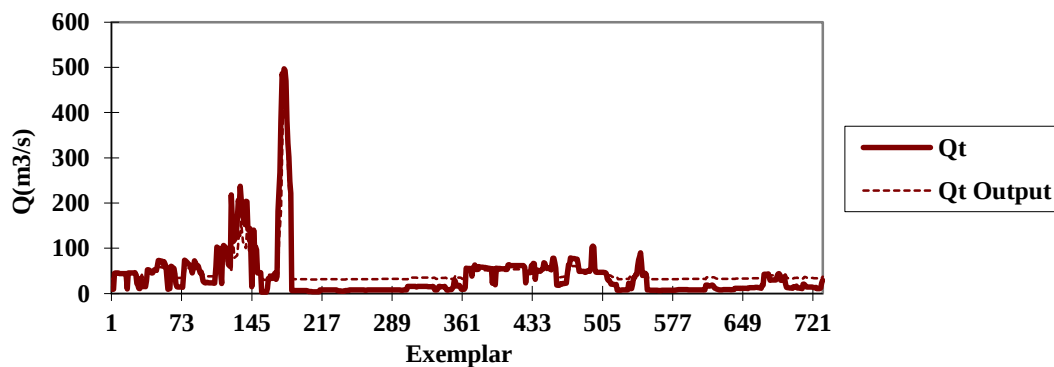
جدول ۲: مقادیر آماره های شبکه با مدل عصبی پرسپترون چند لایه با توابع انتقال مختلف

تابع انتقال SigmoidAxon	میانگین مجموع مربع خطاها	۷۳۷.۰۶۵۷۵۷۶
	میانگین مربعات خطای نرمال شده	۰.۲۲۳۴۲۳۲۸۸
	ضریب همبستگی	۰.۹۳۰۳۶۶۰۹
تابع انتقال LinearTanhAxon	میانگین مجموع مربع خطاها	۳۱۳.۲۶۴۶۸۱
	میانگین مربعات خطای نرمال شده	۰.۰۹۴۹۵۸۴۵۴
	ضریب همبستگی	۰.۹۵۱۶۳۰۴۹۲
تابع انتقال LinearSigmoidAxon	میانگین مجموع مربع خطاها	۴۰۶.۰۱۲۰۱۳۱
	میانگین مربعات خطای نرمال شده	۰.۱۲۳۰۷۲۵۱۸
	ضریب همبستگی	۰.۹۵۲۳۷۷۹۸۹

¹⁷ MLP

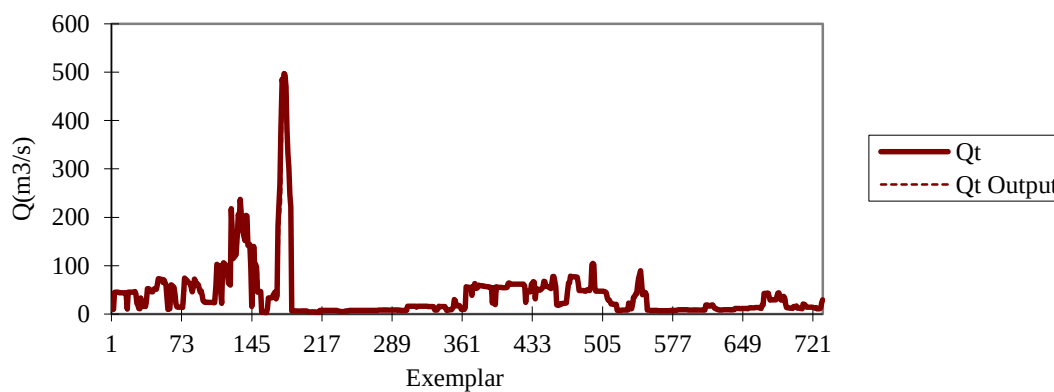


Desired Output and Actual Network Output



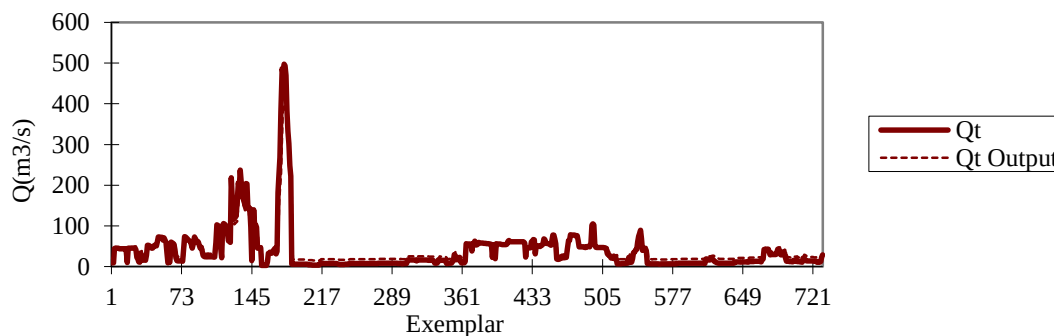
شکل ۳: مقایسه مقادیر دبی واقعی و محاسباتی شبکه با تابع انتقال SigmoidAxon.

Desired Output and Actual Network Output



شکل ۴: مقایسه مقادیر دبی واقعی و محاسباتی شبکه با تابع انتقال LinearTanhAxon.

Desired Output and Actual Network Output



شکل ۵: مقایسه مقادیر دبی واقعی و محاسباتی شبکه با تابع انتقال LinearSigmoidAxon.



۳-۳- انتخاب بهترین تعداد لایه های پنهان

در این تحقیق تعداد یک و دو لایه پنهان مورد بررسی قرار گرفت. خلاصه نتایج انتخاب بهترین تعداد لایه پنهان در جدول ذیل آمده است. نتایج (جدول ۳) بیانگر آنست که تعداد یک لایه بهترین تعداد لایه پنهان با کمترین مقدار خطا بوده است.

جدول ۳: نتایج حاصل از انتخاب بهترین تعداد لایه پنهان.

تعداد لایه های پنهان	میانگین مجموع مربع خطاها
یک	۳۱۳.۲۶۴۶۸۱
دو	۳۱۶.۷۶۶۶۶۰۶

۴- نتیجه گیری

با استفاده از نرم افزار نروسولوشن، چندین شبکه با مدل های مختلف عصبی پرسپترون چندلایه، پیشخور عمومی و تابع پایه شعاعی مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج بیانگر آنست که مدل عصبی پرسپترون چندلایه با کمترین مقدار میانگین مربعات خطا بهترین مدل عصبی بوده است. در این تحقیق چندین شبکه با توابع انتقال مختلف (LinearTanhAxon, SigmoidAxon, TanhAxon, LinearSigmoidAxon) مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج بیانگر آنست که تابع انتقال LinearTanhAxon با کمترین مقدار میانگین مربعات خطا بهترین تابع انتقال بوده است. همچنین شبکه های با تعداد یک و دو لایه پنهان مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که شبکه با یک لایه پنهان بهتر از شبکه با دو لایه پنهان بوده است. با توجه به نتایج ذکر شده پیشنهاد می شود که نتایج شبکه های عصبی مصنوعی با دیگر روشهای هوشمند نظیر عصبی فازی جهت برآورد دبی رودخانه مورد مقایسه قرار گیرد. نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی با رگرسیون غیرخطی مقایسه گردد. سایر توپولوژی های شبکه های عصبی مصنوعی نظیر مقادیر مختلف Epoch بررسی گردد.

۵- مراجع

- [۱]- فضل اولی ر، آخوندعلی م.ع. و بهنیا ع، ۱۳۸۵، تعیین روابط پیش بینی رواناب در حوضه های آبریز کوهستانی (مطالعه موردی، حوضه های آبریز معرف امامه و کسلیان)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳(۶)، ص ۱۳-۱۱.
- [2]- Adamowski, J., Sun, K., 2010, **Development of a coupled wavelet transform and neural network method for flow forecasting of non-perennial rivers in semi-arid watersheds**, Journal of Hydrology, 390(1-2), 85-91.
- [۳]- میثاقی، ف، ۱۳۸۲، توسعه الگوریتم ترکیبی زمین آمار و شبکه های عصبی مصنوعی به منظور استخراج توزیع مکانی بارندگی، پایان نامه کارشناسی ارشد کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس.
- [۴]- احمدی، ا، ۱۳۸۲، طبقه بندی تغییرات بارش بوشهر و استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی مبتنی بر مدل خودسازمانده کوهون، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- [۵]- محمدی ی، فتحی پ، نجفی نژاد ع. و نوران، ۱۳۸۷، تخمین دبی متوسط ماهانه با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی (مطالعه موردی آبخیز قشلاق سنندج)، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۵(۴)، ص ۲۶۸-۲۵۸.



- [6]- Alp, M., Cigizoglu, H. K., 2007, **Suspended sediment load simulation by two artificial neural network methods using hydrometeorological data**, Environmental Modelling and Software, 22, 2-13.
- [۷]- حسنیور کاشانی، م.، م. منتصری، م.ع. لطف الهی یقین. و ا. حسنیور کاشانی، ۱۳۸۷، مقایسه عملکرد شبکه های عصبی MLP و Elman با نوع جدید مدل رگرسیون در پیش بینی سیل حوضه های فاقد آمار، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه تهران.
- [۸]- نورانی، و. و ل. ملکانی، ۱۳۸۹، استفاده از سیستم فازی-عصبی تطبیقی در مدلسازی بارش، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران. دانشگاه فردوسی مشهد. اردیبهشت.
- [۹]- امیدوار، ک. اژدرپور، م.، ۱۳۹۱، مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در برآورد بارش - رواناب در حوضه آبریز رودخانه اعظم هرات، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۷، شماره چهارم، زمستان، ۱۰۷، ص ۱۸۶۲۰ - ۱۸۶۴۰.
- [۱۰]- دستورانی م.ت.، شریفی دارانی ح.، طالبی ع. و مقدم نیا، ع.، ۱۳۹۰، کارایی شبکه های عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی-فازی تطبیقی در مدل سازی بارش-رواناب در حوضه آبخیز سد زاینده رود، نشریه آب و فاضلاب، ۲۲، ۴. ص ۱۱۴ - ۱۲۵.
- [۱۱]- فتحیان، ح. و هرمزی نژاد، ا.، ۱۳۹۰، پیش بینی پارامترهای کمی و کیفی جریان در رودخانه کارون (بازه ملاثانی-فارسیات) با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی، مجله تالاب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، دوم، هشتم، ص ۲۹ - ۴۳.
- [۱۲]- محمدی نژاد، م. فروزان، ف. مافی غلامی، ر. دایر، ا.، ۱۳۹۲، مدل سازی پارامترهای کیفی رودخانه گرگر با استفاده از Neurosolution. اولین همایش ملی بحران آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان (اصفهان)، ۲۵ و ۲۶ اردیبهشت ماه.
- [13]- Dolling, O. R. and Varas, E. A., 2007, **Artificial neural networks for Steam flow prediction**, Journal of Hydrology Research, 40(5), 547-554.
- [14]- Kisi, O., 2007, **Streamflow Forecasting Using Different Artificial Neural Network Algorithms**, Journal of Hydrology Engineering, 12, 5, 533-539.
- [15]- Firat, M., 2008, **Artificial Intelligence Techniques for river flow forecasting in the Seyhan River Catchment, Turkey**, Hydrology and Earth System Sciences, 12, 123-139.
- [16]- Chang, F. J. and Chang, Y. T., 2006, **Adaptive neuro-fuzzy inference system for prediction of water level in reservoir**, Advances in Water Resources., 20, 1-10.
- [17]- Tayfur, G., and Singh, V. P., 2006, **ANN and Fuzzy Logic for simulating event-based rainfall-runoff**, Journal of Hydrologic Engineering, ASCE, 132(12), 1321-1329.
- [18]- Unal, B., Mamak, M., Seckin, G., and Cobaner, M., 2010, **Comparison of an ANN approach with 1-D and 2-D methods for estimating discharge capacity of straight compound channels**, Advances in Engineering Software, 41, 120-129.
- [19]- Kuok, K. K., Harun, S., and Shamsuddin, S. M., 2010, **Particle swarm optimization feedforward neural network for modeling runoff**, International Journal of Environment Science Technology, 7(1), 67-78.
- [۲۰]- قبادیان، ر. و مشایخی، ح.، ۱۳۸۷، شبیه سازی پارامترهای کیفی آب رودخانه قره سو در محل ایستگاه قرباغستان با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب، دانشگاه تبریز.



[۲۱]- سلطانی، س، سرداری، س، شیخ پور، م، موسوی، ص، ۱۳۸۹، شبکه‌های عصبی مصنوعی، تهران، انتشارات نص، چاپ اول.