

بررسی و مقایسه کارایی روشهای مختلف جهت بازسازی و تطویل داده های هیدرولوژی

محمدتقی دستورانی^۱، علیرضا مقدم نیا^۲ و علی طالبی^۱

۱- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

Email: mdastorani@yazduni.ac.ir

۲- استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

Evaluation and comparison of the efficiency of different methods for hydrological data reconstruction

M.T. Dastorani¹, A.R. Moghadamnia² and A. Talebi

¹ - Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Iran.

¹ - Assistant professor, Faculty of Natural Resources, Zabol University, Iran.

چکیده

در این تحقیق سعی شده است که مقادیر مربوط به نواقص آماری ایستگاهها با استفاده از مقادیر ایستگاههای دیگر موجود در منطقه مربوطه و به کمک روشهای مختلف سنتی و جدید برآورد و بازسازی گردد. روشهای سنتی بکار گرفته شده در این تحقیق عبارتند از روش نسبت نرمال و روش همبستگی بین ایستگاهها و روشهای جدید استفاده شد نیز در برگیرنده واریته هایی از هوش مصنوعی کامپیوتر شامل شبکه های عصبی مصنوعی و شبکه های فازی-عصبی میباشد.

بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق میتوان گفت که تکنیکهای جدید مبتنی بر هوش مصنوعی کامپیوتر در حقیقت کارایی بسیار مناسبی جهت پیش بینی داده های مفقود شده هیدرولوژی را دارند. در این رابطه نتایج مدل های تلفیقی فازی-عصبی بسیار نزدیک به مقادیر واقعی بوده و از درستی بالایی برخوردار است. صحت نتایج حاصل از شبکه های عصبی مصنوعی نیز بالاتر از نتایج بدست آمده از روش دیگر بوده است. نتایج این تحقیق میتواند کمک کند تا در بازسازی داده های هیدرولوژی با استفاده از روش مناسب خطای برآوردها را در حد قابل توجهی کاهش داده و داده های به مراتب صحیح تری را جهت طراحی و اجرای پروژه های مرتبط با آب در اختیار گرفت.

کلمات کلیدی: داده های هیدرولوژی، بازسازی داده، شبکه عصبی مصنوعی، شبکه های فازی-عصبی، نسبت نرمال، همبستگی

۱- مقدمه

داده های صحیح و طولانی مدت هیدرولوژی از لوازم اولیه در تحقیق، مطالعه و اجرای طرحهای مرتبط با آب است. انجام هر نوع برنامه ریزی که از اطمینان و دقت کافی برخوردار باشد نیاز به آمار و اطلاعات مطمئن مربوط به جریان اندازه گیری شده آب در بسترهای طبیعی و رودخانه ها می باشد، چرا که بدون این آمار و اطلاعات برآورد میزان آب قابل دسترس ممکن نبوده و هر نوع برنامه ریزی در زمینه منابع آبی کشور اعتماد و دقت کافی را نخواهد داشت. این آمار و اطلاعات معمولاً در قالب داده های هیدرولوژیکی طبقه بندی و پردازش می شود که البته اغلب دارای نواقصی نیز می باشد که نیاز به بازسازی دارد. روشهای بازسازی آمار هیدرولوژیکی که به صورت کلاسیک موجود است هیچگاه بدون خطا نمی باشد که البته روشی که خطای کمتری داشته باشد کارایی بیشتری برای این هدف دارد. در دهه های اخیر و خصوصاً چند سال اخیر تکنیک های کامپیوتری جدید و از جمله هوش مصنوعی کامپیوتر که در قالب وارته های متفاوت و از جمله شبکه های عصبی مصنوعی (ANN)^۱ و شبکه های فازی-عصبی (ANFIS)^۲ جهت حل مسائل مختلف مورد استفاده قرار گرفته و اساساً در اغلب زمینه های تحقیقاتی نیز نتایج بسیار مناسبی را به دنبال داشته است.

در این زمینه میتوان از کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در مدلسازی رابطه بارندگی - رواناب به تحقیقات انجام شده توسط هسو و همکاران [۱۹۹۸]، مینز و هال [۱۹۹۶]، داوسون و ویلی [۱۹۹۸] اشاره نمود. در این تحقیقات با معرفی اطلاعات اقلیمی و فیزیکی مربوط به حوزه های آبخیز همچون بارندگی، دما، تبخیر، وسعت و شیب به مدلهای شبکه عصبی مصنوعی حجم و دبی رواناب در محل خروجی پیش بینی شده که اغلب نتایج امیدوار کننده ای را نیز در بر داشته است. در تحقیق دیگری که دستورانی و رایت [۲۰۰۳] به انجام رساندند کاربرد شبکه های عصبی مصنوعی در پیش بینی جریان در حوزه های فاقد آمار مورد ارزیابی قرار گرفت و همچنین رایت و دستورانی [۲۰۰۱] کاربرد این تکنیک در شناسایی و طبقه بندی حوزه هایی که از نظر هیدرولوژیکی مشابه هستند را نیز مورد ارزیابی قرار دادند. در هر دو مورد فوق نتایج مناسبی از کاربرد این تکنیک ارائه گردید. همچنین در زمینه پیش بینی جریان رودخانه با مدلهای شبکه عصبی مصنوعی میتوان به تحقیقات کارونانیتی و دیگران [۱۹۹۴] اشاره کرد که در آن دو ساختار متفاوت از شبکه عصبی مصنوعی جهت پیش بینی وضعیت جریان رودخانه با استفاده از داده های بارش مورد ارزیابی قرار گرفت و در مقایسه با روشهای موجود نتایج بهتری را ارائه داد. دستورانی و رایت [۲۰۰۲] مدلهای مختلف شبکه عصبی مصنوعی را جهت پیش بینی بهنگام سیل مورد استفاده قرار دادند و اعلام نمودند که شبکه های دینامیک خصوصاً نوع برگشتی آن کارایی بسیار بالایی در این خصوص دارد. دستورانی و رایت [۲۰۰۴] همچنین شبکه های عصبی مصنوعی را بصورت ترکیب با مدلهای هیدرودینامیکی جهت برآورد خطای این مدلها بکار برده و پتانسیل بالای این نوع شبکه ها را در این کاربری متذکر شدند. همچنین در رابطه با کاربرد شبکه عصبی مصنوعی در تعیین رابطه دبی و اشل به تحقیقات انجام شده توسط باتاچاریا و سولوماتین [۲۰۰۰] می توان اشاره کرد که در آن نامبردگان با کالیبره کردن شبکه عصبی مصنوعی بوسیله داده های اشل-دبی مربوط به گذشته توانستند فقط با وارد کردن مقادیر اشل مقدار دبی مربوطه را با دقت کافی برآورد کنند. لوسیو و همکاران (۲۰۰۷) داده های ماهانه بارش در جنوب برزیل را بوسیله شبکه های عصبی مصنوعی بازسازی نموده و به توانایی بهتر این روش در مقایسه با روشهای دیگر اشاره نمودند.

در این تحقیق کارایی تکنیک شبکه های عصبی مصنوعی و نیز تکنیک شبکه های فازی-عصبی به منظور بازسازی داده های هیدرولوژیکی مورد ارزیابی قرار گرفته و البته نتایج حاصل با روشهای موجود مقایسه گردیده است.

1- Artificial Neural Networks

2- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

۲- مواد و روشها

- سری داده های آماری تحقیق

در انتخاب ایستگاههای مورد استفاده در این تحقیق سعی گردید نکاتی مد نظر قرار گیرد که عبارتند از: قابل اعتماد بودن نسبی آمار، عدم وجود سد مخزنی یا انحرافی در بالا دست ایستگاه که باعث مغشوش شدن آمار گردیده باشد، حتی الامکان انتخاب ایستگاهها از دو اقلیم متفاوت باشد، و حداقل بودن نواقص آماری ایستگاه. ایستگاههای انتخاب شده که در دو گروه مختلف قرار میگیرند در جدول ۱ به همراه مشخصات مربوطه نشان داده شده است. در این تحقیق برای هر یک از ایستگاههای هیدرومتری انتخاب شده داده های اندازه گیری شده مربوط به دیبهای متوسط ماهانه آماده سازی و استفاده گردید.

جدول ۱. ایستگاههای مورد استفاده در این تحقیق

گروه	رودخانه	ایستگاههای مورد استفاده	وسعت حوزه (km ²)	ارتفاع ایستگاه از سطح دریا (م)	ایستگاه مورد بازسازی
۱	(خراسان رضوی)	کوشک	۹۳	۹۸۰	کارده بالا
		جنگ	۹۵	۱۶۸۰	
		کارده بالا	۴۳۲	۹۸۰	
۲	(مازندران)	پاشا کلا	۱۵۲	۲۱۲	بابل
		قران طالار	۴۰۳	۱۵۰	
		بابل			

- نواقص آماری

یکی از کاربردهای علم آمار و احتمالات در هیدرولوژی آن است که بتوانیم برخی از خصوصیات آب و هوایی یا هیدرولوژیکی مناطقی را که دارای داده های آماری کم یا اصولاً فاقد داده اندازه گیری شده هستند را تخمین بزنیم. این بدان علت است که در بسیاری موارد نمی توان اجرای یک پروژه را فقط به دلیل آنکه در مورد آن داده های هیدرولوژیکی دراز مدت وجود ندارد به تعویق انداخت. از طرف دیگر نمی توان نقش داده ها را در هیدرولوژی نادیده گرفت. پس لازم است به روشهای مختلف داده های مورد نیاز را تخمین زد. روشهای تخمین داده های هیدرولوژیکی در مورد تکمیل سریهای آماری نیز به کار برده می شود. موارد زیادی مشاهده می شود که بنا به دلایلی آمار یک روز یا یک ماه و سال خاص مفقود شده یا اصلاً برداشت نشده است. گاهی اوقات تاریخ تأسیس ایستگاهها در یک منطقه با یکدیگر متفاوت می باشد و از طرف دیگر نقایص احتمالی دستگاهها و برداشت مازراً آمار غلط که توسط کارشناسان کنترل شده است واز مجموعه آمار حذف می شوند، ویا از بین رفتن ایستگاهها در اثر سوانح طبیعی مانند سیل، زلزله و یا انهدام آنها در اثر جنگ و ... باعث کمبود و نقص در سریهای آماری شده و لذا لازم است این داده ها قبل از آنکه مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرند بایستی تکمیل شوند. روشهایی که برای این منظور به کار می روند متعدد است که از مهمترین آنها میتوان به روش نسبت نرمال و روش همبستگی بین ایستگاهها اشاره کرد.

به لحاظ برخی مشکلات در جمع آوری داده ها که قبلاً ذکر شد و نیاز به بازسازی آنها، احتیاج به ابزاری است که قابلیت درک و یادگیری توابع حاکم بر داده را داشته باشد و بعلاوه بتواند در مقابل نوسانهای ناشی از عدم دقت در داده مقاومت نماید. با توجه به پیچیدگی و طبیعت نوسانی داده های هیدرولوژیکی چنین به نظر می رسد که با در نظر گرفتن ویژگیها و قابلیتهای منحصر به فرد واریته های هوش مصنوعی همچون شبکه های عصبی مصنوعی و شبکه های فازی-عصبی، این شبکه ها بتوانند به عنوان ابزاری مفید و کارآمد مورد استفاده قرار گیرند.

- شبکه عصبی مصنوعی

شبکه عصبی مصنوعی در واقع مدل ساده شده ای از مغز انسان می باشد. بدون شک مغز انسان پیشرفته ترین پردازشگری است که در طبیعت وجود دارد. عدم نیاز به الگوریتم و معادلات حاکم بر پدیده، امکان یادگیری از طریق ارائه مثال، قدرت تعمیم دهی بالا و ثبت اطلاعات در ساختاری کاملاً گسترده و به شکلی توزیع یافته از ویژگیهای منحصر به فرد آن است. شبکه عصبی مصنوعی در واقع یک ساختار ریاضی است که توانایی نشان دادن فرایندها و ترکیب دلخواه غیر خطی جهت ارتباط بین ورودیها و خروجیهای هر سیستم را دارا است. این شبکه با داده های موجود طی فرایند یادگیری آموزش دیده و جهت پیش بینی در آینده مورد استفاده قرار می گیرد. ساختمان این شبکه متشکل از نرونهای مصنوعی (همانند سلولهای عصبی جانداران) است که انتقال سیگنالها را که در اثر ورودیهای سیستم ایجاد شده انجام میدهد. این عمل همانند انتقال پیام در شبکه عصبی جانداران است که در اثر محرک خارجی ایجاد شده و با ترشح هورمونهای شیمیایی در محل اتصال سلولها به همدیگر (سیناپس) با شدت و ضعف مورد نیاز از سلولی به سلول دیگر منتقل میشود. این انتقال سیگنالها در نرونهای مصنوعی توسط مقادیر عددی که به آنها وزن اطلاق میشود انجام میگردد و در نهایت نحوه کارکرد آن نیز مطابق سیستم عصبی جانداران بر اساس یادگیری فرآیند از طریق یک الگو استوار است. در استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی بخش عمده داده ها صرف آموزش و مابقی صرف تست شبکه می گردند. در طی فرایند یادگیری میزان فراگیری شبکه توسط توابع هدف مرتباً سنجیده می شود و در نهایت وزنهایی مورد پذیرش قرار می گیرد که کمترین میزان خطا را دارا می باشد. در این تحقیق سه نوع مختلف شبکه عصبی مصنوعی که عبارتند از شبکه های پرسپترون چندلایه (Multi-layer perceptron)، شبکه های برگشتی (Recurrent) و شبکه های برگشتی با تاخیر زمانی (Time lag recurrent) مورد استفاده قرار گرفته اند. لازم به ذکر است که هر سه شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده در این تحقیق اساساً جزء شبکه های پیشخور (Feed forward networks) محسوب میشوند. این نوع شبکه ها معمولاً بوسیله الگوریتم انتشار به عقب (Backpropagation) آموزش داده میشوند.

- شبکه فازی - عصبی

رمز موفقیت منطق فازی در امکان توصیف رفتار سیستم مورد نظر با دستورات و روابط ساده شرطی "اگر- پس" است که در بیشتر کاربردها این امکان راه حلی ساده تر و صرف مدت زمانی کوتاهتر را برای طراحی سیستم میسر میسازد و به علاوه تمامی اطلاعات و دانش مهندسی مربوط به چگونگی عملکرد سیستم برای بهینه سازی کارایی آن بطور مستقیم قابل استفاده است. وقتی که مجموعه ای از داده ها شامل اطلاعاتی درباره چگونگی عملکرد سیستم تحت طراحی باشد آنگاه استفاده از یک شبکه عصبی میتواند نوید بخش ارائه راه حلی مناسب برای این منظور باشد زیرا شبکه های عصبی توانایی یادگیری از روی مجموعه داده ها را دارند اما کاربردهای عملی شبکه های عصبی دارای محدودیتهای ویژه ای است که برخی از آنها عبارتند از:

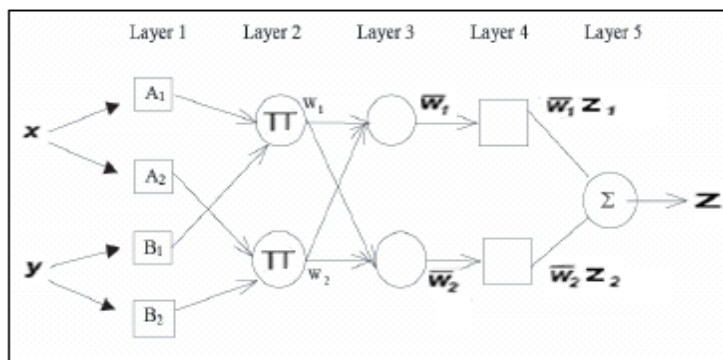
- راه‌حلهایی که توسط شبکه‌های عصبی بدست می‌آیند همانند یک جعبه سیاه بوده و امکان تفسیر و یا تصحیح و تغییر یک رفتار مشخص از شبکه عصبی بصورت دستی وجود ندارد.

- گاهی اوقات محاسبات حجیمی که برای انجام آن نیاز است عاملی بازدارنده برای تولید اغلب راه‌حلهای قابل قبول محسوب میشود.

- انتخاب شبکه‌ای مناسب و تنظیم پارامترهای مربوط به الگوریتم یادگیری هنوز یک دانش نامکشوف بوده و نیاز به تجربه زیاد دارد و هنوز راه‌حلی آسان و مشخص برای بهینه‌سازی شبکه عصبی ارائه نگردیده است.

مشکلات فوق‌بسادگی و تا حد زیادی با ترکیب نقاط قوت و ضعف شبکه‌های عصبی با منطق فازی قابل حل است، به این صورت که شبکه‌های عصبی قابلیت یادگیری از روی داده‌ها را دارند در صورتی که راه‌حلهای منطق فازی براحتی قابلیت‌های اصلاح و بهینه‌سازی را دارند. بدیهی است که یک ترکیب هوشمندانه از نقاط قوت و ضعف در تکنولوژی راه‌حلی مناسب و قدرتمندتر را ارائه میکند.

شبکه فازی-عصبی یک تکنیک جدید مبتنی بر داده است که توانایی شبیه‌سازی رفتار سیستم‌های دینامیک و پیچیده را دارا میباشد. هدف از کاربرد شبکه فازی-عصبی در حقیقت استفاده از تواناییهای هر دو تکنیک شبکه عصبی و منطق فازی در استخراج قواعد حاکم بر فرایند ورودی-خروجی (رسیدن از ورودی به خروجی) در یک سیستم است. ساختار یک شبکه ساده فازی-عصبی در شکل 1 آورده شده است.



شکل 1. ساختار یک شبکه ساده فازی-عصبی

همانگونه که از شکل پیداست این ساختار مبتنی بر 5 لایه بشرح زیر است:

- لایه 1 که هر عنصر محاسباتی یا گره در آن دارای یک تابع عضویت است که این تابع ممکن است یک تابع عضو تعمیم یافته زنگوله‌ای (رابطه 1) و یا تابع عضو گوسن (رابطه 2) و یا هر تابع دیگری باشد.

$$\mu_{A_i}(x) = \frac{1}{1 + \left| \frac{x - c_i}{a_i} \right|^{2b_i}} \quad (1)$$

$$\mu_{A_i}(x) = \exp \left[- \left(\frac{x - C_i}{a_i} \right)^2 \right] \quad (2)$$

که در این روابط a_i, b_i, C_i عبارتند از مجموعه پارامترهایی که شکل تابع عضویت را تغییر میدهند. X عبارتست از ورودی به عنصر A_i و عبارتست از مشخصه ای که با تابع همراه بوده و بیان کننده خصوصیات آن است.

- لایه ۲ که هر عنصر موجود در این لایه یک عنصر مشخص و معین بوده و در سیگنال ورودی ضرب میگردد و اغلب با Π نشان داده میشود و نشان دهنده قدرت عمل تهییج هر یک از قوانین بوده و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه میشود.

$$W_i = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(x) \quad (3)$$

$i=1,2$

لایه ۳ که هر عنصر موجود در این لایه یک عنصر معین بوده و با علامت N نشان داده میشود و در حقیقت نشان دهنده قدرت تهییج نرمال شده قوانین میباشد و بر اساس رابطه ۴ محاسبه میشود.

$$\overline{W_i} = \frac{W_i}{W_1 + W_2}$$

$i=1,2$

(۴)

- لایه ۴ که هر عنصر موجود در این لایه در حقیقت یک عنصر تطبیقی با تابع مشخص (رابطه ۵) میباشد که نشان دهنده میزان مشارکت قانون i ام در خروجی کل است.

$$W_i Z_i = W_i (p_i x + q_i y + r_i) \quad (5)$$

p_i, q_i, r_i پارامترهای تالی هستند.

- لایه ۵ که تنها عنصر موجود در این لایه یک عنصر ثابت با علامت Σ است که نشان دهنده خروجی کل است که جمع تمام سیگنالهای رسیده بوده و بر اساس رابطه ۶ محاسبه میشود.

$$Z = \sum_i W_i Z_i = \frac{\sum_i W_i Z_i}{\sum_i W_i} \quad (6)$$

چیزی که در رابطه با لایه های فوق بایستی در نظر گرفته شود اساسا سه نوع متفاوت از اجزاء است که بایستی بصورت زیر سازگار گردد:

۱- پارامترهای مقدم که عوامل غیر خطی بوده و در توابع عضو ورودی ظاهر میگردند.

۲- پارامترهای تالی که عوامل خطی بوده و در قوانین تالی ظاهر میگردند (وزنهای خروجی).

۳- ساختار قانون که جهت ایجاد تحلیل پذیری مناسب مورد نیاز بوده و لازم است که بهینه سازی گردد.

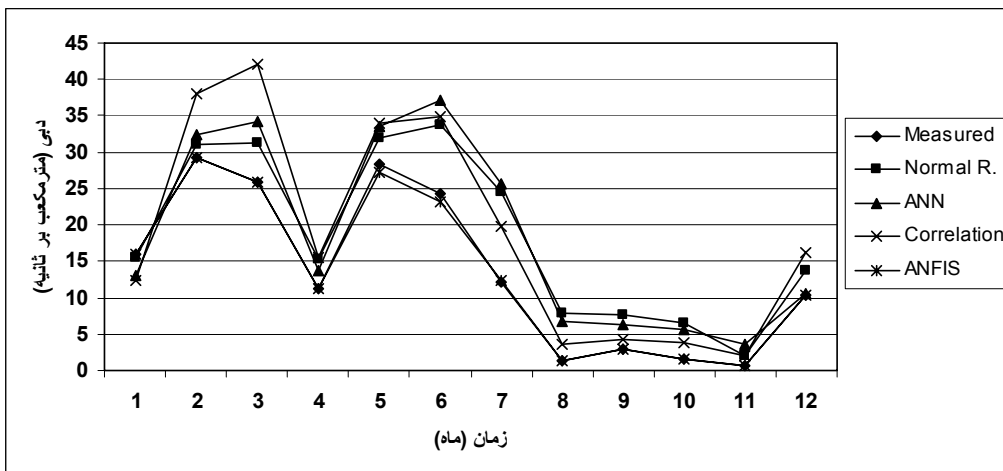
در این تحقیق توابع عضو گوسن برای متغیرهای ورودی استفاده شد و با توجه به اینکه الگوریتمهای متعددی جهت آموزش شبکه و اصلاح وزنها وجود دارد، در این تحقیق از الگوریتم لوبنبرگ مارکوات ممتنم که مبتنی بر قانون دلتای توسعه یافته است استفاده گردید.

- روشهای سنتی موجود

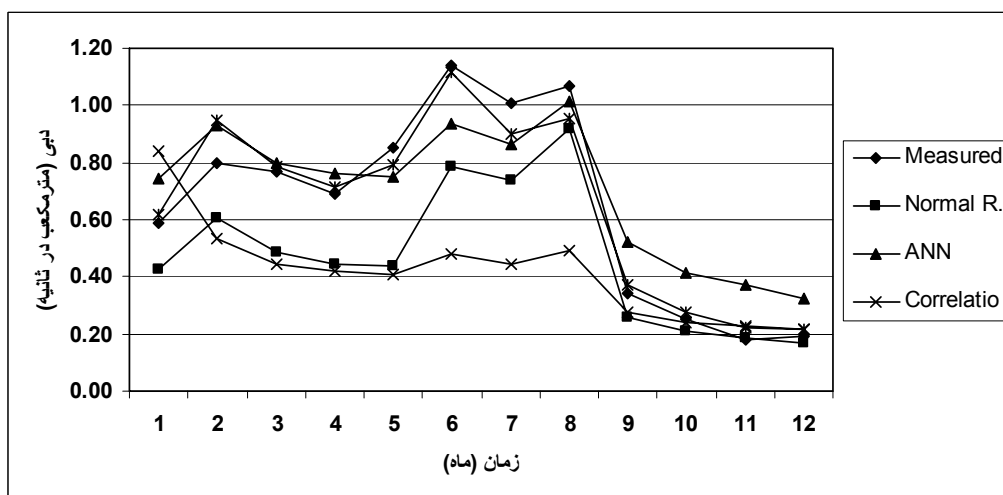
جهت امکان مقایسه نتایج روشهای مدرن مبتنی بر هوش مصنوعی کامپیوتر که در این تحقیق استفاده شده است، دو روش سنتی شامل روش نسبت نرمال و روش همبستگی بین ایستگاهها نیز که اغلب برای بازسازی داده های هیدرولوژی استفاده میشود بکار گرفته شد. این روشها در اغلب کتب هیدرولوژی آمده و لذا از تشریح آنها در اینجا خودداری میگردد و فقط نتایج حاصل از کاربرد آنها در این تحقیق در جداول و اشکال مربوطه درج گردیده است.

۳- نتایج و بحث

در این تحقیق دو گروه از ایستگاههای هیدرومتری که در دو نقطه مختلف ایران با وضعیت اقلیمی متفاوت مستقر گردیده استفاده شده است. واضح است که که جریان های هیدرولوژیکی بستگی زیادی به اقلیم منطقه از جمله بارندگی، درجه حرارت، باد، رطوبت و... دارد. در این میان شاید بارندگی و خصوصیات آن از جمله میزان، شدت، نوع و پراکنش آن تأثیر ویژه ای روی فعل و انفعالات هیدرولوژیکی داشته باشد. اقلیم های مرطوب و نیمه مرطوب اساساً جریان های پایدار دائمی را تشکیل می دهند که نوسانات فصلی و سالانه آن نسبت به رودخانه های مناطق خشک کمتر است و برعکس در مناطق خشک به علت تغییرات شدید پارامترهای بارش از جمله شدت و میزان آن فعل و انفعالات هیدرولوژیکی نیز با تغییرات شدید مواجه بوده و این مسئله کارایی اغلب مدل های مورد استفاده در پیش بینی جریان را کاهش می دهد. هر گروه از ایستگاههای انتخاب شده در این تحقیق به نوعی یکی از اقالیم کشور را نمایندگی می کند. طوری که ایستگاههای مستقر بر روی رودخانه بابلرود داده های هیدرولوژیکی یک حوزه مرطوب و نیمه مرطوب شمال را به مدل معرفی می نماید و در حالی که گروه ایستگاههای انتخاب شده از رودخانه کارده حکایت از یک اقلیم خشک و نیمه خشک را دارد. نتایج مربوط به کاربرد چهار روش مورد استفاده در این تحقیق در مورد ایستگاههای بابل و کارده بالا به ترتیب در اشکال ۲ و ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۲. هیدروگراف مقادیر برآورد شده توسط روشهای مختلف در مقایسه با مقادیر واقعی اندازه گیری شده در ایستگاه هیدرومتری بابل (رودخانه بابلرود).



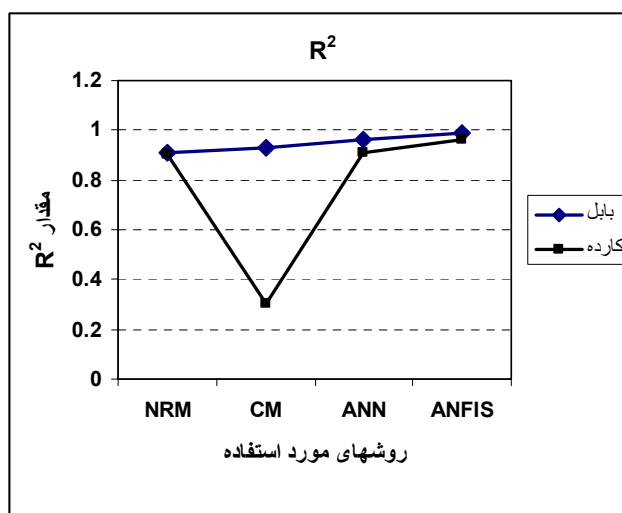
شکل ۳. هیدروگراف مقادیر برآورد شده توسط روشهای مختلف در مقایسه با مقادیر واقعی اندازه گیری شده در ایستگاه هیدرومتری کارده بالا (رودخانه کارده).

با یک مقایسه کلی اشکال ۲ و ۳ که به ترتیب مربوط به ایستگاههای مستقر بر روی رودخانه های بابلرود و کارده هستند این نکته روشن است که روشهای مورد استفاده جهت بازسازی داده ها در ایستگاههای مستقر بر روی رودخانه بابلرود که در حقیقت یک منطقه مرطوب و نیمه مرطوب را نمایندگی میکند کارایی بهتری از خود نشان داده اند. البته این مسئله قابل انتظار بود چرا که معمولا داده های هیدرولوژی در اقلیم مرطوب نسبت به اقلیم خشک از پراکندگی کمتر و نظم و همبستگی بهتری برخوردار بوده و به همین علت اغلب مدلها سازگاری بهتری با اینگونه داده ها داشته و طبیعتا قادر به ارائه پیش بینی های صحیح تری در این خصوص هستند. جهت بررسی دقیقتر نتایج روشهای مورد استفاده، اقدام به محاسبه مقادیر ضریب کارایی (R^2) و ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) برای مقادیر برآوردی روشهای مورد استفاده و مقادیر مشاهده ای مربوطه شد که در جدول ۲ مشاهده میشود.

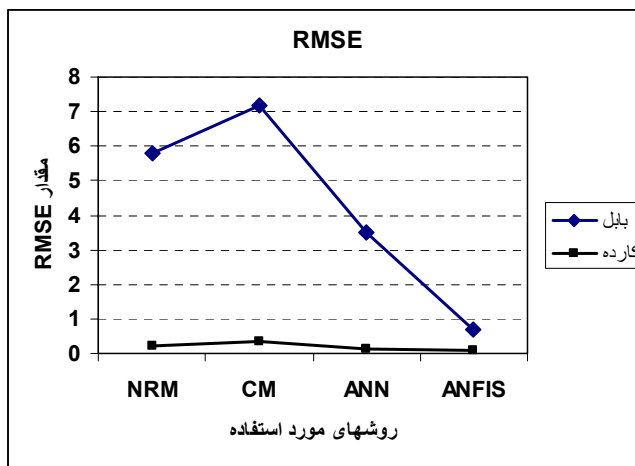
جدول ۲. مقادیر R^2 و (RMSE) مابین مقادیر برآوردشده توسط روشهای مختلف و مقادیر مشاهده ای مربوطه

RMSE	R^2	روش استفاده شده	ایستگاه
۵/۸۱	۰/۹۱	NRM (نسبت نرمال)	بابل
۷/۱۹	۰/۹۳	CM (همبستگی)	
۳/۴۹	۰/۹۶	ANN (شبکه عصبی)	
۰/۷۰	۰/۹۹	ANFIS (شبکه فازی-عصبی)	
۰/۲۲	۰/۹۰	NRM (نسبت نرمال)	کارده
۰/۳۶	۰/۳۰	CM (همبستگی)	
۰/۱۴	۰/۹۱	ANN (شبکه عصبی)	
۰/۰۷	۰/۹۶	ANFIS (شبکه فازی-عصبی)	

همانگونه که شکل ۲ و نیز جدول ۲ نشان میدهد در هر دو منطقه مورد بررسی بالاترین دقت را نتایج شبکه های ترکیبی فازی-عصبی دارد و پس از آن نتایج شبکه های عصبی مصنوعی در هر دو ایستگاه مورد بررسی از دقت بالاتری نسبت به دو روش دیگر (نسبت نرمال و همبستگی) برخوردار است. جهت فراهم شدن امکان مقایسه چشمی کارایی روشهای مورد استفاده و نیز روند تغییر صحت نتایج حاصل شده، مقادیر مربوط به R^2 و (RMSE) بصورت گرافیکی به ترتیب در اشکال ۳ و ۴ نمایش داده شده است.



شکل ۴. مقادیر R^2 مابین مقادیر برآوردشده توسط روشهای مختلف و مقادیر مشاهده ای مربوطه در دو ایستگاه مورد مطالعه



شکل ۵. مقادیر RMSE مابین مقادیر برآوردشده توسط روشهای مختلف و مقادیر مشاهده ای مربوطه در دو ایستگاه مورد مطالعه

لازم به ذکر است که روش نسبت نرمال در رابطه با داده های مورد استفاده در این تحقیق از کارایی بهتری نسبت به روش همبستگی برخوردار بوده است. این برتری خصوصا در مورد ایستگاه کارده که دارای اقلیم خشک و نیمه خشک است کاملا واضح و قابل توجه میباشد.

۴- نتیجه گیری نهایی

با توجه به نتایج این تحقیق میتوان گفت که جهت بازسازی داده های مفقود شده هیدرولوژی و نیز تطویل داده های کوتاه مدت نیابستی به روشهای سنتی بسنده شود. این مسئله در رابطه با ایستگاههای مستقر در مناطق خشک جدی تر است چرا که در این مناطق به علت تغییرات زیاد داده ها روشهای سنتی خصوصا روش همبستگی نمیتواند برآوردها را با دقت قابل قبول انجام دهد. این در حالی است که روشهای جدید مبتنی بر هوش مصنوعی همچون شبکه های عصبی مصنوعی و خصوصا شبکه های فازی-عصبی کارایی به مراتب بهتری را دارا میباشند. چنانچه نتایج این تحقیق را با نتایج لوسیو و همکاران (۲۰۰۷) که داده های ماهانه بارش در جنوب برزیل را بوسیله شبکه های عصبی مصنوعی بازسازی نمودند پردازیم بایستی ذکر گردد که هر دو تحقیق به توانایی تکنیکهای جدید در بازسازی داده های آماری اشاره نموده اند. البته بایستی اضافه گردد که لوسیو و همکاران (۲۰۰۷) مقدار R (بین نتایج بدست آمده و مقدار واقعی) را برای دو ساختار مختلف شبکه عصبی برابر ۰/۸۴ و ۰/۷۲ بدست آوردند در حالی که بر اساس جدول ۲ در تحقیق حاضر مقادیر R به مراتب بالاتر و در نتیجه صحت نتایج در مورد شبکه عصبی مصنوعی و خصوصا شبکه فازی-عصبی بیشتر است. در این خصوص البته بایستی یادآوری گردد که تحقیق حاضر در مورد داده های جریان بوده در حالی که تحقیق مورد مقایسه در مورد داده های بارش بوده است. بدیهی است جهت اظهار نظر جامع و کاملتر در خصوص کارایی روشهای مورد استفاده در این تحقیق و مقایسه با روشهای دیگر نیاز به تحقیقات بیشتر با استفاده از داده های مناطق دیگر کشور ضروری است.

۵- فهرست منابع

- 1- Bhattacharya B. and D. P. Solomatine, 2000, Application of artificial neural network in stage-discharge relationship, Proc. 4th International Conference on Hydroinformatics, Iowa city, USA,.
- ۲- Lucio, P.S., F.C. Conde, I.F.A. Cavalcanti, A.I. Serrano, A.M. Ramos and A.O. Cardoso, 2007, Spatiotemporal monthly rainfall reconstruction via artificial neural network – case study: South Brazil, Journal of Advances in geosciences, 10, 6776.
- ۳- Dastorani Mohammad T. & Nigel G. Wright, 2003, Flow estimation for ungauged catchments using a neural network method, 6th international river engineering conference, Ahwaz, Iran.
- ۴- Dastorani Mohammad T. & Nigel G. Wright, 2002, Artificial neural network based real-time river flow prediction, Proceedings of the Fifth international conference of Hydrodynamics, July 1-5 Cardiff, UK.
- ۵- Dastorani Mohammad T. & Nigel G. Wright, 2004, A Hydrodynamic/Neural Network Approach for Enhanced River Flow Prediction, International journal of civil engineering, Vol. 2, No. 3.
- ۶- Dawson C. W., R. Wilby, 1998, An artificial neural network approach to rainfall-runoff modelling, J. of Hydrological Sciences, 43 (1).
- ۷- Hsu K., H. V. Gupta, and S. Sorooshian, 1995, Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process, J. of Water resources reseach, Vol. 31, No. 10, pp. 2517-2530.
- ۸- Karunanithi N., W. J. Grenney, D. Whitley, and K. Bovee, 1994, Neural networks for flow prediction, J. Computing in Civil Engineering,
- ۹- Minns A. W. and M. J. Hall, 1996, Artificial neural networks as rainfall-runoff models, J. of Hydrological Sciences, 41 (3).
- 10- Wright N. G. and M. T. Dastorani, 2001, Effects of river basin classification on Artificial Neural Networks based ungauged catchment flood prediction, in the Proceedings of the International Symposium on Environmental Hydraulics, December 5-8, 2001, Phoenix, USA