Arch

گزارش کوتاه علمی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و پنجم، شماره دوم، ۱۳۹۷
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12584.2728

ارزیابی دقت مدل‌های هم‌زمان سری زمانی و شبکه عصبی در مدل‌سازی بارش– رواناب (مطالعه موردی: حوضه آبریز نازلوچای)

*محمدجواد زینلی[۱] و عباس خاشعی‌سیوکی[۲]

[۱]دانشجوی دکتری منابع آب گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند، [۲]دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۲۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۱۶

چکیده

سابقه و هدف: مدل‌سازی بارش– رواناب یک فرآیند ضروری و پیچیده می‌باشد که در بهره‌برداری مناسب از مخازن و مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح منابع آب نقش عمده‌ای دارد. مدل‌سازی این فرآیند با استفاده از روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است. از نظر تئوری، در مدل‌سازی یک سیستم باید روابط صریح بین متغیرهای ورودی و خروجی معلوم باشند. در حالی‌که به‌علت معلوم نبودن روابط صریح بین متغیرها و عدم قطعیت‌های ذاتی آن‌ها، استخراج چنین مدلی بسیار مشکل می‌باشد. برای مدل‌سازی بارش– رواناب تاکنون کارایی مدل‌هایی مانند شبکه عصبی، مدل‌های چندمتغیره خود همبسته با میانگین متحرک مورد بررسی قرار گرفته است. بنابراین در این پژوهش میزان دقت مدل‌های CARMA و ANN در مدل‌سازی بارش– رواناب مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه، مدل‌های چندمتغیره خود همبسته با میانگین متحرک هم‌زمان (CARMA) و شبکه عصبی مصنوعی جهت مدل‌سازی بارش– رواناب مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای مدل ANN سه سناریو در نظر گرفته شد. جهت استفاده از مدل‌های فوق، از سری زمانی مجموع بارش و رواناب ماهانه در دوره آماری (۱۳۹٤–۱۳۵۳) مربوط به حوضه آبریز نازلوچای واقع در ´٤۹ °٤٤ طول جغرافیایی و ´٤۰ °۳۷ عرض جغرافیایی واقع در استان آذربایجان‌غربی استفاده شد. در ابتدا، داده‌ها از نظر تصادفی بودن، روند و همگنی، به‌ترتیب با استفاده از آزمون‌های ران– تست، من– کندال و ویلکاکسون مورد بررسی قرار گرفتند و پس از آن داده‌ها به دو گروه تقسیم شدند. ۸۰ درصد داده‌ها به آموزش مدل و ۲۰ درصد از داده‌ها به آزمون مدل اختصاص داده شد. معیارهای عملکرد به‌کار برده شده نیز معیارهای ریشه میانگین مربعات خطا، نش– ساتکلیف و ضریب همبستگی بوده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مدل چندمتغیره خود همبسته با میانگین متحرک هم‌زمان دقت به‌مراتب مناسب‌تری نسبت به مدل شبکه عصبی مصنوعی داشته است به‌طوری‌که معیار ریشه میانگین مربعات خطا در مدل CARMA برابر با ۷/۷ و در مدل ANN برابر با ۹/۵۰ مترمکعب بر ثانیه بود. همچنین معیارهای نش– ساتکلیف و R^2 در مدل CARMA به‌ترتیب برابر با ۰/٤۱ و ۰/٥٤ در حالی‌که مقادیر این معیارها در مدل ANN برابر با ۰/٤٥ و ۰/۸۰ بوده است. بنابراین مدل CARMA برای مدل‌سازی بارش– رواناب از دقت بیش‌تری نسبت به مدل ANN برخوردار بوده است.

* مسئول مکاتبه: mj.zeynali1@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج حاصله، استفاده از مدل‌های چندمتغیره خانواده ARMA سبب کاهش میزان خطای مدل به‌میزان ۱۸ درصد نسبت به مدل ANN شده است بنابراین مدل CARMA نسبت به مدل ANN از عملکرد مناسب‌تری برخوردار بوده است و این موضوع اهمیت در نظر گرفتن جزء تصادفی در مدل‌سازی را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: سری زمانی، شبکه عصبی، مدل بارش- رواناب، مدل‌های چندمتغیره

مقدمه

مدل‌سازی بارش- رواناب یکی از مهم‌ترین اجزای فرآیندهای هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب می‌باشد. در خصوص مدل‌سازی بارش- رواناب و کاربرد مدل‌های ARMA، CARMA و ANN در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب پژوهش‌های بسیاری صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌گردد. خلیلی و ناظری‌تهرودی (۲۰۱٦) در پژوهشی با استفاده از مدل‌های ARMA و CARMA به مدل‌سازی بارش سالانه ایستگاه سینوپتیک ارومیه پرداخته و نتایج این پژوهش نشان داد که مدل CARMA نسبت به مدل ARMA، به‌دلیل ضریب همبستگی بالاتر معادل ۰/۹٦۰ و معیار جذر میانگین مربعات خطای کم‌تر، معادل ۲۱/٦۱۱ بین داده‌های مدل و مقادیر مشاهداتی، نتایج بهتری به‌دست آمد (۲). فیرات (۲۰۰۸) به مقایسه کارایی مدل‌های ANFIS، ANN و AR در مدل‌سازی دبی روزانه در دو رودخانه سیحان[1] و ساین[2] در ترکیه پرداختند و نتایج این پژوهش بیانگر برتری ANFIS نسبت به ANN و AR بود (۱). زو و همکاران (۲۰۱۰) دو مدل آریما و شبکه عصبی مصنوعی را برای پیش‌بینی ظرفیت آب و نمک خاک مورد مقایسه قرار داد و نشان داد که مدل آریما از دقت بالاتری برخوردار است (۸). نواز و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از مدل ANFIS و مدل خود همبسته با ورودی بیرونی[3] (ARX) به مدل‌سازی سطح رودخانه بیکوک[4] در حوضه‌ای گرمسیری در مالزی پرداخته و نتایج این پژوهش نشان داد مدل ANFIS در برآورد سطح رودخانه در نقاط اوج نسبت به مدل ARX برتری دارد (۵). هدف از این مطالعه ارزیابی و مقایسه دقت این دو مدل در مدل‌سازی بارش- رواناب می‌باشد.

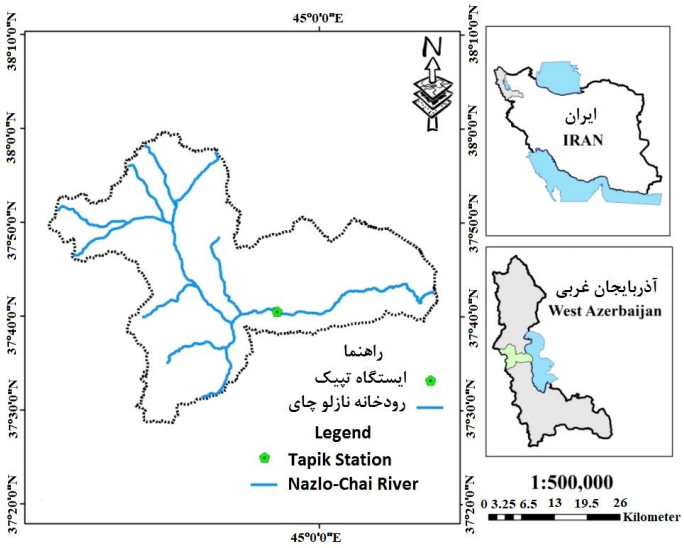
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: منطقه مورد بررسی در این مطالعه حوضه آبریز نازلوچای در استان آذربایجان‌غربی می‌باشد که در شکل ۱ نشان داده شده است. حوضه آبریز نازلوچای با مساحتی برابر با ۱۸۸۱/٦۲ کیلومترمربع و محیطی برابر با ۲۹٦/٤٦ کیلومتر در طول جغرافیایی ″۱ ′٤۹ °٤٤ و عرض جغرافیایی ″۱ ′٤۰ °۳۷ واقع شده است (٦). در جدول ۱ نیز پارامترهای آماری سری زمانی داده‌ها مورد استفاده مربوط به ایستگاه تپیک که از سال ۱۳۵۳ تا سال ۱۳۹٤ می‌باشد آورده شده است.

1- Seyhan river
2- Cine river
3- Autoregressive with exogenous input (ARX)
4- Bekok river

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه هیدرومتری منتخب.

Figure 1. Location of the study area and Selected gauging stations.

جدول ۱- مشخصات آماری سری‌های زمانی مورد مطالعه.

Table 1. Statistical Specifications of time series study.

رواناب (مترمکعب بر ثانیه) Run-off (m^3/s)	بارش (میلی‌متر) Precipitation (mm)	پارامتر Parameter
2.63	1.4	چولگی Skewness
15.58	24.61	انحراف معیار Standard deviation
11.66	27.32	میانگین Average
0.01	0	کمینه Minimum
102	148.65	بیشینه Maximum

مدل‌های چندمتغیره هم‌زمان ARMA[1]: مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی چندمتغیره بر اساس مدل کامل چندمتغیره ARMA، اغلب مشکلات در برآورد پارامترهای آن به‌وجود می‌آید (۷). در مدل CARMA(p,q) ماتریس پارامترهای هر دو مدل خود همبسته و میانگین متحرک به‌صورت قطری فرض می‌شود به‌طوری‌که یک مدل چندمتغیره را می‌توان مستقل از مدل تک‌متغیره ARMA دانست. بنابراین، به‌جای برآورد پارامترهای مدل به‌طور مشترک، می‌توان آن‌ها را به‌طور مستقل برای هر

1- Contemporaneous Autoregressive Moving Average

www.SID.ir

Archive of SID

ایستگاه تک‌متغیره ARMA برآورد کرد. که این کار باعث شناسایی بهترین مدل ARMA تک‌متغیره می‌شود. بنابراین، اگر یک مدل کامل چندمتغیره ARMA مورد استفاده قرار گیرد، ساختار وابستگی متفاوت در زمان را می‌توان به‌جای آن‌که برای هر ایستگاه مدل کرد، یک ساختار وابسته مشابه در زمان برای تمام ایستگاه‌ها در نظر گرفت. جهت آشنایی با آماره مدل CARMA و روش تخمین پارامترهای آن به منبع ۵ مراجعه نمایید.

شبکه پرسپترون چندلایه: در شبکه عصبی پرسپترون چندلایه با الگوریتم پس‌انتشار خطا به‌صورت پیش‌فرض در لایه پنهان از تابع محرکه تانژانت سیگموئید (tansig) و در لایه خروجی از تابع محرکه خطی (purelin) استفاده می‌نماید و تابع یادگیری وزن‌ها تابع (learngdm) می‌باشد. در این شبکه‌ها اطلاعات ورودی توسط نرون‌های ورودی دریافت شده، سپس به نرون‌های لایه پنهان فرستاده می‌شود و پردازش مورد نظر روی آن‌ها انجام می‌گیرد و نتیجه به نرون‌های لایه خروجی فرستاده شده تا به‌عنوان خروجی شبکه نمایش داده شوند.

در این پژوهش شاخص‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها، ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) و معیارهای نش- ساتکلیف (NS) و همبستگی (R^2) می‌باشد که روابط آن‌ها در مقالات مختلف قابل دسترسی است (٤).

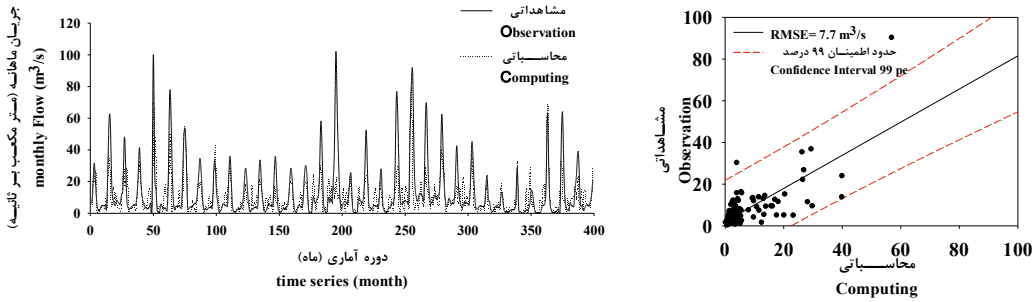
نتایج و بحث

نتایج مدل‌سازی CARMA: در مدل‌سازی با استفاده از مدل‌های غیرخطی مانند مدل CARMA، باید داده‌ها قبل از مدل‌سازی از نظر تصادفی بودن، روند و همگنی مورد بررسی قرار گیرند. بنابراین در این پژوهش پیش پردازش اولیه بر روی داده‌ها انجام پذیرفت. در ابتدا داده‌های بارش و دبی به‌ترتیب چولگی ۱/٤ و ۲/٦۲۹ داشته و نرمال نبوده و برای نرمال کردن آن‌ها از تبدیل باکس- کاکس استفاده نموده که مقدار λ به‌ترتیب برابر ۰/٤٤ و ۰/۰۸ بوده و در نهایت مقدار چولگی برای بارش و دبی به‌ترتیب برابر ۰/۰۰۰۲٦ و ۰/۰۰۰۳۰ به‌دست آمد. همچنین داده‌های از نظر تصادفی بودن، روند و همگنی مورد آزمون قرار گرفته که مقدار آماره u (آماره آزمون ران‌تست) در آزمون تصادفی بودن برابر با ۱/۷۸، مقدار آماره k (آماره آزمون من- کندال) در آزمون روند برابر با ۲/۲٦ و مقدار آماره w (آماره آزمون ویلکاکسون) در آزمون همگنی برابر با ۰/٤۱٦ می‌باشد. جهت اطلاع بیش‌تر در مورد آزمون‌های ذکر شده به منبع ۲ مراجعه شود.

بعد از تأیید بررسی اولیه داده‌های مورد استفاده، مدل‌سازی رواناب با استفاده از مدل CARMA صورت گرفته و نتایج مدل با توجه به معیارهای عملکرد نشان از کارایی مناسب این مدل داشت به‌طوری‌که مقدار معیار RMSE، NS و R^2 به‌ترتیب برابر با ۷/۷، ۰/٤۰۷٤ و ۰/٥٤ می‌باشد. همچنین بررسی و واسنجی مدل CARMA نشان داد که از میان ۱۰۰ داده‌ای که برای تست مدل مورد استفاده قرار گرفته جز دو مورد، تمامی داده‌های تست شده در محدوده اطمینان ۹۹ درصد قرار دارد و از این‌رو دقت مدل نیز مورد تأیید می‌باشد (شکل ۲).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نتایج مدل‌سازی دبی ماهانه **تست مدل CARMA (سمت راست) و آموزش (سمت چپ).**

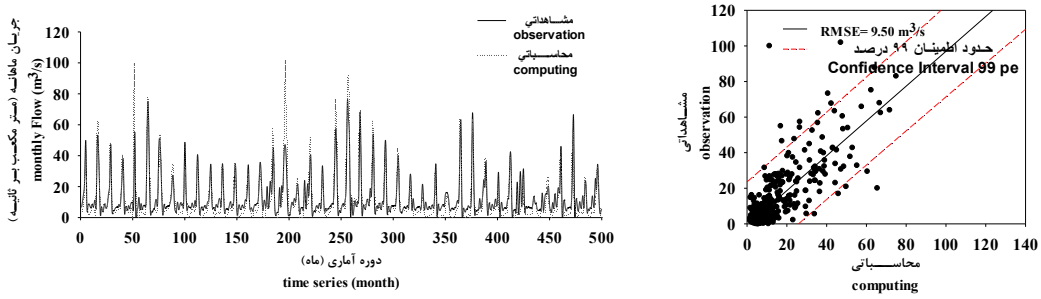
Figure 2. The results of test of monthly modeling for CARMA model (right) and train (left).

نتایج مربوط به مدل‌های شبکه عصبی: شبکه عصبی با یک لایه پنهان (ANN1)، دو لایه پنهان (ANN2) و سه لایه پنهان (ANN3) ساختاربندی شده و در نرم‌افزار متلب برنامه‌نویسی و مورد بررسی قرار گرفته که نتایج این سه مدل شبکه عصبی در جدول ۲ آورده شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌گردد هیچ‌یک از مدل‌های شبکه عصبی عملکرد مناسبی از خود نشان نداده است به‌طوری‌که معیار نش- ساتکلیف در همه مدل‌ها منفی شده است از طرفی هرچه بر تعداد لایه‌ها افزوده می‌شود مقادیر معیارهای عملکرد بیانگر بدتر شدن کارایی مدل است. همچنین در شکل ۳ مدل شبکه عصبی با یک لایه پنهان (ANN1) نشان داده شده است. یکی از عوامل عملکرد ضعیف شبکه عصبی همبستگی پایین بین داده‌های ورودی و هدف می‌باشد. در داده‌های مورد استفاده در این پژوهش بین رواناب و رواناب ماه قبل همبستگی به‌میزان ۰/٦٦ و بین بارش و رواناب همبستگی به‌میزان ۰/۵۵ می‌باشد.

جدول ۲- نتایج حاصل از مدل‌های ANN1، ANN2 و ANN3.

Table 2. The results of ANN1, AN2 and ANN3 models.

معیارهای عملکرد Performance criteria			تعداد لایه پنهان Number of Hidden Layer	مدل model
R^2	NS	RMSE		
0.04	-1.49	19.89	1	ANN1
0.80	0.45	9.5	2	ANN2
0.81	0.51	9.52	3	ANN3



شکل ۳- نتایج مدل‌سازی دبی ماهانه **تست مدل ANN1 (سمت راست) و آموزش (سمت چپ).**

Figure 3. The results of test of monthly modeling for ANN1 model (right) and train (left).

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری کلی

مقایسه نتایج مدل‌سازی با استفاده از مدل CARMA و ANN نشان می‌دهد که مدل CARMA کارایی به‌مراتب بالاتری نبست به مدل ANN در مدل‌سازی بارش- رواناب دارد. پژوهش‌های دیگر پژوهشگران نیز بر کارایی بالای مدل‌های خود همبسته بر شبکه عصبی صحه می‌گذارد. معینی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهشی با استفاده از مدل ARIMA و سامانه استنتاج فازی- عصبی انطباقی به مدل‌سازی دبی ماهانه پرداخته و نتایج این پژوهش نشان از کارایی بالای مدل ARIMA نسبت به ANFIS بوده است. ایشان در مقاله خود بیان داشتند که «بر خلاف تصور که مدل‌های مبتنی بر هوش محاسباتی را دارای برتری قاطع نسبت به مدل‌های پایه می‌دانند، در این پژوهش هر دو مدل دارای نتایج تقریباً مشابهی بودند. حتی مدل ARIMA در مدل‌سازی دبی‌های با مقادیر کم و در مدل‌سازی به‌گونه‌ای که استفاده از نتایج آن در کوتاه‌مدت و بلندمدت دارای دقت بیش‌تری باشد، عملکرد بسیار بهتری نسبت به ANFIS داشته است» (۳).

به‌طور خلاصه، نتایج حاصل بر اساس معیارهای عملکرد نشان داد که کارایی مدل‌ها CARMA به‌مراتب بیش‌تر از مدل ANN می‌باشد. به‌طوری‌که معیار RMSE در مدل CARMA برابر ۷/۷ و در مدل ANN1 که مناسب‌ترین مدل در بین مدل‌های شبکه عصبی بوده است برابر با ۹/۵۰ بوده است. بنابراین مدل CARMA در مقایسه با مدل ANN توانسته است دقت مدل‌سازی را تا ۱۸ درصد بالا برده و کارایی مدل را افزایش دهد.

منابع

1.Firat, M. 2008. Comparison of artificial intelligence techniques for river flow forecasting. Hydrology and Earth System Sciences Discussions. 12: 1. 123-39.

2.Khalili, K., and Nazeri Tahroudi, M. 2016. Performance evaluation of ARMA and CARMA models in modeling annual precipitation of Urmia synoptic station. J. Water Soil Sci. 26: 2-1. 13-28. (In Persian)

3.Moeeni, H., Bonakdari, H., Fatemi, S.E., and Ebtehaj, E. 2016. Modeling the monthly inflow to Jamishan dam reservoir using autoregressive integrated moving average and adaptive neuro-fuzzy inference system models. J. Water Soil Sci. 26: 2-1. 273-285. (In Persian)

4.Mohammadrezapour, O., and Zeynali, M.J. 2014. Comparison of ant colony, elite ant system and maximum – minimum ant system algorithms for optimizing coefficients of sediment rating curve (Case study: Sistan river). J. Appl. Hydrol. 1: 2. 55-66.

5.Nawaz, N., Harun, S., and Talei, A. 2015. Application of adaptive network-based fuzzy inference system (ANFIS) for river stage prediction in a tropical catchment. Applied mechanics and materials. Trans Tech Publisher, Switzerland. 735: 195-199.

6.Nazeri Tahroudi, M., Ahmadi, F., and Nazeri Tahroudim, Z. 2013. SAMS2007 software application in modeling the future climate to predict, temperature and rainfall of Kurdistan province (Case study: synoptic station in Sanandaj). 1th Semi-Arid Hydrology National Conference in Kurdistan Province. August 25. Sanandaj. (In Persian)

7.Salas, J.D. 1980. Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources Publication.

8.Zou, P., Jingsong, Y., Jianrong, F., Guangming, L., and Dongshun, L. 2010. Artificial neural network and time series models for predicting soil salt and water content. J. Agric. Water Manage. 97: 2009-2019.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 25(2), 2018
http://jwsc.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwsc.2018.12584.2728

Short Technical Report

Assessing the Accuracy of Contemporaneous Time Series and Neural Network Models in Modeling Rainfall-Runoff (Case study: Nazloochaei Catchment)

***M.J. Zeynali[1] and A. Khashei Siyooki[2]**
[1]Ph.D. Student, Dept. of Water Science and Engineering, University of Birjand,
[2]Associate Prof., Dept., of Water Science and Engineering, University of Birjand
Received: 01.18.2017; Accepted: 03.07.2018

Abstract

Background and Objectives: Rainfall-runoff modeling is an essential process and very complicated phenomena that is necessary for proper reservoir system operation and successful water resources planning and management. There are different methods like conceptual and numerical methods for modeling of this process. Theoretically, a system modeling required explicit mathematical relationships between inputs and outputs variables. Developing such explicit model is very difficult because of unknown relationship between variables and substantial uncertainty of variables. So far performance models such as neural networks, multivariate models with auto moving average is studied for modeling the rainfall-runoff. So, in this study CARMA and ANN models studied in rainfall-runoff modeling.

Materials and Methods: In this research, the multivariate contemporaneous autoregressive moving average (CARMA) models and artificial neural networks (ANN) were evaluated to rainfall-runoff modeling. We define 3 scenario for ANN model. In order to use CARMA and ANN models total annual precipitation and runoff time series in the period of 1975-2015 as for Nazloochaei the catchment area, in 44° 49' in latitude and 37° 40' longitude in the province of West Azerbaijan was used. At first, we checked the data in terms of randomness, trend and Homogeneity by run test, Mann-Kendall test and Wilcoxon test. And then we separated data in two group. One group including 80 presents of data for training and 20 percent of data for validation was assigned. Performance criteria that used, was root mean square error, Nash-Sutcliffe and correlation coefficient.

Results: The results indicated that the multivariate contemporaneous autoregressive moving average model had the efficiency accuracy more than artificial neural networks model, because root mean square error in CARMA model was equal 7.7 and that was in ANN model 9.50 m^3/s. Also, CARMA model according to the Nash-Sutcliffe criteria and R2 equal to 0.41 and 0.54 had better performance than the ANN model. However, the value of these performance criteria in ANN model was equal 0.45 and 0.80. So CARMA model has more Accuracy than ANN model in rainfall-runoff modeling.

Conclusion: According to the obtained results, using multivariate ARMA models caused to decrease in model error up to 18 percentages. So CARMA model had suitable performance in compare with ANN model, and this subject show the importance of to consider Random component in modeling.

Keywords: Artificial neural networks, Multivariate models, Rainfall-runoff modeling, Time series

* Corresponding Author; Email: mj.zeynali1@gmail.com

www.SID.ir

www.SID.ir