



Technical Note

Evaluating the Performance of some Statistical and Soft Computing Models to Predict River Flow

H. Moeeni¹, H. Bonakdari^{2*} and S. Abdolahi³

Abstract

Regarding the decrease in water resources especially in Iran, the river flow forecasting has gained a high importance and it is necessary to use the best methods for such forecasts. In this study the performance of some linear and nonlinear models was investigated for predicting the monthly flow of Jamishan River in Kermanshah province. The models include autoregressive integrated moving average (ARIMA), artificial neural networks (ANN) and adaptive neuro-fuzzy inference system (ANFIS). In using ARIMA model considering five parameters of any kind, all possible models were evaluated. For ANFIS and ANN models with determination of 14 different input combinations, the best models were identified. The capability of obtained models in long-term flow prediction was also assessed. The results revealed that ANFIS model is more capable in identifying the effective time delays in flow compared to ANN. This model is also more accurate than other models in peak values prediction. ARIMA model on the other hand has high capability in prediction of low values. Study indicated that all three models can be used for long-term predictions.

Keywords: Monthly inflow, Prediction, Modeling, ARIMA, ANFIS

Received: February 23, 2016

Accepted: April 28, 2016

یادداشت فنی

ارزیابی عملکرد برخی مدل‌های آماری و محاسبات نرم در پیش‌بینی جریان رودخانه

حمید معینی^۱، حسین بنکداری^{۲*} و صاحبه عبدالهی^۳

چکیده

با توجه به کاهش منابع آب به‌خصوص در کشور ایران، پیش‌بینی جریان رودخانه اهمیت زیادی یافته و لازم است از بهترین روش‌ها استفاده گردد. در این پژوهش عملکرد برخی مدل‌های خطی و غیرخطی در پیش‌بینی جریان ماهانه رودخانه‌ی جامیشان واقع در استان کرمانشاه بررسی گردید. این مدل‌ها شامل مدل‌های خودهمبسته با میانگین متحرک تجمعی (ARIMA)، شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سامانه‌ی استنتاج فازی مبتنی بر شبکه‌ی تطبیقی (ANFIS) می‌باشند. در استفاده از مدل ARIMA با در نظر گرفتن پنج پارامتر از هر نوع، تمامی مدل‌های ممکن بررسی گردید. برای مدل‌های ANN و ANFIS نیز با تعیین ۱۴ نوع ترکیب ورودی مختلف بهترین مدل‌ها شناسایی شد. قابلیت مدل‌های به‌دست‌آمده در پیش‌بینی جریان در درازمدت نیز سنجیده شد. نتایج بیانگر آن بود که مدل ANFIS توانایی بیشتری در شناسایی تأخیرهای زمانی مؤثر بر جریان نسبت به مدل ANN دارد. این مدل همچنین از دقت بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها به‌خصوص در پیش‌بینی مقادیر حدی برخوردار است. اما مدل ARIMA قابلیت بسیار بالایی در پیش‌بینی دبی‌های با مقادیر کم دارد. بررسی‌ها بیانگر آن بود که از هر سه مدل می‌توان در درازمدت استفاده کرد.

کلمات کلیدی: دبی ماهانه، پیش‌بینی، مدل‌سازی، ANFIS، ARIMA

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۲/۹

1- MSc Student, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Professor, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

3- Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۲- استاد گروه مهندسی عمران دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران آب، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

جامیشان در استان کرمانشاه استفاده گردید. مرجع اندازه‌گیری ایستگاه هیدرومتری پیرسلیمان می‌باشد. ۲۱ سال اول این داده‌ها به‌منظور مدل‌سازی و ۹ سال انتهایی آن برای پیش‌بینی در نظر گرفته‌شد. جدول ۱ خصوصیات آماری این داده‌ها را نشان می‌دهد. شباهت خصوصیات آماری داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی بیان‌گر انتخاب مناسب این دو دوره است.

کفایت طول سری برای مدل‌سازی با استفاده از ضریب هرست (Turcotte, 1997) به صورت زیر بررسی شد که اگر مقدار این ضریب بزرگتر از ۰/۵ باشد بیانگر کافی بودن طول داده‌ها است:

$$H = \text{Log}\left(\frac{S_{max} - S_{min}}{S_d}\right) / \text{Log}\left(\frac{N}{2}\right)$$

که در آن H ضریب هرست، S_{max} و S_{min} به ترتیب حداکثر و حداقل اختلاف تجمعی از میانگین دبی‌ها می‌باشد.

به‌منظور مدل‌سازی دبی ماهانه با مدل ARIMA ابتدا به کمک تبدیل باکس-کاکس سری نرمال گردید. سپس با استفاده از سه آزمون جارکو-برا (Jarque and Bera 1980)، شاپیرو ویلک (Shapiro and Wilk, 1965) و مربع کای دورنیک نرمال شدن داده‌ها تأیید شد. با رسم همبستگی‌نگار سری نیز معلوم شد که با یکبار تفاضل‌گیری فصلی با گام ۱۲ سری ایستا خواهد شد. سپس با در نظر گرفتن حداکثر پنج پارامتر از هر نوع، ۱۲۹۶ مدل ARIMA به دست آمد. از این بین مدلی که دارای باقیمانده‌های مستقل و پارامترهای معنی‌دار باشد معتبر خواهد بود (Salas et al., 1980). برای مستقل بودن باقیمانده‌ها دو آزمون باکس-پیرس (McLeod, 1978) و دوره‌نگار تجمعی به کار برده شد. آزمون معنی‌داری تی-استیودنت نیز جهت بررسی مشارکت مؤثر پارامترهای مدل‌ها به کار برده شد. در نهایت بهترین مدل از بین مدل‌های معتبر، براساس معیارهای بررسی اصل امساک شامل حداقل مربعات خطا (MS)، اطلاعات آکائیکه (AIC)، اطلاعات آکائیکه اصلاح‌شده (AICc) و اطلاعات بیزی (BIC) انتخاب گردید.

در مدل ANN از یک ساختار پرسپترون دولایه شامل توابع انتقال سیگموئید و خطی به ترتیب برای عصب‌های لایه‌ی مخفی و خروجی استفاده شد. تعداد عصب‌های لایه‌ی مخفی بین ۱ تا ۳۰ در نظر گرفته شد. برای واسنجی شبکه نیز از الگوریتم لوبنبرگ-مارکواردت (LM) استفاده گردید (Levenberg, 1944). در مدل

پیش‌بینی دقیق دبی جریان در مدیریت منابع آب، طراحی سازه‌های آبی و مدیریت سیلاب بسیار ضروری است. پس باید مناسب‌ترین روش‌ها برای پیش‌بینی، شناسایی و نقاط ضعف و قوت هر کدام بیشتر شناخته شود. در یک دسته‌بندی کلی روش‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی در دو دسته‌ی روش‌های آماری و روش‌های محاسبات نرم قرار می‌گیرد (Wang et al., 2015).

مدل‌های آماری خطی سابقه‌ی زیادی در پیش‌بینی دبی دارند (Wang et al., 2005; Valipour et al., 2012). از این بین مدل ARIMA ضربه‌داری قادر به مدل‌سازی سری‌های زمانی نایستا به صورت فصلی و غیرفصلی است که قابلیت بیشتری در پیش‌بینی رواناب خواهد داشت (Valipour, 2015).

شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) و سامانه‌ی استنتاج فازی مبتنی بر شبکه‌ی تطبیقی (ANFIS) دو مدل غیرخطی از محاسبات نرم هستند که توسط برخی پژوهشگران در پیش‌بینی دبی جریان استفاده شده‌اند (Hu et al., 2011; He et al., 2014; Kothari and Ghardeh, 2015).

تشخیص رفتار خطی یا غیرخطی دبی جریان کار ساده‌ای نیست و روش مطمئنی برای آن وجود ندارد (Zhang, 2003). (Khalili et al. 2014) با آزمون BDS (Brock et al. 1996) دریافتند که دبی سالانه خطی و دبی روزانه غیرخطی است اما عملکرد این آزمون برای دبی‌های ماهانه را ضعیف ارزیابی کردند.

در این پژوهش برای تکمیل‌تر کردن مطالعات گفته‌شده، به بررسی و مقایسه‌ی مدل‌های ARIMA ضربه‌داری، ANN و ANFIS در پیش‌بینی دبی ماهانه پرداخته می‌شود. به این ترتیب هم بین مدل‌های آماری و محاسبات نرم مقایسه صورت می‌گیرد و هم ماهیت خطی یا غیرخطی بودن دبی ماهانه بیشتر بررسی می‌شود. سعی می‌گردد که بهترین مدل ممکن از هر روش انتخاب شود. در نهایت نقاط ضعف و قوت هر سه مدل مقایسه می‌شود.

۲- روش تحقیق

در این پژوهش، از داده‌های ۳۰ سال دبی ماهانه‌ی رودخانه‌ی

ANFIS نیز از تابع عضویت گوسی، در تولید سامانه استنتاج فازی (FIS) از روش شبکه‌بندی (GP) و در آموزش این مدل نیز از الگوریتم ترکیبی (Hybrid) استفاده شد.

از بین ۱۳۹۶ مدل ARIMA تنها ۶ مدل آزمون‌های باکس پیرس، دوره‌نگار تجمعی و تی-استیودنت را با موفقیت پشت سر گذاشتند. نتایج معیارهای اصل امساک به همراه دو معیار خطا برای این شش مدل در جدول ۴ ارائه شده است. از این جدول درمی‌یابیم که این مدل‌ها اختلاف کمی با هم دارند. نتیجه‌ی دیگر این‌که که معیارهای MS، AIC و AICc با معیار MARE و معیار BIC با معیار RMSE هماهنگ‌تر است. MARE بر اساس خطای نسبی و برای دبی‌های با مقادیر کم حساس‌تر است. RMSE بر اساس خطای مطلق و برای دبی‌های با مقادیر حدی حساس‌تر است. پس به دنبال آن معیار BIC نیز تمرکز بیشتری روی مقادیر حدی دارد. در نتیجه استفاده‌ی هم‌زمان از تمامی این معیارها در شناسایی بهترین مدل ARIMA پیشنهاد می‌شود.

بر اساس ماهیت هیدرولوژیکی دبی ماهانه، ورودی‌های مدل‌های ANN و ANFIS تعیین شد. واضح است که میزان دبی هر ماه، بیشتر متأثر از دبی یک تا چند ماه قبل و همچنین دبی همان ماه در یک تا چند سال قبل است. بر همین اساس، ۱۴ نوع ورودی، مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شد. برای ارزیابی نتایج مدل‌های به‌دست‌آمده نیز از معیارهای ضریب همبستگی (R)، میانگین قدرمطلق خطای نسبی (MARE)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، دلالت واریانس (VAF) و ضریب جرم باقیمانده‌ها (CRM) استفاده گردید.

۳- نتایج و بحث

نتایج آزمون باکس-پیرس^۱ در جدول ۵ نشان می‌دهد مقدار P_0^* به ازای هر چهار گام L در نظر گرفته‌شده بزرگ‌تر از ۵٪ می‌باشد. دوره‌نگار تجمعی در شکل ۱ نیز نشان می‌دهد که تمام نقاط داخل حدود اطمینان ۲۵٪ قرار دارند. در نتیجه باقیمانده‌های مدل منتخب کاملاً مستقل و فاقد ارتباط خطی هستند.

مقدار ضریب هرست هم برای دوره‌ی واسنجی و هم برای کل دوره برابر ۰/۷۱ به دست آمد که بیان‌گر کفایت طول دوره و انتخاب مناسب دوره‌ی اعتبارسنجی است. جدول ۳ نشان می‌دهد که قبل از تبدیل، سری نرمال نبوده است و بعد از تبدیل در هر دو دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی به‌خوبی نرمال شده است. نرمال شدن داده‌های واسنجی و اعتبارسنجی با اعمال تبدیل یکسان برای هر دو نیز دلیل دیگری بر انتخاب مناسب طول این دو دوره است.

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های اندازه‌گیری‌شده

دوره	تعداد داده	دبی میانگین	دبی حداقل	دبی حداکثر	نسبت دبی	انحراف معیار	چولگی	ضریب تغییرات
	N	$Q_{avg}(m^3/s)$	$Q_{min}(m^3/s)$	$Q_{max}(m^3/s)$	Q_{max}/Q_{avg}	S_d	S_k	C_v
واسنجی	۲۵۲	۱/۸۵	۰/۰۱	۱۳/۳	۷/۲	۲/۴	۲/۴	۱/۳۰
اعتبارسنجی	۱۰۸	۱/۵۴	۰/۰۴	۹/۲	۶/۰	۲/۰	۳/۲	۱/۲۸
کل	۳۶۰	۱/۷۶	۰/۰۱	۱۳/۳	۷/۶	۲/۳	۳/۵	۱/۳۰

جدول ۲- ورودی‌های در نظر گرفته‌شده برای مدل‌های ANN و ANFIS

شماره‌ی مدل	دبی‌های ورودی با تأخیرهای زمانی مختلف	شماره‌ی مدل	دبی‌های ورودی با تأخیرهای زمانی مختلف
مدل ۱	Q_{t-1}	مدل ۸	$Q_{t-2}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$
مدل ۲	Q_{t-2}, Q_{t-1}	مدل ۹	$Q_{t-12}, Q_{t-6}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$
مدل ۳	Q_{t-12}, Q_{t-1}	مدل ۱۰	$Q_{t-12}, Q_{t-2}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$
مدل ۴	Q_{t-6}, Q_{t-1}	مدل ۱۱	$Q_{t-6}, Q_{t-2}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$
مدل ۵	$Q_{t-12}, Q_{t-6}, Q_{t-1}$	مدل ۱۲	$Q_{t-12}, Q_{t-6}, Q_{t-2}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$
مدل ۶	$Q_{t-12}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$	مدل ۱۳	$Q_{t-24}, Q_{t-12}, Q_{t-2}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$
مدل ۷	$Q_{t-6}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$	مدل ۱۴	$Q_{t-24}, Q_{t-12}, Q_{t-6}, Q_{t-2}, Q_{t-2}, Q_{t-1}$

جدول ۳- نتایج آزمون‌های نرمال بودن برای دبی‌های تبدیل یافته

نوع آزمون	داده‌های واقعی			داده‌های تبدیل یافته در دوره ی			داده‌های تبدیل یافته در دوره ی		
	مقدار	سطح احتمال (%)	نرمال؟	مقدار	سطح احتمال (%)	نرمال؟	مقدار	سطح احتمال (%)	نرمال؟
چارکو-برا (JB)	۴۵۹/۸۶	-/۰	خیر	۳/۷۳	۱۵/۵	بله	۴/۲۱	۱۲/۲	بله
شاپیرو-ویلک (SW)	-/۷۳	-/۰	خیر	۰/۹۹	۵/۰	بله	۰/۹۸	۶/۲	بله
مربع کای دورنیک (DCS)	۳۶۳/۲۷	-/۰	خیر	۴/۵	۱۳/۲	بله	۵/۹۹	۵/۰	بله

جدول ۴- نتایج معیارهای ارزیابی مدل‌های معتبر ARIMA در دوره ی واسنجی

مدل	بررسی امساک			بررسی خطا		
	AIC	AICc	BIC	RMSE	MARE	
ARIMA(۱,۰,۲)(۰,۱,۱) _{۱۲}	-۳۵۵/۶	-۳۵۵/۵	-۳۴۱/۷	۱/۳۷۷	۰/۳۸۰	
ARIMA(۲,۰,۱)(۰,۱,۱) _{۱۲}	-۳۵۴/۳	-۳۵۴/۲	-۳۴۰/۴	۱/۳۷۲	۰/۳۸۲	
ARIMA(۱,۰,۰)(۰,۱,۱) _{۱۲}	-۳۵۲/۱	-۳۵۲/۰	-۳۴۵/۱	۱/۳۶۴	۰/۳۹۱	
ARIMA(۱,۰,۲)(۵,۱,۰) _{۱۲}	-۳۳۳/۶	-۳۳۳/۰	-۳۰۵/۷	۱/۴۴۱	۰/۳۹۵	
ARIMA(۱,۰,۰)(۴,۱,۰) _{۱۲}	-۳۱۷/۲	-۳۱۶/۹	-۲۹۹/۸	۱/۳۸۷	۰/۴۱۵	
ARIMA(۱,۰,۰)(۳,۱,۰) _{۱۲}	-۳۰۸/۷	-۳۰۸/۵	-۲۹۴/۷	۱/۴۲۱	۰/۴۲۳	

اعداد پررنگ بیانگر بهترین نتایج برای هر معیار هستند.

کوچکتر از ۵٪ می‌باشد. در نتیجه پارامترهای این مدل معنی‌دار هستند و به طور مؤثری در مدل‌سازی مشارکت دارند.

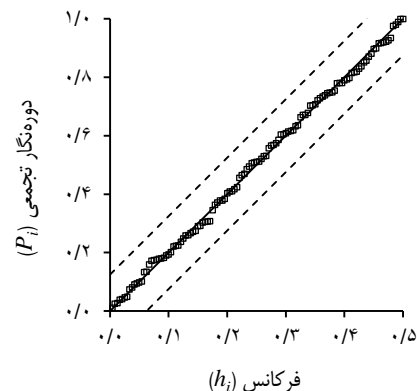
جدول ۶- نتایج آزمون معنی‌داری پارامترهای مدل ARIMA

آزمون تی-استیودنت					
نوع پارامتر	ϕ	θ	θ	θ	θ
\hat{P}_r	۹۰۰/۰	۱۹۵/۰	۱۴۹/۰	۹۲۰/۰	۱۰
τ	۷۱/۲۱	۴۶/۲	۹۸/۱	۷۶/۲۰	
$P\tau$ (%)	۰/۰	۴/۱	۸/۴	۰/۰	

با تعیین ۱۴ نوع ترکیب ورودی مختلف مطابق جدول ۲ مدل‌های ANN و ANFIS به دست آمدند. براساس معیارهای خطا بهترین مدل ANN برای ورودی‌های دسته‌ی ۹ (تأخیرهای ۱، ۲، ۶ و ۱۲ ماه) و بهترین مدل ANFIS برای ورودی‌های دسته‌ی ۱۳ (تأخیرهای ۱، ۲، ۳، ۱۲ و ۲۴ ماه) بود. با دقت در ورودی‌ها می‌توان دریافت که مدل ANFIS قابلیت بیشتری در شناسایی تأخیرهای زمانی مؤثر بر دبی داشته به طوری که ارتباط بین دبی دو سال (۲۴ ماه) پیش با امروز را نیز شناسایی کرده است.

جدول ۵- نتایج آزمون استقلال باقیمانده‌های مدل ARIMA

آزمون باکس-پیورس				
L	۱۲	۲۴	۳۶	۴۸
Q^*	۲/۵	۱۹/۵	۲۷/۳	۴۱/۲
$P^*_{Q^*}$ (%)	۹۳/۰	۴۲/۴	۶۵/۷	۵۵/۰



شکل ۱- دوره‌نگار تجمی باقیمانده‌های مدل ARIMA

جدول ۶ نتایج آزمون معنی‌داری تی-استیودنت^۲ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مقدار $P\tau$ برای این مدل به ازای هر پارامتر

هر مدل متفاوت است. در کل می‌توان دریافت که اگر طول دوره‌ی پیش‌بینی کوتاه باشد (مثلاً بین ۱ تا ۵ ماه) دقت مدل ANN بسیار کمتر از سایر مدل‌ها خواهد بود.

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش به مدل‌سازی و پیش‌بینی دبی ماهانه با استفاده از روش‌های ANN، ARIMA و ANFIS پرداخته شد. مهم‌ترین نتایج به صورت زیر است:

- ۱- با در نظر گرفتن پنج پارامتر از هر نوع خودهمبسته و میانگین متحرک در مدل ARIMA از بین تمامی مدل‌ها تنها تعداد کمی (۶ مدل از ۱۲۹۶ مدل) معتبر خواهد بود.
- ۲- در انتخاب بهترین مدل ARIMA استفاده هم‌زمان از معیارهای MS، AICc و BIC مناسب است. زیرا دو معیار اول نسبت به مقادیر کم و معیار آخر نسبت به مقادیر حدی حساس‌تر است.
- ۳- در کل و برای مقادیر حدی دقت مدل ANFIS و برای مقادیر کم دقت مدل ARIMA بیشتر از سایر مدل‌ها است.
- ۴- در دبی ماهانه برای مقادیر کم خاصیت خطی و برای مقادیر حدی خاصیت غیرخطی غالب است.
- ۵- نتایج هر سه مدل در درازمدت بدون افزایش خطا قابل استفاده است ولی در کوتاه‌مدت دقت مدل ANN بسیار کم است.

پی‌نوشت‌ها

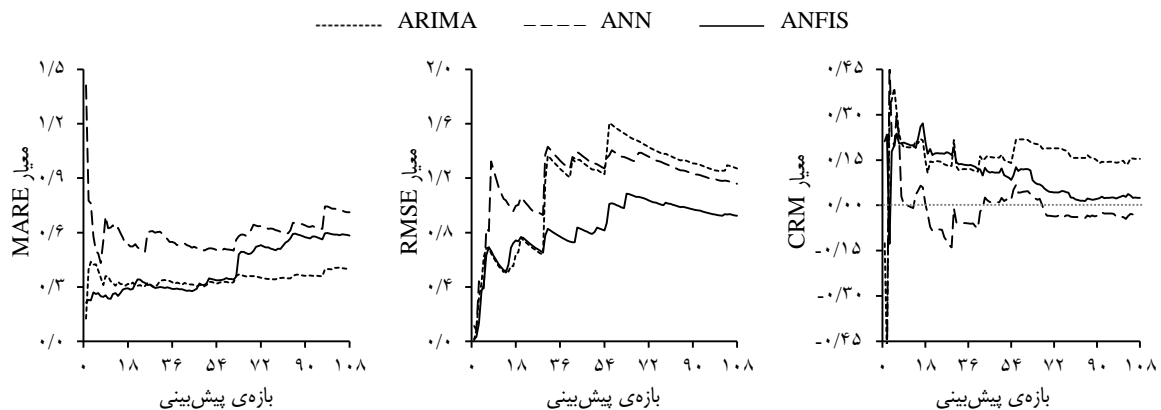
- 1-Box-Pierce test
- 2-t-student test

در جدول ۷ همه معیارها به‌جز معیار MARE به ترتیب برتری مدل‌های ANN، ANFIS و ARIMA را نشان می‌دهند. اما معیار MARE برای مدل ARIMA با اختلاف زیادی بهتر است. در نتیجه در کل و برای پیش‌بینی مقادیر حدی مدل ANFIS قابلیت بیشتری دارد؛ اما برای مقادیر کم مدل ARIMA توانمندتر است. پس دبی پایه خطی و دبی حدی غیرخطی است. این نتیجه مکمل پژوهش Kholghi et al. 2009 است که برای دبی حداقل ماهانه عملکرد مدل ARIMA را بهتر از ANFIS ارزیابی کرد. زیرا در دبی حداقل ماهانه شدت مقادیر حدی بسیار کم است.

جدول ۷- نتایج معیارهای ارزیابی برای انواع مدل‌ها

نام مدل	R	MARE	RMSE	VAF (%)	CRM
ARIMA	۰/۷۶	۰/۴۰	۱/۲۷	۵۸	۰/۱۵۴
ANN	۰/۸۰	۰/۷۱	۱/۱۶	۶۴	۰/۰۳۱
ANFIS	۰/۸۸	۰/۵۸	۰/۹۲	۷۷	۰/۰۲۵

برای بررسی تغییرات دقت مدل‌ها در طول زمان، دوره‌ی پیش‌بینی از ۱ تا ۱۰۸ ماه در نظر گرفته شد و برای تمام این ۱۰۸ حالت معیارهای ارزیابی محاسبه گردید. شکل ۴ نتایج را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که معیارهای MARE و CRM با افزایش طول دوره‌ی پیش‌بینی تقریباً ثابت شده‌اند. معیار RMSE نیز دارای شیب نزولی است. از این موضوع این نتیجه‌گیری مهم به دست می‌آید که از نتایج این مدل‌ها می‌توان در درازمدت استفاده کرد بدون اینکه با افزایش خطا مواجه شویم. اما در پیش‌بینی کوتاه‌مدت نتایج متفاوت است. معیار RMSE کم، معیار CRM زیاد و معیار MARE برای



شکل ۷- تغییرات معیارهای ارزیابی نسبت به تغییر طول دوره‌ی پیش‌بینی

- McLeod A (1978) On the distribution of residual autocorrelations in Box-Jenkins models. *Journal of the Royal Statistical Society Series B (Methodological)*:296-302
- Salas JD, Delleur JW, Yevjevich V, Lane WL (1980) Applied modeling of hydrologic time series. Water Resources Publication, Littleton, Colorado, USA, 484p
- Shapiro SS, Wilk MB (1965) An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*:591-611
- Turcotte DL (1997) Fractals and chaos in geology and geophysics. Cambridge university press, New York, USA, 403p
- Valipour M (2015) Long-term runoff study using SARIMA and ARIMA models in the United States. *Meteorological Applications* 22(3):592-598
- Valipour M, Banihabib ME, Behbahani SMR (2012) Parameters estimate of autoregressive moving average and autoregressive integrated moving average models and compare their ability for inflow forecasting. *J Math Stat* 8:330-38
- Wang J, Hu J, Ma K, Zhang Y (2015) A self-adaptive hybrid approach for wind speed forecasting. *Renewable Energy* 78:374-85
- Wang W, Van Gelder PHAJM, Vrijling JK (2005) Long-memory in streamflow processes of the Yellow river. IWA International Conference on Water Economics, Statistics, and Finance, 2005:8-10
- Zhang GP (2003) Time series forecasting using a hybrid ARIMA and neural network model. *Neurocomputing* 50:159-75
- Brock W, Scheinkman JA, Dechert WD, LeBaron B (1996) A test for independence based on the correlation dimension. *Econometric reviews* 15:197-235
- He Z, Wen X, Liu H, Du J (2014) A comparative study of artificial neural network, adaptive neuro fuzzy inference system and support vector machine for forecasting river flow in the semiarid mountain region. *Journal of Hydrology* 509:379-86
- Hu CH, Wu ZN, Wang JJ, Liu L (2011) Application of the Support Vector Machine on precipitation-runoff modelling in Fenhe River. *Water Resource and Environmental Protection (ISWREP)*, International Symposium on 2011, IEEE, 2:1099-103
- Jarque CM, Bera AK (1980) Efficient tests for normality, homoscedasticity and serial independence of regression residuals. *Economics letters* 6:255-59
- Khalili K, Ahmadi F, Dinpashoh Y, Behmanesh J (2014) Linear and nonlinear behavior analysis of hydrological time series (Case study: western rivers of lake Urmia). *Iran-Water Resources Research* 10(2):12-20 (In Persian)
- Kholghi M, Ashrafzadeh A, Malmir M (2009) Monthly low-flow forecasting using a stochastic model and adaptive network based fuzzy inference system. *Iran-Water Resources Research* 5(2):16-26 (In Persian)
- Kothari M, Gharde K (2015) Application of ANN and fuzzy logic algorithms for streamflow modelling of Savitri catchment. *Journal of Earth System Science* 124:933-43
- Levenberg K (1944) A method for the solution of certain non-linear problems in least squares. *Qu. Appl. Math.* 2:164-168