مجلهٔ دانش و توسعه (علمی - پژوهشی) سال شانزدهم، شمارهٔ ۲۸، پاییز ۱۳۸۸

پیش‌بینی نرخ ارز با مدل‌های عصبی- فازیِ ANFIS، شبکه عصبی- خودرگرسیونیِ NNARX و خودرگرسیونیِ ARIMA در اقتصاد ایران (۸۷-۱۳۸۱)

صادق بافنده ایمان دوست
استادیار گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور مشهد
سید محمد فهیمی‌فرد *
کارشناس ارشد گروه مهندسی اقتصادکشاورزی دانشگاه زابل
سمیه شیرزادی
دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی اقتصادکشاورزی دانشگاه زابل

چکیده

سیاست‌گذاران پولی به منظور جلوگیری از زیان‌های ناشی از تغییرات از هم‌گسیخته نرخ ارز، همواره درصدد یافتن روشی مناسب برای پیش‌بینی نرخ ارز بوده‌اند. لیکن ویژگی‌های چند بعدی نرخ ارز باعث رفتار پیچیده و غیرخطی آن شده و مدل‌های غیرخطی از عمل‌کرد بهتری در پیش‌بینی آن برخوردار می‌باشند. لذا، در این مطالعه کارایی مدل‌های غیرخطی ANFIS و NNARX و مدل خطی ARIMA در پیش‌بینی برابری نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو برای ۲، ۴ و ۸ روز آتی با استفاده از مهمترین معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌ها و داده‌های روزانه مربوط به دوره ۱۳۸۷/۹/۱-۱۳۸۱/۱/۱ مقایسه شد. نتایج نشان داد که مدل‌های ANFIS و NNARX در مقایسه با مدل ARIMA و مدل ANFIS در مقایسه با مدل NNARX در همه افق‌های مورد نظر، از کارایی بیشتری در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو برخوردار می‌باشد.

واژه های کلیدی: نرخ ارز، پیش‌بینی، ARIMA، NNARX، ANFIS.

طبقه بندی JEL: C22, C45, E47, F31.

---

* (نویسنده مسئول) mfahimifard@gmail.com

تاریخ دریافت: ۸۸/۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۸۸/۵/۲۵

Iran's Exchange Rate Forecasting Using ANFIS, NNARX & ARIMA Models (2002-2008)

Sadegh Bafandeh Imandoust
Assistant Professor of Economics, Payame Noor University
Seyed Mohammad Fahimifard
MA in Agricultural Economics Engineering, University of Zabol
Somayeh Shirzady
MA Student in Agricultural Economics Engineering, University of Zabol

Abstract

Monetary policy makers have been engrossed continually to discover the suitable method for exchange rate forecasting in order to preventing its disruptive movements. But exchange rate movement's manifold determinants cause to its complex and nonlinear behavior. Nonlinear models have better performance for its forecasting. Therefore, in this study the performance of nonlinear models such as ANFIS and NNARX and linear model such as ARIMA were compared in Iran's Rial/US$ & Rial/€ for 2, 4 and 8 days ahead via most important forecast performance criteria and daily data related to 20 March 2002- 21 November 2008. Results indicated that ANFIS and NNARX models have better performance in comparison with ARIMA model, and ANFIS model outperforms NNARX model in all horizons of Iran's Rial/US$ & Rial/€ exchange rate forecasting.

Keywords: Exchange Rate; Forecasting; ARIMA; NNARX; ANFIS.

JEL: C22, C45, E47, F31.

مقدمه

آگاهی از تغییرات آتی نرخ ارز، می‌تواند مقامات پولی را برای طراحی یک سیاست پولی کارا به منظور تثبیت قیمت‌ها و افزایش سطح اشتغال، مهیا کند. علاوه براین، نرخ ارز یک نوع دارایی بوده که در صورت داشتن اطلاع به هنگام از شرایط اقتصادی و اتخاذ سیاست مناسب، می‌تواند افزایش یابد. از طرف دیگر، صاحبان شرکت‌ها و سرمایه‌گذاران به‌منظور تصمیم‌گیری در مورد چگونگی تخصیص دارائی‌هایشان علاقه‌مندند از تغییرات آتی نرخ ارز آگاهی داشته باشند. از اینرو پیش‌بینی نرخ ارز همواره برای سالهای متمادی در کانون توجهات بسیاری از سیاست‌گذاران،

اقتصاددانان و عاملان اقتصادی بوده است (Pilbeam, 1998). با وجود این، برخی معتقدند که پیش‌بینی نرخ ارز امکان‌پذیر نبوده و سیر تکاملی هر نوع نرخ ارزی از فرضیه بازار کارا[1] (EMH) تبعیت می‌کند. بر اساس این فرضیه، بهترین روش برای پیش‌بینی نرخ ارز روز آتی، اتکا به نرخ کنونی آن بوده و نرخ ارز واقعی از فرآیند گام تصادفی پیروی می‌کند. این بدبینی در پیش‌بینی نرخ ارز، پس از انتشار مقاله میس و رگف (Meese & Rogoff, 1983) به‌وجود آمد. آنان در مطالعه خود نشان دادند که هیچ نوع مدل تک معادله‌ای، برای پیش‌بینی نرخ ارز، بهتر از مدل گام تصادفی نمی‌باشد. لیکن، تمامی مدل‌های بررسی شده آنان خطی بوده و امروزه، این حقیقت توسط بسیاری از محققین[2] پذیرفته شده که تغییرات نرخ ارز خطی نمی‌باشد (Pilbeam, 1998). بنابراین مدل‌های غیرخطی از جمله هوش مصنوعی (AI[3])، می‌توانند برازش بهتری از مدل‌های خطی داشته باشند (Racine, 2001). در بین مدل‌های هوش مصنوعی، مدل‌های عصبی یک فرآیند توزیع موازی گسترده بوده و مهمترین ویژگی آن‌ها توانایی مدل‌سازی روابط غیرخطی و پیچیده بدون نیاز به فرضیات قبلی از ماهیت ارتباط بین داده‌ها می‌باشد (Hykin, 1994).

هم‌چنین، در زمینه کاربرد مدل‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی، فهیمی‌فرد و همکاران (Fahimifard, et al, 2009)، فهیمی‌فرد (Fahimifard, 2008)، نجفی و همکاران (Najafi, et al, 2006)، اینس و ترافالیس (Ince & Trafalis, 2005)، روشن (Roshan, 2004) و مشیری و کامرون (Moshirin & Cameron, 2000)، به مطالعه و بررسی پرداخته و نتیجه گرفتند که مدل‌های عصبی در مقایسه با مدل‌های خطی از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشند. در مطالعه حاضر، هدف مقایسه کارایی مدل‌های جدید ANFIS[4] و NNARX[5] با مدل خطی ARIMA[6] در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار امریکا (Rial/US$) و ریال/یورو (Rial/€) برای ۲، ۴ و ۸ روز آتی بوده که برای این منظور در بخش دوم به معرفی مدل‌های مورد بررسی و توضیح مختصر معیارهای

1- Efficient Market Hypothesis (EMH).
2- (Brooks, 1996; Drunat, Dufrenot Dunis & Mathiew, 1996; De Greuwe, Dewachter, & Embrechts, 1993; Hsieh, 1989)
3- Artificial Intelligence.
4- Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System.
5- Neural Network Auto-Regressive model with eXogenous inputs.
6- Auto-Regressive Integrated Moving Average.

ارزیابی کارایی مدل‌ها، در بخش سوم به توضیح نرم‌افزارها و داده‌های مورد استفاده، در بخش چهارم به ارائه نتایج حاصل از مقایسه مدل‌های مورد بررسی و نهایتاً در بخش پنجم به ارائه جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلی پرداخته می‌شود.

مواد و روش‌ها

مدل خودرگرسیون میانگین متحرک انباشته (ARIMA)

روش باکس- جنکینز یکی از ابزارهای پیش بینی بوده که به متدلوژی ARIMA شهرت یافته است. به‌طور کلی این روش دارای ۴ مرحله است. در مرحله اول شناسایی آزمایشی با استفاده از تابع خودهمبستگی نمونه و تابع جزیی خودهمبستگی نمونه، انجام می‌گیرد (شناسایی آزمایشی). در مرحله دوم به تخمین پارامترها پرداخته می‌شود (تخمین). در مرحله سوم کفایت شناسایی آزمایشی و تخمینی ارزیابی می‌شود (تشخیص دقت برازش). اگر نامناسب بودن مدل به اثبات برسد، مدل باید تعدیل شود. درغیر این‌صورت می‌توان از مدل نهایی به‌منظور پیش‌بینی مقادیر آینده سری زمانی استفاده کرد (پیش‌بینی) (Box & Jenkins, 1970).

در این مطالعه مدل ARIMA (p,d,q) برای پیش‌بینی نرخ ارز به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$E_t = f(t) + \phi_1 E_{t-1} + \ldots + \phi_p E_{t-p} + e_t + \theta_1 e_{t-1} + \ldots + \theta\, e_{t-q} \qquad (۱)$$

E_t، p و q به‌ترتیب نرخ ارز در زمان t، وقفه خودرگرسیونی (AR) و وقفه میانگین متحرک (MA) می‌باشند.

مدل شبکه عصبی- خود رگرسیونی با متغیرهای برونزا (NNARX)

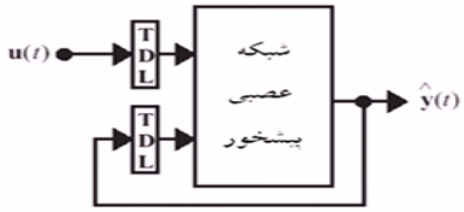
شبکه‌های عصبی پویا در محیط‌های مختلفی مانند پیش‌بینی در بازارهای مالی، سیستم‌های مکاتبه، سیستم‌های قدرت، طبقه‌بندی، عیب یابی، تشخیص صدا و حتی ژنتیک کاربرد دارند. در این مدل، خروجی به مقدار جاری و گذشته ورودی ها، خروجی‌ها و ساختار شبکه بستگی دارد. هم‌چنین این شبکه‌ها حافظه دارند و می‌توانند برای الگوهای آموزشی متناوب و منقطع پرورش یابند (Medsker & Jain, 2000).

مدل NNARX از جمله مدل‌های شبکه عصبی پویا می‌باشد که دارای یک بخش خطی و

یک بخش غیرخطی است. بخش غیرخطی آن به‌وسیله شبکه عصبی مصنوعی پیشخور (Feedforward) با یک لایه میانی تخمین زده می‌شود و بخش خطی آن شامل یک مدل خود رگرسیونی می‌باشد. هم‌چنین معادله مشخصه برای این مدل به منظور پیش‌بینی نرخ ارز (E)، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$E(t) = f(E(t-1), E(t-2), ...E(t-n_y), u(t-1), u(t-2), ..., u(t-n_u)) \quad (۲)$$

که در آن مقدار آینده سیگنال خروجی درون‌زا ($E(t)$)، بر روی مقادیر گذشته سیگنال خروجی و مقادیر گذشته سیگنال ورودی برون‌زا رگرس می‌شود. همان‌طور که در شکل زیر نشان داده شده است، خروجی این مدل یک پسخور برای ورودی مدل شبکه عصبی پیشخور (Feedforward)، به عنوان بخشی از ساختار NNARX استاندارد می‌باشد (Rosenblatt, 1961).



شکل(۱)- ساختارهای موازی مدل NNARX

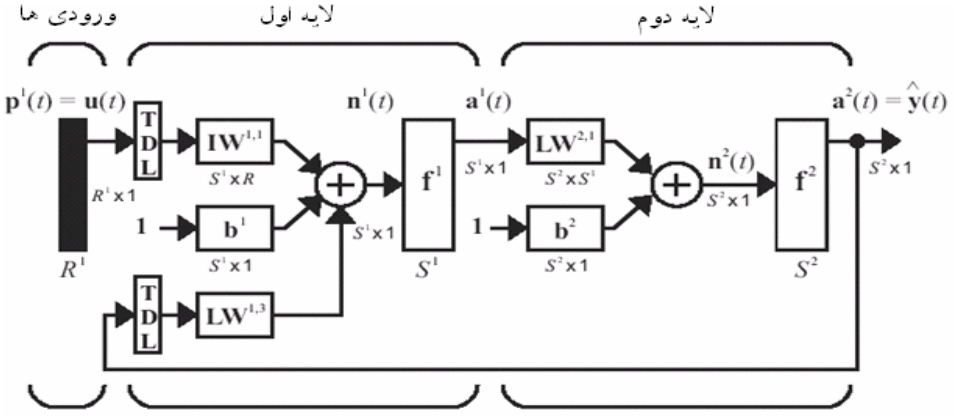
(منبع: Rosenblatt, 1961)

هم‌چنین گرچه اساس آموزش شبکه‌های پویا همانند شبکه‌های ایستا، الگوریتم شیب نزولی (Gradient descent) می‌باشد، اما نحوه آموزش شبکه‌های پویا کاملاً متفاوت بوده و با روش پیچیده‌تری انجام می‌گیرد (De Jesus & Hagan, 2001). شکل زیر مدل NNARX با شبکه پیشخور دو لایه را نشان می‌دهد.

مدل استنتاجی تطبیقی فازی- عصبی (ANFIS)

این مدل که توسط یانگ در سال ۱۹۹۶ بسط یافت، اجازه می‌دهد سیستم‌های فازی در مباحث آموزش پارامترها، از الگوربتم آموزش انتشار خطا به عقب تطبیقی استفاده نمایند (Morgan, 1998). از یک ساختار ANFIS که از مجموعه‌ای از قواعد IF-THEN فازی نوع TSK (فقط

برای یک قانون) تشکیل گردیده است می‌توان جهت مدل سازی و نگاشت داده‌های ورودی- خروجی استفاده کرد. تعریف معمولی از این مدل شناسایی یک تابع $\hat{f}$ (به‌طوری‌که تقریباً بتواند بجای تابع اصلی f مورد استفاده قرار گیرد) می‌باشد. سیستم فازی با مجموعه‌ای شامل N قاعده فازی، برای پیش‌بینی نرخ ارز به صورت زیر بیان می‌گردد (Morgan, 1998):



شکل(۲)- مدل شبکه عصبی- خود رگرسیونی با متغیرهای برونزا (NNARX)

(منبع: De Jesus & Hagan, 2001)

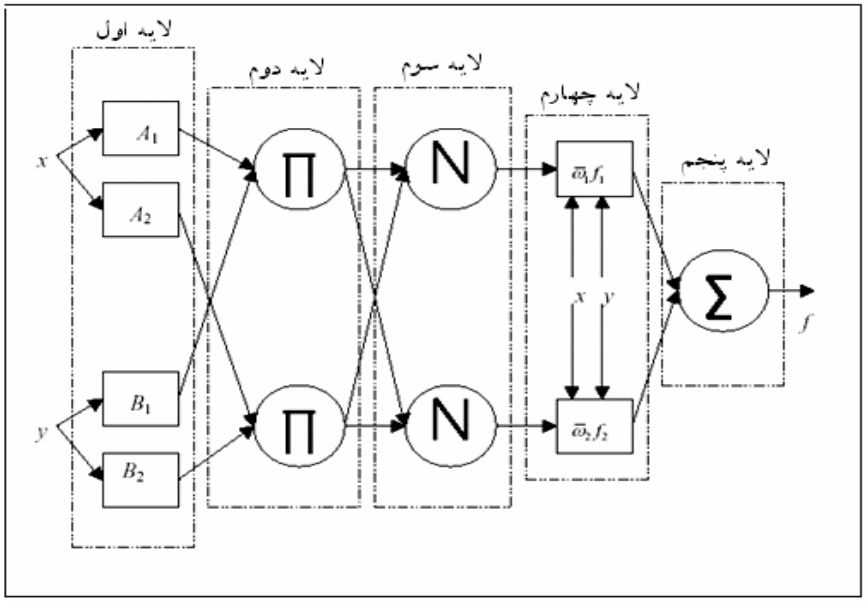
$$f(x) = \frac{\sum_{i=1}^{N} E_t \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^{(ji)}}(E_{t-p_i})\right)}{\sum_{i=1}^{N} \left(\prod_{i=1}^{n} \mu_{A_i^{(ji)}}(E_{t-p_i})\right)} \qquad (3)$$

که در رابطه فوق، E_{t-p}، μ، A و i به ترتیب عبارتند از: وقفه‌های نرخ ارز تا مرتبه p، مرتبه عضویت، مجموعه فازی و قاعده فازی. هم‌چنین $\mu_{A_l^{(ji)}}(x_i)$ بیانگر مرتبه عضویت از ورودی x_i مربوطه به مقدار قاعده فازی i ام $A_l^{(ji)}$ می‌باشد. شکل (۳) ساختار مدل ANFIS را نشان می‌دهد (Tanaka, 1998):

- لایه اول: در این لایه x یا y ورودی به گره i و A_i یا B_{i-2} اسامی متغیرهای زبانی منطبق با این گره می‌باشند.
- لایه دوم: هر گره در این لایه، یک گره ثابت به نام P می‌باشد که خروجی آن‌ها محصول تمام

سیگنال‌های ورودی می‌باشد:

$$O_{2,i} = w_i = \mu A_i(x_i)\,\mu B_i(y_i), \qquad i = 1,2. \tag{۳}$$



شکل(۳)- ساختار مدل ANFIS

(منبع: Tanaka, 1998)

هر گره خروجی بیانگر شدت برانگیختگی[1] یک قاعده می‌باشد.

- لایه سوم: هر گره در این لایه، یک گره ثابت به نام N می‌باشد و i امین گره، نسبت i امین قاعده شدت برانگیختگی را برای تمام قاعده‌های شدت برانگیختگی به‌صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$O_{3,i} = \overline{w_i} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \qquad i = 1,2. \tag{۵}$$

- لایه چهارم: هر گره i در این لایه، یک گره منطبق با تابع گره، به‌صورت زیر می‌باشد:

$$O_{4,i} = \overline{w_i}\, f_i = \overline{w_i}(p_i x + q_i y + r_i), \qquad i = 1,2. \tag{۶}$$

1- Firing Strength.

که در آن ϖ_1 یک شدت برانگیختگی نرمال شده از لایه سوم بوده و p_i ، q_i و r_i مجموعه پارامترهای این گره می‌باشند. هم‌چنین، پارامترهای این لایه، به پارامترهای استنتاجی موسومند.

- لایه پنجم: تنها گره این لایه، یک گره ثابت به نام $\sum$ می‌باشد که تمامی خروجی‌ها را به‌عنوان مجموع همه سیگنال‌های ورودی، به‌صورت زیر محاسبه می‌کند:

$$O_{5,i} = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i}, \qquad i = 1,2. \tag{۷}$$

معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌ها

هایکین (Hykin, 1994)، به منظور بررسی کارایی مدل‌های پیش‌بینی سری‌های زمانی، معیارهایی معرفی کرد که نام و فرمول برخی از مهمترین آن‌ها در ذیل آمده است:

جدول(۱)- معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌ها

معیار	فرمول
میانگین مربع خطا (Mean Squared Error)	$MSE = \frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}$
ریشه میانگین مربع خطا (Root Mean Square Error)	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}$
میانگین قدر مطلق انحراف (Mean Absolute Deviation)	$MAD = \frac{\sum \lvert \hat{y}_t - y_t \rvert}{n}$
میانگین قدر مطلق درصد خطا (Error Mean Absolute Percentage)	$MAPE = \frac{\sum \lvert \frac{\hat{y}_t - y_t}{y_t} \rvert}{n}$
مجذور ضریب همبستگی R^2	$R^2 = 1 - \frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{\sum \hat{y}_t^2}$
آماره U تایل (Theil U Statistic)	$U = \frac{\sqrt{\frac{\sum (\hat{y}_t - y_t)^2}{n}}}{\sqrt{\frac{\sum (y_{t-1} - y_t)^2}{n}}}$

منبع: (Hykin, 1994)

در روابط فوق y_t ، $\hat{y}_t$ و n به ترتیب مقدار هدف (مشاهده واقعی)، مقدار خروجی مدل و

تعداد مشاهدات می‌باشند. واضح است که بهترین مقدار برای معیار R^2 و U تایل برابر ۱ و برای سایر معیارها صفر می‌باشد. هم‌چنین، در این مطالعه از معیارهای R^2، MAD و RMSE استفاده می‌شود.

داده‌ها

داده‌های مورد نیاز به منظور مقایسه مدل‌های مذکور، شامل سری زمانی روزانه برابری نرخ ارز ریال/دلار آمریکا (Rial/US$) و ریال/یورو (Rial/€) برای دوره ۱۳۸۷/۹/۱-۱۳۸۱/۱/۱ بوده که از پایگاه اینترنتی بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران گرد آوری شده و در تمام موارد دوره ۱۳۸۵/۸/۳۰-۱۳۸۱/۱/۱ (۷۰ ٪ مشاهدات) به آموزش[1] و دوره ۱۳۸۷/۹/۱-۱۳۸۵/۸/۳۰ (۳۰ ٪ مشاهدات) به تست[2] مدل‌ها، اختصاص داده شد. هم‌چنین، جهت طراحی مدل ARIMA از نرم افزار Microfit 4.1 و طراحی مدل‌های NNARX و ANFIS از نرم افزار Matlab2007a استفاده شده است.

نتایج و بحث

بررسی کارایی مدل ARIMA در پیش‌بینی نرخ ارز

به‌منظور بررسی کارایی مدل ARIMA در پیش‌بینی سری‌های زمانی مذکور، ابتدا ایستایی سری‌های زمانی با آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته و به‌کارگیری معیار شوار- بیزین بررسی شد. جدول۲ خلاصه‌ای از نتایج این آزمون را نشان می‌دهد:

جدول۲ نشان می‌دهد که وقفه بهینه برای نرخ‌های ارز مورد بررسی برابر یک می‌باشد. چون ماکزیمم این معیار (۹۴۳۶,۳ و ۹۲۴۷,۶) در وقفه یک بدست آمده و آماره محاسباتی در وقفه یک ۱۱,۳۴- می‌باشد

1- Train.
2- Test.

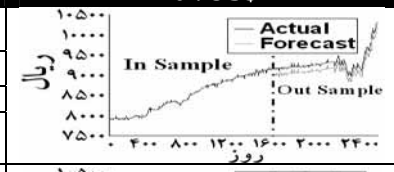
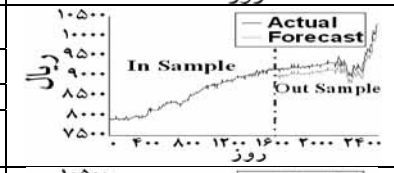
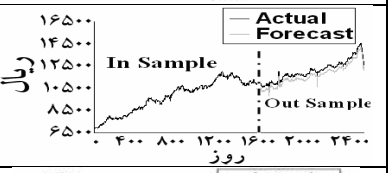
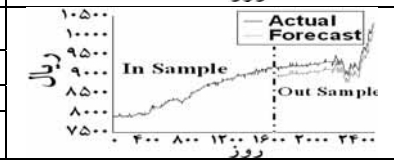
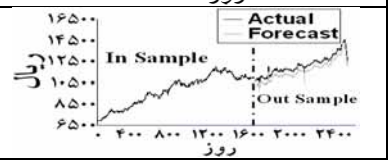
جدول(۲)- آزمون ریشه واحد بر روی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو

Rial/€			Rial/US$		
شوارتز- بیزین	آماره t دیکی فولر	مرتبه تفاضل	شوارتز- بیزین	آماره t دیکی فولر	مرتبه تفاضل
۹۲۲۳,۵	-۱۱,۲۵۲۹	DF	۹۴۱۱,۷	-۱۱,۲۶۴۲	DF
۹۲۴۷,۶	-۱۱,۳۳۷۸	ADF(1)	۹۴۳۶,۳	-۱۱,۳۳۸۱	ADF(1)
۹۲۲۱,۸	-۱۱,۶۱۶۰	ADF(2)	۹۴۱۰,۰	-۱۱,۶۲۷۶	ADF(2)
۹۲۳۰,۲	-۱۲,۱۱۲۸	ADF(3)	۹۴۱۸,۶	-۱۲,۱۲۴۹	ADF(3)
۹۲۴۲,۱	-۱۲,۶۲۰۴	ADF(4)	۹۴۳۰,۷	-۱۲,۶۳۳۱	ADF(4)
مقدار بحرانی آماره دیکی فولر تعمیم یافته در سطح ۹۵٪ = -۲,۸۶۳۴			مقدار بحرانی آماره دیکی فولر تعمیم یافته در سطح ۹۵٪ = -۲,۸۶۳۴		

منبع: نتایج تحقیق

که با مقایسه آن با مقدار بحرانی (۲,۸۷-) فرضیه مقابل یعنی پایایی را می‌پذیریم. هم‌چنین، برای افق‌های ۲، ۴ و ۸ روز آتی، درجه خود رگرسیونی (p) به ترتیب برابر ۲، ۴ و ۸ در نظر گرفته شده و برای هر یک از افقهای زمانی، مدل‌هایی با درجه فرآیند MA برابر ۱، ۲ و ۳ تخمین و از مدل دارای بیشترین مقدار شوارتز– بیزین برای تعیین درجه میانگین متحرک (q) استفاده شد. سپس ساختار تعیین شده در انجام پیش‌بینی‌های خارج از نمونه بکار رفته و در نهایت این پیش‌بینی‌ها با به‌کارگیری معیارهای ارزیابی مدل‌ها با داده‌های واقعی مقایسه شد. جدول۳ خلاصه‌ای از این نتایج را نشان می‌دهد:

جدول(۳)- کارایی مدل ARIMA در پیش‌بینی نرخ ارز

ARIMA			Rial/US$	Rial/€
۲ روز آتی				
ساختار (۲,۱,۲)				
R^2	MAD	RMSE		
۰,۹۲۲۸	۰,۰۱۱۷	۰,۰۱۰۱		
۴ روز آتی				
ساختار (٤,۱,۱)				
R^2	MAD	RMSE		
۰,۹۲۱۹	۰,۰۱۱۷	۰,۰۱۰۱		
۸ روز آتی				
ساختار (۸,۱,۱)				
R^2	MAD	RMSE		
۰,۹۲۱۰	۰,۰۱۱۸	۰,۰۱۰۱		

منبع: نتایج تحقیق

سمت راست جدول۳ نمایش هندسی پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو را که در بردارنده In Sample و Forecast می‌باشد نشان می‌دهد (محور عمودی برابری نرخ ارز و محور افقی روز). سمت چپ جدول بیانگر مقادیر معیارهای ارزیابی و ساختار مدل ARIMA برای افق‌های زمانی ۲، ۴ و ۸ روز آتی می‌باشد. مقادیر بیشتر R^2، مقادیر کمتر RMSE و MAD بیانگر، کارایی بیشتر مدل‌ها می‌باشد. بنابراین با افزایش افق پیش‌بینی کارایی این مدل در پیش‌بینی نرخ کاهش می‌یابد.

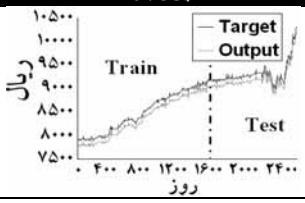
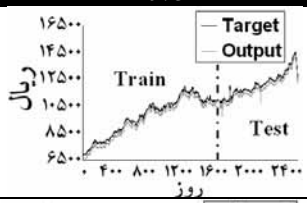
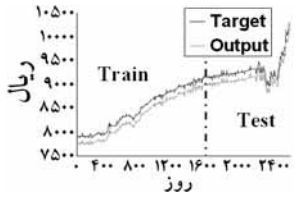
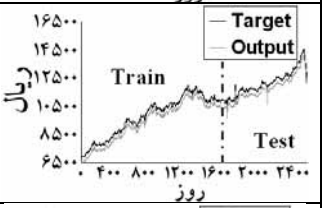
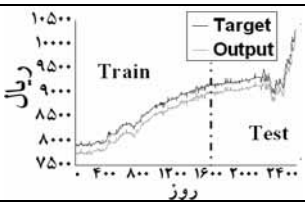
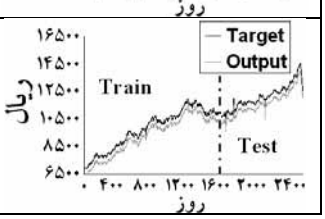
بررسی کارایی مدل NNARX در پیش‌بینی نرخ ارز

به منظور بررسی کارایی این مدل در پیش‌بینی نرخ ارز برای افق‌های زمانی ۲، ۴ و ۸ روز آتی، به ترتیب از وقفه‌های ۲، ۴ و ۸ داده‌های نرمال شده استفاده شد. هم‌چنین، برای افق‌های مذکور، ساختارهای مختلف شبکه انتشار برگشتی پیشخور (۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گره در لایه پنهان) با تابع فعال‌سازی logsig، الگوریتم آموزشی Levenberg-Marquardt، نرخ آموزش ۰,۰۱ و ۱۰۰ تکرار[1] طراحی شد. نهایتاً برای بررسی کارایی این مدل، با استفاده از معیارهای ارزیابی مدل ها، داده‌های خروجی هر شبکه با داده‌های واقعی مقایسه شد. جدول۴ خلاصه‌ای از این نتایج را نشان می‌دهد:

بطور مشابه، سمت راست جدول فوق نمایش هندسی پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو را که شامل Train و Test می‌باشد نشان می‌دهد. هم‌چنین، سمت چپ جدول بیانگر مقادیر معیارهای ارزیابی و ساختار مدل NNARX برای افق‌های زمانی ۲، ۴ و ۸ روز آتی می‌باشد. ساختار شبکه‌های طراحی شده به‌گونه‌ای می‌باشد که اولین عدد از سمت چپ بیانگر تعداد ورودی‌ها و آخرین عدد بیانگر تعداد خروجی بوده و اعداد بین آن‌ها نشان دهنده تعداد گره‌ها و نرون‌های موجود در هر گره می‌باشد. همانطور که جدول فوق نشان می‌دهد، با افزایش افق زمانی کارایی این مدل در پیش‌بینی نرخ ارز کاهش می‌یابد.

1- Epoch.

جدول(۴)- کارایی مدل NNARX در پیش‌بینی نرخ ارز

NNARX						Rial/US$	Rial/€
۲ روز آتی							
ساختار ۱-۱-۲-۵							
R^2		MAD		RMSE			
Train	Test	Train	Test	Train	Test		
۰,۹۹۷	۰,۹۸۲	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹	۰,۰۰۹		
۴ روز آتی							
ساختار ۱-۱-۲-۳-۵							
R^2		MAD		RMSE			
Train	Test	Train	Test	Train	Test		
۰,۹۷۷	۰,۹۶۱	۰,۰۰۹	۰,۰۰۹	۰,۰۱۰	۰,۰۰۹		
۸ روز آتی							
ساختار ۱-۱-۲-۳-۴-۵							
R^2		MAD		RMSE			
Train	Test	Train	Test	Train	Test		
۰,۹۶۱	۰,۹۴۲	۰,۰۰۹	۰,۰۱۱	۰,۰۱۱	۰,۰۱۰		

منبع: نتایج تحقیق

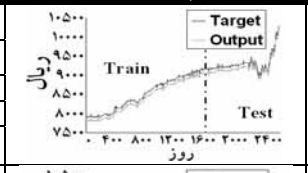
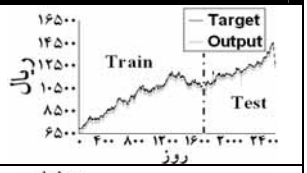
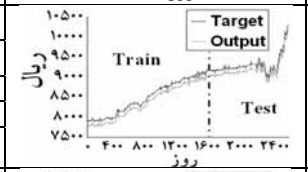
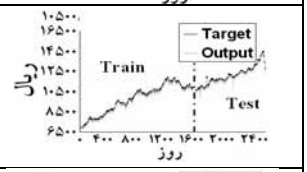
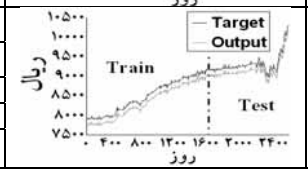
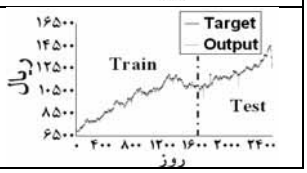
بررسی کارایی مدل ANFIS در پیش‌بینی نرخ ارز

به منظور بررسی کارایی این مدل در پیش‌بینی نرخ ارز برای افق‌های زمانی ۲، ۴ و ۸ روز آتی، به ترتیب از وقفه‌های ۲، ۴ و ۸ داده‌های نرمال شده استفاده شد. از الگوریتم آموزشی هیبریدی برای تعیین پارامترهای تابع عضویت سیستم‌های استنتاج فازی از نوع سوگنوی[1] یک خروجی استفاده شده و به منظور آموزش پارامترهای تابع عضویت سیستم استنتاج فازی مجموعه مفروض داده‌های ورودی- خروجی، ترکیب روش‌های حداقل مربعات و شیب نزولی انتشار برگشتی بکار گرفته شد. هم‌چنین، برای افق‌های مورد نظر، مدل‌های مختلفی با توابع عضویت gauss، gauss2 و تعداد تابع عضویت (۲، ۳ و ۴) با شبکه عصبی انتشار برگشتی پیشخور، تابع فعال‌سازی logsig، نرخ آموزش ۰,۰۱ و ۱۰۰ تکرار طراحی شد. نهایتاً برای بررسی کارایی این مدل، با استفاده از معیارهای ارزیابی مدل‌ها، داده‌های خروجی هر مدل با داده‌های واقعی مقایسه شد. جدول۵

1- Sugeno.

خلاصه‌ای از این نتایج را نشان می‌دهد:

جدول(۵)- کارایی مدل ANFIS در پیش‌بینی نرخ ارز

ANFIS						Rial/US$	Rial/€
۲ روز آتی							
ساختار ۱۰۰-٤- gauss							
R^2		MAD		RMSE			
Train	Test	Train	Test	Train	Test		
۰,۹۹۸	۰,۹۸۴	۰,۰۰۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹		
۴ روز آتی							
ساختار ۱۰۰- ۳- gauss							
R^2		MAD		RMSE			
Train	Test	Train	Test	Train	Test		
۰,۹۹۳	۰,۹۷۹	۰,۰۰۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹		
۸ روز آتی							
ساختار ۱۰۰- ٤- gauss2							
R^2		MAD		RMSE			
Train	Test	Train	Test	Train	Test		
۰,۹۷۵	۰,۹۶۶	۰,۰۰۷	۰,۰۰۸	۰,۰۰۹	۰,۰۰۹		

منبع: نتایج تحقیق

بطور مشابه، سمت راست جدول فوق نمایش هندسی پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو را که شامل Train و Test می‌باشد نشان می‌دهد. سمت چپ جدول بیانگر مقادیر معیارهای ارزیابی و ساختار مدل ANFIS برای افق‌های مورد نظر می‌باشد. ساختار شبکه‌های طراحی شده به‌گونه‌ای می‌باشد که گزاره اول از سمت چپ بیانگر نوع تابع عضویت و اعداد بعدی به ترتیب بیانگر تعداد تابع عضویت و تکرار می‌باشد. به‌طور مشابه، با افزایش افق زمانی کارایی این مدل نیز در پیش‌بینی نرخ ارز کاهش می‌یابد.

مقایسه کارایی مدل‌های ARIMA، NNARX و ANFIS در پیش‌بینی نرخ ارز

به‌منظور مقایسه کارایی مدل NNARX و مدل ARIMA، معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف طراحی شده NNARX یعنی RMSE، MAD و R^2 بر معیارهای ارزیابی کارایی مدل ARIMA در هر افق زمانی تقسیم شد. هم‌چنین، جهت مقایسه کارایی مدل NNARX و مدل ANFIS، معیارهای ارزیابی کارایی مدل‌های مختلف طراحی شده ANFIS بر معیارهای ارزیابی کارایی بهترین مدل طراحی شده NNARX در هر افق زمانی تقسیم شد. جدول ۶ خلاصه‌ای از

این نتایج را نشان می‌دهد:

جدول (۶)- مقایسه مدل‌های ARIMA، NNARX و ANFIS در پیش‌بینی نرخ ارز

C_{NNARX}/C_{ARIMA}					
افق زمانی	ساختار		R^2	MAD	RMSE
	ARIMA	NNARX			
۲ روز	(۲,۱,۲)	۵-۲-۱-۱	۱,۰۶۴۱	۰,۶۸۴۲	۰,۸۹۲۸
	(۲,۱,۲)	۵-۳-۲-۱-۱	۱,۰۵۸۸	۰,۷۰۸۲	۰,۹۰۱۷
	(۲,۱,۲)	۵-۴-۳-۲-۱-۱	۱,۰۵۳۵	۰,۷۳۳۰	۰,۹۱۰۷
	(۲,۱,۲)	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	۱,۰۴۸۳	۰,۷۵۸۶	۰,۹۱۹۸
۴ روز	(۴,۱,۱)	۵-۲-۱-۱	۱,۰۳۶۷	۰,۸۱۰۲	۰,۹۳۵۵
	(۴,۱,۱)	۵-۳-۲-۱-۱	۱,۰۴۲۰	۰,۷۸۲۸	۰,۹۲۶۲
	(۴,۱,۱)	۵-۴-۳-۲-۱-۱	۱,۰۳۱۶	۰,۸۳۸۶	۰,۹۴۴۸
	(۴,۱,۱)	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	۱,۰۲۷۴	۰,۸۶۵۳	۰,۹۵۲۴
۸ روز	(۸,۱,۱)	۵-۲-۱-۱	۱,۰۰۷۰	۰,۹۹۱۱	۰,۹۹۱۱
	(۸,۱,۱)	۵-۳-۲-۱-۱	۱,۰۱۲۱	۰,۹۵۷۵	۰,۹۸۱۲
	(۸,۱,۱)	۵-۴-۳-۲-۱-۱	۱,۰۲۲۳	۰,۸۹۳۹	۰,۹۶۱۹
	(۸,۱,۱)	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	۱,۰۱۷۲	۰,۹۲۵۲	۰,۹۷۱۵
C_{ANFIS}/C_{NNARX}					
افق زمانی	ساختار		R^2	MAD	RMSE
	NNARX	ANFIS			
۲ روز	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss-۳-۱۰۰	۱,۰۰۱۰	۰,۹۷۵۰	۰,۹۷۰۰
	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss2-۳-۱۰۰	۱,۰۰۰۱	۰,۹۸۴۸	۰,۹۷۹۷
	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss-۴-۱۰۰	۱,۰۰۱۵	۰,۹۹۴۶	۰,۹۵۵۶
	۵-۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss2-۴-۱۰۰	۱,۰۰۱۲	۱,۰۰۰۰	۰,۹۷۷۸
۴ روز	۵-۳-۲-۱-۱	gauss-۳-۱۰۰	۱,۰۱۹۵	۰,۸۸۰۲	۰,۹۵۰۰
	۵-۳-۲-۱-۱	gauss2-۳-۱۰۰	۱,۰۱۵۴	۰,۸۸۹۰	۰,۹۶۰۴
	۵-۳-۲-۱-۱	gauss-۴-۱۰۰	۱,۰۱۱۳	۰,۸۹۷۸	۰,۹۶۹۲
	۵-۳-۲-۱-۱	gauss2-۴-۱۰۰	۱,۰۰۷۳	۰,۹۰۶۸	۰,۹۷۸۰
۸ روز	۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss-۳-۱۰۰	۱,۰۲۱۵	۰,۸۰۸۵	۰,۹۵۶۰
	۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss2-۳-۱۰۰	۱,۰۱۷۴	۰,۸۱۶۶	۰,۹۶۴۷
	۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss-۴-۱۰۰	۱,۰۱۳۴	۰,۸۲۴۷	۰,۹۷۳۵
	۵-۴-۳-۲-۱-۱	gauss2-۴-۱۰۰	۱,۰۲۵۶	۰,۸۰۰۵	۰,۹۴۷۴

منبع: نتایج تحقیق

شرط کاراتر بودن یک مدل نسبت به مدل دیگر، بزرگتر از یک بودن کمّیت حاصل از تقسیم R^2، و کوچکتر از یک بودن کمیت حاصل از تقسیم RMSE و MAD یک مدل بر مدل دیگر می‌باشد. بنابراین، بر اساس نتایج جدول ۶، بزرگتر از یک بودن کمیت حاصل از تقسیم R^2 و

کوچکتر از یک بودن کمیت حاصل از تقسیم RMSE و MAD مدل NNARX بر مدل ARIMA بیانگر کارایی بیشتر مدل NNARX نسبت به مدل ARIMA در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار و ریال/یورو در افق‌های زمانی مورد بررسی می‌باشد. هم‌چنین، بزرگتر از یک بودن کمیت حاصل از تقسیم R^2 و کوچکتر از یک بودن کمیت حاصل از تقسیم RMSE و MAD مدل ANFIS بر مدل NNARX بیانگر کارایی بیشتر مدل ANFIS نسبت به مدل NNARX در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار و ریال/یور در افق‌های زمانی مورد بررسی می‌باشد.

نهایتاً مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده نرخ ارز برای ۱، ۴ و ۸ روز آتی، در جدول۷ آورده شده است:

جدول(۷)- مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده نرخ ارز

افق زمانی	مقدار واقعی		پیش‌بینی مدل ANFIS		پیش‌بینی مدل NNARX		پیش‌بینی مدل ARIMA	
	ریال/دلار	ریال/یورو	ریال/دلار	ریال/یورو	ریال/دلار	ریال/یورو	ریال/دلار	ریال/یورو
۲ روز آتی	۱۰۲۴۹	۱۲۹۰۰	۱۰۲۴۷,۸۳	۱۲۸۹۷,۱۴	۱۰۲۴۴,۹۶	۱۲۸۹۵,۹۸	۱۰۲۳۷,۷۹	۱۲۸۸۶,۹۵
۴ روز آتی	۱۰۱۱۸	۱۳۰۰۴	۱۰۱۱۶,۷۶	۱۳۰۰۱,۰۴	۱۰۱۱۳,۹۳	۱۲۹۹۹,۸۷	۱۰۱۰۶,۸۵	۱۲۹۹۰,۷۷
۸ روز آتی	۱۰۱۰۴	۱۲۸۲۵	۱۰۱۰۲,۸۴	۱۲۸۲۱,۹۳	۱۰۱۰۰,۰۱	۱۲۸۲۰,۷۸	۱۰۰۹۲,۹۴	۱۲۸۱۱,۸۰

منبع: نتایج تحقیق

نتیجه‌گیری

در این مطالعه کارایی مدل‌های عصبی- فازیِ ANFIS، شبکه عصبی- خودرگرسیونی NNARX و خودرگرسیونیِ ARIMA در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو برای سه افق زمانی ۲، ۴ و ۸ روز آینده، با استفاده از مهمترین معیارهای ارزیابی مدل‌ها و داده‌های روزانه نرخ ارز مربوط به دوره ۱۳۸۷/۹/۱-۱۳۸۱/۱/۱ مقایسه شد. بر این اساس مهمترین نتایج حاصله عبارتند از:

- هر سه مدل روند مشابهی را برای نرخ‌های ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو پیش‌بینی می‌کنند.

- کمیت حاصل از تقسیم R^2 مدل NNARX بر مدل ARIMA، برای هر یک از افق‌های زمانی مورد بررسی، همواره بزرگتر از یک و حداقل برابر ۱,۰۰۷۰ (مربوط ساختار ۱-۱-۲-۵)

می‌باشد. هم‌چنین کمّیت حاصل از تقسیم RMSE و MAD این مدل بر مدل ARIMA، برای هر یک از افق‌های زمانی مورد بررسی، همواره کوچکتر از یک بوده و حداکثر برابر ۰,۹۹۱۱ (مربوط به ساختار ۱-۱-۲-۵) می‌باشد. بنابراین، مدل NNARX بر مدل ARIMA در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو در افق‌های مورد بررسی برتری دارد.

- کمّیت حاصل از تقسیم R^2 مدل ANFIS بر مدل NNARX، برای هر یک از افق‌های زمانی مورد بررسی، همواره بزرگتر از یک و حداقل برابر ۱,۰۰۰۱ (مربوط ساختار ۱۰۰-۳-gauss2) می‌باشد. هم‌چنین کمیت حاصل از تقسیم RMSE و MAD این مدل بر مدل NNARX، برای هر یک از افق‌های زمانی مورد بررسی، همواره کوچکتر یا مساوی یک بوده و حداکثر به ترتیب برابر ۰,۹۷۹۷ و ۱,۰۰۰ (به ترتیب مربوط به ساختارهای ۱۰۰-۳-gauss2 و ۱۰۰-۴-gauss2) می‌باشد. بنابراین، مدل ANFIS بر مدل NNARX در پیش‌بینی نرخ ارز ریال/دلار آمریکا و ریال/یورو در افق‌های زمانی مورد بررسی برتری دارد.

References

1- Box, G. E. P. and Jenkins, G. M. (1970), **Time Series Analysis: Forecasting and Control,** San Francisco: Holden-Day.
2- Central Bank of Iran's website: http://www.cbi.ir/
3- De Jesús, O., Horn, J.M. and Hagan, M.T. (2001), "**Analysis of Recurrent Network Training and Suggestions for Improvements**", *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*, Washington, DC, July 15–19, 2632–2637.
4- Fahimifard, S. M. (2008), "**The Comparison of Artificial-Neural and Auto-Regressive Models for Forecasting Agricultural Product Price of Iran**", Dissertation for M.Sc Degree in Agricultural Economics Engineering, University of Zabol.
5- Fahimifard, S. M. Homayounifar, M. Salarpour, M. Sabuhi, M., and Shirzady, S. (2009), "**Application of ANFIS to Exchange Rate Forecasting**", *China-USA Business Review*, 8(6): 22-30.
6- Haykin, S. (1994), **Neural Networks A Comprehensive Foundation**. Macmillan, New York.
7- Ince, H. and Trafalis, T. B. (2005), "A **Hybrid Model for Exchange Rate Prediction**", [online] <http://www.sicencedirect.com/> [20 May 2008].
8- Medsker, L.R., and Jain, L.C. (2000), **Recurrent Neural Networks: Design and Applications**, Boca Raton, FL: CRC Press
9- Meese, R. A. and Rogoff, K. (1983), "**Empirical Exchange Rate Models of the Seventies: Do they Fit Out of Sample?**", *Journal of international Economics*, 14: 3–24.

10- Morgan, G. C. (1998), **Fuzzy Logic, Routlendge Encyclopedia of Philosophy**, 3, first edition, Craig, E. Routledge, London.
11- Moshiri, S. and Cameron, N. (2000), "**Neural Network versus Econometric models in forecasting inflation**", *Journal of forecasting*, 19: 201-217.
12- Najafi, B., and Tarazkar, M. (2006), "**Forecasting of Iran's export of pistachio: ANN application**", *Quarterly of Trade Research*, 39: 191-214.
13- Pilbeam, K. (1998), **International .nance** (2nd ed.). Palgrave.
14- Racine, J. S. (2001), "**On the Nonlinear Predictability of Stock Returns Using Financial and Economic Variables**", *Journal of Business and Economic Statistics*, 19(3): 380-382.
15- Rosenblatt, F. (1961), "**Principles of Neurodynamics**", Washington, D.C.: Spartan Press.
16- Roshan, R. (2004), "**Iran's inflation Forecasting Using ARCH, GARCH, ARIMA and ANN Models and the Comparison of Mentioned Models Performance**", Dissertation for M.Sc یegree in Economics, University of Zahedan.
17- Tanaka, K. (1998), **An Introduction to Fuzzy Logic for Practical Applications**, Prantice-Hall International Editions.

Received: 2 Dec 2008
Accepted: 16 Aug 2009