

# بررسی امکان پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بازار سرمایه ایران و مقایسه توان پیش‌بینی مدل -

## های خطی و غیر خطی<sup>۱</sup>

دکتر کریم امامی\*

دکتر قدرت الله امام وردی\*\*

تاریخ پذیرش: ۸۹/۱۰/۲۱

تاریخ ارسال: ۸۹/۶/۱۵

### چکیده

سری‌های زمانی بسیار پیچیده مانند قیمت‌های بازار سهام، معمولاً تصادفی بوده، در نتیجه، تغییرات آنها غیرقابل پیش‌بینی فرض می‌شود. در بیشتر موارد در بررسی مشاهدات آماری مربوط به متغیرهای اقتصادی از جمله قیمت بازار سهام، از آزمون‌هایی استفاده شده است که در مواجهه با داده‌های آشوبی به اشتباه افتاده و آنها را داده‌های تصادفی تشخیص داده‌اند، در حالی که این داده‌ها در واقع، از مقام‌های معینی به وجود می‌آیند که با اختلالاتی جزئی همراه می‌باشند. به همین دلیل آزمون‌های پیش‌بینی‌پذیری و غیرخطی برای بررسی وجود روند آشوبی معین و فرآیندهای غیرخطی در سری زمانی شاخص روزانه سهام بازار اوراق بهادار تهران در بازه زمانی ۱۳۷۹/۸/۱ تا ۱۳۸۶/۷/۲ مورد استفاده قرار داده‌ایم که از جمله می‌توان به آزمون -های BDS، HURST، تسلسل و بعد همبستگی اشاره نمود که نتایج به دست آمده نشان دهنده پیش‌بینی‌پذیری و وجود روند غیرخطی در داده‌های مورد بررسی بوده است. پس از حصول اطمینان از پیش‌بینی‌پذیری و وجود روند غیرخطی در داده‌های شاخص روزانه سهام، جهت ارائه مدل مناسب برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام، مدل‌های سری زمانی خطی (AR) و غیرخطی (GARCH) و شبکه عصبی مصنوعی (ANN) برآورد کرده، سپس، نتایج به دست آمده از پیش‌بینی توسط این مدل‌ها را با استفاده از معیارهای CDC، MAE، RMSE، MAPE و آماره U - THEIL مقایسه قرار داده‌ایم. نتایج به دست آمده از مقایسه توان بیانگر توان بالای پیش‌بینی در مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی نسبت به مدل‌های دیگر است.

**واژگان کلیدی:** پیش‌بینی‌پذیری، آزمون‌های غیرخطی، مدل‌های سری زمانی خطی و غیرخطی، شبکه عصبی مصنوعی، شاخص

قیمت سهام.

طبقه‌بندی JEL: G۱۴، C۱۳، E۱۷، C۲۲.

\* استادیار دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

E-mail: karim\_emami@yahoo.com

\*\* دانش‌آموخته دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

E-mail: ghemamverdi@iauctb.ac.ir

از اواسط دهه ۱۹۷۰ و نیز از سال ۱۹۸۰ کوشش‌های جدید و گسترده‌ای در زمینه پیش‌بینی‌پذیری قیمت‌های سهام با استفاده از روش‌های ریاضی جدید، سری‌های زمانی طولانی و ابزارهای پیشرفته آغاز شد که به ظهور دیدگاه آشوب و پویایی خطی و غیرخطی منجر شد. این نظریه روش قوی و مهمی برای شناسایی ماهیت فرآیندهای اقتصادی و مالی است. به کمک این نظریه ماهیت داده‌های مربوط به یک فرآیند مولد سری‌های زمانی را می‌توان به دست آورد. در سال‌های اخیر، پیشرفت و رشد تکنیکی و استفاده از روش‌های نوین در پیش‌بینی (مانند مدل‌های غیرخطی سری زمانی، شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های فازی) باعث شده است تا چالش‌های دیگری در علم پیش‌بینی ایجاد شود. در مطالعات مختلف انجام‌شده موضوع‌های اقتصادی، مالی و بازرگانی، این روش‌ها نتایج متفاوتی را دربرداشته‌اند. در برخی از پژوهش‌ها که با استفاده از داده‌های سری زمانی یک یا چند متغیره صورت گرفته، روش‌های پیش‌بینی شبکه عصبی پاسخ بهتری داده و با داده‌ها برازش بهتری پیدا نموده است و در برخی دیگر، روش‌های کلاسیک مانند اقتصادسنجی و یا روش‌های هموارسازی نمایی پاسخ‌های بهتری داده‌اند. اما در برخی مدل‌های غیرخطی سری زمانی نیز شاهد برازش بهتر و پیش‌بینی‌های بهتری از داده‌ها هستیم.

در این پژوهش، شاخص روزانه قیمت سهام در بازار بورس تهران متغیر مورد بررسی است که مطالعه‌ای منظم و سیستماتیک بر روی مقوله پیش‌بینی را با استفاده از رویکرد بی‌نظمی و پویایی خطی و غیرخطی انجام خواهیم داد. برای انجام پیش‌بینی، ابتدا لازم است قابلیت پیش‌بینی فرآیند تحت مطالعه، بررسی شود. در صورتی که قابلیت پیش‌بینی و یا پیش‌بینی‌پذیری فرآیند احراز شد، ضمن ارائه الگوی فرآیند، پارامترهای مدل برآورد شده و در نهایت، پیش‌بینی انجام خواهد پذیرفت.

### پرسش اصلی پژوهش (فرضیات پژوهش)

در این پژوهش می‌کوشیم به پرسش‌های زیر پاسخ دهیم:

۱. ساختار سری زمانی شاخص قیمت سهام خطی است یا غیرخطی؟
۲. آیا می‌توان یک پیش‌بینی دقیق و بدون تورش برای شاخص قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران ارائه کرد؟ کدام الگو مناسب‌تر است؟

باتوجه به پرسش‌های اساسی بالا می‌توان فرضیه‌های زیر را مورد آزمون قرار داد:

- فرضیه ۱: رفتار شاخص قیمت سهام در بورس تهران غیرخطی است.
- فرضیه ۲: مدل‌های غیرخطی برای پیش‌بینی رفتار قیمت سهام از توان پیش‌بینی بالایی نسبت به مدل‌های خطی برخوردارند.

### ادبیات پژوهش و مطالعات انجام‌شده

در این قسمت به ادبیات پژوهش، مطالعات انجام‌شده در زمینه پیش‌بینی‌پذیری، غیرخطی‌بودن و مدل‌های غیرخطی می‌پردازیم. بدین منظور ابتدا، آزمون‌های مختلف پیش‌بینی‌پذیری و غیرخطی‌بودن را بیان کرده و انواع مدل‌های غیرخطی مطرح‌شده در ادبیات سری‌های زمانی از جمله مدل‌های سری زمانی خطی و غیرخطی (ضرب پذیر و جمع‌پذیر) معرفی خواهیم کرد.

### آزمون‌های غیرخطی و پیش‌بینی‌پذیری سری‌های زمانی

## آزمون بعد همبستگی

بعد همبستگی با استفاده از متغیری به نام انتگرال همبستگی که توسط گراسبرگر و پروکاشیا<sup>۲</sup> معرفی شد به صورت زیر محاسبه می‌شود. سری ایستای  $X_t, t=1..T$  را در نظر بگیرید. می‌توان  $X_t$  را در یک فضای  $m$  بعدی به صورت زیر تعریف کرد.  $X_t^M = (X_t, X_{t-1}, \dots, X_{t+M-1})$  انتگرال همبستگی از درجه  $m$  همبستگی فضایی بین  $T$  نقاط پراکنده در فضای  $m$  بعدی را اندازه‌گیری می‌کند و از بین آنها بخشی از نقاط دوتایی  $m$  بعدی، یعنی  $(X_t^m, X_s^m)$  را که فاصله‌شان از یکدیگر کمتر از شعاع ثابت باشد، انتخاب می‌کند. بنابراین، انتگرال همبستگی بنابراین به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C_T^m(\varepsilon) = \frac{\sum_{t \in S} (|x_t^m - x_s^m| < \varepsilon)}{T_m(T_m - 1)}$$

که در آن، علامت  $||$  به معنی فاصله اقلیدسی،  $T$  حجم نمونه شامل نقاطی از بردار  $X$ ، و  $T_m = T - m + 1$  هستند. گراسبرگر و پروکاشیا نشان دادند که برای مقادیر کوچک، می‌توان نوشت  $C^M(\varepsilon) = \varepsilon^D$ ، که  $D$  بعد سیستم را نشان می‌دهد. بعد همبستگی با بعد  $M$  عبارت است از:

$$D = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \lim_{t \rightarrow \infty} \{ \ln C^M(\varepsilon) / \ln \varepsilon \}$$

و بعد همبستگی عبارت است از:

$$D = \lim_{M \rightarrow \infty} \ln D^M$$

اگر  $D^M$  محاسبه شده برای یک سری با افزایش  $M$  مدام افزایش یابد، حاکی از این خواهد بود که فرآیند ایجادکننده سری تصادفی است، در غیر این صورت، یعنی اگر  $D^M$  به یک ثابت نسبی برسد، دلالت بر معین بودن سری خواهد داشت. مشکلی که در ارتباط با اندازه‌گیری شاخص‌های یاد شده وجود دارد این است که در حالت‌های با مشاهدات کم، امکان این وجود دارد،  $\varepsilon$  طوری انتخاب شود که عملاً فاصله هیچ دو نقطه‌ای در این دامنه قرار نگیرد. برای رفع این مشکل، براک و سایرین<sup>۳</sup> آماره جدیدی را به شرح زیر معرفی کردند:

$$SC^M = \frac{\{ \ln C^M(\varepsilon_t) - \ln C^M(\varepsilon_{t-1}) \}}{\{ \ln(\varepsilon_t) - \ln(\varepsilon_{t-1}) \}}$$

اگر آماره  $SC$  در مقادیر کم به مقدار ثابتی گرایش پیدا کند، دلالت بر این دارد که سری مورد نظر از یک فرآیند آشوبی پیروی می‌کند.

## آزمون نمای هرست

یک سری زمانی  $X = X_1, \dots, X_n$  را در نظر بگیرید. ابتدا مقیاس داده‌ها به صورت زیر تغییر یافته و یا به عبارتی نرمال می‌شود.

$$Z_r = (x_r - x_m), r=1, \dots, n$$

که در آن،  $x_m$  میانگین سری است. در مرحله بعد سری زمانی جدیدی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$Y_r = (Z_1 + Z_r), r=2, \dots, n$$

از آنجا که میانگین  $Z$  صفر است، آخرین مقدار  $Y$ ،  $(Y_n)$ ، همیشه صفر خواهد بود. دامنه تعدیل شده برابر خواهد بود با:

<sup>۲</sup>. Grassberger & Procaccia, ۱۹۳۸

<sup>۳</sup>. Brock and Sayers, ۱۹۸۸

$$R_n = \max(Y_1, \dots, Y_n) - \min(Y_1, \dots, Y_n)$$

بدیهی است که چون میانگین  $Y$  صفر است، حداکثر آن همیشه بزرگتر یا مساوی صفر و حداقل آن همیشه کوچکتر یا مساوی صفر خواهد بود. بنابراین، دامنه تعدیل شده  $(R_n)$  همیشه غیرمنفی خواهد بود. هرست با استفاده از قاعده نصف در آمار<sup>۴</sup> رابطه زیر را تعریف کرد:

$$(R/S)_n = a \cdot n^H$$

که در آن،  $R$  همان دامنه تجدید مقیاس شده،  $S$  انحراف معیار سری زمانی،  $a$  عدد ثابت،  $n$  تعداد مشاهدات و  $H$  نمای هرست هستند. رابطه بالا را می توان به طور تقریبی به صورت زیر نوشت:

$$\log(R/S)_n = \log a + H \log(n)$$

در عمل، می توان با انجام یک رگرسیون ضریب نمای  $(H)$  هرست را برآورد کرد. طبق نتایج هرست، اگر مقدار نمای هرست برابر با  $0/5$  شد، دلالت بر یک فرآیند مستقل دارد. اگر نمای هرست بین  $0/5$  و  $1$  قرار گرفت، دلالت بر یک سری زمانی دوام دار با حافظه بسیار طولانی دارد. در نهایت، اگر نمای هرست برابر با یک مقدار مثبت ولی کمتر از  $0/5$  شد دلالت بر بی دوام بودن فرآیند دارد. بررسی ها نشان داده اند که بسیاری از سری های موجود در طبیعت و برخی سری های اقتصادی به ویژه در بازار سرمایه تصادفی نبوده دارای حافظه و دوام نسبتاً بلندمدت هستند.

### آزمون BDS

آزمون BDS روشی غیرمستقیم برای آزمون غیرخطی بودن است. این آزمون برای مشخص کردن نبود وابستگی بوده و برای آزمون پسماندهای به دست آمده از ساختارهای غیرخطی که پس از حذف ساختار خطی از داده هایی است که پیشتر فیلتر شده اند. آزمون BDS توسط براک و سایرین<sup>۵</sup> ارائه شد و برای مدلسازی سری های زمانی اقتصاد کلان به کار گرفته شد. (Sayers, Brocle, ۱۹۸۸) و (Peel, Speight, ۱۹۸۸) و BDS آزمونی است که در ساختار احتمالی موجود در یک سری زمانی، انواع وابستگی های را آزمون می کند.

این آزمون بر اساس انتگرال همبستگی گراسبرگر و پروکاشیا<sup>۶</sup> بوده و برای هر نوع ساختار سری زمانی از قبیل تصادفی خطی، تصادفی غیرخطی و یا معین آشوبی قابلیت استفاده دارد. مراحل انجام آزمون به صورت زیر است. فرض کنید  $u_t$  دنباله ای از پسماندها به طول زمانی  $N$  باشد. زیر بردارهایش را به صورت زیر تعریف کنید:

$$u_t^m(u_t, \dots, u_{t-m+1}), t = 1, 2, \dots, N - m + 1$$

باید تمام بردارها، دارای طول یکسانی باشند. وابستگی  $u_t$  با استفاده از انتگرال همبستگی قابل تجزیه و تحلیل است. انتگرال همبستگی معیاری است که فاصله بین نقاط  $u_t^m, u_s^m$  را در یک فضای  $m$  بعدی اندازه گیری می کند. برای هر بعد تعیین شده برای  $m$  و انتخاب حدود اندازه  $\varepsilon$  انتگرال همبستگی  $C(\varepsilon, m, N)$  به صورت کسری از نقاط بسته  $(u_t^m, u_s^m)$  تعریف می شود.

۴. این قاعده بر پایه قاعده انباشتن تعریف شده است. طبق قاعده انباشتن، فاصله ای که یک عنصر تصادفی می پیماید، تابعی است از ریشه دوم زمانی که برای اندازه گیری آن صرف شده است. یعنی  $R = T^{0.5}$  که در آن  $R$  فاصله

پیموده شده و  $T$  شاخص زمان است.

۵. Brock, Dechert, Sheinkman, ۱۹۸۷

۶. Grasberger & Procaccia ۱۹۸۳

$$C(\varepsilon, m, N) = \frac{2}{Nm(T_m - 1)} \sum_{t \neq s} I_\varepsilon(u_t^m, u_s^m)$$

به طوری که  $s, t, T_m = N - m + 1$  از ۱ تا  $N - m + 1$  در مجموع داده شده هستند که به صورت  $t < s$  محدود شده‌اند. تابع  $I_\varepsilon(u_t^m, u_s^m)$  نشان داده شده که اگر  $\|u_t^m - u_s^m\| < \varepsilon$  باشد برابر ۱ است و  $\|\cdot\|$  اندازه حداکثر نرم زیربردار است. حداکثر نرم  $u$

$$\|u\| = \max_{1 < i < m} |u_i| \text{ به صورت زیر تعریف می شود:}$$

براک و سایرین<sup>۶</sup> با در نظر گرفتن همگرایی در توزیع، آماره‌هایی به صورت زیر را ارائه دادند:

$$C(\varepsilon, m, N) - C(\varepsilon, 1, N)^m \sim N(0, \sigma^2(\varepsilon, m)) \text{ (توزیع حدی)}$$

$$\sigma^2(\varepsilon, m) = 4[4k^m + 2 \sum_{j=1}^{M-1} k^{m-j} c^{2j} + (m-1)^2 c^{2m} - m^2 k c^{2m-2}]$$

$c$  و  $K$  با استفاده از  $C(\varepsilon, 1, N)$  به طور سازگاری برآورد می‌شوند.

$$K(\varepsilon, N) = \frac{1}{Nm(T_{m-1})(T_{m-2})} \sum_{t \neq s, t \neq r, r \neq s} I_\varepsilon(u_t^m, u_s^m) I_\varepsilon(u_s^m, u_r^m)$$

و در نهایت، آنها آماره زیر را پیشنهاد دادند:

$$BDS = \frac{T_m^{-\frac{1}{2}} [C(\varepsilon, m, N) - C(\varepsilon, 1, N)^m]}{\sigma(\varepsilon, m)}$$

آماره بیان شده دارای توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و واریانس ۱ بر اساس فرضیه صفر  $H_0$  مبنی بر اینکه  $u_t$  های دارای توزیع یکنواخت و مستقل هستند، می‌باشد.

آزمون در ۴ مرحله قابل انجام است:

۱. انتخاب مقادیر اولیه برای  $\varepsilon, m$ ,

۲. محاسبه BDS.

۳. برای سطح معنادار بودن  $(\alpha)$  انتخاب شده، مقادیر بحرانی برای آزمون فرضیه  $H_0$  مبنی بر نبود وابستگی بر اساس تعداد مشاهدات تقسیم بر بعد  $m$  تعیین می‌شوند.

• اگر  $(N - m + 1)/m > 200$  برای تعیین مقادیر بحرانی  $\tau$  از توزیع نرمال استاندارد استفاده کنید.

• اگر  $(N - m + 1)/m < 200$  از مقادیر بحرانی جدول<sup>۸</sup> استفاده کنید.

۴. اگر  $|BDS(\varepsilon, m, N)| > \tau$  باشد؛ فرضیه  $H_0$  مبنی بر نبود وابستگی را رد نمایید.

اگر فرضیه صفر رد شود، آنگاه فرضیه رقیب گویای وجود وابستگی غیرخطی بوده و برای پاسخ دادن به این پرسش که اگر وابستگی غیرخطی وجود دارد از نوع جمع‌پذیر است یا ضرب‌پذیر و یا ترکیبی از هر دو نوع از آزمون‌های دیگری استفاده می‌شود.

آزمون تسلسل<sup>۹</sup>

<sup>۶</sup>. Brock, Dechert, Sheinkman, ۱۹۸۷

<sup>۸</sup>. Brock, Lebaron, Hsieh, ۱۹۹۱

<sup>۹</sup>. Runs Test

آزمون تسلسل که به آن آزمون گیری<sup>۱۰</sup> نیز گفته می‌شود، یک آزمون ناپارامتری است که به موجب آن تعداد سلسله بازدهی‌های مثبت و منفی متوالی متغیر مورد بررسی فهرست شده و در مقابل، فرضیه تصادفی بودن توزیع نمونه مورد آزمون و مقایسه قرار می‌گیرد.<sup>۱۱</sup>

آزمون‌های دیگری نیز در ادبیات بررسی پیش‌بینی‌پذیری و غیرخطی بودن سری‌های زمانی مطرح شده‌اند که عبارتند از: آزمون توان لیاپانوف<sup>۱۲</sup>، آزمون پایداری یا آنتروپی کولموگروف<sup>۱۳</sup>، آزمون شبکه‌های عصبی مصنوعی<sup>۱۴</sup>، آزمون دو طیفی‌های نیچ، آزمون LST<sup>۱۵</sup>، آزمون مک لئود-لای<sup>۱۶</sup>، آزمون هسی<sup>۱۷</sup>، آزمون TLG<sup>۱۸</sup>، آزمون انگل<sup>۱۹</sup>، آزمون LM انگل<sup>۲۰</sup>، آزمون تسای<sup>۲۱</sup>، آزمون وایت<sup>۲۲</sup>، آزمون کاپلان<sup>۲۳</sup>.

#### مدل‌های سری زمانی غیرخطی

هسی<sup>۲۴</sup> مدل‌های غیرخطی را به سه گروه تقسیم نمود.

- گروه ۱. مدل‌های غیرخطی جمع‌پذیر: که غیرخطی در میانگین نامیده می‌شود و وابستگی غیرخطی از طریق میانگین یا ارزش انتظاری وارد فرآیند شده و هر جزء از فرآیند می‌تواند به صورت مجموع میانگین عناصر تصادفی، تابعی غیرخطی از اجزای گذشته بیان شود. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل میانگین متحرک غیرخطی، مدل اتورگرسیو ترکیبی<sup>۲۵</sup> (Mix AR)، مدل فرآیند تبدیل مارکف<sup>۲۶</sup>، مدل اتورگرسیو آستانه‌ای<sup>۲۷</sup> (TAR)، مدل اتورگرسیو با انتقال هموار<sup>۲۸</sup> (STAR)، مدل اتورگرسیو نمایی غیرمنفی (NEAR)<sup>۲۹</sup>، مدل خطی دو متغیره<sup>۳۰</sup> (BL)، مدل حالت - وابسته (SDM)<sup>۳۱</sup>، مدل SETAR<sup>۳۲</sup>، مدل ARasMA<sup>۳۳</sup>، مدل NCSTAR<sup>۳۴</sup> و... اشاره نمود.

<sup>۱۰</sup>. Geary Test

<sup>۱۱</sup>. Campbell et al. ۱۹۹۷; Gujarati ۲۰۰۳

<sup>۱۲</sup>. Lyapunov Exponent

<sup>۱۳</sup>. Kolmogorov Entropy

<sup>۱۴</sup>. Artificial Neural Network Test

<sup>۱۵</sup>. Lukkonen – Saikkonen –Träsvirta Test

<sup>۱۶</sup>. The Macleod-Li Test

<sup>۱۷</sup>. The Hesieh Test

<sup>۱۸</sup>. Teräsvirta-Lin-Granger Test

<sup>۱۹</sup>. The Engle Test

<sup>۲۰</sup>. The Engle LM Test

<sup>۲۱</sup>. The Tsay Test

<sup>۲۲</sup>. The White Test

<sup>۲۳</sup>. The Caplan Test

<sup>۲۴</sup>. Hesieh , ۱۹۹۳

<sup>۲۵</sup>. Mixed AR

<sup>۲۶</sup>.Markov Switching Process Model

<sup>۲۷</sup>.Threshold AR

<sup>۲۸</sup>. Smooth Transition AR

<sup>۲۹</sup>. Nonnegative Exponential Autoregressive Model

<sup>۳۰</sup>. Bilinear

- **گروه ۲. مدل‌های غیرخطی ضرب‌پذیر:** یا غیرخطی در واریانس که هر جزء فرآیند می‌تواند به صورت حاصل‌ضربی از میانگین عنصر تصادفی و تابعی غیرخطی از عناصر گذشته فرآیند بیان شود. در این فرآیندها، وابستگی غیرخطی ناشی از واریانس است. از جمله این مدل‌ها می‌توان به خانواده مدل‌های ARCH (مدل تعمیم‌یافته اتورگرسیو انباشته با واریانس شرطی ناهمسان، مدل نمایی GARCH، مدل نامتقارن ARCH، مدل آستانه‌ای (مرزی) ARCH یا TARCH، مدل GARCH با هم‌انباشتگی جزئی، مدل PARARCH و مدل CGARCH، اشاره نمود.
- **گروه ۳. مدل‌های غیرخطی با وابستگی‌های مرکب:** که ترکیبی از دو حالت یاد شده است. در این مدل‌های غیرخطی بودن هم از طریق میانگین و هم از طریق واریانس وارد فرآیند می‌شود. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های ARCH-in-Mean و GARCH-in-Mean اشاره کرد.

#### مطالعات انجام شده

**آزمون‌های غیرخطی:** آنتونیو آفونسو و جوا تیک سیرا<sup>۳۵</sup> وجود وابستگی غیرخطی در سری‌های زمانی مالی پرتغال به نام بازدهی شاخص‌های سهام را مورد بررسی قرار داده و با استفاده از مشاهدات روزانه برای دوره ۱۹۹۰-۱۹۹۷، آزمون‌های غیرخطی تسای، انگل، نمای لیپانوف، BDS، های نیچ به منظور تصمیم‌گیری روی این فرضیه که آیا می‌توان فرضیه کارایی ضعیف را پذیرفت، انجام دادند. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد که ساختار غیرخطی در داده‌ها وجود دارد و احتمال دارد که فرصت‌های کسب سود اضافی در بازار سهام پرتغال وجود داشته باشد.

**کیان-پینگ لیم و کیم-سن لیو**<sup>۳۶</sup> با تمرکز بر روی ارزش خارجی و بازارهای سرمایه تلاش می‌کنند تا به طور دقیق اختلاف زیاد موجود در ادبیات اقتصادی کشورهای ASEAN را بررسی کنند. نتیجه پژوهش‌های اقتصادسنجی نشان می‌دهد که آزمون دو طیفی‌های نیچ به شدت از وجود وابستگی غیرخطی در تمام نرخ‌های ارزش و سری‌های بازدهی سهام کشورهای ASEAN حمایت می‌کند. افزون بر این به کارگیری آزمون LST نتیجه‌گیری را مبنی بر اینکه اطلاعات‌های زمانی مالی ASEAN نشان‌دهنده وابستگی‌های غیرخطی هستند، مورد تأیید قرار می‌دهد. اتحادیه کشورهای آسیای جنوب شرقی (ASEAN)<sup>۳۷</sup> شامل برونئی، دارالسلام، کامبوج، اندونزی، لائوس، مالزی، میانمار، فیلیپین، سنگاپور، تایلند و ویتنام است. **ولف کانگ کولر و مانفرد، ام‌فیشر**<sup>۳۸</sup> آزمون‌های BDS، مک لئودلای، آزمون هسی، TLG در مورد داده‌های نرخ بیکاری اتریش مورد بررسی قرار دادند. نتایج به دست آمده بیانگر غیرخطی بودن فرآیند داده‌های نرخ بیکاری در اتریش است. **دیوید چاپل و و تئودور پانگوتیدیس**<sup>۳۹</sup> از آزمون‌های مختلفی استفاده نمودند که نشان می‌داد پسماندهای استاندارد شده مدل GRACH متناسب به شاخص سهام آتن دارای رفتار تصادفی (به صورت مستقل و یکنواخت IID توزیع شده‌اند) هستند. برای بررسی این نکته، جملات پسماند استاندارد شده که از مدل‌های

۲. State- Dependent models

۳. Self-Exciting Threshold Autoregressive Models

۴. Autoregressive Asymmetric Moving Average

۵. Neuro -Coefficient Smooth Transition Autoregressive Model

<sup>۳۵</sup>. Antonio Afonso & João Teixeira, ۱۹۹۸

<sup>۳۶</sup>. Kian – Ping Lim & Khim – Sen Liew, ۲۰۰۳

۱. Association of south east Asian Nations

<sup>۳۸</sup>. Wolfgang Koller & Manfred M. Fisher ۲۰۰۱

<sup>۳۹</sup>. Chappell & Panagiotidis, ۲۰۰۳

GARCH برآورد شده توسط پاناگیوتیدیس<sup>۴۰</sup> به دست آمده‌اند، مورد آزمون قرار گرفته و بعد همبستگی بر اساس ابعاد محاط شده، محاسبه شده است. نتایج به دست آمده تصادفی بودن سری‌های مورد بررسی را تأیید می‌کند. تتودور پاناگیوتیدیس<sup>۴۱</sup> فرض خطی بودن را با استفاده از ۵ آماره در مورد نرخ بیکاری در ایالات متحده و کانادا مورد آزمون قرار دادند. شواهد قوی در مورد غیرخطی بودن نرخ بیکاری در کانادا به دست آمده ولی نتایج در مورد ایالات متحده چندان روشن نبوده است. سعید مشیری، نوروز کوهزادی و نورمن کمرون وجود وابستگی غیرخطی تصادفی را در سری زمانی کل کالای مصرفی (بی‌دوام) و خدمات با استفاده از داده‌های ایالات متحده و کانادا را مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها از دو آزمون اصلی با عنوان آزمون BDS و مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN) استفاده کردند. نتایج به دست آمده فرضیه مبنی بر نبود وابستگی غیرخطی در داده‌ها را مورد تأیید قرار می‌دهد. حمید ابریشمی، علی امینی و مهدی احاراری به بررسی وجود آشوب در سری زمانی قیمت‌های آتی نفت (۱۹۹۶-۱۹۹۹) پرداخته‌اند. بدین منظور از دو روش عمومی و کاربردی برآورد بعد همبستگی (CD) و بزرگترین نمای لیاپانوف (LLE) برای اثبات وجود آشوب و از تحلیل R/S یا نمای هرست (HE) برای تشخیص غیرتصادفی بودن سری استفاده نموده و به آزمون فرضیه غیرتصادفی و غیرخطی بودن ساختار سری زمانی قیمت‌های آتی نفت پرداخته‌اند. بر اساس آزمون‌های انجام شده نشان دادند که سری زمانی قیمت‌های آتی نفت (۱۹۹۶-۱۹۹۹) دارای ساختار آشوبی ضعیف و معین است و نتیجه می‌گیرند که می‌توان یک مدل غیرخطی پویا را به منظور تعیین رفتار و پیش‌بینی دقیق قیمت‌های آتی نفت در کوتاه‌مدت ارائه نمود. مورات جینکو<sup>۴۲</sup> شاخص سهام بورس ترکیه را مورد بررسی قرار می‌دهد. در این مطالعه وجود وابستگی خطی در سری بازدهی سهام ISE با استفاده از آزمون BDS رد می‌شود. با استفاده از آزمون NEGM شواهدی از وجود رفتار آشوبی در سری به دست نمی‌آید. افزون بر این، با استفاده از آزمون‌های نیچ وجود وابستگی غیرخطی گشتاور مرتبه سوم رد شده و نتیجه کلی اینکه شواهد کافی برای وجود وابستگی غیرخطی در سری بازدهی روزانه سهام ISE به دست می‌آید؛ اما شکل غیرخطی بودن می‌تواند به هر شکلی حالت غیرخطی گشتاور مرتبه سوم و آشوبی باشد. مورات جینکو و بوراک سالتولو<sup>۴۳</sup> وجود وابستگی غیرخطی و آشوب در نرخ بازدهی روزانه طلا در بازار طلای ترکیه، با استفاده از داده‌های روزانه بین ۱/۸/۱۹۹۵ و ۳۰/۵/۲۰۰۰ (۱۹۹۴ مشاهده) مورد بررسی قرار داده‌اند. در پژوهش آنها ۵ آزمون که عبارتند از آزمون دو طیفی توسط های نیچ<sup>۴۴</sup>، آزمون BDS توسط بروک و سایرین<sup>۴۵</sup>، برآورد نمای لیاپانوف توسط نیچکاو سایرین<sup>۴۶</sup>، آزمون شبکه عصبی توسط لی و سایرین<sup>۴۷</sup> و در نهایت، آزمون کاپلان<sup>۴۸</sup> ارائه شده است. نتایج نشان‌دهنده شواهد کافی برای وجود وابستگی غیرخطی در بازدهی‌های روزانه طلا در ترکیه است، اما شکل وابستگی غیرخطی با استفاده از آزمون‌های موجود قابل تشخیص نیست. با این وجود، تشخیص آشوب یا سایر اشکال غیرخطی بودن ساده نبوده و نیاز به اطلاعات زیادی است.

<sup>۴۰</sup>. Panagiotidis , ۲۰۰۳

<sup>۴۱</sup>. Panagiotidis, ۲۰۰۲

<sup>۴۲</sup>. Murat Ginko , ۲۰۰۱

<sup>۴۳</sup>. Murat Ginko & Burak saltođlu , ۲۰۰۰

<sup>۴۴</sup>. Hinich, ۱۹۸۲

<sup>۴۵</sup>. Brock et al, ۱۹۹۶

<sup>۴۶</sup>. Nichka et al, ۱۹۹۳

<sup>۴۷</sup>. Lee et al, ۱۹۹۳

<sup>۴۸</sup>. Kaplan, ۱۹۹۴



## برآورد مدل‌های غیرخطی

رودریگو، اف، آراند/ویار تیسویو جارا مایلو<sup>۴۹</sup> با استفاده از نمونه‌های از داده‌های روزانه بازار سهام سانتیاگو، روابط تجربی میان بازدهی سهام و حجم مبادلات را مورد بررسی قرار داده و ضمن برآورد مدل اتورگرسیو با تابع انتقال هموار (STAR)، این مدل را در مقابل مدل خطی مورد آزمایش قرار داد. نتایج به دست آمده به وجود الگوهای غیرخطی در هر دو متغیر و نیز شواهدی مبنی بر وجود رابطه علت دو سویه دلالت دارد. در پژوهش هال، اسکالین و تراسوایرتا<sup>۵۰</sup> مدلی برای شاخص گردباد جنوبی (SOI)<sup>۵۱</sup> برآورد شده است. شاخص SOI، شاخصی برای اندازه‌گیری پدیده ال نینو<sup>۵۲</sup> است. مدل LSTAR مدل اتورگرسیو با تابع انتقال هموار لجستیک وجود دوره‌های مغشوش در داده‌ها (پدیده ال نینو) را خیلی بهتر از مدل اتورگرسیو خطی نشان می‌دهد. هر چند تابع واکنش تعمیم یافته<sup>۵۳</sup> بیانگر ناپایداری ناحیه‌ای می‌باشد ولی مدل غیرخطی برای پیش‌بینی پدیده ال نینو ناشی از گردباد جنوبی برای چند ماه آتی مناسب است. اولان، تی، هنری، نیلس آلکانس و جانان تونگ<sup>۵۴</sup> در پی پاسخگویی به این پرسش بودند که آیا بازدهی سهام می‌تواند تغییرات تولید را پیش‌بینی کند؟ مطالعات تجربی اخیر یک رابطه قابل پیش‌بینی میان بازدهی سهام و رشد تولید ارائه داده‌اند. یافته‌های آنها نشان‌دهنده شواهدی قوی مبنی بر غلط بودن تصریح مدل به صورت خطی است و به صورت بالقوه استنباط غلطی را به دنبال خواهد داشت. آکی توئو آیتو<sup>۵۵</sup> در پژوهش خود دو دسته از مدل‌های غیرخطی، SETAR و ARASMA مورد بررسی قرار داده است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی انجام‌شده نشان می‌دهد که مدل SETAR توضیح منطقی‌تری از میانگین بازدهی‌ها براساس قاعده میانگین متحرک نسبت به سایر مدل‌ها ارائه می‌دهد. به همین ترتیب، نتایج نشان می‌دهد که هیچ کدام از چهار مدل مفروض (براساس فرضیه صفر) قادر به توضیح انحراف از استاندارد بازدهی‌ها براساس قاعده میانگین متحرک نمی‌باشد. سعید مشیری و لورا براون<sup>۵۶</sup> دو مدل شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و شبکه عصبی پس انتشار (BPN) و مدل شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN) را برای برآورد و پیش‌بینی نرخ‌های کلی بیکاری پس از جنگ جهانی را در ایالات متحده آمریکا و کانادا مورد استفاده قرار می‌دهند. نتایج به دست آمده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی که از مدل‌های خطی و غیرخطی سری زمانی به دست آمده‌اند و مشاهدات خارج از نمونه مورد مقایسه قرار گرفته‌است. یافته‌های پژوهش آنها نشان می‌دهد که مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی بهتر از مدل‌های تک متغیره اقتصادسنجی و سری زمانی (ARMA) قادر به پیش‌بینی نرخ‌های بیکاری هستند. سعید مشیری و محمدرضا قدیمی (۱۳۸۱) کارایی یک مدل شبکه عصبی با یک مدل خطی رگرسیون برای پیش‌بینی نرخ رشد اقتصادی در ایران مقایسه می‌نمایند. برای این منظور ابتدا یک مدل رگرسیون رشد برای دوره ۱۳۱۵-۱۳۷۳ را برآورد کرده و سپس، با همان مجموعه متغیرهای ورودی (رگرسورها) یک مدل شبکه عصبی طراحی و تخمین زده می‌شود. پس از آن کارایی دو مدل در زمینه پیش‌بینی نرخ رشد اقتصادی در ایران در دوره ۱۳۷۴-۱۳۸۰ با استفاده از معیارهای مرسوم ارزیابی مدل‌های رقیب،

۴۹. Rodrigo F.Aranda & Particio Jaramillo, ۲۰۰۳

۵۰. A.D Hall, J.Skalin and T.Teräsvirta, ۱۹۹۸

۵۱. Southern Oscillation Inelea(SOL)

۵۲. EL Nino

۵۳. Generali zed Impulse Response

۵۴. Olan T.Henry, Nilss Olekalns, and Jonathan Thong

۵۵. Akitoshi Ito, ۲۰۰۲

۵۶. Saeed Moshiri & Laura Broun, ۱۳۸۱

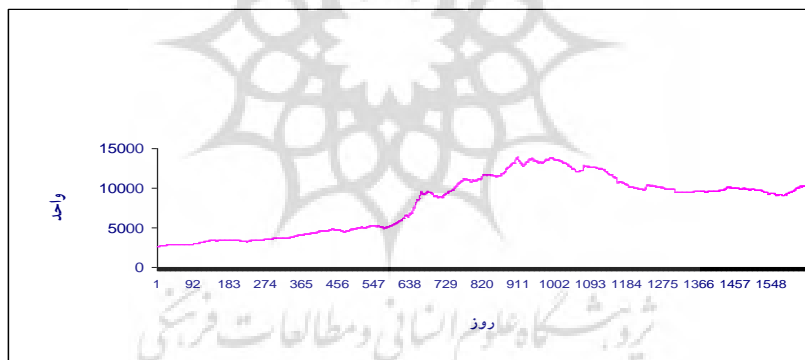
مقایسه می‌شوند. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که مدل شبکه عصبی برای پیش‌بینی نرخ رشد اقتصادی در ایران از کارایی به مراتب بالاتری برخوردار است.

### مشاهدات آماری مربوط به شاخص قیمت سهام

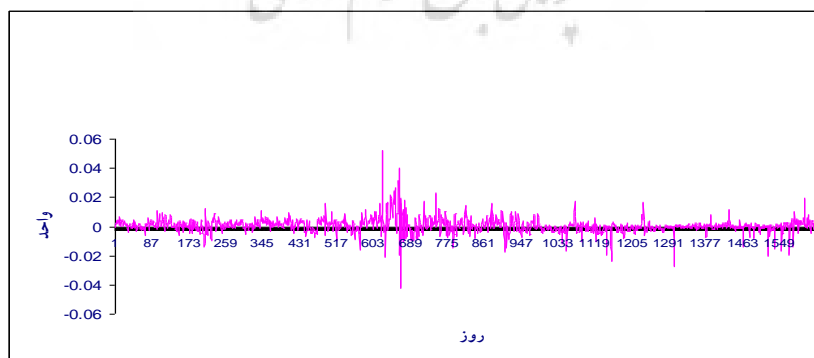
خلاصه آمارهای شاخص روزانه و نرخ رشد شاخص روزانه قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران

شرح	شاخص روزانه	رشد شاخص روزانه
میانگین	۹۶۰۴/۸۲۴	۰/۰۰۱۲۸۳
میانه	۹۴۴۹/۰۰۰	۰/۰۰۱۹۴۰
حداکثر	۱۰۳۷۸/۰۰	۰/۰۱۹۴۷۴
حداقل	۹۰۶۶/۰۰۰	-۰/۰۱۹۴۶۸
انحراف معیار	۴۵۵/۷۸۸۷	۰/۰۰۴۸۲۱
تقارن	۰/۴۳۱۴۴۰	-۱/۲۲۰۰۵۵
کشیدگی	۰/۵۸۷۶۷۵	۱۰/۵۹۱۹۲
آماره یارکو بر (JB)	۰/۷۰۱۴۱۷	۲۲۵/۲۱۹۴
دوره زمانی	۱۳۷۹/۸/۱	۱۳۸۶/۷/۲
تعداد مشاهدات	۱۶۳۴	۱۶۳۳

نمودار شاخص قیمت روزانه سهام بورس اوراق بهادار تهران در دوره ۱۳۷۹/۸/۱ تا ۱۳۸۶/۷/۲



نمودار نرخ رشد شاخص قیمت روزانه سهام بورس اوراق بهادار تهران در دوره ۱۳۷۹/۸/۱ تا ۱۳۸۶/۷/۲



آزمون‌های پیش‌بینی پذیری و غیرخطی بودن شاخص قیمت سهام در بورس تهران

در این پژوهش برای بررسی پیش‌بینی پذیری، وجود آشوب و فرآیندهای غیرخطی در بازار بورس اوراق بهادار تهران از شاخص کل قیمت سهام تهران (TEPIX) در بازه زمانی ۱۳۷۹/۸/۱ تا ۱۳۸۶/۷/۲ استفاده می‌کنیم. بنابراین، حجم نمونه مورد استفاده ۱۶۳۴ مشاهده برای شاخص قیمت سهام در بورس تهران است.

### نتایج آزمون آزمون تسلسل

دوره زمانی	تعداد تغییرات مثبت (N <sub>1</sub> )	تعداد تغییرات منفی (N <sub>2</sub> )	تعداد سلسله‌های مشاهده شده (n)	آماره آزمون (t)
۱۳۷۹/۸/۱ تا ۱۳۸۶/۷/۲	۱۰۰۵	۶۲۸	۴۸۷	۴۰/۴۷

$$E(n) = 773/98 \quad \text{VAR}(n) = 365/64$$

بنابراین، فاصله اعتماد برای n در سطح تشخیص ۵ درصد بصورت زیر خواهد بود.

$$(736/50 < n < 811/46)$$

با توجه به اینکه n=۴۸۷ (تعداد سلسله‌های واقعی) در محدوده به دست آمده، قرار نگرفته است، لذا فرضیه صفر مبنی بر تصادفی بودن بازدهی‌های قیمت سهام رد شده و وجود خودهمبستگی سریالی (قابلیت پیش‌بینی پذیری) در شاخص قیمت سهام مورد تأیید قرار می‌گیرد.

**نتایج آزمون نمای هرست:** نتایج حاصل از رگرسیون مدل R/S برای شاخص روزانه قیمت سهام به ازای N=۳,۴,۵,... به صورت زیر است:

$$\text{Log}(R/S) = 0.194 + 0.1896 \text{Log}(N)$$

$$R^2 = 0.98 \quad (\text{انحراف معیار} = 0.0047) \quad (0.0109)$$

مقدار H= 0.1896 نشان‌دهنده ماهیت غیرتصادفی یا به عبارت دیگر، پیش‌بینی‌پذیری شاخص روزانه قیمت سهام است.

آزمون Wald برای بررسی فرضیه صفر مبنی بر تصادفی بودن شاخص روزانه قیمت سهام ( $H_0 = 0/5$ ) انجام شده که نتیجه بیانگر رد فرضیه صفر و یا غیرتصادفی بودن (پیش‌بینی پذیری) شاخص روزانه قیمت سهام است.

Wald Test:

Null Hypothesis:

$$C(2) = 0.5$$

F-statistic

$$6898.134$$

Probability

•

Chi-square

$$6898.134$$

Probability

•

همچنین، با استفاده از H می‌توان اثر حافظه بلندمدت در سری زمانی شاخص روزانه قیمت سهام را محاسبه نمود. میانگین

حافظه بلندمدت در بررسی شاخص روزانه قیمت سهام برابر است با:

$$N^H = (500)^{0.896} \approx 252$$

بنابراین، پیش‌بینی با افق زمانی بیش از ۲۵۲ روز غیرممکن و تنها در کوتاه‌مدت امکان‌پذیر است.

**نتایج آزمون BDS:** ابتدا از داده‌های مربوط به بازده‌های روزانه بازار سهام و نرم‌افزار BDS استفاده کرده تا امکان وجود روند آشوبی در این سری‌های زمانی بررسی شود. برای این کار لازم بود تا در ابتدا میزان  $\varepsilon$  و  $m$  برای محاسبه  $c_1$  و  $c_m$  و  $k$  که همگی برای محاسبه آماره BDS مورد نیاز هستند، تعیین شوند. ابتدا بنا به پیشنهاد متن راهنمای نرم‌افزار  $\varepsilon$  برابر ضریبی از نسبت SD/spread (که  $\varepsilon$  را با انحراف معیار داده‌ها مرتبط می‌سازد) در نظر گرفتیم و برای  $m$  های مختلف آماره BDS را محاسبه کردیم.

نتایج آزمون BDS برای داده‌های شاخص روزانه TEPIX

$m \backslash \varepsilon$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۵
$0.15 * sd$	۸/۹۰۱۶	۱۱/۸۲۲	۱۲/۷۴۲	۱۲/۹۹۶	۱۳/۰۲۸	۱۲/۹۲۵	۱۲/۷۸۳	۱۲/۴۲۹
$1 * sd$	۹/۹۹۷۹	۱۴/۸۶۲	۱۷/۲۰۷	۱۸/۳۱۸	۱۸/۸۲۴	۱۹/۰۳۴	۱۹/۰۶۴	۱۸/۷۶۷
$1.5 * sd$	۹/۳۴۴۶	۱۵/۲۳۱	۱۸/۹۲۶	۲۱/۲۴	۲۲/۶۸۳	۲۳/۵۷۶	۲۴/۶۴۵	۲۴/۷۹۵
$2 * sd$	۵/۸۰۲۳	۱۰/۵۸	۱۴/۵۱	۱۷/۷۴۱	۲۰/۳۹۴	۲۲/۵۷۳	۲۷/۰۲۱	۳۰/۴۰۴

در این جدول،  $m$  بعد محاط  $\varepsilon$  حداکثر فاصله بین دو نقطه در فضای فازی و  $sd$  انحراف معیار نمونه است که مقدار این شاخص برای شاخص روزانه بورس اوراق بهادار تهران (TEPIX) برابر ۰/۲۵۵۵ است. همان‌طور که بیشتر اشاره شد، اگر آماره BDS یک عدد بزرگ معنادار باشد، نشان دهنده وجود مدل غیرخطی در متغیر است. اگر BDS نزدیک صفر باشد فرآیند کاملاً تصادفی است. از آن‌جا که اگر  $BDS > 0$  باشد نشان دهنده غیرخطی بودن فرآیند است، لذا در سطح معنادار بودن ۹۵ درصد نقطه بحرانی ۱/۶۴۵ توزیع نرمال استاندارد ملاک قضاوت خواهد بود. بنابراین، فرآیند مولد داده‌ها احتمالاً از فرآیند غیرخطی تبعیت می‌کند. در جدول زیر برای  $\varepsilon$  های مختلف (بدون توجه به توصیه نرم‌افزار) آماره BDS را محاسبه کرده‌ایم.

نتایج آزمون BDS برای  $\varepsilon$  ها و  $m$  های مختلف

$m \backslash \varepsilon$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۵
۰/۵	۶/۱۵۱۴	۱۱/۱۳۲	۱۵/۱۵۹	۱۸/۴۱۳	۲۱/۰۴	۲۳/۱۶۱	۲۷/۳۵۲	۳۰/۳۲۳
۰/۲۵	۹/۹۹۴	۱۴/۷۹۴	۱۷/۰۷۷	۱۸/۱۴۳	۱۸/۶۲	۱۸/۸۱۵	۱۸/۸۳۱	۱۸/۵۳۶
۰/۱	۸/۱۵۶۱	۱۰/۴۲۵	۱۱/۰۱	۱۱/۱۱۷	۱۱/۰۹۱	۱۱/۰۲۹	۱۰/۸۱۴	۱۰/۴۷۱
۰/۰۵	۵/۹۲۱۶	۶/۹۰۴۶	۶/۹۸۶۳	۶/۹۱	۶/۸۰۹۶	۶/۷۰۸۴	۶/۴۱۹۹	۵/۹۷۷۴
۰/۰۱	۱/۶۱۷۷	۱/۵۴۷۲	۱/۴۱۸۲	۱/۳۰۸۱	۱/۲۱۱۳	۱/۱۲۸۹	-۰/۹۲۷۹۴	-۰/۷۱۸۱۱
۰/۰۰۵	-۰/۸۳۵۳۴	-۰/۷۲۵۸۵۳	-۰/۶۲۴۶۱	-۰/۵۴۴۵	-۰/۴۸۰۰۸	-۰/۴۲۷۹۶	-۰/۳۱۹۷۵	-۰/۲۲۳۳۵

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، اعداد جدول بالا نشان‌دهنده روند غیرخطی قوی در این داده‌هاست و به احتمال بالا به دلیل رد وجود روند خطی امکان وجود روند آشوبی نیز در این متغیرها محتمل به نظر می‌رسد که نیاز به آزمون‌های کمکی باشد.

نتایج آزمون بعد همبستگی (CD)

جدول آماره  $d_m$  برای  $m$  های مختلف ( $sd = 0.2555$ )

$\varepsilon \backslash m$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۵
$0.5 * sd$	-0.53514	-0.53856	-0.54173	-0.5447	-0.54754	-0.55299	-0.55826	-0.57119
$1 * sd$	-0.52614	-0.52928	-0.53221	-0.53498	-0.53767	-0.54031	-0.54376	-0.55934
$1.5 * sd$	-0.48342	-0.48535	-0.48713	-0.4888	-0.49042	-0.492	-0.49651	-0.50377
$2 * sd$	-0.29067	-0.29279	-0.29476	-0.29664	-0.29845	-0.30022	-0.30529	-0.31367

\* با افزایش  $m$  تا حدود ۷۸۰ این عدد تا ۱/۵۶ افزایش می‌یابد.

\* با افزایش  $m$  تا حدود ۱۰۰۰ این عدد تا ۱/۴۶ افزایش می‌یابد.

همچنین، آماره  $d_m$  برای  $\varepsilon$  ها و  $m$  های مختلفی محاسبه شده که به صورت جدول زیر است:



جدول آماره  $d_m$  برای  $\varepsilon$  ها و  $m$  های مختلف

$\varepsilon \backslash m$	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۱۰	۱۵
۰/۵	۰/۳۰۶۵	۰/۳۰۸۸	۰/۳۱۰۹	۰/۳۱۲۸۷	۰/۳۱۴۷۴	۰/۳۱۶۵۳	۰/۳۲۱۵۸	۰/۳۲۹۷۲
۰/۲۵	۰/۵۲۶۶۷	۰/۵۲۹۸۵	۰/۵۳۲۸۲	۰/۵۳۵۶۹۳	۰/۵۳۸۳۴	۰/۵۴۰۹۳	۰/۵۴۸۱۶	۰/۵۵۹۵۳
۰/۱	۰/۵۴۶۶۸	۰/۵۵۰۴۴	۰/۵۵۳۹۲	۰/۵۵۷۱۹	۰/۵۶۰۲۶	۰/۵۶۳۱۸	۰/۵۷۱۵۸	۰/۵۸۴۹
۰/۰۵	۰/۵۷۱۵۴	۰/۵۷۷۷۹	۰/۵۸۳۵۵	۰/۵۸۸۹۲	۰/۵۹۴۰۵	۰/۵۹۹	۰/۶۱۳۳۹	۰/۶۳۶۷۱
۰/۰۱	۰/۶۸۷۱۹	۰/۷۰۷۸۸	۰/۷۲۷۲۸	۰/۷۴۴۸	۰/۷۶۱۱	۰/۷۷۶۶۶	۰/۸۱۹۰۲	۰/۸۷۴۳۵
۰/۰۰۵	۰/۷۲۵۹۹	۰/۷۵۸۴۵	۰/۷۸۶۹۳	۰/۸۱۲۷۸	۰/۸۳۶۴۹	۰/۸۵۸۱۲	۰/۹۱۲۹۶	۰/۹۸۰۳۹

همان طور که ملاحظه می شود  $d_m$  در  $sd = ۵ \cdot \varepsilon$  و افزایش  $m$  به سمت عدد  $۱/۵۶$  گرایش پیدا می کند و همچنین در  $sd = ۱ = \varepsilon$  با افزایش  $m$  به سمت عدد  $۱/۴۶$  گرایش دارد که نشان دهنده تعیین پذیری سیستم با درجه بالایی از اطمینان بوده و با توجه به اینکه بعد محاسبه شده کسری است احتمالاً سیستم آشوبی خواهد بود.

بنابراین، بر اساس نتایج محاسبه بعد همبستگی می توان گفت که شاخص روزانه قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی مورد مطالعه دارای ساختار آشوب معین و غیر تصادفی است.

### ارائه مدل های پیش بینی قیمت سهام

#### مدلهای سری زمانی

طبق رویکرد مدل های سری زمانی یک متغیره شاخص قیمت سهام بورس را می توان تنها تابعی از مقادیر گذشته خود در نظر گرفت. به بیان دیگر، مقادیر شاخص قیمت سهام بورس در دوره های قبل حاوی تمام اطلاعات لازم مربوط به عوامل تعیین کننده شاخص قیمت بوده، و لذا توانایی توضیح دهندگی شاخص در دوره جاری را داشته و مقادیر آن را پیش بینی می نمایند. اما نکته مهم تعیین طول وقفه مناسب در این مدل هاست که در این کار از روش باکس - جنکینز استفاده شده است. در این روش، طول وقفه ها و ساختار مدل مورد استفاده براساس توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تعیین می شوند.

نکته مهم در مدل های سری زمانی، آزمون ایستایی سری های زمانی مورد استفاده است؛ چرا که در صورت نایستایی، نتایج به دست آمده از مدل و به ویژه نتایج مربوط به استنباط آماری، معتبر نخواهند بود. لذا پیش از برآورد مدل ابتدا متغیرهای مورد بررسی برای بررسی ایستایی آزمون می شوند. در این پژوهش از آزمون دیکی - فولر تعمیم یافته برای بررسی این مسأله استفاده کرده ایم که نتایج آزمون به صورت زیر است.

آزمون دیکی - فولر تعمیم یافته برای شاخص روزانه و رشد شاخص روزانه بورس

متغیر مورد بررسی	آماره آزمون ADF	مقادیر بحرانی مک کنیون	سطح معنی دار بودن
TEPIX	-۱/۵۲۹	-۳/۴۳۷۳	٪۱

		-۲/۸۶۳۸	%۵
		-۲/۵۶۸۰	%۱۰
$Y = \frac{TEPIX - TEPIX(-1)}{TEPIX(-1)}$	-۱۳/۵	-۳/۴۳۷۳	%۱
		-۲/۸۶۳۸	%۵
		-۲/۵۶۸۰	%۱۰

فرضیه  $H_0$  و  $H_1$  این آزمون‌ها عبارت از:

$$\begin{cases} H_0: \text{نا ایستایی متغیر مورد بررسی:} \\ H_1: \text{ایستایی متغیر مورد بررسی:} \end{cases}$$

همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود، متغیر سطح شاخص روزانه سهام (TEPIX) به دلیل اینکه مقدار آماره آزمون ADF آن به لحاظ قدرمطلق کوچکتر از مقادیر بحرانی جدول است، لذا بیانگر وجود ریشه واحد و نا ایستایی سری مورد نظر است. ولی در مورد رشد شاخص روزانه سهام  $Y = \frac{TEPIX - TEPIX(-1)}{TEPIX(-1)}$  همان‌طور که ملاحظه می‌شود، فرضیه  $H_0$  رد شده و ایستایی

سری مورد پذیرش قرار می‌گیرد. بنابراین، در مدل سری زمانی از متغیر رشد شاخص روزانه سهام استفاده خواهد شد. با در نظر گرفتن متغیر رشد شاخص قیمت سهام (به صورت روزانه) و نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی، مدل اتورگرسیو به صورت زیر برآورد کرده‌ایم:

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \alpha_8 y_{t-8} + \alpha_9 y_{t-9} + \alpha_{10} y_{t-10} + \alpha_{15} y_{t-15} + \varepsilon_t$$

که نتایج به صورت زیر است:

$$y_t = 0.29y_{t-1} + 0.0136y_{t-2} + 0.095y_{t-8} + 0.066y_{t-9} + 0.85y_{t-10} + 0.092y_{t-15} \\ (0.0243) \quad (0.0242) \quad (0.0243) \quad (0.0253) \quad (0.0247) \quad (0.0223)$$

مقدار  $R^2$  برابر ۰/۲۱ و  $F$  برابر با ۸۸/۰۷ است. اعداد داخل پرانتز، انحراف معیار مربوط به ضرایب برآورد شده است. پس از برآورد مدل اتورگرسیو و برآورد پسماندها آزمون ACCH-LM برای بررسی وجود ACCH انجام شد که نتایج به دست آمده بیانگر وجود ACCH و رد فرضیه صفر مبنی بر نبود ACCH در جملات پسماند است.

### مدل سری زمانی غیرخطی (GARCH)

براساس نمودارهای خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی و آزمون ARCH، مدل غیرخطی برای واریانس جمله خطا به صورت مدل  $GARCH(4,1)$  انتخاب شد که نتایج برآورد به صورت زیر است:

معادله میانگین

$$y_t = \alpha_0 + \alpha_1 y_{t-1} + \alpha_2 y_{t-2} + \alpha_8 y_{t-8} + \alpha_9 y_{t-9} + \alpha_{10} y_{t-10} + \alpha_{15} y_{t-15} + \varepsilon_t$$

معادله واریانس

$$\delta^2_t = \theta_0 + \theta_1 \delta^2_{t-1} + \theta_2 \delta^2_{t-2} + \theta_3 \delta^2_{t-3} + \theta_4 \delta^2_{t-4} + \Phi_1 \varepsilon^2_{t-1} + V_t$$

پارامترهای  $\theta_1$  تا  $\theta_4$  مربوط به جملات GARCH و  $\Phi_1$  نیز مربوط به جمله ACCH است.

$$y_t = 0.37y_{t-1} + 0.1096y_{t-2} + 0.04y_{t-8} + 0.054y_{t-9} + 0.062y_{t-10} + 0.04y_{t-15}$$

(0.0222) (0.0227) (0.0182) (0.0172) (0.0143) (0.0131)

$$F = 36.68 \delta^2_t = 0.0000023 + 0.24\delta^2_{t-1} - 0.04\delta^2_{t-2} + 0.113\delta^2_{t-3} - 0.98\delta^2_{t-4} + 0.62\epsilon^2_{t-1}$$

$$R^2 = 0.20$$

نتایج آزمون ARCH

F-statistic	۶۶.۱۸۶۲۷	Probability	۰.۰۰۰۰۰۰
Obs*R-squared	۲۲۸.۰۴۵۲	Probability	۰.۰۰۰۰۰۰

مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی ANN را به طور کلی می‌توان در قالب نظیرکننده‌های برداری جای داد. این مدل‌ها مجموعه‌ای از داده‌ها را در بر گرفته و پس از انجام عملیاتی که برنامه آنها در ساختارشان نهاده شده است، ستادهایی را تحویل می‌دهند. مدل‌های ANN را می‌توان به مدل‌های داده و ستانده خاصی تعبیر نمود که دارای ویژگی‌هایی مانند انجام عملیات با حجم بسیار بالا به صورت موازی و پردازش غیرخطی داده‌ها هستند. این ویژگی‌ها که از شبکه عصبی طبیعی موجود در مغز انسان گرفته شده‌اند، به همراه ویژگی پردازش اطلاعات در مراحل گوناگون به مدل‌های اجازه داده‌اند تا در انجام کارهای خاص مانند پیش‌بینی و تشخیص الگو بسیار موفق باشند.

در این پژوهش از یک مدل پس انتشار خطا (BPN) استفاده کرده‌ایم. این نوع مدل‌ها از نوع ایستا، دگرهمراهی<sup>۵۷</sup> و با یادگیری هدایت شده<sup>۵۸</sup> هستند. مدل‌های BPN معمولاً از سه لایه (بردار)، داده‌ها، میانی (پنهانی) و ستاده‌ها تشکیل شده‌اند.

پس از اینکه بردارهای داده‌ها و ستاده‌ها به مدل معرفی شدند، ضرایب ارتباطی بین واحدهای لایه‌های ورودی، میانی و خروجی به طور تصادفی تعیین می‌شوند. سپس، مدل با پردازش داده‌های هر واحد و ارسال آنها به واحدهای جلوتر، مقادیر بردار ستاده‌ها را محاسبه می‌کند. در این مرحله، مقادیر محاسبه‌شده ستاده‌ها با مقادیر واقعی آنها مقایسه و مقدار خطا محاسبه می‌شود. اگر میزان خطا یا هر تابع دیگری از خطا با مقدار مطلوب آن که از قبل در نظر گرفته شده، متفاوت بود، به عقب برگشته و با تغییر ضرایب ارتباطی و با تکرار مراحل قبلی بار دیگر ستاده‌های جدیدی محاسبه می‌شود. البته، ضرایب ارتباطی طبق سازوکارهایی که به سازوکارهای یادگیری موسومند در جهتی تغییر می‌کنند که خطای یعنی تفاوت بین ستاده محاسبه‌شده و ستاده واقعی کمتر و کمتر شود. این جریان یادگیری آن قدر ادامه می‌یابد تا خطا به میزان مورد نظر برسد.

طراحی مدل پس انتشار خطا برای پیش‌بینی نرخ رشد شاخص روزانه سهام

مراحل طراحی مدل به شرح زیر است:

۱. تعیین واحدهای لایه ورودی و یا به بیانی دیگر، متغیرهای توضیحی مدل

۱. Hetro- Association

۲. Supervised Learning



برحسب خصوصیات آماری سری زمانی مورد استفاده در مدل‌های AR و GARCH، مقادیر با وقفه نرخ رشد شاخص روزانه سهام به عنوان متغیرهای توضیحی انتخاب شده‌اند. یعنی لایه ورودی شامل ۳ بردار، مقادیر با وقفه نرخ رشد شاخص روزانه سهام تا وقفه ۳ است.

## ۲. تعیین حجم نمونه برای بخش یادگیری (برآورد) و بخش آزمون (پیش‌بینی)

دین منظور حجم نمونه به دو قسمت تقسیم شد. ۶۵ درصد داده حدود ۱۰۰۰ مشاهده اول برای یادگیری و بقیه مشاهدات برای آزمون یا پیش‌بینی تعیین شدند.

## ۳. تعیین تعداد واحدهای لایه خروجی و لایه میانی

تعداد واحدهای لایه خروجی در این مسأله یک بوده که بیانگر مقدار رشد شاخص روزانه سهام است و تعداد واحدهای لایه میانی از طریق روش آزمون و خطا تعیین می‌شود. این عمل از طریق مقایسه معیار ارزیابی پیش‌بینی RMSE انجام می‌پذیرد و در مرحله‌ای که کمترین مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) حاصل شود به عنوان لایه بهینه میانی انتخاب می‌شود. در این مسأله، تعداد لایه‌های میانی ۴ انتخاب شده است.

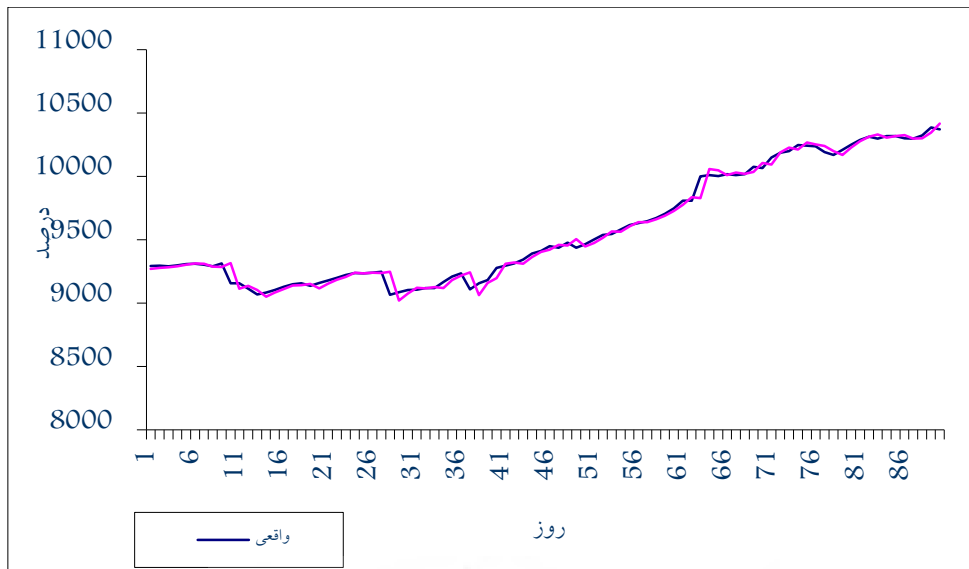
## ۴. مشخص کردن قاعده یادگیری

در مدل BPN معمولاً از قانون کاهش شیب که پیشتر نیز اشاره شد استفاده می‌شود. در اینجا از روش LM<sup>۵۹</sup> استفاده کرده‌ایم. به کارگیری این روش باعث می‌شود که نتایج مدل به مراتب سریع‌تر از هنگامی که روش یادگیری کاهش شیب به کار گرفته می‌شود، تولید شوند.

## نتایج پیش‌بینی و مقایسه توان پیش‌بینی مدل‌های برآوردشده

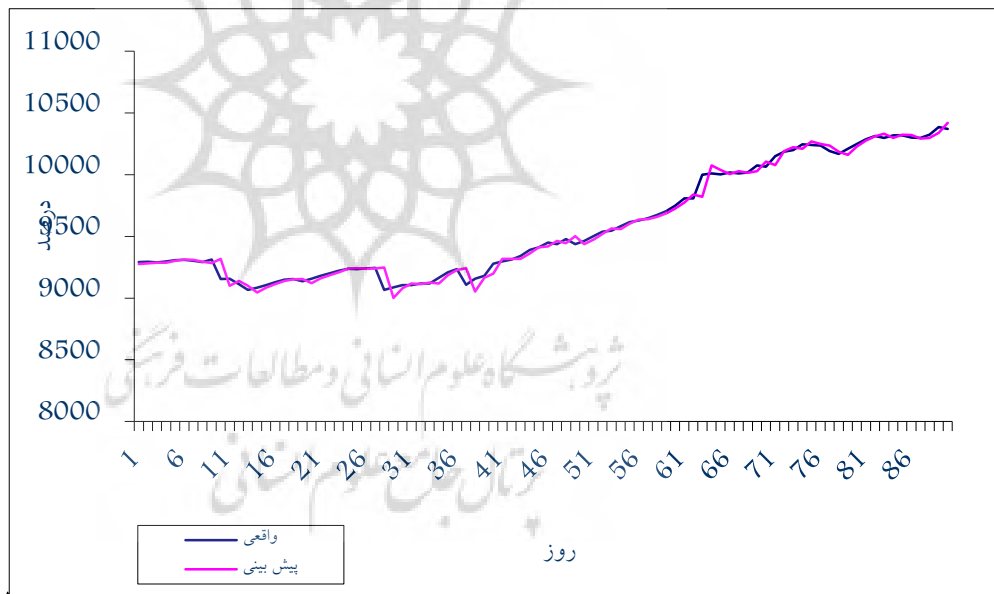
پیش‌بینی با توجه به مدل‌های برآورد شده خطی و غیرخطی با استفاده از اطلاعات موجود در نمونه صورت گرفته است. به این ترتیب که ابتدا اطلاعات نمونه به دو گروه، ۱۰۰۰ مشاهده برای برآورد مدل‌ها و ۶۳۴ مشاهده بعدی برای پیش‌بینی در نظر گرفته شده‌اند. پیش‌بینی به روش ایستا انجام شده است به این معنی که مقادیر با وقفه رشد شاخص روزانه قیمت سهام در طول دوره پیش‌بینی همان مقادیر واقعی آنهاست. نتایج پیش‌بینی‌های انجام شده با استفاده از مدل‌های مختلف برای بازه زمانی (۱۳۸۶/۳/۲۰ - ۱۳۸۶/۷/۲۹) در نمودارهای زیر ارائه شده است.

پیش بینی شاخص روزانه قیمت سهام با استفاده از مدل AR در بازه زمانی ۱۳۸۶/۷/۲۹ - ۱۳۸۶/۳/۲۰



پیش بینی شاخص روزانه قیمت سهام با استفاده از مدل GARCH

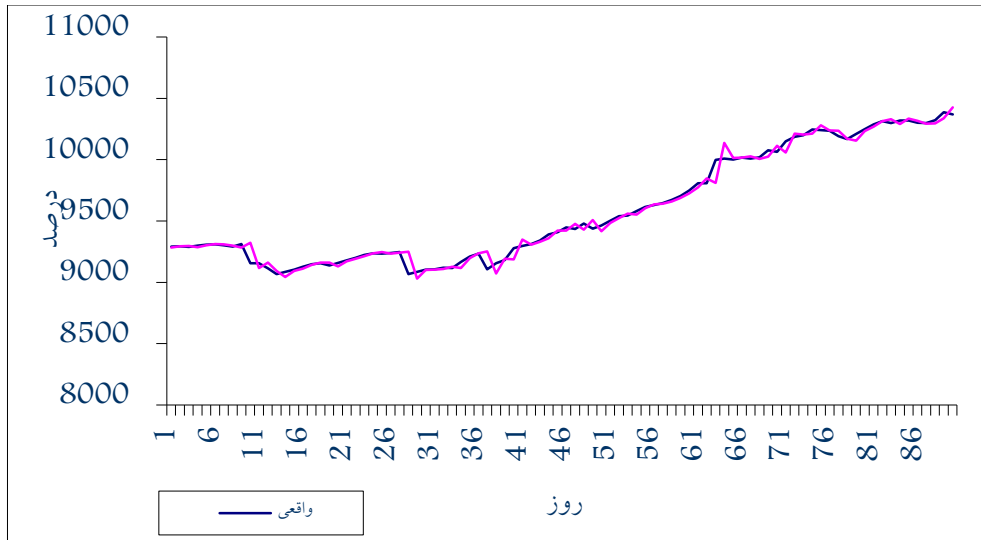
در بازه زمانی ۱۳۸۶/۷/۲۹ - ۱۳۸۶/۳/۲۰



پیش بینی شاخص روزانه قیمت

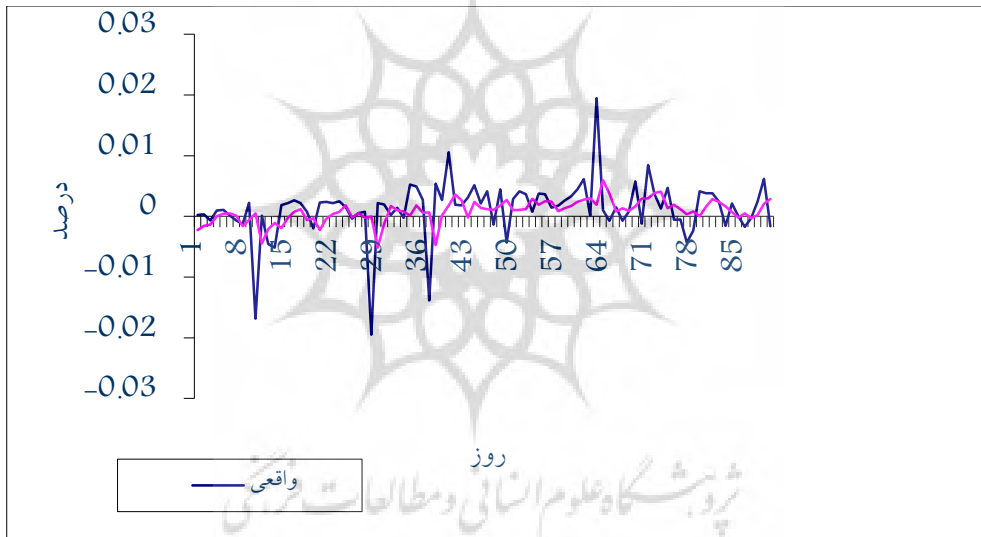
سهام با استفاده از مدل شبکه عصبی

در بازه زمانی ۱۳۸۶/۷/۲۹ - ۱۳۸۶/۳/۲۰



پیش‌بینی نرخ رشد شاخص روزانه قیمت سهام با استفاده از مدل AR

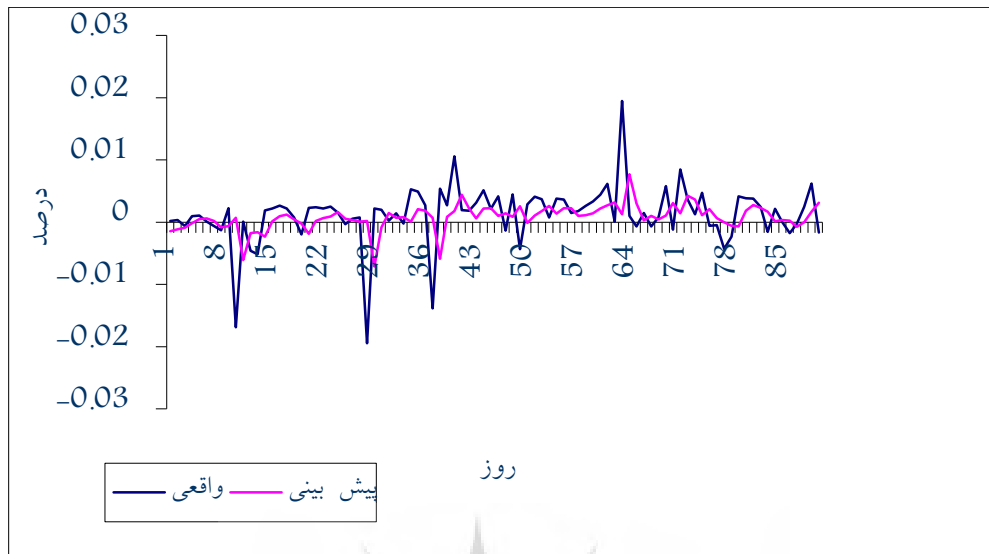
در بازه زمانی ۱۳۸۶/۳/۲۰ - ۱۳۸۶/۷/۲۹



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
 رتال جامع علوم انسانی

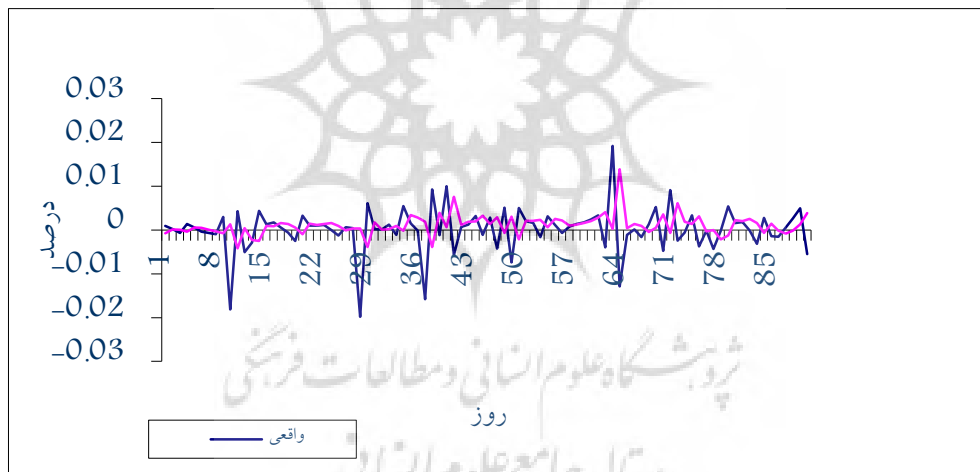
پیش‌بینی نرخ رشد شاخص روزانه قیمت سهام با استفاده از مدل GARCH

در بازه زمانی ۱۳۸۶/۷/۲۹ - ۱۳۸۶/۳/۲۰



پیش‌بینی نرخ رشد شاخص روزانه قیمت سهام با استفاده از مدل شبکه عصبی

در بازه زمانی ۱۳۸۶/۷/۲۹ - ۱۳۸۶/۳/۲۰



## نتایج ارزیابی توان پیش‌بینی مدل‌ها

نتایج ارزیابی توان پیش‌بینی مدل‌های برآوردشده به صورت جدول زیر است.

ارزیابی پیش‌بینی با استفاده از مدل‌های برآوردشده

مدل	RMSE	MAE	MAPE	U-THEIL	CDC
AR	۰/۰۰۳۶۰۳	۰/۰۰۲۱۳۴	۱۷۵/۳۷	۰/۶۴۰	۰/۶۲۷۷
GARCH(۴,۱)	۰/۰۰۳۶۰۰	۰/۰۰۲۰۸۵	۱۶۶/۱۴	۰/۶۳۰	۰/۶۴۶۶
ANN	۰/۰۰۳۵۹۸۵	۰/۰۰۲۰۲۹	۱۲۶/۷۳	۰/۶۲۲	۰/۶۴۶۰

با توجه خطاهای پیش‌بینی، شاخص‌های بالا مورد محاسبه قرار گرفته و کوچکتر بودن این شاخص‌ها برای یک مدل به معنی توان بالای پیش‌بینی آن مدل نسبت به سایر مدل‌هاست. لذا از این نتایج می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع، مدل‌های غیرخطی نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های خطی ارائه می‌دهند چنانچه ملاحظه می‌شود شاخص‌های محاسبه‌شده برای مدل غیرخطی GARCH کوچکتر از مدل اتورگرسیو AR بوده و بیانگر توان پیش‌بینی بهتر برای مدل‌های غیرخطی می‌باشند. همچنین، مقایسه نتایج به دست آمده با مدل ANN بیانگر قدرت بالای پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی نسبت به مدل‌های ارائه شده است.

همچنین، با توجه به شاخص جهت تغییرات صحیح (CDC) می‌توان گفت که مدل‌های غیرخطی نسبت به مدل‌های خطی جهت صحیح تغییرات شاخص روزانه قیمت سهام را بهتر پیش‌بینی می‌کنند؛ به طوری که در این مقایسه مدل GARCH، ۶۴/۶۶ درصد جهت تغییرات قیمت سهام را صحیح پیش‌بینی می‌کند که نسبت به مدل ANN (۶۴/۶۰ درصد) و مدل AR (۶۲/۷۷ درصد) از توان بالایی برخوردار است.

### جمع‌بندی نتایج و ارائه پیشنهادها

- نتایج به دست آمده از آزمون تسلسل که شکل ضعیف کارایی (آزمون فاما) را در بورس مورد آزمون قرار می‌دهد بیانگر غیرتصادفی بودن نرخ رشد شاخص روزانه قیمت سهام در بورس اوراق بهادار تهران است. به بیان دیگر این آزمون پیش‌بینی پذیری شاخص روزانه قیمت سهام را مورد تأیید قرار می‌دهد.
- با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون نمای هرست پیش‌بینی پذیری و یا غیرتصادفی بودن سری زمانی شاخص روزانه قیمت سهام مورد تأیید قرار می‌گیرد.
- اگر آماره BDS یک عدد بزرگ معنادار باشد، نشان‌دهنده وجود فرایند غیرخطی در متغیر است. اگر BDS نزدیک صفر باشد فرآیند کاملاً تصادفی است. از آنجا که BDS محاسبه‌شده بزرگتر از صفر است نشان‌دهنده غیرخطی بودن فرآیند می‌باشد.
- بر اساس نتایج حاصل از محاسبه بعد همبستگی می‌توان گفت که شاخص روزانه قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران در بازه زمانی مورد مطالعه دارای ساختار آشوبی معین و غیرتصادفی است.
- در مقایسه مدل‌های خطی و غیرخطی می‌توان به حساسیت مدل‌های غیرخطی به زمان وقوع شوک و دوره اثرگذاری آن اشاره کرد، درحالی که مدل‌های خطی به زمان وقوع شوک حساسیت ندارند. به این معنی که اگر در زمان خاصی شوکی به سیستم وارد شود واکنش مدل خطی در پاسخگویی به این شوک تفاوتی با واکنش آن در صورت وقوع شوک در زمان دیگر نخواهد داشت، در صورتی که مدل‌های غیرخطی واکنش‌های متفاوتی را از خود نشان داده و این می‌تواند دلیلی بر برتری مدل‌های غیرخطی نسبت

به مدل‌های خطی به ویژه در پیش‌بینی قیمت سهام باشد که در بیشتر موارد متأثر از شوک‌های نامتقارن و شوک‌های مشابه در زمان‌های مختلف با آثار متفاوت هستند.

- نتایج نشان می‌دهد که در مجموع، مدل‌های غیرخطی نتایج بهتری را نسبت به مدل‌های خطی ارائه می‌دهند چنانچه ملاحظه شد، شاخص‌های محاسبه شده بر اساس معیارهای توصیفی خطا برای مدل غیرخطی GARCH کوچکتر از مدل اتورگرسیو AR بوده و بیانگر توان پیش‌بینی بهتر برای مدل‌های غیرخطی است. همچنین، مقایسه نتایج به دست آمده با مدل ANN بیانگر قدرت بالای پیش‌بینی مدل‌های شبکه عصبی نسبت به مدل‌های ارائه شده است.
- با توجه به شاخص جهت صحیح تغییرات (CDC) می‌توان گفت که مدل‌های غیرخطی نسبت به مدل‌های خطی جهت تغییرات شاخص روزانه قیمت سهام را بهتر پیش‌بینی می‌کنند؛ به طوری که در این مقایسه مدل GARCH نسبت به مدل ANN و مدل AR از توان بالایی برخوردار هستند.

### ارائه پیشنهادها

- بنابر نتایج به دست آمده می‌توان گفت که مدل‌های غیرخطی نتایج پیش‌بینی بهتری نسبت به مدل‌های خطی ارائه می‌دهند، بدین روی پیشنهاد می‌شود که برای پیش‌بینی شاخص قیمت سهام از مدل‌های غیرخطی به خصوص از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده شده و در صورتی که هدف پیش‌بینی جهت تغییرات باشد، بهتر است از مدل‌های GARCH استفاده شود.
- از مدل‌های غیرخطی سری زمانی به عنوان روشی مکمل برای رویکردهای بنیاد گرایانه و تکنیکی استفاده شود.
- از آزمون‌های پیش‌بینی پذیری، غیرخطی بودن و فرآیندهای آشوبی در مدل‌سازی مربوط به متغیرهایی از قبیل تورم، نرخ ارز، قیمت مسکن و قیمت نفت استفاده شود.
- به کارگیری آزمون‌ها و مدل‌های غیرخطی در مدل‌های ساختاری و اقتصاد کلان، که متأسفانه در حال حاضر به دلیل مشکلات مربوط به تصریح این‌گونه مدل‌ها، کار چندانی صورت نگرفته است.
- به دلیل مشکلات مربوط به نبود نرم‌افزارهای پیشرفته برای انجام آزمون‌ها و برآورد مدل‌های غیرخطی برخی از آزمون‌ها و مدل‌های غیرخطی در این پژوهش مورد استفاده قرار نگرفته است، لذا پیشنهاد می‌شود برای تکمیل بحث و ارائه نتایج بهتر، از آزمون‌ها و مدل‌های دیگر نیز استفاده شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع

- آذر، عادل و رجب‌زاده، علی. (۱۳۸۲). ارزیابی روشهای پیش‌بینی ترکیبی: با رویکرد شبکه‌های عصبی کلاسیک در حوزه اقتصاد. مجله تحقیقات اقتصادی، ۸۷-۱۱۴.
- ابریشمی، حمید؛ معین، علی و احراری، مهدی. (۱۳۸۱). مدلسازی غیرخطی معین سری‌های زمانی اقتصادی. مجموعه مقاله‌های اولین همایش معرفی و کاربرد مدل‌های ناخطی پویا و محاسباتی در اقتصاد.
- احراری، مهدی. (۱۳۸۰). بررسی و تحلیل آشوب در سری‌های زمانی قیمت‌های آتی نفت ۹۹-۱۹۹۶. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه فردوسی مشهد.
- امام وردی، قدرت‌الله. (۱۳۸۶). ارزیابی الگویی مناسب جهت پیش‌بینی شاخص قیمت سهام در بازار سرمایه ایران و مقایسه توان پیش‌بینی مدل‌ها با تأکید بر مدل‌های غیرخطی سری زمانی. پایان‌نامه دکتری، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات.
- تهرانی، رضا. (۱۳۷۴). بررسی عوامل مؤثر بر قیمت سهام در بورس تهران. پایان‌نامه دوره دکتری. دانشکده علوم اداری و مدیریت بازرگانی دانشگاه تهران.
- خالو زاده، حمید. (۱۳۷۷). مدل سازی غیرخطی و پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس تهران. پایان‌نامه دوره دکتری. دانشکده برق دانشگاه تربیت مدرس.
- خالو زاده، حمید و خاکی، علی. (۱۳۸۲). ارزیابی روشهای پیش‌بینی قیمت سهام و ارائه مدلی غیرخطی براساس شبکه‌های عصبی. مجله تحقیقات اقتصادی، ۴۳-۸۵.
- خالو زاده، حمید؛ خاکی، علی و کارولوکس. (۱۳۷۵). آیا قیمت سهام در بازار بورس تهران قابل پیش‌بینی است؟ مجله تحقیقات مالی دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، شماره ۱۱ و ۱۲.
- سلامی، امیر بهداد. (۱۳۸۱). آزمون روند آشوبی در بازده سهام بازار اوراق بهادار تهران. پژوهشنامه اقتصادی، شماره ۵، ۳۵-۷۱.
- قاسمی، عبدالرسول؛ اسدپور، حسن و شاصادقی، مختار. (۱۳۸۰). کاربرد شبکه عصبی در پیش‌بینی سربهای زمانی و مقایسه آن با مدل ARIMA. فصلنامه پژوهش‌های بازرگانی. مؤسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.
- مشیری، سعید. (۱۳۸۰). مدل شبکه عصبی تعیین قیمت نفت. مجله تحقیقات اقتصادی، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران، شماره ۵۸، ۱۸۴-۱۴۷.
- مشیری، سعید. (۱۳۸۰). پیش‌بینی تورم ایران با استفاده از مدل‌های ساختاری، سری‌های زمانی و شبکه‌های عصبی. مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۵۸، ۱۴۷-۱۸۴.
- مشیری، سعید و فروتن، فائزه. (۱۳۸۳). آزمون آشوب و پیش‌بینی قیمت‌های آتی نفت خام. فصلنامه پژوهش‌نامه اقتصادی ایران، شماره ۲۱، ۶۷-۹۰.
- مشیری، سعید و محمدرضا، قدیمی. (۱۳۸۱). مدل‌سازی و پیش‌بینی رشد اقتصادی در ایران با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی. مجموعه مقاله‌های اولین همایش معرفی و کاربرد مدل‌های ناخطی پویا و محاسباتی در اقتصاد. ۱۴۷-۱۷۴.
- مشیری، سعید و مروت. (۱۳۸۴). بررسی وجود فرآیند آشوبی در شاخص رشد کل قیمت سهام بازار بورس تهران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال هفتم، شماره ۲۵، ۴۷-۶۴.

Afonso, A. (1997). *Normality and Efficiency in Portuguese Stock Exchange Indexes*. March, *Estudos de economica*, XVI-XVII, fall, 101-107.

Afonso, A. and Teixeira, J (1997). *Efficiency in Portuguese Stock Exchange Indexes: Runs Tests and BDS Statistics*. Working Paper N° 2/97, Department of Economics, Instituto Superior de Economia e Gestão, Universidade Técnica de Lisboa.

Afonso, Antonio and j.teixeira. (1998). *Non-Linearity tests of weakly efficient Markets: Evidence from Portugal*. E-mail: aafonso@ iseg.utl.Pt.

Andr s González & Timo Teräsvirta, (2008). *Modelling Autoregressive Processes with a Shifting Mean*. *Studies in Nonlinear Dynamics & Econometrics*, Berkeley Electronic Press, vol. 12(1).

Chappel D, panagiodidis T. (2007). *Using the Correlation dimension to detect non-linear Dynamics: Evidence from the Athens Stock Exchange*. E-mail: D.chappel @Sheffield.ac.uk

Chatfield, Chris. (1993). *Neural Networks: Forecasting Breakthrough or Passing Fad?*. *International Journal of Forecasting* 9, p. 1-3.

cinko, Murat and saltođlu, Buralk.(2001). *Nonlinear dynamics in daily gold returns: Evidence from Turkey*. Marmara University, Istanbul, Turkey.

Cinko, Murat. (2002). *Nonlinearity test For Istanbul Stock exchange*.

Dick van Dijk & Timo Teräsvirta & Philip Hans Franses, (2002). *Smooth Transition Autoregressive Models - A Survey Of Recent Developments*. *Econometric Reviews*, Taylor and Francis Journals, vol. 21(1), pages 1-57.

Fama, E. (1990). *efficient capital markets: A review of theory and empirical works*. *Journal of Finance*, 45, 38-100.

Fischer, Manfred, Koller, Wolfgang. (2001). *Testing for Non-Linear Dependence in Univariate time series. An Empirical Investigation of the Austrian unemployment*, European Regional Science Association 41st Congress, Zagreb, 12-August – 1September.

Hinch, M.J. (1982). *Testing for Gaussianity and linearity of a stationary time series*. *Journal of Time Series Analysis*, 3, 169-176.

Hsieh, D.A. (1989). *Testing for non-linearity in daily foreign exchange rate changes*. *Journal of Business*, 62, 339-378.

Hsieh, D.A. (1991). *chaos and nonlinear dynamics: application to financial markets*. *Journal of Finance*, 46, 1839-1877.

Hsieh, D.A. (1993). *Implication of nonlinear dynamics for financial risk management*. *Journal of Financial and Quantitative Analysis*, 28, 1, 51-65.

Hsieh, D.A. (1991). *Chaos and Nonlinear Dynamics: Application to Financial Markets*. *Journal of Finance* 46(December), 1839-77.

Lim,Kion-Ping and Liew, khim-sen (2007). *testing for non-linearity in ASEAN Financial markets*.

Maravall, Agustin, (1983). *"An Application of Nonlinear Time Series Forecasting*. *Journal of Business & Economic Statistics*, American Statistical Association, vol. 1(1), pages 77-95, January.

Maximo Camacho, (2005). *Vector smooth transition regression models for US GDP and the*



composite index of leading indicators. *Journal of Forecasting*, John Wiley & Sons, Ltd., vol. 22(3), pages 173-196.

Mark Podolskij & Mathias Vetter. (2009). *Understanding limit theorems for semimartingales: a short survey*. CREATES Research Papers 2009-27, School of Economics and Management, University of Aarhus.

McLeod, A.I. and Li, W.K. (1983). *Diagnostic Checking ARMA Time Series Models Using Squared-Residual Autocorrelations*. *Journal of Time Series Analysis*, 4, 269-272.

Moradi, A., Mohammad. (2002). *Nonlinear adjustment towards Purchasing power Parity*. *Proceeding of the first seminar on nonlinear dynamic and computational Models in Economics*.

Moshiri, Saeed and Brown, Laura. (2002). *Unemployment variability over the Business Cycle: a comparison of Forecasting Models*. *Proceeding of the first seminar on Nonlinear dynamic and computational Models in Economics*.

Moshiri, Saeed, and N. Cameron (2000). *Econometrics Versus Neural Networks models in Forecasting Inflation*. *Journal of Forecasting* 17, Feb.

Moshiri, saeed, kohzadi, N and Cameron, N. (2002). *Testing for stochastic Non- linearity in the rational expectation permanent income hypothesis*. *Proceeding Of the first seminar on nonlinear dynamic and computational Models in Economics*.

Norman R. Swanson & Halbert White, (1997). *A Model Selection Approach To Real-Time Macroeconomic Forecasting Using Linear Models And Artificial Neural Networks*. *The Review of Economics and Statistics*, MIT Press, vol. 79(4), pages 940-950, November.

Panagiotidis , Theodore.(2002). *Testing the Assumption of linearity*. *Economics Bulletin*, Vol. 2, No. 29, pp. 1 - 9.

Rech, Gianluigi, (2002). *Forecasting with artificial neural network models*. *Working Paper Series in Economics and Finance* 291, Stockholm School of Economics.

Teräsvirta, T., Lin, C.-F., and Granger, C. (1993). *Power of the neural network linearity Test*. *Journal of time Series Analysis*, 14(2), 209-220.

Teräsvirta, T. (1994). *Specification, estimation, and evaluation of Smooth Transition Autoregressive models*. *Journal of the American Statistical Association*, 89, 208-218.

Terasvirta, Timo, (2006). *Forecasting economic variables with nonlinear models*. *Handbook of Economic Forecasting*, Elsevier.

Timo Teräsvirta & Marcelo C. Medeiros & Gianluigi Rech, (2006). *Building neural network models for time series: a statistical approach*. *Journal of Forecasting*, John Wiley & Sons, Ltd., vol. 25(1), pages 49-70.

## Predictability Test of Stock Market Price Index in Iran Investment Market and comparing Linear and Nonlinear models predictability potentials

*Karim Emami (Ph.D)*<sup>1\*</sup>

*Ghodratollah Emamverdi (Ph.D)*<sup>1†</sup>

### **Abstract**

*Since the highly complicated Time Series such as Stock Market Prices are usually stochastic, their changes are assumed to be unpredictable.*

*Some tests which have been used to study the statistical observations related to the economical variables e.g. Stock Market Price, are often go wrong while encountering the chaotic data and recognize them as stochastic ones, though these data are actually generated from the deterministic systems which bear few tribulations.*

*For this reason the predictable and non-linear tests such as HURST, BDS, Runs Test, and Correlation Dimension have been used to study the existence of deterministic chaotic trend and non-linear process in Time Series of Daily Stock Market Price Index of TEHRAN STOCK EXCHANGE from 23<sup>rd</sup> October, 2000 to 25<sup>th</sup> September, 2007.*

*The result of the above mentioned tests shows the predictability and the existence of a non-linear process in the sample data.*

*After the illustration of predictability and the non-linear process in daily stock index data, then the linear time series models (AR), non-linear (GARCH) and Artificial Neural Network (ANN) have been estimated to present a suitable model for predicting the Stock Price Index.*

*Comparing the potential of predictability of these models by such criteria as: CDC, RMSE, MAE, MAPE and U-THEIL inequality coefficient, it has been revealed that there is the highest potential of predictability in Artificial Neural Network models than the other ones.*

**JEL Classification:** C22, E14, C13, G14

**Key Words:** Predictability, Non-Linearity test, Non-Linear & Linear Time Series Models (additives & multiplicative), Artificial Neural Network, Market Price Index

---

<sup>1\*</sup>. Assistant Professor, Research and Science Branch, Islamic Azad University

<sup>1†</sup>. Post graduated from Department of Economic, Research and Science Branch, Islamic Azad University



پښتونستان ښار علمي او مطالعاتي مرکز  
پرتال جامع علوم انساني