مجله تحقیقات اقتصادی / شماره ۶۴ / پاییز و زمستان ۸۲/ صفحات ۸۵-۴۳

ارزیابی روشهای پیش‌بینی قیمت سهام و ارائه مدلی غیرخطی براساس شبکه‌های عصبی

دکتر حمید خالوزاده*
دکتر علی خاکی**

چکیده

در این مقاله با استفاده از اطلاعات سری زمانی قیمت و بازده سهام چند شرکت در بازار بورس تهران، به پیش‌بینی قیمت سهام و نیز ارائه مدل بهینه پرداخته می‌شود. روشهای پیش‌بینی مورد استفاده در تحقیق، به سه دسته تقسیم شده‌اند: روشهای پیش‌بینی براساس مدلهای خطی (کوتاه‌مدت و بلندمدت)، روشهای پیش‌بینی براساس مدلهای غیرخطی (شبکه‌های عصبی غیرخطی) و مدل شبکه عصبی با ساختار پیشنهادی. در هر مورد نتایج به دست آمده رسم شده‌اند. با استفاده از پیش پردازش‌های اشاره شده، نشان داده می‌شود که قیمت و بازده سهام (در هر ۶ سهم مربوط به صنایع مختلف) از نگاشتهای پیچیده غیر خطی و آشوبگرانه به وجود آمده‌اند و اساساً استفاده از انواع مختلف روشهای خطی صحیح نمی‌باشد. همچنین نشان داده می‌شود که استفاده از روشهای غیرخطی شبکه‌های عصبی به خودی خود و به شکل متعارف بهبود قابل ملاحظه‌ای را به دنبال ندارد. با ارائه پیشنهاد ساختار جدید، می‌توان قیمت و بازده را به خوبی در دو حالت پیش‌بینی روز بعد و پیش‌بینی سی روز بعد تخمین زد.

کلید واژه‌ها

سری زمانی، مدلسازی، تخمین، پیش‌بینی، قابلیت پیش‌بینی، تحلیل‌های غیرخطی سریهای زمانی، فرایندهای تصادفی، فرایندهای آشوب، بعد فرکتالی، شبکه‌های عصبی.

---

*- استادیار دانشکده مهندسی، گروه برق، دانشگاه فردوسی مشهد.
**- استاد گروه کنترل، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.

۱ـ مقدمه

ناشناخته بودن دینامیک عوامل تأثیرگذار بر تغییرات قیمت سهام و نبود مدلهای کامل برای توصیف هر یک از این عوامل و اثرات متقابل آنها بر یکدیگر، دلیلی برای روی آوردن به پیش‌بینی تغییرات قیمت سهام از روشهای مبتنی بر سریهای زمانی شرکتهاست. پیش‌بینی قیمت یا بازده سهام به کمک کشف الگوهای رفتاری فرایند مولد قیمت سهام امکان‌پذیر است. میزان موفقیت در کشف اینگونه الگوهای رفتاری، میزان کارایی پیش‌بینی را مشخص می‌کند؛ در واقع، فرایند مولد قیمت سهام را می‌توان به عنوان یک الگوی دینامیکی بررسی کرد. فرایند مزبور ممکن است به صورت مدلهای خطی، مدلهای غیرخطی و یا مدلهای تصادفی به دست آید.

امروزه یکی از مهمترین موضوعات مورد علاقه اقتصاددانان و تحلیلگران مالی، تبیین و روند چگونگی نوسانهای قیمتهاست که راههای متفاوت و دیدگاههای گوناگونی را در این‌باره پدید آورده است.[۱] در این میان با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات دقیق درباره عوامل مؤثر بر نوسانهای بازار سهام، پیش‌بینی این تغییرات به سادگی میسر نیست و بر این اساس، فرضیه بازار کارامد[۲] مطرح می‌گردد؛[۳] بدین معنا که نوسانهای قیمت سهام با استفاده از اطلاعات عمومی در دسترس غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد؛ در واقع، این فرضیه مبتنی بر نظریه گامهای تصادفی است. بیان مخالف فرضیه فوق، به معنای قابلیت پیش‌بینی قیمتهاست. از اواسط دهه ۷۰ و مخصوصاً از سال ۱۹۸۰ کوششهای جدید و گسترده‌ای در زمینه قابلیت پیش‌بینی قیمتهای سهام با استفاده از روشهای ریاضی جدید، سریهای زمانی طولانی و ابزارهای پیشرفته‌تر آغاز گردید. آزمونهای زیادی بر روی اطلاعات قیمت و شاخص سهام در کشورهایی مانند انگلستان، آمریکا، کانادا، آلمان و ژاپن صورت گرفت تا وجود یا عدم وجود ساختاری معین در اطلاعات قیمت سهام نشان داده شود و از این راه فرضیه گامهای تصادفی را نقض کنند.[۴]

1- Granger, C.W.J.; "Forecasting Stock Market Price: Lesson For Forecasters," **Working Paper**; pp. 23-91.

2- Efficient Market Hypothesis.

۳ـ جهانخانی، علی و حسین عبده تبریزی؛ "نظریه بازار کارای سرمایه"، **مجله تحقیقات مالی**؛ صص ۲۳-۷.

۴- برای مطالعه در این زمینه به منابع شماره ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶ مراجعه نمائید.

از سال ۱۹۶۵ در حوزه امور مالی، فرضیه‌ای در مورد کارا بودن بازار سرمایه مطرح و بر این اساس تحقیقات متعددی صورت گرفته است. علت انجام این تحقیقات، آزمودن این نظریه است که آیا بازار سهام در کسب و پردازش اطلاعات ورودی به طور معقول عمل می‌کند، و آیا اطلاعات بدون درنگ و بدون تمایل و گرایش خاص (اریب یا تورش)[1] در قیمت اوراق بهادار منعکس می‌شود یا نه؟ البته مسأله کارایی، مقوله‌ای صرفاً سیاه یا سفید نیست. بازار نه کاملاً کارایی دارد و نه یکسره از مفاهیم کارایی به کنار است. مسأله،مراتب امر و درجه کارایی است. سئوال این است که بازار تا چه اندازه کاراست؟

در این پژوهش، با توجه به دسته‌بندی فاما[2] که سه سطح برای این فرضیه مطرح می‌کند [3]، شکل ضعیف[4] نظریه بازار کارا بررسی گردید؛ به این معنی که با مطالعه روند تاریخی قیمت سهام، قادر به پیش‌بینی روند آینده قیمت سهام نمی‌توان بود؛ به عبارت دیگر، بازار سهام حافظه ندارد و قیمت سهام در بازار کارا به شکل تصادفی تغییر می‌کند یا خیر.

۱ـ۱ـ سیستمهای هوشمند و پیش‌بینی

سقوط بازار سهام آمریکا در اکتبر ۱۹۸۷ و عوامل مختلف دیگر، باعث شد که تحقیقات در مباحث مالی سمت و سوی تازه‌ای یابد. نتایجی که از این تحقیقات در قالب سمینارها و سمپوزیومهای متعدد در کشورهای دارای بازار سرمایه پیشرفته منتشر شده‌اند، اعتبار تئوریهای دهه‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۰ را مورد تردید قرار داده‌اند؛ زیرا این تئوریها براساس سیستمهای خطی و فرض توزیع نرمال استوارند و از این رو، مدل یک متغیره قیمت‌گذاری دارایی‌ها نمی‌تواند جوابگوی برآورد بازده سهام و یا ریسک مترتب بر آن باشد.

دانشمندان و محققان این دهه عمدتاً معتقدند که فرض منطقی بودن سرمایه‌گذار که

1- Bias.

2- Fama.

3- Fama, E.F.; "Efficent Capital Market: A Review ...," **The Journal of Finance**; pp.383-417.

4- Weakly Form.

اصلی غیر قابل اغماض در سرمایه‌گذاریهای مدرن مالی است و یکی از مفروضات اصلی در بازار کارا و یا مدل بازار می‌باشد، با توجه به عوامل پیچیده‌ای که در بازارهای سرمایه دخیل هستند، واقعی نیست.

بازار سرمایه دارای نظم مشخصی نیست و استفاده از ریاضیات پیچیده در سیستمهای غیرخطی و دینامیکی می‌تواند مدلهایی را ایجاد کند که نظریه‌های گذشته را باطل نماید. نتایجی که تاکنون از این رهگذر حاصل گردیده، به امکان پیش‌بینی قیمت تحت شرایطی اذعان دارد.

در این تحقیق از شبکه‌های عصبی بعنوان یک جایگزین برای تکنیکهای آماری کلاسیک یاد شده و از این شبکه‌ها برای پیش‌بینی سهام شرکتهای بزرگ استفاده شده است. نشان داده می‌شود که شبکه‌های عصبی نسبت به تکنیکهای آماری عملکرد بهترین داشته، دقت پیش‌بینی بیشتری دارند و مدل بهتری را ارائه می‌دهند. نشان داده می‌شود که شبکه‌های عصبی توضیح و توصیف بهتری در مورد پیش‌بینی رفتار قیمت سهام داشته و می‌توانند شرایط محیطی را خیلی بهتر از مدلهای رگرسیون مدل نمایند.[۱]

۲ـ۱ـ تعریف مسأله مطرح شده در تحقیق

در این تحقیق، قیمت و بازده سهام در بازار بورس تهران با هدف مطالعه‌ای منظم و سیستماتیک بر روی مقوله پیش‌بینی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. برای انجام پیش‌بینی، ابتدا لازم است قابلیت پیش‌بینی فرایند تحت مطالعه بررسی گردد. در صورتی که قابلیت پیش‌بینی و یا پیش‌بینی پذیری احراز شد، سعی در مدلسازی فرایند، تخمین پارامترهای مدل و در نهایت پیش‌بینی نمود. سرانجام، فرایند سری زمانی به سه طبقه خطی، تصادفی و آشوبگونه دسته‌بندی شده‌اند و بر این اساس، قابلیت پیش‌بینی در فرایندهای خطی ممکن، در فرایندهای تصادفی غیرممکن و در فرایندهای آشوبگونه تا حدی ممکن است.

مدلسازی و پیش‌بینی‌های انجام شده عموماً برای پیش‌بینی یک مرحله بعد سری

۱- برای مطالعه بیشتر در اینباره به منابع شماره ۲، ۳، ۱۸ و ۱۹ مراجعه نمائید.

زمانی طراحی شده و راهکارها و ساختارهای به دست آمده، عموماً فاقد کارایی لازم برای پیش‌بینی با افق بیشتر از یک مرحله است. در این پژوهش، مدلسازی به نیت پیش‌بینی با افق بیشتر از یک مرحله صورت پذیرفته و بر این اساس ساختارهایی نیز معرفی شده‌اند. نتایج بدست آمده حاکی از کارایی ساختارهای پیشنهادی است.[۱]

مطالعه بر روی سهام شرکتهای شهد - ایران، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر[۲]، و همچنین شاخص قیمت سهام در بورس تهران (TEPIX)[۳] به عنوان میانگین وزنی کلیه سهام شرکتهای موجود در بورس تهران صورت گرفته است.

اطلاعات استفاده شده، داده‌های روزانه قیمت بوده و هرگونه عملیات ویژه، از جمله افزایش سرمایه، سهام جایزه، پرداخت سود نقدی و غیره، در قیمتها لحاظ شده است. همچنین برای اینکه عملیات انجام شده و تحلیلهای صورت گرفته مبنای واحدی داشته باشند، پیش پردازشهایی بر روی اطلاعات صورت پذیرفته است.

سه روش عمده، به عنوان روشهای آزمون پیش‌بینی پذیری قیمتها (بازده) عبارتند از:

الف: تحلیل R/S که توسط آن تشخیص یک سری زمانی تصادفی از یک سری غیرتصادفی، بدون در نظر گرفتن توزیع آن (اعم از گوسی و یا غیرگوسی) امکان‌پذیر می‌گردد. تحلیل R/S یک روش آماری مقاوم است که به کمک آن می‌توان طول متوسط دوره‌های گردش[۴] را در سری زمانی مربوطه اندازه‌گیری کرد[۵].

ب: تخمین بعد همبستگی فرایند: یکی از مهمترین روشهای آزمون پیش‌بینی پذیری قیمتها، تحلیل غیرخطی تخمین بعد همبستگی فرایند مولد آنهاست؛ در واقع،

1- Webos, P., 1974- Khaloozadeh, H. & A. Khalili Sedigh, 2001, pp. 25-28.

۲- سعی شده است سهام‌های مورد مطالعه از صنایع مختلفی مانند صنعت غذایی، خودرو، دارویی، فلزی و سرمایه‌گزاری انتخاب شوند.

3- Tehran Price Index.

4- Mean Orbital Period.

5- Hurst, H.E.; "Long-Term Storage of Reseviors", **Transactions of the American Socity of Civil Engineers**; pp. 770-808.

روش تخمین بعد همبستگی، معیاری برای آزمون نظریه آشوب[1] در یک فرایند سری زمانی است[2].

پ : تخمین نمای لیاپوتف: در این روش، سعی بر بازسازی ساختار دینامیکی فرایند مولد سری زمانی با استفاده از داده‌های تأخیر یافته می‌گردد. سپس میزان انقباض و یا انبساط جهات مختلف در فضای فاز، بازسازی و اندازه‌گیری می‌گردد. نمای مثبت نشانگر آن است که مسیرهای حالت نزدیک به هم، باگذشت زمان از یکدیگر واگرا و دور می‌شوند و تفاوت کوچکی در شرایط اولیه، اختلاف زیادی را در طول زمان به وجود می‌آورد؛ بنابراین دانستن وضعیتهای نادقیق اولیه، پیش‌بینی‌های بلندمدت نادرستی را به همراه داشته و دلالت بر ماهیت آشوبگونه فرایند مولد سری زمانی مربوطه دارد[3].

۳ـ۱ـ پیش‌بینی

روشهای پیش‌بینی مورد استفاده در تحقیق به سه دسته زیر تقسیم شده‌اند:

۱ـ۳ـ۱ـ روشهای پیش‌بینی براساس مدلهای خطی

ساختار کلی مدلهای خطی به صورت زیر است:

$$A(q)\, y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}\, u(t-n_K) + \frac{C(q)}{D(q)}\, e(t) \qquad (1)$$

D،C،B،A و F چند جمله‌ای‌هایی با عملگرهای تأخیر و با درجات تأخیر خاص متناظر می‌باشند. u(t) ورودی، y(t) خروجی فرایند و e(t) اختلال موجود در سیستم است. بسته به اینکه از کدام چند جمله‌ایها در ساختار کلی فوق استفاده شود، مدلهای مختلفی را می‌توان داشت. با استفاده از گونه‌های مختلف روش بهینه‌سازی حداقل مربعات، ضرایب مدل انتخابی به گونه‌ای تخمین زده می‌شوند تا میانگین مربع خطای

1- Chaos Theory.

2- Hinich, M.J. & D.M. Patterson, 1995, pp. 69-77- Cheeinman, J & B. Lebaron, 1989, pp. 311-338.

۳ـ ن.ک. منابع شماره ۲۵ و ۲۶.

بین خروجیهای مدل و خروجیهای مشاهده شده سیستم کمینه شود.

۲ـ۳ـ۱ـ روشهای پیش‌بینی براساس مدلهای غیرخطی (شبکه‌های عصبی غیرخطی)

استفاده از شبکه‌های عصبی برای انجام نگاشت و تقریب توابع و نهایتاً مدلسازی فرایندهای دینامیکی، در واقعی تعمیمی بر تحلیل رگرسیون و آمار کلاسیک است. از تکنیکهای مدلسازی براساس شبکه‌های عصبی برای مدلسازی رفتار قیمت سهام به صور مختلف استفاده خواهد شد.

۲ـ پیش‌بینی براساس مدلهای خطی

پیش‌بینی، عنصری کلیدی برای تصمیم‌گیریهای مدیریتی است. در یک تصمیم‌گیری، دنباله‌ای از آثار مؤثر این تصمیم و پیشامدهایی که بعد از تصمیم‌گیری ممکن است رخ دهد، در نظر گرفته می‌شود. قابلیت تخمین این تأثیرات کنترل‌ناپذیر، موجب بهبود انتخاب و تصمیم‌گیری خواهد شد. به همین خاطر، سیستمهای مدیریتی برای طراحی و کنترل عملگرهای تشکیلاتی خود نیاز به پیش‌بینی دارند. به طور کلی می‌توان گفت که پیش‌بینی، تخمین پیشامدهای آینده است و هدف از پیش‌بینی، کاهش ریسک در یک تصمیم‌گیری است. پیش‌بینی‌ها معمولاً صحیح نبوده و دارای مقداری خطا هستند که این میزان با داشتن اطلاعات بیشتر در مورد سیستم کاهش می‌یابد.

با افزایش هزینه پیش‌بینی، می‌توان مقدار ریسک را کاهش داد. عموماً مصالحه‌ای بین این دو صورت می‌گیرد؛ چون پیش‌بینی همیشه با مقداری خطا همراه است لذا قادر به حذف کامل ریسک نبوده و بنابراین فرایند تصمیم‌گیری مستلزم مقداری عدم اطمینان ناشی از پیش‌بینی خواهد بود. رابطه بین تصمیم‌گیری و پیش‌بینی را با رابطه زیر می‌توان بیان کرد:

"خطای معقولی برای پیش‌بینی + تصمیم‌گیری براساس پیش‌بینی = تصمیم صحیح"

۱ـ۲ـ سیستمهای دینامیکی

سیستمهای دینامیکی، سیستمهایی هستند که مقدار خروجی آنها در هر لحظه، نه

تنها بستگی به مقدار تحریک در آن لحظه داشته، بلکه به مقادیر ماقبل نیز بستگی دارد. در برخی سیستمهای دینامیکی، رابطه ورودی ـ خروجی به گونه‌ای است که در آنها محرک خارجی قابل مشاهده نیست. به این سیستمها، سیستمهای سری زمانی گفته می‌شود. با استفاده از اطلاعات موجود درباره سیستم، ابتدا سعی می‌شود مدلی به آن اختصاص داده شود تا ارتباط بین متغیرهای سیستم مشخص گردد. مدلها به شکلهای مختلف و مرتبه‌های متفاوتی از فرمولهای ریاضی موجودند. برای بعضی از سیستمها مناسب آن است که خواص آنها را با جداول عادی و یا نمودار نمایش دهیم که معمولاً به اینگونه توصیف، مدلهای گرافیکی گویند. در بعضی از کاربردهای پیشرفته ممکن است از مدلهایی استفاده شود که ارتباط بین متغیرهای سیستم را برحسب جملات ریاضی، مانند معادلات دیفرانسیل و یا معادلات تفاضلی ارائه کند. به این گونه مدلها، مدلهای ریاضی و یا تحلیلی گفته می‌شود. مدلهای ریاضی ممکن است پیوسته یاگسسته با زمان، معین[1] یا تصادفی[2]، خطی و یا غیرخطی باشند. مدلهای ریاضی در تمام شاخه‌های علوم، مانند اقتصاد، زیست‌شناسی، پزشکی و مهندسی کاربرد دارد. همچنین می‌توان از این مدلها به عنوان ابزاری برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی استفاده کرد[3].

تعیین مدل

یک مدل با استفاده از اطلاعات ورودی ـ خروجی سیستم و تحلیل این اطلاعات توسط روشهای ریاضی تعیین می‌شود. به این روش، شناسایی سیستم[4] گفته می‌شود. برای تعیین یک مدل با استفاده از اطلاعات مشاهده شده، سه عامل زیر لازم است:

۱ـ اطلاعات، ۲ـ مجموعه‌ای از مدلهای داوطلب (این مدلها به روش شناسایی بستگی دارد) و ۳ـ قانون و معیاری که توسط آن مدل برتر انتخاب شود.

1- Deterministic.

2- Stochastic.

۳- ن.ک. منابع شماره ۲۸،۲۷ و ۲۹.

4- Identification System.

برآورد و ارزیابی مدل

پس از انتخاب مدل، بایستی آزمون گردید که آیا این مدل به اندازه کافی مناسب و دقیق است یا خیر؟ روشهای متفاوتی برای اینکار وجود دارد که ارتباط مدل را با اطلاعات مشاهده شده نشان می‌دهد.

۲ـ۲ـ شناسایی سیستم[1]

روش شناسایی سیستم دارای یک چرخه طبیعی است، ابتدا جمع‌آوری اطلاعات صورت گرفته، بعد از آن مجموعه‌هایی از مدلها انتخاب می‌شوند و سپس بهترین مدل در این مجموعه انتخاب می‌گردد. یک مدل ممکن است بنا به دلایل زیر قابل قبول و کارا نباشد:

ـ روند محاسبات برای پیدا کردن بهترین مدل یا معیار مورد نظر، با مشکل مواجه شود.

ـ معیار و محک سنجش مدل به درستی انتخاب نشده باشد.

ـ کلیه اعضای مجموعه مدل نامناسب بوده و عضوی که سیستم را به خوبی بیان کند وجود نداشته باشد.

ـ اطلاعات جمع‌آوری شده به اندازه کافی غنی نبوده و مدل مناسب توسط این اطلاعات قابل شناسایی نباشد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳ـ۲ـ معیار ارزیابی رگرسیون

می‌توان با استفاده از مانده‌های[2] مدل رگرسیون، معیاری ساخت که با آن، خوبی و برازندگی مدل را با داده‌ها اندازه گرفت. مدل رگرسیونی بد، مانده‌های بزرگ و مدل رگرسیونی خوب مانده‌های کوچک دارد. معیار استفاده شده در این مقاله، مستقل از واحد اندازه‌گیری متغیرهای مدل تخمین می‌باشد، این معیار عبارت است:

1- Model Validation.

2- Residuals.

$$R^2 = 1 - \frac{Var(\varepsilon_N)}{Var(r_N)}\ ,\ 0 \le R^2 \le 1 \qquad (۲)$$

البته در عمل، از تخمین واریانس به وسیله تقریبهای زیر استفاده می‌شود. عبارت معادل برای فرضیه بازار کارا که در اینجا از آن استفاده می‌شود، عبارت است از:

$$Var(r_N) = Var(\varepsilon_N) \qquad (۳)$$ و یا به طور معادل:

$$R^2 = 1 - \frac{Var(\varepsilon_N)}{Var(r_N)} = 1-1=0 \qquad (۴)$$ بنابراین شواهد تجربی که $R^2 \neq 0$ در جهت خلاف کارایی بازار بوده و شواهدی که $R^2=0$ هم با کارایی بازار و هم با وجود ساختار غیرخطی موافق است و همخوانی دارد. R^2 با رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{\hat{Var}(\varepsilon_N)}{\hat{Var}(r_N)} \qquad (۵)$$

که در آن:

$$\hat{Var}(r_N) = \frac{\sum_{n=1}^{N}(r_n - \hat{r})^2}{N-1}\ ,\ \hat{Var}(\varepsilon_N) = \frac{\sum_{n=1}^{N}(r_n - \bar{r})^2}{N-1}\ ,\ \bar{r}_N = \frac{\sum_{n-1}^{N} = r_n}{N} \qquad (6)$$

در این رابطه، $\hat{R}^2$ یا بازده تخمین، به عنوان معیاری برای خوبی مدل استفاده می‌شود؛ در واقع $\hat{R}^2$ جزیی از انحرافات کل است که توسط مدل خطی بیان شده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳ـ مدلسازی خطی و پیش‌بینی قیمت سهام شرکتهای شهد ـ ایران، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و TEPIX

همان طور که ذکر گردید، فرایند شناسایی براساس مدلهای خطی، از قبیل ARIMA[1]، شامل چهار مرحله اساسی است. مرحله اول که مرحله شناسایی آزمایش نام

1- Auto Regressive Integrated Moving Avrage.

دارد، به شناسایی غیرقطعی مدل [1] می‌پردازد. این کار با استفاده از توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی انجام می‌گیرد. به محض اینکه مدل به طور آزمایشی شناسایی شد، وارد مرحله دوم شده، تخمین پارامترهای مدل صورت می‌گیرد. این مرحله، مرحله تخمین نامیده می‌شود. مرحله سوم، مرحله تشخیص دقت برازش نام دارد که در این مرحله، اعتبار مدل اولیه آزمایشی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد؛ اگر مدل نامناسب باشد، مدل باید مورد تعدیل و اصلاح قرار گیرد. تا زمانی که مدل نهایی و مطلوب به دست آید، در این صورت وارد مرحله چهارم، یعنی مرحله پیش‌بینی شده و از مدل به دست آمده به منظور پیش‌بینی مقادیر آینده سری زمانی استفاده می‌شود.

همان طور که ذکر شد، مدلهای ARMA(p,q) سریهای زمانی ایستا را توصیف می‌کنند، پس به منظور شناسایی آزمایشی یک مدل خطی، ابتدا باید تعیین شود که سری زمانی تحت بررسی، ایستاست یا خیر. در صورت ایستا نبودن، باید آن را به یک سری زمانی ایستا تبدیل کرد. روشهایی برای آزمون ایستایی سریهای زمانی وجود دارد که یکی از این روشها، استفاده از تابع خودهمبستگی است؛ همان طور که گفته شد، در سریهای زمانی ایستا، تابع خودهمبستگی به سرعت و با افزایش تعداد تأخیر میرا می‌شود. از روشهای متداول دیگر می‌توان به آزمون ریشه واحد دیکی ـ فولر [2] اشاره کرد؛ در واقع، سئوال اصلی در مدلهای ARMA(p,d,q) آن است که چند مرتبه باید از عملگر تفاضل استفاده نمود تا سری زمانی حاصله ایستا می‌گردد (تعیین d). در هر بار اعمال تفاضل باعث می‌شود تا یک ریشه واحد در سری زمانی جدید حذف گردد. آزمون ریشه واحد دیکی ـ فولر افزوده یک روش عملیاتی برای آزمون ایستایی سریهای زمانی است. در این روش، سطوح معنی‌دار ۱، ۵ و ۱۰ درصد تعیین شده و رگرسیونی با تأخیرهای مختلف بر روی متغیر وابسته صورت می‌گیرد. اگر ضریب متغیر وابسته در این رگرسیون تفاوت زیادی با مقدار صفر داشته باشد، فرض اینکه سری زمانی دارای ریشه واحد است با احتمال یک منهای سطح معنی‌دار مربوطه رد می‌گردد. آماره t [3] مربوط به این ضریب محاسبه شده و اگر این آماره از مقادیر بحرانی مربوط به سطح معنی‌دار کمتر باشد، فرض

1- Tentative Model.

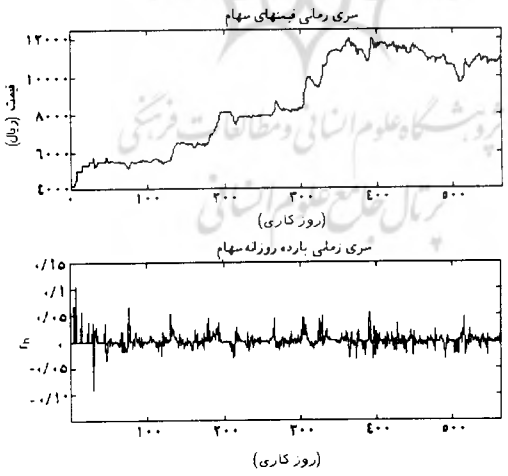
2- Dickey - Fuller Unit Root Test.

3- Statistic.

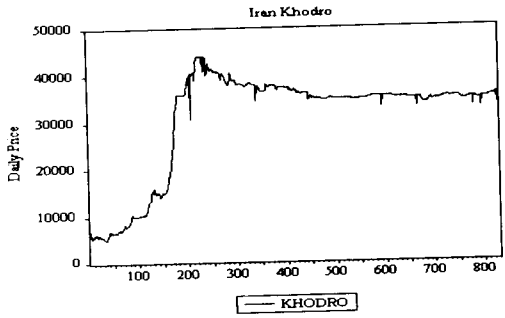
داشتن ریشه واحد رد و ایستایی سری زمانی پذیرفته می‌شود.

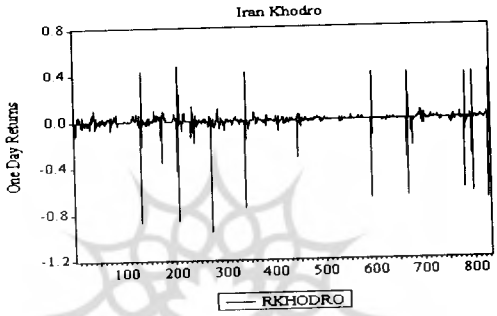
۱ـ۳ـ سری زمانی قیمت و بازده سهام شرکت شهد ـ ایران، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و TEPIX و بررسی ایستایی آنها

شکلهای ۱ الی ۶ قیمت بازده روزانه سهام شرکت‌های شهد ـ ایرن، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و TEPIX را نشان می‌دهد. داده‌های قیمت به صورت داده‌های روزانه بوده و هرگونه عملیات ویژه، از جمله افزایش سرمایه، سهام جایزه، پرداخت سود نقدی وغیره، در قیمتها لحاظ شده است. در این صورت می‌توان بازده را به شکل ساده $r_n=\frac{P_n-P_{n-1}+d_n}{P_{n-1}}$ نوشت. در این رابطه P_n قیمت در nام و d_n سود تقسیم شده در این روز است. سود مزبور ممکن است به صورت پرداخت نقدی، سهام جایزه یا افزایش سرمایه در نظر گرفته شود.

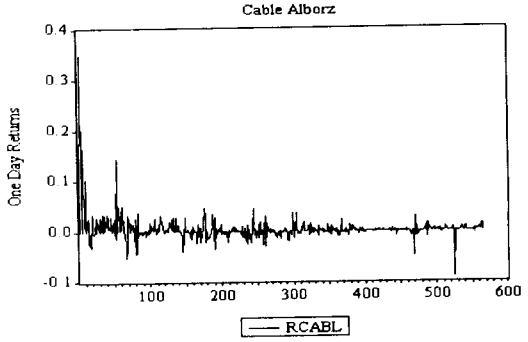


شکل ۱الف و ۱ب ـ قیمت سهام شهد ـ ایران و بازده روزانه این سهم

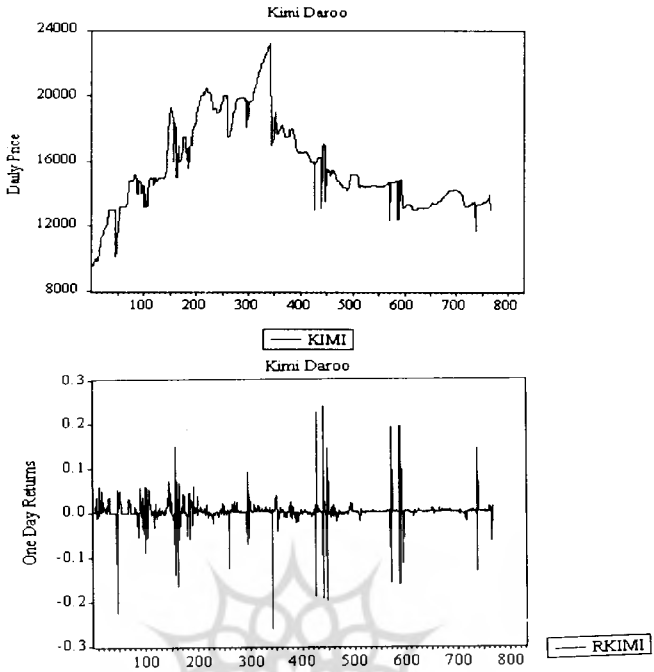




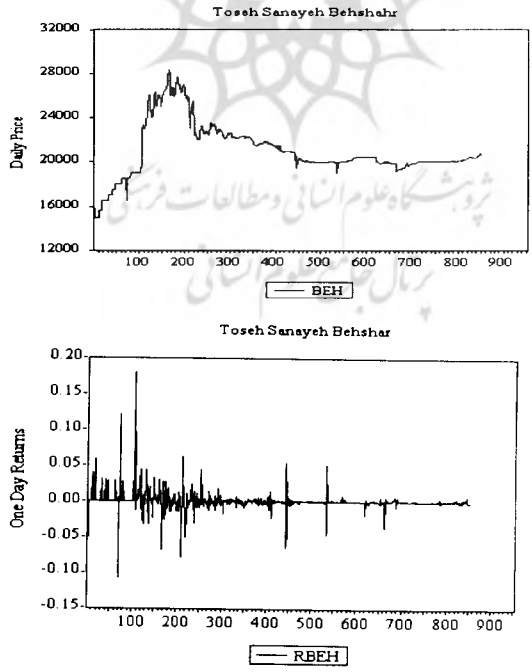
شکل ۲الف و ۲ب ـ قیمت سهام ایران خودرو و بازده روزانه این سهم



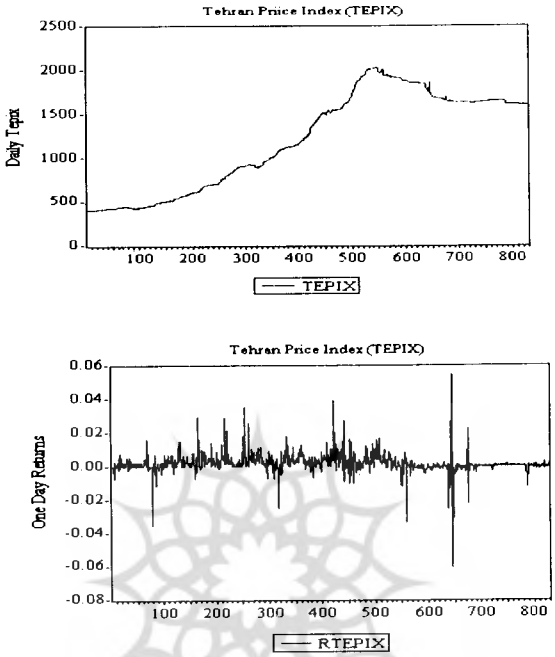
شکل ۳الف و ۳ب ـ قیمت سهام کابل البرز و بازده روزانه این سهم



شکل ۴الف و ۴ب ـ قیمت سهام کیمیدارو و بازده روزانه این سهم



شکل ۵الف و ۵ب ـ قیمت سهام توسعه صنایع بهشهر و بازده روزانه این سهم

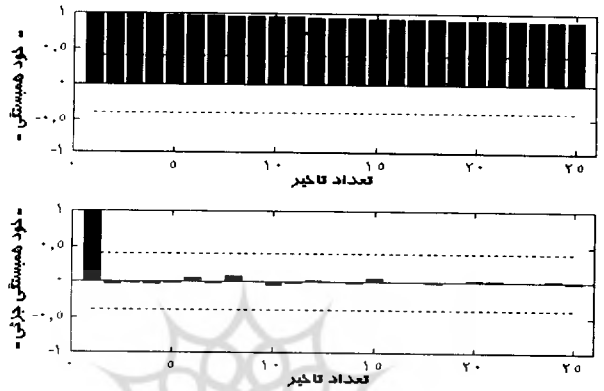


شکل ۶الف و ۶ب ـ شاخص بورس تهران (TEPIX) و بازده روزانه این سهم

از مطالعه سری زمانی قیمت سهم، با توجه به شکلهای ۱ الی ۶ مشاهده می‌شود که خواص آماری سری زمانی مربوطه در بازده‌های زمانی مختلف یکسان نیست؛ برای مثال، میانگین را می‌توان نام برد. لذا این سری زمانی ایستا نبوده و بایستی ابتدا با عملگر تفاضل سری جدید ایستایی[1] را ایجاد نمود؛ به عنوان مثال، تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی سری زمانی قیمت سهام شهد ـ ایران به ازای ۲۵ تأخیر در شکل (۷) نشان داده شده است. عدم میرایی سریع تابع خودهمبستگی قیمت، نشانگر غیرایستایی آن است. با انجام آزمون ریشه واحد نیز می‌توان نشان داد که سری زمانی

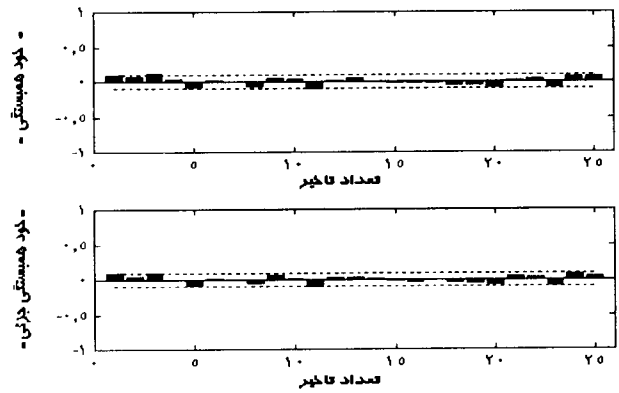
1- Stationary Time Series.

قیمت ایستا نیست؛ یعنی آماره t دیکی ـ فولر از مقادیر بحرانی مربوط به سطوح معنی‌دار کوچکتر نمی‌باشد.



شکل ۷الف و ۷ب ـ تابع خودهمبستگی جزئی سری زمانی و قیمت شهد ـ ایران

سری جدید $\nabla P_t = P_t - P_{t-1}$ تشکیل و آزمون توابع خودهمبستگی مجدداً اعمال شده است، نتایج حاصله (شکل ۸) نشانگر ایستایی سری حاصل از تفاضل مرتبه اول می‌باشد. بایستی توجه داشت در مدلسازی خطی با ساختار ARMA لازم است سری زمانی مربوطه ایستا باشد؛ در واقع، چون این ساختار بر روی سری زمانی جدید ∇P_t اعمال می‌گردد، نهایتاً مدل خطی به شکل ARIMA خواهد بود. شکلهای ۸الف و ۸ب، به ترتیب تابع خودهمبستگی و تابع همبستگی جزیی سری زمانی تفاضل اول قیمت شهد ـ ایران را به ازای ۲۵ تأخیر نشان می‌دهد.



شکل ۸الف و ۸ب ـ تابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی تفاضل اول قیمت شهد ـ ایران

با تعریف r_n به صورت بازده، این سری روندزدایی [1] شده و اگر از روشهای فوق استفاده نماییم، می‌توان دید که سری زمانی بازده ایستاست. در مورد شرکتهای دیگر، سری زمانی قیمت روزانه، پس از یک بار اعمال عملگر تفاضل ایستا می‌شود، ولی سری زمانی بازده روزانه ایستاست.

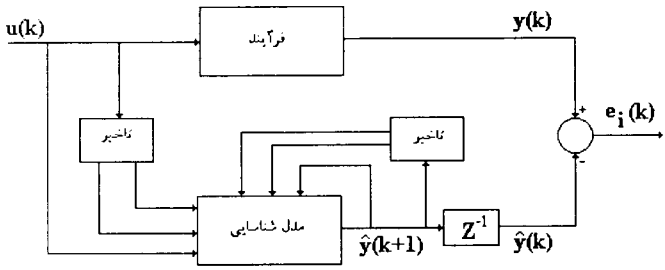
۲ـ۳ـ مدل موازی و مدل سری ـ موازی جهت شناسایی [2]

مدل شناسایی موازی (پیش‌بینی درازمدت)

مدل شناسایی موازی برای شناسایی دینامیک فرایندی نامعلوم، در شکل (۹) نشان داده شده است.

1- Deternd.

2- Narendra, K.S. & K. Parthasarathy; **Indentification and Control of ... .**



شکل ۹ـ مدل موازی جهت شناسایی یک فرایند دینامیکی

روابط ورودی - خروجی شبکه شناسایی به صورت زیر است:

$$\hat{y}(k+1) = \phi\,[u(k),\ldots u(k-n_u), y(\hat{k}),\ldots y(\hat{k-n_y})] \qquad (۷)$$

n_u و n_y به ترتیب درجات تأخیر ورودی و خروجی، ϕ تابع خطی یا غیرخطی مدل شناسایی و $\hat{y}$ خروجی مدل شناسایی می‌باشند. در پیش‌بینی درازمدت می‌بایست از این مدل استفاده کرد. در مدل موازی، هیچ گونه ضمانتی برای اینکه خطای خروجی فرایند دینامیکی و مدل شناسایی، به صفر میل کند وجود ندارد. علیرغم دو دهه کار، شرایطی که تحت آن e_i (خطای خروجی فرایند دینامیکی و مدل شناسایی) به صفر همگرا شود، به دست نیامده است؛ به همین خاطر از مدلی بنام مدل سری ـ موازی در فاز شناسایی استفاده می‌شود.

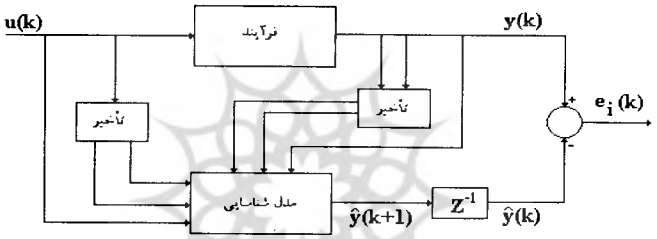
مدل شناسایی سری ـ موازی

بر خلاف مدل موازی، در مدل سری ـ موازی از خروجیهای فرایند دینامیکی و خروجیهای تأخیر یافته آن، به عنوان ورودی مدل شناسایی استفاده می‌شود. از این مدل در پیش‌بینی مرحله بعد استفاده می‌شود.

می‌توان روابط ورودی و خروجی را در مدل سری ـ موازی شکل زیر نوشت:

$$\hat{y}\ (k+1) = \phi\ [u(k),\ldots\ u(k-n_u),\ y(k),\ldots\ y(k-n_y)] \qquad (۸)$$

$\hat{y}(k+1)$، تخمین خروجی فرایند دینامیکی در لحظه $k+1$ است. در این ساختار احتمال همگرایی خطای e_t به صفر بیشتر است. فرایند شناسایی با مدل سری ـ موازی در شکل (۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۱۰ـ شناسایی فرایند استفاده از مدل سری ـ موازی

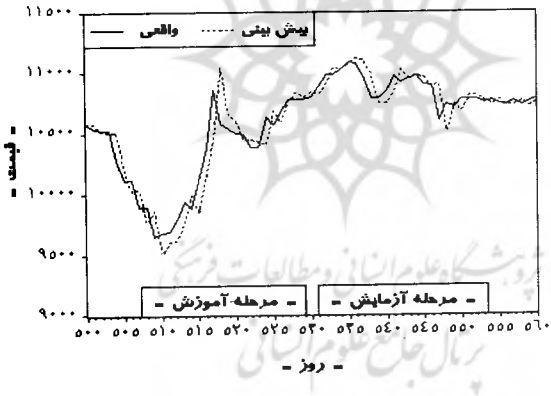
۳ـ۳ـ پیش‌بینی یک مرحله بعد قیمت روزانه سهام شهد ـ ایران با استفاده از مدل سری ـ موازی

همان طور که اشاره شد، برای مدلسازی خطی با ساختار ARMA، در صورت ایستا نبودن سری زمانی با استفاده از عملگر تفاضل سری زمانی جدید ساخته می‌شود. باید توجه کرد که حداقل d به دست آمده برای ایستاکردن سری زمانی، لزوماً بهترین مدل و تخمین را به دست نمی‌دهد و معمولاً برای داشتن مدلی با بازده تخمین بالاتر و کارایی بیشتر، به $d>dmin$ احتیاج است. در اینجا، بهترین مدل به دست آمده برای قیمت، دارای ساختار ARIMA(3,3,2) بوده، می‌توان آن را به شکل زیر نوشت:

$$\hat{\nabla^3 P_t} = -1.480651\nabla^3 P_{t-1} - 0.924503\nabla^3 P_{t-2} - 0.351964\nabla^3 P_{t-3} - 0.159362e_{t-1} - 0.828186e_{t-2} \quad (۹)$$

که $\nabla^3 P_t$ برابر با: $P - 3P_{t-1} + 3P_{t-2} - P_{t-3}$

پارامترهای تخمینی و مشخصات آماری این مدل در جدول (۱) آمده است. شکل ۱۱ نیز مشاهدات سری زمانی قیمت شهد ـ ایران و خروجی‌های مدل را در مرحله آموزش و آزمایش نشان می‌دهد.



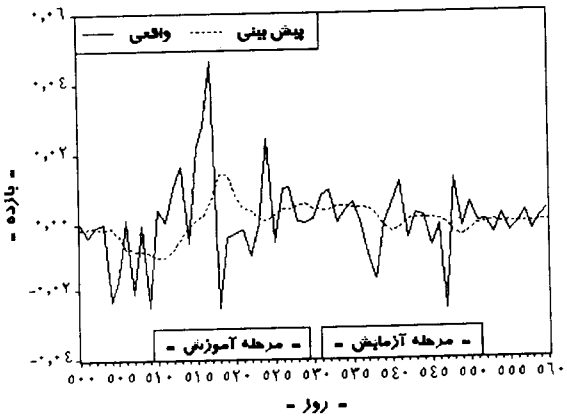
شکل ۱۱ـ پیش‌بینی قیمت روز بعد با استفاده از مدل سری ـ موازی

جدول ۱ ـ ضرایب و مشخصات آماری مدل تخمین قیمت شهد ـ ایران

Ls//Pependent Variable is D(SH,۳)				
Variable	Coefficient	Std.Error	T-Statistic	Prob
AR(۱)	-۱/۴۸۰۶۵۱	۰/۰۸۷۱۸۸	-۱۶/۹۸۲۳۷	۰/۰۰۰
AR(۲)	-۰/۹۲۴۵۰۳	۰/۰۷۹۶۹۷	-۱۱/۶۰۰۲۴	۰/۰۰۰
AR(۳)	-۰/۳۵۱۹۶۴	۰/۰۴۴۹۶۵	-۷/۸۲۷۴۹۳	۰/۰۰۰
MA(۱)	-۰/۱۵۹۳۶۲	۰/۰۷۶۴۸۹	-۲/۰۸۳۴۴۵	۰/۰۳۷۷
MA(۲)	-۰/۸۲۸۱۸۶	۰/۰۸۲۵۳۳	-۱۰/۰۳۴۶۶	۰/۰۰۰
R-squared	۰/۷۷۵۳۷۴	Mean dependent var		-۰/۶۰۷۲۸۷
Adjusted R-squared	۰/۷۷۳۵۳۶	S.D. dependent var		-۲۶۱/۰۲۱۱
S.E. of regression	۱۲۴/۲۱۵	Akaike info criterion		-۹/۶۵۴۱۰۲
Sum squared resid	۰/۷۵۴۴۹۹۴	Schwartz criterion		-۹/۶۹۶۶۳۸
Log Likelihood	-۳۰۸۰/۵۱۹	F-Static		۴۲۱/۹۸۷۱
Durbin-Watson stat	۲/۰۹۷۳۳۹	Prob(F-statistic		-۰/۰۰۰۰۰۰
Inverted AR Roots	-/۳-۰۵۶i	-/۳+/۵۶۱	-/۸۹	
Inverted MA Roots	/۹۹	-/۸۳		

با بررسی توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزیی باقیمانده مدل قیمت ARIMA(3,3,2) به ازای ۲۵ تأخیر و قرار داشتن مقادیر این توابع در زیر حد فاصل مرسوم، می‌توان نتیجه گرفت خطای تخمین تصادفی بوده و در نتیجه برازش مدل به خوبی صورت گرفته است؛ در واقع، طبق آمار کلاسیک می‌توان انتظار داشت که ساختار خطی به جا مانده در سری زمانی باقیمانده‌های قیمت در این مدل وجود ندارد.

به همین ترتیب، مدل تخصیص یافته به فرایند مدل سری زمانی بازده سهام شهد ـ ایران دارای ساختار ARIMA(2,2,3) خواهد بود که به خاطر ایجاز، از آوردن جدول مربوطه صرفنظر می‌شود. مشاهدات سری زمانی بازده شهد ـ ایران و خروجیهای مدل در دو مرحله آموزش و آزمایش در شکل (۱۲) رسم شده است.



شکل ۱۲ـ پیش‌بینی بازده روز بعد سهام شهد ـ ایران با استفاده از مدل سری ـ زمانی

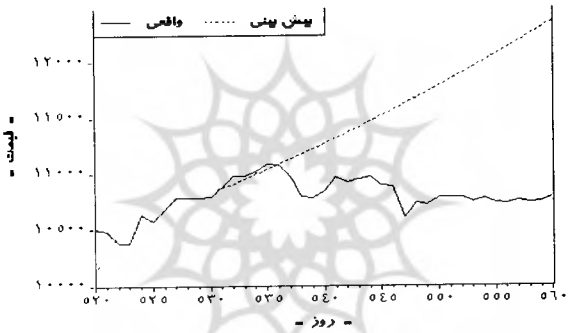
بررسی اعتبار مدل بازده نیز مانند مدل قیمت صورت می‌گیرد و تصادفی بودن خطای تخمین و در نتیجه برازش خوب مدل محرز می‌گردد؛ در واقع مجدداً می‌توان انتظار داشت که ساختار خطی به جا مانده‌ای در سری زمانی باقیمانده‌های مدل بازده وجود ندارد (طبق آمار کلاسیک).

۴ـ۳ـ پیش‌بینی قیمت و بازده سهام شهد ـ ایران با استفاده از مدل موازی (پیش‌بینی درازمدت)

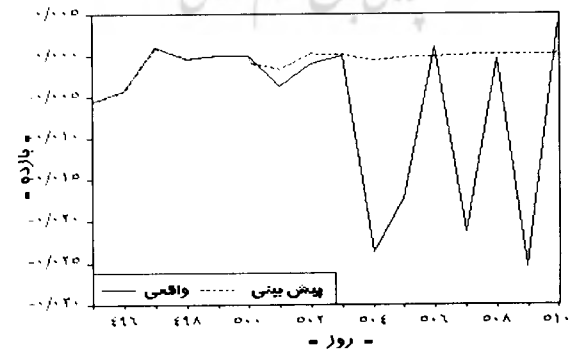
پیش‌بینیهای صورت گرفته با مدلهای تخصیص یافته فوق و شکلهای مندرج در قسمتهای قبل، مربوط به پیش‌بینی قیمت و بازده مرحله زمانی بعد است. از آنجائی که در این پژوهش از اطلاعات روزانه استفاده شده است، پیش‌بینی قیمت روز بعد[1] و بازده روز بعد سهم صورت گرفته است. این پیش‌بینی با توجه به زمانبری فرایند خرید و یا فروش سهام در بازار بورس تهران ممکن است چندان مفید نباشد. در مدلهای به دست آمده پیش‌بینی روز k+1 براساس اطلاعات واقعی در زمانهای k,k-1,...k-2 صورت

1- Next Price.

می‌گیرد؛ در حالی که اگر شناسایی فرایند مولد سری زمانی صورت گرفته باشد، رفتار فرایند با وجود ورودیها و شرایط اولیه کاملاً مشخص شده، در مرحله پیش‌بینی نیازی به اطلاعات واقعی نخواهد بود؛ در واقع اگر از مدلهای به دست آمده برای پیش‌بینی با افق بیشتر از یک مرحله استفاده شود، برای k+T لازم است در مدلهای مربوطه تنها از اطلاعات تخمینی خروجی استفاده شود؛ یعنی در طی فرایند رو به جلو پیش‌بینی، از خروجیهای مدل خطی (بجای مقادیر واقعی) استفاده شود. شکلهای (۱۳) و (۱۴) به ترتیب نشان‌دهنده عملکرد مدلهای به دست آمده قیمت و بازده سهام با افق پیش‌بینی ۳۰ روز است.



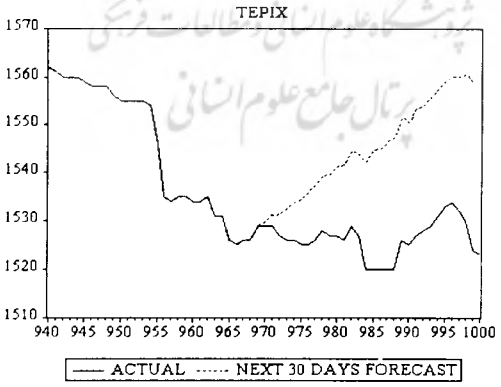
شکل ۱۳ـ پیش‌بینی قیمت ۳۰ روز آینده سهام شهد ـ ایران با استفاده از مدل موازی



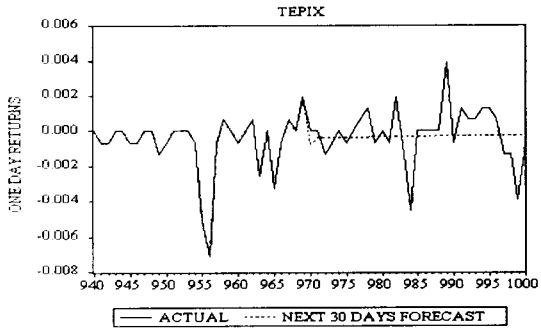
شکل ۱۴ـ پیش‌بینی بازده سهام شهد ـ ایران در ۱۰ روز آینده با استفاده از مدل موازی

در مورد شرکتهای دیگر تحت مطالعه، سری زمانی قیمت روزانه، پیش از یک بار اعمال عملگر تفاضل ایستا می‌شود؛ ولی سری زمانی بازده روزانه ایستاست. بهترین مدل به دست آمده برای قیمت سهام ایران خودرو و بازده آن به ترتیب، دارای ساختار ARIMA(1,2,1) و AR(3)؛ برای قیمت سهام کابل البرز و بازده آن به ترتیب، دارای ساختار ARIMA(2,2,1) و ARMA(1,3)؛ برای قیمت سهام کیمیدارو و بازده آن به ترتیب، دارای ساختار ARIMA(1,2,1) و AR(2)؛ برای قیمت سهام توسعه صنایع بهشهر و بازده آن به ترتیب، دارای ساختار ARIMA(2,1,1) و MA(2) و بالاخره برای TEPIX و بازده آن به ترتیب، ARIMA(1,1,1) و ARMA(2,1) به دست آمده است که از آوردن شکلهای آن صرفنظر می‌شود.

مجدداً اگر از مدل موازی استفاده شود و پیش‌بینی ۳۰ روز بعد قیمت و بازده سهام شرکتهای ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و TEPIX صورت پذیرد، عملکرد پیش‌بینی ۳۰ روز بعد قیمت و بازده سهام شرکتهای مورد بررسی کاملاً مأیوس‌کننده می‌باشد که در اینجا تنها به ذکر نتایج مربوط به این پیش‌بینی در مورد TEPIX بسنده می‌شود.



شکل ۱۵ الف ـ پیش‌بینی قیمت ۳۰ روز آینده TEPIX با استفاده از مدل موازی



شکل ۱۵ ب ـ پیش‌بینی بازده TEPIX در ۳۰ روز آینده با استفاده از مدل موازی

۵ـ۳ـ نتیجه‌گیری از مدلسازی خطی و پیش‌بینی بر این اساس

در این قسمت پس از بررسیهای انجام شده، با استفاده از اطلاعات مربوط به قیمت (بازده) شرکتهای شهد ـ ایران، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و همچنین شاخص قیمت سهام در بورس تهران (TEPIX)، نشان داده شده است که با به کارگیری مدلهای خطی می‌توان قیمت (بازده) روز بعد را پیش‌بینی نسبتاً خوبی نمود. لیکن مدلهای به دست آمده به حالتهای اولیه (قیمت و بازده تخمینی گذشته) بسیار حساس هستند؛ به طوری که مقداری خطا در تخمین قیمت (بازده) روز بعد، خطای بسیار زیادی را در پیش‌بینی‌های روزهای بعد ایجاد می‌کند؛ لذا در بررسیهای انجام شده، نشان داده شد که مدلهای خطی کارایی لازم را برای فرایند پیش‌بینی درازمدت ندارند. پیچیده‌تر کردن مدل مورد مطالعه نیز بهبود قابل ملاحظه‌ای در پیش‌بینی درازمدت حاصل نمی‌کند. می‌توان ادعا نمود که مدلهای خطی، به خاطر پیچیدگی فرایند مولد سری زمانی، قادر به بازسازی و احیاء دینامیک فرایند مربوطه نبوده، جهت پیش‌بینی درازمدت کارایی لازم را ندارند. اینگونه رفتار، شبهه آشوبگونه[1] بودن فرایند مولد قیمت (بازده) را ایجاد می‌نماید.

1- Chaotic.

۴- پیش‌بینی پذیری سریهای زمانی

مدلهای خطی سری زمانی ARIMA، ابزاری مناسب برای پیش‌بینی کوتاه مدت می‌باشند. در سالهای اخیر، طبقه‌ای از فرایندها به نام فرایندهای آشوب[1] شناسایی و کشف شده است. پیشرفتهای اخیر در مورد سریهای زمانی آشوبگونه، نشان داده است که روشهای خطی کلاسیک مانند حداقل مربعات و مدلهایی از قبیل ARIMA کفایت لازم را برای دریافت و استخراج الگوهای غیرخطی در سریهای زمانی ندارند؛ به عنوان مثال، ممکن است متغیر شبه تصادفی قیمت واقعاً تصادفی نباشد، ولی اگر با روشهای آزمون خطی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد، تصادفی بودن آن نتیجه می‌شود. در این حالت، ممکن است متغیر غیرتصادفی، متغیری غیرخطی و آشوبگونه بوده، دارای اطلاعات و الگوهایی با ارزش برای پیش‌بینی باشد؛ اما مدلهای خطی قادر به استخراج آن نباشند.

در اغلب اوقات، طیف و تابع اتوکوواریانس سریهای آشوبگونه مانند نویز سفید است. در واقع اغلب فرایندهای آشوبگونه دارای خواص گشتاور اول و دومی مشابه با نویز سفید هستند. همان طور که گفته شد، گرچه سریهای زمانی آشوبگونه مانند سریهای تصادفی به نظر می‌رسند، لیکن خواص ویژه‌ای دارند که آنها را از سریهای تصادفی متمایز می‌کند. خاصیت مهمی که یک فرایند آشوبگونه داشته بدین وسیله از یک فرایند تصادفی متمایز می‌شود، حساسیت آن به حالت اولیه است؛ بدین ترتیب که خطای کوچکی در اندازه‌گیری حالت اولیه، موجب افزایش نمایی در فرایند آینده این سری زمانی می‌گردد. یکی از کاربردهای فرضیه آشوب، آزمایش وجود الگوهای غیرخطی مخفی در جملات خطا هنگام استفاده از مدلهای خطی است. در صورت مثبت بودن این آزمون، پیش‌بینی کوتاه‌مدت فرایند مربوطه با استفاده از مدلهای غیرخطی ممکن خواهد بود. از خواص دیگر فرایندهای آشوبگونه آن است که هنگام استفاده از مدلهای خطی در فرایند مدلسازی اینگونه فرایندها، برازش اطلاعات گذشته فرایند با مدل بسیار خوب بوده در حالی که عملکرد مدل در مرحله آزمایش بسیار بد است.[2]

همان طور که نشان داده شد، عملکرد ضعیف مدلهای ARIMA(p,d,q) در فرایند پیش‌بینی با افق پیش‌بینی بیشتر از یک روز، حکایت از ماهیت پیچیده فرایند مولد

1- Chaos Process.

۲- ن.ک. فهرست منابع، شماره‌های ۴، ۵، ۶ و ۷.

قیمت (بازده) سری زمانی مربوطه دارد.

۵- پیش‌بینی براساس مدل‌های غیرخطی (شبکه‌های عصبی غیرخطی)

علیرغم وجود فرضیه‌های قوی، مانند فرضیه بازار کارا، این فرضیه تنها یک نظریه بوده و هر نظریه با استنتاجات، دلایل و مشاهدات مناسب قابل رد شدن است؛ در واقع ممکن است روشهایی ابداع شوند که خلاف این فرضیه را اثبات نمایند.

درک انسان به طور ذاتی، محدود به میزان قابلیت پردازش اطلاعات دریافتی خود است و بنابراین کارایی‌های او نیز محدود به میزان قدرت پردازش اطلاعاتی اوست. حال اگر بتوان روشهای جدید پردازش را به وجود آورد که دارای پتانسیل قوی استنتاج و کشف ساختارها و الگوها در سیستمهای دینامیکی ناشناخته باشند، به طوری که مثلاً تأثیر مجامع عادی و یا فوق‌العاده و یا دسترسی به اطلاعات داخلی شرکتها را با بررسی روند گذشته قیمتها کشف و استخراج نمایند، در این صورت ممکن است بتوان تئوری بازار کارا را زیر سئوال برد. البته این روشها در مورد بازارهایی که همبستگی قیمت دارند و اصولاً فرض بازار کارا در مورد آنها صادق نیست، به خوبی عمل کرده و توسط آنها می‌توان مدلهایی را ایجاد نموده و براساس آن مدلها فرایند پیش‌بینی را با عملکرد نسبتاً خوب (پیش‌بینی کوتاه‌مدت) انجام داد.

شبکه‌های عصبی، قابلیت یادگیری رفتارهای پیچیده را دارا هستند. آنها از چندین پردازشگر ساده غیرخطی (معمولاً) متصل به هم به نام گره و یا نرون،[1] تشکیل می‌شوند. اتصال تعداد بسیار زیاد نرون‌های ساده که مغز بشر را تشکیل می‌دهند، اولین ایده برای ساختن مدلهای شبکه عصبی بوده است. تکنیکهای مدلسازی به وسیله شبکه‌های عصبی نتایج موفقیت‌آمیزی در مسائل پیچیده‌ای مانند تقریب توابع[2] پیچیده با هر دقتی، تشخیص الگو[3] و پیش‌بینی فرایندهای غیرخطی داشته‌اند.

استفاده از شبکه‌های عصبی برای انجام نگاشت و تقریب توابع، در واقع تعمیمی بر تحلیل رگرسیون و آمار کلاسیک است. در رگرسیون، ساختار مشخصی با مجموعه‌ای از

1- Node or Neuron.

2- Function Approximation.

3- Pattern Recognition.

اطلاعات توسط معیارهایی مانند خطای میانگین برازش می‌شود. شبکه‌های نگاشت عصبی را می‌توان فراتر از رگرسیون[1] نیز نامید[2]. مهمترین امتیاز شبکه‌های عصبی جهت نگاشت نسبت به روشهای رگرسیون آماری کلاسیک، این است که شبکه‌های عصبی، شکل تابعی[3] عمومیتری را نسبت به روشهای آماری کلاسیک دارند.

۱ـ۵ـ مدلسازی غیرخطی (شبکه عصبی) و پیش‌بینی

از سال ۱۹۴۰ تحقیقات در زمینه شبکه‌های عصبی آغاز شد و اهداف این تحقیقات دستیابی به راز پردازشهای سریع مغز انسان، چگونگی پردازش اطلاعات در آن، چگونگی کار حافظه انسان، مسئله یادگیری، یادآوری و... می‌باشد . مغز انسان در حدود $۱۰^{۱۲}$-$۱۰^{۱۱}$ نرون دارد که به طور پیچیده‌ای با هم در ارتباط هستند. محققین شبکه‌های عصبی مصنوعی و مغز معتقدند که کلید اصلی درک رفتار مغز انسان، به عنوان یک سیستم پردازش اطلاعات، در چگونگی ارتباط و اتصال نرونها با یکدیگر است.

نقش شبکه عصبی، ایجاد تابعی است که هر الگوی ورودی را به یک الگوی خروجی ربط دهد. یک الگوریتم یادگیری، مثلاً قانون یادگیری پس انتشار خطا[4] با استفاده از خواص آماری یک مجموعه ورودی ـ خروجی (که مجموعه تربیتی نامیده می‌شود) سعی می‌کند تا شبکه را نسبت به اطلاعاتی غیر از مجموعه یادگیری (آموزش) شمولیت و تعمیم دهد.

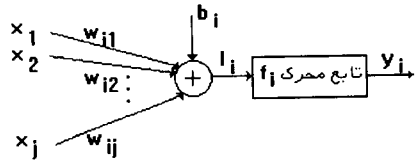
بدون در نظر گرفتن قدرت تعمیم و شمولیت، مدلهای شبکه عصبی مانند جداول اطلاعاتی از پیش تعیین شده‌ای هستند که زیاد جالب نبوده و کارایی چندانی ندارند. یک مدل براساس شبکه‌های عصبی، نمودار و نقشه‌ای است متشکل از چندین نرون به هم اتصال یافته. نرون iام از یک گراف شبکه عصبی را می‌توان به شکل زیر نشان داد:

1- Beyond Regression.

2- Werbos, P.; **Beyond Regression: Tow Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Science;** Ph.D. Thesis; Harvard University, 1974.

3- Functional.

4- Back Propagation Learning Rule.



شکل ۱۶ ـ نرون iام

x_j خروجی نرون iام؛ W_{ij}، وزن رابط نرون iام؛ b_i، بایاس و f_i تابع محرک نرون iام است. الگوریتم پس انتشار خطا روش یادگیری با ناظر است. در این روش، پاسخهای نرونهای خروجی با پاسخ مطلوب مقایسه شده و با انتشار خطای حاصله بین نرونهای لایه‌های ماقبل، وزنهای ارتباطی هر لایه به میزانی تصحیح می‌شود؛ در این صورت اگر همان ورودی مجدداً به شبکه عصبی وارد شود، پاسخ شبکه دارای خطای بسیار کمی خواهد بود. در مدلسازی به وسیله شبکه‌های عصبی، عموماً از سه مجموعه جدا از هم استفاده می‌شود. این مجموعه‌ها شامل داده‌های ورودی و خروجی مطلوب سیستم بوده و هر کدام متناظر با قسمتی از فرایند یادگیری نامگذاری شده و به‌ترتیب عبارتند از:

الف ـ مجموعه آموزش[1]: این بزرگترین مجموعه است و از آن برای به دست آوردن پارامترهای وزن و بایاس شبکه در شروع فرایند یادگیری استفاده می‌شود.

ب ـ مجموعه آزمایش[2]: از این مجموعه برای بهینه‌سازی شبکه به دست آمده در مرحله قبل و نیز برای آزمودن و جلوگیری از یادگیری بیش از حد[3] شبکه استفاده می‌شود. شرط خاتمه یادگیری، عدم پیشرفت شبکه در کاهش خطای پیش‌بینی مجموعه آموزش است. این مجموعه از مجموعه آموزش بسیار کوچکتر می‌باشد.

1- Training Set.

2- Test Set.

3- Over Training.

پ ـ مجموعه تأیید و برآورد[1]: چون شبکه در حین یادگیری، مشاهدات مربوط به مجموعه تأیید را نمی‌بیند، این مجموعه معیار مناسبی برای بررسی قابلیت شمولیت و تعمیم شبکه حاصل است. اگر نتایج یک مدل در مورد مجموعه تأیید مناسب باشد، این مدل برای پیش‌بینی مناسب است و می‌توان از آن برای پیش‌بینی استفاده کرد. در عمل می‌توان ابتدا یادگیری را با مجموعه آموزش شروع کرد و با کاهش میانگین خطای شبکه به مشاهدات این مجموعه متناوباً مجموعه آزمایش را به شبکه اعمال کرده و میانگین خطای شبکه را محاسبه نمود. پارامترهای شبکه‌ای را که دارای کمترین میانگین خطاست، ذخیره و از آن جهت پیش‌بینی استفاده می‌شود.

در این بخش، پیش‌بینی در بورس تهران به کمک مدلهای شبکه عصبی در مورد سری زمانی قیمت و بازده سهام شرکتهای شهد ـ ایران، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و همچنین شاخص قیمت سهام در بورس تهران (TEPIX) انجام شده است.

۲ـ۵ـ پیش‌بینی قیمت و بازده روز بعد سهام شرکتهای شهد ـ ایران، ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و TEPIX، براساس مدلهای شبکه‌های عصبی غیرخطی (مدل سری ـ موازی)

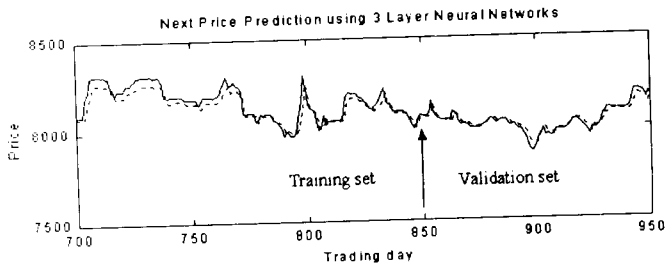
برای مدل کردن رفتار یک فرایند دینامیکی، شبکه عصبی با استفاده از مجموعه‌ای از اطلاعات ورودی ـ خروجی آموزش داده می‌شود. شبکه‌های عصبی پیش رو عمومیترین کاربرد را دارند. این چنین شبکه‌هایی می‌توانند نگاشتهای پیچیده ورودی ـ خروجی را ایجاد نمایند و تحت شرایط نه چندان پیچیده و سختی، هر نوع تابع را با هر دقتی تقریب بزنند. شبکه عصبی نگاشتی استاتیک است و برای اینکه قابلیت مدلسازی یک فرایند دینامیکی را داشته باشد، از اطلاعات گذشته فرایند که معمولاً ورودی و خروجیهای لحظات قبل هستند استفاده می‌شود. شبکه عصبی مورد استفاده در اینجا، یک شبکه پیش رو و ۳ لایه است (لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی). لایه ورودی ۵ گره، لایه میانی ۱۵ گره و لایه خروجی یک گره دارد و توابع غیرخطی از نوع

1- Validation Set.

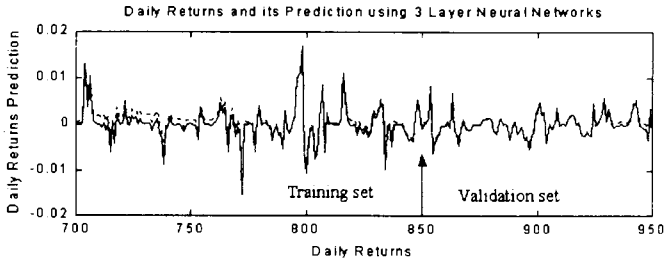
تانژانت هذلولی بوده و از قانون یادگیری پس انتشار خطا استفاده می‌گردد. با استفاده از ۵ داده گذشته ($X_k,X_{k-1},X_{k-2},X_{k-3},X_{k-4},X_{k-5}$) پیش‌بینی صورت می‌پذیرد. با اعمال ورودی به شبکه مدل، ابتدا محاسبات پیش انتشار انجام می‌شود تا خروجی مدل شبکه عصبی به دست آید؛ سپس با قانون پس انتشار خطا، خطای بین خروجی و مقدار مطلوب محاسبه شده، بین لایه‌های موجود طبق روابط پس انتشار توزیع می‌گردد و تصحیح ماتریسهای وزن و بردارهای بایاس نیز انجام می‌شود.

اطلاعات مجموعه یادگیری (آموزش) شامل تقریباً ۰/۷۵ اعضای سری زمانی مربوطه است. پس از اینکه با استفاده از این مجموعه اطلاعات، آموزش صورت پذیرفت و ماتریسهای وزن و بایاس شبکه عصبی تقریب زننده رفتار فرایند قیمت یا بازده روزانه سهام به مقادیری مطلوب همگرا شدند، متناوباً با استفاده از آن دسته اطلاعاتی که در مرحله یادگیری در شبکه استفاده نشده‌اند (مجموعه آزمایش)، میانگین خطای شبکه را محاسبه نموده، پارامترهای شبکه‌ای را که دارای کمترین میانگین خطاست ذخیره و از آن، جهت پیش‌بینی استفاده می‌شود. اطلاعات مجموعه آزمایش و همچنین اطلاعات مجموعه تأیید دارای ۳۰ عضو می‌باشند. با استفاده از ماتریسهای وزن و بایاس به دست آمده در مرحله یادگیری، فاز تأیید مدل صورت می‌پذیرد و پیش‌بینی توسط مدل به دست آمده انجام می‌گیرد.

شکل ۱۷ قیمت روزانه و پیش‌بینی سهام شهد ایران را توسط شبکه عصبی یک خروجی نشان می‌دهد؛ همچنین شکل ۱۸ نشانگر نرخ روزانه بازده و بازده روزانه پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی یک خروجی است.



شکل ۱۷ ـ قیمت روزانه پیش‌بینی آن توسط مدل شبکه عصبی یک خروجی (شهد ـ ایران)



شکل ۱۸ ـ بازده و پیش‌بینی آن توسط مدل شبکه عصبی یک خروجی (شهد ـ ایران)

برای بررسی عملکرد مدل شبکه عصبی، بازده تخمین $\hat{R}^2$ محاسبه گردیده است. این پارامتر نشانگر عملکرد فرایند تخمین و پیش‌بینی می‌باشد. مقدار بزرگ $\hat{R}^2$ نشانگر قابلیت استخراج ساختار فرایند مولد قیمت در مدل شبکه عصبی بوده، در واقع مخالف فرضیه بازار کاراست.

فرایندهای غیرخطی معینی را می‌توان معرفی کرد که دچار این وضعیت هستند؛ همان طور که ذکر شد، عبارتی معادل برای فرضیه بازار کارا که در اینجا از آن استفاده می‌شود، عبارت است از: $Var(\varepsilon_n) = Var(r_n)$ ویا به‌طور معادل: $R^2=1-\frac{\hat{Var}(\varepsilon_n)}{\hat{Var}(r)_n}=1-1=0$

بنا بر شواهد تجربی، $R^2\neq 0$ در جهت خلاف کارایی بازار می‌باشد و شواهدی دلالت بر این دارند که $R^2=0$ هم با کارایی بازار و هم با وجود ساختار غیرخطی موافق است و همخوانی دارد. R^2 با رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

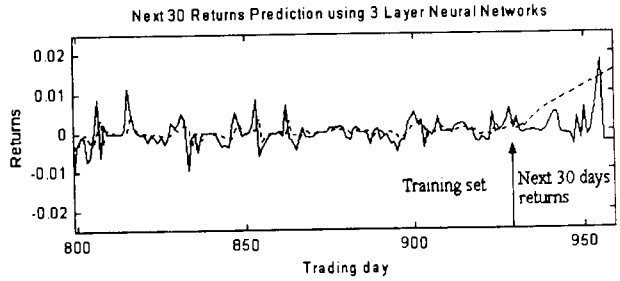
$$\hat{R}^2=1-\frac{\hat{Var}(\varepsilon_n)}{\hat{Var}(r_n)}$$

N تعداد نمونه‌هایی است که در مرحله تخمین مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اینجا $N=750$ و $\hat{R}^2$ برای مدل شبکه عصبی قیمت برابر با $\hat{0.9982}$ و برای مدل شبکه عصبی بازده برابر $\hat{0.6845}$ است که این مقدار نشانگر وجود ساختار غیرخطی در فرایند مولد سری زمانی مربوطه بوده و نیز نشانگر عملکرد بالای فرایند مدلسازی و تخمین توسط مدل غیرخطی شبکه عصبی می‌باشد. در محاسبه

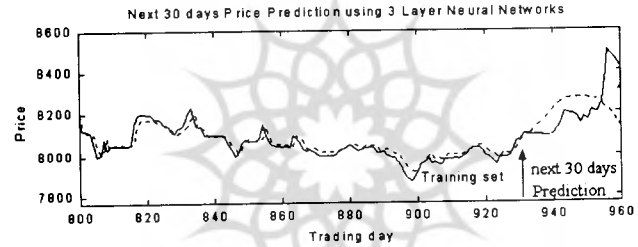
$\hat{R}^2$ و از اطلاعات واقعی و خروجی‌های مدل در مرحله آموزش و تأیید استفاده شده است. برای اینکه از پدیده برازش بیش از حد اجتناب کرده و ارزیابی بهتری بر روی تخمین $\hat{R}^2$ داشته باشیم، $\hat{R}^2$ با استفاده از اطلاعات واقعی و خروجی‌های مدل در مرحله آموزش (n=1-750)، مرحله آزمایش قیمت (n=751-850) و مرحله تأیید مدل (n=851-950) محاسبه می‌گردد. در این حالت برای مدل مرحله آموزش، این پارامتر $\hat{R}^2=0.9985$ است و برای مراحل آزمایش و تأیید، به‌ترتیب مقادیر $\hat{R}^2=0.9979$ و $\hat{R}^2=0.9975$ به‌دست آمده است. این پارامتر در مدل بازده برای مراحل فوق به ترتیب برابر است با: $\hat{R}^2=0.6554$, $\hat{R}^2=0.6011$ و $\hat{R}^2=0.5970$

۳ـ۵ـ پیش‌بینی قیمت و بازده سهام شرکت شهد ـ ایران با افق بیشتر از یک مرحله براساس شبکه‌های عصبی یک خروجی (مدل موازی)

پیش‌بینی‌های صورت گرفته با مدلهای تخصیص یافته فوق و شکلهای مندرج در قسمتهای قبل مربوط به پیش‌بینی قیمت و بازده مرحله زمانی بعد است؛ چون از اطلاعات روزانه در این پژوهش استفاده شده است، در واقع پیش‌بینی قیمت روز بعد و بازده روز بعد سهم صورت گرفته است. این پیش‌بینی، با توجه به زمان‌بری فرایند خرید و یا فروش سهام در بازار بورس تهران، ممکن است چندان مفید نباشد. در مدلهای به دست آمده، پیش‌بینی روز k+1 براساس اطلاعات واقعی در زمانهای k,k-1,k-2,... صورت می‌گیرد؛ در حالی که اگر شناسایی فرایند مولد سری زمانی صورت گرفته باشد، رفتار فرایند با وجود ورودیها و شرایط اولیه کاملاً مشخص شده است و در مرحله پیش‌بینی نیازی به اطلاعات واقعی نخواهد بود؛ در واقع اگر از مدلهای به دست آمده برای پیش‌بینی با افق بیشتر از یک مرحله استفاده شود، لازم است برای k+T به هیچ وجه از داده‌ها و مقادیر واقعی فرایند مولد سری زمانی استفاده نشود؛ یعنی در طی فرایند رو به جلو پیش‌بینی، از خروجی‌های مدل خطی (به جای مقادیر واقعی) استفاده شود. شکلهای ۱۹ و ۲۰ به ترتیب نشان‌دهنده عملکرد مدلهای به‌دست آمده قیمت و بازده سهام شهد ـ ایران با افق پیش‌بینی ۳۰ روز است.



شکل ۱۹ـ بازده روزانه و پیش‌بینی با افق ۳۰ روز مدل عصبی یک خروجی (شهد ـ ایران)



شکل ۲۰ـ قیمت روزانه و پیش‌بینی با افق ۳۰ روز با مدل عصبی یک خروجی (شـهد ـ ایران)

عملکرد ضعیف مشاهده شده، دال بر عدم کارایی مدلهای غیر خطی شبکه عـصبی یک خروجی در فرایند پیش‌بینی درازمدت است. با تغییر تعداد نرونهای شبکه، تـعداد لایه‌ها، افزایش تعداد ورودیها و غیره نـیز بـهبودی حـاصل نـمی‌شود. عـملکرد ضـعیف مشاهده شده دال بر عدم کارایی مدلهای غیرخطی شبکه عصبی یک خروجی در فرایند پیش‌بینی درازمدت است.

در مورد سهام شرکتهای ایران خودرو، کابل البرز، کیمیدارو، توسعه صنایع بهشهر و TEPIX نیز با افق بیشتر از یک مرحله (۳۰ مـرحـله) بـراسـاس شـبکه‌های عـصبی یک خروجی، مجدداً عملکردی ضعیف مشاهده شد که نشانگر عدم کارایی مدلهای غیرخطی

شبکه عصبی یک خروجی در فرایند پیش‌بینی درازمدت است.

علیرغم عملکرد خوب مدلهای شبکه عصبی یک خروجی به دست آمده در پیش‌بینی قیمت (بازده) روز بعد و خطای نسبی کوچک این مدلها، حساسیت مدلها نسبت به حالتهای اولیه بسیار بالا بوده و اختلاف اندک موجود در مقادیر پیش‌بینی روز بعد و استفاده از آنها موجب خطای بسیار زیاد خواهد شد؛ در واقع شبکه موجود، به خاطر پیچیدگی فرایند مولد سری زمانی قادر به بازسازی و احیاء دینامیک فرایند مربوطه نبوده و جهت پیش‌بینی درازمدت کارایی لازمه را ندارد. اکنون با توجه به عملکرد خوب مدلهای شبکه عصبی یک خروجی در پیش‌بینی قیمت (بازده) روز بعد و کوچکی خطای نسبی آن، مسئله پیش‌بینی با افق بیشتر از یک روز، مشابه با پیش‌بینی با افق یک روزه بررسی می‌شود، بدین ترتیب که از یک شبکه عصبی با بردار خروجی شامل چندین مؤلفه استفاده می‌شود؛ به طوری که هر مؤلفه یکی از روزهایی است که می‌بایست پیش‌بینی شود؛ در واقع شبکه عصبی مورد نظر مدلی است چند متغیره (چند ورودی، چند خروجی). در این شبکه، دنباله مرتب $X_{N+1},X_{N+2},...X_{N+T}$ براساس داده‌های موجود $X_1,X_2,...X_N$ بطور همزمان پیش‌بینی می‌شوند.

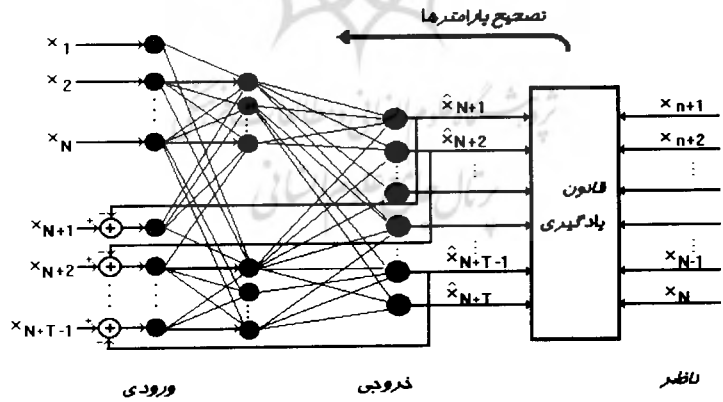
۶- پیش‌بینی با افق بیشتر از یک مرحله براساس شبکه‌های عصبی چند ورودی - چند خروجی (ساختار پیشنهادی)

همان طور که اشاره شد، ایده اصلی استفاده از مدل پیش‌بینی با ساختار چند ورودی - چند خروجی، عملکرد خوب مدلهای شبکه عصبی یک خروجی در پیش‌بینی قیمت (بازده) روز بعد است. در این ساختار، مسئله پیش‌بینی با افق بیشتر از یک روز، مشابه پیش‌بینی با افق یک روزه بررسی می‌شود؛ بدین ترتیب که از یک شبکه عصبی با یک بردار خروجی شامل چندین مؤلفه استفاده می‌گردد؛ به طوری که هر مؤلفه یکی از روزهایی است که می‌بایست پیش‌بینی شود. از ترکیب ساختار پیش‌بینی روز بعد و ساختار چند ورودی - چند خروجی، مدلی ارائه می‌شود که مزایای دو مدل مذکور را دارد. اطلاعات داده شده به لایه ورودی دنباله مرتب $X_1,X_2,X_N,...X_{N+1},...,X_{N+T-1}$ و لایه خروجی، مقادیر پیش‌بینی شده اطلاعات $X_{N+1},...,X_{N+T-1},X_{N+T}$ است. در این ساختار از اطلاعات تا لحظه $N+T-1$ در مرحله آموزش و یادگیری استفاده می‌شود؛ بدین

ترتیب تا اینجا مدل شبکه عصبی توصیف شده، عملاً با استفاده از اطلاعات تا لحظه N+T-1 ، پیش‌بینی داده X_{N+T} را انجام می‌دهد.

برای انجام پیش‌بینی درازمدت داده‌های X_{N+T}،X_{N+T-1}،...،X_{N+1}، نرونهای اضافه N+1 تا N+T-1 در لایه ورودی فرایند پیش‌بینی غیرضروری خواهد بود. این چنین ملاحظات، این ایده را القا می‌کند که از مقادیر پیش‌بینی اطلاعات X_{N+T-1}،...،X_{N+1} به نرونهای ورودی N+1 تا N+T-1 بازخور منفی داده شود و در واقع تفاضل داده‌های واقعی، X_{N+T-1}،...،X_{N+1} با مقادیر پیش‌بینی شده متناظر است که به عنوان ورودی به نرونهای ورودی X_{N+1} تا X_{N+T-1} اعمال می‌شود. باید توجه داشت که با پیشرفت فرایند یادگیری، این تفاضل‌ها به سمت صفر میل می‌کنند؛ بدین ترتیب در مرحله تأیید مدل، به نرونهای ورودی X_{N+1} تا X_{N+T-1} مقادیر صفر وارد شده و هیچگونه استفاده‌ای از داده‌های لحظات X_{N+1} تا X_{N+T-1} در پیش‌بینی مقادیر X_{N+T}،X_{N+T-1}،...،X_{N+1} صورت نمی‌گیرد.

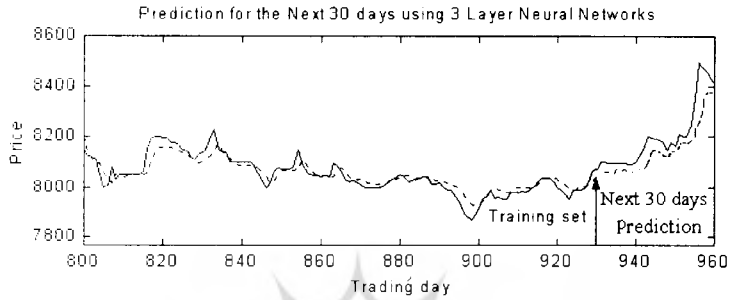
در شکل ۲۱، مدل شبکه عصبی با ساختار پیشنهادی (چند ورودی ـ چند خروجی)، برای پیش‌بینی با افق طولانی نشان داده شده است.



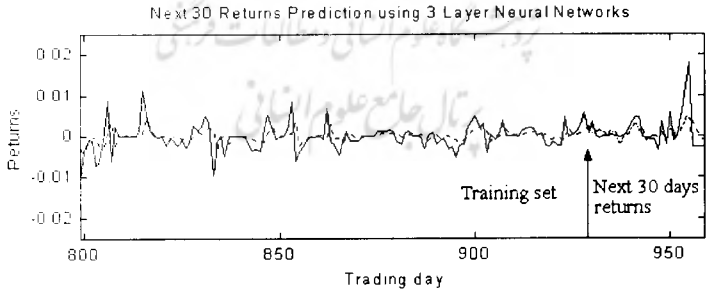
شکل ۲۱ـ شبکه عصبی چند ورودی ـ چند خروجی با ساختار پیشنهادی برای پیش‌بینی درازمدت

شکلهای ۲۲ و ۲۳ نشان‌دهنده نتایج عملکرد مدل به دست آمده قیمت بازده سهام

شهد ـ ایران با ساختار پیشنهادی و افق پیش‌بینی ۳۰ روز می‌باشد. عملکرد مثبت مشاهده شده دال بر کارایی مدلهای ساختار پیشنهادی در فرایند پیش‌بینی درازمدت است.



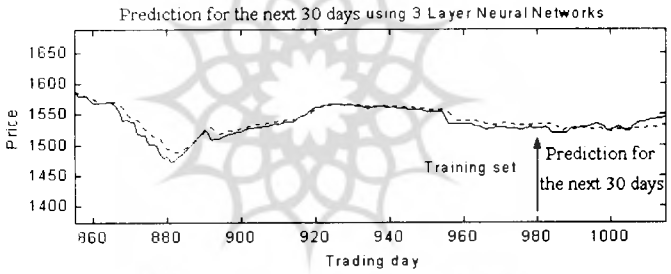
شکل ۲۲ـ قیمت و پیش‌بینی آن با افق ۳۰ روز توسط شبکه عصبی با ساختار پیشنهادی (شهد ـ ایران)



شکل ۲۳ـ بازده و پیش‌بینی آن با افق ۳۰ روز، توسط شبکه عصبی با ساختار پیشنهادی (شهد ـ ایران)

پارامتر $\hat{R}^2$ در مراحل مختلف و برای مجموعه‌های آموزش، آزمایش و تأیید در مورد مدلسازی قیمت و بازده برای ساختار پیشنهادی محاسبه گردید. در این حالت پارامتر مزبور برای مدل قیمت در مرحله آموزش، برابر 0.9982 ، برای مرحله آزمایش 0.7876 و برای مرحله تأیید 0.7515 به دست آمد. همچنین مقادیر به‌دست آمده پارامتر $\hat{R}^2$ در مدل بازده قیمت برای مراحل فوق، به ترتیب برابر با 0.6709، 0.5821 و 0.5576 می‌باشد.

شکل ۲۴ نیز نشان‌دهنده عملکرد مدل به دست آمده برای پیش‌بینی بازده TEPIX با ساختار پیشنهادی و افق پیش‌بینی ۳۰ روز می‌باشد. عملکرد مثبت مشاهده شده دال بر کارایی مدلهای ساختار پیشنهادی در فرایند پیش‌بینی درازمدت است.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۲۴ ـ بازده TEPIX و پیش‌بینی ۳۰ روزه آن توسط شبکه عصبی با ساختار پیشنهادی

در مورد سری بازده TEPIX تعداد نمونه‌ها(n) در مرحله آموزش برای ساختار الف 1-855، مرحله آزمایش 985-856 و نیز در مرحله تأیید مدل 1025-986 است. در این حالت برای مدل بازده TEPIX در مرحله آموزش $\hat{R}^2=0.6923$ است و برای مراحل آزمایش و تأیید به ترتیب، مقادیر $\hat{R}^2=0.6819$ و $R=0.5908$ به‌دست آمد.

۷ـ نتیجه‌گیری

در این تحقیق، موضوعات مختلفی متناسب با مقوله مدلسازی و پیش‌بینی مورد بحث و بررسی قرار گرفت، مدلهای خطی و ساختار کلی آن معرفی شد و الگوریتمهایی جهت به دست آوردن پارامترهای مدل اعمال گشت. پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از مدلهای خطی انجام گردید و آزمونهای آماری و آماره‌های مختلفی در طی مدلسازی خطی به کار گرفته شد. از آزمون همبستگی پیاپی باقیمانده در مدل و آزمون دیکی ـ فولر افزوده برای اطمینان از ایستا بودن سری زمانی مورد مطالعه، و از آماره‌t، توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی نیز جهت ارزیابی مدل و ارزشگذاری پارامترهای تخمینی آن استفاده گردید.

عملکرد ضعیف مشاهده شده دال بر عدم کارایی مدلهای خطی ARIMA(p,d,q) در فرایند پیش‌بینی درازمدت است. با افزایش درجات p,d و q ، بهبود قابل توجهی ملاحظه نگردید.

علیرغم عملکرد خوب مدلهای خطی به دست آمده در پیش‌بینی قیمت (بازده) روز بعد و خطای کوچک این مدلها، حساسیت مدلها نسبت به حالتهای اولیه بسیار بالا می‌باشد؛ در واقع وظیفه مدلهای فوق که به نوعی تجدید ساختار دینامیکی فرایند مولد قیمت (بازده) را به عهده دارند، به‌خاطر پیچیدگی فرایند مولد سری زمانی انجام نشده و این مدلها قادر به بازسازی و احیای دینامیک فرایند مربوطه نمی‌باشند و جهت پیش‌بینی درازمدت کارایی لازم را ندارند. اینگونه رفتار، شبه آشوبگونه بودن فرایند مولد قیمت (بازده) سهام را در بازار بورس تهران ایجاد می‌نماید. عملکرد ضعیف مدلهای خطی توصیف شده، به وسیله تحلیهای غیرخطی که ابزارهایی برای بررسی پیش‌بینی پذیری فرایند مولد سری زمانی قیمت (بازده) می‌باشند، قابل توجیه است.

مدلسازی و پیش‌بینی توسط شبکه‌های عصبی نیز صورت پذیرفت. شبکه‌های عصبی، درگیر مشکلات رایج مدلسازی کلاسیک (مانند: بررسی ایستایی سری زمانی) نمی‌باشند و از این نظر نیازمند آماده‌سازی سری زمانی نیستند. در مقابل، پیش‌بینی‌های انجام شده به وسیله روشهای اقتصادسنجی، از یک مزیت نسبت به شبکه‌های عصبی برخوردارند و آن داشتن توجیه آماری است؛ به این معنا که می‌توان برای هر یک از تخمینهای انجام شده به وسیله این روشها، یک فاصله اطمینان تعیین

کرد. علیرغم عملکرد خوب مدلهای شبکه عصبی یک خروجی به دست آمده در پیش‌بینی قیمت (بازده) روز بعد و خطای نسبی کوچک این مدلها، حساسیت مدلها نسبت به حالتهای اولیه بسیار بالا بوده و اختلاف اندک موجود در مقادیر پیش‌بینی روز بعد و استفاده از آنها موجب خطای بسیار زیاد خواهد شد؛ در واقع شبکه‌های عصبی متداول موجود، به خاطر پیچیدگی فرایند مولد سری زمانی قادر به بازسازی و احیاء دینامیک فرایند مربوطه نبوده و جهت پیش‌بینی درازمدت کارایی لازمه را ندارد. با توجه به عملکرد خوب مدلهای شبکه عصبی یک خروجی در پیش‌بینی قیمت (بازده) روز بعد، مسئله پیش‌بینی با افق بیشتر از یک روز، مشابه با پیش‌بینی با افق یک روزه بررسی گردید؛ بدین ترتیب که از یک شبکه عصبی با بردار خروجی شامل چندین مؤلفه استفاده گردید، به طوری که هر مؤلفه یکی از روزهایی است که می‌بایست پیش‌بینی شود. نتایج حاصله از فرایند پیش‌بینی ۳۰ روز، قیمت و بازده سهام و سری زمانی TEPIX، نشانگر عملکرد مطلوب مدلهای به دست آمده با ساختار پیشنهادی در فرایند پیش‌بینی درازمدت است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فهرست منابع

۱ـ جهانخانی، علی و حسین عبده تبریزی؛ "نظریه بازار کارای سرمایه"، **مجله تحقیقات مالی**؛ سال اول، شماره ۱، زمستان ۱۳۷۲، صص ۲۳-۷.

۲ـ خالوزاده، حمید؛ **مدلسازی غیرخطی و پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس تهران**؛ رساله دکتری؛ تهران: دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.

۳ـ خالوزاده، حمید، علی خاکی صدیق و کارو لوکس؛ "پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس تهران با استفاده از مدلهای خطی و غیرخطی"، **مجله علمی ـ پژوهشی مدرس**؛ دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۷.

۴ـ ــــــــــ ؛ "آیا قیمت سهام در بازار بورس تهران قابل پیش‌بینی است؟ (کاربرد موردی تحلیل R/S برای سهام شهد ـ ایران)"، **مجله تحقیقات مالی**؛ دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، شماره ۱۱و۱۲، تابستان و پاییز ۱۳۷۵.

۵ـ ..... ؛ "نگرشی نو به قابلیت پیش‌بینی قیمت سهام در بازار بورس تهران"، **مجله علمی ـ پژوهشی تحقیقات اقتصادی**؛ دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران، پاییز ۱۳۷۷.

۶ـ ..... ؛ "قابلیت پیش‌بینی نوسانات قیمت سهام در بازار بورس تهران (تخمین بعد همبستگی)"، **مجله علمی ـ پژوهشی استقلال**؛ دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۷۸.

۷ـ ..... ؛ **بررسی روند نوسانات قیمت سهام در بازار بورس**؛ کنفرانس بین‌المللی مهندسی برق ایران؛ تهران: دانشگاه صنعت آب و برق، ۱۳۸۰.

8- Granger, C.W.J.; "Forecasting Stock Market Price: Lesson For Forecasters," **Working Paper;** San Diago: University of California, Department of Economics, 1991, pp. 91-23.

9- Galotti, M., & F. Schiantarelli; "Stock Market Volatility and Investmetn: Do Only Fundamentals Matter?", **Economica**; No. 242, 1994, pp. 147-165.

10- Conrad, J.S., A. Hammed & C. Nidlen; "Volume and Auto - Covariances in Short - Horizon Individual Security Returns", **Journal of Finance**; No. 4,

1994, pp. 1305-8330.

11- Kim, M.J., C.R. Nelson & R. Startz; "Mean Reversion in Stock Price? A Reappraisal of the Empirical Evidence", **Review of Economic Studies**; Vol. 58 (3), No. 195, 1991, pp. 515-528.

12- Mankiw, N.G., D. Romer & M.D. Shapiro; "Stock Market Forecastability and Volatility: A Statistical Apprasial", **Review of Economic Studies**, Vol. 58, No. 195.

13- Stengos, T. & E. Panas; "Testing the Efficiency of Atheens Stock Exchanges: Some Results form the Banking Sector", **Empirical Economics;** 17(2), 1992, pp. 239-252.

14- Harvey, C.P., & R.E; Whaley; "Market Volatiltiy and the Efficiency to the S&P 100 Index Option Market", **Journal of Financial Economics**; 31(1), 1992, pp.73-73.

15- Sounders, E.M; "Testing the Efficient Market Hypothesis Without Assumptions", **Journal of Portfolio Management**; 20(4), 1994, pp. 28-30.

16- Pikoulakis, E., T.C. Mills; "The Random Walk Hypothesis of the Exchange Rate: Implication for Risk Premium", **Economic Letters**; 1994, pp.203-205.

17- Fama. E.F; "Efficient Capital Market: A Review of Theory and Empirical Work", **The Journal of Finance**; No.2, 1970, pp.383-417.

18- Refenes, A., A. Zapranis & G. Francis; "Stock Performance Modeling Using Neural Networks; A Comparative Study with Regression Models", **Neural Networks**; Vol 7, No.2, 1994; pp. 374-388

19- Ashar, S., G. Bardos, A. Glodjo & M. Kao; **Data Compression Techniques for Stock Market Prediction**; Proccedings of the Data Compression Conference Proc, Data Compression Conf.; UAS: 1994, IEEE, Computer Society Press, Los Alimatos, CA, pp.72-82.

20- Werbos, P; **Beyond Regression: Now Tools for Prediction and Analysis in the Behavioral Science**; Ph.D. Thesis; Harvard University, 1974.

21- Khaloozadeh, H. & A. Khaki Sedigh; **Long Term Prediction of Tehran Price Index (TEPIX) Using Neural Networks**; Canada: IFSA/AFIPS; 2001, Vancouver, pp. 25-28; July 2001.

22- Hurst, H.E; "Long-Term Storage of Reservoirs," Transactions of the American Seociety of Civil Engineers, vol. 116;770-808, 1951.

23- Hinich M.J. & D.M. Patterson; "Evidence of Nonlinearity in Daily Stock Returns", **Juornal of Bussines and Economics Stat**; 3,1: pp. 69-77, 1995.

24- J. Cheinman, & B. LeBaron; "Nonlinear Dynamics and Stock Returns", **Journal of Business**; 62, 3: pp. 311-338, 1989.

25- G. Benettin, L. Galagni, A. Giorgili and J.M. Strelcyn; "Lyapunov Characteristic Exponentsfor smooth Dynamical System and for Hamiltonian System: A Method for Computing All of Them", **Meccanica**; 15,9, 1980.

26- R.L. Lippmann; "An Introduction to Computing with Neural Nets," **IEEE Acoustics**; Speech, Signal.

27- Montgomery, D.C., L.A. Johnson & J.S. Gardiner; **Forecasting and Time Series Analysis**; McCraw-Hill Inc., 2nd. ed., 1990.

28- Soderstrom, T & P. Stoica; **System Identification**; Prentice Hall.

29- Box, G.E.P., & G.M. Jenkins; **Time Series Analysis Forecasting and Control**; Holen-Day, 1976.

30- Narendra, K.S., & K. Parthasarathy; Identification and Control of Dynamical Systems Using Neural Networks, **IEEE**; Trans. of NN's; V0l 1, No.1, 1990.