

به نام خدا



سازمان بورس و اوراق بهادار
SECURITIES & EXCHANGE ORGANIZATION

مدیریت پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی

الکوسازی فرآیند رفتار قیمت‌ها در بورس اوراق بهادار تهران
همسجی مدل‌های خطی و غیرخطی

تهیه‌کنندگان: مدیریت پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی

در این مقاله براساس مدل‌های خطی خودرگرسیون (AR)^(۱) و مدل‌های غیرخطی شبکه‌های عصبی مصنوعی^(۲) نرخ بازدهی روزانه^(۳) سهام شرکت شهید - ایران در بورس تهران پیش‌بینی شده است. شبکه عصبی حاضر براساس اطلاعات قیمتی ثبت شده از نیمه دوم سال ۷۳ تاکنون آموزش و آزمایش می‌شود.

از مدل خطی AR برای مدلسازی و پیش‌بینی خطی استفاده؛ و یک شبکه عصبی سه لایه با قانون پس انتشار خطا برای مدلسازی غیرخطی پیش‌بینی به کار گرفته شده است. برپایه این گزارش مدل AR با فرضیه بازار کارآمد^(۴) سازگار است و قابلیت استخراج ساختارهای موجود در فرآیند مولد قیمت سهام را ندارد؛ حال آنکه مدل غیرخطی شبکه عصبی به طور رضایت بخشی قادر به کشف و شناسایی الگوهای موجود در این فرآیند است. در هر دو مورد بازده تخمین $\hat{R}^2$ به عنوان پارامتر نشانگر عملکرد فرآیند تخمین و پیش‌بینی محاسبه شده است. مقدار بزرگ $\hat{R}^2$ نمایانگر قابلیت استخراج ساختار فرآیند مولد قیمت در مدل شبکه عصبی مورد بررسی بوده است. بدین معنا، عملکرد مدل‌های غیرخطی و از جمله شبکه‌های عصبی در مدلسازی فرآیند رفتار قیمت‌ها در بورس اوراق بهادار تهران بسیار بهتر از روش‌های معمول خطی است.

1. Auto Regressive

2. Artificial Neural Networks

3. One Day Return

4. Efficient Market Hypothesis

الگوسازی فرآیند رفتار قیمت‌ها در بورس اوراق بهادار تهران
همسنگی مدل‌های خطی و غیرخطی

فهرست مطالب

- ۱- مقدمه ۱
- ۲- مدل‌سازی خطی و پیش‌بینی ۵
- ۳- مدل‌سازی غیرخطی (شبکه عصبی) و پیش‌بینی ۹
- ۴- نتیجه‌گیری ۱۲
- ۵- فهرست منابع ۱۲

۱- مقدمه

مطالعات زیادی در زمینه پیش‌بینی نوسانهای قیمت سهام صورت گرفته است که اکثر آنها مؤید فرضیه بازار کارآمد بوده‌اند - به این مفهوم که پیش‌بینی نوسانها را ناممکن دانسته‌اند. هرچند نتایج مخالف نیز با این فرضیه (با متغیرهای پیچیده) عاید شده‌است [۱]، [۲]، [۳] و [۴].

علیرغم وجود فرضیه‌ای قوی مانند فرضیه بازار کارآمد، این فرضیه تنها مبتنی بر یک نظریه است و هر نظریه با استنتاجها و دلایل و مشاهدات مناسب قابل رد یا اثبات 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 کارایی او نیز محدود به میزان قدرت پردازش اطلاعاتی اوست. حال اگر تکنیکهای جدید پردازشی را بتوان به وجود آورد که - مانند روشهای غیرخطی براساس مدل‌های شبکه عصبی - دارای پتانسیل قوی استنتاج و کشف ساختارها و الگوها در سیستمهای دینامیکی ناشناخته باشند، به طوری که دسترسی به اطلاعات داخلی شرکتها را با بررسی روند گذشته قیمتها کشف و استخراج نمایند؛ در این صورت ممکن است بتوان فرضیه بازار کارآمد را زیر سؤال برد. البته این روشها در مورد بازارهایی که همبستگی قیمت داشته و اصولاً فرضیه بازار کارآمد در مورد آنها صادق نباشد نیز به خوبی عمل می‌کند و توسط آنها می‌توان مدل‌هایی را ایجاد نموده که براساس آنها بتوان فرآیند پیش‌بینی را با عملکرد نسبتاً خوب (پیش‌بینی کوتاه مدت) انجام داد [۵].

شبکه‌های عصبی قابلیت یادگیری رفتارهای پیچیده را دارند. آنها از چندین پردازشگر ساده غیرخطی (معمولاً) متصل به هم به نام **گره** یا **نرون**^(۱) تشکیل می‌شوند. اتصال تعداد بسیار زیاد نرونهای ساده که مغز بشر را تشکیل می‌دهند، اولین ایده برای ساختن مدل‌های شبکه عصبی بوده است.

1 - Neuron

تکنیکهای مدلسازی به وسیله شبکه‌های عصبی نتایج موفقیت‌آمیزی در مسائل پیچیده‌ای مانند، تقریب توابع پیچیده^(۱) با هر دقتی، تشخیص الگو^(۲) و پیش‌بینی فرایندهای غیرخطی^(۳) داشته‌اند، دو مسأله جالب توجه که در سالهای اخیر بوسیله لاپد و فاربر^(۴) توسط شبکه‌های عصبی حل شد به ترتیب عبارتند از طبقه‌بندی دنباله‌های پروتئینی [6] و تخمین رفتار یک فرآیند آشوبگونه معین^(۵) [7]. با وجود اینگونه موفقیتها بجاست این سؤال مطرح شود که آیا از این تکنیک می‌توان برای استخراج و کسب نظم موجود در یک سری زمانی^(۶) مربوط به اطلاعات مالی که عموماً غیرخطی هستند استفاده کرد و بدین ترتیب نوسانهای قیمت سهام را پیش‌بینی کرد. گروهی معتقد به فرضیه بازار کارآمد^(۷) بوده و معتقدند که نوسانهای قیمت مانند یک فرآیند قدم زدن تصادفی^(۸) است [8]؛ و بنابراین قابل پیش‌بینی نیست. در واقع، معتقدان به این فرضیه بر این باورند که براساس اطلاعات قابل دسترس عموم (مانند قیمت‌های گذشته این سهم یا سهام دیگر) پیش‌بینی غیرممکن است - باید دقت کرد که اطلاعات داخلی شرکتها به عنوان اطلاعات غیرقابل دسترس عموم محسوب می‌شوند.

در این مقاله هدف مطالعه برآورد نرخ بازدهی r_n سهام شرکت شهد - ایران در طی یک روز است. نرخ بازدهی روزانه^(۹) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$r_n \triangleq \frac{P_n - P_{n-1} + d_n}{P_{n-1}} \quad (1)$$

در این رابطه، P_n قیمت در روز n - ام 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. اطلاعات مربوط به ۵۶۴ روز در دسترس است، برای آموزش شبکه از اطلاعات ۴۰۰ روز استفاده؛ و ۱۶۰ نمونه بعدی در فاز آموزش یا یادگیری برای ارزیابی قابلیت شبکه به کار گرفته شده است.

1 - Function approximation

2 - Pattern recognition

3 - Nonlinear forecasting

4 - Lapede and Farber

5 - Chaotic

6 - Time series

7 - Efficient Market Hypothesis

8 - Random Walk

9 - One Day Return

نمودارهای (۱ - الف) و (۱ - ب) روند قیمت سهام شهد - ایران و نرخ بازدهی روزانه (r_n)

بیان ساده ریاضی فرضیه بازار کارآمد (EMH)، رابطه: $E(r_n | I_{n-1}) = r$ است، $E(r_n | I_{n-1})$ نشان دهنده امید ریاضی شرطی^(۱) r_n با وجود اطلاعات عمومی قابل دسترس تا لحظه n (I_n) است. I_n فضایی است که با اطلاعات عمومی قابل دسترس به وجود می‌آید. r عددی ثابت و ممکن است ناشناخته باشد، r شامل دو مؤلفه است، بازده روزانه خالی از ریسک و نیز بازده با ریسک. چون I_n شامل اطلاعات موجود قیمت سهام است، عبارت بازار کارآمد بدین معناست که اطلاعات قبلی قیمت سهام در فرآیند پیش‌بینی r_{n+1} (یا P_{n+1}) تأثیر و فایده‌ای ندارد. در اعمال تحلیلهای خطی ابتدا باید سری زمانی مربوط از نظر ایستایی بررسی گردد. چنانچه سری زمانی مورد مطالعه ایستا نباشد، باید تبدیلهای لازم آن را ایستا کرد و سپس تحلیل را به کار بست.

نمودارهای (۲ - الف) و (۲ - ب) به ترتیب تابع خودهمبستگی^(۲) و تابع همبستگی جزئی^(۳) سری زمانی قیمت شهد - ایران را به ازای ۱۵ تأخیر نشان می‌دهد. همچنین در جدول (۱) نتیجه آزمون ریشه واحد این سری را برای یک تأخیر در اطلاعات قیمت سهم آمده است.

1 - Conditional Expected Value

2- Auto Correlation Function

3- Partial Correlation Function

نمودارهای (۲ - الف) و (۲ - ب) تابع خودهمبستگی و تابع همبستگی جزئی سری زمانی قیمت شهد - ایران

آزمون ریشه واحد دیکی - فولر افزوده بر روی سری زمانی قیمت سهام شهد - ایران	
* ۱٪ مقدار بحرانی -۲/۵۶۹۳	آماره آزمون : ADF ۱/۶۸۰۸
۵٪ مقدار بحرانی -۱/۹۴۰۰	* : مقادیر بحرانی مکینون برای رد کردن فرضیه وجود
۱۰٪ مقدار بحرانی -۱/۶۱۵۹	ریشه واحد

جدول (۱) آزمون ریشه واحد سری زمانی قیمت شهد - ایران

همانطور که از نمودارها و جدول مربوط پیداست، نامیرایی سریع توابع همبستگی و مقدار آماره t دیکی - فولر،^(۱) محاسبه شده در آزمون ریشه واحد این سری، نشانگر ناپایداری آن است. با تعریف X_t به صورت بازده لگاریتمی، این سری تا حدی روندزدایی^(۲) شده و سعی در ایستایی آن می شود. نمودارهای (۳ - الف) و (۳ - ب) به ترتیب تابع خودهمبستگی و تابع همبستگی جزئی سری زمانی بازده شهد - ایران را نشان می دهد. جدول (۲) نیز نتیجه آزمون ریشه واحد این سری را برای یک تأخیر نشان می دهد.

1- Dickey-Fuller t -statistic

2- Detrend

نمودارهای (۳ - الف) و (۳ - ب) تابع خودهمبستگی و تابع همبستگی جزئی سری زمانی بازده لگاریتمی شهید - ایران

آزمون ریشه واحد دیکی - فولر افزوده بر روی سری زمانی بازده لگاریتمی سهام شهید - ایران	
* ۱٪ مقدار بحرانی	۲/۵۶۹۳ -
۵٪ مقدار بحرانی	۱/۹۴۰۰ -
۱۰٪ مقدار بحرانی	۱/۶۱۵۹ -
آماره آزمون ADF : ۱۳/۹۳۹۱ -	* : مقادیر بحرانی مکینون برای رد کردن فرضیه وجود ریشه واحد

جدول (۲) آزمون ریشه واحد سری زمانی بازده لگاریتمی شهید - ایران

نمودار توابع همبستگی و مقدار آماره t ، محاسبه شده در آزمون ریشه واحد این سری، نشانگر ایستایی سری زمانی بازده است.

۲- مدلسازی خطی و پیش‌بینی

در فرهنگ اقتصاد یک روش برای آزمون فرضیه بازار کارآمد با بیانی به شکل فوق، مدلسازی فرآیند مولد قیمت با استفاده از سری زمانی قیمت، توسط مدل‌های خطی AR است، یک مدل خطی AR از درجه p را به $AR(p)$ نشان می‌دهد و برای مدلسازی نرخ بازدهی روزانه به شکل زیر نوشته می‌شود [5]:

$$r_n = W_0 + W_1 r_{n-1} + \dots + W_p r_{n-p} + \varepsilon_n ; n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

در رابطه (۲) $\underline{W} = (W_0, W_1, \dots, W_p)^T$ بُرداری ناشناخته از وزن‌هاست و باید مشخص گردد، p یک عدد صحیح مثبت و بیانگر مرتبه^(۱) مدل AR است و ε_n خطای مدل بوده و فرض می‌شود متغیری تصادفی^(۲) با خاصیت $E(\varepsilon_n | I_{n-1}) = 0$ و توزیع گوسی باشد. در مدل $AR(p)$ بُردار ناشناخته وزنها با فرض دارا بودن خاصیت: $E(\varepsilon_n | I_{n-1}) = 0$ ، به روش حداقل سازی میانگین مربعات خطا^(۳) صورت می‌گیرد.

فرضیه بازار کارآمد محدودیتی به شکل $W_1 = W_2 = \dots = W_p = 0$ را به مدل $AR(p)$ تحمیل می‌کند، بنابراین هر نوع مشاهده دال بر اینکه $W_1 \neq 0$ یا $W_2 \neq 0$ یا $W_p \neq 0$ باشد، بر خلاف فرضیه بازار کارآمد است. از طرفی شواهد تجربی که: $W_1 \approx W_2 \approx \dots \approx W_p \approx 0$ باشد، نه موجب رد شدن این فرضیه است و نه مؤید آن است، یعنی این دریافت که $W_1 \approx W_2 \approx \dots \approx W_p \approx 0$ باشد، هم با فرضیه بازار کارآمد موافق است و هم با وجود ترکیب خطی بردار وزن و بردار اطلاعات - به طوری که اطلاعات به صورت غیرخطی در مدل AR ظاهر شوند - موافق است [9]. در واقع فرآیندهای غیرخطی معینی را می‌توان معرفی کرد که دچار این وضعیت هستند. عبارتی معادل برای فرضیه بازار منطقی که در اینجا از آن استفاده می‌شود عبارت است از [5]: $Var(r_n) = Var(\varepsilon_n)$ یا به طور معادل:

$$R^2 = 1 - \frac{Var(\varepsilon_N)}{Var(r_N)} = 1 - 1 = 0. \quad (3)$$

شواهد تجربی که $R^2 \neq 0$ آشکارا خلاف EMH بوده و شواهد تجربی $R^2 = 0$ هم با EMH و هم با وجود ساختار غیرخطی موافق است و همخوانی دارد. بنابراین به عنوان اولین قدم، با استفاده از یک مدل خطی $AR(p)$ شواهد تجربی در مقابل EMH بررسی و فرآیند سری زمانی نرخ بازدهی روزانه مدل می‌شود:

$$\hat{r}_n = \hat{W}_0 + \hat{W}_1 r_{n-1} + \dots + \hat{W}_p r_{n-p} \quad (4)$$

بعد از تخمین ضرایب معادله (۳)، R^2 با رابطه زیر تخمین زده می‌شود:

$$\hat{R}^2 = 1 - \frac{\hat{Var}(\varepsilon_N)}{\hat{Var}(r_N)} \quad (5)$$

که در این رابطه:

$$\hat{Var}(r_N) = \frac{\sum_{n=1}^N (r_n - \hat{r})^2}{N-1} \quad (6)$$

$$\hat{Var}(\varepsilon_N) = \frac{\sum_{n=1}^N (r_n - \bar{r}_N)^2}{N-1} \quad ; \quad \bar{r}_N = \frac{\sum_{n=1}^N r_n}{N}$$

1 - Order

2 - Random Variable

3 - Least Mean Square Error

N تعداد نمونه‌هایی است که در مرحله تخمین ضرایب وزن مورد استفاده قرار می‌گیرد، در اینجا $N = 400$ ، با استفاده از شبیه‌سازیهای انجام شده توسط نرم‌افزار MATLAB ساختار AR(7) انتخاب گردید (این ساختار مجموع مربعات خطای کمتری را نسبت به دیگر مرتبه‌های مدل AR دارد) ماتریس وزن بدست آمده بصورت زیر است:

$$\hat{W} = (0.0018, 0.0702, 0.0683, 0.0531, -0.0129, -0.0453, 0.0052, 0.0052)^T$$

در نهایت مدل AR برای فرآیند نرخ بازدهی روزانه سهام شهد - ایران به صورت مدلی خطی برگشتی^(۱) به شکل زیر به دست می‌آید:

$$\hat{r}(n) = 0.0018 + 0.0702 r(n-1) + 0.0683 r(n-2) + 0.0531 r(n-3) - 0.0129 r(n-4) - 0.0453 r(n-5) + 0.0052 r(n-6) + 0.0052 r(n-7) \quad (7)$$

شکلهای (۲ - الف) و (۲ - ب) به ترتیب نشان‌دهنده نرخ بازدهی روزانه (r_n) و پیش‌بینی آن توسط مدل AR(7) است، همچنین برای وضوح بیشتر و بررسی آسانتر عملکرد این مدل، در محدوده‌هایی درشتنمایی تصاویر صورت گرفته است، نمودارهای (۲ - پ) و (۲ - ت) محدوده‌ای از عملکرد مدل AR(7) را درشتنمایی کرده است، در این محدوده عملکرد فرآیند پیش‌بینی در قسمتی از فاز آموزش نشان داده می‌شود.

نمودارهای (۲ - الف)، (۲ - ب)، (۲ - پ) و (۲ - ت) مربوط به مدل AR(7)

مقدار R^2 تخمینی برابر 0.0179 ($\hat{R}^2 = 0.0179$) است، کوچکی مقدار به دست آمده غالب بودن نظریه غیر قابل پیش‌بینی بودن بازده را تأیید می‌کند.

در اینجا $\hat{R}^2 = 0.0179$ است. بنابراین مقدار شواهدی که برخلاف نظریه بازار کارآمد است به حد کافی بزرگ

نیست (کمتر از ۰/۱) تا اهمیت آماری داشته باشد [9]، عدم قرابت و ارتباط بین منحنی r_n با $\hat{r}_n$ نشان می‌دهد که با مدل AR(7) نمی‌توان بازده سهم را با عملکرد بالایی پیش‌بینی کرد.

اگر درجه مدل خطی AR بالا برده شود، بازده تخمین اندکی افزایش می‌یابد، به طوری که به ازای درجه بسیار بالای $p = 100$ مقدار بازده تخمین در فاز آموزش برابر است با $\hat{R}^2 = 0/3102$ ؛ که این مقدار نیز در مرحله آزمایش مدل به مقدار $\hat{R}^2 = 0/1023$ کاهش پیدا می‌کند. به دلیل محدود بودن طول سری زمانی قیمت و پایین بودن بازده تخمین (حتی به ازای p های بزرگ) نتیجه گرفته می‌شود که یک ساختار خطی که با ساختار فرآیند مولد قیمت این سهم قرابت و همخوانی داشته باشد توسط مدل AR به دست نمی‌آید.

نمودارهای (۳ - الف) و (۳ - ب) به ترتیب نشان‌دهنده نرخ بازدهی روزانه (r_n) و پیش‌بینی آن توسط مدل $AR(100)$ است، همچنین برای وضوح بیشتر و بررسی آسانتر عملکرد مدل $AR(100)$ ، در محدوده‌هایی درشتنمایی تصاویر صورت گرفته است، نمودارهای (۳ - پ) و (۳ - ت) محدوده‌ای از عملکرد مدل $AR(100)$ را درشتنمایی کرده است که پیش‌بینی را در قسمتی از فاز آموزش نشان می‌دهد، در حالی که نمودارهای (۳ - ث) و (۳ - ج) محدوده‌ای را درشتنمایی نموده است که عملکرد فرآیند پیش‌بینی را در قسمتی از فاز آزمایش نشان می‌دهد.

نمودارهای (۳ - الف)، (۳ - ب)، (۳ - پ)، (۳ - ت)، (۳ - ث) و (۳ - ج) مربوط به مدل $AR(100)$

۳- مدل سازی غیرخطی (شبکه عصبی) و پیش بینی

نقش شبکه عصبی ایجاد تابعی است که هر الگوی ورودی را به یک الگوی خروجی ربط دهد، یک الگوریتم یادگیری، به عنوان مثال قانون یادگیری پس انتشار خطا^(۱) با استفاده از خواص آماری یک مجموعه ورودی خروجی - که مجموعه تربیتی نامیده می شود - سعی می کند، شبکه را نسبت به اطلاعاتی غیر از مجموعه یادگیری (آموزش) شمولیت و تعمیم بدهد.

بدون در نظر گرفتن قدرت تعمیم و شمولیت،^(۲) شبکه مدل های عصبی مانند جداول اطلاعاتی از پیش تعیین شده ای^(۳) هستند که زیاد مهم نبوده و کارایی چندانی ندارند.

تحقیقات در زمینه شبکه های عصبی از سال ۱۹۴۰ آغاز شد، هدف، دستیابی به راز پردازش های سریع مغز انسان، چگونگی پردازش اطلاعات در آن، چگونگی کار حافظه انسان، مسأله یادگیری، یادآوری و مانند اینها بود. مغز انسان در حدود ۱۰^{۱۱} تا ۱۰^{۱۲} نرون دارد که به طور پیچیده ای با هم ارتباط دارند. پژوهشگران شبکه های عصبی مصنوعی و مغز معتقدند کلید اصلی درک رفتار مغز انسان به عنوان یک سیستم پردازش اطلاعات در چگونگی ارتباط و اتصال نرون ها با یکدیگر است.

یک مدل براساس شبکه های عصبی گرافی است متشکل از چندین نرون به هم اتصال یافته، نرون را می توان از یک گراف شبکه عصبی به شکل زیر نشان داد:

$$I_i = \sum_j W_{ij} x_j + b_j, \quad y_i = f_i(I_i)$$

نمودار (۴): نرون i ام

x_j خروجی نرون j ام است، W_{ij} وزن رابط نرون j ام به نرون i ام بوده، b_i اریب^(۴) و f_i تابع محرک نرون i ام است. الگوریتم پس انتشار خطا روش یادگیری با ناظر است، در این روش پاسخ نرون های خروجی با پاسخ مطلوب مقایسه شده و با انتشار خطای حاصله بین نرون های لایه های ماقبل، میزان کم هر نرون برای تصحیح مشخص می شود، در این صورت اگر همان ورودی مجدداً به شبکه عصبی وارد شود، پاسخ شبکه - اگر شبکه عصبی مربوط دارای n نرون در خروجی باشد، وزنه هایی که نرون های ورودی را به نرون های خروجی متصل می کنند - یک فضای n

1 - Back Propagation Learning Rule

2 - Generalization

3 - Look up - table

4 - Bias

بعدی را شکل می‌دهند. اگر خطا به عنوان بعد $n+1$ در نظر گرفته شود، یک فضای $n+1$ بعدی پدید می‌آید که یک ابرصفحه^(۱) را در فضا به وجود می‌آورد. در [10] نشان داده شده‌است که قانون پس انتشار خطا، مقدار کمینه خطا را در این سطح می‌یابد و خطا همیشه با بیشترین سرعت به سمت کمینه خود میل می‌کند. به این الگوریتم، روش سریعترین نزول گرادیان^(۲) نیز گفته می‌شود. صفحه خطا را می‌توان به شکل منظره یک تپه در نظر گرفت، هر نقطه روی این صفحه متناظر با مجموعه خاصی از مقادیر وزنه‌ها در شبکه است؛ ارتفاع هر نقطه نیز متناسب با مقدار خطاست. سریعترین نزول گرادیان بدین معناست که هرگاه روی این تپه قرار بگیریم، همیشه در جهت بیشترین سرازیری به طرف پایین دره حرکت می‌کنیم، البته باید توجه داشت که این روش یافتن نزدیکترین دره را تضمین می‌کند (مینیمم محلی^(۳)) و به لزوم نقطه تعادل، مینیمم مطلق خطا را به دنبال نخواهد داشت.

توانایی یادگیری یکی از مزایای اصلی شبکه‌های عصبی است که آنها را تا بدین حد جذاب ساخته است. در یک شبکه عصبی پردازشگرهای ساده غیرخطی به نام گره‌ها یا عصبها به یکدیگر متصل می‌شوند و بهره این اتصالات با پارامترهایی که وزن نامیده می‌شوند، مشخص می‌گردد، این وزنها بر طبق وظیفه مورد نظر و برای بهبود عملکردی خاص تنظیم و تصحیح می‌شوند. برای مدل کردن رفتار یک فرآیند دینامیکی، شبکه عصبی با استفاده از مجموعه‌ای از اطلاعات ورودی - خروجی آموزش داده می‌شود. شبکه‌های عصبی پیشرو^(۴) عمومیت‌ترین کاربرد را دارند، این چنین شبکه‌هایی می‌توانند نگاشتهای پیچیده ورودی خروجی را ایجاد نمایند و تحت شرایط نه چندان پیچیده و سختی، هر نوع تابع را با هر دقتی تقریب بزنند اغلب اوقات برای تنظیم وزنه‌های شبکه عصبی از گونه‌های مختلف الگوریتم پس انتشار خطا استفاده می‌شود. شبکه عصبی نگاشتی استاتیک است و برای اینکه قابلیت مدل‌سازی یک فرآیند دینامیک را داشته باشد، از اطلاعات گذشته فرآیند که معمولاً ورودی و خروجیهای لحظات قبل هستند استفاده می‌شود. شبکه عصبی مورد استفاده در اینجا، یک شبکه پیشرو، ۳ لایه - شامل لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی - است. لایه ورودی ۷ گره، لایه میانی ۱۵ گره و لایه خروجی یک گره دارد. توابع غیر خطی از نوع تانژانت هذلولی [$f(x) = \tanh(x)$] است و در آن از قانون یادگیری پس انتشار خطا با مقادیر وزن و ارباب اولیه از روش نگوین - ویدرو^(۵) استفاده می‌شود. اطلاعات مجموع یادگیری (آموزش) شامل ۴۰۰ عضو است. پس از اینکه با استفاده از این مجموعه اطلاعات، آموزش صورت پذیرفت و ماتریسهای وزن و ارباب شبکه عصبی تقریب زننده رفتار فرآیند بازده روزانه سهام شهد ایران به مقادیری مطلوب همگرا شدند، با استفاده از اطلاعاتی که در مرحله یادگیری در شبکه استفاده نشده‌اند (مجموعه آزمایش) و با استفاده از ماتریسهای وزن و ارباب به دست آمده در مرحله یادگیری، فاز برآورد مدل^(۶) صورت می‌پذیرد و پیش‌بینی توسط مدل به دست آمده انجام می‌گیرد.

نمودارهای (۵ - الف) و (۵ - ب) نشانگر نرخ روزانه بازده و بازده روزانه پیش‌بینی شده توسط مدل شبکه عصبی است و مقدار R^2 تخمینی برای مدل شبکه عصبی برابر با $\hat{R}^2 = 0.8335$ است که این مقدار عملکرد بالای فرآیند

1 - Hyperplane

2 - Steepest Descent Gradient

3 - Local Minima

4 - Feedforward Neural Networks

5 - Nguyen-Widrow

6 - Model validation

مدلسازی و تخمین توسط مدل غیرخطی شبکه عصبی را نشان می‌دهد. در اینجا نیز برای وضوح بیشتر و بررسی آسانتر عملکرد مدل شبکه‌های عصبی، در محدوده‌هایی درشتنمایی تصاویر صورت گرفته است - در زیر نمودارهای اصلی مشخص شده است.

نمودارهای (۵ - پ) و (۵ - ت) محدوده‌ای از عملکرد مدل شبکه عصبی را درشتنمایی کرده است، در این محدوده عملکرد فرآیند پیش‌بینی در قسمتی از فاز آموزش نشان داده می‌شود، در حالی که نمودارهای (۵ - ث) و (۵ - ج) محدوده‌ای را درشتنمایی نموده است که عملکرد فرآیند پیش‌بینی را در قسمتی از فاز آزمایش نشان می‌دهد.

نمودارهای (۵ - الف)، (۵ - ب)، (۵ - پ)، (۵ - ت)، (۵ - ث) و (۵ - ج) مربوط به مدل غیرخطی (شبکه عصبی)

در محاسبه $\hat{R}^2$ از اطلاعات واقعی و خروجیهای مدل در مرحله آموزش استفاده شده است. برای اینکه از پدیده

برازش بیش از حد^(۱) اجتناب کرده و ارزیابی بهتری بر روی تخمین R^2 به دست آید، محاسبه R^2 با استفاده از اطلاعات واقعی و خروجیهای مدل در مرحله آزمایش (برآورد مدل) انجام می‌شود - ۵۶۰ و $n = ۴۰۰$ در این حالت $\hat{R}^2 = ۰/۸۳۳۴$ است که عملکرد خوب شبکه‌های عصبی در فرآیند پیش‌بینی، و قدرت این نوع نگاشت را در استخراج مشاهدات و الگوهای پیچیده نشان می‌دهد.

۴- نتیجه‌گیری

فرضیه بازار کارآمد را می‌توان از دو جنبه در بورس اوراق بهادار تهران بررسی نمود؛ اول اینکه آیا بازار بورس تهران بازاری کارآمد (از نظر اطلاعات) است یا خیر؟ دوم اینکه آیا اصولاً می‌توان در یک بازار کارآمد که طبق فرضیه بازار کارآمد، الگوی قیمتی از قدرت پیش‌بینی برخوردار نیست، سعی در پیش‌بینی قیمت‌ها نمود و به نوعی این فرضیه را نقض نمود؟ در این پژوهش با استفاده از مدل‌های خطی AR سعی در تخمین پارامترهای مدلی برای بیان رفتار دینامیک نرخ بازده روزانه سهام شهد - ایران شده است. یافته‌های این گزارش نمایانگر کوچک‌بودن بازده تخمین مدل AR است که پیش‌بینی فرآیند را ناممکن و ضعیف می‌داند. در مدل غیرخطی مورد استفاده از شبکه‌های عصبی پیشرو به عنوان تکنیکی با پتانسیل قوی برای کشف ساختارها و استنتاج الگوها در فرآیندهای دینامیک، غیر خطی و ناشناخته استفاده شده است که بازده تخمین در دو مرحله آموزش و آزمایش مدل بسیار بالا بوده است. در واقع، می‌توان انتظار داشت که عملکرد مدل‌های غیرخطی مانند شبکه‌های عصبی در مدلسازی فرآیندهای ناشناخته و پیش‌بینی رفتار آینده بسیار بالاتر از روشهای معمول خطی باشد.

۵- فهرست منابع

- [۱] حمید خالوزاده، علی خاکی صدیق، کارو لوکس، "آیا قیمت سهام در بازار بورس تهران قابل پیش‌بینی است؟ (کاربرد موردی تحلیل R/S برای سهام شهد - ایران" مجله تحقیقات مالی دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- [2] Baillie R.T., "*Econometric Tests of Rationality and Market Efficiency*", Michigan State University, Department of Economics Working paper, 1986.
- [3] Lo A. , Mackinley A.C., "*Stock Market Prices Do Not Follow Random Walks: Evidence From a Simple Specification Test*", Review of Financial Studies (forthcoming), 1988.
- [4] Shiller R.J., "*The Use of Volatility Measures in Assessing Market Efficiency*", Journal of Finance, 36, pp. 291-304, 1981.

1 - Overfitting

- [5] White H., "***Economic Prediction Using Neural Networks: The case of IBM Daily Stock Returns***", IEEE International Conference on Neural Networks, San Diego, CA, pp. 451-458, 1988.
- [6] Lapedes A. , Farber R. , "***Genetic Data Base Analysis with Neural Networks***", IEEE Conference on Neural Information Processing System, Natural and Synthetic, 1987 a.
- [7] Lapedes A. , Farber R. , "***Nonlinear Signal Processing Using Neural Networks***", IEEE Conference on Neural Information Processing System, Natural and Synthetic, 1987 b.
- [8] Malkiel B.G, ***A Random Walk Down Wall Street*** New York, 1985.
- [9] Sakai H. , Tokumaru H. , "***Auto Correlations of a Certain Chaos***", IEEE Transactions on Acoustics, Speech and Signal Processing ASSP-28, pp. 588-590, 1980.
- [10] Rumelhart D.E. , Hinton G.E., Williams R.J., "***Learning Internal Representations by Error Propagation***", Parallel Distributed Processing: Explorations in the Microstructures of cognition, vol.1, Cambridge: MIT Press, pp. 318-362, 1986.