چشم‌انداز مدیریت مالی
شماره ۱۲ ـ زمستان ۱۳۹۴
ص‌ص ۴۰ـ۲۷

پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از تلفیق مدل مارکوف پنهان و زنجیره مارکوف

مصطفی زندیه*، مهرداد خامی**

چکیده

در این تحقیق، تلفیقی از مدل «مارکوف پنهان» و مفهوم «زنجیره مارکوف» به‌منظور پیش‌بینی رفتار بازارهای مالی ارائه شده است. این ابزار توسعه‌یافته می‌تواند در تجزیه‌وتحلیل بازار سهام، کاربردی مناسب داشته باشد. در ابتدا از الگوریتم ژنتیک به‌منظور تعیین و تنظیم پارامترهای مدل «مارکوف پنهان» استفاده می‌شود؛ سپس از مدل «مارکوف پنهان» تنظیم شده برای شناسایی و شناخت الگوهای مشابه در داده‌های تاریخی استفاده می‌شود و پس از آن مقدار قیمت برای روز بعد با استفاده از الگوهای مشابه و مفهوم «زنجیره مارکوف» محاسبه می‌گردد. از چندین سهم به‌منظور دست‌یابی به نتایج مناسب استفاده شده است و سپس، نتایج مدل ارائه‌شده با نتایج مدل موجود در مبانی نظری و همچنین با روش‌های معمول در اقتصادسنجی مقایسه شده است.

واژگان کلیدی: پیش‌بینی شاخص بورس اوراق بهادار، مدل مارکوف پنهان، زنجیره مارکوف، الگوریتم ژنتیک.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱۰/۲۶، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۲/۲۷

۱. دانشیار، گروه مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی.
۲. کارشناسی ارشد مهندسی مالی ،دانشگاه رجا (نویسنده مسئول).
E-mail: Mehrdad_Khami@yahoo.com

۱. مقدمه

تغییرات قیمت سهام یکی از مهمترین موضوعات مورد توجه و مهم در تمام بازارهای سرمایه در سراسر دنیا است. تغییرات قیمت سهام یک منبع اطلاعاتی مؤثر در ارزیابی وضعیت بنگاه‌ها، ارزیابی تطبیقی با سایر واحدها، ارزیابی کارآیی مدیران و تصمیمات سرمایه‌گذاران است؛ بنابراین در راستای توسعه بورس اوراق بهادار به‌عنوان نهاد بازار سرمایه، پیش‌بینی رفتار قیمت سهام در آن برای سرمایه‌گذاران عمده و جز، کارگزاران، مدیران بورس و دولت یک مسئله با اهمیت است. مدل «مارکوف پنهان»، ابزاری است که به‌صورت گسترده در تحلیل و پیش‌بینی پدیده سری‌های زمانی کابرد داشته است؛ به‌طوری‌که این مدل به‌طور موفقیت‌آمیزی در تجزیه‌وتحلیل انواع سری‌های زمانی استفاده شده است. ازجمله موارد استفاده آن، می‌توان به تجزیه‌وتحلیل رشته‌های DNA، توسط چونگ[1] (۲۰۰۴)، تشخیص سیگنال‌های گفتار[2] توسط اندره[3] و ژانگ[4] (۲۰۰۴)، تجزیه‌وتحلیل ECG[5] توسط کاست[6] و سترن[7] (۱۹۹۰) و غیره، نام برد.

هدف این تحقیق، بهبود مدل «مارکوف پنهان» اجرا شده در مبانی نظری با استفاده از مفهوم «زنجیره مارکوف» و اجرای آن بر شاخص بورس اوراق بهادار تهران و همچنین چند شرکت پذیرفته‌شده در این بورس است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

اولین بار وایت (۱۹۸۸)، از شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی در بازار بورس استفاده کرد. او به دنبال این پرسش بود که آیا شبکه‌های عصبی قادرند قواعد غیرخطی در سری‌های زمانی و قواعد ناشناخته در حرکات قیمت دارایی‌ها و تغییرات قیمت شاخص‌های سهام را شناسایی کنند؟ هدف وایت از ارائه این مقاله بیان این مطلب بود که چگونه یک شبکه عصبی پیش‌خور[8] قادر به انجام این کار است، برای این کار از قیمت‌های روزانه شرکت (IBM) استفاده کرد [۲۷]. کیموتو[9] و همکاران [۱۶]، گزارشی در رابطه با اثربخشی الگوریتم‌های یادگیری جایگزین و روش‌های پیش‌بینی با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی مقدار شاخص بورس توکیو ارائه کردند.

1. Cheung
2. Speech Signal recognition
3. Andreae
4. Zhang
5. Electro Cardio Graghy
6. Coast
7. Stern
8. Feed-forward ANN
9. Kimoto

چیانگو بالدریج[1] [۵]، از یک شبکه پس انتشار خطا، استفاده کردند تا بتوانند، ارزش خالص دارایی‌های صندوق‌های سرمایه‌گذاری مشترک[2] را در انتهای سال پیش‌بینی کنند. آن‌ها داده‌های شبکه و نتایج کار خود را با نتایج به‌دست‌آمده از روش‌های سنتی اقتصادسنجی مقایسه کردند و دریافتند هنگامی‌که داده‌ها کم باشد، شبکه‌های عصبی به‌طور معناداری از روش‌های رگرسیونی[3] بهتر عمل می‌کنند.

ترافالیس[4] [۲۴]، از شبکه‌های عصبی پیش‌خور استفاده کرد تا بتواند تغییرات شاخص اس اند پی (۵۰۰)[5] را پیش‌بینی کند، در این تحقیق متغیرهای ورودی شامل تغییرات هفتگی ۱۴ اندیکاتور[6] بود.

باوجود استفاده گسترده‌ای که از شبکه عصبی مصنوعی در این دامنه انجام شده است؛ ولی مشکلات قابل‌توجهی وجود دارد که مختصراً به شرح زیر است:

شبکه عصبی مصنوعی مدلی داده‌محور است [۲۸،۲۱،۴] و درنتیجه قوانین زیربنایی در داده‌ها می‌تواند وجود داشته باشد که همیشه آشکار نیستند [۳۰].

همچنین نویزهای پنهان[7] و ابعاد پیچیده داده‌های بازار سهام یادگیری و یا تخمین پارامترهای شبکه عصبی را با مشکل مواجه می‌سازد [۱۵]. کنار آمدن با این مسئله نیز گاها مشکل است که بتوان شبکه عصبی با یک ساختار را برای تمام حوزه‌ها استفاده کرد؛ به‌علاوه بعضاً شبکه‌های عصبی مصنوعی از مشکل بیش برازش[8] نیز رنج می‌برند [۲۲].

مدل‌های «مارکوف پنهان» اولین بار در یک سری مقالات آماری توسط لئونارد بام و نویسندگان دیگر در نیمه ۱۹۶۰ مطرح شد. اولین کاربرد آن شناسایی گفتار بود که در سال ۱۹۷۰ شروع شد. در سال ۱۹۸۰ برای تجزیه‌وتحلیل در رشته‌های بیولوژیکی به‌خصوص DNA استفاده شد و از آن زمان به‌عنوان زمینه‌ای از بیوانفورماتیک در نظر گرفته شده است.

مدل «مارکوف پنهان» بر اساس چارچوب مسائل احتمال برای مدل‌سازی یک سری زمانی با مشاهداتی که دارای چندین متغیر است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. حسن و نص ، از این مدل برای پیش‌بینی قیمت سهام استفاده کردند و نشان دادند که این مدل از پایه ریاضیاتی و محاسباتی قوی برخوردار است [۱۸].

1. Chiang, Urban, and Baldridge
2. Net asset value of mutual funds
3. Regression Methods
4. Trafalis
5. S&P(500)
6. Indicators
7. Buried noise
8. Overfitting problem

حسن و نص [۱۲]، به‌منظور بهبود عملکرد مدل «مارکوف پنهان» از الگوریتم ژنتیک و دیگر ابزارها به‌منظور بهبود استفاده کردند.

در این تحقیق مدل ارائه‌شده توسط حسن و نص [۱۲]، به‌کار گرفته شده است و سعی شـده که توسط مفهوم «زنجیره مارکوف» بهبود و توسعه داده شود.

۳. توسعه فرضیه‌ها و مدل مفهومی

فرضیه‌های تحقیق. در تحقیق حاضر سعی شده است فرضیه‌ها طوری تدوین شوند که بتوان آن‌ها را آزمایش نمود و همچنین از طریق آزمون آن‌ها به سوالات اساسی تحقیق پاسخ داد. این تحقیق شامل یک فرضیه اصلی و یک فرضیه فرعی به شرح زیر است:

فرضیه اصلی: تلفیق «زنجیره مارکوف» با مدل «مارکوف پنهان» می‌تواند خطای مدل «مارکوف پنهان» را کاهش دهد.

فرضیه فرعی: مدل ارائه‌شده نسبت به مدل‌های موجود در مبانی نظری عملکرد بهتری دارد.

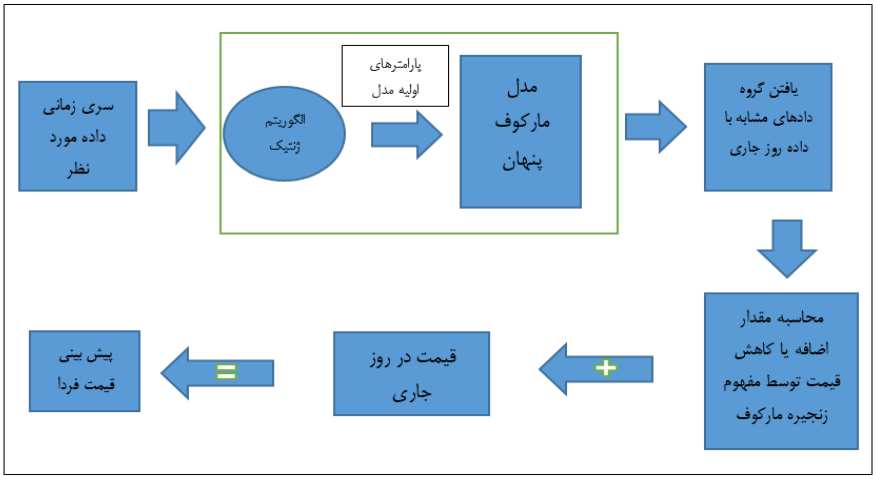
معرفی و بررسی اجزای مدل ارائه‌شده. حسن و نص [۱۲]، در مدلی که ارائه نموده‌اند از مدل «مارکوف پنهان» برای شناخت الگوهای مشابه در داده‌های تاریخی سری زمانی مورد بحث، استفاده کرده و سپس با استفاده از میانگین موزون اختلاف همسایگان، قیمت روز بعد سهام را پیش‌بینی کرده‌اند؛ در حالی‌که در مدل ارائه‌شده در این تحقیق، از مفهوم «زنجیره مارکوف» برای پیش‌بینی روز بعد قیمت سهام و شاخص با استفاده از خروجی مدل مارکوف پنهان که همان الگوهای مشابه هستند، استفاده شده است.

بر اساس شکل ۱، مدل ارائه‌شده به نوعی از سه قسمت اصلی تشکیل شده است:

۱. یافتن گروه‌های داده مشابه با داده روز جاری با مدل «مارکوف پنهان»؛

۲. تنظیم پارامترهای اولیه مدل «مارکوف پنهان» توسط الگوریتم ژنتیک؛

۳. محاسبه مقدار اضافه یا کاهش قیمت در روز بعد نسبت به روز جاری توسط مفهوم «زنجیره مارکوف».



شکل ۱. ساختار مدل ارائه شده

در ادامه هر کدام از اجزای مدل به‌صورت کامل معرفی و بررسی می‌شوند.

جایگاه مدل مارکوف پنهان در مدل. از مدل «مارکوف پنهان» به‌منظور شناسایی الگوهای مشابه با الگوی مورد نظر استفاده می‌شود. به این صورت که داده‌های قیمت سهام که شامل چهار قیمت زیر هستند استفاده می‌شوند و ورودی‌های مدل را تشکیل دهند.

ـ قیمت باز شدن که منظور قیمت اولین معامله در طول روز.

ـ بیشترین قیمت در طول روز.

ـ کمترین قیمت در طول روز.

ـ قیمت بسته شدن که عبارت است از قیمت آخرین معامله در طول روز.

خروجی مدل را نیز می‌توان قیمت پیش‌بینی‌شده برای روز بعد در نظر گرفت.

همان‌گونه که در مبانی نظری نیز موجود است، هر مدل «مارکوف پنهان» توسط سه شاخصه اصلی به‌صورت $\lambda = (A, B, \pi)$ شناسایی می‌شود.

مجموعه احتمالات انتقال بین حالات مختلف که به‌صورت ماتریسی به نام $A=\{a_{ij}\}$ نشان داده می‌شود. در این مدل تعداد حالات عدد چهار در نظر گرفته شده است؛ بنابراین ماتریس A یک ماتریس با چهار سطر و چهار ستون است.

ماتریس احتمال مشاهدات که به‌صورت $B = \{b_j(k)\}$ نشان داده شده و بیانگر احتمال مشاهده هر کدام از خروجی‌ها به ازای هر کدام از حالات است. این ماتریس نیز ماتریسی با چهار سطرو چهار ستون می‌باشد.

توزیع احتمالات حالت شروع که برای حالات مختلف آن نیز توسط ماتریس π نمایش داده می‌شود.این ماتریس دارای یک سطر و چهار ستون است.

لازم به ذکر است که تعداد درایه‌های ماتریس‌ها با توجه به چهار حالته بودن مدل است؛ بنابراین با تغییر تعداد حالات تعداد اعضای هر ماتریس نیز تغییر خواهد کرد.

در این پژوهش از الگوریتم مشهور بام–ولش استفاده شده است تا این‌که پارامترها بهترین تخمین را از مدل بتوانند ارائه کنند.

در مدل همچنین از مدل پیشرو – پسرو [۲۰] استفاده شده است تا بتوان $P(O|\lambda)$ را محاسبه نمود.

نحوه تعامل الگوریتم ژنتیک با مدل مارکوف پنهان. به‌منظور بهینه‌سازی پارامترهای اولیه در مدل، در چندین تحقیق از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۳]؛ ولی در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک به روش حسن و نص (۲۰۰۷)، استفاده شده است که در ادامه به معرفی آن پرداخته خواهد شد.

پارامترهای مورد نظر عبارت‌اند از:

۱. ماتریس انتقال

۲. ماتریس احتمال مشاهدات

۳. ماتریس مشاهدات اولیه

اگر برای این سه پارامتر تواما از الگوریتم ژنتیک استفاده شود، طول کرومزوم بسیار زیاد شده و این امر موجب پیچیدگی بیشتر و پر هزینه شدن محاسبات می‌شود.

راه‌حل جایگزینی که می‌توان از آن استفاده کرد، تفکیک مسئله به سه مسئله جداگانه است و این‌که هر کدام از پارامترها با فرض ثابت بودن دو پارامتر دیگر در نظر گرفته شوند. پس از تخمین هر پارامتر به سراغ پارامتر دیگر رفته و دو پارامتر دیگر ثابت فرض می‌شوند و این امر تا تحقق شرط خاتمه تکرار می‌شود.

قدم‌های الگوریتم ژنتیک در این مدل ترتیب زیر است:

ـ مقدار دهی اولیه جمعیت

ـ ارزیابی جمعیت و اقدامات لازم جهت اصلاح جواب

ـ آموزش مدل «مارکوف پنهان» با استفاده از هر کرموزوم از جمعیت به‌عنوان ماتریس مشاهدات اولیه

ـ به‌دست آوردن مقدار پیش‌بینی به‌منظور اعتبارسنجی مدل و مقایسه آن با مقدار واقعی و محاسبه اختلافشان

ـ محاسبه مقدار میانگین مطلق درصد خطا برای اعتبارسنجی مجموعه داده‌ها
ـ اگر شرط خاتمه الگوریتم برقرار نبود به مرحله بعد رفته در غیر این صورت خارج می‌شود
ـ انتخاب والدین بر اساس میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) تولید شده برای نسل بعد
ـ اجرای عملگرهای تقاطع و جهش و تولید نسل بعد
ـ رفتن به مرحله ۲.

جایگاه زنجیره مارکوف در مدل ارائه‌شده. در مطالعات قبلی بعد از شناسایی الگوهای مشابه که توسط مدل «مارکوف پنهان» تشخیص داده می‌شوند، الگوهای مشابه روز i ام را پیدا کرده و رفتارشان را برای پیش‌بینی روز i+1 ام بررسی می‌کردند؛ به این صورت که میانگین موزون اختلافات قیمت بسته شدن هر مورد با روز بعد محاسبه می‌شود و این میانگین به قیمت بسته شدن روز i ام اضافه می‌شود و به این صورت پیش‌بینی قیمت برای روز i+1 ام محاسبه می‌گردد.

در مدل ارائه‌شده به‌جای استفاده از میانگین موزون اختلافات از مفهوم «زنجیره مارکوف» استفاده شده است. در مارکوف مرتبه اول دو حالت ۱ و ۲ وجود دارد که انتقالات بین این دو حالت توسط دو عنصر احتمال (p) و مقدار (r) تعریف می‌شود. به این صورت که اگر در حالت ۱ باشد، دو حالت امکان دارد که اتفاق افتد اول این‌که حرکتی ایجاد نشود و از حالت ۱ در همان حالت ۱ بماند و دوم این‌که از حالت ۱ به حالت ۲ منتقل شود که این حرکت توسط دو ماتریس احتمال و انتقال سنجیده می‌شود.

r_{ij} نشان از میزان تغییر از حالت i به حالت j است و p_{ij} نیز نشان از میزان احتمال تغییر از حالت i به حالت j است.

در اینجا حالت ۱ فرض بر نزولی بودن قیمت سهم یا کمتر شدن قیمت در روز مورد نظر نسبت به روز قبل و فرض شده است. برای مثال، $r_{11}p_{11}$ به این معنی است که زمانی‌که قیمت سهم در حالت نزولی است و این قیمت در روز بعد امکان دارد که به احتمال p مقداری به اندازه r می‌تواند نزول داشته باشد.

در اینجا مقدار محاسبه‌شده توسط رابطه را به‌جای میانگین موزون استفاده کرده و قیمت بسته شدن در روز بعد محاسبه می‌شود.

$$r = \begin{cases} r_{11}p_{11} + r_{12}p_{12} \\ r_{21}p_{21} + r_{22}p_{22} \end{cases} \qquad (۱)$$

مقدار P برابر است با نسبت تعداد هر کدام از حالت‌ها بر کل حالات و مقدار r نیز برابر است با میانگین تغییرات هر کدام از حالات.

٤. روش‌شناسی

داده‌های مورداستفاده در این تحقیق را می‌توان به دو دسته کلی شاخص‌ها و سهام دسته‌بندی کرد.

در طبقه شاخص‌ها از داده‌های روزانه چهار شاخص بورس اوراق بهادار تهران استفاده شده است که شامل موارد زیر است:

- شاخص کل.
- شاخص بازار اول
- شاخص بازار دوم
- شاخص صنعت

طبقه سهام نیز شامل داده‌های روزانه هفت سهم می‌باشد که شامل سهام شرکت‌های زیر است:

- شرکت ایران‌خودرو
- شرکت سایپا
- شرکت گروه بهمن
- شرکت فولاد مبارکه اصفهان
- شرکت توسعه معادن و فلزات
- شرکت معدنی و صنعتی چادرملو
- شرکت معدنی و صنعتی گل گهر

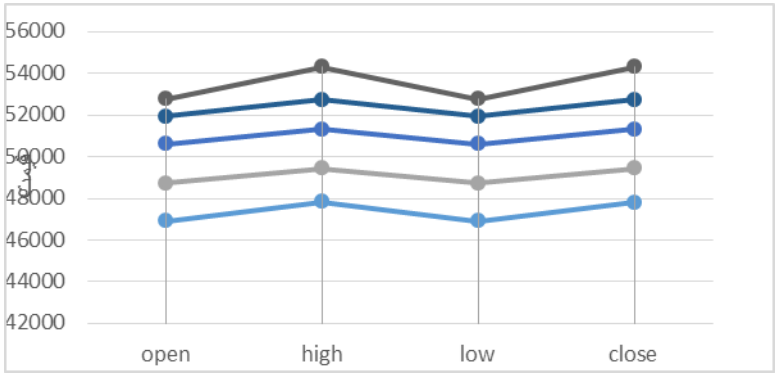
داده‌های کلیه موارد ذکرشده از سایت www.tsetmc.ir جمع‌آوری‌شده‌اند. داده‌ها شامل ۵۰۰ روز منتهی به تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۱ که از ۵۰۰ داده مورداستفاده، ۴۰۰ داده برای تخمین پارامترها به‌عنوان داده‌های درون نمونه‌ای و ۱۰۰ داده برای دوره پیش‌بینی و به‌عنوان داده‌های برون نمونه‌ای در نظر گرفته شده است.

داده‌های هر سهم برای هر روز خود شامل چهار داده قیمت باز شدن، بیشترین قیمت طی روز ،کمترین قیمت طی روز و قیمت بسته شدن در انتهای ساعات معاملات بازار است.

بعد از انتقال داده‌ها و تنظیم پارامتر توسط الگوریتم ژنتیک، نوبت به اجرای مدل «مارکوف پنهان» بر داده‌های تست می‌گردد؛ برای اجرای این مدل از جعبه‌ابزار نرم‌افزار MATLAB که به‌منظور اجرای مدل «مارکوف پنهان» تهیه گردیده، استفاده شده است.

در اجرای این مدل، برای هر داده آموزشی یک شاخص به‌عنوان شاخص شباهت در نظر گرفته می‌شود که برابری این شاخص در داده‌های مختلف، نشان از شباهت بالای رفتار قیمت در آن روزها است؛ بنابراین این مدل در ابتدا شاخص شباهت را برای کلیه داده‌های مورد نیاز

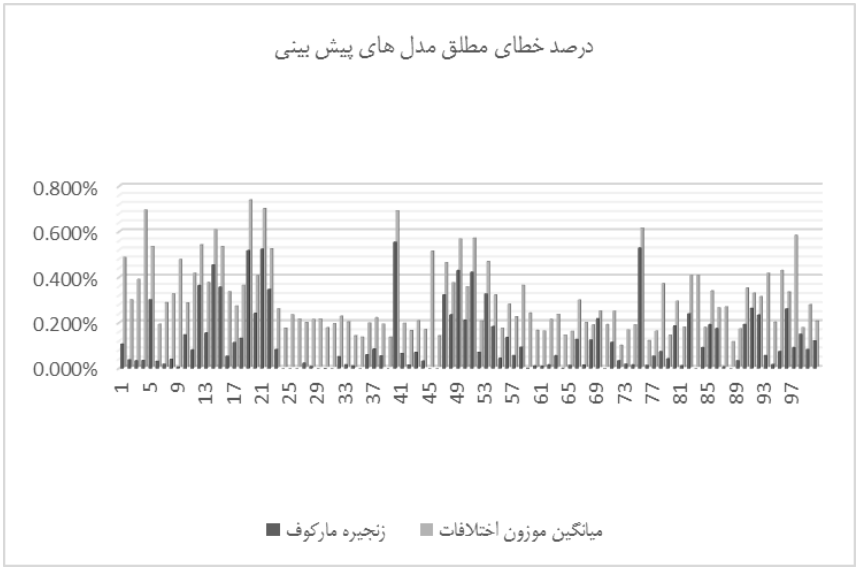
به‌دست می‌آورد و در حافظه خود ذخیره می‌نماید. در نمودار (۲) نمونه‌ای از داده‌هایی که دارای شاخص شباهت بسیار نزدیک به یکدیگر هستند را می‌توان مشاهده نمود.



نمودار ۲. نمونه‌ای از داده‌ها با شباهت بسیار بالا

۵. تحلیل داده‌ها

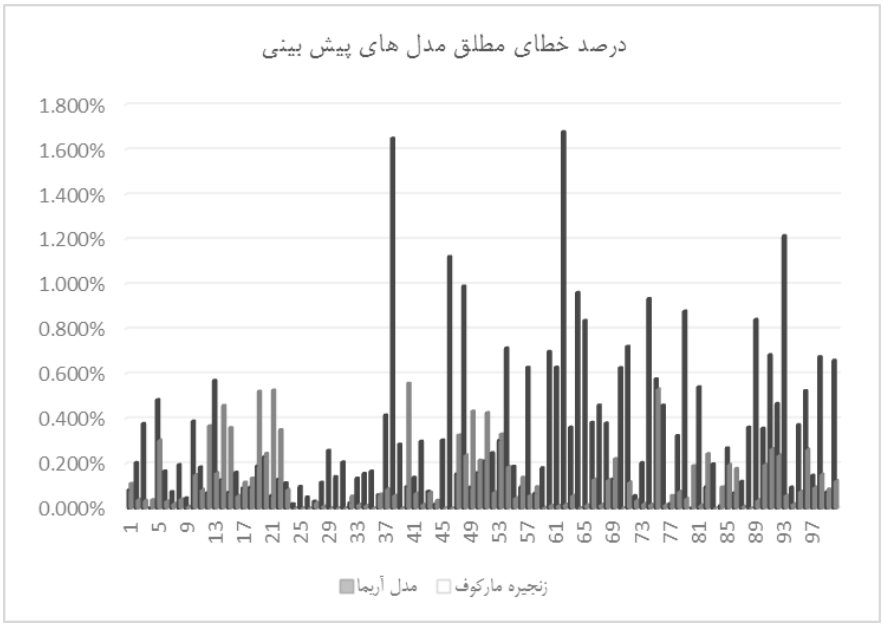
نتایج پیش‌بینی توسط هر دو روش ترکیب مدل «مارکوف پنهان» و میانگین موزون اختلافات و همچنین مدل «مارکوف پنهان» و «زنجیره مارکوف» محاسبه شده‌اند و میزان درصد اختلافی که هر مدل نسبت به مقدار واقعی شاخص داشته است، در نمودار (۳) نمایش داده شده است.



نمودار ۳. درصد خطای مدل‌های پیش‌بینی

همان‌گونه که در نمودار نیز مشهود است، روش «زنجیره مارکوف» تقریبا در تمام روزهای پیش‌بینی‌شده از روش موزون اختلافات برابر یا بهتر عمل نموده است.

نتایج پیش‌بینی مقدار شاخص کل توسط مدل «آریما» محاسبه شده‌اند. به‌منظـور مقایسـه و تعیین برازش مدل ارائه‌شده در این تحقیق، میزان خطای مدل «آریما» را با میزان خطـای مـدل «مارکوف پنهان» و «زنجیره مارکوف» مقایسه کرده‌اند و در نمودار (۴) نشان داده‌اند.



نمودار ۴. مقایسه پیش‌بینی توسط مدل آریما و زنجیره مارکوف

بر اساس نمودار ۴، میزان خطا توسط «زنجیره مارکوف» اهم از نوسان کمتری برخوردار بوده است و هم این‌که میزان خطاها نسبت به مدل «آریما» در تمامی موارد کمتر بوده است کـه ایـن موضوع نشان از عملکرد بهتر مدل «مارکوف پنهـان» و «زنجیـره مـارکوف» نسـبت بـه مـدل «آریما» دارد.

مقایسه عملکرد مدل تلفیقی مارکوف پنهان و مفهوم زنجیره مارکوف با ادبیات. به‌منظور برازش عملکرد مدل ارائه‌شده از معیار میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) استفاده شده است. مقادیر میانگین مطلق درصد خطای سه مدل، آریما، مدل «مارکوف پنهان» و میانگین موزون اختلافات و همچنین روش ارائه‌شده در این تحقیق که مدل تلفیقی «مارکوف پنهان» و «زنجیره مارکوف» است.

به منظور بررسی فرضیه پژوهش، فرضیه‌ای را آزمون کرده که نشان دهد آیا میانگین کلیه مقادیر MAPE به‌دست‌آمده برای هر سری زمانی، اختلاف معناداری با یکدیگر دارند یا خیر؛ بنابراین آزمون فرض زیر بررسی می‌شود:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \end{cases} \quad (۲)$$

μ_1 نشان‌دهنده میانگین مقادیر MAPE بوده که توسط آریما محاسبه شده است و μ_2 نشان‌دهنده میانگین مقادیر MAPE که توسط روش «مارکوف پنهان» و «زنجیره مارکوف» به‌دست آمده است، می‌باشد و نیز همچنین μ_3 بیانگر میانگین مقادیر MAPE که توسط روش «مارکوف پنهان» و «میانگین موزون» محاسبه شده است، می‌باشد.

آزمونی که برای مقایسه میانگین یک صفت کمی در بیش از دو جمعیت استفاده می‌شود، آنالیز واریانس (ANOVA) نام دارد. به‌منظور بررسی این آزمون از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است که P-value آزمون برابر مقدار ۰/۰۰۰ شد که نشان‌دهنده رد شدن فرض صفر آزمون است.

در ادامه برای دانستن این مطلب که اختلاف بین کدام دو گروه معنادار است، از آزمون توکی استفاده شده است در جدول ۵، جفت مقایسات جفت گروه‌ها که توسط آزمون توکی صورت گرفته، نشان داده شده است.

جدول ۵. نتایج آزمون Tukey

متغیر اول	متغیر دوم	P- value
۱	۲	۰
۱	۳	۰
۲	۳	۰/۰۲۹

با توجه به سطح معناداری ۰/۰۵ اختلاف بین کلیه گروه‌ها معنادار است که نشان‌دهنده عملکرد مناسب روش ارائه‌شده نسبت به سایر روش‌های ذکر شده است.

٦. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق سعی شده است تا با توجه به مبانی نظری در این زمینه، از روش‌های رایج و مطرح، برای رسیدن به هدف تحقیق و نتیجه‌گیری در مورد سوال یا اثبات فرضیه‌های تحقیق استفاده شود. در این تحقیق سعی شد تا مدلی نوین به‌منظور پیش‌بینی قیمت سهام و یا شاخص

سهام ارائه شود. همان‌گونه که در فصل‌های قبل توضیح داده شد، مدل ارائه‌شده تلفیقی از مدل «مارکوف پنهان» و «زنجیره مارکوف» بوده است که این مدل بر چندین سهام موجود در بازار بورس اوراق بهادار تهران اجرا شد. به‌منظور درک بهتری از میزان عملکرد مدل در پیش‌بینی قیمت سهام مدل ارائه‌شده با مدل موجود در مبانی نظری و همچنین روش رایج در اقتصادسنجی مقایسه شد. نتایج نیز از عملکرد مناسب مدل ارائه‌شده در این تحقیق حکایت دارد.

با توجه به اهداف تحقیق و فرضیه‌ها و سؤالاتی که در این تحقیق مطرح شده، در این بخش به بیان نتایج پرداخته شده است:

ـ آیا می‌توان از مفهوم «زنجیره مارکوف» در بهبود عملکرد مدل پیش‌بینی توسط مدل «مارکوف پنهان» استفاده نمود؟

پاسخ: در این تحقیق مقایسه‌ای بین دو مدل که یکی از آن‌ها تلفیقی از مدل «مارکوف پنهان» و مفهوم «زنجیره مارکوف» بود و دیگری تنها مدل «مارکوف پنهان» بوده است، انجام گرفت و نتایج این مقایسه نشان از بهبود عملکرد مدلی داشت که از مفهوم «زنجیره مارکوف» در آن استفاده شده بود.

در این تحقیق دو فرضیه نیز بررسی شد.

ـ تلفیق «زنجیره مارکوف» با مدل «مارکوف پنهان» می‌تواند خطای مدل «مارکوف پنهان» را کاهش دهد.

پاسخ: با توجه معیار میانگین مطلق درصد خطا (MAPE) که به‌منظور برازش مدل ارائه‌شده برای مدل‌های مختلف محاسبه شد، تلفیق «زنجیره مارکوف» توانست خطای مدل «مارکوف پنهان» را کاهش دهد.

ـ مدل ارائه‌شده نسبت به مدل‌های موجود در مبانی نظری عملکرد بهتری دارد.

پاسخ: بر اساس نتایج، مدل ارائه‌شده نسبت به مدل‌های موجود در مبانی نظری توانست خطای کمتری داشته باشد و این نشان از عملکرد مناسب‌تر این مدل نسبت به سایر مدل‌های موجود در مبانی نظری است.

مدل پیشنهاد شده دارای قابلیت‌های زیادی جهت توسعه است و می‌توان از این مدل یا از پایه و مفهوم اصلی این مدل در تحقیقات و مسائل به‌صورت زیر استفاده کرد:

ـ تلفیق منطق فازی با مدل «مارکوف پنهان» و بررسی عملکرد آن؛

ـ اجرای مدل ارائه شده در بازارهای دیگر از جمله طلا و نفت و سایر کالاها؛

ـ استفاده از مدل ارائه شده در مسئله تشکیل پرتفوی بهینه.

منابع

1. Andriyas, Sanyogita and Mac McKee (2014). Exploring Irrigation Behavior at Delta, Utah Using Hidden Markov Models. *Agricultural Water Management*, *143*: 48-58.
2. Babu, C. Narendra and B. Eswara Reddy (2014). A Moving-Average Filter Based Hybrid Arima–Ann Model for Forecasting Time Series Data. *Applied Soft Computing*, 23: 27-38.
3. Chau, C. W., Kwong, S., Diu, C. K., & Fahrner, W. R. (1997). Optimization of HMM by a genetic algorithm. *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, 1727–1730.
4. Cheng, B., & Titterington, D. M. (1994). Neural networks: a review from statistical perspective. *Statistical Science*, *9(1)*, 2–54.
5. Chiang, W.-C., Urban, T. L., & Baldridge, G. W. (1996). A neural network approach to mutual fund net asset value forecasting. *Omega International Journal of Management Science*, *24(2)*, 205–215.
6. Damásio, Bruno and João Nicolau (2014). Combining a Regression Model with a Multivariate Markov Chain in a Forecasting Problem. *Statistics & Probability Letters* 90: 108-113.
7. De Souza e Silva, Edmundo G., Luiz F. L. Legey and Edmundo A. de Souza e Silva (2010). Forecasting Oil Price Trends Using Wavelets and Hidden Markov Models. *Energy Economics 32:* 1507-1519.
8. Erlwein, Christina, Fred Espen Benth and Rogemar Mamon (2010). Hmm Filtering and Parameter Estimation of an Electricity Spot Price Model. *Energy Economics*, *32(5):* 1034-1043.
9. Fadaee nezhad, M, M Noforsati and V Shalbaf yazdi (2012). Baresi Ertebate Adame Naghdshavandegi Va Asare Gerayeshi Ba Dore Negahdari Saham Adi Dar Borse Tehran. *Financial Management Perspective, 5.*
10. Fakhari, H and Z Saber (2013). Baresi Tasire Ahrome Bedehi Amaliyati Bar Bazdehe Atiye Hoghoghe Sahebane Sahame Sherkathaye Pazirofte Shode Dar Borse Tehran. *financial Management Perspective*: 2-9.
11. Hassan, Md Rafiul (2009). A Combination of Hidden Markov Model and Fuzzy Model for Stock Market Forecasting. *Neurocomputing, 72(16–18):* 3439-3446.
12. Hassan, Md Rafiul, Baikunth Nath and Michael Kirley (2007). A Fusion Model of Hmm, Ann and Ga for Stock Market Forecasting. *Expert Systems with Applications, 33(1):* 171-180.
13. Khajavi, Sh and M Ebrahimi (2012). Baresi Tasir Ghodrate Bazare Mahsol Bar Naghdshavandegi Saham Sherkathaye Pazirofte Shode Dar Borse Tehran. *Financial Management Perspective, 5.*
14. Khajavi, Sh and N Rostamzade (2012). Baresi Rabete Sahame Shenavar Azad Ba Amalkarde Mali Sherkathaye Pazirofte Shode Dar Borse Tehran. *Financial Management Perspective*, 2-9.
15. Kim, K.-J., & Han, I. (2000). Genetic algorithms approach to feature discretization in artificial neural networks for the prediction of stock price index. *Expert Systems with Applications, 19,* 125–132.
16. Kimoto, T., Asakawa, K., Yoda, M., & Takeoka, M. (1990). Stock market prediction system with modular neural networks. *In Proceeding of the international joint conference on neural networks (IJCNN) 1*: 1–6.

17. Lee, Yumin and Lin-shan Lee (1993). Continuous Hidden Markov Models Integrating Transitional and Instantaneous Features for Mandarin Syllable Recognition. *Computer Speech & Language, 7(3):* 247-263.
18. Md. Rafiul, Hassan (2005). Stockmarket Forecasting Using Hidden Markov Model: A New Approach. edited by Nath Baikunth, 0, 192-196.
19. Merhav, Neri and Yariv Ephraim (1991). Hidden Markov Modeling Using a Dominant State Sequence with Application to Speech Recognition. *Computer Speech & Language 5(4):* 327-339.
20. Rabiner Fellow, Ieee Lawrence R (1990). A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition. In *Readings in Speech Recognition*, edited by Alex Waibel and Kai-Fu Lee, 267-296. San Francisco: Morgan Kaufmann.
21. Ripley, B. D. (1993). Statistical aspects of neural networks. *In O. E. Brandorff-Nielsen, J. L. Jensen, & W. S. Kendall (Eds.), Networks and chaos-statistical and probabilistic aspects*: 40–123. London: Chapman and Hall.
22. Romahi, Y., & Shen, Q. (2000). Dynamic financial forecasting with automatically induced fuzzy associations. *In Proceedings of the 9th international conference on fuzzy systems*, 493–498.
23. Sun, Wei, Hao Zhang, Ahmet Palazoglu, Angadh Singh, Weidong Zhang and Shiwei Liu (2013). Prediction of 24-Hour-Average Pm2.5 Concentrations Using a Hidden Markov Model with Different Emission Distributions in Northern California. *Science of The Total Environment, 443*, no. 0: 93-103.
24. Trafalis, T. B. (1999). Artificial neural networks applied to financial forecasting. *In C. H. Dagi Dagli, A. L. Buczak, J. Ghosh, M. J.Embrechts, & O. Ersoy (Eds.), Smart engineering systems: neural networks, fuzzy logic, data mining, and evolutionary programming. Proceedings of the artificial neural networks in engineering conference (ANNIE'99)* 1049–1054. New York: ASME Press.
25. Tso, Brandt and Paul Y. Chang (2007). Mining Free-Structured Information Based on Hidden Markov Models. *Expert Systems with Applications, 32(1):* 97-102.
26. Wang, Yi-Fan, Shihmin Cheng and Mei-Hua Hsu (2010). Incorporating the Markov Chain Concept into Fuzzy Stochastic Prediction of Stock Indexes. *Applied Soft Computing, 10(2):* 613-617.
27. White, H. (1988). Economic prediction using neural networks: the case of IBM daily stock returns. *In Proceedings of the second IEEE annual conference on neural networks, II.* 451–458.
28. White, H. (1989). Learning in artificial neural networks: a statistical perspective. *Neural Computation, 1,* 425–464.
29. Xi, Xiaojing and Rogemar Mamon (2011). Parameter Estimation of an Asset Price Model Driven by a Weak Hidden Markov Chain. *Economic Modelling, 28(1–2):* 36-46.
30. Zhang, G., Patuwo, B. E., & Hu, M. H. (1998). Forecasting with artificial neural networks: the state of the art. *International Journal of Forecasting, 14*, 35–62.
31. Zhang, Hao, Weidong Zhang, Ahmet Palazoglu and Wei Sun (2012). Prediction of Ozone Levels Using a Hidden Markov Model (Hmm) with Gamma Distribution. *Atmospheric Environment, 62,* no. 0: 64-73.
32. Zhang, Wenjing and Xin Feng (2012). A New Ensemble Learning Method for Temporal Pattern Identification." *Procedia Computer Science, 12, no. 0*: 102-109.