فصلنامه علمی پژوهشی
دانش مالی تحلیل اوراق بهادار
سال دهم، شماره سی‌وششم
زمستان ۱۳۹۶

پیش بینی شاخص بازار سهام به وسیله مدل مارکوف پنهان و روش خوشه بندی کا میانگین

سعید عسگری[۱]
ناصر یزدانی[۲]
محسن ناظم بکایی[۳]

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۲/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

پیش‌بینی بازار سهام یک مسئله کلاسیک میباشد که تا کنون به طور گسترده ای به وسیله ابزارها و مدل های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.تغییرات روند بازار سهام ناشی از تقابل نیرو های عرضه و تقاضا و دیگر عوامل اقتصادی است. تکنیک های اماری سنتی برای توصیف روند های فصلی و نامانایی داده های قیمت در بازار سهام ناتوان هستند. مدل مارکوف پنهان یکی از ابزار های بسیار قدرت مند در پردازش فرایند های اتفاقی و دنباله های تصادفی است، که در پهنه وسیعی از کاربرد ها نظیر پردازش گفتار، تصویر و سیگنال استفاده شده است. این مدل یک مدل اماری بوده و کار برد اصلی ان در باز شناخت گفتار می‌باشد. اما از انجا که یک مدل کلی برای فرایند های تصادفی است می‌تواند در سری های زمانی مالی نیز به کار رود.در این تحقیق ما با استفاده از الگوریتم خوشه بندی K-mean به همراه مدل مارکوف پنهان بر روی متغییر های تکنیکال درصد تغییرات روزانه قیمت و حجم معاملات به پیش‌بینی شاخص بی ای ال۲۰(بلژیک) دریک روز اینده پرداخته ایم و در اخر دقت پیش‌بینی را با استفاده از معیار متوسط درصد خطاهای مطلق محاسبه کرده ایم که مقدار متوسط خطاهای مطلق برای پیش بینی مقدار روز اینده شاخص قیمتی بی ای ال۲۰ در بازه زمانی ۱ دسامبر تا ۳۰ دسامبر ۲۰۱۵ عدد ۰،۰۳۴۶۳- درصد میباشد. سری‌های زمانی مقدار شاخص و حجم معاملات آن در بازه زمانی ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۲/۳۰ نمونه پژوهش را تشکیل میدهند. از داده های ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ برای پرورش مدل و از داده های ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ تا ۲۰۱۵/۱۲/۳۰ برای تست مدل و به دست اوردن دقت پیش بینی استفاده کرده ایم.

واژه‌های کلیدی: مدل مارکوف پنهان، شاخص قیمتی بی ای ال ۲۰، مدل های تکنیکال برای پیش بیتی قیمت سهام، الگوریتم خو بندی کا میانگین.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مدیریت بازرگانی (گرایش مالی) دانشگاه شاهد، تهران، ایران. saeed.mas23@yahoo.com
۲- استادیار دانشگاه شاهد، تهران، ایران، (نویسنده مسئول) n.yazdani@shahed.ac.ir
۳- استادیار دانشگاه شاهد، تهران،ایران. mnbokaei@yahoo.com

۱- مقدمه

از زمان دانشمندانی چون داو در قرن نوزدهم میلادی تاکنون مطالعات بسیاری برای پیش‌بینی قیمت سهام به روش‌های فاندامنتال، آماری و تکنیکال انجام شده است. ماهیت بازار سهام بسیار پیچیده و غیر خطی است. تغییرات در این بازار به عوامل مختلفی ازجمله نرخ های سود(بهره)، اوراق خزانه، تغییرات و تحولات کلان اقتصادی و پیش‌بینی‌ها از ریسک بستگی دارد. سرمایه‌گذاران همیشه نمی‌توانند در چنین بازاری برنده باشد بنابراین نیاز به الگوریتم های غیر خطی برای کشف روابط پیچیده بین متغیر های این بازار بسیار محسوس می‌باشد. تحقیقات وسیعی در سال‌های اخیر برای دست یابی به یک مدل بهینه یا تقریبا بهینه برای پیش‌بینی تغییرات قیمت سهام انجام شده است. بسیاری از مطالعات انجام شده تکنیک‌های تجزیه و تحلیل آماری سری‌های زمانی مانند خود رگرسیون‌های میانگین متحرک یا به اصطلاح اریما و مدل های رگرسیون چند متغیره را به کار گرفته‌اند. بعلاوه سیستم هایی مبتنی بر هوش مصنوعی مانند شبکه های عصبی مصنوعی، شبکه‌های فازی و ترکیبی از شبکه‌های عصبی فازی، ماشین‌های بردار پشتیبان وجود دارند که هرکدام از این روش ها محدودیت های خاص خود را دارند. به عنوان نمونه تکنیک شبکه های عصبی مصنوعی به دلیل نحوه پیکربندی ان بسیار مسئله محور بوده (حسن و ناد[1]،۲۰۰۵). مشکل اصلی شبکه‌های عصبی برازش بیش از حد داده ها با درنظر گرفتن نویز می‌باشد و همچنین باتغییر دامنه داده ها نیاز به پیکر بندی مجدد دارد.در سال ۲۰۰۰ رامهی و شین[2] از الگوریتم القا محور فازی برای پیش بینی سری‌های زمانی مالی استفاده کردند. اما بیشتر وقت‌ها دانش متخصص برای استخراج قوانین فازی نیاز است. همچنین مدل های رگرسیونی و اتو رگرسیونی تازمانی که فرض بر خطی بودن سری های زمانی باشد مناسب به نظر می‌رسند اما وقتی واریانس در سری‌های زمانی افزایش می‌یابد و فرایند غیر خطی در سری‌های زمانی پیدا شود مشکل این روش ها بروز میکند(الغلیب[3] و همکاران،۲۰۱۴).

مدل مارکوف پنهان در اواخر دهه ۱۹۶۰ میلادی برای شناسایی صدا معرفی گردید و در حال حاضر به سرعت در حال گسترش دامنه کاربردها می باشد. دو دلیل مهم برای این موفقیت وجود دارد. اول اینکه این مدل از لحاظ ساختار ریاضی بسیار قدرتمند است و به همین دلیل مبانی نظری بسیاری از کاربردها را شکل داده است. دوم اینکه مدل مارکوف پنهان اگر به صورت مناسبی ایجاد شود می تواند برای کاربردهای بسیاری مورد استفاده قرار گیرد.در سالهای اخیر محققان مدل مارکوف پنهان را به عنوان طبقه بندی کننده و پیش بینی کننده سیگنال های صوتی،توالی یاب DNA، شناسایی کننده ویژگی های دست خط ارائه داده اند(رابینر. ار.ال[4]،۱۹۸۹).

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

سیستمی را درنظر بگیرید که ممکن است در هر مقطع زمانی در هر یک از N حالت مجزای S1,S2,…,Sn قرارگیرد. در زمان های مختلف و جدا از هم حالت سیستم بین N حالت تغیر میکند(یا احتمالا در همان حالت قبلی میماند).زمان های جداگانه را t و حالت واقعی در زمان t را q_t مینامیم . در زنجیره مارکوف گسسته مرتبه اول، تعریف احتمالی حالت فعلی سیستم فقط به یک حالت قبلی ان بستگی دارد.

$$P\,[q_t = |q_{t-1} = S_i, q_{t-2} = S_k, \dots] = [q_t = |q_{t-1} = S_i]]$$

احتمال انتقال از حالت i به حالت j به شکل زیر تعریف میشود .

$$a_{ij} = p[q_t = S_j | q_{t-1} = S_j], \qquad 1 \le i, j \le N$$

مجموع ضرایب انتقال حالات برابر یک میباشند و هریک از ضرایب انتقال حالات بزرگتر از صفر هستند.

$$a_{ij} \ge 0 \quad , \quad \sum_{j=1}^{n} a_{ij} = 1.$$

نمودار ۱- مدل زنجیره مارکوف (رابینر. ار.ال[۵]،۱۹۸۹)

ماتریسی که در آن ضرایب a_{ij} نشان داده می‌شود ماتریس انتقال نام دارد. اگر مطابق مثال بالا یک سیستم با سه حالت داشته باشیم ماتریس انتقال ان شامل سه سطر و سه ستون است که در ان جمع عناصر هر سطر برابر یک می‌باشد. زنجیره بالا تا زمانی که حالت ها و مشاهدات مربوط به هر حالت آن آشکار و معلوم هستند، زنجیره مارکوف قابل مشاهده نامیده می‌شود. برای مثال اگر ما فرض کنیم که در بازار سهام سه حالت وجود داشته باشد. حالت گاو که بیانگر رشد بیشتر از یک درصدی شاخص بازار می‌باشد. حالت خرس که بیانگر کاهش بیشتر از ۱- درصدی شاخص باشد و در آخر حالت سوم که بیانگر تغییرات شاخص در بازه بین ۱ و ۱- می‌باشد. برای مثال اگر امروز در حالت بازار گاوی باشیم چقدر احتمال وجود دارد تا روز بعد بازار در حالت خرس باشد؟ چقدر احتمال وجود دارد تا بازار در حالت گاو بماند؟ تمامی این سوالات به وسیله ماتریس انتقال قابل پاسخ گویی هستند. حال فرض کنید که ما مشاهداتی گسسته (جدا از هم)متشکل از ترکیب حجم معاملات و درصد تغییرات شاخص بازار به صورت [افزاش بیش از ۱ درصد در مقدار قیمت سهام به همراه افزایش بیش از ۵۰ درصد در حجم معاملات، افزایش بیش از یک درصد در قیمت و افزایش کمتر از ۵۰ درصد در حجم معاملات، افزایش بیش از یک درصد در قیمت سهام و کاهش زیر صفر در حجم معاملات، تغیر بین ۱و۱- درصدی در قیمت و افزایش بیش از ۵۰ درصدی در حجم معاملات، تغییر بین ۱ و ۱- درصدی در قیمت سهام و افزایش کمتر از ۵۰ در صد حجم معاملات، تغییر بین ۱و ۱- درصدی در قیمت و کاهش زیر صفر حجم معاملات، کاهش بیش از ۱- درصدی در قیمت و افزایش بیش از ۵۰ درصد در حجم معاملات، کاهش بیش از ۱- در قیمت و افزایش زیر ۵۰ درصدی در قیمت سهام، کاهش بیشتر از ۱- درصدی در قیمت و کاهش زیر صفر حجم معاملات] داشته باشیم و این مشاهدات را با نماد هایی از O1 تا O9 نشان دهیم. به این فرایند گسسته سازی برداری می گویند(لاژوز[۶]،۲۰۱۱). میخواهیم بدانیم که احتما رخ دادن O_i در هریک از سه حالت ممکن سیستم چقدر است؟ در واقع توزیع احتمال مشاهدا در حالت ها چگونه است؟

ماتریس مشاهدا یک ماتریس $M * N$ میباشد که در ان M تعداد مشاهدات ممکن و N حالت های ممکن سیستم میباشد. و بیانگر احتمال مشاهده شدن O در حالت S میباشد.اگر ماتریس مشاهدات را با B نشان دهیم (لاژوز،۲۰۱۱):

$$B=\{b_{ij}|b_{ij}=p(o_t=v_j|q_t=s_i)\}=$$
$$\{b_i(j)\}=p_{s*o}(s_i,o_j)\}$$

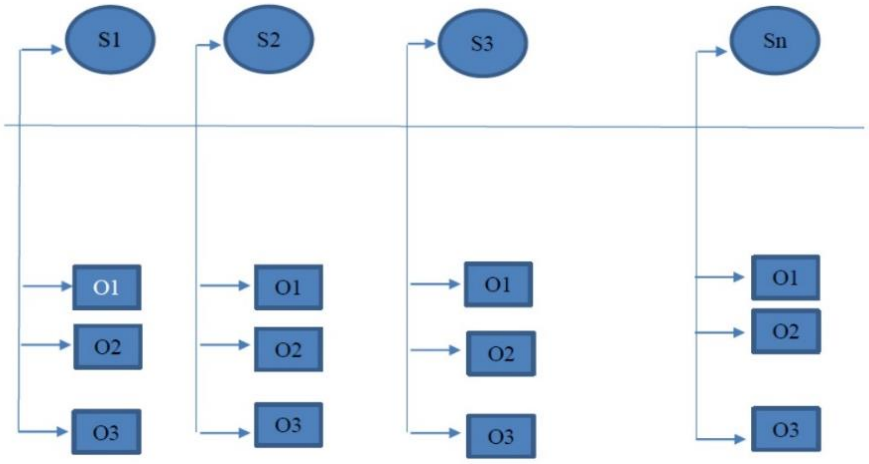
تا به اینجا ما مدل زنجیره مارکوف قابل مشاهده با مشاهدات گسسته را معرفی کردیم.اما در دنیای واقعی این مدل محدودیت های فراوانی دارد.در این قسمت مدل مارکوف را گسترش میدهیم. به صورتی که شامل حالت های غیر قابل مشاهده می‌باشد اما این حالت‌ها فقط از طریق تولید خروجی‌های خود (مشاهدات) قابل شناسایی هستند (رابینر. ار.ال[۷]، ۱۹۸۹).

برای درک بهتر مدل مارکوف پنهان فرض کنید در بازار سهام مشاهدات $O_1, O_2, O_3, \ldots, O_t$ از ترکیب تغییرات قیمت سهام و حجم معاملات موجود باشند. فرض کنید بازار در زمان های متفاوت در حالت های مختلفی به سرمیبرد اما ان حالت ها برای ما قابل مشاهده نمیباشند. در واقع ما نمیدانیم هرکدام از این مشاهدا از تغییرات قیمت سهام و حجم معاملات ان در چه حالتی از بازار در حال وقوع هستند.

یک مدل مارکوف پنهان شامل اجزای زیر است (لاژوز[۸]،۲۰۱۱).

۱) مجموعه ای از حالت های متناهی S
۲) مجموعه ای متناهی از نماد مشاهدات Q
۳) ماتریس انتقال حالات
۴) ماتریس احتمال مشاهدات

تعریف ریاضی رسمی ماررکوف پنهان بر پایه یک ماتریس انتقال حالات و یک ماتریس احتمال مشاهدات که از احتمالات شرطی تشکیل شده یباشد(الیور.سی ،۲۰۰۹).



نمودار ۲- مدل مارکوف پنهان(الیور.سی ،۲۰۰۹)

علاوه بر مدل مارکوف پنهان استاندارد تعـدای از انـواع دیگر ان نیز ارائه و برای مدل سازی استفاده شده است (لاژوز،۲۰۱۱).

- مارکوف پنهان داده-ستاده[۹]
- مارکوف پنهان مرتبه چندم[۱۰]
- مارکوف پنهان با حالت های خاموش[۱۱]
- مارکوف پنهان چپ به راست یا راست به چپ[۱۲]
- مارکوف پنهان زوجی[۱۳]
- مارکوف پنهان اتو رگرسیونی[۱۴]

میتوانیم فرض کنیم که رفتار بازار دو حالتی باشد، حالت اول شوک هیجانی بازار که باعث افزایش حباب گونه قیمت ها میشود و حالت دوم ثبات بازار که در این حالت قیمت ها به صورت معقول افزایش یا کاهش میابند.یا حتی میتوان حالت های پنهان را بسته به روند ده روزه یا سی روزه بازار در نظر گرفت.مانند مثال بازار گاو، خرس و بازار بدون تغییر. به عنوان مثال اگر میانگین قیمت های ده روز گذشته صعودی باشد روند بازار در ده روز گذشته بازار گاوی بوده و ...، تصمیم گیری در مورد حالت های پنهان در مدل مارکوف برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی تغییرات تصادفی قیمت به دانش متخصص بستگی دارد و در بازار های مختلف با توجه به ویژگی‌های مختلف آن بازار متفاوت است. در اکثر تحقیقات خارجی که بازار مورد مطالعه بورس‌های نسبتاً کارا و باثبات بوده، حالت‌های مارکوف پنهان روند بازار با سه حالت (صعودی، نزولی، بدون تغیر) یا با دوحالت (صعودی، نزولی) ویا حالت های بیشتر بوده است. اما در بازار های ناکارا و بی ثبات به نظر میرسد باید حالت های پنهان توسط شوک ها و حالات روحی رفتاری سرمایه گذاران تعریف شوند. مثلا فرض کنید در یک مدل دوحالته حالت اول حالتی است که سرمایه گذاران رفتار هیجانی ناشی از اخبار داشته اند و حالت دوم حالتی است که آنها رفتار منطقی در پیش گرفته اند و شوک خبری در بازار وجود ندارد. به هر حال آنچه در تحلیل مارکوف پنهان با حالات گسسته و قابل انتقال در پیش بینی قیمت سهام مهم است، این موضوع می‌باشد که در واقع

حالات برای ما قابل مشاهده هستند و ما خود با توجه به دانش تخصصی خود نسبت به بازار حالت ها را تعریف میکنیم و با دسته بندی ویا خوشه بندی داده ها به روش های مختلفی که در ادامه توضیح داده میشود حالات خروجی های مشاهده شده گذشته را تعریف میکنیم. در واقع تفاوت کاربرد مدل مارکوف پنهان در پیش بینی قیمت در بازار های سهام با دیگر کار برد های ان مانند شناسایی سیگنال های صوتی در این نکته میباشد.

در پیاده‌سازی و کاربرد های مارکوف پنهان معمولا درگیر سه مسئله اساسی میشویم که در ادبیات موضوع از آنها با عنوآنهای مسئله براورد[۱۵]، دی کده کردن[۱۶] و پرورش[۱۷] یاد میشود. این مسائل بنیادی و جنبه های دیگر مارکوف پنهان به طور گسترده ای در ادبیات موجود مطالعه شده اند. تئوری،کاربرد ها و پیاده سازی مارکوف پنهان مراتب بالاتر نسبتا پیچیده تر هستند و بنابر این به صورت وسیع مورد تحقیق، توسعه و پیاده سازی قرار نگرفته اند.در ادامه، توضیحی بر مسائل موجود در ادبیات مارکوف پنهان اورده میشود (رابینر. ار.ال[۱۸]،۱۹۸۹) :

۱) مسئله براورد یا تخمین: باتوجه به مدل مارکوف پنهان $\lambda=(s,v,a,\pi)$ و توالی مشاهدات $O=O_1,O_2,\dots,O_t$

احتمال اینکه توالی مشاهده شده توسط مدل ایجاد شود چیست؟ یعنی تعیین $P(O|\lambda)$.

۲) مسئله دی کده کردن : باتوجه به مدل مارکوف پنهان $\lambda=(s,v,a,\pi)$ و توالی مشاهدات $O=O_1,O_2,\dots,O_t$ محتمل ترین توالی حالت پنهان $Q=q_1,q_2,\dots q_t$ که میتوانند مشاهدات را تولید کنند چیست؟ یعنی پیدا کردن توالی حالات $Q=q_1,q_2,\dots q_t$ که احتمال مشاهده ای $P(O,Q|\lambda)$ را حداکثر کند. که معمولا با استفاده از الگوریتم وایتربی[۱۹] پاسخ داده میشود.

۳) مسئله پرورش: با توجه به توالی مشاهدات $\{O_1,O_2,\dots,O_n\}$ مدل مارکوف پنهانی $\lambda=(s,v,a,\pi)$ راپیدا کنید که به بهترین نحو توالی مشاهدات را توضیح دهد. که به معنی پیدا کردن مقادیر $\lambda=(s,v,a,\pi)$ که $P(O|\lambda)$ را حداکثر میکند میباشد. به عبارات دیگر این مسئله تخمین پارامتر های مدل مارکوف پنهان با توجه به مجموعه مشاهدات میباشد که معمولا به وسیله الگوریتم بائوم ویچ [۲۰]پاسخ داده میشود.الگوریتم بائوم ویچ نوع خاصی از الگوریتم پیشینه سازی انتظار[۲۱](امید ریاضی) است.

الگوریتم بیشینه سازی انتظار برای پیدا کردن بیشترین احتمال براورد پارامتر های مدل های احتمالی وقتی که مدل به متغیر های غیر قابل مشاهده و پنهان بستگی دارد به کار میرود. الگوریتم بیشینه سازی انتظار بین اجرای مرحله انتظار(امید ریاضی) که انتظار احتمال را براورد میکند، و حداکثر سازی که محتمل ترین براورد[۲۲] پارامتر هارا توسط حداکثر سازی احتمال مورد انتظار[۲۳] که در مرحله امید ریاضی به دست امده بود محاسبه میکند تکرار میشود. پارامتر هایی که در مرحله حداکثر سازی پیداشده بودند برای شروع یک مرحله امید ریاضی دیگر به کار میروند و این فرایند تکرار میشود. دومثال مشهور از الگوریتم بیشینه سازی انتظار، الگوریتم بائوم ویچ (یا پسرو –پیشرو[۲۴]) و الگوریتم درون – بیرون[۲۵] هستند(ریجکا،۲۰۱۱).

پیشینه پژوهش‌ها

در سال۲۰۰۵ میلادی حسن و ناد[۲۶] از مدل مارکوف پنهان برای پیش بینی قیمت سهام در بازار های مرتبط به هم استفاده کرده اند. آنها از سری های زمانی قیمت های اغازین، اخرین قیمت، بیشترین قیمت و کمترین قیمت در هر روز از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۴ برای اموزش مدل استفاده کردند و از داده های سه ماه بعد نیز برای تست مدل استفاده نمودند.سپس آنها داده‌هایی را که درگذشته بیشترین همسایگی

(مطابقت) را با دادهای مورد نظر داشتند را پیدا کرده و با ضرب نمودن ارزش های آنها تغییرات قیمت را محاسبه نمودند تا قیمت پایانی سهم را در روز بعد پیش بینی نمایند. سپس دقت پیش بینی خود را با استفاده از MAPE به دست اورده و نتایج را با دقت پیش بینی به روش شبکه‌های عصبی مصنوعی مقایسه کردند که نتایج پیش بینی بهبود دقت پیش بینی به وسیله HMM را نشان می‌دهد. آنها استدلال داشتند که ضعف اولیه شبکه‌های عصبی عدم توانایی آن در توضیح مدل‌هاست.

در سال ۲۰۰۶ میلادی حسن و ناد مدلی ترکیبی متشکل از مارکوف پنهان، شبکه های عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک برای پیش بینی رفتار بازار های مالی ارائه دادند. آنها از روش شبکه های عصبی برای مرتب سازی و تبدیل قیمت های روزانه سهام به ورودی های مدل مارکوف پنهان استفاده نمودند . سپس الگوریتم ژنتیک را به منظور بهینه سازی پارامتر های اولیه مدل مارکوف پنهان به کار بردند. مدل مارکوف حل شده و نهایی برای شناسایی و کنار هم گذاشتن الگوهای مشابه تاریخی به کار برده شد. اختلاف قیمت روز های مشابه در الگو و قیمت روز اتی محاسبه شد. در نهایت میانگین وزنی این اختلاف قیمت برای پیش بینی قیمت های آتی به دست آورده شد. آنها با این مدل قیمت تعدادی سهم از بخش ای تی را پیش بینی نمودند و نتایج را با مدل های سنتی مقایسه کردند.

در سال ۲۰۰۹ میلادی حسن برای پیش بینی قیمت سهام از ترکیبی از مدل مارکوف پنهان و مدل های فازی استفاده کرد. او با استفاده از مدل مارکوف پنهان الگوی سریهای زمانی را شناسایی کرد و سپس با استفاده از قوانین فازی برای به دست اوردن مقدار پیش بینی تلاش کرد. نتایج حاصل از کار او بهبود دقت پیش بینی با استفاده از این مدل را در مقایسه با سایر مدل ها از قبیل ARIMA ,ANN تایید کرد.

در سال ۲۰۱۱ میلادی جارسلاو لاژوز[۲۷] در رساله دکتری خویش اقدام به ایجاد استراتژی‌های سرمایه گذاری بر پایه مدل مارکوف پنهان نمود.او همچنین یک الگوریتم با ۱۰ گام برای بدست آوردن پارامترهای مارکوف پنهان و پیش بینی قیمت سهام طراحی نمود. از مدل مارکوف پنهان برای پیش‌بینی رفتار شاخص S&P 500 و اتخاذ و ایجاد استراتژی‌های مناسب سرمایه گذاری استفاده نمود. در نتیجه گیری ها بیان شد که مدل مارکوف پنهان موفق بوده و در مقایسه با رگرسیون های میانگین متحرک بسیار بهتر ظاهر شده است.

در سال ۲۰۱۲ میلادی بهوان و گوپتا از روش MAP HMM[۲۸]برای پیش بینی ارزش سهام با توجه به داده های تاریخی استفاده کردند. آنها برای اموزش HMM پیوسته خود از تغییرات کسری ارزش سهام بیشترین قیمت و کمترین قیمت درون یک روز استفاده کردند. سپس آنها از این مدل برای تصمیم‌گیری ماکزیمم ای پوستریوری[۲۹]برای تمام مقدار های ممکن برای روز آینده استفاده کردند. رهیافت خود را بر روی سهم های مختلف تست کردند و نتایج عملکرد آن را با تعدادی از روش های موجود که از HMM و ANN استفاده کرده بودند مقایسه کردند. مقایسه دقت پیش بینی AMP HMM با روش های دیگرنشان از بهبود دقت پیش بینی با استفاده از این روش بود.

در سال ۲۰۱۴ میلادی اسداله الغلیب[۳۰]و همکاران تحقیقی مشابه تحقیق حسن و ناد که در سال ۲۰۰۵ انجام شده بود را در بازار هند انجام دادند و دقت پیش بینی مدل مارکوف پنهان را با دقت پیش‌بینی الگوریتم نزدیک ترین همسایه مقایسه کردند.آنها در نتیجه گیری خود بیان کردند که HMM نسبت به نزدیک ترین همسایه بسیار حرفه ای تر عمل میکند.

در سال ۱۳۹۱ شمسی مقصود امیری به همراه مهدی بیگلری کامی یک مدل خطی برای پیش بینی قیمت اتی سهام با استفاده از زنجیره مارکوف طراحی نمودند. آنها با ترکیب متغیر های حجم معاملات و در

صد تغییرات قیمت ۹ وضعیت را تعریف کردند و برای هریک از این متغیر ها سه سطح مثبت و منفی و خنثی تعریف نمودند. ایشان مدل پیش نهادی خود را با استفاده از شاخص داوجونز مورد ازمایش قرار دادند.

۳- روش‌شناسی پژوهش

در بخش‌های پیشین جنبه‌های تئوری مدل مارکوف پنهان بیان شد. هدف اصلی این پژوهش پیاده سازی تئوری‌های موجود برای رسیدن به پیش‌بینی درصد تغییرات مقدار شاخص بی ای ال ۲۰ در یک روز اینده است. بی ای ال ۲۰ شاخص قیمتی میباشد که متشکل از قیمت های سهام ۲۰ شرکت است که بیشترین سرمایه را در بورس بروکسل دارند. جامعه آماری این تحقیق تمامی مقادیر شاخص بی ای ال ۲۰ به همراه حجم معاملات ان به صورت روزانه میباشد. سری های زمانی مقدار شاخص و حجم معاملات ان در بازه زمانی ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۲/۳۰ نمونه پژوهش را تشکیل می‌دهند. از داده‌های ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ برای پرورش مدل و از داده‌های ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ تا ۲۰۱۵/۱۲/۳۰ برای تست مدل و به دست آوردن دقت پیش بینی استفاده کرده‌ایم. داده ها از پایگاه اینترنتی www.investing.com استخراج شده اند. برای پیاده سازی مدل مارکوف پنهان گام های زیر برداشته میشود:

۱) تبدیل مشاهدات پیوسته قیمت و حجم معاملات روزانه به مشاهدات گسسته با فراید کمی سازی برداری.
۲) انتخاب تعداد حالت های پنهان مدل .
۳) تخمین اولیه ماتریس انتقال حالات مدل.
۴) تخمین اولیه ماتریس مشاهدات مدل.
۵) محاسبه براورد بیشترین احتمال ماتریس انتقال و ماتریس مشاهدات.
۶) محاسبه توالی حالات احتمالی مشاهدات(P).
۷) پیش بینی مقدار شاخص در اینده با استفاده از .

$$HMM\ forecast = dotproduct\ (A_i P_t\ E(state - returns))$$

که A بیانگر ماتریس انتقال و P[۳۱] احتمالات شرطی قرار داشتن مشاهده در هر حالت و E تغییرات مورد انتظار قیمت در هر حالت هستند.

گسسته سازی ورودی ها میتواند بر اساس سری های زمانی یک متغیر واحد مانند قیمت باشد. البته گسسته سازی حرفه ای که برای مسائل واقعی کار برد داشته باشد میتواند شامل دو یا چند متغیر مربوط به هم مانند قیمت، حجم معاملات، مقدار شاخص صنعت مربوطه، قیمت سهام مرطبت با سهام مورد بررسی و مقدار شاخص کل بورس باشد (ریجکا،۲۰۱۱). ترکیب درصد روزانه تغییرات شاخص و حجم معاملات مشاهدات ما را تشکیل می‌دهند و برای گسسته سازی این مشاهدات از جدول زیر استفاده می‌کنیم.

ما برای مدل مارکوف پنهان ۳ حالت در نظر می‌گیریم. هرچه حالت های مدل بیشتر باشند دقت بیشبینی افزایش میابد اما فرایند محاسبات پیچیده تر میشود، تا جایی که دیگر با افزایش حالت ها بهبود معنی داری در مدل ایجاد نمی‌شود(لاژوز،۲۰۱۱). گام بعدی برای اجرای مدل مارکوف پنهان انتخاب یک راه موثر برای تخمین اولیه ماتریس انتقال و مشاهدات است. این انتخاب در فرآیند پرورش مدل مارکوف پنهان بسیار حیاتی می‌باشد. معمولاً مساله پرورش مدل مارکوف پنهان به کمک الگوریتم بائوم ویچ حل می‌شود که برآورد بیشینه احتمال[۳۲] را محاسبه می‌کند. بائوم ویچ ماتریس‌های انتقال حالات و مشاهدات اولیه را به صورتی که احتمال تطبیق آنها با توالی مشاهدات حداکثر شود تعدیل می‌کند. یعنی حداکثر کردن $P(O|\lambda)$ و این حقیقت که تخمین بائوم ویچ فقط دریک نقطه حداکثر محلی[۳۳] تلاقی[۳۴] می‌شود می‌شود شناخته شده است (الیور.سی،۲۰۰۹). در بیشتر مسائل دنیای واقعی سطح بهینه سازی $P(O|\lambda)$ بسیار پیچیده است و تعداد زیادی نقطه حداکثر محلی وجود دارد. بعلاوه راه حلی برای پیدا کردن نقطه حداکثر کلی [۳۵]وجود ندارد.

جدول ۱- نقشه تبدیل مشاهدات و ایجاد ورودی های مدل مارکوف پنهان(لاژوز،۲۰۱۱)

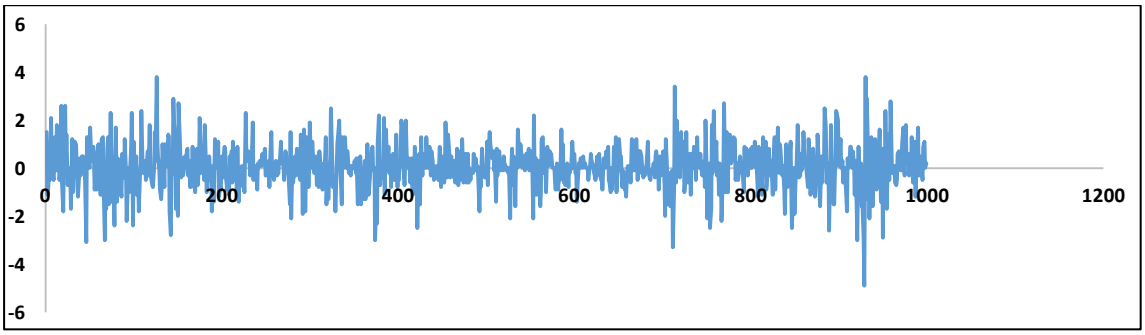
درصد تغییرات حجم معاملات	درصد تغییرات شاخص	O	درصد تغییرات حجم معاملات	درصد تغییرات شاخص	O
>۵۰	۰=< <-۰,۵	۱۷	>۵۰	۲>	۱
۵۰=< < ۰	۰=< <-۰,۵	۱۸	۵۰=< < ۰	۲>	۲
۰=< <-۵۰	۰=< <-۰,۵	۱۹	۰=< <-۵۰	۲>	۳
>=-۵۰	۰=< <-۰,۵	۲۰	>=-۵۰	۲>	۴
>۵۰	-۰,۵=< < -۱	۲۱	>۵۰	۲=< < ۱	۵
۵۰=< < ۰	-۰,۵=< < -۱	۲۲	۵۰=< < ۰	۲=< < ۱	۶
۰=< <-۵۰	-۰,۵=< < -۱	۲۳	۰=< <-۵۰	۲=< < ۱	۷
>=-۵۰	-۰,۵=< < -۱	۲۴	>=-۵۰	۲=< < ۱	۸
>۵۰	-۱=< <-۲	۲۵	>۵۰	۱=< < ۰,۵	۹
۵۰=< < ۰	-۱=< <-۲	۲۶	۵۰=< < ۰	۱=< < ۰,۵	۱۰
۰=< <-۵۰	-۱=< <-۲	۲۷	۰=< <-۵۰	۱=< < ۰,۵	۱۱
>=-۵۰	-۱=< <-۲	۲۸	>=-۵۰	۱=< < ۰,۵	۱۲
>۵۰	-۲=<	۲۹	>۵۰	۰,۵=< < ۰	۱۳
۵۰=< < ۰	-۲=<	۳۰	۵۰=< < ۰	۰,۵=< < ۰	۱۴
۰=< <-۵۰	-۲=<	۳۱	۰=< <-۵۰	۰,۵=< < ۰	۱۵
>=-۵۰	-۲=<	۳۲	>=-۵۰	۰,۵=< < ۰	۱۶

بنابراین ما نیاز به روشی داریم که به وسیله آن ماتریس انتقال و ماتریس مشاهدات را به صورت اولیه تعیین کنیم تا الگوریتم بائوم ویچ بتواند پاسخی را بیابد که ارائه دهنده نقطه ماکزیمم کلی باشد و یا به صورت زیادی به ان نزدیک باشد(رابینر. ار.ال،۱۹۸۹). این مسئله میتواند مسئله کاوش از نوع هوش مصنوعی باشد(الین ریچ،کوین کینگ۱۹۹۱). تکنیک‌های زیادی از جمله خوشه‌بندی کا میانگین[۳۶]، شبیه‌سازی احتمالی مونت کارلو یا دیگر روش های خوشه بندی می‌توانند برای پیدا کردن پارامترهای اولیه مدل مارکوف پنهان به کار گرفته شوند. روش دیگری که معمولاً بر تکنیک‌های هوش مصنوعی ترجیح داده می‌شود استفاده از نظر کارشناسان مالی برای پیدا کردن ماتریس انتقال حالات و مشاهدات اولیه میباشد. مثلاً از نظر کار شناسان، بازار های باثبات با حالت‌هایی شناخته می‌شوند که در طی زمان احتمال انتقال بین آنها کم می‌باشد. یعنی اگر اکنون درحالت یک باشیم احتمال انتقال به حالت دو بسیار کم است و احتمال باقی ماندن در حالت یک زیاد است(بازار سهام باثبات) (لاژوز،۲۰۱۱). شاید بهترین راه حل ترکیب نظر کارشناسان با روش های هوش مصنوعی باشد. به هر حال ما در این پژوهش از روش خوشه بندی کامیانگین برای رسیدن به حدس اولیه ماتریس های انتقال حالات و مشاهدات کمک میگیریم و بعد از پرورش دادن مدل توسط الگوریتم بائوم ویچ و براورد بیشینه احتمال پارامتر های مدل ادامه مراحل چهار گانه را که در بالا ذرکر شد طی میکنیم تا به پیش بینی شاخص بی ای ال۲۰ در روز اینده برسیم. سپس با استفاده از داده های ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ تا ۲۰۱۵/۱۲/۳۰ دقت پیش بینی را توسط معیار متوسط مطلق درصد خطاها[۳۷]محاسبه میکنیم. متوسط مطلق درصد خطاها در امار یکی از روش های به دست اوردن درصد خطای پیش بینی است. و شیوه محاسبه ان به صورت فرمول مقابل است. $M=1/n \sum (At-Ft/At)$

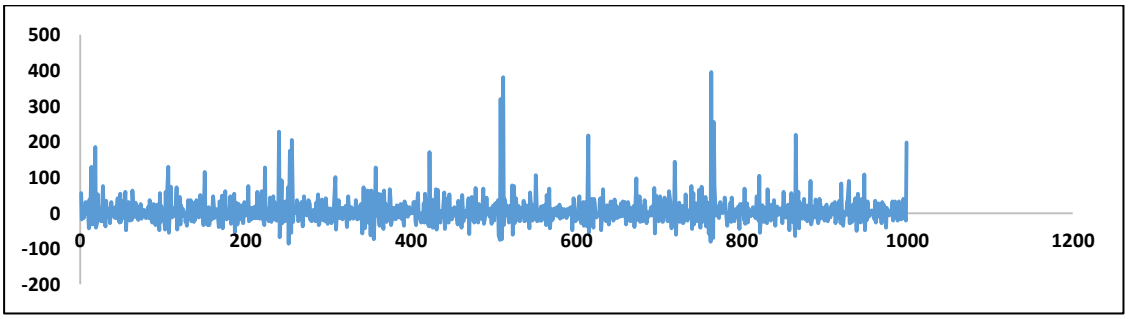
که n تعدا پیش بینی ها میباشد و At مقدار واقعی متغیر و Ft مقدار پیش بینی شده متغیر میباشد. اگر فرمول بالا را در صد ضرب کنیم در صد خطا را به دست می اوریم(تافلایس[۳۸]،۲۰۱۵).

۴- نتایج پژوهش

ما مدل مارکوف پنهان را به کمک توابع نرم افزار متلب پیاده سازی کردیم.داده های پژوهش به دوقسمت تقسیم میشوند.قسمت اول داده هایی که برای پرورش مدل استفاده شده اند شامل درصد تغییرات روزانه شاخص و درصد تغییرات حجم معاملات روزانه شاخص از تاریخ ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ و قسمت دوم داده هایی که برای به دست اوردن دقت پیش بینی مدل استفاده شده اند شامل مقادیر روزانه شاخص از تاریخ ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ تا ۲۰۱۵/۱۲/۳۰. داده های قسمت اول که شامل هزار مشاهده می‌شد را به روش کمی سازی برداری گسسته سازی کردیم.



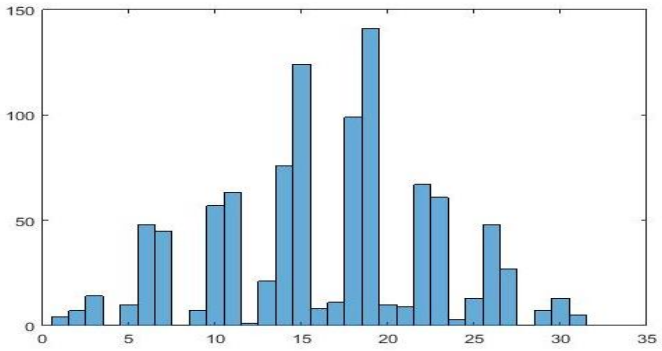
نمودار ۳- درصد تغییرات روزانه مقدار شاخص قیمتی بی ای ال۲۰ از تاریخ ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ شامل هزار مشاهده



نمودار ۴- درصد تغییرات روزانه حجم معاملات شاخص قیمتی بی ای ال۲۰ از تاریخ ۲۰۱۲/۱/۱ تا ۲۰۱۵/۱۱/۳۰ شامل هزار مشاهده

جدول ۲- ماتریس انتقال حالات

1	0.26361	0.186082	0.550308
2	0.230301	0.151584	0.618114
3	0.285386	0.106596	0.608018



نمودار ۵- فراوانی مشاهدات گسسته

جدول ۳- مقایسه نتایج مقدار پیش بینی شده شاخص با مقدار واقعی شاخص به روش مارکوف پنهان

تاریخ	مقدار واقعی	مقدار پیش بینی
30.15.DEC	3734.02	3750.122
29.15.DEC	3753.05	3690.671
28.15.DEC	3688.4	3693.984
24.15.DEC	3691.71	3686.632
23.15.DEC	3689.51	3616.23
22.15.DEC	3614.72	3615.585
21.15.DEC	3614.23	3651.017
18.15.DEC	3648.77	3673.222
17.15.DEC	3676.09	3612.63
16.15.DEC	3615.45	3579.386
15.15.DEC	3582.18	3490.452
14.15.DEC	3492.9	3536.06
11.15.DEC	3538.54	3580.183
10.15.DEC	3577.98	3586.546
09.15.DEC	3585.39	3614.445
08.15.DEC	3616.98	3664.259
07.15.DEC	3667.12	3643.522
04.15.DEC	3641.28	3645.153
03.15.DEC	3647.71	3735.239
02.15.DEC	3732.94	3746.406
01.15.DEC	3744.1	3763.206

متوسط در صد خطای مطلق پیش بینی عدد ۰,۰۳۴۶۳- میباشد.

۵- نتیجه گیری و بحث

مدل مارکوف پنهان یک روش انعطاف پذیر است. دارای تعمیم پذیری بسیار بالا برای مدل نمودن سیستم های پویا که میتوانند در سری های زمانی یک متغیره یا چند متغیره مشاهده شوند، حتی اگر حالت سیستم مورد بررسی خود قابل مشاهده نباشد.

در حالی که این مدل در زمینه های علمی زیادی از جمله شناسایی الگو ها توسط رایانه، رمز یابی، مالی، بیواینفورماتیک، بیو فیزیک و غیره کاربرد دارد، می‌توان موفقیت این مدل را به تئوری‌های پربار و غنی در عین حال پیچیده ریاضیات که پایه و اساس این روش را تشکیل می‌دهند نسبت داد.

در این پژوهش از مدل مارکوف پنهان به همراه الگوریتم کا میانگین برای پیش بینی یکی از مهم‌ترین مجهولات بازار سهام یعنی قیمت روز بعد استفاده کردیم. هدف ما از ارائه این مدل در دسترس قرار دادن

این روش برای موفقیت سرمایه گذاران در بازار سهام است. در بازار سهام مدل مارکوف پنهان نواقص و ضعف های مدل‌های دیگر پیش‌بینی سری‌های زمانی را دارا نبوده و از پایه های قوی اماری برخوردار است. همان‌طور که مشاهده می‌شود رقم متوسط درصد خطاهای مطلق مقدار بسیار ناچیزی است اما می‌توان با به کار بردن تکنیک های خاصی دقت پیش بینی مدل مارکوف پنهان را از این نیز بیشتر بهبود داد. مثلاً می‌توان در مرحله پیش‌بینی متوسط تغییرات در هر حالت را از مطالعه رفتار پیشین و تطبیق دادن دوره نزدیک به پیش‌بینی با دوره‌ای که رفتار سری‌های زمانی بیشترین شباهت را با آن دارد به دست آورد. کاری که حسن و ناد در پژوهش خود برای افزایش دقت پیش‌بینی قیمت سهام به وسیله مدل مارکوف پنهان انحام دادند. ورودی‌های مارکوف پنهان همچنین می‌توانند به جای داده های گسسته داده های پیوسته باشند و میتوان از متغیرهای دیگر از جمله تغییرات شاخص کل و یا تغییرات شاخص صنعت و سهام های مرتبط به سهام مورد پیش‌بینی به جای صرف حجم معاملات و درصد تغییرات قیمت استفاده نمود.

فهرست منابع

* تهرانی، رضا، نوربخش،عسگر،(۱۳۸۸)"مدیریت سرمایه گذاری"نشر نگاه دانش،ص۶۹،۴۷۹، ۴۸۰
* راعی، رضا، تلنگی، احمد،(۱۳۸۳) "مدیریت سرمایه گذاری پیشرفته" انتشارات سمت، ص۶۷، ۶۹،۷۰
* Al Galib, A., Alam, M. and Rahman, R.M. (2014) 'Prediction of stock price based on hidden Markov model and nearest neighbour algorithm', Int. J. Information and Decision Sciences, Vol. 6, No. 3, pp.262–292.
* Elaine Rich and Kevin Knight, (1991)"Artificial Intelligence", 2nd edition, McGraw-Hill, Inc., 1991.
* JAROSLAV LAJOS,(2015)" COMPUTER MODELING USING HIDDEN MARKOV MODEL APPROACH APPLIED TO THE FINANCIAL MARKETS" Doctoraldissertation, Oklahoma State University,United states of America
* Md. Rafiul Hassan and Baikunth Nath,(2005)," stock market forecasting using hidden markov model: a new approach ", Proceedings of the 2005 5th International Conference on Intelligent Systems Design and Applications (ISDA'05)
* Rabiner R L, (1989), A Tutorial on Hidden Markov Models and Selected Applications in Speech Recognition, Proceedings of the IEEE, Vol. 77(2), pp 257-286.
* Oliver C. Ibe,(2009) "Markov Processes for Stochastic Modeling", Elsevier Academic Press Inc, 2009.
* Rijeka ,Przemyslaw Dymarski,(2011)," Hidden Markov Models, Theory and Applications" Publisher: InTech, Chapters published April 19, 2011 under CC BY-NC-SA 3.0 license
* Tofallis (2015). "A Better Measure of Relative Prediction Accuracy for Model Selection and Model Estimation", Journal of the Operational Research Society, 66(8),1352-1362.
* Zhang, Y. (2004)," Prediction of Financial Time Series with Hidden Markov Models", Doctoraldissertation, Simon Fraser University, British Columbia, Canada

یادداشت‌ها

[1]. Hassan and Nath
[2]. Romahi and Shen
[3]. Al Galib
[4]. Rabiner R L
[5]. Rabiner R L
[6]. LAJOS
[7]. Rabiner R L
[8]. LAJOS
[9]. Input-output HMM
[10]. Nth order HMM
[11]. Silent HMM
[12]. Left to right or right to left HMM
[13]. Coupled HMM
[14]. Autoregressive HMM
[15]. Evaluation
[16]. Decoding
[17]. Learning
[18]. Rabiner R L
[19]. viterbi
[20]. Baum-welch
[21]. Expectation maximization(EM)
[22]. Maximum likelihood estimates
[23]. Expected likelihood

[24]. Forward-backward
[25]. Inside-outside
[26]. Hassan and Nath
[27]. JAROSLAV LAJOS
[28]. Maximum a Posteriori Hidden Markov Model
[29]. Maximum a Posteriori
[30]. Asadullah Al Galib
[31]. Posterior state probability
[32]. Maximum likelihood estimate
[33]. Local maximum
[34]. convergens
[35]. Global maximum
[36]. K-means clustering
[37]. Mean absolute percentage error(MAPE)
[38]. Tofallis