فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
دوره ۱۶ / شماره ٤ (پیاپی ٦٤) / زمستان ۱٤۰۶
صفحه ٤۳۳ تا ٤٥٥

الگوسازی شاخص کل سهام با استفاده از الگوی براونی حرکت قطره و مقایسه آن با روش های ماشین یادگیری آنلاین

روزبه زارع زاده
گروه حسابداری، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران
ro.zarezadeh@iau.ac.ir
آرتین بیطاری
گروه حسابداری، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
Beytari@iau.ac.ir
محمد رضا قربانیان
گروه مدیریت، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
mohighorbanian@iau.ac.ir
حسین بدیعی
گروه حسابداری، دانشکده اقتصاد و حسابداری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
Badiei@iau.ac.ir
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۶

چکیده
روش های مختلفی برای مقایسه قدرت توضیح دهندگی و آزمون اعتبار الگو های پیشبینی کننده تلاطم شاخص قیمت سهام به روش های حل عددی با روش های هم تراز خود در ادبیات مالی-رفتاری وجود دارد. همچین مزایای این مقایسه ی الگوها، برای تحلیل تلاطم شاخص به روش های مختلف می تواند منجر به بهبود معاملات پرسود برای سرمایه گذاران شود. بر این اساس هدف این پژوهش تحلیل و مقایسه قدرت توضیح دهندگی بین روش حل عددی با رویکرد ماشین آنلاین قرار گرفت. در این راستا روش جدید ژئومتریکی حرکت قطره و حل الگو با به کارگیری الگوریتم ابتکاری فوکر-پلانگ و روش ماشین یادگیری آنلاین مورد مقایسه قرار گرفت. جامعه آماری پژوهش شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران؛ و نمونه آماری مقادیر ماهانه شاخص از سال ۱۳۹۱ تا انتهای سال ۱۴۰۱ قرارگرفت. نتایج روندزدایی و گزارش قدرت توضیح دهندگی الگوها بیان داشت؛ قدرت توضیح دهندگی الگوی ژئومتریک حرکت قطره از الگوی ماشین یادگیری بیشتر است که بیانگر اعتبار بیشتر تحلیل روند حرکت شاخص طبق این الگو نسبت به الگو ماشین یادگیری آنلاین است.
واژه‌های کلیدی: الگوی ژئومتریک حرکت قطره، الگوی ماشین یادگیری انلاین، تلاطم شاخص قیمت سهام

۱- مقدمه

مسائل مرتبط با پیشبینی همواره از اهمیت زیادی برای فعالین اقتصادی، سرمایه گذاران و سیاستگذاران کلان اقتصادی کشورها برخوردار است. همچنین مدلهایی که برای شبیه سازی و پیشبینی متغیرهای مختلف اقتصادی مورد استفاده قرار می گیرند نیز از اهمیت فراوانی برخوردار هستند، به گونه ای که استفاده از مدل‌های مختلف می تواند منجر به پیشبینی هایی با صحت متفاوت گردند(دهشی[1] و همکاران،۲۰۲۲). یکی از متغیرهای اقتصادی که در کشور ما اهمیت فراوانی دارد، نرخ ارز می باشد که این عامل می تواند بیان کننده شرایط داخلی اقتصادی کشورها بوده و در نتیجه تغییرات قیمت آن می تواند حاوی پیام های مهمی برای سرمایه گذاران و سیاستگذاران اقتصادی کشور باشد. از سوی دیگر یکی از دارایی هایی که در شرایط مختلف اقتصادی مورد توجه سرمایه گذاران قرار می گیرد. از طرفی محققان برای بررسی حرکت شاخص قیمت سهام و نوسانات آن قواعدی را مدنظر قرار داده و به پیشبینی بازه حرکت و نوسانات در طی نیم قرن گذشته پرداخته اند. در علم آمار استنباطی انواع مدل های الگوی یادگیری از جمله الگوریتم آنلاین جهت بررسی و پیش بینی این نوسانات بسط یافته و مطالعات بسیاری به آن پرداخته اند. اما مسئله مهم در به کارگیری تکنیک های الگوریتم یادگیری احراز شرایطی مثل استفاده از داده های دارای شرایط نرمال برای تکنیک های یادگیری آنلاین حائز اهمیت است (اسکرینگ[2] و همکاران؛۲۰۲۲).

بنابراین هدف این رساله پرداختن به تکنیک های جدید ارزیابی حرکت شاخص قیمت سهام و مقایسه ی قدرت توضیح دهندگی آن با مدل های یادگیری ماشین منتخب مثل الگوریتم آنلاین است .چنین تحلیل هایی پیچیده بوده و بهره گیری از تخصص های دیگر را برای یافتن راه حل ها می طلبد که منجر به ادبیات جدید و بین رشته ای بسیاری شده است .الگوی حرکت ژئومتریکی قطره ثابت کرده است که یک ابزار پیش بینی بسیار مفید در امور مالی است. با این حال، این ابزار در صورت بروز بحران مالی در بازارهای مالی همانند الگوهای آمار استنباطی نیاز به بروزسازی اطلاعاتی داشته و تنها رقیبی قدرتمند برای مدل های آماری است و با توجه به درهم تنیده بودن قیمت با طیفی گسترده از علل مختلف پیشبینی قطعی صادر نمی کند. البته یک راه حل در زمینه رسیدن به پیشبینی دقیق تر می تواند به این صورت مطرح شود که اگر احتمال وقوع بحران و بازده مورد انتظار را بدانیم، ریسک سرمایه گذاران (نوسانات بازده) در بحران و ضرایب رانش و انتشار را می توان با معادله دیفرانسیل بازنویسی کرد(برتین[3] و همکاران، ۲۰۲۲). معمولا تحلیل سیستم های دینامیکی به روش یادگیری ماشین دارای شرط خاص توزیع داده های مورد آموزش ماشین است .بنابراین ادعای پژوهش حاضر در این است که به جای اعمال محدودیت های توزیع داده و داشتن متغیر تصادفی شاید بهتر باشد فرض محدودکننده متغیر تصادفی مثل شاخص قیمت سهام را درنظر نگرفت و به جای استفاده از حافظه یادگیری ماشین از روش های حل دستگاه معادلات و معادله ی حرکت به روش های عددی تحلیل متغیر تصادفی را انجام داد.

امروزه با استفاده از نرم افزار های مخصوص حل معادلات مشتقه عددی نحوه تحلیل سیگنال سری هایی مثل قیمت سهام را به راحتی می توان انجام داد که قبل از نوشتار نرم افزار هایی مثل متلب این رویکرد از تحلیل از لحاظ

[1] Desi
[2] Škrinjari
[3] Brătian

دقت در تعیین مسیر سری زمانی امکان پذیر نبود .و اکثر پژوهش ها به انواع روش های آماری بی رقیب بود .اما ادبیات جدید از ابتدای نوشتارهای نرم افزاری قوی مثل متلب این امکان را فراهم آورد که پژوهش های جدید مثل بنیس[1] و همکاران(۲۰۲۲) و آریس[2] و همکاران(۲۰۲۰) این مهم را انجام دهند .البته در همین چندسال اخیر پژوهش های بسیاری با هدف استفاده از الگوریتم های عددی به جای برآورد های گشتاوری انجام شده که به برخی از آنها اشاره شده است. به طور مثال منظور از به کارگیری تکنیک های جدید ارزیابی روش های حل عددی توابع توزیع احتمال غیر نرمال است که اکثر در روش های یادگیری ماشین الزام به حفظ شرایط کلاسیک در توزیع داده ها است .اخیرا محققان دریافته اند که ارزش اطلاعات داده ای با در نظر نگرفتن فروض محدود کننده شاید بیش از انتقال اطلاعات داده ای به فضای نرمال و قابل یادگیری برای الگوریتم های آموزش برخط و غیر برخط به روش های رگرسیونی؛ ارزشمندتر است(بنیس و همکاران؛ ۲۰۲۲).همین فرضیه سبب شد تا این پژوهش به دنبال پاسخ به این سوال باشد که استفاده از الگوریتم های جدید ارزیابی عددی مثل مدل ژئومتریک حرکت قطرات برای بورس اوراق بهادار تهران نسبت به روش های یادگیری ماشین بهتر است یا خیر.

در این پژوهش روش های ارزیابی عددی که برگرفته از حل معادلات مشتقات جزیی است؛ برای تجزیه و تحلیل حرکت شاخص قیمت سهام و نرخ ارز انتخاب شده است. رویکرد نوآورانه دیگری توسط پاتیل و همکاران. از نظریه گراف برای مدلسازی بازار سهام به عنوان یک شبکه پیچیده استفاده کرد. مدل‌های ترکیبی آن‌ها، که اطلاعات ساختاری مبتنی بر نمودار را با تکنیک‌های یادگیری عمیق و یادگیری ماشین سنتی ترکیب می‌کردند، با اعمال نفوذ روابط مکانی-زمانی بین سهام، از مدل‌های استاندارد بهتر عمل کردند.

با وجود این پیشرفت ها، شکاف قابل توجهی در تحقیقات فعلی وجود دارد. تجزیه و تحلیل مقایسه ای یادگیری ماشین برداری برای پیش بینی قیمت سهام کافی نیست. مطالعات موجود اغلب فاقد ویژگی بررسی تلاطم لازم هستند، و در نتیجه زمانی که مدل‌های آموزش‌دیده بر روی داده‌های عمومی بازار سهام برای صنایع یا شرکت‌های خاص اعمال می‌شوند، پیش‌بینی‌های رضایت‌بخشی ایجاد نمی‌شود. هدف این مطالعه رفع این شکاف با تمرکز بر صنعت فناوری و استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین برداریبرای افزایش دقت پیش‌بینی تلاطم سهام است. با مقایسه این مدل‌ها، هدف ما تعیین روش مؤثرتر برای پیش‌بینی قیمت سهام بخش فناوری است که در نهایت به سرمایه‌گذاران در تصمیم‌گیری مبتنی بر داده کمک می‌کند.

در بخش دوم به مبانی نظری و پیشینه خواهیم پرداخت. در بخش سوم روش شناسی مطرح شده است. بخش چهارم شامل گزارش یافته های تجزیه و تحلیل داده ها است. در بخش پایانی هم یافته ها تفسیر و نتیجه گیری شده است.

[1] Bentis
[2] Arias

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری

به دلیل دیجیتالی شدن معاملات در بازارهای مالی و سهام جهانی، تحلیل داده های قیمت و معاملات سهام و ارز وارد فضای فناوری شده است. تکنیک یادگیری ماشین در پیش بینی قیمت سهام برای کشف الگوها در داده ها به طور گسترده استفاده می شود. معمولاً حجم عظیمی از داده های ناهمگن ساختاریافته و بدون ساختار از بازارهای سهام تولید می شود(روف و همکاران[1]،۲۰۲۱). با استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین، می توان به سرعت داده های ناهمگن پیچیده تر را تجزیه و تحلیل کرد و نتایج دقیق تری از روش های رگرسیونی تولید کرد. رویکردهای یادگیری ماشین عمدتاً به رویکردهای نظارت شده و بدون نظارت طبقه بندی می شوند. در رویکرد یادگیری نظارت شده، داده های ورودی با نام و خروجی مورد نظر به الگوریتم های یادگیری داده می شود(مارشاد[2] و همکاران، ۲۰۲۰). در همین حال، در رویکرد یادگیری بدون نظارت، داده‌های ورودی بدون برچسب در اختیار الگوریتم یادگیری قرار می‌گیرد و الگوریتم الگوها را شناسایی کرده و بر اساس آن خروجی تولید می‌کند(مارشاد و همکاران،۲۰۲۰). علاوه بر این، رویکردهای الگوریتمی مختلفی در تحلیل داده های یادگیری ماشینی استفاده شده است، مانند ماشین بردار پشتیبان، نزدیکترین همسایه ، شبکه‌های عصبی مصنوعی، درختان تصمیم، سری‌های زمانی فازی و الگوریتم‌های تکاملی(روف و همکاران، ۲۰۲۱). تکنیک های یادگیری برداری آنلاین یک تکنیک یادگیری ماشینی نظارت شده است که خطا را محدود می کند و حاشیه های هندسی را افزایش می دهد و یک الگوریتم طبقه بندی الگو است .به دلیل این که الگوی یادگیری ماشین در روش های حل دارای محدودیت است؛ محققان دیگری بر روش های الگوریتم عددی با استفاده از انالیز ریاضی به جای بررسی لایه های عصبی مبتنی بر یادگیری تاکید کردند(روف ، ۲۰۲۲). یکی دیگر از روش های حل عددی بهینه یابی حرکت شاخص قیمت سهام ، الگوریتم فوکر-پلانگ [3]معرفی شد(*بنیس* ، ۲۰۲۲). این روش بیان داشت که می توان فروض الگو کسری از حرکت[4] را با استفاده از الگوی ژئومتریک حرکت قطرات[5] بسط داد. این روش بیان می دارد که تحلیل سیگنال های جمله قطره با فرض گرفتن مقادیر مثبت و منفی می تواند نوسانات شاخص را توضیح دهد.

در دهه ۱۹۵۰ مدل حرکت بروانی توسط کولموگرف[6]تبیین گردید(*بنیس* ، ۲۰۲۰). بعد ها مطالعاتی همچون چان و همکاران[7](۲۰۱۶) روش شالز[8]را برای حل الگوهای دیفرانسیل براونی کسری[9] در تحلیل قیمت سهام مورد

[1] Rouf
[2] Murshed
[3] Fokker و Planck
[4] Fractional Brownian Motion
[5] GBM
[6] Kolmogorov
[7] Chen w., Yan B. and Zhang Y.
[8] Block-Scholes
[9] Fractional Brownian Motion

استفاده قرار دادند. الگوی شالز-بلاک طبق تعریف بلاک[1] و شالز[2] به صورت معادله (۱) به عنوان یک راه حل الگوریتم معادلات دیفرانسیلی برای الگوی ژئومتریک حرکت قطره مطرح شد:

$$dVt = \mu\, Vtdt + \sigma Vtdz(t) \qquad (۱)$$

به طوری که $z(t)$ جمله جبری روند بلند مدت معادله حرکت و μ جمله قطره و σ ضریب ثابت عددی الگوی اولیه است. اما چون که این الگو برای داده های سری های زمانی در روش الگوریتم عددی دارای محدودیت بود؛ برخی چون موگینی و همکاران(۲۰۱۹)[3] بیان داشتند که یکی دیگر از راه های بهینه یابی حرکت سری زمانی می تواند الگوی ژئومتریک حرکت قطره باشد که توسط فوکر- پلانگ[4] معرفی شد.(رائو، ۲۰۱۶). این الگوریتم بیان داشت که فروض مدل براونی کسری حرک می تواند به صورت الگوهای نوین براونی حرکت قطره تعمیم یابد. فوکر و پلانگ(۲۰۰۵) بیان می دارند که تحلیل موجی جمله ی حرکت قطره با اختیارکردن مقادیرعددی هم مثبت وهم منفی قابلیت بررسی نوسانات فرکانسی نوسانات شاخص ها را دارد. بنیس (۲۰۲۲) بیان نمودند که الگوی کسری از حرکت بروانی[5] نسبت به روش یادگیری لایه عصبی با زمان های اختصاص داده شده برای یادگیری از قدرت پیشبینی بیشتر برخوردار است. همچنین آریس (۲۰۲۰) تاکید کرد که روش های حل عددی به جای روش گاوس در بررسی گشتاورهای مرتبه بالا بهتر هستند. همچنین محققانی چون کلانگ(۲۰۰۷) مطرح نمودند که تخمین تابع هارست در فیلتر بندی داده های متغیر های غیر تصادفی از ناکارایی رنج می برد ؛ حال آن که سیستم های پویای با جملات پیشرو از کارایی بهتری نسبت به روش های مبتنی بر تفسیر میانگین متحرک دارند.

پیشینه تجربی

چانگ(۲۰۲۵) بیان نمود که در این مطالعه توانایی شبکه عصبی مصنوعی در پیش‌بینی نرخ روزانه بورس نزدک[6] بررسی شد. چندین شبکه عصبی مصنوعی به جلو که توسط الگوریتم انتشار برگشتی آموزش داده شده اند ارزیابی شده اند. روش مورد استفاده در این تحقیق قیمت های تاریخی کوتاه مدت سهام و همچنین روز هفته را به عنوان ورودی در نظر گرفته است. نرخ روزانه بورس نزدک از ۲۸ ژانویه ۲۰۱۵ تا ۱۸ ژوئن ۲۰۱۵ برای توسعه یک مدل قوی استفاده می شود. ۷۰ روز اول (۲۸ ژانویه تا ۷ مارس) به عنوان مجموعه داده آموزشی انتخاب شده و ۲۹ روز آخر برای آزمایش توانایی پیش‌بینی مدل استفاده می‌شود. شبکه‌هایی برای پیش‌بینی شاخص نزدک برای دو نوع مجموعه داده ورودی (چهار روز قبل و نه روز قبل) توسعه و اعتبارسنجی شدند.

چوچان(۲۰۲۴) در پژوهش خود بیان نمود که بازار سهام که با پیچیدگی و ماهیت پویا مشخص می شود، چالش های مهمی را برای تحلیل های پیش بینی کننده ارائه می دهد. این تحقیق اثربخشی مدل‌های شبکه

[1] Fisher block
[2] Mario Scholes
[3] Yan et al
[4] Fokker-Planck
[5] FBM
[6] NASDAQ

عصبی را در پیش‌بینی شاخص S&P500 مقایسه می‌کند و تشخیص می‌دهد که یک جزء مهم تصمیم‌گیری مالی نوسانات بازار است. این تحقیق مدل‌های شبکه‌های عصبی مانند حافظه کوتاه‌مدت بلند مدت ، شبکه عصبی کانولوشنال، شبکه عصبی مصنوعی ، شبکه عصبی بازگشتی و واحد بازگشتی دردار را بررسی می‌کند. ویژگی های فردی تشخیص الگو، پردازش متوالی داده ها و مدیریت روابط غیرخطی. این مدل‌ها با استفاده از شاخص‌های عملکرد کلیدی مانند خطای میانگین مربعات ریشه ، میانگین درصد مطلق خطا و دقت جهت‌گیری، یک معیار برای پیش‌بینی در هر دو مرحله آموزش و آزمایش این تحقیق ضروری است. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه هر مدل مزایای خاص خود را دارد، مدل‌های واحد بازگشتی دردار و شبکه عصبی کانولوشنال با توجه به این معیارها عملکرد خوبی دارند. واحد بازگشتی دردار کمترین معیارهای خطا را دارد که نشان‌دهنده استحکام آن در پیش‌بینی دقیق است، در حالی که شبکه عصبی کانولوشنال بالاترین دقت جهت را در آزمایش دارد که نشان‌دهنده کارایی آن در پردازش داده‌ها است. این مطالعه پتانسیل ترکیب معیارها برای مدل‌های شبکه عصبی را برای در نظر گرفتن هنگام تصمیم‌گیری به دلیل پویایی در حال تغییر بازار سهام برجسته می‌کند.

فریدا و همکاران(۲۰۲۲) بیان داشتند که حرکت براونی هندسی یک مدل ریاضی برای پیش‌بینی قیمت آتی سهام است. مرحله ای که قبل از پیش بینی قیمت سهام انجام می شود، تعیین فرمول قیمت مورد انتظار سهام و تعیین سطح اطمینان ۹۵ درصد است. در پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از مدل هندسی حرکت براونی، الگوریتم از محاسبه ارزش بازده شروع می‌شود، سپس با تخمین ارزش نوسانات و رانش، پیش‌بینی قیمت سهام، محاسبه میانگین مجموع خطا[1] پیش‌بینی، محاسبه قیمت مورد انتظار سهام و محاسبه سطح اطمینان شروع می‌شود. از ۹۵ درصد بر اساس تحقیق، تحلیل خروجی نشان می‌دهد که مدل حرکت هندسی براونی تکنیک پیش‌بینی با دقت بالایی است. با مقدار پیش‌بینی $MAPE \leq 20\%$ ثابت شده است.

جمیلی و همکاران(۲۰۲۲) بیان داشتن که در این مقاله، نویسندگان دو بخش اصلی را در مورد فرآیند تصادفی ارائه می‌کنند. در بخش اول، نویسندگان حرکت براونی را مورد بحث قرار می‌دهند و به محدودیت در محاسبات کلاسیک حرکت براونی اشاره می‌کنند. به منظور حل محدودیت، نویسندگان روش پلانگ را برای حل معرفی می کنند. در همین حال، نویسندگان در بخش دوم به معادلات دیفرانسیل اختصاص دارند. در این بخش، نویسندگان سعی می کنند راه حلی برای مجموع خطا[2] بیابند. پس از آن، نویسندگان یک مدل برای قیمت سهام با استفاده از حرکت براونی هندسی می‌سازند. در نهایت، نویسندگان یک شبیه سازی از مونت کارلو دارند.

روف و همکاران(۲۰۲۱) بیان داشتند که با ظهور شگفتی‌های فناوری مانند دیجیتالی شدن جهانی، پیش‌بینی بازار سهام وارد دوران پیشرفته‌ای از فناوری شده است و مدل قدیمی تجارت را اصلاح می‌کند. با افزایش بی وقفه ارزش بازار، معاملات سهام به مرکز سرمایه گذاری برای بسیاری از سرمایه گذاران مالی تبدیل شده است. بسیاری از تحلیلگران و محققان ابزارها و تکنیک هایی را توسعه داده اند که حرکت قیمت سهام را پیش بینی می کند و به سرمایه گذاران در تصمیم گیری صحیح کمک می کند. مدل‌های معاملاتی پیشرفته، محققان را قادر می‌سازد

[1] MAPE
[2] SDE

تا با استفاده از داده‌های متنی غیرسنتی از پلتفرم‌های اجتماعی، بازار را پیش‌بینی کنند. استفاده از روش‌های پیشرفته یادگیری ماشین مانند تجزیه و تحلیل داده‌های متنی و روش‌های مجموعه، دقت پیش‌بینی را بسیار افزایش داده است. در همین حال، تحلیل و پیش‌بینی بازارهای سهام به دلیل داده‌های پویا، نامنظم و آشفته همچنان یکی از چالش‌برانگیزترین حوزه‌های تحقیقاتی است. این مطالعه سیستماتیک رویکردهای مبتنی بر یادگیری ماشین را برای پیش‌بینی بازار سهام بر اساس استقرار یک چارچوب عمومی توضیح می‌دهد. یافته های دهه گذشته (۲۰۱۱-۲۰۲۱) به طور انتقادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و از کتابخانه های دیجیتال آنلاین و پایگاه های داده مانند کتابخانه دیجیتال آ.سی.ام و اسکوپ [1]بازیابی شد. علاوه بر این، یک تحلیل مقایسه ای گسترده برای شناسایی جهت اهمیت انجام شد. این مطالعه برای محققان نوظهور مفید خواهد بود تا مبانی و پیشرفت‌های این حوزه نوظهور را درک کنند و بنابراین تحقیقات بیشتر را در جهت‌های امیدوارکننده ادامه دهند.

عزیز و همکاران(۲۰۲۰) بیان داشت که سهام به عنوان علامت مالکیت سرمایه گذار از سرمایه گذاری آنها یا میزان سرمایه سرمایه گذاری شده در یک شرکت تعریف می شود. در فرآیند معاملات بورس اوراق بهادار، سهام بیشترین ابزار معامله را دارد. بنابراین، پیش‌بینی قیمت سهام برای توسعه یک استراتژی معاملاتی مؤثر در بازار بسیار مهم است. پیش‌بینی قیمت سهام می‌تواند زیان سرمایه‌گذاری را پیش‌بینی کند و منافع بهینه را برای سرمایه‌گذاران فراهم کند. در این مقاله، قیمت سهام مایکروسافت با استفاده از روش‌های حرکت هندسی براونی و پرسپترون چندلایه پیش‌بینی می‌شود. پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از حرکت هندسی براونی با محاسبه ارزش بازده داده‌ها آغاز شد. سپس، تست نرمال بودن مقدار بازگشتی انجام می شود. مقدار بازگشت باید به طور معمول توزیع شود. سپس، برای بدست آوردن مقدار دریفت و نوسان، محاسبه انجام می دهیم. پارامترهای حرکت هندسی براونی ثابت فرض می شوند. مقادیر پارامتر به عنوان ورودی در فرآیند پیش بینی با متلب استفاده می شود. در پیش‌بینی روش پرسپترون چندلایه، داده‌ها به دو بخش ۷۰ درصد برای داده‌های آموزشی و ۳۰ درصد برای داده‌های اعتبار سنجی تقسیم شدند. سپس ابتدا داده ها باید نرمال شوند. در فرآیند پیش‌بینی با استفاده از پرسپترون چندلایه، وزن را مقداردهی اولیه می‌کنیم، مقادیر وزن را تصحیح می‌کنیم، بایاس را تصحیح می‌کنیم و مقدار خطا را محاسبه می‌کنیم. در نتیجه، مقدار میانگین مجموع خطا از پیش‌بینی‌های روش پرسپترون چندلایه ۰.۰۵۲ بود. این مقدار زمانی به دست می آید که تعداد نورون ها ۲ در ورودی و تعداد نورون ها ۳ در لایه پنهان باشد. در همین حال، مقدار میانگین مجموع خطا تولید شده با روش حرکت هندسی براونی ۰.۰۲۲ در ۱۰ مسیر و ۰.۰۱۹ در ۱۰۰۰۰ مسیر بود. سپس، نتیجه روش حرکت هندسی براونی بهتر از روش پرسپترون چند لایه است.

تفتیان و همکاران(۱۴۰۳) بیان نمودند که فعالان بورس درصدد دستیابی و به کارگیری روش‌هایی هستند تا بتوانند با پیشبینی آتی قیمت سهام، سودسرمایه خود را افزایش دهند. بنابراین، ضروری به نظر می رسد که روشهای مناسب، صحیح و متکی به اصول علمی در تعیین قیمت آینده سهام فرآروی افراد سرمایه گذار قرار گیرد. تاکنون روشهای مختلفی جهت نیل به این هدف معرفی شده اند که اغلب روشهای آماری و هوش مصنوعی هستند. پیشبینی قیمت سهام یکی ازموضوعاتی است که بسیار مورد تحقیق و پژوهش قرار گرفته و از دانشگاه و

[1] Scopus و ACM

صنعت به طور یکسانی مورد توجه است. آنها بیان کردند که این مقاله به کشف تکنیک‌های مختلفی میپردازد که درپیشبینی قیمت های سهام از یادگیری ماشینی سنتی و روشهای یادگیری عمیق برای شبکه های عصبی ورویکردهای مبتنی بر گراف استفاده می‌شود. یک آنالیز مفصلی از تکنیک‌های بکار گرفته شده در پیشبینی قیمت سهام را ترسیم نموده و همچنین چالشهای ادامه یافته در طول حوزه آینده کاری در این دامنه و قلمرو را کشف می‌نماید.

ضیایی و قاضی(۱۴۰۲) در پژوهش خود بیان نمودند که روش های مختلفی برای مقایسه قدرت توضیح دهندگی و آزمون اعتبار الگو های روند زدایی به روش های حل عددی ، با روش های هم تراز خود در ادبیات علوم مالی و فنی وجود دارد. همچین مزایای مقایسه ی این الگوها، برای روشهای تحلیل نوسانات شاخص و روندزدایی و پایا نمودن آن نسبت به روش های برآوردی و رگرسیون بیشتر است. در این راستا روش جدید ژئومتریکی حرکت قطره با به کارگیری الگوریتم ابتکاری فوکر-پلانگ را با روش برآوردی دیکی-فولر تعمیم یافته با فرض روند-پایایی مورد مقایسه قرار دادیم. جامعه آماری پژوهش شاخص کل قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران بر مبنای مقادیر روزانه از سال ۱۳۹۰ تا انتهای سال ۱۳۹۹ تعیین گردید. نتایج روندزدایی و گزارش قدرت توضیح دهندگی الگوها بیان داشت؛ قدرت توضیح دهندگی الگوی ژئومتریک حل قطره از الگوی های دیگر بیشتر است که بیانگر اعتبار بیشتر تحلیل روند حرکت شاخص طبق این الگو نسبت به الگو آماری نام برده یعنی دیکی-فولر تعمیم یافته است.

صراف نژاد و همکاران(۱۴۰۲) در پژوهش خود عنوان نمودند که لاطم به‌عنوان یک عامل مؤثر در تعیین ریسک سرمایه‌گذاری، می‌تواند نقش مهمی در تصمیم‌گیری سرمایه‌گذاران ایفا کند. یک تخمین مناسب از تلاطم قیمت سهام یا معامله‌های اختیار در یک دورهٔ سرمایه‌گذاری نقطهٔ آغازین بسیار مهمی در کنترل ریسک سرمایه‌گذاری است. این مقاله یک معادله حاکم برای شاخص‌های بورس با استفاده از الگوریتم قطره آب پیشرفت‌یافته پیشنهاد می‌کند. معادله حاکم پیشنهادی را می‌توان به صورت یک معادله توسط الگوریتم با ضریب انتشار غیر ثابت بیان کرد. معادله حاکم اثرات غیر ثابت را محاسبه می‌کند و تکامل زمانی تابع توزیع احتمال بازده قیمت را توصیف می‌کند. یک معادله دیفرانسیل تصادفی تکامل زمانی بازده قیمت را به روشی متفاوت از معادله کلاسیک بلک شولز مدل می‌کند. تمام معادلات یک بخش یا روند قطعی و یک قسمت تصادفی یا نویز[1] را به حساب می‌آورند. جمله نویز را می‌توان به نویز گاوسی که تحت تأثیر یک انحراف استاندارد یا نوسان است، تجزیه کرد. مدل ارائه‌شده با استفاده از داده‌های شاخص کل قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران بر مبنای مقادیر روزانه از سال ۱۳۹۰ تا انتهای سال ۱۴۰۱ اعتبارسنجی شده است. ما نشان می‌دهیم که بازده قیمت گاوسی می‌شود، در نتیجه با نرمال‌سازی مجموعه داده‌های کاهش‌یافته ثابت می‌شود. نرمال‌سازی داده‌ها با کم کردن روند و سپس تقسیم بر انحراف استاندارد بازده قیمت کاهش یافته محاسبه می‌شود. آزمون ایستایی شامل نمایش طیف توان بر حسب همبستگی خودکار سری‌های زمانی است.

خسروی(۱۴۰۲) بیان نمود که امروزه که برخی مردم در حال سرمایه گزاری در بازارهای مالی آنلاین هستند، تحلیل و بررسی و پیش‌بینی قیمت سهام برای خریدوفروش با سود بیشتر از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است .لذا

[1] Noise

این مقاله درصدد آن برآمده تا بتوان برنامه ای تهیه و تنظیم شود که بتواند قیمت سهام های را پیشبینی کند و به ما اطلاعات بدهد که چه زمانی بهترین زمان برای خرید یا فروش است .این کار به کمک اندیکاتور ها و طبق اتفاقاتی که در گذشته برای یک سهم افتاده استانجام می شود و به کمک یادگیری ماشین به فرمولی به دست می آید که قیمت سهام را در آینده پیشبینی کند و به کاربران اطلاع دهد که الان باید یک سهم را بخرد، بفروشد یا هیچ کاری انجام ندهد .اما در این تحقیق این کار را بسیار پیشرفته تر یعنی با ترکیب چند اندیکاتور انجام شده و سپس با الگوریم های یادگیری ماشین امتحان شده .طبق نتایج بدست آمده در بعضی سهم ها کاربران می توانند قیمت را بسیار با دقت بالا پیشبینی کنند و سود بالایی از معاملات خود در بازار های مالی آنلاین به دست بیاورند.

محمدی(۱۴۰۲) در پژوهش خود بیان نمود که بورس اوراق بهادار که به معنی یک بازار متشکل و رسمی سرمایه است که در آن خرید و فروش سهام شرکتها یا اوراق قرضه دولتی یا موسسات معتبر ،خصوصی تحت ضوابط و قوانین و مقررات خاصی انجام میشود؛ بنابراین دارای مشخصه مهم حمایت قانون از صاحبان پس اندازها و سرمایه های راکد و الزامات قانونی برای متقاضیان سرمایه است. به همین دلیل پیش بینی این بازار یکی از مهمترین علاقه پژوهشگران و محققان مالی است یکی از مهمترین اطلاعات در بازار بورس اوراق بهادار برای سرمایه گذاران اطلاعات قیمت سهام است.در دنیای معاملات مالی و بازارهای سهام، پیش بینی قیمت های سهام از جمله چالش های مهمی است که به تجار و سرمایه گذاران امکان می دهد تصمیم گیری های بهتر و اطلاع رسانی دقیق تر انجام دهند. برای این منظور، استفاده از الگوریتم های یادگیری ماشین از جمله راه های پرکاربرد و کارآمد در این زمینه است. هدف از انجام این پژوهش پیش بینی روند قیمت سهام با استفاده از مدل های یادگیری ماشین می باشد. در این پژوهش از ماشین بردار پشتیبان، مدل های رگرسیون، و مدل های یادگیری عمیق برای پیشبینی استفاده شد، که با توجه به تعداد زیاد و پیچیدگی داده های بازار سهام، ترکیبی از این الگوریتم ها می تواند به دقت و قابلیت پیش بینی بالاتری منجر شود. علاوه بر این، استفاده از سری های زمانی نیز اطلاعات مرتبط با تغییرات قیمت در طول زمان را بهبود می بخشد. در این پژوهش، به بررسی چگونگی ترکیب این الگوریتم ها، برخی اطلاعات دیگر در مورد سهام، و استفاده از سری های زمانی برای پیش بینی قیمت سهام پرداخته شد.

۳-روش شناسی پژوهش

این پژوهش از نظر هدف کاربردی بوده و از جنبه ماهیتی جزء پژوهش‌های آنالیز ریاضی است. در تحقیقات کاربردی مرسوم است شواهد تجربی با بهره‌گیری از روش تحقیق علمی تجزیه و تحلیل شده و به تقویت نظریه کمک کند. تحقیق کاربردی کاربرد عملی علم است. به تئوری‌ها، دانش، روش‌ها و تکنیک‌های انباشته‌شده دسترسی پیدا می‌کند و برای یک هدف خاص دولت، کسب‌وکار یا مشتری‌محور استفاده می‌کند. بر خلاف مهندسی، تحقیقات کاربردی شامل تجزیه و تحلیل یا بهینه سازی کسب و کار، اقتصاد و هزینه ها نمی شود. تحقیقات کاربردی را می توان در هر زمینه ای بهتر درک کرد که آن را با تحقیق، پایه یا خالص، مقایسه کرد. تحقیقات جغرافیایی پایه در تلاش است تا نظریه ها و روش های جدیدی را ایجاد کند که به توضیح فرآیندهایی که ساختار فضایی محیط های فیزیکی یا انسانی را شکل می دهند کمک کند. در عوض، تحقیقات کاربردی از نظریه ها و روش های جغرافیایی

موجود برای درک و پرداختن به مسائل تجربی خاص استفاده می کند.همچنین در پژوهش های کاربردی معمولا الگوهای نوین نظری با استفاده از شواهد و داده های تجربی به بوته نقد و آزمون صحت در جامعه آماری انتخاب شده گذاشته می شود.

- **یادگیری ماشین به روش آنلاین**

در ساده‌ترین عبارت، یادگیری آنلاین رویکردی است که در یادگیری ماشینی استفاده می‌شود که نمونه‌ای از داده‌های بلادرنگ را هر بار مشاهده می‌کند. مدل‌های یادگیری آنلاین یک نمونه از داده‌ها را در یک زمان پردازش می‌کنند - بنابراین با الگوریتم‌های دسته‌ای عملی‌تر، هم در زمان و هم از نظر مکان کارآمدتر خواهند بود. شکی نیست که داده ها اکنون به سرعت در حال گسترش هستند - در همه حوزه ها. در حالی که پتانسیل این داده های عظیم قابل توجه است، درک آنها نیازمند راه های جدیدی برای توسعه و تکنیک های یادگیری برای مقابله با چالش های مختلف است. یادگیری آنلاین برای مشکلاتی قابل استفاده است که در آن نمونه ها در طول زمان ارائه می شوند و انتظار می رود توزیع احتمال نمونه ها نیز در طول زمان تغییر کند. بنابراین، انتظار می رود که مدل به همان اندازه به طور منظم تغییر کند تا آن تغییرات را بگیرد و با آن سازگار شود. این می تواند به عنوان یک مزیت در یک صنعت خاص در نظر گرفته شود که در آن شخصی سازی بلادرنگ بسیار مهم تلقی می شود. به عنوان مثال، داشتن یک تجربه خرید شخصی که در آن مدل به طور مداوم رفتار کاربر در زمان واقعی را با تلاش برای ارائه خرید شخصی یاد می گیرد، برای هر مدل کسب و کار مشتری محور بسیار مهم است. معمولاً ۲ راه برای نحوه آموزش مدل یادگیری ماشین وجود دارد:

یک مدل بر روی داده های جدید و دیده نشده آموزش داده می شود. اگر عملکرد کافی باشد، گفته می شود که مدل آماده استقرار است. آموزش برنامه ریزی شده زمانی که داده های جدیدتری برای بهینه سازی عملکرد مدل بر اساس داده های نادیده جدید وجود دارد. روش‌های فوق، استاندارد واقعی نحوه آموزش و بکارگیری یک مدل در کسب‌وکارها یا سازمان‌ها بوده‌اند. با این حال، با حجم زیادی از داده‌های جدید و نادیده‌ای که در حال هضم هستند، مدل باید یاد بگیرد که چگونه با نوسانات و جابجایی داده‌ها از نظر کیفیت، انواع الگوها، ویژگی‌ها و غیره سازگار شود. قوی برای استفاده در موارد استفاده خاص.

- **الگوی ژئومتریک حرکت قطره**

حرکت براونی که ابتدا توسط گیاه شناس رابرت براون درک شد. این یک مدل ریاضی برای توصیف حرکات تصادفی ذرات کوچک در یک سیال یا گاز است. این حرکات تصادفی در بازارهای سهام مشاهده می شود که قیمت ها به طور تصادفی بالا و پایین می شوند. از این رو حرکت براونی به عنوان یک مدل ریاضی برای قیمت سهام در نظر گرفته می شود. بر طبق پژوهش أریس و همکاران(۲۰۲۰) و برتین و همکاران(۲۰۲۲) برتری الگوی حرکت قطره نسبت به الگو های شبکه عصبی و الگوریتم یادگیری آنلاین به عنوان ادعای اصلی الگوی پیشنهادی مقاله مطرح شد.

در این پژوهش متغیر وابسته و مستقل در بررسی سنجش نوسانات با استفاده از الگوی حرکت قطره جایگاهی ندارد؛ زیرا هدف بررسی و پیشبینی بر اساس حرکت شاخص قیمت سهام بر مبنای کار با یک سری زمانی از داده

ها است؛ به جای الگوی رگرسیون که دارای متغیر مستقل و وابسته است؛ در الگوی معادلات دیفرانسیلی به روش های حرکت قطره تنها یک متغیر (شاخص قیمت سهام) مورد تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت. در الگوی حرکت ژئومتریک قطره ، فرض است که حرکت بعدی قیمت بر اساس جمله قطره[1] قابل پیشبینی است.
برای تحلیل روش مورد نظر برطبق مطالعه بنیس و همکاران (۲۰۲۲) الگو کلی پژوهش به شکل معادله (۱) است.

$$X_{(t0,t)} = I_{(t0,t)} - I_{(t)} \quad (۱)$$

به طوری که $I_{(to)}$ شاخص قیمت سهام در زمان t است.(t>t0). در رویکرد معادله حرکت فوق $X_{(t0,t)}$ که دارای دو جمله کلی است.$I_{(t0,t)}$ دارای روند یا همان بردار متغیر های برونزا است و نوفه سفید فرضی در جمله حرکت $I_{(t)}$ قرار دارد. حال با فرض توزیع گاوسی[2] از درجه q رابطه حرکت الگوی پژوهش به شکل رابطه (۲) قابل استخراج است:

$$X_{(t)} = \overline{X}_{(t0,t)} + x \quad (۲)$$

که در معادله (۲) $X_{(t)}$ دارای دوجمله قابل تشخیص و قابل بررسی است که $\overline{X}_{(t0,t)}$ شامل برداری از متغیر های قابل تشخیص است و x شامل جمله نوفه سفید از نوع روش حل گاوسی از درجه q است و بر خلاف فرضیه اختصاص عدد منفی تنها مقادیر مثبت شاخص را اختیار می کند و از تابع توزیع نرمال تبعیت نمی کند. بنابراین تابع توزیع احتمال x به شرح معادله (۳) است:

$$P_{(x,t)} = \frac{1}{d_t^{1/a}} \frac{1}{C_q} [1 - (1-q) \frac{x^2}{d_t^{\frac{2}{a}}}]^{\wedge} \frac{1}{1-q} \quad (۳)$$

به طوری که d و q وa وابسته به زمان بوده و بقیه به شکل اسکالر به روش عدد محاسبه شده و در الگو حضور دارند. با روش ارزیابی عددی منحنی تحت نرم افزارهایی مثل متلب کمی نیاز به استفاده از عملگرها و توابع ریاضی است تا بتوان جمله حرکت قطره در معادله حرکت شاخص قیمت را محاسبه و ترسیم نمود. به همین منظور در حالت کالیبره شده Cq ضریب ثابتی است که از مقادیر گشتاوری n> q>۱ بسته به میزان کشیدگی اوج داده ها اختیار کند.مثلا برای داده های شاخص قیمت سهام بورس تهران در این پژوهش مقدار بهینه کشیدگی اوج n=8 محاسبه شد که در روش ارزیابی از طریق معادلات حرکت میانگین متحرک سری زمانی شاخص قیمت سهام و نرخ ارز روند زدایی نیز استفاده شده است.
از نظر تئوری ژوئومتریکی قطرات آب توزیع یک متغیر غیر نرمال مثل شاخص قیمت سهام در یک روند مشخص می تواند توزیع نمایی را اختیار کند.دراین راستا ابتدا جمله ثابت الگو(Cq) به شرح (۴) محاسبه شده است:

$$C_{(8)} = \sqrt{\frac{\pi}{7}} \frac{\Gamma(5)/2(7)}{\Gamma(\frac{1}{7})} \quad (۴)$$

[1] Drifft Term
[2] Gaussian(q)

بنابراین فرم تغییر یافته متغیر ها ؛ چنانچه $\xi=\frac{3-q}{a}$ و برابر t^{ξ} باشد و معادله حرکت کل جملات P(x,t) شامل توزیع نمایی مشاهدات باشد؛ آنگاه فرم مشتقات جزیی الگو (۲) با توجه به رابطه (۳) به شکل رابطه (۵) است:

$$\frac{\partial p}{\partial T}=d^{\xi}\frac{\partial^2 p^{2-q}}{\partial^2 x} \qquad (۵)$$

که دراین معادله xهمان جز دوم معادله (۲) است. با به کارگیری معادله (۲) و برگردان تغییر متغیر ها؛ الگوی (۶) حاصل می گردد:

$$\mathrm{P(X,T)}=\left(\frac{1}{(\mathrm{d}\times\mathrm{T})^{\frac{1}{\mathrm{a}}}}\frac{1}{\mathrm{Cq}}\right)\times\left[1-(1-\mathrm{q})\frac{\mathrm{X}-\overline{\mathrm{X(T)^2}}}{(\mathrm{d}\times\mathrm{T})^{\frac{2}{\mathrm{a}}}}\right]\text{^q} \qquad (۶)$$

با استفاده از قاعده زنجیره ای که برای بدست آوردن معادله حرکت حاکم در این پژوهش قابل بیان است. نتایج معادلات فوق در (۷) خلاصه شده است.

$$\text{جمله حرکت ۱:}\frac{\partial^2}{\partial^2 x}=\frac{\partial^2}{\partial^2 X}$$
$$\text{جمله حرکت ۲:}\frac{\partial}{\partial T}=\frac{1}{\xi}t^{1-\xi}\frac{\partial}{\partial t}+\frac{\partial\bar{X}\ \times T}{\partial T}\frac{\partial}{\partial X} \qquad (۷)$$

با جایگزینی معادله (۸) در معادله (۵) فرم تعمیم یافته معادله مشتقات جزیی با در نظر گرفتن $\frac{t^{1-\xi}}{\xi}=\frac{\partial t}{\partial T}$ به شرح ذیل است:

$$\frac{\partial P}{\partial T}=d^{\xi}\frac{\partial^2 P^{2-q}}{\partial X^2}-\frac{\partial\bar{X}T}{\partial T}\frac{\partial P}{\partial X} \qquad (۸)$$

جمله d^{ξ} جمله انتشار دهنده ای است که مستقل از تابع توزیع x است و در نتیجه مقایسه بین معادله (۸) و معادله

فوکر-پلانگ بیان می دارد که الگو (۹) را بر اساس روش حل فوکر-پلانگ می توان به صورت ذیل نوشت:

$$\frac{\partial\mathrm{P(X,T)}}{\partial\mathrm{t}}=\frac{-\partial(\mathrm{d_1P(X,T)}}{\partial\mathrm{x}}+\frac{\partial(\mathrm{d_2P(X,T)}}{\partial\mathrm{x^2}} \qquad (۹)$$

بنابراین ضریب جمله انتشار دهنده برای روش فوکر-پلانگ در الگو $d_2=d^{\xi}P(X,T)^{1-q}$ که با معادله ی (۶) معادله (۹) را رقم زده است؛ معادله (۱۰) را تشکیل می دهد:

$$\mathrm{d_2}=\mathrm{d}^{2/\mathrm{a}}\mathrm{C_q^{q-1}T^{(q-1)/(3-q)}}\left[1-\frac{(1-\mathrm{q})[\mathrm{X}-\bar{\mathrm{X}}(\mathrm{T})]^2}{(\mathrm{d}^{\xi}\mathrm{T})^{2/(3-\mathrm{q})}}\right. \qquad (۱۰)$$

همچنین جمله حرکت قابل حل عددی قطره[1] به شکل (۱۱) می باشد:

$$d_1=\frac{\partial\bar{X}(t)}{\partial T} \qquad (۱۱)$$

[1] Drift term

معادله قطره(۱۱) به کلی میل دارد تا در جهت روند شاخص قیمت سهام را پیماید و طبق نظریه فوکر-پلانگ نشان دهنده ی میزان مشخصی از کشش قیمت باشد. به مفهومی شبیه آماری d_1 نماینده آن بخش از ریسک سیستماتیک بازار است که در تغییر روند ها در یک بازه ای مشخص با دقت بیشتری نسبت به الگو آماری میل حرکت روند سری زمانی شاخص قیمت سهام و نرخ ارز را تعیین می کند.

البته نقطه عطف الگوریتم حل عددی انتخاب شده نسبت به الگو های یادگیری ماشین از نظر تشخیص قدرت پیشبینی همان عوامل درونزای جمله ی قطره است که به جای آن در روش الگوریتم یادگیری آنلاین در هر تکرار تحلیل برای الگوی داده ها باز آموزی می شود. براین اساس پیشبینی می شود یافتن جمله حرکت درونزای قطره نسبت به بازآموزی در الگوی یادگیری ماشین قدرت پیشبینی بهتری برای الگوسازی حرکت قیمت در بازارهای مالی دارد.

۳-۱ فرضیه پژوهش

قدرت توضیح دهندگی الگوی ژئومتریک حرکت قطرات نسبت به الگوی یادگیری ماشین آنلاین ، در بررسی حرکت شاخص قیمت سهام بیشتر است.

۳-۲ جامعه و نمونه آماری

جامعه آماری این پژوهش بورس اوراق بهادار تهران است و نمونه پژوهش داده های ماهانه شاخص کل قیمت بورس اوراق بهادار تهران و نرخ ارز طی دوره ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ است.

شاخص کل قیمت[1] در بورس اوراق بهادار که به اختصار آن را شاخص کل[2] می‌گویند، نشان دهنده تغییرات سطح عمومی قیمت‌ها در کل بازار است و میانگین افزایش یا کاهش قیمت سهام در بازار را بیان می‌کند. این تغییرات نسبت به تاریخ مبدا که در سال ۱۳۶۹ است، بیان می‌شود. نکته حائز اهمیت دیگر آنکه شاخص کل، میزان سود نقدی پرداختی به سهامداران را نشان نمی‌دهد. به عنوان نمونه وقتی می‌گوییم شاخص کل ۳۰ درصد رشد کرده است، یعنی میانگین قیمت سهام شرکت‌های بورسی به میزان ۳۰ درصد نسبت به سال پایه (۱۳۶۹) افزایش پیدا کرده است.

$$TEPIX_t = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{it} \times P_{it}}{D_t} \times 100 \qquad (۱۲)$$

که در آن:

P_{it} قیمت شرکت i ام در زمان t ، Q_{it} تعداد سهام منتشره شرکت i ام در زمان t ، D_t عدد پایه در زمان t که در زمان مبداء برابر بوده است با $\sum Q_{io}P_{io}$، P_{io} قیمت شرکت i ام در زمان مبدأ ، Q_{io} تعداد سهام منتشره شرکت i ام در زمان مبدأ و n تعداد شرکت‌های مشمول شاخص می باشد.

ساده شده فرمول بالا را می‌توانیم این‌گونه بیان کنیم:

[1] - Tehran Exchange Price Index
[2] *TEPIX*

$$\text{مقدار شاخص کل} = \frac{\text{ارزش جاری بازار سهام در زمان محاسبه}}{\text{ارزش جاری بازار سهام در تاریخ مبدا}} \times 100 \qquad (۱۳)$$

ارزش جاری برای هر شرکت برابر با حاصلضرب تعداد سهام آن در قیمت هر سهم شرکت مورد نظر است. از مجموع ارزش جاری شرکت‌های پذیرفته شده در بورس، ارزش جاری بازار به دست می‌آید.

۴- نتایج تجزیه و تحلیل الگو

الگوی تحلیلی پژوهش برای بررسی پیشبینی تلاطم شاخص کل قیمت سهام به روش های الگریتم حرکت قطره و الگوی یادگیری ماشین آنلاین معرفی شد.

۴-۱ تحلیل توصیفی داده ها

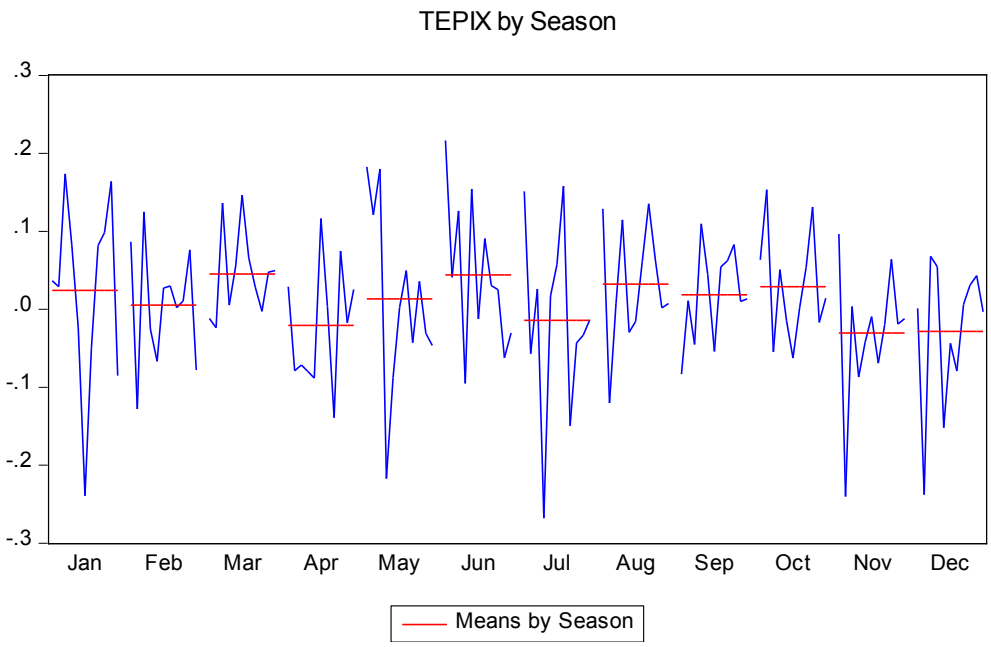
وجود تلاطم در سری زمانی شاخص های قیمت سهام از روش های تحلیل استنباطی مثل روش آرچ و گارچ در پژوهش های قبلی همچون(قاضی فینی و پناهیان،۱۳۹۸) به اثبات رسیده است. سرمایه گذاران به دنبال بهینه کردن میانگین و واریانس پرتفولیوی خود (میانگین بازده و ریسک مورد انتظار که نشانگر تلاطم قیمت دارایی است) هستند. تلاطم درجه ای از تغییرپذیری قیمت برای دارایی، نرخ یا شاخص معین است که معمولا به صورت واریانس یا انحراف معیار بیان می شود. بازدهی های غیرنرمال، بازگشت به میانگین تلاطم، خوشه ای بودن تلاطم، هم حرکتی در تلاطم ها، تلاطم و همبستگی سریالی، اثرات اهرمی، صرف ریسک، دوره های غیرفعال، رخدادهای قابل پیشبینی، متغیرهای اقتصاد کلان و تلاطم، از جمله خصیصه های بیان کننده وجود تلاطم تعریف شده اند. در جدول ۱ نتایج توصیفی و تحلیل تلاطم از روش آزمون اثرات آرچ برای دو سری زمانی شاخص کل قیمت سهام گزارش شده است.

جدول ۱ نتایج تحلیل توصیفی داده ها

متغیر	نماد	میانگین	حداکثر	حداقل	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
نرخ شاخص کل قیمت سهام	TEPIX	0.009888	0.21652	-0.26789	0.090688	-0.4750	3.734721
مقادیر جمله قطره tepix	DRIFT_TEPIX	33052.21	35596.1	30637.9	1170.001	0.369242	2.4001

در جدول ۱ نتایج محاسبه شاخصه های توصیفی و استنباطی داده ها بیان شده است. بازه زمانی داده ها به صورت ماهانه از سال ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۱ در نظر گرفته شده است. لازم به ذکر است که شاخص کل قیمت سهام جهت محاسبات تلاطم به صورت نرخ رشد محاسبه شده و میانگین آن عدد ۰.۹۸ درصد بدست آمده است. همچنین بیشترین رشد ماهانه ۲۱ درصد و کمترین کاهش ماهانه عدد ۰.۲۶ درصد بدست آمده است. همچنین انحراف معیار نرخ شاخص کل برای دوره مورد مطالعه عدد ۹ درصد بوده است. همچنین میانگین مقادیر جمله قطره

شاخص قیمت سهام عدد۳۳۰۵۲ محاسبه شده و انحراف معیار آن عدد۱۱۷۰ بدست آمده است. میانگین مقادیر جمله حرکت قطره نرخ ارز عدد۲۷۶۵ محاسبه شده و انحراف معیار آن عدد ۴۰۱۳ محاسبه شده است. اما بیشترین ضریب تغییرات(حاصل تقسیم میانگین به انحراف معیار) عدد۲۸.۲۴ مربوط به جمله حرکت قطره شاخص قیمت سهام است. بیشترین میزان کشیدگی توزیع داده ها نیز مربوط به متغیر نرخ شاخص کل قیمت سهام می باشد.
در نمودار ۱ نتایج تغییرات فصلی مقادیر نرخ شاخص کل قیمت سهام رسم شده است:



نمودار۱تغییرات فصلی نرخ شاخص کل قیمت سهام

منبع: یافته های محقق

در نمودار ۱مشخص است که شاخص قیمت سهام معمولا به طور شهودی در ماه های ژوئن بیشترین مقدار را اختیار نموده و در ماه های نوامبر و دسامبر کمترین مقادیر را به طور میانگین اختیار نموده است. همچنین بیشترین تلاطم ها در ماه های ژانویه و جولای اتفاق افتاده است.

همانگونه که اشاره گردید مطالعات بسیاری به وجود تلاطم و پیش بینی آن پرداخته و اکثرا تایید نموده‌اند که در سری زمانی شاخص کل قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران و نرخ ارز در ایران خصایص تلاطم وجود دارد. در این پژوهش قبل از الگوسازی تلاطم به روش حرکت قطره و ماشین یادگیری آنلاین؛ ابتدا وجود تلاطم و توصیف آن به روش آزمون اثرات آرچ محاسبه شده است. ادبیات تلاطم با روش های آمار استنباطی پیشنهاد می کند که

اگر در آزمون آرچ یک سری زمانی اثرات آرچ اثبات شود وجود نوسانات خوشه ای که یکی از خصایص مهم تلاطم به اثبات خواهد رسید.

از این رو در جدول ۲ نتایج بررسی وجود اثرات آرچ و تلاطم مورد تحلیل واقع شده است:

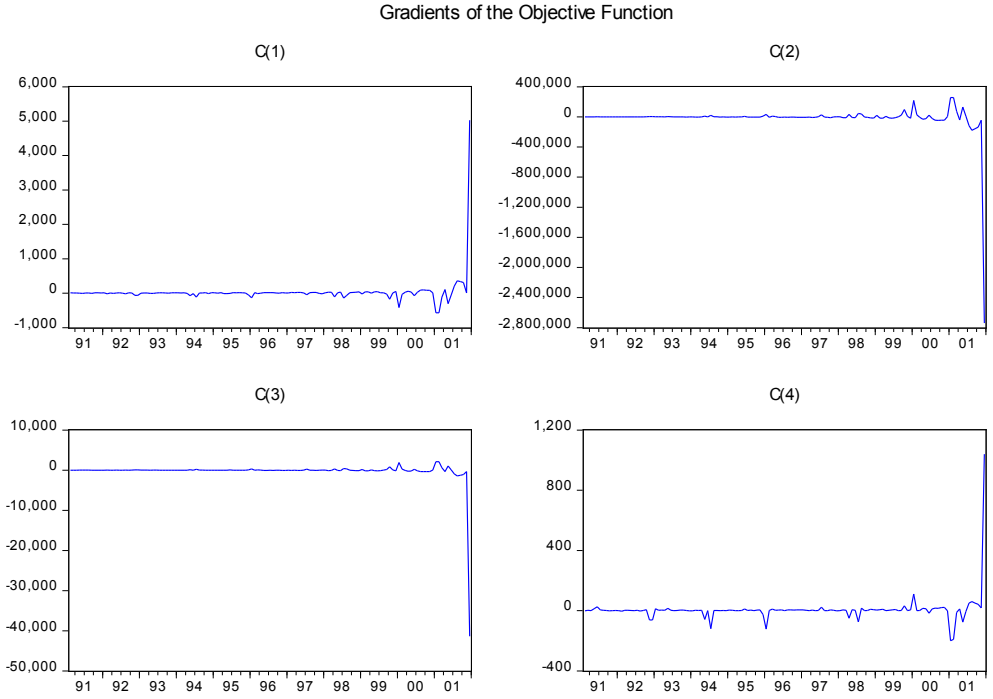
جدول ۲ توصیف وجود تلاطم در داده های پژوهش

متغیر	نوع آزمون	آمار آزمون	احتمال خطا	نتیجه آزمون
شاخص کل قیمت سهام	اثرات ARCH	7.747876	0.0062	وجود اثرات آرچ و تلاطم در سطح اطمینان ۹۵ درصد به تایید می رسد

منبع یافته های محقق

در جدول ۲ مشخص شده که احتمال خطای عدم وجود اثرات آرچ ۰.۰۰۶۲ بوده و وجود اثرات آرچ و تلاطم در شاخص کل قیمت سهام در سطح اطمینان ۹۵ درصد به تایید می رسد.

در نمودار ۲ نتایج تحلیل توصیفی وجود تلاطم به کمک ازمون آرچ به تصویر کشیده شده است:

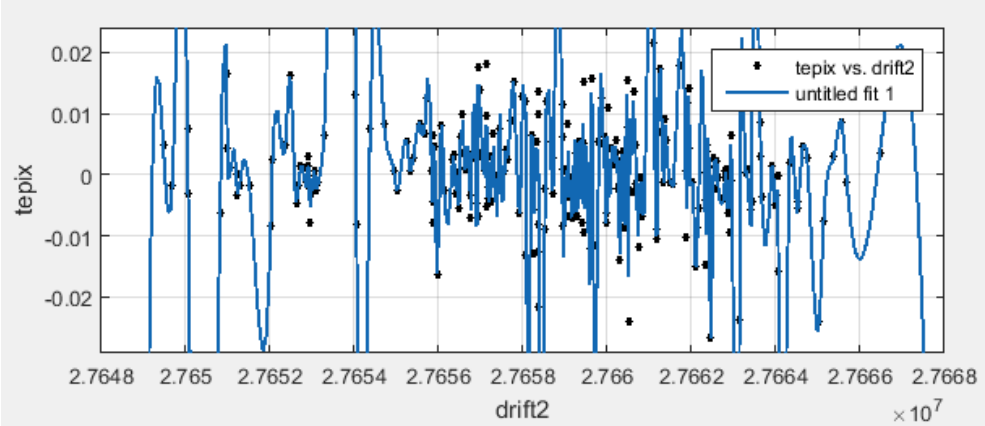


نمودار۲ نتایج تحلیل شهودی وجود تلاطم در سری زمانی ماهانه شاخص کل قیمت سهام

منبع یافته های محقق

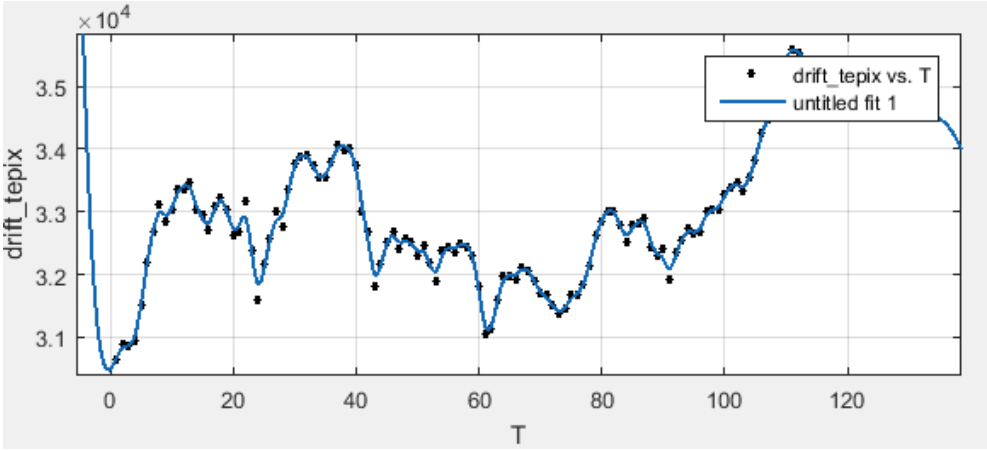
آنچه در نمودار ۲ مشخص است نوسانات غیر عادی شاخص کل قیمت سهام مخصوصا از ابتدای سال ۱۳۹۹ تا پایان ۱۴۰۱ به خوبی قابل رویت و قابل حدس است.

در قسمت‌های قبل پیرامون استخراج و حل‌عددی معادله‌حرکت GBM صحبت‌شد. در نمودارهای۳، ۴ و۵ تلاطم شاخص‌قیمت براساس روند توزیع با فرض توزیع‌نرمال و حل‌عددی ارائه شده‌است:



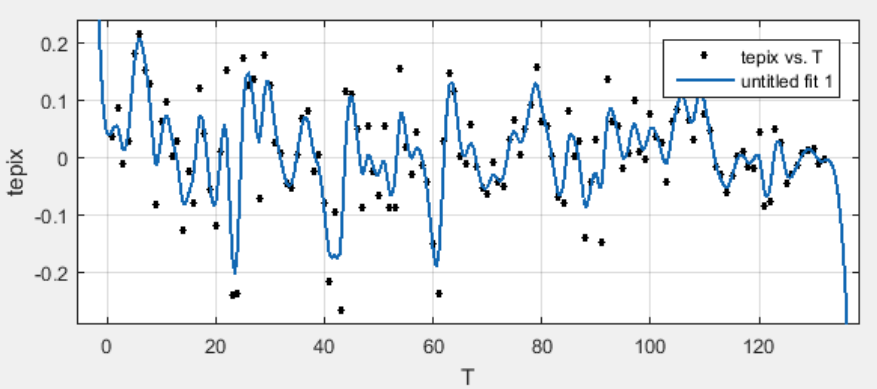
نمودار ۳ نتایج حل‌عددی معادله‌حرکت GBM برای شاخص قیمت سهام

منبع: یافته های محقق



نمودار۴ نتایج جمله حرکت معادله‌حرکت GBM برای شاخص قیمت سهام

منبع: یافته های محقق



نمودار۵ نتایج نوسانات دوره ای شاخص قیمت سهام به روش GBM

منبع: یافته های محقق

همان‌گونه که در نمودار ۳ مشاهده می‌شود؛ نوسانات‌تصادفی[1] از حول خط‌روندی که حاصل الگوریتم حل‌عددی الگوی ژئومتریک حرکت‌قطره است؛ به تصویر کشیده‌شده است. مشاهدات تصادفی که به صورت نقطه‌ای نشان‌داده‌شده در حول میانگین ماهانه ۱۰ ساله بسیار متمرکزتر هستند.

در قسمت قبل پیرامون نحوه بدست‌آوردن جمله قطره سری‌زمانی در الگوی ژئومتریک حرکت‌قطره کاملا توضیح‌داده‌شد. آنچه در نمودار ۴ مشاهده می‌شود مقادیر d1 یا همان جمله‌حرکت‌قطره است که پس از محاسبه‌عددی الگوی حرکت‌قطره به تصویر کشیده‌شده‌است. همان‌گونه که در نمودار ۵ مشاهده می‌شود از تابستان ۱۳۹۸ فرکانس‌های شاخص قیمت‌سهام با تلاطم بیش از عدد۲ حرکت نموده است.

درجدول۳ نتایج پارامترهای تخمینی الگوی حرکت قطره گزارش شده است:

جدول۳ پارامترهای محاسبه‌شده برای حل‌عددی حرکت شاخص‌کل قیمت‌سهام به روش الگوی ژئومتریک حرکت قطره (GBM)

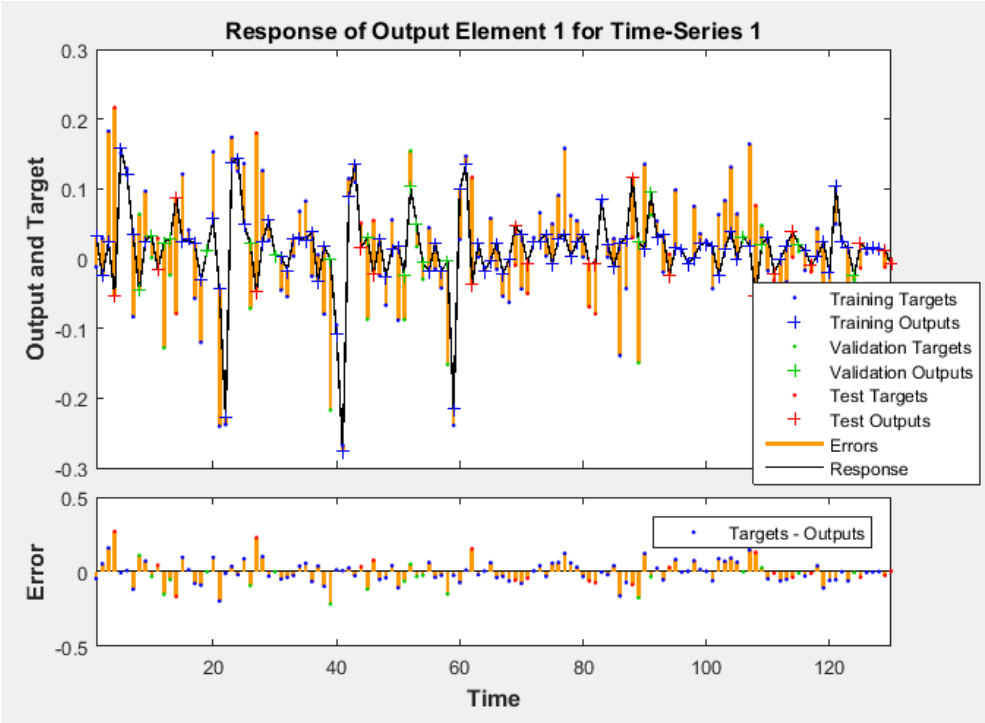
پارامتر	مقدار
C ضریب ثابت تابع‌حرکت با کشیدگی ۸	۶۳۱.۴
A پارامتر اول تابع‌توزیع معادله‌حرکت	۲۲۱۵۰۰
B پارامتر دوم نمایی تابع‌توزیع معادله‌حرکت	۱۳۲۹۰۰۰
ضریب‌تعیین R^2	**RMSE**
۰.۵۷۵۱	۰.۰۵۹

منبع:یافته های محقق

[1] Stochastic fluctuation

طبق آنچه در بخش قبل عنوان شد؛ مقدار بهینه بازه‌زمانی طبق بهینه‌یابی کشیدگی داده‌ها برای استفاده در الگوی جمله قطره ؛ عدد ۸ به‌دست‌آمده است. همچنین روند نمودار حرکت قطره طبق نمودار۳ پس از روندزدایی مسیر بدون تلاطم را برای روند شاخص قیمت‌سهام از ۱۴۰۱ به بعد به طور ماهانه نشان می‌دهد.

ماشین لرنینگ آنلاین روشی برای یادگیری ماشین است که در آن مدل، به‌صورت تدریجی، از جریانی از نقاط داده به‌شکل بلادرنگ یاد می‌گیرد. این یک فرایند پویاست که الگوریتم پیش‌بینی خود را در طول زمان تطبیق می‌دهد و به مدل اجازه می‌دهد با دریافت داده‌های جدید تغییر کند. در ماشین لرنینگ سنتی مدل با استفاده از کل مجموعه داده به‌طور همزمان آموزش داده می‌شود. این فرایند اغلب محاسباتی فشرده است و ممکن است تغییرات زمان واقعی را منعکس نکند؛ درمقابل، ماشین لرنینگ آنلاین، یک نقطه داده را در یک زمان پردازش می‌کند و پارامترهای مدل را به‌روزرسانی می‌کند.



نمودار ۶ پاسخ نتایج خروجی پیشبینی تلاطم در شاخص قیمت سهام

الگوریتم‌های زیربنایی برای یادگیری ماشین آنلاین متفاوت هستند، اما بیشتر آن‌ها براساس داده‌های دیده‌شده قبلی بر به‌حداقل‌رساندن خطای پیش‌بینی برای نمونه بعدی تمرکز می‌کنند. برخی از الگوریتم‌های رایج

مورداستفاده عبارت‌اند از: نزول گرادیان تصادفی افزایشی[1]، الگوریتم‌های غیرفعال-تهاجمی[2] و پرسپترون. در این پژوهش از روش گرادیان تصادفی افزایشی با ۷۰ درصد آموزش سلول های مشاهده‌ای استفاده شده و نتایج آن در نمودار ۶ به تصویر کشیده شده است.

در نمودار ۶ مشخص است که مقادیر آموزش داده شده متغیر مورد هدف یعنی شاخص قیمت سهام و مقادیر خروجی آموزش داده شده در ۷۰ درصد مشاهدات هم پوشانی با خطای صفر دارند و در ۳۰ درصد مابقی نیز خطای مشاهده شده در پیشبینی تلاطم کمتر از ۵ درصد است که در سری زمانی Error که بین ۵+ تا ۵- نوسان نموده قابل مشاهده است.

جدول ۴ نتایج دو شاخصه اعتبار پیشبینی تلاطم شاخص قیمت سهام طبق روش الگوریتم آنلاین یعنی ضریب تشخیص R^2 و میانگین مجموع مجذور خطا [3] را گزارش نموده است:

جدول ۴ نتایج شاخصه های قدرت پیشبینی الگوریتم ماشین یادگیری آنلاین برای TEPIX

متغیر هدف	ضریب تشخیص R^2	مجموع مجذور خطا (RMSE)
شاخص قیمت سهامTEPIX	.۰.۴۳۸	۰.۴۴۸

طبق این که در بررسی حرکت شاخص قیمت سهام الگوی ژئومتریک حرکت قطره اعداد ضریب تشخیص ۰.۵۷۵۱و میانگین مجموع مجذور خطا ۰.۰۵۹بدست آمده و ضریب تشخیص بیشتر از عدد بدست آمده این ضریب(۰.۴۳۸) برای الگوی ماشین یادگیری آنلاین است و نیز میانگین مجموع مجذور خطای الگوی یادگیری ماشین عدد ۰.۴۴۸ و بیشتر از این عدد برای الگوی ژئومتریک حرکت قطره است، فرضیه اول مبنی بر قدرت توضیح دهندگی الگوی ژئومتریک حرکت قطرات نسبت به الگوی یادگیری ماشین آنلاین ، در بررسی حرکت شاخص قیمت سهام به طور معنی داری بیشتر است؛ در سطح اطمینان آزمون به تایید می رسد.

۵-یافته ها

هدف پژوهش حاضر الگوسازی شاخص کل سهام با استفاده از الگوی براونی حرکت قطره و مقایسه آن با روش های ماشین یادگیری آنلاین قرارگرفت. فرضیه پژوهش مطرح نمود که قدرت پیش بینی الگوی ژئومتریک حرکت قطره از الگوریتم ماشین یادگیری آنلاین در پیشبینی شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران به طور معنی داری بیشتر است. با توجه به حل عددی الگو، مشخص شد که ضریب تشخیص معادله حرکت ژئومتریک قطره نسبت به الگوریتم ماشین یادگیری بیشتر و میانگین مجموع مجذور خطای آن کمتر است. بنابراین این فرضیه در سطح اطمینان آزمون پذیرفته شد. نتایج قبول فرضیه دست یافت که الگوی روندزدایی شده و جمله حرکت قطره نسبت به انتخاب آنلاین سلول های یادگیری (به روش ماشین یادگیری) دقت پیشبینی بهتری دارند. طبق نظریه

[1] SGD
[2] Passive-Aggressive
[3] RMSE

بنیس(۲۰۲۰)، برتری الگوی حرکت براونی تعریف معادله دیفرانسیلی برای سری های زمانی از طریق جمله حرکت معادله است که با رویکرد روش های حل عددی نوسانات را مورد سنجش قرار می دهد و نسبت روش یادگیری آنلاین که رویکرد تطابقی ضمن آموزش ماشین دارد؛ نتایج بهتری را از نظر معیارهای قدرت پیشبینی کسب نموده است. نتایج مطالعات یافت شده با مطالعه برتین(۲۰۲۱) و بنیس (۲۰۲۰) همسو می باشد؛ زیرا آنها کشف کردند که نوسانات با فرکانس بالا، توزیع تجمعی گاوسی با دقت گسسته را محدود می کند که اغلب منجر به کاهش قدرت پیشبینی کنندگی می شود. همچنین تفسیر فوق با نتایج مطالعه چانگ (۲۰۲۵) و فریدا(۲۰۱۹) همسو است؛ زیرا آنها بیان نمودند که در پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از مدل هندسی حرکت براونی نسبت به روش شبکه عصبی دارای برتری در قدرت پیشبینی است. بر مبنای نتایج پژوهش پیشنهاد می‌شود؛ برای تحقیقات آتی مقایسه ادغام روش‌های یادگیری ماشین با مدل‌های معادله حرکت قطره صورت پذیرد. پیشنهاد می شود برای توسعه مداوم تکنیک‌های مدل‌سازی قیمت سهام، بررسی شود که رویکردهای یادگیری ماشین، هوش مصنوعی می‌توانند دقت و سازگاری پیش‌بینی را بهبود بخشند.

فهرست منابع

تفتیان، اکرم و میرزابابایی مزرعه آخوند، میلاد و اولیایی باجگانی، اخترالسادات،۱۴۰۲،مروری سیستماتیک بر رویکرد یادگیری ماشین در پیشبینی قیمت سهام در قالب یک مدل سری زمانی،دومین همایش ملی پژوهش های کاربردی نوین در حسابداری،دامغان،https://civilica.com/doc/1964451

خسروی, آرش & ,امیرحسینی, سیدمحمد جواد. (۱۴۰۲). ارائه ی یک روش پیش‌بینی قیمت سهام بورس به‌وسیله‌ی الگوریتم‌های بهبودیافته‌ی ترکیبی یادگیری ماشین .*دوفصلنامه محاسبات و سامانه های توزیع شده*.88-74 ,*6*(1) ,

صراف نژاد, ریحانه, اوحدی, فریدن & ,معدنچی زاج, مهدی. (۱۴۰۲). الگوی ژئومتریک حرکت قطرهٔ بهبودیافته در ارائهٔ الگوی تلاطم بازارهای مالی .*مدیریت تبلیغات و فروش* :doi .367-377 ,(), JABM.3.2.15564.350428

ضیایی نجف آبادی,محمد رضا,قاضی فینی,سید رضا. (۱۴۰۲) .تحلیل و مقایسه الگوهای تحلیل نوسان آماری با روش عددی الگوریتم حرکت قطره برای شاخص قیمت سهام بورس اوراق بهادار تهران .مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار ,۵۴ (۱۴) ,۲۶۸-۲۸۵.

محمدی دهچشمه، خشایار و خدمتی، مجید،۱۴۰۲،پیش بینی روند قیمت سهام با استفاده از مدل های یادگیری ماشین،هفدهمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در علوم برق، کامپیوتر و مهندسی پزشکی،شیروان،https://civilica.com/doc/1899854

Arias C. K., Michel, H., and Fernando Alonso-Marroquin. (2020). Stationary of detrended price return in stock markets, preprint submitted to Elsevier, Doi: arXiv.1910.01034v2.

Azizeh M., M. I. Irawan, *and* E. R. M. Putri ,(2020), "Comparison of stock price prediction using geometric Brownian motion and multilayer perceptron", AIP Conference Proceedings 2242, 030016 (2020) https://doi.org/10.1063/5.0008066

Bentis D. and Wen ting Lyu. 2022. Research on Geometric Brownian motion and its practice in pricing. In 2022 3rd Asia Service Sciences and Software Engineering Conference (ASSE' 22). Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 161–164. https://doi.org/10.1145/3523181.3523204

Brătian, Ana-Maria Acu, Diana Marieta Mihaiu, Radu-Alexandru Şerban. (2022) Geometric Brownian Motion (GBM) of Stock Indexes and Financial Market Uncertainty in the Context of Non-Crisis and Financial Crisis Scenarios. *Mathematics* **10**:3, 309

Chahuán-Jiménez, K. (2024). Neural Network-Based Predictive Models for Stock Market Index Forecasting. *Journal of Risk and Financial Management*, *17*(6), 242. https://doi.org/10.3390/jrfm17060242

Chang, V., Xu, Q. A., Chidozie, A., & Wang, H. (2025). Predicting Economic Trends and Stock Market Prices with Deep Learning and Advanced Machine Learning Techniques. *Electronics*, *13*(17), 3396. https://doi.org/10.3390/electronics13173396

Chen, W., Yan, B., Lian, G. and Zhang, Y. (2016). Numerically pricing American options under the generalized mixed fractional Brownian motion model, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications.451, 180-189.

Clegg G. (2006), A Practical guide to measuring the Hurst parameter. International journal of simulation: System Science and technology, 7(2):3-14.

Desi E. and Goldberg,2022, "Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning," *Queen's University Belfast*, vol. 90, no. 2, pp. 12–14

Farida Agustini, (2018), Stock price prediction using geometric Brownian motion, Juornal aof Phys., Conf. Ser. 974 012047

Jamali, H.; Chihab, Y.; García-Magariño, I.; Bencharef, O. Hybrid Forex prediction model using multiple regression, simulated annealing, reinforcement learning and technical analysis. *Int. J. Artif. Intell. ISSN* **2023**, *2252*, 8938

Maganini, N, D., Da Silva and Lima F. (2018). Investigation of Multi-fractality in the Brazilian stock market, Physica A. Statistical Mechanics and its Applications, 497,258-271

Murshed, B.A.H.; Al-Ariki, H.D.E.; Mallappa, S. Semantic Analysis Techniques using Twitter Datasets on Big Data: Comparative Analysis Study. Comput. Syst. Sci. Eng. 2020, 35, 495–512.

Rao, B., (2016) Pricing geometric Asian power options under mixed fractional Brownian motion environment. Physica: Statistical Mechanics and its Applications.446, 92-99.

Rouf, N.; Malik, M.B.; Arif, T.; Sharma, S.; Singh, S.; Aich, S.; Kim, H.-C. Stock Market Prediction Using Machine Learning Techniques: A Decade Survey on Methodologies, Recent Developments, and Future Directions. Electronics 2021, 10, 2717. https://doi.org/10.3390/electronics10212717

Škrinjari´c, T.; Quintino, D.; Ferreira, P. Transfer Entropy Approach for Portfolio Optimization: An Empirical Approach for CESEE

Financial Economics
Vol. (16) Issue (64) Winter 2027

Modeling the Total Stock Index Using the Brownian Droplet Motion Model and Comparing It with Online Machine Learning Methods

Rouzbeh Zarezadeh
Department of Accounting, Se.C., Islamic Azad University, Semnan, Iran.
ro.zarezadeh@iau.ac.ir

Artin Beytari
Department of Accounting, ShQ.Z., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
(Corresponding Author)
Beytari@iau.ac.ir

Mohammadreza Ghorbanian
Department of Management, ShQ.Z., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
mohighorbanian@iau.ac.ir

Hossein Badiei
Department of Accounting, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Badiei@iau.ac.ir

Abstract

There are various methods for comparing the explanatory power and testing the validity of stock price index volatility prediction models using numerical solution methods with their equivalent methods in the behavioral-financial literature. Such advantages of comparing models for analyzing index volatility using different methods can lead to improved profitable trading for investors. Accordingly, the aim of this study was to analyze and compare the explanatory power between the numerical solution method and the online machine approach. In this regard, the new geometric drop motion method and pattern solving using the Fokker-Plang heuristic algorithm and the online machine learning method were compared. The statistical population of the research was the Tehran Stock Exchange stock price index; and the statistical sample of monthly index values from 1391 to the end of 1401. The results of trend detrending and reporting the explanatory power of the models stated that; the explanatory power of the geometric drop motion model is greater than the machine learning model, which indicates the greater validity of analyzing the trend of the index according to this model compared to the online machine learning model.

Keywords: Geometric Drop Pattern, Online Machine Learning Pattern, Stock Price Index Volatility