Journal of Advances in Finance and Investment
Volume 3, Issue 6 , 2022
pp. 53-78.
Paper type: Research paper

Clarification of a profitable trading system based on dynamic analysis

Atefe Bagheri Naghneh[1], Sayyed Mohammad Reza Davoodi[2]

Received: 14/08/2021 Accepted: 09/04/2022

Abstract

Purpose: The purpose of this study is to predict stock returns and ultimately present a trading strategy based on dynamic analysis.
Methodology: The behavior of a stock portfolio can be considered as a complex and chaotic dynamic system in which the return of the portfolio is a state variable that reflects the state of the system. Dynamic mode decomposition is one of the methods in which with the help of available data, a linear approximation of the nonlinear operator governing the system is obtained and by calculating the main modes, the system output can be explicitly calculated in terms of time.
Findings: The results of research on a portfolio consisting of 14 industries from the Tehran Stock Exchange in the period 2010 to 2019 and considering the 5 main modes of system guidance show that the optimal lag is six and the Sharp ratio obtained from the trading system of two Equivalent to the buy and hold system.
Originality / Value: Therefore, the use of this trading system is recommended for short-term trading.

Keywords: Dynamic system, singular value decomposition, dynamic mode decomposition, eigenvector and eigenvalue.

JEL Classification: G11, G32,G30,G31.

1. Department of Industrial Engineering, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran.
2. Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. (Corresponding Author).
smrdavoodi@ut.ac.ir

How to cite this paper: Bagheri Naghneh, A., & Davoodi, S. M. R. (2022). Clarification of a profitable trading system based on dynamic analysis. *Advances in Finance and Investment, 3*(6), 53-78. [In Persian]

https://doi.org/10.30495/afi.2022.1947103.1074

پیشرفت‌های مالی و سرمایه‌گذاری
سال سوم، بهار ۱۴۰۱– شماره ۶
صفحات ۷۸–۵۳
نوع مقاله: پژوهشی

تبیین سیستم معاملاتی سودآور بر پایه تجزیه حالت پویا

عاطفه باقری نقنه[۱]، سید محمدرضا داودی[۲]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰

چکیده

هدف: هدف پژوهش حاضر پیش‌بینی بازده سهام و درنهایت ارائه یک استراتژی معاملاتی بر پایه تجزیه حالت پویا می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: رفتار یک سبد سهام را می‌توان به منزله یک سیستم پویای پیچیده و آشوبناک تلقی کرد که در آن بازده سبد سهام، نشان‌دهنده وضعیت سیستم است. تجزیه حالت پویا یکی از روش‌هایی است که در آن به کمک داده‌های در اختیار، تقریبی خطی از عملگر غیرخطی حاکم بر سیستم به دست می‌آید و با محاسبه مدهای اصلی می‌توان به‌صورت صریح خروجی سیستم را برحسب زمان محاسبه کرد. در پژوهش حاضر بردار بازده سبد سهام، حالت سیستم می‌باشد و به کمک الگوریتم تجزیه حالت پویا و با درنظرگرفتن یک وقفه زمانی بهینه به‌صورت یک سیستم خطی مدل می‌شود.

یافته‌ها: نتایج تحقیق بر روی یک سبد سهام متشکل از ۱۴ صنعت از بورس اوراق بهادار تهران در بازه ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ و با درنظرگرفتن ۵ مد اصلی هدایت‌کننده سیستم، نشان می‌دهد که وقفه بهینه برابر شش می‌باشد و نسبت شارپ حاصل‌شده از سیستم معاملاتی دوبرابر سیستم خرید و نگهداری می‌باشد.

اصالت / ارزش افزوده علمی: استفاده از این سیستم معاملاتی برای معاملات کوتاه‌مدت توصیه می‌شود.

کلید واژه‌ها: سیستم پویا، تجزیه مقدار ویژه، تجزیه حالت پویا، بردار و مقدار ویژه.
طبقه‌بندی موضوعی: G11, G32,G30,G31.

۱. گروه مهندسی صنایع، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران.
۲. گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران. (نویسنده مسئول). smrdavoodi@ut.ac.ir

استناد: باقری نقنه، عاطفه؛ داودی، سیدمحمدرضا. (۱۴۰۱). تبیین سیستم معاملاتی سودآور بر پایه تجزیه حالت پویا. *پیشرفت‌های مالی و سرمایه‌گذاری*، ۳(۶). ۵۳–۷۸.

https://doi.org/10.30495/afi.2022.1947103.1074

۱- مقدمه

سیستم‌های زیادی وجود دارند که باگذشت زمان در حال تغییر می‌باشند و اصطلاحاً به این سیستم‌ها، سیستم‌های پویای گفته می‌شود. متغیرهای بیرونی و شرایط فعلی سیستم، وضعیت و حالت آینده سیستم را مشخص می‌کنند و این رویه در آینده نیز ادامه خواهد داشت. شناسایی سیستم‌های پویای حاکم بر بعضی از فرآیندها از طریق مباحث نظری امکان‌پذیر می‌باشد. به‌عنوان‌مثال معادلات حاکم بر سیستم‌های فیزیکی یا شیمیایی یا زیستی بعضاً توسط نظریه‌های موجود کاملاً تبیین شده‌اند؛ بنابراین می‌توان با حل معادلات حاکم بر رفتار سیستم، وضعیت یا حالت سیستم را برای زمان‌های آتی و موقعیت‌های ناشناخته محاسبه کرد. در این میان سیستم‌هایی وجود دارند که ازلحاظ نظری یافتن معادلات حاکم بر آن‌ها پیچیده یا غیرممکن می‌باشد. درواقع برای تبیین معادلات آن‌ها نیاز به فضاهایی با بعد بالا می‌باشد. در این وضعیت باید بعد لازم فضا را کاهش داد و معادلات حاکم بر سیستم را از دل خود داده‌های موجود (داده‌های تاریخی و تجربی) استخراج کرد. اصطلاحاً معادلات چنین سیستم‌های را معادلات مستخرج از داده می‌نامند. درواقع داده‌های تاریخی که در مورد وضعیت رفتار سیستم وجود دارد، می‌تواند در جهت برازش یک معادله مناسب در جهت تبیین رفتار سیستم به کار رود (مان و کوتز[1]، ۲۰۱۶). تجزیه حالت پویا توسط اشمیت[2] (۲۰۰۸)، برای بررسی سیستم‌های حاکم بر رفتار سیالات ابداع شد زیرا بعضی از رفتارهای سیستم‌های سیالات بسیار پیچیده می‌باشد و عملاً استخراج فرمول‌های نظری بسیار سخت می‌باشد. تجزیه حالت پویا هم‌اکنون به‌صورت گسترده‌ای برای مدل‌سازی و توصیف سیستم‌های پویای پیچیده و فاقد معادلات از قبل مشخص به کار می‌رود (لو و تارتاکوفسکی[3]، ۲۰۲۰). در این رویکرد به کمک یک ماتریس حالات سیستم متناسب با دوره‌های زمانی مختلف به یکدیگر مرتبط می‌شوند. بر اساس این رابطه می‌توان بر اساس گذشته سیستم رفتار آتی آن را مورد پیش‌بینی و بررسی قرار داد. در تجزیه حالت پویا، تعدادی مود[4] یا حالت برای سیستم محاسبه می‌شود که می‌تواند متناظر با دوره‌های رشد و نزول باشد. ترکیب این دوره‌های رشد و نزول یا انبساط و انقباض رفتار نوسانی و تناوبی را به وجود می‌آورد که می‌تواند برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده مورداستفاده قرار گیرد. درواقع جواب نهایی سیستم یک تابع‌نمایی می‌باشد که توان آن ترکیبی از چند جمله مثلثاتی می‌باشد که می‌تواند دوره‌های رشد و نزول سیستم را شبیه‌سازی کند (منینگ و بالدیک[5]، ۲۰۱۹). رفتار

1. Mann & Kutz
2. Schmidt
3. Lu & Tartakovsky
4. mode
5. Manning & Baldick

قیمت سهام هم یکی از سیستم‌های پویای پیچیده می‌باشد که میزان این پیچیدگی از عدم توانایی مدل‌های کلاسیک برای پیش‌بینی مناسب آن در زمان‌های آتی مشخص است. به بیان دقیق درصورتی‌که n سهم در سبد سهام باشد موقعیت سیستم در هر لحظه از زمان یک بردار n تائی می‌باشد که شامل n بازده می‌باشد. درگذر زمان بازده‌ها عوض می‌شود و بنابراین با یک سیستم پویا مواجه هستیم. در پژوهش حاضر برای مدل‌سازی این سیستم از تجزیه حالت پویا استفاده می‌شود که توانایی بالایی در مدل‌سازی سیستم‌های بدون معادله حاکم دارد. با تقریب پارامترهای مدل می‌توان از آن برای پیش‌بینی آتی استفاده کرد. درواقع پارامتر اصلی مدل وقفه بهینه برای تعیین تعداد زمان‌های لازم برای یک دوره مدل‌سازی می‌باشد.

اهمیت موضوع پیش‌بینی ارزش و تغییرات دارایی‌های مالی برای سرمایه‌گذاران بر کسی پوشیده نیست. پیش‌بینی بادقت مناسب می‌تواند از ضرر سرمایه‌گذاران جلوگیری کرده و اعتماد به بازارهای مالی را افزایش دهد. در پژوهش حاضر نیز یک مدل پیش‌بینی کوتاه‌مدت ارائه می‌شود. همچنین پویایی حاکم بر تغییرات قیمت سهام بسیار پیچیده می‌باشد. توانایی روش تجزیه حالت پویا در مدل‌سازی سیستم‌های پویای پیچیده، باعث روند روبه‌رشد استفاده از آن گردیده است. این روش بر داده‌های سیستم استوار است و مدل را از داده‌ها مستخرج می‌کند و می‌توان گفت ارائه یک سیستم معاملاتی بر پایه مدل استخراج‌شده با پارامترهایی که مورد بهینه‌سازی قرار خواهند گرفت، میزان قابلیت اعتماد به روش تجزیه حالت پویا را به‌صورت عملی و صریح بیان می‌کند؛ بنابراین می‌توان قابلیت استفاده عملی از این روش را در جهت سودآوری آزمود.

لذا یکی از خلأهایی که مشاهده می‌شود، نبود تحقیقی با این عنوان است که مدل، چهارچوب و الگوی جامعی برای آن وجود ندارد. هرچند تحقیقاتی اما پژوهشی با عنوان "طراحی و تبیین مدلی برای تجربه دیجیتال کارکنان بانک ملی" انجام نشده است.

باقیمانده این مقاله به صورتی که مشخص شده است سازماندهی می‌شود: در بخش دوم مبانی نظری و پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در بخش سوم، روش تحقیق و جزئیات مربوط به آن بیان می‌شود. در بخش چهارم، نتایج به‌کارگیری روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. در نهایت نتیجه‌گیری کلی ارائه می‌شود.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

سامانه مجموعه یا گروهی از اشیاء مرتبط یا غیرمرتبط است که هدف یا اهدافی خاص را دنبال می‌کنند، به‌گونه‌ای که واحدی پیچیده را تشکیل می‌دهند (دری و همکاران[1]، ۲۰۱۹). اصطلاح "سیستم"ریشه در واژه یونانی دارد که به معنی "باهم جای‌دادن" است. سیستم، مجموعه‌ای است از عناصر به هم مرتبط که برای نیل به هدف مشترک باهم در تعامل هستند (اشنایدر[2]، ۲۰۱۹) یک سامانه معمولاً دربرگیرنده بخش‌ها و عناصری است که به‌هم‌پیوسته شده‌اند تا جریان و روند داده‌ها، ماده یا انرژی را آسان‌تر سازند. یک سامانه معمولاً واحدهایی دارای برهم‌کنش دارد که برای آن‌ها می‌توان الگوهای ریاضی تشکیل داد (لینچ[3]، ۲۰۱۸).

مهم‌ترین نکته‌ای که در نگاه به سیستم‌ها همواره باید در خاطر داشته باشیم این است که سیستم‌ها در دنیای واقعی کاملاً درهم‌تنیده و یکپارچه هستند و آنچه به‌عنوان مرز یا اجزای سیستم تعریف می‌شود، صرفاً مدل ساده‌شده‌ای از واقعیت است. این مدل‌ها به ما در شناخت بهتر اطرافمان کمک می‌کنند. وقتی‌که با سیستم‌ها سروکار داریم، بهتر است آن‌ها را به‌صورت اجزایی که با یکدیگر ارتباط دارند ببینیم. درنظرداشتن این مدل، می‌تواند در تحلیل شرایط و تصمیم‌گیری‌ها به ما کمک کند. تغییر در یکی از اجزای سیستم، می‌تواند در تمام سیستم موردنظر گسترش پیدا کند. سیستم موردنظر ما با تعیین مرزهایش مشخص می‌شود. آنچه بیرون از مرزهای سیستم است را محیط یا زمینه آن گویند و آنچه در داخل مرزهای سیستم است را اجزای سیستم یا زیرسیستم‌ها می‌نامند. هر یک از زیرسیستم‌ها دارای اجزایی هستند که برای رسیدن به هدف آن زیرسیستم باهم دیگر تعامل دارند (راموس و همکاران[4]، ۲۰۲۰). می‌توان گفت سیستم پویا[5] در ریاضیات و حل مسائل صنعتی، اجتماعی و مدیریتی، به سامانه‌هایی گفته می‌شود که حالت آن‌ها بازمان تغییر می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، در آن‌یک تابع نحوه وابستگی نقاطی از یک فضای هندسی را به زمان توصیف می‌کند. مثالی از یک سیستم پویا وابستگی زمانی نقاط مختلف یک آونگ متحرک یا آب جاری در یک لوله است. برای هر زمان معین، یک سیستم پویا، یک "حالت" دارد که می‌توان آن را با مجموعه‌ای از اعداد حقیقی (یک بردار) که به‌وسیله یک نقطه در یک "فضای حالت" مناسب (یک منیفلد هندسی) نشان داده می‌شود بیان کرد. برای هر تغییر کوچک در حالت سیستم پویا، یک تغییر کوچک در اعداد متناظر داریم. منشأ مفهوم سیستم پویا به

1. Dori *et al.*
2. Schneider
3. Lynch
4. Ramos *et al.*
5. Dynamical system

مکانیک نیوتونی برمی‌گردد. پیدایش مفاهیم مربوط به سامانه‌های پویای از کارهای وسیع و اساسی پوانکاره درباره مکانیک اجرام آسمانی حدود یک قرن پیش شروع شد (میس[1]، ۲۰۰۷). تحلیل پویایی سیستم‌ها یا تحلیل سیستم‌های پویا و نیز پویایی‌شناسی سیستم‌ها، هر سه معادل هستند. دانشی که گاهی اوقات، با تفکر سیستمی اشتباه گرفته می‌شود. البته تفکر سیستمی زیربنای تحلیل پویای سیستم‌هاست؛ اما این‌که دانشی زیربنای دانش دیگر باشد، با این‌که آن دو را یکسان فرض کنیم تفاوت دارد. پویایی سیستم‌ها، به رفتار سیستم‌ها در طول زمان توجه می‌کند. مهم‌ترین تفاوت تفکر سیستمی و پویایی سیستم‌ها هم چنان‌که از پیشوند پویایی پیداست، توجه ویژهٔ پویایی سیستم به زمان است. صفت پویا و اصطلاحاتی مانند پوینده بودن به تغییر در طول زمان اشاره دارند. به همین علت، هرگاه می‌گویند باید پویایی این سیستم را بررسی کنیم، منظور این است که باید رفتار ویژگی‌های آن در طول زمان بررسی‌شده و تغییرات آن‌ها، زیر نظر گرفته شود. پویایی سیستم، بر پایهٔ نگاه کمّی شکل‌گرفته است تفکر سیستمی به ساختار سیستم‌ها و ارتباط میان اجزای سیستم توجه دارد و شکل کلی رفتار سیستم را مدنظر قرار می‌دهد (کوتیچیرا و همکاران[2]، ۲۰۱۷). سیستم‌های خطی سیستم‌هایی هستند که عملکرد آن‌ها به حالت آن‌ها بستگی نداشته باشد. یعنی تنها با دانستن نقطه ابتدایی حرکت می‌توانیم تمامی موقعیت‌های آینده آن را بدانیم. عملکرد یک سیستم خطی پویای، تنها به نقطه اولیه آن مربوط است و به حالت و موقعیت آن در زمان‌های مختلف بستگی ندارد. سیستم‌های پویای غیرخطی و حتی سیستم‌های خطی گسسته، می‌توانند از خود رفتار کاملاً غیرقابل‌پیش‌بینی نشان دهند. چنین رفتاری، ممکن است تصادفی به نظر برسد، علی‌رغم این حقیقت که اساساً حتمی هستند (امکان وجود حالت تصادفی در آن وجود ندارد). این رفتار غیرقابل‌پیش‌بینی، آشوب خوانده می‌شود. سیستم‌های خطی سیستم‌هایی هستند که عملکرد آن‌ها به حالت آن‌ها بستگی نداشته باشد. یعنی تنها با دانستن نقطه ابتدایی حرکت، می‌توانیم تمامی موقعیت‌های آینده آن را بدانیم. عملکرد یک سیستم خطی پویای، تنها به نقطه اولیه آن مربوط است و به حالت و موقعیت آن در زمان‌های مختلف بستگی ندارد. سیستم‌هایی که در آن‌ها یک رابطه خطی میان سرعت و موقعیت برقرار می‌شود، سیستم ای خطی به شمار می‌آیند. تکامل تدریجی سیستم‌های دینامیکی خطی نیز فرآیندی خطی است. اگر دو جواب برای سیستم خطی داشته باشیم مجموع آن‌ها نیز یک جواب برای سیستم است. همچنین سیستم‌های خطی از این قابلیت برخوردار هستند که آن‌ها را می‌توان با تجزیه مسئله به اجزا کوچک‌تر مورد بررسی قرار داده و سپس با جمع‌بندی نتایج، به تحلیل کلی آن‌ها اقدام کرد و این ازجمله مواردی است که تحلیل سیستم‌های خطی

1. Meiss
2. Kuttichira *et al.*

را آسان می‌سازد (مانند آنالیز فوریه، مباحث برهم‌نهی). درنهایت می‌توان گفت که تجزیه‌وتحلیل معادلات مربوط به این سیستم‌ها شناخته‌شده است (لینچ، ۲۰۱۸).

یکی از رویکردهای پرکاربرد در زمینه مدیریت ریسک استفاده از سبد سهام می‌باشد. سبد سهام یا پورتفوی به مفهوم انتخاب چندین دارایی به‌جای سرمایه‌گذاری تنها بر روی یک دارایی می‌باشد. وجود چندین دارایی این امکان را می‌دهد که بتوان با مشخص نمودن وضعیت سهم هر دارایی در سبد سهام، ریسک کل سبد سهام را در حداقل ممکن قرار دارد. البته کاهش ریسک متضمن قبول این واقعیت می‌باشد که بازده نیز کاهش خواهد یافت. درواقع برای رسیدن به یک سبد سهام با بازده مشخص تعداد زیادی سبد سهام می‌توان تشکیل داد. اما سبد سهام بهینه در مرز کارایی قرار دارد. به این مفهوم که از میان تمام سبدهایی که در یک سطح بازده هستند دارای کمترین ریسک ممکن می‌باشد. ازنقطه‌نظر عملیاتی تعیین سبد سهام بهینه به مفهوم انتخاب وزن مناسب دارایی‌ها در سبد می‌باشد. فرض کنیم که دارایی‌هایی که نامزد ورود به سبد سهام هستند، همگی به‌صورت انفرادی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. در این صورت ازآنجاکه توزیع مجموع وزنی این متغیرها هم از توزیع نرمال پیروی می‌کند می‌توان با تنظیم مناسب اوزان به یک متغیر تصادفی رسید که نشان‌دهنده بازده سبد می‌باشد و این متغیر دارای بازده مورد انتظار است و بعلاوه در کمترین میزان ریسک ممکن قرار دارد (کاپینسکی و زاستونیاک[1]، ۲۰۰۳). مسئله انتخاب سبد سهام بهینه می‌تواند با محدودیت‌های زیادی از طرف سرمایه‌گذار مواجه باشد و ازاین‌رو پیاده‌سازی عملی آن با چالش‌های تکنیکی همراه باشد. به‌عنوان‌مثال سرمایه‌گذار می‌تواند انتظار حداقل بازده ای را از سبد داشته باشد که قطعاً این مقدار بیشتر از نرخ بازده بدون ریسک در همان افق زمانی است که سبد نگهداری می‌شود. یا به‌عنوان نمونه کاربر می‌تواند سبد را با محدودیت وزن مواجه کند به صورتی که انتظار داشته باشد سهم هر دارایی در سبد سهام از مقدار خاصی بیشتر نشود. بر اساس این محدودیت‌ها و محدودیت‌های دیگری مانند تک دوره‌ای بودن یا چند دوره‌ای بدون سبد سهام یا امکان و یا عدم امکان برداشت از سبد در طول دوره سرمایه‌گذاری، مدل‌های مختلفی از سبد سهام توسعه داده شده‌اند و یکی از شاخه‌های مهم در مالی و مهندسی مالی می‌باشد (راموس و همکاران،۲۰۲۰).

در نظام بانکی برای دریافت یک واحد پول سود، نیاز است تا میزان مشخصی سرمایه‌گذاری شود. به‌عنوان نمونه درصورتی‌که نرخ بهره برابر ۲۰ درصد باشد، برای دریافت یک واحد پول سود نیاز است تا ۵ ریال پس‌انداز گردد. این در حالی است که در بازار سرمایه قانون از پیش نوشته‌ای وجود ندارد و بعضاً برای دریافت بک واحد سود نقدی نیاز است تا چندین برابر پولی که در نظام پولی یا بانکی پس‌انداز

1. Capinski & Zastawniak

می‌گردد، سرمایه‌گذاری گردد و گاهی نیاز است تا مقدار کمتری پس‌انداز گردد. دلیل این مطلب آن است که منشأ سود در بازار سهام علاوه بر سود نقدی تغییرات قیمتی هم می‌باشد. یک سرمایه‌گذار می‌تواند سهامی را خریداری کند و زمانی که به قیمت مناسب رسید آن را بفروشد بدون اینکه نیاز باشد تا رسیدن به سررسید دریافت سود نقدی صبر کند. به سهم‌هایی که تغییرات قیمتی آن‌ها عامل غالب برای جذب و خرید آن‌ها می‌باشد سهام رشدی و به سهم‌هایی که دریافت سود نقدی عامل اساسی در معامله آن‌ها می‌باشد، سهام ارزشی گفته می‌شود. علاوه بر دو مورد مذکور یعنی سود نقدی و تغییرات قیمتی به افزایش سرمایه نیز می‌توان اشاره کرد. در مواقعی که شرکت سود انباشته مناسبی ندارد و یا می‌خواهد که منابع مالی جدید به شرکت وارد کند از محل آورده نقدی سهام‌داران اقدام به افزایش سرمایه می‌کند. به دلیل اینکه افزایش سرمایه از این روش، نیازمند تأمین منابع جدید از سوی سهام‌داران فعلی شرکت است، شرکت حق استفاده و حضور در آن را ابتدا به سهام‌داران شرکت می‌دهد. به این صورت که اوراقی تحت عنوان حق‌تقدم سهام در اختیار سهام‌داران فعلی قرار می‌گیرد. سهام‌دار در مدت‌زمان مجاز برای معاملات این اوراق که معمولاً ۲ ماه است و به آن مهلت پذیره‌نویسی گفته می‌شود، می‌تواند یا مبلغ اسمی سهام را پرداخت کند و از تفاوت قیمتی آن باارزش بازاری استفاده کند که منشأ سود است با حق‌تقدم خود را بفروش برساند که در این صورت نیز عایدی به دست خواهد آورد و بنابراین بازه سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد. همچنین در افزایش سرمایه روشی موسوم به‌صرف سهام نیز وجود دارد که در این روش، شرکت سهام خود را به مبلغی بیش از قیمت اسمی و از طریق پذیره‌نویسی به فروش رسانده و تفاوت حاصل از قیمت فروش و قیمت اسمی سهام را، به‌حساب اندوخته منتقل و یا در ازای آن سهام جدید، به سهام‌داران قبلی می‌دهد و بنابراین باعث افزایش بازدهی آن‌ها می‌شود (منینگ و بالدیک، ۲۰۱۹)؛ بنابراین مفهوم بازده وابسته به سه کمیت می‌باشد. یکی مقدار اولیه سرمایه‌گذاری یا پس‌انداز می‌باشد. دوم عواید ایجادشده از سرمایه‌گذاری اولیه که می‌تواند شامل هر یک از مواردی باشد که در بالا به آن اشاره گردید و مورد سوم مفهوم زمان در تعریف بازده می‌باشد. قطعاً فرآیند سرمایه‌گذاری اولیه تا دریافت عواید در یک بازه زمانی اتفاق افتاده که بازده نیز در آن بازه تعریف می‌گردد. به‌عنوان نمونه منظور از بازده ماهیانه بازده حاصل‌شده در مدت یک ماه می‌باشد؛ بنابراین برای تعریف بازده، تفاوت عواید حاصل از سرمایه‌گذاری در پایان دوره و سرمایه‌گذاری اولیه محاسبه و بر مقدار سرمایه اولیه تقسیم می‌گردد تا مقدار برحسب درصد محاسبه گردد (هوآ و همکاران[1]، ۲۰۱۶).

1. Hua *et al*.

پیشرفت اقتصادی هر کشور در گرو تولید و تولید نیازمند به سرمایه‌گذاری می‌باشد. تأمین مالی بخش‌های تولیدی – خدماتی همواره در سیاست‌های اقتصادی هر کشور از جایگاه ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. دریافت وام از نظام بانکی که متضمن تحمل هزینه بهره می‌باشد، یکی از راه‌های تأمین مالی می‌باشد. در این رویکرد سیستم بانکی جدا از وضعیت اقتصادی و شرایط حاکم بر بازار و شرکت‌ها، بهره خود را در سررسیدی مشخص تقاضا می‌کند. بر همین اساس، تأمین مالی از طرق آورده سرمایه‌گذارانی که حاضرند بر اساس سود حاصل‌شده در شرایط اقتصادی مختلف کسب سود کنند از جایگاه ویژه‌ای برای تولیدکنندگان برخوردار است (لطیفی بنماران و سعیدی، ۱۳۹۷)؛ بنابراین بورس اوراق بهادار به‌عنوان پلی بین سرمایه‌گذاران و شرکت‌های تولیدی و خدماتی نقش بسیار مهمی را در اقتصاد هر کشور بازی می‌کند و امکان جذب سرمایه‌ها (حتی سرمایه‌های خرد) را به‌صورت مستقیم به بدنه تولیدی کشور فراهم می‌کند. بدین صورت شرکت‌های تولیدی که نیاز به سرمایه‌دارند می‌توانند در این بازار آن را به‌صورت مستقیم به دست آورند و سرمایه‌گذاران نیز می‌توانند در یک فضای رقابتی به ارزش‌گذاری قیمت سهام خود بپردازند، آن را نقد کرده یا سهام جدیدی خریداری کنند. شرکت‌های بورسی نیز در ازای سرمایه‌ای که در اختیار می‌گیرند باید از حقوق سهام‌دار حمایت کرده و باارزش آفرینی و بهینه‌سازی بتوانند زمینه را برای دریافت سود مناسب سهام‌داران حفظ کنند. همچنین ارائه گزارش مالی شفاف و دقیق از دیگر تعهدات شرکت‌ها در برابر سرمایه‌گذاران می‌باشد. گزارش‌هایی که در آن به‌صورت مناسب و حقیقی سود مورد انتظار و سود محقق شده برای سهام‌داران تشریح می‌گردد تا آن‌ها با یک دید باز و نزدیک به واقعیت در مورد سیاست‌های سرمایه‌گذاری خود تصمیم بگیرند و در این میان سازمان بورس بر اجرای این تعهدات نظارت دارد (فلاح‌پور و حکیمیان، ۱۳۹۸).

فرخ (۱۴۰۰) در پژوهش خود با عنوان "انتخاب سبد سهام فازی با بررسی هم‌زمان بازده و ریسک نامطلوب" بیان کرد که مسئله بهینه‌سازی و انتخاب سبد سهام و تنوع‌بخشی آن‌یکی از موضوعات جذاب و کاربردی در بازارهای مالی است که به‌عنوان ابزاری کارآمد در راستای کمک به تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاران از نتایج آن استفاده می‌شود. مقاله حاضر به مدل‌سازی انتخاب سبد سهام با درنظرگرفتن محدودیت حدود نسبت‌های سرمایه‌گذاری جهت بهینه‌سازی هم‌زمان بازده و ریسک در شرایط عدم اطمینان فازی می‌پردازد. برای این منظور، دو مدل برنامه‌ریزی امکانی جدید با به‌کارگیری اندازه‌های میانگین و ریسک نامطلوب احتمالی و امکانی بازده فازی توسعه داده می‌شود. با بررسی عملکرد این مدل‌ها با استفاده از داده‌های مارکویتز و بورس اوراق بهادار تهران، نتایج نشان می‌دهد که این مدل‌ها قادر هستند با بهینه‌سازی هم‌زمان بازده و ریسک، سبد سهام مناسب را با توجه

مقادیر مختلف حدود نسبت‌های سرمایه‌گذاری بر اساس گرایش‌ها و استراتژی‌های مختلف سرمایه‌گذاران ارائه دهد.

سارنج و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان"طراحی سیستم معاملات تکنیکی سهام با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی MLP و الگوریتم‌های تکاملی" بیان کردند که توسعه سیستم‌های معاملاتی سهام با استفاده از الگوریتم‌های تکاملی طی چند سال اخیر به موضوعی پرمخاطب در حوزه مالی مبدل شده است. در پژوهش حاضر، سیستم معاملاتی تکنیکی هوشمند با بهره‌گیری از مدلی مرکب از شبکه عصبی MLP و الگوریتم‌های تکاملی شامل الگوریتم ژنتیک، الگوریتم بهینه‌سازی مورچگان پیوسته و الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات پیشنهادشده است. داده‌های مربوط به ۱۵ شرکت منتخب طی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۶ بر اساس دوره‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت و همچنین روندهای بازار صعودی، نزولی و خنثی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جهت انتخاب متغیرهای ورودی نهایی، از مقایسه رتبه بازدهی شاخص‌های تکنیکی بر اساس قواعد معاملاتی استفاده‌شده است. درنهایت، آزمون مقایسه زوجی بازدهی مدل‌ها در مقایسه با استراتژی خرید و نگهداری انجام شد و بازده مدل‌ها با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد مدل‌های ترکیبی شبکه عصبی MLP و الگوریتم‌های تکاملی عملکرد بهتر و معناداری نسبت به روش خرید و نگهداری و مدل شبکه عصبی MLP الگوریتم پس انتشار داشته است و مدل شبکه عصبی MLP بهینه‌سازی ذرات بازدهی بیش‌تری نسبت به سایر مدل‌ها کسب کرده است.

یافتیان و رستگار (۱۳۹۹) در پژوهشی با عنوان"طراحی یک سیستم معاملاتی خودکار با استفاده از شبکه عصبی پیچشی" به بررسی طراحی یک سیستم معاملاتی خودکار پرداختند. بدین منظور، در ابتدا پس از دریافت داده‌های موردنیاز برای سهام منتخب، ۲۸ اندیکاتور تحلیل تکنیکال انتخاب و مقادیر هرکدام به‌صورت جداگانه برای هر سهم محاسبه شد. سپس سری‌های زمانی این اندیکاتورها به تصاویر دو بعدی تبدیل شده و در نتیجه برای هر داده روی سری زمانی قیمت سهم، یک تصویر دوبعدی با ابعاد ۲۸×۲۸ ساخته شد. پس از برچسب‌گذاری هر تصویر با یکی از برچسب‌های خرید، فروش و نگهداری، این تصاویر به شبکه عصبی پیچشی وارد شدند. نتایج نشان داد که تأثیر زیاد کارمزد معاملات بورس اوراق بهادار تهران بر روی بازدهی مدل است. به‌گونه‌ای که مدل چندبرابر سود کسب شده را برای پرداخت کارمزد از دست می‌دهد. دولو و مسکینی مود (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان "بررسی عملکرد استراتژی معاملاتی مبتنی بر غلبه تصادفی" به بررسی عملکرد استراتژی معاملاتی مبتنی بر غلبه تصادفی در بورس اوراق بهادار تهران پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش حاکی از بازدهی مثبت و معنادار پرتفوی‌های آربیتراژی مبتنی بر غلبه تصادفی است. همچنین، بازدهی پرتفوی‌های غلبه تصادفی

پس از تعدیل بابت ریسک (بازار، اندازه، ارزش، نقدشوندگی و مومنتوم) کماکان به لحاظ آماری معنادار و مثبت است. بدین نحو، قیمت‌گذاری عامل غلبه تصادفی در بورس اوراق بهادار تهران تأیید گردید. لازم به ذکر است نتایج حاصل از پژوهش به‌شدت تحت‌تأثیر مسئله معامله اندک است. لطیفی بنماران و سعیدی (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان " آزمون رویکرد پویایی سیستم‌ها در شناسایی عوامل تأثیرگذار بر حباب قیمتی بورس اوراق بهادار تهران" به بررسی حباب در بورس اوراق بهادار تهران از دیدگاه نظریه سیستمی و با استفاده از یکی از متدولوژی‌های این نظریه، با نگاهی مبتنی بر پویایی سیستم‌ها به تحلیل علل تغییرات شدید در شاخص قیمت بورس پرداختند و سپس عواملی که می‌تواند بر دامنه این نوسانات بیفزاید و آن را به حباب بورس تبدیل کند بررسی کردند. فلاح‌پور و حکیمیان (۱۳۹۸) در پژوهشی با عنوان "بهینه‌سازی استراتژی معاملات زوجی با استفاده از روش یادگیری تقویتی، با به‌کارگیری دیتاهای درون روزی در بورس اوراق بهادار تهران" از روش یادگیری تقویتی که برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی مسائل با انواع مختلف روابط بلندمدت مناسب است، به‌منظور انتخاب آستانه‌های معاملاتی و پنجره‌های زمانی مناسب باهدف ماکزیمم سازی بازده و مینیمم ریسک‌های منفی در معاملات زوجی با رویکرد هم انباشتگی استفاده کردند. نتایج آزمایش روی دیتاهای درون روزی زوج سهام منتخب، نشان داد که استفاده از روش یادگیری تقویتی در طراحی سیستم معاملات در معاملات زوجی نسبت به کارهای قبلی انجام‌شده، برتری چشمگیری داشت. استراتژی معاملات زوجی با الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان استراتژی بازار خنثی در تمامی شرایط بازار اعم از رونق و رکود توسط سرمایه‌گذاران و معامله‌گران حقیقی و حقوقی استفاده شود. همچنین می‌توان درنظرگرفتن هزینه‌های معاملاتی در انجام معاملات در استراتژی معاملات زوجی را به‌عنوان موضعی برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد کرد. رئوفی و محمدی (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان "پیش‌بینی بازده بازار سهام تهران با استفاده از ترکیب تجزیه موجک و شبکه عصبی فازی تطبیقی" ساختاری برای پیش‌بینی سری‌های زمانی ارائه کردند که با استفاده از رویکرد محاسبات نرم این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان بادقت بیشتر مقادیر آینده یک سری زمانی را پیش‌بینی کرد. ین و همکاران[1] (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان" همبستگی و پیش‌بینی سهام مبتنی بر نمودار برای سیستم‌های معاملاتی با فرکانس بالا "بیان کردند که این مقاله، یک سیستم کمی با فرکانس بالا را پیاده‌سازی کرده است که می‌تواند بازدهی پایدار را برای بازار سهام چین که بیش از ۳ ماه در حال اجرا است به دست آورد. تعدادی از قوانین و موانع در بازار سهام چین وجود دارد مانند محدودیت‌های معاملاتی و کارمزدهای بالا و همچنین ابزارهای

1. Yin *et al.*

پوشش‌دهی کمیاب و گران‌قیمت. دستیابی به بازده مطلق ثابت در چنین بازاری دشوار است. نتایج نشان می‌دهد که تجزیه‌وتحلیل همبستگی سهام و پیش‌بینی قیمت نقش مهمی برای دستیابی به هر معامله سودآور دارد. مدیریت پرتفوی و تصمیمات معاملاتی به‌شدت به نتایج تحلیل همبستگی سهام و پیش‌بینی قیمت بستگی دارد.

ژانگ و همکاران[1] (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان"یک سیستم معاملاتی خودکار برای مشکل بهینه‌سازی سبد سهام با سفارش‌های فروش" بیان کردند که سیستم معاملاتی برای مشکل اوراق بهادار فازی با سفارش‌های فروش پیشنهاد شده است. در این پژوهش یک الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای حل مدل پیشنهادی طراحی شده است. یک استراتژی سرمایه‌گذاری بهینه بر اساس نسبت ارزش در معرض ریسک فازی انتخاب می‌شود. این مقاله با مسئله بهینه‌سازی پرتفوی با سفارش‌های فروش سروکار دارد که در آن سرمایه‌گذار به‌محض اینکه قیمت آن‌ها به آستانه فروش ازپیش‌تعیین‌شده برسد، فوراً دارایی‌های پرریسک را خواهد فروخت. با جداشدن از مدل‌های سنتی سبد سهام, سرمایه‌گذار نه‌تنها باید یک نسبت سرمایه‌گذاری را تعیین کند، بلکه باید یک آستانه فروش برای هر دارایی پرریسک تعیین کند این پژوهش مسئله پورتفولیو را به‌عنوان یک مسئله تصمیم متوالی فرمول‌بندی می‌کند و یک سیستم معاملاتی خودکار با سه مرحله را برای تعیین استراتژی سرمایه‌گذاری در ابتدای هر دوره ارائه می‌دهد. در مرحله ۱، بازگشت یک استراتژی سرمایه‌گذاری را به‌عنوان یک عدد فازی قدرت LR بر اساس داده‌های تاریخی فرمول‌بندی می‌کند و یک مدل بهینه‌سازی پرتفوی میانگین – نیمه واریانس فازی با سفارش‌های فروش ارائه می‌دهد. در مرحله ۲، یک الگوریتم ژنتیک چندمنظوره را برای حل مدل پیشنهادی طراحی می‌کند. در مرحله ۳، یک استراتژی سرمایه‌گذاری بهینه را در میان راه‌حل‌های کارآمد بر اساس نسبت ارزش در معرض ریسک فازی انتخاب می‌کند. علاوه بر این، این مقاله دو مطالعه موردی را در بازار سهام واقعی انجام می‌دهد تا اثربخشی و کارایی مدل و الگوریتم پیشنهادی را نشان دهد. نتایج مقایسه نشان می‌دهد که سیستم معاملاتی پیشنهادی عملکرد بهتری در خارج از نمونه نسبت به سیستم‌های دیگر دارد.

راموس و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان "مقایسه تجزیه حالت پویا و یادگیری عمیق در مدل‌سازی جریان داده‌ها"، به مقایسه دو روش تجزیه حالت پویا و یادگیری عمیق در مدل‌سازی جریان داده برای داده‌های ویدئویی پرداختند. رویکرد مورداستفاده در یادگیری عمیق استفاده از شبکه‌های عصبی پیچشی می‌باشد. نتیجه تحقیق با دو معیار پیچیدگی محاسباتی و دقت برآوردنشان می‌دهد که تجزیه حالت پویا دارای عملکرد بهتری بوده است و این عملکرد در افق‌های زمانی کوتاه‌مدت دارای

1. Zhang *et al.*

دقت بالاتری می‌باشد. لو و تارتاکوفسکی (۲۰۲۰) در پژوهشی با عنوان "بررسی دقت پیش‌بینی تجزیه حالت پویا"، به توسعه نظری یک معیار برای اندازه‌گیری خطای پیش‌بینی حاصل از تجزیه حالت پویا اقدام کردند. این معیار می‌تواند از سیستم‌های خطی به سیستم‌های غیرخطی گسترش یابد. نتیجه چند شبیه‌سازی نشان می‌دهد که این معیار خطا می‌تواند دقت پیش‌بینی را نسبت به دیگر اعضای خانواده تجزیه حالت ویژه افزایش دهد. پیش‌بینی‌های صورت‌گرفته بر اساس تجزیه حالت پویا به کمک این معیار دارای دقت بالاتری نسبت به رویکرد "انتخاب صحیح پایه متعامد" دارد. در رویکرد انتخاب صحیح پایه متعامد پیش‌بینی به کمک تجزیه فرایند به دو بخش مستقل عنصر–زمان صورت می‌گیرد. منینگ و بالدیک (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "پیش‌بینی شرایط جوی کوتاه‌مدت به کمک تجزیه حالت پویا"، از تجزیه حالت پویا برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت شرایط جوی استفاده کردند. در این حالت ورودی‌های سیستم تصاویر ویدئویی از وضعیت حرکت ابرها می‌باشد و هدف پیش‌بینی پارامتری تحت عنوان شاخص آسمان پاک می‌باشد. نتیجه مدل‌سازی نشان می‌دهد که رویکرد تجزیه حالت در افق‌های زمانی کوتاه‌مدت دارای دقت بالایی می‌باشد. بعلاوه نتایج نشان می‌دهد که مدهای اصلی سیستم تا حد زیادی تغییرات حالت سیستم را توجیه می‌کنند. آواجان و همکاران[1] (۲۰۱۹) در پژوهشی با عنوان "پیش‌بینی قیمت سهام با استفاده از تجزیه حالت پویا"، برای پیش‌بینی سهام از ترکیب روش تجزیه حالت پویا و فن هالت–وینتر استفاده کردند. در ابتدا قیمت به مودهای ذاتی خود و باقی‌مانده‌ها تبدیل می‌شود و در ادامه هر جز توسط تکنیک هالت–وینتر پیش‌بینی می‌شود و درنهایت از مجموع دو قسمت برای پیش‌بینی استفاده می‌شود. محققین بیان می‌کنند که روش مورداستفاده در پیش‌بینی سری‌های زمانی غیرخطی از قدرت مناسبی برخوردار است و نتیجه پژوهش بر روی داده‌های تست نیز نشان می‌دهد که دقت مدل از هفت روش دیگر ازجمله روش آریما و گارچ بهتر می‌باشد. کوتیچیرا و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان "پیش‌بینی قیمت سهام به کمک تجزیه حالت پویا، با استفاده از روش تجزیه حالت پویا" به مدل‌سازی بدون معادله قیمت سهام پرداختند. در این رویکرد با استفاده از مقادیر و بردارهای ویژه ساختار پویای حرکت قیمت در طول زمان شبیه‌سازی می‌شود. سپس با استفاده از مدل قیمت حاصل‌شده به پیش‌بینی قیمت برای نمونه‌های تصادفی مختلف از یک صنعت یا ترکیب چند صنعت اقدام کردند. نتیجه کار نشان می‌دهد که در معیار میانگین مربعات خطا روش تجزیه حالت دارای دقت بالاتری نسبت به روش آریما بوده است و همچنین نمونه‌های ترکیبی از چند صنعت دارای نتیجه بهتری بوده‌اند. کویی و لانگ[2] (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان "استفاده از تجزیه حالت پویا برای یک

1. Awajan *et al.*
2. Cui & Long

سیستم معاملاتی در بورس چین"، با استفاده از رویکرد تجربه حالت پویا به مدل‌سازی تحولات زمانی قیمت سهام در بازار سهام چین پرداختند. آن‌ها دو استراتژی معاملاتی بر اساس تجزیه حالت پویا ارائه کردند که نتیجه کار آن‌ها نشان می‌دهد که استراتژی زمان‌بندی در بازارهای نوسانی و فاقد روند بلندمدت دارای کارایی مناسبی می‌باشد و در بازارهای دارای روند صعودی نمی‌تواند بر استراتژی میانگین متحرک غلبه کند. در ادامه آن‌ها به کمک تست SPA[1] توانستند کارایی مدل تجزیه حالت را به‌صورت قابل‌ملاحظه‌ای گسترش دهند و مدهای اصلی سیستم را بر اساس نظریه کوپمن[2] بازتولید کنند.

پیشینه تحقیقات نشان می‌دهد از تجزیه حالت پویا به‌عنوان ابزاری برای پیش‌بینی‌های کوتاه‌مدت استفاده می‌شود. همچنین در تعداد انگشت‌شماری از تحقیقات به استفاده از تجزیه حالت پویا در طراحی سیستم‌های معاملاتی توجه شده است. مطالعه پیشینه تحقیقات نشان می‌دهد که استفاده از تجزیه حالت پویا و طراحی سیستم معاملاتی بر پایه آن تاکنون در تحقیقات داخلی صورت نگرفته است و پژوهش حاضر برای اولین‌بار اقدام به این کار می‌کند.

در همین راستا باتوجه‌به ادبیات مطرح شده در بالا سؤال‌های پژوهش عبارت‌اند از:

۱- چگونه می‌توان به کمک تجزیه حالت پویا، سیستم پویای حاکم بر تغییرات قیمت سهام را محاسبه کرد؟

۲- دقت پیش‌بینی روش تجزیه حالت پویا در پیش‌بینی بازده سبد سهام و سودآوری سیستم معاملاتی شکل‌گرفته بر اساس آن چگونه است؟

۳- روش‌شناسی پژوهش

روش تحقیق در این پژوهش توصیفی-تحلیلی است. این تحقیق بر اساس هدف یک تحقیق کاربردی است. هدف اصلی پژوهش حاضر مدل‌سازی رفتار بازده ای یک سبد سهام بر اساس روش تجزیه حالت پویا و استفاده از آن برای پیش‌بینی و درنهایت ارائه یک سیستم معاملاتی و بررسی سودآوری آن در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد. در تجزیه حالت پویا معادله سیستم، ترکیبی از مقادیر ویژه و بردارهای وِیژه یک ماتریس خاص می‌باشد که این مقادیر توسط الگوریتم تجزیه مقدار ویژه محاسبه می‌شود. وقفه بهینه برای مشخص‌کردن اندازه زمانی لازم مدل‌سازی سیستم پویا تغییرات بازده سبد سهام پارامتری است که بر روی داده‌های آموزشی محاسبه خواهد شد. برای مدل‌سازی و

1. Superior Predictive Ability
2. Koopman

بررسی سودآوری سیستم معاملاتی شکل‌گرفته بر پایه تجزیه حالت پویا از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب استفاده خواهد شد.

جامعه آماری پژوهش حاضر ۱۴ شاخص از بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد که اسامی آن‌ها در جدول (۱) ارائه‌شده است (این شاخص‌ها توسط محقق از بین ۳۲ شاخص انتخاب شده است) و نمونه اخذشده در بازه ۱۳۹۰ تا پایان ۱۳۹۹ می‌باشد.

جدول (۱) شاخص‌های مورداستفاده در پژوهش

Table (1) Indicators used in research

شاخص	شماره شاخص	شاخص	شماره شاخص
کانی فلزی	۱	دارو	۸
سیمان	۲	غذا	۹
کاشی	۳	قند	۱۰
خودرو	۴	ماشین‌آلات	۱۱
شیمیایی	۵	فرآورده‌های نفتی	۱۲
فنی	۶	سرمایه‌گذاری	۱۳
فلزات اساسی	۷	بانک	۱۴

جدول (۲) آمار توصیفی بازده‌های هفتگی ۱۴ شاخص

Table (2) Descriptive statistics of weekly returns 14 indicators

شاخص آماری صنعت	مقدار احتمال	آماره جارک برا	کشیدگی	چولگی	انحراف معیار استاندارد	کمینه	بیشینه	میانه	میانگین
کانی فلزی	۰/۰۰۰	۲۳۹/۸۰۳	۵/۵۴۱	۱/۱۶۵	۰/۰۵۱	۰/۱۲۲-	۰/۲۰۴	۰/۰۰۱-	۰/۰۱۰
سیمان	۰/۰۰۰	۲۵۳/۳۷۲	۵/۶۷۶	۱/۱۶۲	۰/۰۴۲	۰/۱۳۱-	۰/۱۸۳	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹
کاشی	۰/۰۰۰	۷۸۸/۱۲۳	۸/۶۳۳	۱/۳۵۵	۰/۰۴۹	۰/۱۶۱-	۰/۳۴۴	۰/۰۰۱	۰/۰۱۱
خودرو	۰/۰۰۰	۸۰/۰۱۸	۴/۲۵۹	۰/۷۷۲	۰/۰۶۴	۰/۱۵۲-	۰/۲۴۵	۰/۰۰۱-	۰/۰۰۹
شیمیایی	۰/۰۰۰	۱۰۰۷/۷۱۵	۹/۲۹۰	۱/۶۱۳	۰/۰۴۱	۰/۱۱۷-	۰/۲۷۵	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰
فنی	۰/۰۰۰	۸۰/۰۰۱	۴/۲۸۴	۰/۷۶۱	۰/۰۶۶	۰/۱۷۳-	۰/۲۵۲	۰/۰۰۰	۰/۰۰۹
فلزات اساسی	۰/۰۰۰	۳۲۰/۱۳۶	۶/۱۵۱	۱/۲۱۹	۰/۰۴۷	۰/۱۵۵-	۰/۲۳۰	۰/۰۰۱-	۰/۰۱۰
دارو	۰/۰۰۰	۵۴۳/۴۴۳	۷/۴۷۷	۱/۳۱۴	۰/۰۴۱	۰/۱۴۵-	۰/۱۸۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۰
غذا	۰/۰۰۰	۲۷۹/۸۷۷	۶/۱۷۲	۰/۹۷۷	۰/۰۴۵	۰/۱۲۷-	۰/۲۷۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۰
قند	۰/۰۰۰	۲۷۹/۸۷۷	۶/۱۷۲	۰/۹۷۷	۰/۰۴۵	۰/۱۲۷-	۰/۲۷۸	۰/۰۰۲	۰/۰۱۰
ماشین‌آلات	۰/۰۰۰	۱۲۰/۱۵۲	۴/۹۹۵	۰/۷۰۳	۰/۰۴۳	۰/۱۲۹-	۰/۲۲۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۰
فرآورده‌های نفتی	۰/۰۰۰	۳۸۶/۴۷۵	۶/۷۱۶	۱/۱۵۷	۰/۰۴۰	۰/۱۰۸-	۰/۲۱۸	۰/۰۰۵	۰/۰۰۹
سرمایه‌گذاری	۰/۰۰۰	۸۱۳/۰۵۹	۸/۵۳۰	۱/۵۶۰	۰/۰۴۶	۰/۱۲۳-	۰/۲۶۱	۰/۰۰۰	۰/۰۰۸
بانک	۰/۰۰۰	۷۰۱/۶۶۵	۸/۲۰۳	۱/۳۸۹	۰/۰۴۶	۰/۱۸۰-	۰/۲۵۶	۰/۰۰۱	۰/۰۱۰

٤- تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

در این پژوهش به بیان توصیف آماری متغیرهای پژوهش پرداخته می‌شود. سبد سهام پژوهش شامل ۱۴ شاخص یا صنعت از بورس اوراق بهادار تهران در بازه ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۹ می‌باشد. افق زمانی سبد سهام هفتگی می‌باشد و اطلاعات آماری مربوط به ۴۷۰ بازده هفتگی برای این ۱۴ شاخص به‌عنوان دارایی‌های سبد سهام پژوهش در بازه ۱۳۹۰ تا پایان ۱۳۹۹ در جدول (۲) نشان‌داده‌شده است.

در جدول آمار توصیفی ستون میانگین نشان‌دهنده متوسط بازده هفتگی کسب‌شده در شاخص موردنظر می‌باشد. به‌عنوان نمونه این مقدار برای کانی‌های فلزی برابر ۰/۰۱ می‌باشد که نشان می‌دهد انتظار می‌رود بازده هفتگی این شاخص به‌صورت متوسط برابر ۰/۰۱ در هفته باشد. ستون‌های بیشینه و کمینه هم نشان می‌دهد دوره پژوهش شاهد هفته‌هایی بوده است که شاخص‌های موردنظر دچار رشد یا نزول‌های شدید بوده است. در جدول آمار توصیفی انحراف معیار استاندار، پراکندگی داده‌ها را حول میانگین نشان می‌دهد و میانه نیز بیان می‌کند که درصورتی‌که داده‌ها از کوچک به بزرگ مرتب شوند، داده وسط چه مقداری را خواهد داشت. آماره جارک برا و مقدار احتمال متناظر آن باتوجه‌به زیر ۰/۰۵ بودن نشان می‌دهد که توزیع هیچ‌کدام از متغیرهای بازده روزانه، هفتگی و ماهیانه از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند و ازاین‌رو یافتن توزیع‌های دیگر برای بازده توجه پیدا می‌کند. در ادامه از شماره‌های جدول (۳) به‌جای نام شاخص‌ها استفاده می‌شود.

جدول (۳) شماره‌گذاری شاخص‌ها

Table (3) Numbering of indicators

شاخص	شماره شاخص	شاخص	شماره شاخص
کانی فلزی	۱	دارو	۸
سیمان	۲	غذا	۹
کاشی	۳	قند	۱۰
خودرو	۴	ماشین‌آلات	۱۱
شیمیایی	۵	فرآورده‌های نفتی	۱۲
فنی	۶	سرمایه‌گذاری	۱۳
فلزات اساسی	۷	بانک	۱۴

داده‌های پژوهش شامل ۴۷۰ داده بازده هفتگی برای ۱۴ شاخص می‌باشد که در ادامه به دو گروه آموزشی و تست تقسیم می‌شود. بدین‌صورت که از ۳۵۰ داده اول برای دوره آموزش و برآورد پارامتر وقفه استفاده می‌شود و ۱۲۰ داده آخر نیز برای تست قدرت پیش‌بینی و سودآوری سیستم معاملاتی استفاده می‌شود. پارامتری که در داده‌های آموزشی موردمحاسبه قرار می‌گیرد وقفه بهینه برای مدل‌سازی

سیستم پویای حاکم بر بازده هفتگی سبد سهام می‌باشد. بدین منظور با توجه به اینکه تعداد ۱۴ دارایی در سبد سهام موجود می‌باشد، ماتریس خطی حاکم بر سیستم پویا دارای ۱۴ بردار ویژه می‌باشد که در ادامه از ۵ بردار ویژه غالب برای محاسبه جواب سیستم استفاده می‌شود که نشان‌دهنده رفتار غالب و توجیه‌کننده غالب تغییرات سیستم می‌باشد. از طرفی استفاده از ۵ بردار ویژه به‌جای ۱۴ مورد حجم محاسبات را کاهش و از تأثیر نویز در پیش‌بینی می‌کاهد.

برای محاسبه وقفه بهینه، وقفه‌های ۵ ام تا ۱۰ در داده‌های آموزشی مورداستفاده قرار گرفت تا مشخص شود کدام بهینه است. درواقع باید وقفه‌های مورداستفاده به دلیل استفاده از ۵ بردار ویژه از عدد ۵ بزرگ‌تر مساوی باشد. روند کار به این صورت است که برای یک وقفه مشخص مثلاً وقفه شماره پنجم، تعداد اسنپ شات‌ها در هر بار مدل‌سازی سیستم پویا برابر ۶ می‌باشد و ۶ بازده هفتگی پشت‌سرهم در ماتریس اسنپ شات‌ها قرار می‌گیرند. سپس تجزیه ویژه محاسبه و به کمک تجزیه حالت پویا معادله سیستم پویای حاکم بر بازده سبد سهام حل می‌گیرد و به کمک آن بازده هفتگی آتی سبد سهام (که به معنی محاسبه بازده آتی هفتگی ۱۴ شاخص موجود در سبد سهام می‌باشد) محاسبه می‌شود. به همین صورت تمام بازده‌های هفتگی ۶ تایی پشت‌سرهم، یک پیش‌بینی آتی ارائه می‌دهند و به این صورت یک سری زمانی از پیش‌بینی‌ها به دست می‌آید که با مقدار واقعی مقایسه و خطای وقفه از طریق معیار میانگین مربعات خطا محاسبه می‌شود. سپس وقفه بهینه، مقدار وقفه متناظر با کمترین خطای پیش‌بینی بر روی داده‌های آموزشی می‌باشد. در ادامه این روند را با جزئیات بیشتری بیان می‌شود. به‌عنوان نمونه برای وقفه پنجم اولین ماتریس اسنپ شات در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴) اولین ماتریس اسنپ شات برای وقفه ۵

Table (4) The first Snapshot matrix for interrupt 5

زمان دارایی	۱	۲	۳	۴	۵
۱	۰/۰۷۸۲۲۳۸	۰/۱۴۲۲۳۲۴	-۰/۰۶۲۷۳۹	۰/۰۱۵۴۰۵۵	-۰/۱۰۸۷۶۸
۲	۰/۰۳۵۳۷۱۴	۰/۰۵۰۲۶۸۴	-۰/۰۰۷۴۳۵	-۰/۰۲۲۴۷۲	-۰/۰۱۸۶۷۸
۳	۰/۰۱۴۷۸۹۳	۰/۰۰۹۳۸۳۱	۰/۰۰۴۵۴۹۱	-۰/۰۱۴۷۶۷	-۰/۰۳۱۱۷۵
۴	۰/۰۸۸۶۲۴۸	-۰/۰۰۴۳۹۶	-۰/۰۰۰۱۶۲	-۰/۰۰۹۳۷۴	-۰/۱۰۳۰۲۴
۵	۰/۰۱۵۹۸۳۶	۰/۰۶۵۸۵۳۲	۰/۰۱۴۶۶۵۵	-۰/۰۱۸۴۶۳	-۰/۰۴۰۰۹۱
۶	۰/۰۴۰۳۵	۰/۱۳۰۸۴۱۱	۰/۰۶۸۵۹۵	۰/۰۰۷۳۴۷۳	-۰/۱۱۴۰۱۲
۷	۰/۰۰۳۸۸۷۶	۰/۰۸۸۸۲۱۴	-۰/۰۱۸۷۸۵	-۰/۰۰۱۳۵۸	-۰/۰۷۷۲۰۳
۸	۰/۰۱۴۲۴۳۳	۰/۰۲۱۷۷۸۳	۰/۰۲۴۶۹۵	۰/۰۰۵۸۸۱۵	-۰/۰۲۱۸۹۱
۹	۰/۰۵۹۷۰۳۷	۰/۰۹۰۹۳۴۸	-۰/۰۳۵۲۰۶	-۰/۰۱۱۹۴	-۰/۰۵۳۷۶۸
۱۰	۰/۰۵۹۷۰۳۷	۰/۰۹۰۹۳۴۸	-۰/۰۳۵۲۰۶	-۰/۰۱۱۹۴	-۰/۰۵۳۷۶۸
۱۱	۰/۰۰۹۷۴۳۶	۰/۰۵۹۶۹۳۶	۰/۰۱۰۱۳۶۳	-۰/۰۳۱۸۴۷	-۰/۰۱۴۶۴۶

۱۲	۰/۰۸۲۰۲۸۵	۰/۰۴۰۲۸۹۴	۰/۰۱۰۹۰۷۴	۰/۰۱۵۶۳۷۲	-۰/۰۶۳۸۹۵
۱۳	۰/۰۲۹۶۶۲۵	۰/۰۲۲۱۸۵۴	۰/۰۴۵۳۵۱۵	۰/۰۱۳۳۲۵۱	-۰/۰۵۸۱۰۴
۱۴	۰/۰۹۴۲۳۲۱	۰/۰۹۹۲۱۶۲	۰/۰۵۷۱۴۲۹	-۰/۰۲۲۳۶۴	-۰/۰۸۶۰۸۵

سیستم پویای خطی پژوهش، در یک گام زمانی ماتریس بالا را به روی ماتریس جدول (۵) تصویر می‌کند.

جدول (۵) پاسخ ماتریس اسنپ شات برای وقفه ۵

Table (5) Snapshot matrix response for interrupt 5

زمان دارایی	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۰/۱۴۲۲۳۲	-۰/۰۶۲۷۴	۰/۰۱۵۴۰۵	-۰/۱۰۸۷۷	۰/۰۷۱۷۷
۲	۰/۰۵۰۲۶۸	-۰/۰۰۷۴۳	-۰/۰۲۲۴۷	-۰/۰۱۸۶۸	۰/۰۰۳۹۰۴
۳	۰/۰۰۹۳۸۳	۰/۰۰۴۵۷۹	-۰/۰۱۴۷۷	-۰/۰۳۱۱۸	۰/۰۲۳۹۲۷
۴	-۰/۰۰۴۴	-۰/۰۰۰۱۶	-۰/۰۰۹۳۷	۰-/۱۰۳۰۲	۰/۱۰۷۳۶۴
۵	۰/۰۶۵۸۵۳	۰/۰۱۴۶۶۶	-۰/۰۱۸۴۶	-۰/۰۴۰۰۹	۰/۰۴۲۹۵۳
۶	۰/۱۳۰۸۴۱	۰/۰۶۸۵۹۵	۰/۰۰۷۳۴۷	-۰/۱۱۴۰۱	۰/۰۸۱۰۳
۷	۰/۰۸۸۸۲۱	-۰/۰۱۸۷۸	-۰/۰۰۱۳۶	-۰/۰۷۷۲	۰/۰۵۶۱۱۴
۸	۰/۰۲۱۷۷۸	۰/۰۲۴۶۹۵	۰/۰۰۵۸۸۲	۰/۰۲۱۸۹-	۰/۰۱۵۰۱۸
۹	۰/۰۹۰۹۳۵	-۰/۰۳۵۲۱	-۰/۰۱۱۹۴	-۰/۰۵۳۷۷	۰/۰۱۳۳۴۵
۱۰	۰/۰۹۰۹۳۵	-۰/۰۳۵۲۱	۰-/۰۱۱۹۴	-۰/۰۵۳۷۷	۰/۰۱۳۳۴۵
۱۱	۰/۰۵۹۶۹۴	۰/۰۱۰۱۳۶	-۰/۰۳۱۸۵	-۰/۰۱۴۶۵	۰/۰۳۴۹۷
۱۲	۰/۰۴۰۲۸۹	۰/۰۱۰۹۰۷	۰/۰۱۵۶۳۷	-۰/۰۶۳۹	۰/۰۸۵۳۶۲
۱۳	۰/۰۲۲۱۸۵	۰/۰۴۵۳۵۱	۰/۰۱۳۳۲۵	-۰/۰۵۸۱	۰/۰۵۲۵۹۷
۱۴	۰/۰۹۹۲۱۶	۰/۰۵۷۱۴۳	-۰/۰۲۲۳۶	-۰/۰۸۶۰۸	۰/۱۰۷۶۷۱

مقادیر ویژه محاسبه‌شده متناظر با بردارهای ویژه جدول (۶) به‌صورت زیر می‌باشند که ضمن یک ماتریس قطری ارائه‌شده است.

جدول (۶) ماتریس قطری مقادیر ویژه

Table (6) Diagonal matrix of special values

-۰/۸۱۳۷۲۲	۰	۰	۰	۰
۰	-۰/۸۱۳۷۲۲	۰	۰	۰
۰	۰	۰/۱۷۲۶۱۱۸	۰	۰
۰	۰	۰	۰/۱۷۲۶۱۱۸	۰
۰	۰	۰	۰	۰/۵۹۶۱۴۳

با محاسبه پارامترهای سیستم پویا، معادله حاکم بر سیستم به‌عنوان تابعی از زمان‌بر اساس رابطه (۱) به دست می‌آید. باتوجه‌به فرمول صریحی که بر اساس متغیر زمان محاسبه می‌شود با قراردادن ۷ =t به پیش‌بینی سبد سهام برای گام زمانی بعد (هفته هفتم) اقدام شد که نتیجه در جدول (۷) ارائه‌شده است.

$$\tilde{x}(t) = \sum_{k} b_k \psi_k \, exp(\lambda_k t)$$ رابطه (۱)

جدول (۷) پیش‌بینی یک گام زمانی برای وقفه ۵

Table (7) Predict a time step for the interval 5

شماره دارایی	پیش‌بینی بازده هفتگی	شماره دارایی	پیش‌بینی بازده هفتگی
۱	۰/۰۹۶۷۷۲	۸	۰/۰۰۲۷۸۸۱
۲	۰/۰۳۳۵۳۴۳	۹	۰/۰۷۴۳۰۶۸
۳	۰/۰۰۲۵۱۳۵	۱۰	۰/۰۷۴۳۰۶۸
۴	-۰/۰۲۲۶۴۶	۱۱	۰/۰۰۸۴۹۷۶
۵	۰/۰۱۷۵۲۷۴	۱۲	-۰/۰۱۰۱۴۱
۶	۰/۰۹۷۴۰۸	۱۳	-۰/۰۱۱۳۳۳
۷	۰/۰۵۰۳۲۱۴	۱۴	-۰/۰۰۲۰۵۱

عملیات اخیر که با کمک وقفه پنجم و بر روی اولین ۶ تایی صورت گرفت، بر روی تمام وقفه‌ها و تمامی نمونه‌های وقفه‌ای انجام گرفت و خطای پیش‌بینی مورد محاسبه قرار گرفت که در جدول (۸) ارائه‌شده است.

جدول (۸) خطای پیش‌بینی بر روی داده‌های آموزشی در وقفه‌های مختلف

Table (8) Predictive error on educational events at different intervals

وقفه دارایی	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۰/۰۰۴۹۶۰۱	۰/۰۰۲۹۰۷۶	۰/۰۰۲۶۱۹	۰/۰۰۵۱۷۳۲	۰/۰۰۶۲۳۸۱	۰/۰۰۷۸۲۵۳
۲	۰/۰۰۲۰۶۳۷	۰/۰۰۲۴۹۴۳	۰/۰۰۱۱۳۱۹	۰/۰۰۲۰۴۱۶	۰/۰۰۲۸۱۳۲	۰/۰۰۲۴۷۱۳
۳	۰/۰۰۵۴۴۱۳	۰/۰۰۵۷۶۳۷	۰/۰۰۳۹۸۷۲	۰/۰۱۳۹۶۷۵	۰/۰۱۹۱۴۸۲	۰/۰۰۸۹۸۸۵
۴	۰/۰۰۶۴۲۲۹	۰/۰۰۴۳۹۴۸	۰/۰۰۵۶۰۹۳	۰/۰۰۹۱۱۷۳	۰/۰۰۷۵۵۸۴	۰/۰۰۷۳۵۷۲
۵	۰/۰۰۲۵۶۳۷	۰/۰۰۱۷۸۶۹	۰/۰۰۱۸۷۵	۰/۰۰۵۴۱۲۶	۰/۰۰۸۵۸۸	۰/۰۱۰۲۸۳۸
۶	۰/۰۰۷۴۴۳۹	۰/۰۰۵۴۷۷۸	۰/۰۰۹۱۶۶۲	۰/۰۱۷۸۵۵۱	۰/۰۰۷۰۸۹۷	۰/۰۰۹۰۳۵
۷	۰/۰۰۳۵۵۹	۰/۰۰۲۵۶۳۲	۰/۰۰۳۱۹۴۲	۰/۰۰۵۳۷۶۷	۰/۰۰۳۰۵۰۴	۰/۰۰۳۷۷۱۸
۸	۰/۰۰۱۶۲۰۷	۰/۰۰۱۳۱۲۸	۰/۰۰۰۹۱۳۱	۰/۰۰۱۰۵۵۳	۰/۰۰۱۸۴۹۶	۰/۰۰۱۳۴۴۴
۹	۰/۰۰۳۵۶۵۱	۰/۰۰۴۰۹۷۷	۰/۰۰۶۸۳۰۳	۰/۰۰۶۷۶۸۴	۰/۰۰۳۸۵۵۶	۰/۰۰۳۰۸۴۳
۱۰	۰/۰۰۳۵۶۵۱	۰/۰۰۴۰۹۷۷	۰/۰۰۶۸۳۰۳	۰/۰۰۶۷۶۸۴	۰/۰۰۳۸۵۵۶	۰/۰۰۳۰۸۴۳

۱۱	۰/۰۰۲۲۱۲۸	۰/۰۰۳۵۲۴۸	۰/۰۰۱۴۱۸۷	۰/۰۰۲۵۰۹۳	۰/۰۰۴۳۸۲۶	۰/۰۰۵۴۷۳۲
۱۲	۰/۰۰۲۴۱۰۲	۰/۰۰۱۶۷۶۹	۰/۰۰۲۱۱۳	۰/۰۰۷۸۱۴۷	۰/۰۰۹۳۱۴۱	۰/۰۱۲۳۷۵۷
۱۳	۰/۰۰۱۸۹۸۳	۰/۰۰۳۲۲۵۱	۰/۰۰۱۶۷۹۲	۰/۰۰۱۴۱۲۶	۰/۰۰۳۵۰۳۲	۰/۰۰۱۷۷۴۹
۱۴	۰/۰۰۳۴۲۷۳	۰/۰۰۱۸۵۲۶	۰/۰۰۱۸۸۲۵	۰/۰۰۶۹۶۰۹	۰/۰۰۸۹۹۹۹	۰/۰۱۱۱۲۹۶
میانگین خطای پیش‌بینی وقفه	۰/۰۵۱۱۵۳۹	۰/۰۴۵۱۷۶	۰/۰۴۹۲۴۹۸	۰/۰۹۲۲۳۳۵	۰/۰۹۰۲۴۶۵	۰/۰۸۷۹۹۹۴

با توجه به نتایج حاصل‌شده در سطر آخر جدول (۸) بهترین وقفه در معیار میانگین خطای پیش‌بینی، وقفه شماره شش می‌باشد که کمترین مقدار را دارد.

میانگین مربعات خطای پیش‌بینی بر روی داده‌های تست برای ۱۴ شاخص در جدول (۹) ارائه‌شده است.

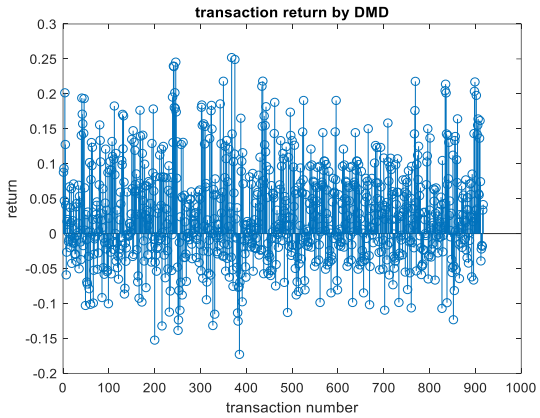
جدول (۹) میانگین مربعات خطا بر روی داده‌های تست

Table (9) Average squares error on test data

شماره دارایی	میانگین مربعات خطا بر روی داده‌های تست	شماره دارایی	میانگین مربعات خطا بر روی داده‌های تست
۱	۰/۰۰۴۹۷۹۲	۸	۰/۰۰۶۰۲۹۶
۲	۰/۰۰۵۴۵۶۷	۹	۰/۰۰۴۹۷۷۸
۳	۰/۰۰۵۶۸۴۲	۱۰	۰/۰۰۴۹۷۷۸
۴	۰/۰۰۹۱۵۴۷	۱۱	۰/۰۰۵۱۵۵۳
۵	۰/۰۰۴۸۳۸۵	۱۲	۰/۰۰۳۹۹۶۹
۶	۰/۰۱۰۲۱۹	۱۳	۰/۰۰۵۴۱۹۲
۷	۰/۰۰۴۹۳۲۵	۱۴	۰/۰۰۴۷۶۱۳

بر اساس اطلاعات جدول (۹) بهترین پیش‌بینی در معیار میانگین مربعات خطا مربوط به شاخص شماره دوازده یعنی فراورده‌های نفتی می‌باشد.

در ادامه این پژوهش به بررسی سودآوری سیستم معاملاتی شکل‌گرفته بر اساس تجزیه حالت پویا می‌پردازد. اساس کار این سیستم ساده و بر پایه پیش‌بینی ارائه‌شده سیستم برای یک دوره زمانی آتی می‌باشد. درصورتی‌که معادله پویای حاکم بر سیستم یک پیش‌بینی صعودی ارائه دهد، دارایی موردنظر برای افق زمانی یک‌هفته‌ای خریداری می‌شود و بازده آن محاسبه می‌گردد. برای ۱۴ دارایی تعداد این موقعیت‌ها بر روی ۱۲۰ هفته داده تست برابر ۹۱۷ موقعیت می‌باشد. نمودار (۱) بازده‌های حاصل‌شده توسط سیستم معاملاتی بر پایه تجزیه حالت پویا را نشان می‌دهد.



نمودار (۱) بازده‌های کسب‌شده توسط سیستم معاملاتی بر پایه تجزیه حالت پویا

Figure (1) Returns earned by the trading system returns based on dynamic mode analysis

در نمودار (۱) متناظر با هر موقعیت معاملاتی کشف شده که تعداد آنها برابر ۹۱۷ موقعیت می‌باشد، یک میله عمودی ترسیم شده است که میزان بازده آن موقعیت معاملاتی را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰)، آمار توصیفی بازده‌های حاصل‌شده از سیستم معاملاتی در افق زمانی یک هفته را نشان می‌دهد.

جدول (۱۰) توصیفی آماری بازده سیستم معاملاتی بر پایه تجزیه حالت پویا

Table (10) Statistical descriptive trading system returns based on dynamic mode analysis

شاخص آماری	مقدار
میانگین	۰/۰۲۸۲۹۹
میانه	۰/۰۲۰۳۵۴
بیشینه	۰/۲۵۱۹۲۵
کمینه	-۰/۱۷۲۹۰۷
انحراف معیار استاندارد	۰/۰۷۰۸۹
چولگی	۰/۴۰۳۰۳۸
کشیدگی	۳/۰۶۱۴۵
آماره جارک برا	۲۱/۷۸۴۵۱
مقدار احتمال	۰/۰۰۰۰۱۹

بر اساس اطلاعات جدول (۱۰)، این سیستم معاملاتی به‌صورت متوسط بازده ای برابر ۰/۰۲۸۲۹۹ در یک هفته تولید می‌کند که برای رسیدن به آن باید متحمل ریسکی (انحراف معیار) برابر ۰/۰۷۰۸۹ گردید. نسبت شارپ یکی از معیارهای سودآوری می‌باشد که از تقسیم بازده بر ریسک به دست می‌آید و نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد ریسک بیشتر، چه میزان بازده اضافه حاصل می‌گردد. برای سیستم

معاملاتی اخیر این مقدار برابر ۰/۳۹۹۱۹۵۹ می‌باشد و نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد ریسک بیشتر به‌اندازه ۰/۳۹۹۱۹۵۹ به بازده اضافه می‌شود. ازاین‌رو مشخصات سیستم معاملاتی در جدول (۱۱) ارائه شده است.

جدول (۱۱) عملکرد بازده سیستم معاملاتی بر پایه تجزیه حالت پویا

Table (11) Trading system performance returns based on dynamic mode breakdown

شاخص عملکرد	مقدار
متوسط بازده هفتگی	۰/۰۲۸۲۹۹
ریسک	۰/۰۷۰۸۹
نسبت شارپ	۰/۳۹۹۱۹۵۹

این در حالی است که عملکرد بازار در دوره مشابه بر اساس جدول (۱۲) می‌باشد. منظور از عملکرد بازار انتخاب یک هفته تصادفی و محاسبه میانگین بازده شاخص‌های ۱۴ گانه می‌باشد.

جدول (۱۲) عملکرد بازار

Table (12) Market performance

شاخص عملکرد	مقدار
متوسط بازده هفتگی	۰/۰۰۹۷
ریسک	۰/۰۴۸۱
نسبت شارپ	۰/۲۰۱۶۶۳۲

بر اساس اطلاعات جدول (۱۲)، امید ریاضی عملکرد بازار به‌عنوان یک متغیر تصادفی برابر ۰/۰۰۹۷ می‌باشد که برای رسیدن به آن باید متحمل ریسکی (انحراف معیار) برابر ۰/۰۴۸۱ گردید. نسبت شارپ بازار نیز برابر ۰/۲۰۱۶۶۳۲ می‌باشد و نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد ریسک بیشتر به‌اندازه ۰/۳۹۹۱۹۵۹ به بازده اضافه می‌شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

سیستم‌های پویای به مطالعه رفتار یک سیستم درگذر زمان می‌پردازند. این رفتار می‌تواند ساده یا پیچیده باشد. به‌عنوان نمونه رفتار پویای یک پاندول درگذر زمان، ساده و قابل مدل‌سازی تحلیلی می‌باشد و این در حالی است که رفتار مسیر حرکتی دو پاندول متصل‌به‌هم آشوبناک و پیچیده می‌باشد. در بسیاری از موارد استخراج رابطه بین متغیرهای مشخص‌کننده پویایی یک سیستم بسیار سخت یا غیرممکن می‌باشد. درواقع نیاز به فضاهای با بعد بالا برای چنین سیستم‌هایی می‌باشد زیرا متغیرهای مشخص‌کننده حالت سیستم تعداد زیادی می‌باشند و ممکن است باهم در روابط پیچیده‌ای قرار داشته باشند. تجزیه حالت پویا یک رویکرد مدل‌سازی داده‌محور می‌باشد. در رویکردهای داده‌محور فرآیند

مدل‌سازی به‌صورت عکس صورت می‌گیرد و معادله حاکم بر سیستم پویا از داده‌ها به دست می‌آید. درواقع این داده‌ها هستند که معادله حاکم بر سیستم را تبیین می‌کنند. بسیاری از تحقیقات نشان داده است که رفتار قیمتی سهام یا یک سبد سهام یک فرآیند تصادفی پیچیده و آشوبناک می‌باشد و توزیع بازده دارایی‌ها باگذشت زمان متغیر است. براین‌اساس در پژوهش حاضر از رویکرد تجزیه حالت پویا برای بررسی رفتار یک سبد سهام استفاده‌شده است. تجزیه حالت پویا با بهره‌گیری از تجزیه مقدار ویژه سعی می‌کند که رفتار سیستم را به‌صورت تقریب خطی و بر اساس مهم‌ترین عوامل مشخص‌کننده تغییرات یا مدها بازسازی کند. تجزیه حالت پویا با ترکیب دوره‌های نوسانی و با استفاده از داده‌های تجربی امکان مدل‌سازی روابط توأم دارایی‌ها با یکدیگر را فراهم می‌کند. یافته‌های پژوهش حاضر با پژوهش‌های مان و کوتز (۲۰۱۶)، منینگ و بالدیک (۲۰۱۹) هم‌راستا می‌باشد.

در راستای اهداف پژوهش دو سؤال مدنظر قرار گرفت که در این پژوهش به آن پاسخ داده شد.

۱- چگونه می‌توان به کمک تجزیه حالت پویا سیستم پویا حاکم بر تغییرات قیمت سهام را محاسبه کرد؟

در پژوهش حاضر به کمک روش تجزیه حالت پویا به مدل‌سازی و پیش‌بینی روند آتی بازده یک سبد سهام پرداخته شد. برای این منظور تعدادی سهام در یک سبد سهام انتخاب می‌شود و اسنپ شات‌های سبد سهام در زمان‌های متساوی‌الفاصله با استفاده از داده‌های تاریخی دارایی‌های موجود در سبد سهام محاسبه می‌شود. به‌عنوان نمونه اگر زمان فاصله‌ای بین اسنپ شات‌ها را برای یک ماه در نظر بگیریم در این صورت هر اسنپ شات نشان می‌دهد که اجزای سبد سهام نسبت به ماه قبل چقدر رشد داشته‌اند. ازآنجاکه غالباً از تجزیه حالت پویا برای بررسی رفتار کوتاه‌مدت یک سیستم استفاده می‌شود، تعداد اسنپ شات‌ها نیز کم انتخاب می‌شود. باتوجه‌به آنچه بیان شد برای مدل‌سازی سیستم فرض می‌کنیم که معادله حاکم بر سیستم خطی می‌باشد و با استفاده از رویکرد تجزیه مقادیر تکنیک مقادیر ویژه و بردارهای ویژه ماتریس حاکم بر رفتار سیستم محاسبه می‌شود که درنهایت معادله حاکم بر رفتار سیستم مشخص می‌شود. معادله حاکم بر سیستم به‌صورت صریح برحسب زمان می‌باشد و می‌تواند با قراردادن مقادیر زمانی آتی در رابطه پیداشده، بازده آتی را پیش‌بینی کرد.

۲- دقت پیش‌بینی روش تجزیه حالت پویا در پیش‌بینی بازده سبد سهام و سودآوری سیستم معاملاتی شکل‌گرفته بر اساس پیش‌بینی‌های تجزیه حالت پویا چگونه است؟

در پژوهش حاضر از یک سبد سهام با ۱۴ دارایی در بازه ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۹ استفاده گردید. افق زمانی سبد سهام یک‌هفته‌ای می‌باشد و تمام بازده‌ها در این افق زمانی می‌باشند. نتایج نشان داد که با انتخاب ۵ مد اصلی برای مدل‌سازی پویایی سبد سهام، بهترین وقفه زمانی، وقفه شماره شش می‌باشد که در

این وقفه مجموع میانگین مربعات خطا ۱۴ دارایی موجود در سبد سهام کمینه می‌شود. همچنین با افزایش وقفه‌های زمانی خطا افزایش می‌یابد که حاکی از آشوبناکی سیستم می‌باشد و در ادامه پژوهش به بررسی سودآوری سیستم معاملاتی شکل‌گرفته بر اساس تجزیه حالت پویا پرداخته شد که اساس کار این سیستم ساده و بر پایه پیش بی ارائه‌شده سیستم برای یک دوره زمانی آتی می‌باشد. درصورتی‌که معادله پویای حاکم بر سیستم یک پیش‌بینی صعودی ارائه دهد، دارایی موردنظر برای افق زمانی یک‌هفته‌ای خریداری می‌شود و بازده آن محاسبه می‌گردد. برای ۱۴ دارایی تعداد این موقعیت‌ها بر روی ۱۲۰ هفته داده تست برابر ۹۱۷ موقعیت می‌باشد. این سیستم معاملاتی به‌صورت متوسط بازده ای برابر ۰/۰۲۸۲۹۹ در یک هفته تولید می‌کند که برای رسیدن به آن باید متحمل ریسکی (انحراف معیار) برابر ۰/۰۷۰۸۹ گردید. نسبت شارپ یکی از معیارهای سودآوری می‌باشد که از تقسیم بازده بر ریسک به دست می‌آید و نشان می‌دهد که به‌ازای یک واحد ریسک بیشتر، چه میزان بازده اضافه حاصل می‌گردد. برای سیستم معاملاتی اخیر این مقدار برابر ۰/۳۹۹۱۹۵۹ می‌باشد. منظور از عملکرد بازار یا سیستم معاملاتی خرید و نگهدار، انتخاب یک هفته تصادفی و محاسبه میانگین بازده شاخص‌های ۱۴ گانه می‌باشد. امید ریاضی چنین متغیر تصادفی ۰/۰۰۹۷ می‌باشد که برای رسیدن به آن باید متحمل ریسکی (انحراف معیار) برابر ۰/۰۴۸۱ گردید. نسبت شارپ بازار نیز برابر ۰/۲۰۱۶۶۳۲ می‌باشد.

همواره بین ریسک و بازده رابطه مستقیمی وجود دارد و برای کسب بازده بالاتر باید ریسک بیشتری کرد. با مقایسه بازده و ریسک حاصل‌شده از سیستم معاملاتی پژوهش با عملکرد بازار این مطلب دیده می‌شود. بازده سیستم معاملاتی پژوهش از عملکرد بازار بیشتر است لکن دارای ریسک بالاتری می‌باشد؛ بنابراین ازلحاظ بازده بهتر و ازلحاظ ریسک بدتر است. باوجود چنین تناقضی غالباً برای رسیدن به یک معیار مقایسه‌ای از نسبت شارپ استفاده می‌شود که بازده را در سطح ریسک یکسان اندازه می‌گیرد. نتایج نشان می‌دهد که نسبت شارپ حاصل‌شده تقریباً دوبرابر عملکرد بازار است و نشان می‌دهد که این سیستم توانسته از مدل‌سازی و اطلاعات موجود در جهت یک استراتژی بهتر استفاده کند.

٦- تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع در این پژوهش وجود ندارد.

۷- منابع

دولو، مریم؛ مسکینی مود، شایان. (۱۳۹۸). بررسی عملکرد استراتژی معاملاتی مبتنی بر غلبه تصادفی. *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۱۲ (۴۱)، ۱۹۳-۱۷۱.

رئوفی، علی؛ محمدی، تیمور. (۱۳۹۷). پیش‌بینی بازده بازار سهام تهران با استفاده از ترکیب تجزیه موجک و شبکه عصبی فازی تطبیقی. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۳ (۷۶)، ۱۳۶-۱۰۷.

سارنج، علیرضا؛ قاسمی، احمدرضا؛ ارم، اصغر؛ تهرانی، رضا (۱۳۹۹). طراحی سیستم معاملاتی تکنیکی سهام با استفاده از مدل ترکیبی شبکه عصبی MLP و الگوریتم‌های تکاملی، *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۱۳ (۴۵)، ۴۷-۶۴.

فرخ، مجتبی. (۱۴۰۰). انتخاب سبد سهام فازی با بررسی هم‌زمان بازده و ریسک نامطلوب. *پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری*، ۶(۲)، ۱۸-۱.

فلاح‌پور، سعید؛ حکیمیان، حسن. (۱۳۹۸). بهینه‌سازی استراتژی معاملات زوجی با استفاده از روش یادگیری تقویتی، با به‌کارگیری دیتاهای درون‌روزی در بورس اوراق بهادار تهران. *تحقیقات مالی*، ۱ (۲۱)،۱۹-۳۴.

لطیفی بنماران، معصومه؛ سعیدی، علی، (۱۳۹۷)، آزمون رویکرد دینامیک سیستم‌ها در شناسایی عوامل تأثیرگذار بر حباب قیمتی بورس اوراق بهادار تهران، *کنگره ملی تحقیقات بنیادین در مدیریت اقتصاد و حسابداری، تهران.*

یافتیان، امیرحسین؛ رستگار، محمدعلی. (۱۳۹۹). طراحی یک سیستم معاملاتی خودکار با استفاده از شبکه عصبی پیچشی. *نشریه چشم‌انداز مدیریت مالی*، ۱۰ (۳۱)، ۱۸۴-۱۵۳.

Awajan, A. M., Ismail, M. T., & Wadi, S. A. (2019). Stock market forecasting using empirical mode decomposition with holt-winter. *Proceedings of the International Conference on Mathematical Sciences and Technology 2018 (MATHTECH2018): Innovative Technologies for Mathematics & Mathematics for Technological Innovation.*

Capinski, M., & Zastawniak, T. (2003). Mathematics for finance : an introduction to financial engineering. *Liangjing Publishing House.*

Cui, L., & Long, W. (2016). Trading strategy based on dynamic mode decomposition: Tested in Chinese stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *461*, 498–508.

Davallou, M., Meskinimood, S. (2019). Performance examination of trading strategy based on Stochastic Dominance. *Financial Knowledge of Securities Analysis, 12(*41), 171-193. [In Persian]

Dori, D., Sillitto, H., Griego, R. M., McKinney, D., Arnold, E. P., Godfrey, P., Martin, J., Jackson, S., & Krob, D. (2020). System Definition, System Worldviews, and Systemness Characteristics. *IEEE Systems Journal*, *14*(2), 1538–1548.

Fallahpour, S., Hakimian, H. (2019). Paired Trading Strategy Optimization Using the Reinforcement Learning Method: Intraday Data of Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, *21*(1), 19-34. [In Persian]

Farrokh, M. (2021). Fuzzy Portfolio Selection Model by Considering the Return and Downside Risk. *Modern Research in Decision Making*, *6*(2), 1-18. [In Persian]

Hua, J.-C., Roy, S., McCauley, J. L., & Gunaratne, G. H. (2016). Using dynamic mode decomposition to extract cyclic behavior in the stock market. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, *448*, 172–180.

Kuttichira, D. P., Gopalakrishnan, E. A., Menon, V. K., & Soman, K. P. (2017). Stock price prediction using dynamic mode decomposition. 2017 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI).

Latifi Banmaran, M,. Saeedi, A. (2015), Testing the dynamics approach of systems in identifying the factors affecting the price bubble of Tehran Stock

Exchange, *National Congress of Fundamental Research in Management of Economics and Accounting, Tehran.* [In Persian]
Lu, H., & Tartakovsky, D. M. (2020). Prediction Accuracy of Dynamic Mode Decomposition. *SIAM Journal on Scientific Computing*, *42*(3), A1639–A1662.
Lynch, S. (2018). *Dynamical Systems with Applications using Python*. Springer International Publishing.
Mann, J., & Kutz, J. N. (2016). Dynamic mode decomposition for financial trading strategies. *Quantitative Finance*, *16*(11), 1643–1655.
Manning, J., & Baldick, R. (2019). Forecasting short-term dynamics of shallow cumuli using dynamic mode decomposition. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, *11*(5), 053704.
Meiss, J. D. (2007). Differential Dynamical Systems. *Society for Industrial and Applied Mathematics.*
Ramos, E. M., Darze, G. M., do Nascimento, F. R. T., Faccini, J. L. H., & Giraldi, G. A. (2020). Comparison of Dynamic Mode Decomposition and Deep Learning Techniques for Two-Phase Flows Analysis. *Flow, Turbulence and Combustion*, *105*(4), 1345–1379.
Raoofi, A., Mohammadi, T. (2018). Forecasting Tehran Stock Exchange Index Returns Using a Combination of Wavelet Decomposition and Adaptive Neural Fuzzy Inference Systems. *Iranian Journal of Economic Research*, *23*(76), 107-136. [In Persian]
Saranj, A., Ghasemi, A., Eram, A., Tehrani, R. (2020). Developing a Stock Technical Trading System Integrating MLP Neural Network with Evolutionary Algorithms. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, *13*(45), 47-64. [In Persian]
Schmidt, V. A. (2008). Discursive Institutionalism: The Explanatory Power of Ideas and Discourse. *Annual Review of Political Science*, *11*(1), 303–326.
Schneider, J. (2019). Was There a Precapitalist World-System? *Core/Periphery Relations in Precapitalist Worlds*, 45–66.
Yaftian, A., Rastegar, M. (2020). Designing an Automated Trading System Using Convolutional Neural Network- .*Journal of Financial Management Perspective*, *10*(31), 153-184. [In Persian]
Yin, T., Liu, C., Ding, F., Feng, Z., Yuan, B., & Zhang, N. (2022). Graph-based stock correlation and prediction for high-frequency trading systems. *Pattern Recognition*, *122*, 108209.
Zhang, Y., Liu, W., & Yang, X. (2022). An automatic trading system for fuzzy portfolio optimization problem with sell orders. *Expert Systems with Applications*, *187*, 115822.

COPYRIGHTS
© 2022 by the authors. Published by Islamic Azad University, Esfarayen Branch. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).