راهبرد مدیریت مالی
سال ششم، شماره بیست و یکم
تابستان ۱۳۹۷
صص ۱۰۴-۷۳

دانشگاه الزهرا (س)
دانشکده علوم اجتماعی و اقتصادی
تاریخ دریافت:۱۳۹۷/۰۱/۲۲
تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۰۳/۲۱

یک الگوی تعادلی برای شبیه‌سازی تصادفی رفتار بازار سهام ایران: رهیافتی از اقتصاد فیزیک [۱]

هاشم زارع [۲] ، زینب رضایی سخا [۳] ، محمد زارع [٤]

چکیده

مطالعه حاضر سعی بر آن دارد با عبور از دیدگاه‌های سنتی علمی با استفاده از علوم بین‌رشته‌ای، برخی الگوهای ذهنی بازار سرمایه در اقتصاد ایران را کاربردی نماید. ازاین‌رو با بهره‌گیری از علوم مختلف درزمینه‌مباحث مالی یک چارچوب نظری تعادلی را در بازار سهام ارائه نماید. روش پژوهش نیز جهت شبیه‌سازی رفتار شاخص قیمت سهام بازار بورس اوراق بهادار تهران از یک مسیر ساز پویای تصادفی در چارچوب الگوی بلک شولز بهره گرفته‌شده است. ازاین‌رو داده‌های سری زمانی روزانه شاخص قیمت سهام، از نیمه آذرماه سال ۱۳۸۷ تا نیمه مردادماه سال ۱۳۹۵ بکار گرفته‌شده است. نتایج نشان می‌دهد امکان شبیه‌سازی روند بلندمدت تا حدودی فراهم‌شده است. اگرچه، الگو از پیش‌بینی وقوع بحران‌ها و نوسانات شدید در طول دوره معذور می‌باشد. همچنین آزمون مقایسه فرم توزیع داده‌های شبیه‌سازی‌شده، بسیار نزدیک با داده‌های واقعی می‌باشد. بعلاوه کاهش در پارامتر ریسک گریزی و نیز کاهش در نسبت نقدینگی به سهام نگهداری شده توسط سرمایه‌گذار، به ترتیب باعث انتقال منحنی شبیه‌سازی‌شده شاخص قیمت، به سمت پایین و بالا خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، بازار سهام، ریسک گریزی، فرآیند تصادفی.
طبقه‌بندی موضوعی: B26, C58, D53, E44, G01, G17

---

۱. کد DOI مقاله: 10.22051/jfm.2018.14248.1297

۲. گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران، نویسنده مسئول، Email:hashem.zare@gmail.com

۳. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، باشگاه پژوهشگران جوان ونخبگان، شیراز، ایران، Email:Zrezaei_sakha@yahoo.com

٤. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد شیراز، باشگاه پژوهشگران جوان ونخبگان، شیراز، ایران، Email:zaremo@yahoo.com

مقدمه

اقتصاد فیزیک نقش تجربی مهمی در درک ما از دنیای اجتماعی و اقتصادی داشته است. اگرچه این علم بین‌رشته‌ای به نظر بسیار جدید می‌رسد و حدود دو دهه می‌باشد که نظر بسیاری از علاقه‌مندان را به خود جلب نموده است اما بسیاری از این نقش‌ها در دو مقاله‌ی مهم نوشته‌شده در سال ۱۹۵۵ توسط سیمون[1] و ۱۹۶۳ توسط مندلبروت[2] بیان و بعضاً پیش‌بینی‌شده‌اند. ازآنجاکه شاخص قیمت سهام در بازار مالی توسط عوامل متعددی از قبیل فضای کلی اقتصاد، عرضه و تقاضای محصولات، قیمت هر سهم و فعالیت خرید یا فروش دارندگان سهام تعیین می‌شود. این تعیین قیمت در بازار در حالی انجام می‌شود که هر کارگزار اقتصادی خصوصیات منحصربه‌فرد خود را دارد و تصمیم هر فرد دارنده سهام، بر اساس دانش، اطلاعات و باور وی قرار دارد و هر بازاری فضای مبادلاتی خاص خود را دارد که این امر خود مبین پیچیده بودن چگونگی بررسی رفتار شاخص قیمت و بعضاً پیش‌بینی و شبیه‌سازی این بازار می‌باشد. اما بااین‌وجود مطالعات تجربی نشان‌دهنده حقایق مشخصی است که برای همه بازارها معتبر می‌باشد یکی از سؤالاتی که پیش روی متخصصین بازار سهام در علوم مختلف می‌باشد این است که آیا می‌توان رفتار شاخص‌های بازار را شبیه‌سازی و بازتولید نمود. پاسخی که اغلب به این سؤال داده می‌شود این است که شاید به‌طور دقیق این امر صورت نپذیرد اما می‌توان به خواص و حساسیت‌های بازار موردبررسی پی برد. پژوهش حاضر سعی بر آن دارد که با به‌کارگیری مناسب از ابزارهای مختلف الگوسازی تصادفی، الگوریتمی تعادلی از چگونگی تعیین مسیر قیمت ارائه کند که به‌وسیله آن شبیه‌سازی رفتار شاخص قیمت بازار سهام در یک دوره معین مورد آزمون و بررسی قرار دهد.

مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

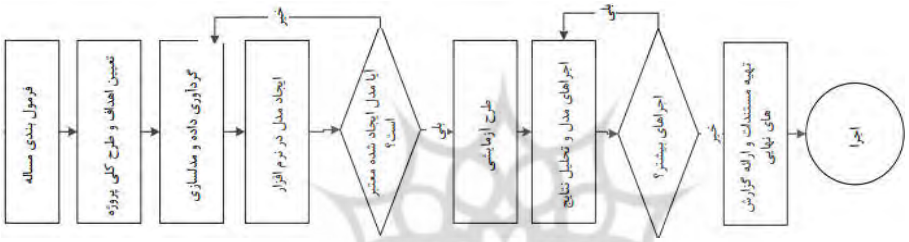
در چارچوب تحلیل نظری موضوع موردمطالعه ابتدا به بررسی فرآیند شبیه‌سازی اشاره خواهد شد، در ادامه به تبیین چگونگی تحلیل نظری بازار مالی در چارچوب اقتصاد فیزیک و نیز به‌طور مختصر به مبانی نظری ریسک گریزی پرداخته خواهد شد. درنهایت با استفاده از تحلیل رفتار میکروسکپی سرمایه‌گذار در بازار مالی در چارچوب یک بازار مالی به تبیین و تعیین قیمت تعادلی در بازار اشاره خواهد شد.

---

1. Simon
2. Mandelbrot

بررسی فرآیند شبیه‌سازی بازار

شبیه‌سازی تقلیدی از عملکرد سیستم واقعی است که توسط مدل شبیه‌سازی صورت می‌گیرد. شبیه‌سازی را می‌توان برای تغییر پارامترهای بازار یا تغییر شرایط محیطی بازار مانند تغییر ریسک، نقدینگی و بررسی تأثیر این تغییرات بر فعالیت سرمایه‌گذاران و تعیین قیمت در بازار مورداستفاده قرارداد. لذا با شبیه‌سازی می‌توان به بررسی و مطالعه سیستم‌هایی که هنوز ایجاد نشده‌اند، شناسایی سیستم‌های موجود، پارامترها و عوامل دخیل در رفتار سرمایه‌گذاران پرداخت. گام‌های اصلی در شبیه‌سازی بازار را می‌توان به‌طورکلی به‌صورت الگوریتم زیر نشان داد:



بنابراین در گام اول فرمول‌بندی مسئله، در گام دوم تعیین اهداف و طرح کلی پروژه، در گام سوم گردآوری داده و مدل‌سازی، در گام چهارم ایجاد مدل در نرم‌افزار، در گام پنجم آزمایش و اعتبار سنجی مدل، در گام ششم طرح آزمایشی، در گام هفتم اجراهای مدل و تحلیل نتایج، در گام هشتم اجراهای بیشتر، در گام نهم تهیه مستندات و ارائه گزارش‌های نهایی و در گام آخر یعنی در گام دهم اجرا انجام خواهد شد (بنکس و همکاران، ۲۰۱۰: ۱). در ادامه به بررسی اقتصاد فیزیک در بازارهای مالی پرداخته خواهد شد.

اقتصاد فیزیک[1] و بازارهای مالی

همان‌گونه که از نام اقتصاد فیزیک و ترکیب واژه‌های اقتصاد و فیزیک مشخص است، این علم میان‌رشته‌ای با استفاده از الگوها و مفاهیم ارائه‌شده از علم فیزیک آماری قصد دارد به تجزیه‌وتحلیل پدیده‌های اقتصادی و مالی بپردازد. منتگنا[2] و استنلی[3] تعریفی را از اقتصاد فیزیک ارائه کرده‌اند

1. Econophysic
2. Mantegna
3. Stanley

بدین‌صورت که اقتصاد فیزیک تلاش‌های حال حاضر تعدادی از فیزیک‌دانان برای مدل‌سازی سیستم‌های مالی و اقتصادی است که از الگوها و ابزارهای فیزیک آماری و نظری بهره می‌گیرند (منتگنا و استنلی، ۳۵۵).

اقتصاد فیزیک در حقیقت خود را به‌عنوان روشی جدید برای اندیشیدن به موضوعات مالی و اقتصادی معرفی می‌نماید که از عینک فیزیک به این موضوعات می‌نگرد. به همان اندازه که اقتصاد کلاسیک، مدل‌های فیزیک کلاسیک را مورداستفاده قرار داده است، مانند آنچه توسط لاگرانژ فرموله شد یا حرکت براونی که از فیزیک وارد اقتصاد شد، اقتصاد فیزیک نیز می‌خواهد پدیده‌های اقتصادی را بر مبنای تناسب‌ها و شباهت‌های به‌دست‌آمده از فیزیک ماده و ابزارها و مفاهیم ریاضی وابسته به آن مدل‌سازی و شبیه‌سازی نماید. همچنین، درحالی‌که جریان اصلی اقتصاد خرد بر رفتار عقلایی افراد پایه‌گذاری شده است اقتصاد فیزیک بر رفتار متقابل میان بازیگران اقتصادی که منجر به ظهور قوانین کلان آماری می‌گردد تمرکز دارد.

این روش با توسعه علومی که اصطلاحاً سیستم‌های پیچیده[1] نامیده می‌شوند در طول دهه ۱۹۹۰، همواره مورداستفاده قرارگرفته است. سیستم‌های اقتصادی نیز به‌عنوان سیستم‌هایی که از ترکیب اجزاء و عوامل مختلفی به وجود آمده‌اند و سیستم‌ها و زیرسیستم‌هایی را تولید می‌کنند که ویژگی‌های کلان دارند، آشکارا گزینه مناسبی برای علوم و سیستم‌های پیچیده به‌حساب می‌آیند (ریکلس[2] ،۲۰۰۷: ۲). در این چارچوب به نظر می‌رسد اقتصاد فیزیک به‌عنوان یک علم جدید دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد:

-روشی متفاوت برای انجام پژوهش (ترجیح تجربه‌گرایی بر پیشینی گرایی)
-دیدگاه‌های متفاوت درباره احتمال وقوع رویدادهای شدید (ترجیح عدم ثبات بر ثبات)
-استفاده متفاوت از مفهوم مدل (ترجیح مدل‌های به‌دست‌آمده از داده بر مدل‌های انتزاعی)
-دارای نگاهی متفاوتی از تقلیل‌گرایی (ترجیح تعاملات متقابل نسبت به نگاه خرد محور)
-تفاوت در بنیان‌های معرفت‌شناختی (ترجیح سطح کلان بر سطح خرد)
-نگاهی متفاوت از علیت (ترجیح علیت هتروپاتیک[3] بر هوموپاتیک[4])، (اسچینکاس[5] ،۲۰۱۰: ۸۱۹).

---

1. Complex Systems
2. Rickles
3. heteropathic
4. homeopathic
5. Schinckus, (2010)

لذا مطالعه حاضر با بهره‌گیری از علم اقتصاد فیزیک و استفاده مناسب از مقالات و پژوهش‌های مختلف انجام‌شده توسط فیزیک‌دان‌ها و اقتصاددان‌ها و متخصصین بین‌رشته‌ای در این زمینه در بخش ارائه یک الگوی تعادلی، زمینه را برای ارائه یک شبیه‌سازی مناسب برای شاخص قیمت سهام ارائه خواهد کرد؛ اما قبل از ارائه این بخش ابتدا در مورد ریسک گریزی مطالبی مختصر ارائه خواهد شد.

رفتار تصادفی شاخص قیمت بازار سهام

بر اساس مطالعات بنر، فرنولز و کاراتزاس[1] (۲۰۰۵) و کارتزاس وکارداراس[2] (۲۰۰۷)، نظریه رفتار تصادفی شاخص قیمت پرتفوی بازار سهام به‌صورت چارچوبی برای شبیه‌سازی تصادفی شاخص بازار سهام دارای کاربردهای مختلفی می‌باشد. بر اساس نظریه پرتفوی تصادفی، فرایند قیمت دارایی را به صورتی زیر تعریف می‌شود. اگر معادله دیفرانسیل تصادفی برای قیمت سهام را به‌صورت زیر در نظر گرفته شود:

$$d\log X(t) = \gamma(t)dt + \sum_{\upsilon=1}^{n} \xi_{\upsilon}(t)dW_{\upsilon}(t), \quad t \in [0, \infty)\}$$

X(t) قیمت دارایی را در زمان t نشان می‌دهد. $W_1, W_2, \ldots, W_n$ نشان دهنده حرکت برونی[3] است. اگر از دو طرف رابطه قبل انتگرال گرفته شود، رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$\log X(t) = \log X_0 + \int_0^t \gamma(s)ds + \int_0^t \sum_{\upsilon=1}^{n} \xi_{\upsilon}(s)dW_{\upsilon}(S), \quad t \in [0, \infty)$$

بطوریکه X_0 یک عدد مثبت است که ارزش اولیه دارایی را نشان می‌دهد. این رابطه را می‌توان به‌صورت زیر نیز نشان داد:

$$X(t) = X_0 \exp\left(\int_0^t \gamma(s)ds + \int_0^t \sum_{\upsilon=1}^{n} \xi_{\upsilon}(s)dW_{\upsilon}(s)\right), \quad t \in [0, \infty),$$

---

1. Banner, Fernholz & Karatzas
2. Karatzas & Kardaras
3. Brownian Motion

رابطه فوق بیانگر این است که به‌طور مجانبی برای $X(t) > ۰, t \geq ۰$ می‌باشد. X نیز دارای ارزش اولیه $X(0)=X_{۰}$ است.

در ادامه فرض کرده یک خانواده متشکل از n سهم از انواع دارایی $X_i,\ i = ۱, \ldots, n,$ تعریف شود. به‌طوری‌که هر سهم را به‌صورت رابطه زیر نشان داده:

$$X_i(t) = X_{۰}^{i} \exp\left(\int_{۰}^{t} \gamma_i(s)ds + \int_{۰}^{t} \sum_{v=۱}^{n} \xi_{iv}(s)dW_v(s)\right), \quad t \in [۰, \infty)$$

لذا می‌توان بازار را که یک خانواده[1] متشکل از n سهم از انواع دارای می‌باشد، به‌صورت $M = \{X_۱, \ldots, X_n\}$ تعریف نمود. بر اساس مطالعات پژوهشگرانی مانند دوفی[2] (۲۰۱۰) و کاراتزاس و کو[3] (۱۹۹۶) می‌توان پرتفوی را به‌صورت زیر بیان نمود:

یک پرتفوی (π) در بازار (M) فرآیندی است قابل‌اندازه‌گیری که به‌صورت زیر قابل نشان دادن می‌باشد.

$$\pi = \{\pi(t) = \{(\pi_۱(t), \ldots, \pi_n(t)), F_t, t \in [۰, \infty)\}$$

به‌طوری‌که:

$$\pi_۱(t) + \ldots + \pi_n(t) = ۱, \quad a.s.$$

فرایند π_i نسبت یا وزن مخصوص هر سهم را در پرتفوی نشان می‌دهد. توجه شود که π_i تعداد یا سهم x_i نگهداری شده در پرتفوی نیست. درواقع نشانگر نسبت x_i به شاخص کل قیمت پرتفوی بازار می‌باشد. فرض کنید که $Z_\pi(t)$ یک ارزش مثبت سرمایه‌گذاری در π در زمان t را نشان می‌دهد. بنابراین میزان سرمایه‌گذاری شده در i امین سهم X_i برابر خواهد بود با:

$$\pi_i(t)Z_\pi(t),$$

---

1. Family
2. Duffie
3. Karatzas & Kou

اگر قیمت X_i به‌اندازه $dX_i(t)$، تغییر کند، تغییر ایجادشده در شاخص قیمت پرتفوی بازار برابر خواهد بود با:

$$\pi_i(t) Z_\pi(t) \frac{dX_i(t)}{X_i(t)}$$

بنابراین تغییر کل در شاخص قیمت پرتفوی بازار در زمان t برابر است با:

$$\frac{dZ_\pi(t)}{Z_\pi(t)} = \sum_{i=1}^{n} \pi_i(t) \frac{dX_i(t)}{X_i(t)}$$

بنابراین درصد تغییرات شاخص قیمت سبد دارایی بازار در زمان t تابعی از درصد تغییرات قیمت هر سهم خواهد بود که دارای رفتاری تصادفی می‌باشد.

تحلیل نظری ریسک گریزی[1]

مفهوم ریسک گریزی یکی از بحث‌های اساسی در تحلیل‌های اقتصادی به شمار می‌رود. به نظر می‌رسد اغلب سرمایه‌گذاران در بازار دارای ویژگی ریسک گریزی می‌باشند. جهت تعیین پارامتر ریسک گریزی در مدل ابتدا سعی بر آن است که مفهوم ریسک گریزی مورداستفاده در این پژوهش مشخص گردد. تابع مطلوبیت انتظاری ون نیومن–مورگنشتاین ($U(F)$) به صورتی که در ادامه آورده شده است، نشان داده می‌شود:

$$U(F) = \int u(w) dF(w)$$

تابع مطلوبیت ون نیومن–مورگنشتاین، درواقع همان امید ریاضی تابع مطلوبیت برنولی[2] ($u(w)$) می‌باشد. حال با توجه به مباحث مطرح‌شده می‌توان ابتدا به‌دقت ریسک گریزی را تعریف و سپس روش اندازه‌گیری[3] آن را در این پژوهش ارائه نمود.

---

1. Risk Aversion
2. Bernoulli
3. Measurement Risk

یک تصمیم‌گیرنده ریسک گریز[1] است. اگر به ازای هر بخت‌آزمایی $F(.)$، بخت‌آزمایی تباه‌شده‌ای وجود داشته باشد به‌طوری‌که که مقدار آن با اطمینان برابر با $\int wdF(w)$ باشد، حداقل به‌خوبی بخت‌آزمایی $F(.)$ باشد. اگر تصمیم‌گیرنده همیشه (برای هر $F(.)$) نسبت به این دو بخت‌آزمایی بی‌تفاوت باشد، می‌گوییم که وی ریسک خنثی است. تصمیم‌گیرنده به‌طور اکید ریسک گریز[2] است اگر بی‌تفاوتی برقرار باشد تنها زمانی که دو بخت‌آزمایی دستاورد یکسانی داشته باشند. بنابراین اگر الگوی ترجیحات یک تابع نمایی مطلوبیت انتظاری را با تابع مطلوبیت برنولی $u(.)$ نتیجه دهد، از تعریف ریسک گریزی نتیجه می‌شود که تصمیم‌گیرنده ریسک گریز است اگر و فقط اگر برای تمام $F(.)$ ها رابطه زیر برقرار باشد:

$$\int u(x)dF(x) \le u(\int xdF(x))$$

رابطه فوق به نامساوی ینسن[3] معروف است که درواقع تعریفی از یک تابع مقعر است. بنابراین در چارچوب نظریه مطلوبیت ملاحظه می‌شود که ریسک گریزی هم‌ارز با تقعر تابع مطلوبیت است و ریسک گریزی اکید، هم‌ارز با تقعر اکید تابع مطلوبیت است. تقعر اکید به این معنی است که تابع مطلوبیت کاهشی است. ازاین‌رو در سطحی از دارایی w، مطلوبیت حاصل از واحدهای اضافی دارایی، کوچک‌تر از کاهش مطلوبیت از دست دادن یک واحد دارایی است.

حال می‌توان مقدار ریسک گریزی را اندازه‌گیری[4] کرد. با فرض مشتق‌پذیری مرتبه دوم تابع مطلوبیت برنولی $u(.)$ نسبت به دارایی، ضریب ریسک گریزی مطلق آرو- پرات[5] به‌صورت زیر تعریف می‌گردد.

$$a_A = -\frac{u''(w)}{u'(w)}$$

ازآنجاکه ریسک خنثی بودن هم‌ارز با خطی بودن تابع مطلوبیت برنولی $u(.)$ می‌باشد لذا مشتق دوم این تابع مطلوبیت برای تمام w ها برابر با صفر ($u''(w) = 0$) خواهد بود. بنابراین منطقی به

---

1. Risk Averter
2. Strictly risk Averse
3. Jensen
4. The Measurement of Risk Aversion
5. Arrow–Pratt

نظر می‌رسد که درجه ریسک گریزی مرتبط با تقعر $u(.)$باشد. ریسک گریزی نسبی[1] نیز به‌صورت زیر قابل‌تعریف می‌باشد (مسکالل، وینستون و گرین[2] ، ۱۹۹۷)

$$a_r = -w\frac{u''(w)}{u'(w)}$$

در ادامه با ارائه مفاهیم موردنیاز در چارچوب ادبیات تعادلی و با برقراری شرایط تسویه بازار، مقدمات لازم برای آزمون شبیه‌سازی رفتار شاخص قیمت سهام در ایران فراهم خواهد کرد.

تبیین مبانی نظری رفتار تعادلی در بازار مالی

تبیین مکانیسم مبادله در بازار

الف- سرمایه‌گذاران ناهمگن

بازار شامل تعداد زیادی سرمایه‌گذار علاقه‌مند به دادوستد می‌باشد. اگر تمامی سرمایه‌گذاران مانند یکدیگر رفتار کنند، آنگاه انتظار می‌رود که اعمال آن‌ها نیز مشخص و معین باشد. بنابراین طبیعی است که فرض منحصربه‌فرد بودن هر یک از سرمایه‌گذاران را می‌توان در نظر گرفت.

ب- وجود یک دارایی ریسکی و یک دارایی بدون ریسک

برای سادگی فرض می‌شود در بازار تنها یک دارایی ریسکی (سهام شرکت سهامی عامی) و یک دارایی بدون ریسک (مانند پول نقد) مورداستفاده قرار می‌گیرد. سهم‌های موجود و قابل‌مبادله در بازار نگهداری و از چرخه بازار خارج نخواهد شد.

ج-همزمانی[3]

همه مبادلات در بازار سهام به‌طور هم‌زمان در هرروز کاری انجام می‌پذیرند.

---

1. Relative Risk Aversion
2. *Mas*-Colell, *Whinston*, and Green.
3. Simultaneously

د-تمرکز در انجام معاملات[1]

سرمایه‌گذاران در مدل با محدودیت انجام معامله تنها با یک فعال تخصصی به نام کارگزار روبرو هستند. آن‌ها مجاز به انجام مستقیم مبادله و معامله با یکدیگر نیستند.

تشکیل سبد دارایی سرمایه‌گذار

دارایی هر سرمایه‌گذار در سبد دارایی وی می‌تواند شامل دو بخش باشد. بخش اول آن شامل s سهم از یک دارایی ریسکی و بخش دیگر آن شامل نقدینگی c به‌عنوان دارایی بدون ریسک در نظر گرفت. اگر قیمت سهام معادل با p در نظر گرفته شود آنگاه کل دارایی سرمایه‌گذار در زمان t برابر با $w_t = c_t + p_t s_t$ می‌باشد. دارایی سرمایه‌گذار پس از یک روز (از روز به‌عنوان یک واحد زمان تعریف می‌شود) برابر خواهد بود با:

$$w_{t+1} = c_t + p_{t+1} s_t = w_t + \left[p_{t+1} - p_t\right] s_t$$

رفتار مبادله‌ای در اینجا عملاً به مسئله بهینه‌سازی تبدیل می‌شود. اگر سرمایه‌گذاران بدانند که قیمت سهام در روز بعد افزایش خواهد یافت ($p_{t+1} \rangle p_t$) آنگاه کل دارایی یک فرد به سهام اختصاص می‌یابد و در حالت عکس آن کل دارایی فرد به‌صورت پول نقد نگهداری خواهد شد (بلوک[2]، ۲۰۰۰).

تابع مطلوبیت نمایی[3]

در این الگو سرمایه‌گذاران را به‌عنوان حداکثر کنندگان مطلوبیت مورد انتظارشان در نظر گرفته می‌شود. تابع مطلوبیت در آنان یکنوا و صعودی نسبت به دارایی است و مشتق مرتبه دوم تابع مطلوبیتشان منفی است که نشان از تحدب تابع مطلوبیت می‌باشد. این فروض نشان‌دهنده این است که تابع مطلوبیت بکار گرفته‌شده در این الگو خوش‌رفتار[4] می‌باشد. فرمی از تابع مطلوبیت که مورداستفاده قرار می‌گیرد، تابع مطلوبیت نمایی است که به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

---

1. Centralized Trading
2. Block
3. Exponential Utility Function
4. Well Established

$$U(w) = w_{goal}(1 - e^{-w/w_{goal}})$$

که در آن w_{goal} به‌عنوان دارایی هدف شناخته می‌شود. در نقاط کمتر از w_{goal} سرمایه‌گذار تمایل به انجام ریسک برای دستیابی به بازدهی بالاتر را دارد (نیومن و مورگنسترن[1] ، ۱۹۴۵).

موجودی بهینه[2]

با استفاده از تابع مطلوبیت می‌توان یک‌راه حل تحلیلی برای مسئله حداکثر سازی ارائه کرد (گروسمن[3] ، ۱۹۷۶) با فرض اینکه دارایی آتی دارای توزیع گاوسی باشد (از فرض تئوری حد مرکزی[4] منتج می‌شود)، می‌توان نتیجه گرفت که مطلوبیت مورد انتظار منسوب به نیومن و مورگنسترن برابر خواهد بود با:

$$\langle U(w_{t+1})\rangle = \int U(w_{t+1})\Pr(w_{t+1})dw_{t+1} = w_{goal}\left[1 - \exp\left(\frac{Var[w_{t+1}]}{2w_{goal}^2} - \frac{\langle w_{t+1}\rangle}{w_{goal}}\right)\right]$$

این تابع با حداقل کردن مقادیر نمایی به حداکثر خود خواهد رسید.[5] به دارایی مورد انتظار بستگی به تغییرات قیمت خواهد داشت، به‌گونه‌ای که میانگین و واریانس دارایی آتی برابر با مقادیر روبرو می‌باشد:

$$\langle w_{t+1}\rangle = w_t + s_t\{\langle p_{t+1}\rangle - p_t\}$$
$$Var[w_{t+1}] = s_t^2 Var[p_{t+1}]$$

تابع مطلوبیت انتظاری ناشی از دارایی آتی را می‌توان نسبت به متغیر تعداد سهام نگهداری شده (s_t) حداکثر کرد. این حداکثر سازی می‌تواند مقدار بهینه سهام نگهداری شده را با در نظر گرفتن

---

1. Neumann & Morgenstern
2. Optimal Holding
3. Grossman
4. Central Limit Theorem

۵. در مطالعه حاضر نماد $\langle\ \rangle$ بجای نماد E بکار رفته است.

محدودیت عدم فروش کوتاه‌مدت تمامی سهم‌ها ($s_t^* \geq 0$) و نیز اعمال محدودیت قرض دادن وجوه نقد ($w_t \geq p_t s_t^*$) نشان دهد.

$$s_t^*(p_t) = \frac{w_{goal}(\langle p_{t+1} \rangle - p_t)}{Var[p_{t+1}]}$$

استراتژی سرمایه‌گذار را می‌توان بدین‌صورت تشریح کرد که اگر میزان سهام نگهداری شده بیش از مقدار بهینه آن ($s_t \rangle s_t^*$)باشد، سرمایه‌گذار اقدام به فروش مازاد سهام خواهد کرد و بالعکس. در رابطه مقدار سهام بهینه تنها زمانی سرمایه‌گذار تصمیم می‌گیرد که میزان سهام بهینه نگهداری شده را افزایش دهد که ارزش مورد انتظار بازدهی سرمایه‌گذاری مثبت باشد و یا عدم اطمینان ناشی از تغییرات قیمت کاهش یابد.

ریسک گریزی[1]

بر اساس تابع مطلوبیت مورداستفاده در این پژوهش ریسک گریزی نسبی سرمایه‌گذار به‌صورت زیر به دست می‌آید(منزس و هانسن[2] ، ۱۹۷۰):

$$U(w) = w_{goal}(1 - e^{-w/w_{goal}}) \Rightarrow a = \frac{w_t}{w_{goal}}$$

که با فرض اینکه هزینه مبادله[3] صفر باشد، سبد دارایی بهینه به‌صورت زیر خواهد بود:

$$s_t^*(p_t) = \frac{w_t(\langle p_{t+1} \rangle - p_t)}{aVar[p_{t+1}]}$$

1. Risk Aversion
2. Menezes & Hanson
3. Transaction Cost

درصد سرمایه‌گذاری بهینه[1]

نسبت سرمایه‌گذاری در زمان t از رابطه $i_t = \frac{s_t p_t}{w_t}$ به دست می‌آید. اگر میزان بازدهی سرمایه‌گذاری در زمان t+1 به‌صورت $r_{t+1} = \frac{p_{t+1} - p_t}{p_t}$ تعریف شود. بنابراین میانگین و واریانس بازدهی با فرض اینکه قیمت فعلی (p_t) مشخص و داده‌شده باشد، به‌صورت زیر قابل‌محاسبه می‌باشد:

$$\langle r_{t+1} \rangle = \frac{\langle p_{t+1} \rangle - p_t}{p_t} \;\&\; Var[r_{t+1}] = \frac{Var[p_{t+1}]}{p_t^2}$$

اگر نسبت بهینه سرمایه‌گذاری با (i_t^*) نشان داده شود. می‌توان نسبت بهینه سرمایه‌گذاری را بر اساس میزان بازدهی انتظاری و واریانس آن به‌صورت $i_t^* = \frac{\langle r_{t+1} \rangle}{aVar[r_{t+1}]}$ به دست آورد. که در آن محدودیت $0 \le i_t^* \le 1$ برقرار می‌باشد. زمانی که بازدهی مورد انتظار بیش از محدودیت اعمال‌شده باشد($\langle r_{t+1} \rangle \ge aVar[r_{t+1}]$)تمامی دارایی سرمایه‌گذار علی‌رغم ریسکی که وجود دارد به‌صورت سهام نگهداری خواهد شد. این پدیده اتفاق می‌افتد زیرا سرمایه‌گذاران فرض می‌کنند که بازدهی‌ها دارای توزیع گاوسی هستند که گشتاورهایی بالاتر از واریانس ندارند(گشتاورهای بالاتر ریسک را افزایش می‌دهند).

محدودیت سرمایه‌گذاری[2]

برای اجتناب از پیچیدگی‌های موجود در مدل یک محدودیت بروی نسبت سرمایه‌گذاری(δ) اعمال می‌شود: نسبت سرمایه‌گذاری در بازه $i \in [\delta, 1-\delta]$ قرار خواهد گرفت. درنتیجه سرمایه‌گذاران هرگز در وضعیتی قرار نخواهند گرفت که کل پول‌های خود را در بازار سهام سرمایه‌گذاری کنند یا آن را به‌طور کامل از بازار خارج کنند. این محدودیت که همه سرمایه‌گذاران به‌طور هم‌زمان سهامشان را بفروشند و درنتیجه قیمت به سمت صفر سقوط کند، جلوگیری می‌کند.

---

1. Optimal Investment Fraction
2. Investment Limit

نوسانات[1]

در شبیه‌سازی نوسانات قیمت بازار، نوسانات تصادفی را باید به الگو اضافه نمود. در رابطه $\langle r_{t+1}\rangle_{\varepsilon} \equiv \langle r_{t+1}\rangle + \varepsilon_t$، ε_t یک متغیر تصادفی با توزیع گاوسی و همچنین با میانگین صفر و واریانس σ_{ε}^2 می‌باشد. می‌توان فرض کرد که سرمایه‌گذاران از اینکه پیش‌بینی‌های آنان دارای عدم اطمینان است، آگاه باشند. درنتیجه واریانس پیش‌بینی بازدهی آن‌ها به شکل زیر خواهد بود:

$$\mathrm{var}[r_{t+1}] \equiv \mathrm{var}[r_{t+1}] + \sigma_{\varepsilon}^2$$

البته فرض می‌شود بازدهی پیش‌بینی‌شده r_{t+1} نیز دارای توزیع گاوسی است. نوسان‌ها[2] به‌وسیله یک انحراف تصادفی[3] برای هر سرمایه‌گذار در هر مرحله زمانی تعیین کرده و به بازدهی مورد انتظار سرمایه‌گذار اضافه خواهد شد.

تسویه بازار[4]

در اینجا به‌طور ساده فرض می‌شود نمایندگی کارگزاری قیمتی را اعلام می‌کند که از تسویه بازار حاصل می‌شود درنتیجه همه خریداران، فروشندگان را یافته و هیچ سفارشی جهت گشایش باقی نمی‌ماند(یعنی در بازار نه مازاد عرضه و نه مازاد تقاضا وجود نخواهد داشت و مبادلات در بازار به تعادل می‌رسند). تعیین قیمت مبادله توسط کارگزار از طریق فرآیند مزایده[5] و حراج است. اگر سفارش خریداران بیشتر باشد، سبب می‌شود که قیمت برای تشویق فروشندگان افزایش یابد و برعکس. لذا می‌توان نتیجه گرفت که میزان بهینه نگهداری برای سرمایه‌گذار j، با نقدینگی c_j و سهام s_j در قیمت p برابر است با:

$$s_j^* = \frac{c_j + s_j p}{p} i_j^*.$$

---

1. Fluctuation
2. Fluctuations
3. Random Deviate
4. Market Clearing
5. Auction

با مشخص بودن نسبت‌های بهینه سرمایه‌گذاری i_j^* و ترکیب فعلی سبد دارایی (c_j, s_j) ، سرمایه‌گذاران یک تابع تقاضای کلی(تقاضا در برابر قیمت) به ازای همه قیمت‌ها ارائه می‌دهند. با توجه به هدف نمایندگی کارگزاری در ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضا می‌توان به یک قیمت تعادلی منحصربه‌فرد در بازار رسید:

$$p = \frac{\sum_j i_j^* c_j}{\sum_j (1 - i_j^*) s_j} \quad \text{و} \quad \sum_j (s_j^* - s_j) = \frac{1}{p} \sum_j c_j i_j^* + \sum_j (i_j^* - 1) s_j = 0$$

مقادیر c_j, s_j, i_j^* همگی قبل از اینکه هرگونه مبادله‌ای در روز جاری اتفاق افتد، وجود دارند.

قیمت اولیه مبادله[1]

قیمت مبادله با گذشته خود دارای همبستگی می‌باشد. لذا قیمت اولیه به‌عنوان نقطه شروع، می‌تواند مسیر رفتار دینامیک شاخص قیمت سهام را تحت تأثیر قرار دهد. در تعیین قیمت مبادله اولیه مورد انتظار بر اساس فرض توزیع اولیه یکسان نقدینگی و سهام برای سرمایه‌گذار، می‌توان به رابطه روبه‌رو دست‌یافت:

$$p_0 = \frac{\sum_j i_j^*}{\sum_j 1 - i_j^*} = \frac{\langle i^* \rangle}{1 - \langle i^* \rangle}$$

برای محاسبه نسبت سرمایه‌گذاری مورد انتظار، می‌بایست به خاطر داشت که در ابتدا سابقه بازدهی وجود ندارد. درنتیجه بازدهی‌های مورد انتظار دارای توزیع گاوسی با میانگین صفر و واریانس σ^2 هستند. لذا با استفاده از روابط قبلی می‌توان به رابطه زیر رسید:

$$i_t^* = \frac{\langle r_{t+1} \rangle}{a Var(r_{t+1})} \Rightarrow i_j^* = \frac{\varepsilon_j}{a \sigma_\varepsilon^2} \equiv \frac{x_j}{k}$$

---

1. Initial Trading Price

به‌طوری‌که x و kبه‌صورت رابطه‌های $x=\frac{\varepsilon}{\sigma_\varepsilon}$ و $k=a\sigma_\varepsilon$ تعریف می‌شود. با فرض اینکه ریسک گریزی a و عدم اطمینان پیش‌بینی σ_εبرای همه کارگزاران مشخص است. می‌توان نسبت سرمایه‌گذاری مورد انتظار را به شکل زیر ارائه کرد(بلوک[1] (۲۰۰۰)):

$$\left\langle i^* \right\rangle = \int_0^{i(x)=1} i(x)\,\Pr(x)dx + \int_{i(x)=1}^{\infty} \Pr(x)dx$$
$$= \frac{1}{\sqrt{2\pi k}}(1-e^{-\frac{k^2}{2}}) + \frac{1}{2}(1-erf\,(k/\sqrt{2}))$$

با جایگزینی این معادله در معادله قیمت اولیه، قیمت مبادله به‌عنوان تابعی از یک پارامتر $k=a\sigma_\varepsilon$ به دست می‌آید.توجه داشته باشید که ارزش سهام با افزایش در ریسک گریزی یا عدم اطمینان بازدهی، کاهش می‌یابد. باید توجه داشت که هر چه مقدار kبزرگ‌تر شود، قیمت به سمت صفر نیز میل خواهد کرد. حال هدف نمایندگی کارگزاری تعیین قیمت سهام است به‌گونه‌ای که بازار تسویه شود و هیچ سفارشی باقی نماند. دراین‌بین سرمایه‌گذاران حداکثر کننده‌های مطلوبیت هستند که بر اساس سابقه بازدهی موجود در بازار، بازدهی‌های آینده را پیش‌بینی کند و سپس نسبت سرمایه‌گذاری بهینه را تعیین می‌نمایند. در ادامه به‌طور مختصر مروری بر برخی مطالعات انجام‌شده در خارج و داخل ایران خواهد شد.

پژوهشگران در خارج از کشور و نیز در داخل کشور در راستای بررسی نوسانات بازار سهام و نیز شبیه‌سازی این بازار پژوهش‌های مختلفی را انجام داده‌اند که به‌طور نمونه مروری به چند مطالعه در خارج و داخل کشور اشاره خواهد شد. پونتا و همکاران[2] (۲۰۱۸) در پژوهشی به تجزیه‌وتحلیل پویایی نوسانات قیمت سهام پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از تحلیل سری زمانی قیمت سهام به این نتیجه رسیدند که تحریکات بیرونی بازار سهام باعث آشوبناکی رفتار شاخص بازار سهام خواهد شد. آن‌ها نظریه همگرایی ثابت زمانی را برای کنترل نوسانات قیمت سهام را پیشنهاد می‌کنند. همچنین شبیه‌سازی عددی بازار سهام در چارچوب الگوی ارائه‌شده را موفقیت‌آمیز می‌دانند. وارگاس و همکاران[3] (۲۰۱۷) به پیش‌بینی بازار سهام با بهره‌گیری از تکنیک یادگیری عمیق

1. Blok
2. Ponta, et al
3. Vargas, et al

پرداخته‌اند. این مطالعه برای پیش‌بینی روزانه شاخص s&p 500 با استفاده از تأثیر خبرهای مالی و مجموعه‌ای از شاخص‌های فنی به‌عنوان ورودی سعی در استفاده از تکنیک یادگیری عمیق دارد. روش‌های یادگیری عمیق می‌تواند الگوهای پیچیده و تعاملات داده‌ها را شناسایی و تجزیه‌وتحلیل کند و به‌طور خودکار اجازه می‌دهد تا روند معامله را سریع‌تر نماید. این پژوهش بر روی مقایسه چارچوب‌های پیش‌بینی بر اساس دو روش شبکه‌های عصبی مصنوعی (CNN) و شبکه‌های عصبی مکرر (RNN) تمرکز دارد. به‌طور مشخص نتایج نشان می‌دهد که روش CNN می‌تواند بهتر از روش RNN در پیش‌بینی عمل نماید.

ناوال و همکاران[1] (۲۰۱۶) در پژوهشی به پیش‌بینی بازار سهام از روش داده‌کاوی و هوش مصنوعی پرداخته‌اند. آن‌ها عنوان می‌کنند که پیش‌بینی هر چیزی که در آن ارتباط بین ورودی و خروجی آن دارای ویژگی غیرخطی باشد، بسیار سخت است. دراین‌بین پیش‌بینی ارزش بازار سهام یکی از کارهای چالش‌برانگیز در سری زمانی مالی است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با استفاده از تکنیک اقتصادسنجی خود همبسته میانگین متحرک، می‌توان بالاترین پیش‌بینی محتمل را برای سهام خاص انجام داد.

کارایانی[2] (۲۰۱۴) در پژوهشی قدرت پیش‌بینی پویایی بازار سهام به‌وسیله آنتروپی تجزیه ارزش پرداخته است. در این مطالعه رویکردی مبتنی بر همبستگی، برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های مالی شاخص داو جونز بازار سهام ایالات‌متحده انتخاب‌شده است. نتایج نشان از وجود فرکانس‌های زیادی در داده‌های روزانه می‌باشد که باعث ایجاد نوسانات سیستماتیک در پیش‌بینی خواهد شد. لذا با استفاده از روش علیت گرنجری به دلیل رویکرد گذشته‌نگری که دارد می‌توان به پیش‌بینی بهتر شاخص روزانه دست‌یافت.

که و چن[3] (۲۰۱۳) در پژوهشی به الگوسازی و شبیه‌سازی یک سیستم مبادله‌ای مصنوعی برای بازار سهام پرداخته‌اند. آن‌ها با استفاده از روش شبیه‌سازی کامپیوتری، یک مدل مصنوعی در بازار سهام که متشکل از عوامل تصمیم‌گیری مختلفی است طراحی کرده‌اند. این شبیه‌سازی با انجام تجزیه‌وتحلیل بنیادین و تکنیکال در ابعاد سرمایه‌گذاران، هزینه مبادله، حجم معامله و نیز در نظر گرفتن شرایط بدون ریسک، و اعمال شرایط محدودیت تغییرات قیمت سعی در پیش‌بینی نوسانات قیمت و نیز حجم نقدینگی دارد. نتایج نشان از وجود یک تابع توزیع با دنباله پهن می‌باشد که در

1. Navale, et al
2. Caraiani
3. Ke & Chen

اکثر سری‌های زمانی در بازارهای مالی واقعی دیده می‌شود. همچنین شبیه‌سازی رفتار غیرمنطقی سرمایه‌گذاران نشان از افزایش نوسانات قیمت در بازار دارد.

موسوی حقیقی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی به بررسی شبیه‌سازی قیمت سهام از منظر عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر سیستم با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی پرداخته‌اند. الگوی این پژوهش امکان پیش‌بینی و تحلیل نوسان‌های آیندهٔ قیمت این سهم و همچنین ارزش ذاتی سهام را برای سیاست‌گذاران و صاحبان منافع (از منظر عوامل داخلی و خارجی) فراهم کرده است. برای الگوسازی رفتار سهم، عوامل اثرگذار بر قیمت سهم در بورس اوراق بهادار و عوامل مؤثر در قیمت محصول شرکت در بازار، شناسایی و نمودارهای علّی و معلولی هر بخش بر اساس روش‌شناسی پویایی‌های سیستم ترسیم‌شده است. متغیرهای مالی در سه بخش قیمت‌گذاری، قیمت و تأمین مالی از طریق بدهی بررسی‌شده است. الگوی سیستمی پژوهش با استفاده از این رویکرد و با نرم‌افزار Vensim DSS شبیه‌سازی و تحلیل‌شده است. نتایج نشان می‌دهد عرضهٔ سهم، در بخش قیمت سهم، بیشترین تأثیر و تأمین مالی از طریق بدهی‌ها، در قیمت ذاتی سهم اثرگذاری مثبتی دارد.

فلاح‌پور و علی پور ریکنده (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی شاخص سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی موجکی در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته‌اند. در این پژوهش شاخص کل سهام بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل‌های مختلف شبکه‌های عصبی پیش‌بینی‌شده است. دورهٔ زمانی انجام پژوهش از ابتدای سال ۸۱ تا پایان سال ۹۰ می‌باشد. برای ایجاد مدل WDBP از موجک db5 برای نویز زدایی داده‌ها و تا پنج مرحله صورت گرفته است. جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) معیارِ ارزیابی برای سنجش خطای پیش‌بینی است. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد، عملکرد شبکهٔ عصبی موجکی در پیش‌بینی شاخص سهام سطح خطای کمتری دارد و از شبکهٔ عصبی بهتر است.

رادمهر و شمس قارنه (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به پیش بینی شاخص بازار بورس تهران با استفاده از مدل سری زمانی فازی مرتبه بالا و الگوریتم شبیه سازی تبرید پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید و سه عملگر جدید طراحی‌شده سعی در برطرف نمودن ایرادات مطالعات قبلی برای تعیین بازه‌های مناسب شده است. روش تاگوچی به‌عنوان ابزاری برای تعیین مقادیر بهینه‌ی پارامترها و فاکتورهای مدل مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج به‌دست‌آمده حاکی از برتری مدل نسبت به مدل‌های موجود است.

موسوی حقیقی و ستوده (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به شبیه سازی الگوی پویای رفتاری سهام در بورس اوراق بهادار تهران پرداخته‌اند. این پژوهش رفتار سهام صنایع ملی مس ایران را در بازار بورس شبیه‌سازی نموده و

امکان پیش‌بینی و تحلیل نوسانات آتی قیمت این سهم را برای سیاست گذران و ذینفعان فراهم کرده است. برای الگوسازی رفتار سهم، عوامل اثرگذار بر قیمت سهم در بازار بورس و عوامل مؤثر در قیمت محصول در بازار شناسایی‌شده‌اند. در گام بعد نمودارهای علی و معلولی هر بخش بر اساس روش‌شناسی پویایی‌های سیستم ترسیم‌شده است. سپس الگوی پژوهش با استفاده از رویکرد پویایی‌های سیستم مورد شبیه‌سازی و تحلیل قرارگرفته است. نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین عامل اثرگذار بر نوسانات قیمت سهام، هزینه تولید و پس‌ازآن قیمت جهانی مس می‌باشد. درنهایت نیز سناریوهای مختلف از قبیل اجرای فاز دوم هدفمندسازی یارانه‌ها، نوسانات قیمت جهانی و نسبت P/E سهم برای پیش‌بینی نوسانات آتی قیمت سهم مطرح و نتایج آن‌ها مورد تحلیل قرار گرفت.

مشیری و سلامی (۱۳۸۸) در پژوهشی به بررسی شبیه‌سازی بازار سهام با توجه به ویژگی‌های ساختاری بازار سهام تهران پرداخته‌اند. آنان بیان می‌کنند که روش شبیه‌سازی بازیگر مدار امکان ایجاد فضای مصنوعی برای تقابل و تعامل تعداد زیادی از بازیگران در محیط رایانه را فراهم می‌آورد. بر همین اساس با توجه به مدل‌های موجود در ادبیات این حوزه و ویژگی‌های جدید، بازار سهام تهران شبیه‌سازی‌شده است. آزمون‌ها نشان می‌دهد که ا مدل به‌خوبی توانسته است مشخصات آماری موجود در سری زمانی قیمت‌ها و بازدهی‌های بازارهای بین‌المللی و بازار سهام تهران را بازتولید نماید.

مطالعه حاضر نسبت به سایر مطالعات انجام‌شده در بازار سهام ایران سعی دارد به‌نوبه خود با تبیین روش‌های نوین و به‌کارگیری آن‌ها، گامی هرچند کوچک را در جهت ارتقا سطح پژوهش‌های کاربردی در بازار سرمایه ایران بردارد. لذا این پژوهش به‌طور مشخص می‌کوشد تا با به‌کارگیری روش‌ها و الگوهای مشخص در علوم مختلف ازجمله علوم مالی، اقتصاد و فیزیک در کنار یکدیگر به هدف خود یعنی زمینه‌سازی برای نظر شبیه‌سازی رفتار شاخص قیمت سهام در یک دوره مشخص و تحلیل واکنش روند شبیه‌سازی‌شده با تغییر پارامترهای مهم مالی ازجمله ریسک گریزی و نسبت نقدینگی بپردازد.

سؤالات پژوهش

در این بخش با توجه به ادبیات پژوهش و بهره‌گیری از سوابق پژوهشی می‌توان سؤالات زیر را مطرح نمود:

- آیا در فضای یک الگوی تعادلی با شرط وجود تسویه بازار و بر اساس یک رهیافت گذشته‌نگر تصادفی می‌توان رفتار شاخص قیمت سهام در ایران را برای یک دوره مشخص شبیه‌سازی کرد؟
- رفتار شبیه‌سازی‌شده بازار سهام با تغییر پارامتر ریسک گریزی چه نوع واکنشی را از خود نشان می‌دهد؟

روش‌شناسی پژوهش

جامعه پژوهش این پژوهش بورس اوراق بهادار تهران انتخاب گردید. در این پژوهش از داده‌های شاخص کل قیمت بازار سهام ایران به‌صورت روزانه استفاده‌شده است. نمونه مورداستفاده به‌صورت سری زمانی، از نیمه آذرماه سال ۱۳۸۷ تا نیمه مردادماه سال ۱۳۹۵ در نظر گرفته‌شده است. همچنین این داده‌ها از مرکز آمار سازمان بورس اوراق بهادار دریافت شده است. جهت انجام شبیه‌سازی از نرم‌افزار متلب بهره گرفته‌شده است.

در این بخش از پژوهش با استفاده از روش الگوریتم شبیه‌سازی تصادفی در چارچوب الگوی بلک، شولز و مرتون[1] ، مسیر حرکت قیمت را روش‌شناسی و مقدمات لازم برای آزمون شبیه‌سازی رفتار شاخص قیمت سهام در ایران را در چارچوب مبانی نظری مطرح‌شده فراهم خواهد کرد. که به‌طور مختصر توضیح داده خواهد شد.

الگوریتمی برای تولید اعداد شبه تصادفی[2]

امکان تولید اعداد شبه تصادفی(این اعداد ویژگی اعداد تصادفی را دارد و امکان تولید مجدد این اعداد وجود خواهد داشت) می‌بایست فراهم گردد. بنابراین از الگوریتمی استفاده خواهد شد که بتواند دنباله‌ای از اعداد را تولید نماید به‌طوری‌که تخمین مناسبی از ویژگی‌های اعداد تصادفی را داشته باشد. پژوهش حاضر با استفاده از تکنیک تولید حرکت براونی موجک[3] اقدام به شبیه‌سازی رفتار بازار سهام ایران خواهد کرد.

مسیر حرکت قیمت

در این بخش بر اساس مطالعه‌ای که مکالی[4] (۲۰۰۴) برای تبیین مسیر حرکت قیمت که توسط بلک، شولز و مرتون[5] ارائه گردید و به الگوی بلک-شولز معروف می‌باشد، پرداخته خواهد شد. آن‌ها با بهره‌گیری از رفتار حرکت براونی[6] ، کوشیدند تغییرات قیمت را در طول زمان به دست

---

1. Black-Scholes-Merton Option Pricing Model
2. Pseudo Random Numbersyahoo
3. Wavelate
4. Mccauley
5. Black-Scholes-Merton Option Pricing Model
6. Brownian Motion

آورند. در این قسمت با بهره‌گیری از الگوی بلک-شولز مسیر حرکت قیمت به دست خواهد آمد. رابطه زیر نشان‌دهنده رفتار براونی قیمت باشد.

$$d(\log(P(t))) = \gamma(t)dt + \sum_{\nu=1}^{n} \xi_{\nu}(t) dW_{\nu}(t) \qquad t \in [0 \quad \infty]$$

W_t نیز نشان‌دهنده حرکت براونی می‌باشند. اگر $\log(P(t)) = P_t^l$ فرض شود. رابطه بلک-شولز با بهره گیری از رابطه ایتو[1] ، معادل با رابطه $\frac{dP_t^l}{P_t^l} = \mu dt + \sigma dW_t$ خواهد شد.

به‌طوری‌که، μ برابر با بازده مورد انتظار و σ انحراف معیار تغییر نسبی در قیمت سهام می‌باشد. حال در چارچوب الگوی موردبررسی در پژوهش حاضر، فرض کنید که P_t شاخص قیمت بازار در زمان t می‌باشد و نیز این شاخص از یک فرآیند مارکوف[2] تبعیت می‌کند. رابطه بلک- شولز به‌صورت $dP_t^l = \mu P_t^l dt + \sigma P_t^l dW_t$ برای شاخص قیمت بازار می‌توان تعریف نمود. اصطلاحاً $(\sigma P_t^l)^2$ را ضریب انتشار قیمت غیرثابت[3] می‌نامند. مسیر حرکت قیمت با بهره‌گیری از بسط تیلور برای لگاریتم قیمت شاخص سهام و انجام محاسبات ریاضی و انجام جایگزینی‌های لازم، می‌توان به رابطه زیر رسید:

$$P_t = P_0 . Exp\left[(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)t + \sigma W_t \right] \quad \text{یا} \quad P_t^l = P_0^l + \left[(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)t + \sigma W_t \right]$$

با توجه به محاسبه پارامترهای موردنیاز و نیز برآورد قیمت اولیه می‌توان اقدام به آزمون شبیه‌سازی رفتار شاخص قیمت بازار سهام ایران کرد. بنابراین مطالعه حاضر می‌کوشد با کنار هم قرار دادن مطالعات نظری و کاربردی علوم مختلف ازجمله اقتصاد، فیزیک، علوم مالی و ریاضی به بررسی تجربی رفتار شاخص قیمت در بازار سهام ایران در بخش بعدی بپردازد.

---

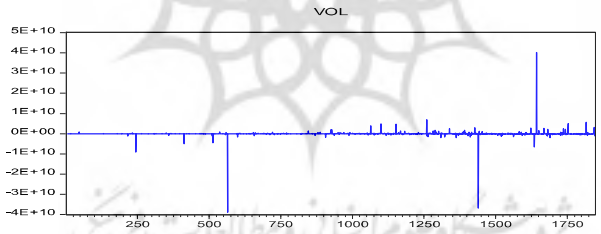
1. Ito: $F(X_t) = F(X_0) + \int_0^t F'(X_t)dX_t + \frac{1}{2}\int_0^t F''(X_t)d\langle M \rangle_t \qquad M_t \to Martingale$
2. Markov Processes
3. Nonconstant Price Diffusion Coefficient

تجزیه و تحلیل داده ها و آزمون فرضیه ها

هدف از این بخش، آزمون تجربی الگوی اقتصادی ارائه‌شده در قسمت قبلی و توانایی قدرت شبیه‌سازی رفتار پیچیده شاخص قیمت سهام بازار بورس ایران می‌باشد. لذا جهت شبیه‌سازی دینامیک رفتار شاخص بازار سهام می‌بایست در چارچوب قوانین و روابط حاکم در الگوی موردنظر، تأثیر اجزاء و پارامترهای اثرگذار موردبررسی قرار گیرد. در ادامه به محاسبه میزان تلاطم[1] شاخص قیمت سهام پرداخته خواهد شد.

بررسی میزان تلاطم

در این بخش روش پارامتریک که از تکنیک میانگین متحرک موزون نمایی[2] استفاده می کند، برای برآورد میزان تلاطم بهره گرفته خواهد شد.[3] در این روش هر چه از زمان حال به گذشته برگشته، به‌صورت تصاعدی وزن کوچک‌تری (اهمیت کمتری) برای محاسبه داده می‌شود.[4] در برآورد تجربی به‌طور دقیق برای بازار حافظه‌ای[5] (M) در بازه $M \in [1,1848]$، حدود هفت سال و هشت ماه در نظر گرفته‌شده است. میزان تلاطم در کل دوره در نمودار ۱ نشان داده‌شده است.



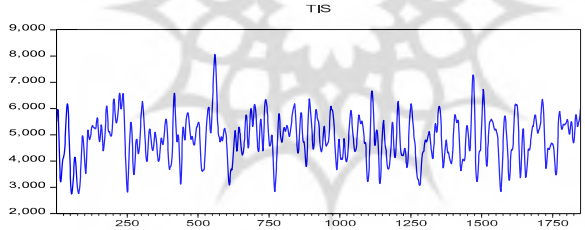
نمودار ۱. میزان تلاطم

1. Volatility
2. Exponentially Weighted Moving Average
۳. در بررسی میزان تلاطم از روش مدل ناهمسانی واریانس خودهمبسته شرطی نیز استفاده گردید که به دلیل عدم روایی آماره‌های تشخیصی، امکان استفاده از این روش میسر نشد.
٤. به دلیل محدودیت در تعداد صفحات مقاله امکان بیان روش ریاضی این تلاطم وجود ندارد. خواننده محترم می تواند با ارتباط از طریق ایمیل اطلاعات درخواستی خود را دریافت نماید.
5. Memory

پس از محاسبه میزان تلاطم به‌عنوان یکی از پارامترهای اثرگذار بر روی قیمت اولیه، در ادامه به محاسبه مقدار قیمت اولیه پرداخته خواهد شد.

تولیدکننده اعداد تصادفی

مقدار اولیه در شبیه‌سازی تصادفی مسیر شاخص قیمت مورد اهمیت می‌باشد. مقدار اولیه، تحت تأثیر میزان ریسک گریزی و مقدار تلاطم بازار قرار دارد. نتایج تخمین حاکی از وجود مقدار اولیه تقریباً معادل با واحد است. در این مرحله بایست یک تولیدکننده اعداد تصادفی براونی را معرفی کرد. جهت برآورد مقادیر براونی(W_t) می‌بایست از تولیدکننده‌ای استفاده شود که علاوه بر حفظ خواص یک حرکت براونی در بلندمدت، به مقدار اولیه قیمت حساسیت پذیر و مجدد قابل‌تولید باشد. در این پژوهش روش تولیدکننده اعداد پیوسته تصادفی براونی به نام حرکت براونی جزئی[1] استفاده‌شده است. این روش توسط میر و سلن[2] معرفی و توسط آبری و سلن به‌کاربرده شده است.(آبری و سلان[3] ، ۱۹۹۶) نموداری که در ادامه نشان داده‌شده است نشانگر مقادیر شبیه‌سازی‌شده حرکت براونی با توجه به مقدار اولیه قیمت می‌باشد.



نمودار ۲. تولید مقادیر تصادفی براونی

آزمون شبیه‌سازی مسیر بلندمدت شاخص قیمت

برای آزمون شبیه‌سازی مسیر قیمت از رابطه بلک–شولز معادل با رابطه زیر استفاده خواهد شد.

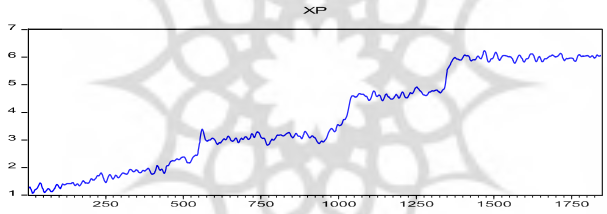
$$\frac{dP_t^l}{P_t^l} = \mu dt + \sigma dW_t$$

1. Fractional Brownian Motion
2. Meyer & Sellan
3. Abry & Sellan

به‌طوری‌که، μ برابر با بازده مورد انتظار و σ انحراف معیار تغییر نسبی در قیمت سهام و W_t نیز نشان‌دهنده حرکت براونی می‌باشند. درنهایت رابطه فوق می‌تواند تبدیل به رابطه زیر گردد که برای آزمون شبیه‌سازی قیمت بکار گرفته خواهد شد.

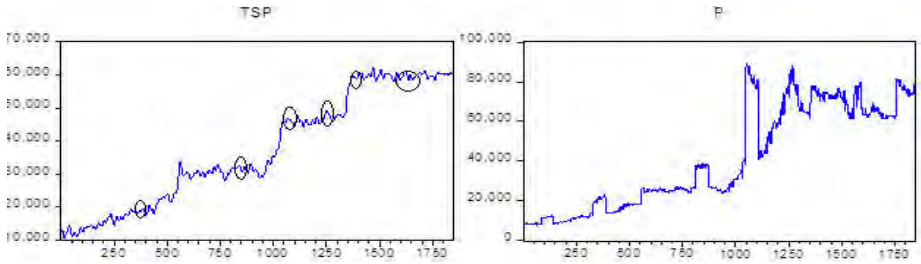
$$P_t = P_0.Exp\left[(\mu - \frac{1}{2}\sigma^2)\ t + \sigma\ W_t\right]$$

حال با محاسبه مقادیر براونی و محاسبه میانگین نرخ بازدهی روزانه معادل با ۰/۰۰۰۵۸، انحراف معیار این نرخ معادل ۰/۰۰۷۷۶، قیمت اولیه واحد و تلاطم معادل ۰/۰۰۰۰۰۹۸۱، می‌توان اقدام به شبیه‌سازی مسیر قیمت کرد. مسیر شبیه‌سازی‌شده در چارچوب این الگو در نمودار ۳ نشان داده‌شده است.



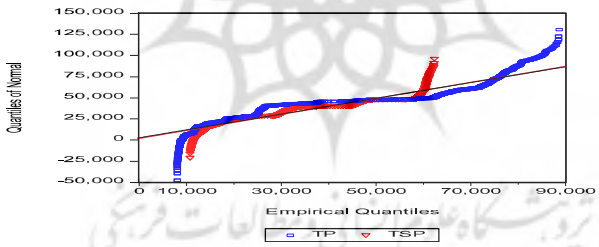
نمودار ۳. شبیه‌سازی شبه تصادفی مسیر شاخص کل قیمت

حال با تغییر مقیاس بر اساس شاخص واقعی بازار سهام و مقایسه مسیر شبیه‌سازی‌شده شاخص کل قیمت سهام و مسیر واقعی حرکت این شاخص در بازار سهام ایران در نمودار به‌طور شهودی قابل‌مشاهده است که تا حدودی این الگو توانسته است روند بلندمدت رفتار شاخص قیمت بازار تولید نماید. مواردی که با دایره مشخص‌شده است، نشان‌دهنده عدم تبعیت رفتار شاخص شبیه‌سازی‌شده از مسیر واقعی شاخص قیمت می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود مخصوصاً در شرایطی که بازار با نوسانات بزرگ چه ازنظر افزایش شدید قیمت و چه ازلحاظ افت شدید قیمت مواجه می‌باشد، الگوی شبیه‌ساز نمی‌تواند روند بازار را به‌خوبی نشان دهد. البته این امر کاملاً در الگوهای شبیه‌ساز کاملاً عادی به نظر می‌رسد.



نمودار ٤. نمودار سمت راست مسیر واقعی و سمت چپ شبیه‌سازی مسیر شاخص قیمت

اما آنچه می‌تواند به در بررسی و ارزیابی الگوی شبیه‌ساز کمک بیشتری نماید بررسی فرم توزیع شبیه‌سازی‌شده در مقایسه با روند واقعی در مقابل یک توزیع نرمال است. بر اساس نمودار بعدی مشاهده می‌شود که توزیع‌های هر دو شاخص کل(نمودار با شکل مربع) و شاخص شبیه‌سازی‌شده (نمودار با شکل مثلث) هردو نسبت به توزیع نرمال دارای رفتاری تقریباً نزدیک به یکدیگر می‌باشند. که البته مواردی که نمودارهای توزیع از یکدیگر فاصله می گیرند مربوط به شرایط بحرانی در بازار است.



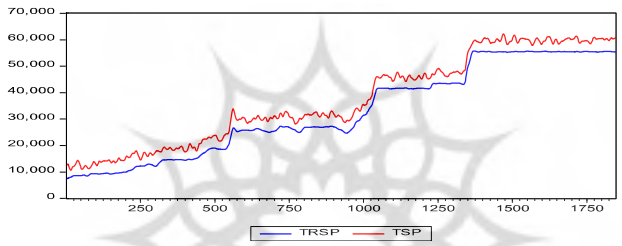
نمودار ۵. مقایسه فرم توزیع هر دو شاخص با توزیع نرمال

آنچه می‌توان در مورد هر دو فرم توزیع در مقابل توزیع نرمال بیان کرد این است که هر دو توزیع دارای ویژگی تابع توزیع با دنباله پهن می‌باشند. بدین مفهوم که توابع چگالی شاخص‌ها دارای دنباله پهن و قله بلند نسبت به توزیع نرمال است. به عبارت بهتر توزیع هر دو شاخص نسبت به توزیع نرمال می‌توانند با احتمال بیشتری نقاط غایی را طی نمایند. در چنین حالتی ضریب کشیدگی

توزیع نرمال برابر ۳ است، درحالی‌که ضریب کشیدگی در بسیاری از سری‌های زمانی مالی بیش از ۳ است[۱].

بررسی تأثیر پارامتر ریسک گریزی

در این بخش میزان حساسیت مسیر شبیه‌سازی‌شده قیمت را نسبت به تغییر پارامتر ریسک گریزی به‌طور شهودی نشان داده می‌شود. ازلحاظ ریاضی در نرم‌افزار می‌توان مقادیری را به‌صورت آزمایشگاهی برای ریسک گریزی تعیین کرد تا به‌طور شهودی تأثیر تغییر ریسک گریزی را بر مسیر شبیه‌سازی قیمت مشاهده کرد. این بررسی آزمایشی در نمودار ۶ نشان داده‌شده است.



نمودار ٦. بررسی تأثیر پارامتر ریسک گریزی

همان‌طور که بر اساس نمودار ۶ مشاهده می‌شود با کاهش در میزان ریسک گریزی بازار در فضای آزمایشگاهی افت بسیار اندکی را در سطح شاخص شبیه‌سازی‌شده قیمت مشاهده می‌شود که احتمالاً ناشی از کاهش سطح التهاب بازار می‌باشد. البته باید توجه کرد که سایر پارامترهای الگوی شبیه‌سازی‌شده ثابت در نظر گرفته‌شده است. اما آنچه به نظر مهم‌تر می‌باشد این است که به‌طور کاملاً ملموسی نوسانات شاخص قیمت در الگوی شبیه‌سازی‌شده کاهش‌یافته است. به عبارتی هرچه سطح ریسک بازار کاهش پیدا کند شاخص بازار دارای رفتار کم نوسان‌تر خواهد بود. بازار سهام ازجمله بازارهایی است که به اطلاعات منتشرشده غیر مستند نیز می‌تواند تحت شرایطی واکنش نشان

---

۱. جهت اطلاعات بیشتر به کتاب های مقدمه ای بر اقتصاد فیزیک نوشته مانتگنا و استنلی و یا کتاب پویایی های بازارها: اقتصاد فیزیک و مالی نوشته مککالی مراجعه شود. به طور کلی پدید وقوع دنباله های پهن (Fat tails) یا دنباله های سنگین (heavy tails) به این موضوع اشاره دارد که البته نه در تمام بازارهای اما در بازارهای مالی بیشتر قابل مشاهده می باشد.

دهد به‌طوری‌که حتی امکان دارد با یک تماس تلفنی یک دوست، تصمیم سرمایه‌گذار برای خرید هر سهمی تغییر کند.

بررسی تأثیر تغییر نسبت کل نقدینگی به‌کل سهام(S) :

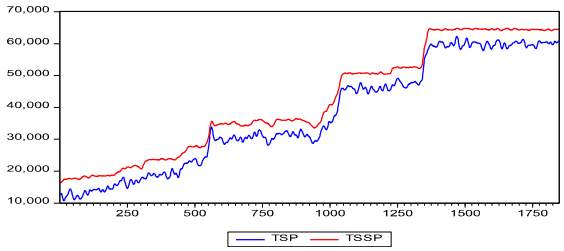
در این بخش اثر کل نقدینگی C و کل سهام S موردبررسی قرار می‌گیرد. فرض کنید که خصوصیات مربوط به این دو متغیر را که تغییر مقیاس داده‌شده است را به‌صورت پریم نشان داده شود. مقادیر با مقیاس متغیر نقدینگی با عامل A و سهام با عامل B به شکل زیر تغییر مقیاس داده‌شده‌اند:

$$C' = AC$$
$$S' = BS$$

نقدینگی و سهام هر دو به‌اندازه مساوی برای هر سرمایه‌گذار تغییر مقیاس داده‌شده‌اند، درنتیجه توزیع ثابت باقی می‌ماند. برای اینکه دیده شدن اثر تغییر در مقیاس‌ها بر پویایی‌های شاخص شبیه‌سازی‌شده فرض بر این است که نسبت سرمایه‌گذاری بهینه هر کارگزار بدون تغییر باقی بماند. درنتیجه قیمت به‌صورت $p'_t = \frac{A}{B} p_t$ تغییر می‌کند و کل ثروت هر کارگزار با مقیاس جدید به‌صورت $w'_t = Aw_t$ نشان داده شود. مقدار بهینه نگهداری سهام برابر با $s'^{*}_t = \frac{w'_t}{p'_t} i^*_t = Bs^*_t$ می‌باشد. حجم مبادله‌ای برابر با $\Delta s'_t = Bs_t$ می‌باشد(حجمی که یک کارگزار انجام می‌دهد). در مورد ثابت بودن نسبت بهینه سرمایه‌گذاری می‌توان عنوان کرد که مقدار این نسبت تنها به بازدهی بستگی دارد. بازدهی با توجه به تغییر در مقیاس به شکل زیر نشان داده می‌شود.

$$r'_t = \frac{p'_t - p'_{t-1}}{p'_{t-1}} = r_t$$

اگر قیمت‌ها با عامل A/B تغییر مقیاس داده شود، نسبت سرمایه‌گذاری تغییر مقیاس پیدا نمی‌کند. درنتیجه زمانی که نقدینگی به‌وسیله عامل A و سهام به‌وسیله عامل B تغییر در مقیاس پیدا می‌کند. اثرات به‌صورت تغییر در قیمت مبادله به‌وسیله عامل A/B صورت می‌پذیرد. نتایج تغییر آزمایشی در مقیاس نسبت وجه نقد به سهام در نمودار شبیه‌سازی‌شده در نمودار ۷ نشان داده‌شده است.



نمودار ۷. بررسی تغییر نسبت کل وجه نقد به‌کل سهام

می‌توان استنباط کرد که کاهش نسبت نقدینگی به سهام باعث انتقال منحنی شبیه‌سازی‌شده به سمت بالا خواهد شد. به عبارتی با ثابت بودن سایر شرایط اگر سرمایه‌گذاران تحت شرایطی تصمیم به نگهداری کمتر نقدینگی در نزد خود بگیرند و تقاضایشان برای سهام افزایش پیدا کند باعث افزایش سطح قیمت در بازار خواهد شد. همچنین بر اساس نمودار به نظر می‌رسد به دلیل افزایش حجم معاملات در بازار احتمالاً نوسانات کوتاه‌مدت در مسیر پویای قیمت کمتر خواهد شد.

نتیجه‌گیری و بحث

آنچه مسلم است هیچ الگویی تاکنون به‌طور کامل هوشمند طراحی نشده است که در هر زمان و دوره‌ای و نیز در هر بازاری بتواند از کارایی بالایی برخوردار باشد. در این پژوهش سعی شد با استفاده از یک مبانی نظری تدوین یک الگوی تعادلی و در چارچوب یک شبیه‌ساز تصادفی، روند بلندمدت رفتار شاخص قیمت سهام را در طول زمان شبیه‌سازی شود. به‌طور مشخص ویژگی این مطالعه نسبت به سایر مطالعات با عناوین مشابه در ایران این است که این نوع روش شبیه‌سازی تصادفی با پشتوانه نظری می‌تواند موردتوجه علاقه‌مندان و پژوهشگران بازارهای مالی قرار گیرد و با بسط و تغییر بخش‌هایی به نتایج مطلوب‌تری دست یابند. همچنین داده‌های شبیه‌سازی‌شده با دارا بودن یک فرم توزیع نزدیک با داده‌های واقعی در مقایسه با توزیع نرمال توانست دستاورد مهمی را به همراه داشته باشد. بعلاوه در مورد تغییر در میزان پارامتر ریسک گریزی در بازار و نیز تغییر در نسبت نقدینگی به سهام نگهداری شده، مسیر شبیه‌سازی‌شده رفتاری متناسب با مباحث نظری از خود نشان داد. اما عدم توانایی پیش‌بینی نوسانات شدید در دوره موردبررسی یکی از معایب این الگو بشمار می‌رود.

با ارائه الگوی اقتصادی تعادلی، سعی80 شد شبیه‌سازی تصادفی شاخص قیمت سهام در بازار به عمل آید اما شاید به دلیل تعدادی مشکلات ازجمله حجم پایین معاملات در بازار سهام ایران و عدم وجود اطلاعات لحظه‌به‌لحظه و عدم شفافیت اطلاعات نمی‌توان به‌طورکلی شاهد تحقق کامل اهداف این پژوهش بود. امید است در آینده با افزایش بیشتر حجم معاملات در لحظه و ایجاد بانک داده‌های لحظه‌ای در بازار سهام بتوان به پیش‌بینی‌های دقیق‌تری برای تحولات بازار سهام دست‌یافت. در مورداستفاده از شبیه‌ساز تصادفی نیز به نظر می‌رسد اگر بتوان از داده‌پردازهای تصادفی بسیار سریع‌تر با استانداردهای بالاتر آماری استفاده نمود شاید بتوان در امر پیش‌بینی موفق‌تر عمل کرد. از دیگر مشکلات روبرو کنترل سیستم معاملات از طریق محدودیت بازه قیمتی در بازار می‌باشد. در نظر گرفتن بازه معین و بسیار محدود برای تغییرات قیمت توسط مدیران بازار می‌تواند تا حدودی شبیه‌سازی را دچار مشکل نماید. ازجمله مشکلات الگوی اقتصادی شبیه‌سازی، می‌توان به هم‌زمانی بروز رسانی تمامی سرمایه‌گذاران اشاره کرد. این فرض به‌طور عموم در یک سیستم واقعی و پیوسته زمانی به‌طور عملی مشاهده نمی‌گردد. از دیگر مشکلات نظری الگو می‌توان به فرض ثابت بودن قیمت یک سهم توسط سرمایه‌گذار اشاره کرد. درصورتی‌که در عمل، سرمایه‌گذار یک بازه قیمتی را برای کارگزار جهت انجام معامله پیشنهاد می‌کند.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

- اسلاملوئیان، کریم، هاشم زارع. (۱۳۸۵). "بررسی تأثیر متغیرهای کلان و دارایی‌های جایگزین بر قیمت سهام در ایران یک الگوی خود همبسته با وقفه‌های توزیعی". پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۲۹، ۱۷-۴۶.
- حسین مرزبان، افشین منتخب، شکرالله خواجوی، علی حسین صمدی، هاشم زارع. (۱۳۹۲). "رهیافتی از اقتصاد فیزیک در بازار سهام ایران". پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، ۶۵. ۱۸۳-۲۰۰.
- مشیری، سعید و امیر بهداد سلامی(۱۳۸۸)، "شبیه‌سازی بازار سهام با توجه به ویژگی‌های ساختاری بازار سهام تهران"، مجله پژوهشنامه اقتصادی، ۳۲، ۱۶۷-۲۰۳.
- فلاح‌پور، سعید، علی پور ریکنده، جواد. (۱۳۹۳). "پیش‌بینی شاخص سهام با استفاده از شبکه‌های عصبی موجکی در بورس اوراق بهادار تهران". راهبرد مدیریت مالی، ۲(۴)، ۳۱-۱۵.
- فرید رادمهر، فرید، و شمس قارنه، ناصر. (۱۳۹۲). "پیش‌بینی شاخص بازار بورس تهران با استفاده از مدل سری زمانی فازی مرتبه بالا و الگوریتم شبیه‌سازی تبرید"، همایش بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، ص ۹۵-۱۰۶.
- موسوی حقیقی، محمد هاشم و ستوده، فیروزی. (۱۳۹۲). "شبیه‌سازی الگوی پویای رفتاری سهام در بورس اوراق بهادار تهران"، مطالعات مدیریت راهبردی، ۴(۱۴)، ۵۲-۳۵.
- موسوی حقیقی، محمد هاشم، خلیفه، مجتبی، صفایی، بهزاد و صابری، حامد. (۱۳۹۵). "شبیه‌سازی قیمت سهام از منظر عوامل داخلی و خارجی مؤثر بر سیستم با استفاده از رویکرد پویایی‌شناسی سیستمی". مدیریت دارایی و تأمین مالی، ۴(۴)، ۹۸-۷۹.
- Abry, P., & Sellan, F. (1996). “The wavelet-based synthesis for fractional Brownian motion proposed by F. Sellan and Y. Meyer: Remarks and fast implementation”. Applied and Computational Harmonic Analysis, 3 (4), 377-383.
- Banner, A., R. Fernholz, & I. Karatzas. (2005). "On Atlas Models of Equity Markets". Annals of Applied Probability, 15, 2296-2330.
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2010). Discrete-event system simulation. (5th ed. ed.), Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall
- Baryam, y. (1997). Dynamics of Complex Systems: Contents (1 ed.). Cambridge: New England Complex Systems Institute.

- Blok, H. J., & B. Bergersen. (۲۰۰۰). "Synchronous Versus Asynchronous Updating in the Game of Life". Physical Review . E, 59, 3876-3879.
- Caraiani, P. (2014). “The predictive power of singular value decomposition entropy for stock market dynamics”. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 393, 571-578.
- Duffie, D. (2010). Dynamic asset pricing theory. Princeton University Press.
- Eslamloueyan, K., & Zare, H. (2006). “The impact of macro variables and alternative ssets on stock price movement in Iran: an ARDL model”,. Iranian Journal of Economic Research, 29, 17-46.
- Fallahpour, S., & AliPour Rikandeh, J,. (1393). “Stock Indicators Forecasting Using Wavelet Neural Networks in Tehran Stock Exchange”. Financial Management Strategy, 2 (4), 15-31.
- Grossman, S. (1976). “On the efficiency of competitive stock markets where trades have diverse information”. The Journal of finance, 31(2), 573-585.
- Karatzas, I., & Kardaras, C. (2007). The numéraire portfolio in semimartingale financial models. Finance and Stochastics, 11(4), 447-493.
- Karatzas, I., & Kou, S. G. (1996). On the pricing of contingent claims under constraints. The annals of applied probability, 321-369.
- Ke, J., & Chen, Y. (2013). “Modeling and simulation of the artificial stock market trading system”. Appl. Math, 7(4), 1599-1607.
- McCauley, J. L. (2004). Dynamics of markets: econophysics and finance. Cambridge University Press.
- Mandelbrot, B. B. (1963). “The variation of certain speculative prices”, Journal of Business, 36 , 394-419.
- Mantegna, R. N., & H. E. Stanley. (1995). "Scaling Behaviour in the Dynamics of an Economic Index". Nature, 376, 46-49.
- Mantegna, R., & Stanley, H. E. (2000). An Introduction to Econophysics, Cambridge University Press. Cambridge, MA.
- Marzban H, Montakhab A, Khajavi S, Samadi A H, Zare H. (2013). “Approach of the Econophysics in the Stock Market”. Quarterly Journal of Economic Research and Policies, 21 (65) :183-200.
- Mas-Colell, A., Whinston, M. D., & Green, J. R. (1995). Microeconomic theory. New York: Oxford university press.

- Menezes, C. F., & Hanson, D. L. (1970). "On the theory of risk aversion". International Economic Review, 481-487.
- Mousavi Haghighi, M. H., Khalifa, M., Safai, B. and Saberi, H (2016). "Simulation of stock prices in terms of internal and external factors affecting the system dynamical approach". Asset Management and Financing, 4 (4), 79-98.
- Moshiri, S, Behdad Salami, A, (2007). "Simulation of stock exchange based on structural features of it" Economic Journal, 167-203.
- Ponta, L., Pastore, S., & Cincotti, S. (2018). "Static and dynamic factors in an information-based multi-asset artificial stock market". Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 492, 814-823.
- Rickles, D.(2007). "Econophysics for philosophers", Studies in the History and Philosophy of Modern Physics, 38 (4), 948–978.
- Schinckus, C. (2010). "Is econophysics a new discipline? The neopositivist argument". Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 389(18), 3814-3821.
- Simon, H. A. (1955). "On a class of skew distribution functions". Biometrika, 42(3/4), 425-440.
- Vargas, M. R., de Lima, B. S., & Evsukoff, A. G. (2017). "Deep learning for stock market prediction from financial news articles". In Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications, IEEE International Conference, 60-65.
- Von Neumann, J., & Morgenstern, O. (1945). "Theory of games and economic behavior". Bull. Amer. Math. Soc, 51(7), 498-504.
- Zare, H., Sakha, Z. R., & Zare, M. (2016). "Survey Castaing Distribution on Iranian Stock Market: An Econophysic Approach". Hyperion International Journal of Econophysics & New Economy, 9(2).