Securities & Exchange Organization, Research, Development & Islamic Studies (RDIS)
Journal of Securities and Exchange, Spring 2023, V. 16, No.61, pp. 91-112

# Analysis of Stock, Gold, and Foreign Exchange markets in Iran: An experimental approach to Quantum[1]

**Maryam Zare[2], Hashem Zare[3], Mehrzad Ebrahimi[4], Ali Haghighat[5]**

Received: 2022/05/02
Accepted: 2022/10/08

Research Paper

## Abstract

Price fluctuation patterns in financial markets and analysis of price fluctuations have always received attention. Thus, the accuracy of the system used for analysis is very important. For more than two decades, Econophysics has been using Quantum Physics and Schrodinger functions to address price fluctuations, confirming the need for the development of a common framework. This study analyzed the daily data from Stock, Gold, and Foreign Exchange markets in Iran from 2013 to 2022. Following the total Stock index and the price of the full Bahar Azadi coin from the Gold market and the unofficial Dollar rate from the Foreign Exchange market, the relevant Schrödinger equation was obtained using the financial Quantum approach and the Hamiltonian operator. Then, the wave function was solved. Finally, the graphs for the distribution and average rate of return in each market were plotted and compared. The results showed that the Gold market has the lowest level of risk compared to other markets and the Stock market has the highest risk. Thus, the probability of fluctuations and crises in the Stock market is higher and in the Gold market is lower than in other markets.

**Key Words:** Econophysics, Quantum, Financial Markets.
**JEL Classification:** C59, Z00, G00.

---

1. 10.22034/JSE.2022.11760.1837
2. Ph.D. Student, Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. (economy_expert@yahoo.com).
3. Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. (Hashem.zare@gmail.com).
4. Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. (mhrzad@yahoo.com).
5. Department of Economics, Faculty of Economics and Management, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran. (alihaghighat2019@gmail.com).

Journal of Securities Exchange

سازمان بورس و اوراق بهادار، مرکز پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی

فصلنامه بورس اوراق بهادار، سال شانزدهم، شماره ۶۱، بهار ۱۴۰۲، صص ۱۱۲-۹۱

# تحلیل بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران: رویکردی تجربی از کوانتوم[۱]

مریم زارع[۲]، هاشم زارع[۳]، مهرزاد ابراهیمی[۴]، علی حقیقت[۵]

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶

## چکیده

الگوهای تغییرات قیمت در بازارهای مالی و تحلیل نوسانات قیمتی، همیشه موردتوجه بوده است، بنابراین دقت سیستمی که به تحلیل می‌پردازد، بسیار مهم است. اقتصاد فیزیک در تحلیل بازارهای مالی که با عدم قطعیت و تصادفی بودن همراه است، بیش از دو دهه است که از فرمول‌های فیزیک کوانتوم و تابع شرودینگر استفاده کرده و به بررسی نوسان قیمت در بازار می‌پردازد و این مسائل تدوین چارچوب مشترکی را تأیید می‌کند.

پژوهش حاضر با به‌کارگیری داده‌های روزانه، بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران را از سال ۱۳۹۲ تا ابتدای ۱۴۰۱ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده است. در این مطالعه با درنظرگرفتن شاخص کل از بازار سهام و قیمت سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا و نرخ دلار غیررسمی از بازار ارز با رهیافت کوانتوم مالی توسط عملگر همیلتون به معادله شرودینگر وابسته رسیده و سپس به حل تابع موج پرداخته‌شده و در نهایت نمودارهای توزیع و میانگین نرخ بازدهی هر بازار رسم و باهم مقایسه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در بازارهای مورد بررسی بازار طلا نسبت به سایر بازارها کمترین ریسک و بازار سهام بیشترین ریسک را دارد، بنابراین احتمال نوسانات و وقوع بحران در بازار سهام بیشتر و در بازار طلا کمتر از سایر بازارها است.

**واژه های کلیدی:** اقتصاد فیزیک، کوانتوم، بازار مالی.

**طبقه بندی موضوعی:** C59، Z00،G00.

---

۱. DOI: 10.22034/JSE.2022.11760.1837

۲. دانشجوی دکترای، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (economy_expert@yahoo.com).

۳. گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (نویسنده مسئول). (Hashem.zare@gmail.com).

۴. گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (mhrzad@yahoo.com).

۵. گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران. (alihaghighat2019@gmail.com).

**مقدمه**

بازارهای دارایی نقش اساسی در گردآوری منابع پس‌اندازی موجود در اقتصاد ملی و هدایت آن‌ها به‌سوی مصارف مولد اقتصادی دارد و سرمایه‌گذاری مولد برای رشد اقتصادی یک کشور دارای اهمیت است. رشد این بازارها و اهمیت آن در جذب سرمایه‌ها و پس‌اندازها و هدایت آن به بخش‌های اقتصادی به‌منظور توسعه امری انکارناپذیر است (دهقان و عیسی نژاد بهمنشیری،۱۳۹۷).

یکی از این بازارها، بازار سهام است که با دارا بودن سهام شرکت‌های گوناگون تولیدی، خدماتی و سرمایه‌گذاری، با فراهم کردن نقدینگی و کاهش هزینه‌های معاملاتی همیشه مکان مناسبی برای جذب پول‌های راکد و البته تأمین سرمایه شرکت‌ها بوده و این روند در زمان تورم و کاهش قدرت خرید مردم اهمیت بیشتری داشته است.

یکی دیگر از انواع بازارهای دارایی بازار طلا است. قیمت طلا منعکس‌کننده واکنش متقابل عرضه و تقاضا در بازاری است که خریداران و فروشندگان بسیاری باوجود جریان به‌طور نسبی آزاد اطلاعات در آن حضور دارند. از گذشته تاکنون طلا به‌عنوان یک دارایی کم و بیش مطمئن با قابلیت حفظ ارزش در اذهان عمومی، در کنار سایر دارایی‌های پربازده از اهمیت ویژه‌ای در سبد دارایی‌ها برخوردار بوده است (فطرس و هوشیدری، ۱۳۹۷). از سوی دیگر، بر اساس تئوری پرتفولیو قیمت طلا می‌تواند بر شاخص قیمت سهام تأثیر بگذارد و سرمایه‌گذار همیشه به دنبال ترکیب بهینه‌ای از دارایی‌های مالی است که عایدی را حداکثر کند (کریم‌زاده، ۱۳۸۵). از طرفی تقاضای طلا در دوران تورمی افزایش می‌یابد البته در این میان انگیزه‌های سفته‌بازی نیز وجود دارد که باعث نوسانات بیشتر در بازار در دوره کوتاه‌مدت می‌شود (اسلاملوییان و زارع،۱۳۸۵). در این بازار، سکه طلا به لحاظ نقد شوندگی بسیار بالا و قابلیت فروش در هرلحظه، از جذابیت بالایی برخوردار است (سردهایی و همکاران، ۱۳۹۲).

بازار ارز نوع دیگری از انواع بازارهای دارایی است. نرخ باثبات ارز از طریق حفظ ارزش پول ملی و شتاب بخشیدن به رشد اقتصادی، چارچوب باثباتی را برای تعدیل بازارهای دارایی فراهم می‌کند. از سوی دیگر، نوسانات نرخ ارز تأثیر چشمگیری بر حرکت سرمایه و سرمایه‌گذاری در هریک از دارایی‌های مالی همانند: طلا، سهام و غیره دارد (دادگر و همکاران،۱۳۹۹).

در سال‌های اخیر تلاش‌هایی برای هدایت سرمایه‌گذاران صورت گرفته و مدل‌هایی ارائه شده است (جابری و همکاران، ۱۴۰۱). در این میان تجزیه‌وتحلیل بازارهای دارایی بسیار مهم

است، بنابراین دقت سیستمی که به تحلیل می‌پردازد، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در سال ۱۸۶۳، ژول رگنو[1] دستیار کارگزار فرانسوی، به شیوه‌ای پیش‌گامانه برای نخستین بار سعی بر طراحی یک مدل ریاضی به نام «گام تصادفی[2]» بر مبنای اصول فیزیک اجتماع کرد تا نبض بازار را در دست گیرد (جوانوویک[3]،۲۰۱۶). از آن زمان به بعد، بسیاری از نویسندگان تلاش کرده‌اند با استفاده از مدل‌ها، روش‌ها و ابزارهای علمی به تعیین ماهیت دقیق این واقعیت در نوسان بپردازند. پژوهش آن‌ها باعث برقراری یک گفتمان سودمند بین فیزیک و مالیه شده است. در اواسط دهه ۱۹۹۰، در پی برخی از مهم‌ترین پیشرفت‌های اخیر در زمینه فیزیک، دانش جدید برای بررسی قیمت‌های مالی پدید آمد (همان، ۲۰۱۶). پیدایش رسمی این دانش باتوجه به مقاله نوشته‌شده به‌وسیله استنلی[4] و همکارانش به سال ۱۹۹۶ میلادی برمی‌گردد که واژه اقتصاد فیزیک را ابداع کردند.

اقتصاد فیزیک[5] در مواردی که با عدم قطعیت و تصادفی بودن همراه است به‌خصوص در تحلیل بازارهای مالی، بیش از دو دهه است که با استفاده از فرمول‌های فیزیک کوانتوم و تابع شرودینگر در حل مسائل مالی به بررسی نوسان قیمت سهام در بازار می‌پردازد. ازآنجایی‌که افراد دارایی‌های مالی خود را به‌صورت سهام، طلا و ارز نگهداری می‌کنند و یکی از مسائل بسیار چشمگیر در عرصه بازارهای مالی و اقتصادی وجود رابطه تنگاتنگ بازارهای مختلف با یکدیگر است، به‌طوری‌که نمی‌توان به اخبار و اطلاعات یک بازار بسنده کرد، شایسته است که اطلاعات جامعی از بازارهای مختلف گردآوری و تحلیل کرد. در مواردی تحلیل یک بازار جدا از سایر بازارها کم و بیش فاقد اعتبار پژوهشی است (دادگر و همکاران، ۱۳۹۹). در مطالعه حاضر با به‌کارگیری داده‌های روزانه از سال ۱۳۹۲ تا ابتدای سال ۱۴۰۱ در بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران با استفاده از رهیافت کوانتوم مالی توسط عملگر همیلتون به معادله شرودینگر مربوطه رسیده و سپس به حل تابع موج پرداخته، نمودارهای توزیع و میانگین نرخ بازدهی رسم و با هم مقایسه شده است. مقاله حاضر در شش بخش تنظیم‌شده است. در بخش دوم پیشینه پژوهش، مبانی نظری در بخش سوم، روش پژوهش در بخش چهارم، برآورد تجربی در بخش پنجم و نتیجه‌گیری در بخش ششم آورده شده است.

---

1. Jules Regnault
2. Random walk
3. Jovanovic, 2016
4. Stanley
5. Econophysics

## پیشینه پژوهش

ژانگ و هوانگ[1] (۲۰۱۰) در مطالعه‌ای به بررسی یک مدل کوانتومی برای بازار سهام پرداخته و به‌منظور توصیف کاراکترهای کوانتومی برای بازار سهام، یک مدل قیمت با فرضیه‌های اساسی از مکانیک کوانتومی ساخته‌اند. در این پژوهش برداری به نام تابع موج در فضای هیلبرت حالت سیستم کوانتومی را توصیف می‌کند. پدرام[2] (۲۰۱۲) طبیعت گسسته قیمت سهام را بررسی کرده و توصیف کوانتومی از بازار مورداستفاده قرارگرفته شده و قیمت سهام و روند آن به رابطه عدم قطعیت تعمیم داده‌شده و فرم همیلتونی اصلاح‌شده است تا فرم کوانتومی با ویژگی گسستگی قیمت سهام سازگار شود. کت فاس[3] (۲۰۱۲) در مطالعه‌ای به بررسی مدل کوانتومی محدود بعدی برای بازار سهام پرداخته است. بازده سهام در حالت تعادل توسط یک تابع گوسی محدود و تکامل زمان قیمت سهام توضیح داده‌شده، به‌طور مستقیم مرتبط با نرخ بازده، توسط حل عددی یک نوع معادله شرودینگر به‌دست‌آمده که درنهایت هدف خود را ارائه توصیف یک مدل کوانتومی تکامل زمان نرخ بازده عنوان کرده است. اروس و همکاران[4] (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی چگونگی محاسبات کوانتوم به‌صورت کاربردی در جهت مشکلات مالی به کار گرفته‌شده پرداخته‌اند و یک دید کلی از سبک‌های اخیر و چشم‌اندازهای بالقوه را عنوان کرده‌اند. چایبونسری و واناپان[5] (۲۰۲۱) مزیت مکانیک کوانتومی را برای افزایش قابلیت اقتصادسنجی به‌خصوص در زمان پیش‌بینی ریسک و کاهش بازدهی بررسی کرده‌اند. ایشان در مقاله خود از روش توزیع موج کوانتوم برای تحلیل بهتر ریسک و بازدهی در بازار بورس اوراق بهادار در کشورهای جنوب شرقی آسیا استفاده کرده و داده‌های نمونه را به‌صورت فصلی از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۹ مورد آزمون روش بیزی و شبیه‌سازی قرار داده‌اند. نتایج نشانگر آنست که توزیع‌های کوانتومی ازنظر محاسباتی با استنتاج‌های بیزی مطابقت دارند و حتی در تجزیه‌وتحلیل بسیار دقیق‌تر هستند.

دیوید ارل[6] (۲۰۲۱) کاربرد مدل‌های غیر کلاسیک در مسائل مالی را بررسی کرده که در آن قیمت‌گذاری را بر اساس مدل گام کوانتومی در نظر گرفته است که بر اساس آن فرایند

---

1. Zhang and huang
2. Pedram
3. Cotfas
4. Orus et al
5. Chaiboonsri and Wannapan
6. David Orrell

تصمیم‌گیری افراد را به‌خوبی موردبررسی قرار داده و در این راستا رفتار سرمایه‌گذار به‌خوبی نشان‌داده‌شده است. نتایج نشان داده که مدل گام کوانتومی نه‌تنها با مدل‌های کلاسیک کاملاً مطابقت دارد، بلکه زمانی که همراه با مدل عرضه و تقاضا در نظر گرفته‌شده، خیلی از آشفتگی‌های بازار را بهتر توضیح داده است.

عباسی (۱۳۹۱) یکی از قوانین فیزیک، قانون پایستگی انرژی، در حوزه اقتصاد را بررسی نموده و تطابق زیبای توزیع احتمال پول و نیز توزیع درآمد فردی اکثریت را با توزیع احتمال بولتزمن - گیبس[1] نشان داده است. زارع (۱۳۹۱) به بررسی بازار سهام پرداخته و از اطلاعات روزانه بورس اوراق بهادار تهران، از اول شهریورماه ۱۳۸۱ تا آخر بهمن‌ماه ۱۳۸۹ استفاده کرده است. در این مطالعه، تابع توزیع کستینگ برای بازار سهام ایران با استفاده از روش بیزی و تکنیک شبیه‌سازی زنجیره مارکوف مونت‌کارلو برآورد شده است. همچنین در تحت شرایط کنترل‌شده، فرضیه ثابت مجانبی توزیع کستینگ مورد آزمون قرارگرفته است. نتایج به‌دست‌آمده نشان داده است که با اعمال مدیریت هوشمند در برابر ریسک‌های موجود و ایجاد شفافیت بیشتر به بازار کاراتری دست پیدا خواهیم کرد. بهجت، زارع و رضایی (۱۳۹۸) به بررسی شش بنگاه منتخب فعال بورسی غیر همگن پرداخته‌اند که ارزش به‌صورت یک بسته موج فرض شده و باتوجه‌به تابع توزیع، احتمال هر قیمت را توضیح داده و عنوان کرده‌اند، این اعتقاد وجود دارد که اندازه تابع موج یک کمیت قابل‌اندازه‌گیری است و می‌تواند مستقیماً از داده‌های قیمت تخمین زده شود. اله یاری بیک و همکاران (۱۳۹۹) یک مدل کوانتوم برای بازار بورس در نظر گرفته و از پتانسیل کوانتوم جهت تعیین رفتار P/E و بازدهی قیمت استفاده کرده‌اند که در این راستا داده‌های بورس اوراق بهادار تهران از دو صنعت متفاوت از سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۸ در نظر گرفته‌شده و نتایج نشان داده است که پتانسیل کوانتوم دقیقاً مانند:P/E و بازدهی قیمت رفتار می‌کند و نوسانات دقیقاً در همان دامنه است. در ادامه یک پتانسیل کوانتوم مشترک به‌عنوان تابع بازدهی قیمت و P/E در نظر گرفته‌اند که نتایج نشان داده است که این دو متغیر به‌عنوان متغیرهای مستقل در بازار بورس عمل می‌کنند. لطفی هروی و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین کوانتومی در علوم مالی پرداخته و تلاش کرده‌اند که آن دسته از مسائل محاسباتی در حوزه علوم مالی که استفاده از روش یادگیری ماشین کوانتومی

1. Boltzmann-Gibbs

نسبت به بهترین الگوریتم‌های کلاسیک متناظر برتری ایجاد می‌کند را شناسایی و امکان‌پذیری تحقق فیزیکی این روش‌ها در کوتاه‌مدت را نیز تحلیل کنند. نتایج نشان داده است، ازآنجاکه بیشتر این روش‌ها نیاز به حجم زیادی از داده دارد، انجام این محاسبات بر روی رایانه‌های کلاسیک به میزان زیادی زمان و منابع محاسباتی نیاز دارد که ممکن است در عمل قابل پیاده‌سازی نباشند، رایانه‌های کوانتومی به دلیل قدرت پردازش موازی می‌توانند مسائل محاسباتی خاصی را بسیار سریع‌تر از الگوریتم‌های همتای کلاسیک خود حل کنند، بنابراین می‌توان به افزایش سرعت کوانتومی در الگوریتم‌های یادگیری ماشین دست‌یافت. عبداله زاده و زارع (۱۴۰۱) به محاسبه میزان آنتروپی پول در فضای تولید ناخالص داخلی با رویکرد اقتصاد فیزیک پرداخته‌اند. در این راستا داده‌های سالیانه بورس اوراق بهادار تهران از ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ با استفاده از یک مدل رگرسیونی انتقال ملایم (STAR) رفتار نامتقارن بی‌نظمی‌های پولی حول یک حد آستانه در سطوح مختلف ارزش بازار سرمایه استفاده‌شده است. نتایج نشانگر آن است که پویایی بازار سرمایه باعث کاهش آنتروپی پول که خود شاخصی برای هرزروی و عدم دسترسی به منابع شناخته می‌شود، خواهد شد.

## مبانی نظری پژوهش

### ۱. مبانی اقتصادی

هدف اقتصادی اولیه هر فرد و خانوار، حداکثر سازی مطلوبیت است که از طریق افزایش مصرف صورت می‌گیرد. خانوارها در پی حداکثر سازی مطلوبیت حاصل از مصرف در طول کل دوره زندگی خود هستند، ازاین‌رو سعی می‌کنند سطح مصرف خود را در طول زمان به‌اصطلاح اقتصاددانان هموار سازند (توکلیان،۱۳۹۰، ص۱۱۷). اگر پس‌اندازهای افراد با مکانیزم صحیح به بخش تولید هدایت شوند، افزون بر بازدهی که برای صاحبان سرمایه به ارمغان می‌آورند، می‌توانند به‌عنوان مهم‌ترین عامل تأمین سرمایه، برای راه‌اندازی طرح‌های اقتصادی جامعه نیز مفید باشند (ابراهیمی سرو علیا و همکاران، ۱۳۹۶). در یک اقتصاد پویا انتقال وجوه خانوارها از طریق بازارهای مالی به بنگاه‌ها موجب رشد اقتصادی و افزایش اشتغال می‌شود. در کشورهایی که بازارهای دارایی به‌ویژه بازار سهام پیشرفته و فعال وجود ندارد یا نهادینه نشده است و ارزش پول نیز به دلیل تورم مداوم، کاهش می‌یابد، مردم برای جلوگیری از زیان‌های ناشی از تورم، دارایی‌های خود را به‌صورت حقیقی( غیرمولد)پس‌انداز می‌کنند

(توکلیان، ۱۳۹۰،ص۱۱۸). نوسان‌های زیاد در این بازارها باعث ورود و خروج این منابع مالی شده و معمولاً در کشورهای درحال‌توسعه اقتصاد را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد و گاهی ضربه‌هایی بر اقتصادشان وارد کرده است که این شوک‌ها و دامنه نوسانات آن در تحلیل‌های اقتصادی بسیار دارای اهمیت است. بنابراین برای انتخاب پرتفوی مناسب باید از هر بازار، شاخص آن را در نظر گرفت تا بتوان ضمن مقایسه آن‌ها سبد مناسبی را برای خود تهیه کرد.

### ۲. اقتصاد فیزیک

اقتصاد فیزیک از دید شینکس [1] یک اصل پیوندی است که مدل‌ها و مفاهیم به‌دست‌آمده از فیزیک را در پدیده‌های اقتصادی و مالی وارد می‌کند و عنوان می‌کند که اقتصاد فیزیک خود را به‌عنوان یک راه جدید تفکر درباره سیستم‌های اقتصادی و مالی از طریق بینش فیزیکی نشان می‌دهد (شینکس [2]، ۲۰۱۰)

منتگنا و استنلی [3] واژه اقتصاد فیزیک را تلاش‌های صورت‌گرفته توسط تعدادی از فیزیک‌دانان برای مدل‌سازی سیستم‌های اقتصادی و مالی می‌دانند که با استفاده از نمونه‌ها و ابزارهای گرفته شده از فیزیک آماری، نظری را توصیف می‌کند (منتگنا و استنلی [4]، ۲۰۰۰).

### ۳. مکانیک کوانتوم

مجموعه قوانین حرکت ذرات و اصل بنیادین بر آن دلالت دارد که کمیت‌های فیزیکی مانند انرژی ماهیت گسسته دارند که ناشی از ماهیت موجی است که به‌صورت بسته‌های متوالی هستند و نمی‌توانند به‌صورت پیوسته تغییر کنند. هیچ ذره‌ای در مکانی به‌صورت قطعی وجود ندارد بلکه به‌صورت موج در فضا و زمان گسترده است. برای نشان‌دادن وضعیت کوانتومی ذره از تابع موج استفاده می‌شود که احتمال وجود ذره را در موقعیت‌های مختلف توسط یک عدد مختلط عنوان می‌کند. تفاوت مکانیک کوانتوم با فیزیک نیوتنی در همین است که در فیزیک نیوتنی تمام کمیت‌ها ماهیتی پیوسته دارند (بهجت و همکاران، ۱۳۹۸).

در وضعیت کوانتومی یک ذره، مکان را نمی‌توان به‌دلخواه تعیین کرد و اعمال بیشتر در سنجش یکی از آنها ناخواسته منجر به کاهش دقت در سنجش کمیت دیگر می‌شود. آنجا که

---

1. Schinkus
2. Schinkus, 2010
3. Mantegna and Stanley
4. Mantegna and Stanley, 2000

موقعیت مکانی و سایر موقعیت‌های ذره، همگی جنبه احتمال دارند، بنابراین در مکانیک کوانتوم فرض بر آنست که ذره درآن‌واحد، در هر یک از چند مکان می‌تواند موجود باشد (بالنتین[1]، ۱۹۸۶).

## روش پژوهش

باتوجه‌به مطالعاتی که تاکنون انجام شده است، نتایج نشانگر آنست که قیمت سهام در دامنه طول موج نوسان می‌کند و دانستن این طول موج از اهمیت چشمگیری برخوردار است و متغیرهای گوناگونی بر این دامنه تأثیرگذار هستند، مانند اطلاعات که نقش پراهمیتی در این زمینه دارد و مسئله دیگر خود بازارهای مالی هستند که نمی‌توان آنها را بدون شوک‌های سیستماتیک و غیرسیستماتیک در نظر گرفت. در مطالعه حاضر با درنظرگرفتن شاخص کل از بازار سهام و قیمت سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا و نرخ دلار غیررسمی از بازار ارز در ایران با رهیافت کوانتوم مالی توسط عملگر همیلتون، به معادله شرودینگر مربوطه رسیده و سپس به حل تابع موج پرداخته، نمودارهای توزیع و میانگین نرخ بازدهی رسم و با هم مقایسه شده است.

روند مطالعه اخیر این‌گونه است که یک مدل قیمت با فرضیه‌های اساسی از مکانیک کوانتومی ساخته‌شده و برداری به نام تابع موج در فضای هیلبرت حالت سیستم کوانتومی را توصیف کرده است (ی و همکاران[2]، ۲۰۰۸). مربع تابع موج $\psi(\wp, t)$ به عنوان توزیع قیمت در نظر گرفته شده که $\wp$ نشان دهنده قیمت در بازار مربوطه و $t$ نشان دهنده زمان است. تابع موج نمایش دهنده قیمت است که به صورت زیر است(شادن[3]، ۲۰۰۲):

$$|\psi\rangle = \sum | \emptyset_n\rangle C_n \qquad (۱)$$

که $| \emptyset_n\rangle$ یکی از حالت‌های ممکن سیستم مالی و ضریب $C_n$ برابر با $\langle \emptyset_n | \psi\rangle$ است، به عبارتی در اینجا از اصل برهمنهی در فیزیک کوانتوم استفاده شده است (پایوتروسکی و اسلادکوسکی[4]، ۲۰۰۵). وضعیت شاخص قبل از معامله به صورت یک بسته موج یا ترجیحا یک توزیع است. حالت شاخص به یکی از حالات ممکن تبدیل می‌شود که دارای یک قیمت

1. Ballentine, 1986
2. Ye et al ,2008
3. Schaden,2002
4. Piotrowski and Sladkowski,2005

خاص است که قیمت معاملات نامیده می‌شود. در این حالت $|C_n|^2$ احتمال ظهور هر حالت را نشان می‌دهد. در تفسیر آماری، چگالی احتمال [1] قیمت در زمان به صورت زیر است:

$$P(t) = \int_a^b |\psi(\wp, t)|^2 dp \qquad (۲)$$

**۱- عملگر هرمیتی**

نوسانات قیمت می‌تواند به‌عنوان تکامل تابع موج محسوب شود. کمیت‌های فیزیکی در مکانیک کوانتومی که برای توصیف سیستم استفاده می‌شود، می‌تواند به‌عنوان عملگر هرمیت در فضای هیلبرت به کار گرفته شود. در بازار مربوطه هر عملگر هرمیت مقدار اقتصادی را نشان می‌دهد و $\hat{\wp}$ عملگر قیمت است. نوسانات قیمت به‌عنوان حرکت یک ذره در فضا و انرژی، شدت حرکت قیمت را نشان می‌دهد. در امور مالی، انحراف استاندارد قیمت دارایی‌ها هماره یک شاخص ریسک مالی است.

**۲- اصل عدم قطعیت**

بر اساس اصل عدم قطعیت هایزنبرگ نمی‌توان شکلی دقیق از موقعیت و تکانه یک الکترون را به طور هم‌زمان اندازه‌گیری کرد. به عبارتی دیگر اگر مکان یک ذره بادقت بالایی اندازه‌گیری شود، بی‌گمان سرعت آن تحت تأثیر قرار گرفته و دقت اندازه‌گیری آن پایین خواهد آمد. بر اساس این اصل می‌توان قیمت را با موقعیت ذره متناظر نمود درحالی‌که متغیر دیگری (T) نیز وجود دارد که متناظر با تکانه ذره است. در یک سیستم ماکرو تکانه به‌صورت حاصل‌ضرب جرم ذره در مشتق اول مکان ذره نسبت به زمان تعریف می‌شود. براین‌اساس مدل کوانتومی مالی موردنظر به‌صورت زیر است:

$$T = m_0 \frac{d\varphi}{dt} \qquad (۳)$$

که در آن $m_0$ «شاخص انبوه» و $T$ «نرخ تغییرات قیمت» است. همچنین بر اساس اصل عدم قطعیت به این صورت است:

$$\Delta\varphi \Delta T \geq \frac{\hbar}{2} \qquad (۴)$$

1. Probability Density

که در آن $\Delta\varphi$ انحراف معیار قیمت، $\Delta T$ انحراف معیار روند قیمت و $\hbar$ ثابت پلانک کاهیده است. هنگامی که از توزیع گوسی برای تابع موج اولیه استفاده شود، نامساوی شماره (۴) به تساوی تبدیل می‌شود. از طرفی دیگر اگر تغییرات کلی قیمت کوچک باشد، انحراف معیار مربوط به $\frac{d\varphi}{dt}$ به این صورت بازنویسی می‌شود:

$$\Delta\left(\frac{d\varphi}{dt}\right) = \sqrt{\langle\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\rangle - \langle\frac{d\varphi^2}{dt}\rangle} \approx \sqrt{\langle\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)^2\rangle} \qquad (۵)$$

با تخمین انحراف معیار قیمت و روند و به‌کارگیری روابط (۳)، (۴) و (۵) مقدار $m_0$ محاسبه می‌شود.

### ۳-معادله شرودینگر

باتوجه‌به فرضیات تابع موج و عملگرها، معادلات دیفرانسیل برای محاسبه تکامل توزیع قیمت در طول زمان در نظر گرفته شده که در نظریه کوانتوم این معادله شرودینگر است که به‌صورت زیر آمده است:

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(\wp,t) = \hat{H}\psi(\wp,t) \qquad (۶)$$

$\hat{H}(\wp,T,t)$ عملگر همیلتونی معادله مورد نظر است که تابعی از قیمت، روند و زمان است. با حل این معادله می‌توان نمودار توزیع قیمت در زمان‌های مختلف را رسم کرد. از آنجایی که عواملی همچون محیط اقتصادی، اطلاعات بازار و روان شناسی بازار بر روی قیمت و روند تاثیرگذار بوده و یافتن عملگر همیلتونی برای آن دشوار می‌شود، در ابتدا نیاز است که ساده‌سازی‌هایی در این زمینه صورت گیرد و سپس معادله مورد نظر حل شود.

### ٤-بازار دارایی به‌عنوان یک چاه پتانسیل نامتناهی

در بازار سهام ایران قیمت سهام با محدودیت دامنه نوسان $\pm 5\%$ روبرو است که نسبت به قیمت بسته‌شدن سهم در روز قبل تعیین می‌شود ولی در ۲ بازار دیگر محدودیت دامنه نوسان وجود ندارد. نوسانات قیمت به‌صورت یک چاه پتانسیل نامتناهی تک‌بعدی شبیه‌سازی شده است. با استفاده از تغییر متغیر زیر در دستگاه مختصات یک چاه پتانسیل متقارن با عرض d به این صورت است:

$$\varphi' = \varphi - \varphi_0 \quad (۷)$$

$$r = \frac{\varphi'}{\varphi_0} \quad (۸)$$

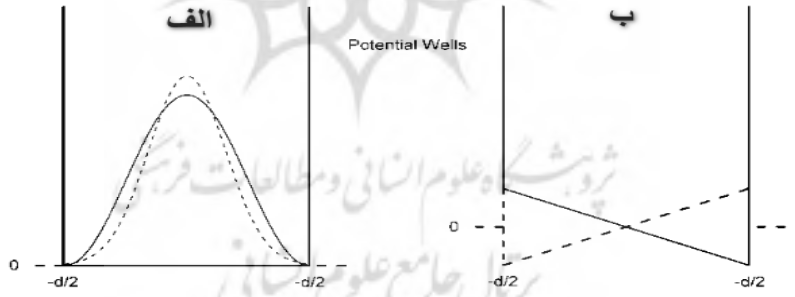
که d=r/2 است. هماره هنگامی که بازار در حالت تعادل قرار دارد، توزیع بازده را می‌توان به‌صورت یک توزیع گوسی تخمین زد(کوتنه[1] ، ۱۹۶۴). بدین منظور می‌توان از یک تابع کسینوسی به‌صورت زیر برای تقریب تابع موج در حالت تعادل استفاده کرد (منتگنا[2]، ۱۹۹۵):

$$\psi_0(r) = \sqrt{\frac{2}{d}} cos(\frac{\pi r}{d}) \quad (۹)$$

که در آن ویژه مقدارهای انرژی به‌صورت زیر است (گریفس[3]، ۱۹۹۵):

$$E_0 = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2md^2} \quad (۱۰)$$

همان‌طور که در نمودار زیر نشان‌داده‌شده است: در مرکز چاه پتانسیل که متناظر با بازده صفر است، نمودار چگالی احتمال بیشترین مقدار را دارد و با حرکت به سمت مرزهای چاه پتانسیل، مقدار آن به‌صورت متقارن، به‌تدریج کاهش‌یافته و به سمت صفر میل می‌کند.




***نمودار ۱. چاه پتانسیل***

1. Cootne, 1964
2. Mantegna,1995
3. Griffiths,1995

نمودار ۱ (الف) چاه پتانسیل نامتناهی با عرض d، نمودار خط‌چین، همان نمودار بازده که توزیع آن به‌صورت گوسی است. در این مقاله برای نمایش نمودار توزیع نرخ بازده در حالت تعادل از تابع کسینوسی استفاده شده است. نمودار ۱(ب) بیانگر حالتی است که یک میدان تناوبی در عملگر همیلتونی قرار داده شود و شیب خط مربوط به کف چاه پتانسیل به‌صورت دوره‌ای تغییر یابد (ژانگ و هوانگ[1]، ۲۰۱۰)

به‌منظور توصیف تکامل نرخ بازده تحت اطلاعات، یک مدل ایده‌آل مطرح شده است که در آن فرض بر تأثیر اطلاعات به‌صورت دوره‌ای است. در این پژوهش یک تابع کسینوسی نظیر $cos\ wt$، برای شبیه سازی نوسانات اطلاعات استفاده شده است و $w=10^{-4}S^{-1}$ می باشد، این بدان معنی است که اطلاعات در یک سیکل منفرد، حول چهار روز معاملاتی در نوسان است که ممکن است معقول باشد. مقدار نوسان یا تابع $cos\ wt$، بین [1,1-] در طول زمان تغییر می کند. بازارهای دارایی در نظر گرفته شده همانند ذره بارداری هستند که در یک میدان الکترومغناطیسی در حال حرکت بوده و میدان خارجی آن به صورت $e\ Fr\ cos\ wt$ که در آن e اندازه بار ذره است که برابر با $10^{-19}$ و F بزرگی میدان خارجی است. مقادیر متغیرهای e و $w$ برای هر سه بازار یکسان است و سایر متغیرها برآورد شده است. بر این اساس همیلتونی سیستم موردنظر به صورت زیر در نظر گرفته شده است(ژانگ و هوانگ، ۲۰۱۰):

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial r^2} + e\ Fr\ cos\ wt \qquad (۱۱)$$

پس از به‌دست‌آوردن عملگر همیلتونی ایده‌آل برای مدل موردنظر، معادله شرودینگر به‌صورت زیر بازنویسی می‌شود(واگنر[2]، ۱۹۹۶):

$$i\hbar\frac{\partial}{\partial t}\psi(r,t) = \left[-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial r^2} + e\ Fr\ cos\ wt\right]\psi(r,t) \qquad (۱۲)$$

از حل معادله ۱۲ و یافتن تابع موج برای هر بازار، توزیع احتمال بازده و میانگین آن رسم شده است.

## برآورد تجربی

### ۱- داده

در این مطالعه داده‌های روزانه بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران از سال ۱۳۹۲ تا ابتدای ۱۴۰۱ توسط نرم‌افزار متمتیکا و ایویوز مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. روش پژوهش رهیافت کوانتوم مالی با استفاده از معادله شرودینگر و بسط همیلتون است که به حل تابع موج پرداخته شده، نمودارهای توزیع و میانگین نرخ بازدهی رسم و با هم مقایسه شده است. لازم به بیان است که در قسمت نتایج تخمینی، از حل معادله ۱۲ و یافتن تابع موج برای هر بازار، توزیع احتمال بازده و میانگین آن رسم شده است.

1. Zhang and Huang, 2010
2. Wagner, 1996

## ۲- نتایج تخمینی

### الف- بازار سهام ایران

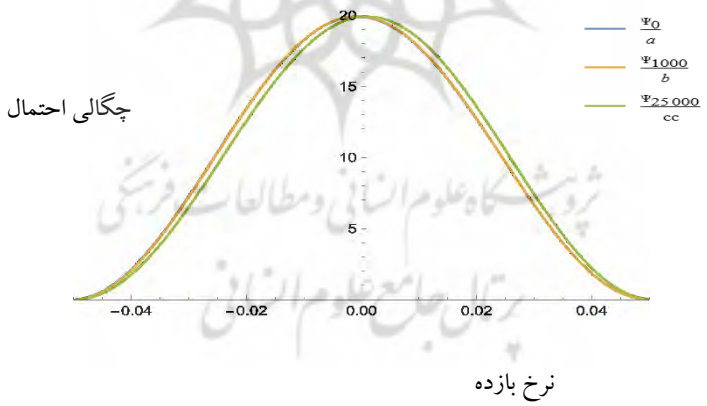
در این قسمت از داده‌های روزانه شاخص کل از بازار سهام در ایران استفاده‌شده و مقادیر متغیرهای تخمین زده‌شده به‌صورت زیر است:

***جدول ۱. مقادیر تخمین زده‌شده از بازار سهام در ایران***

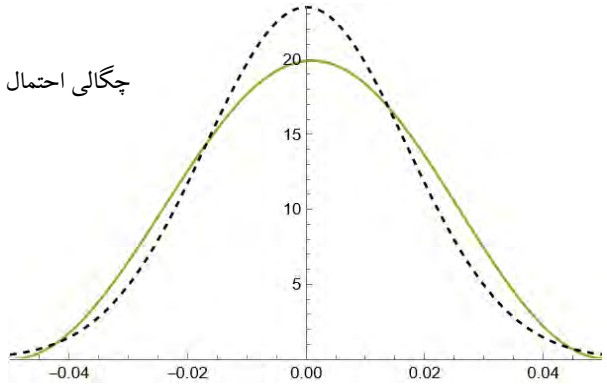
| | | |
|---|---|---|
| $m_0$ | شاخص انبوه | $8.13 * 10^{-29}$ |
| F | بزرگی میدان خارجی (اطلاعات) | $10^{-18}$ |
| D | عرض چاه پتانسیل (نرخ بازده) | 0.1 |

در نمودار ۲ (الف) چگالی احتمال شاخص کل از بازار سهام در ایران نشان داده‌شده است. در مرکز چاه پتانسیل که متناظر با بازده صفر است، نمودار چگالی احتمال بیشترین مقدار را دارد و با حرکت به سمت مرزهای چاه پتانسیل، مقدار آن به‌صورت متقارن، به‌تدریج کاهش‌یافته و به سمت صفر میل می‌کند که بیان‌کننده توزیع گوسی است.

در نمودار ۲(ب) تابع توزیع نرخ بازده در بازار سهام با توزیع تصادفی نرمال خود که شبیه‌سازی‌شده، مقایسه شده که تابع توزیع تصادفی نرمال به‌صورت خط‌چین مشخص‌شده است. نمودار نشان می‌دهد که تابع توزیع نرخ بازده سهام در دوره موردبررسی در مقایسه باحالت توزیع تصادفی نرمال خوددارای کشیدگی کمتر و دنباله پهن‌تر است که نشان‌دهنده ریسک و احتمال وقوع بحران است.

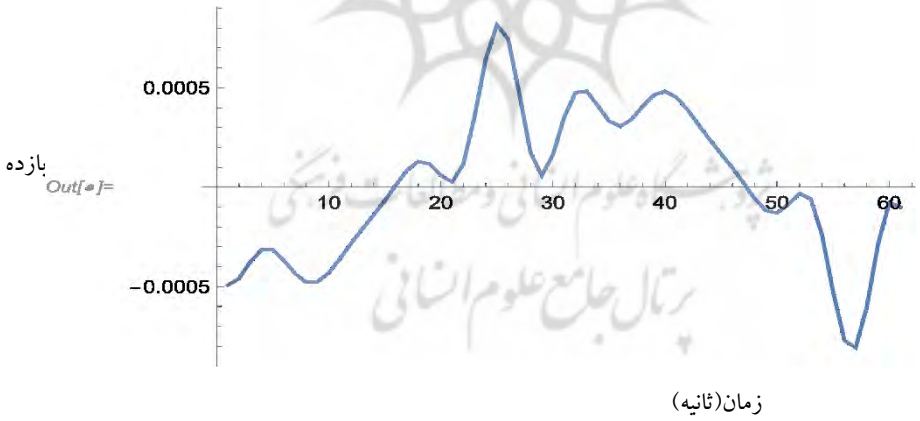



***نمودار ۲ (الف)- نمودار چگالی احتمال نرخ بازده شاخص کل از بازار سهام ایران***




***نمودار ۲(ب). تابع توزیع نرخ بازده در بازار سهام ایران در مقایسه با توزیع تصادفی نرمال خود***

نمودار ۳ متغیر «اطلاعات» به تابع توزیع نرخ بازده شاخص کل سهام ایران واردشده است. همان‌طور که دیده می‌شود، میانگین نرخ بازده در طی زمان به‌صورت دوره‌ای و متقارن بین $\pm 8 * 10^{-4}$نوسان می‌کند. در دوره اول میانگین نرخ بازده شاخص کل از بازار سهام ایران متقارن است با $t=\pi /w$ که ناشی از تقارن دوطرفه همیلتون است (تابع موج در یک دوره).




***نمودار ۳. میانگین نرخ بازده شاخص کل از بازار سهام ایران***

**ب. بازار طلا در ایران**

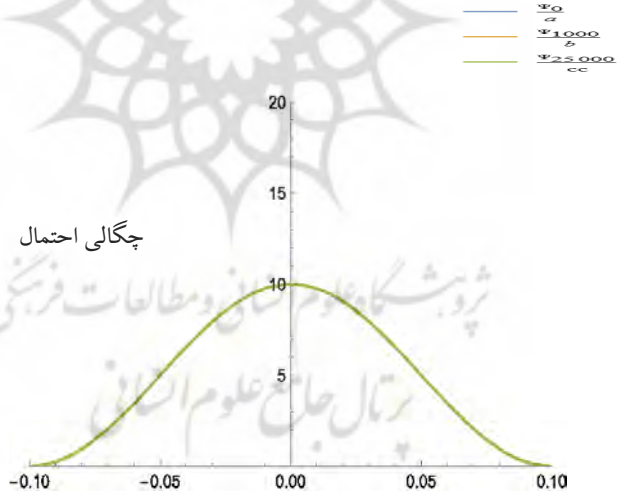
در این قسمت از داده‌های روزانه سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا در ایران استفاده‌شده است. متغیرهای تخمین زده‌شده به‌صورت زیر است:

***جدول ۲. مقادیر تخمین زده‌شده از بازار طلا در ایران***

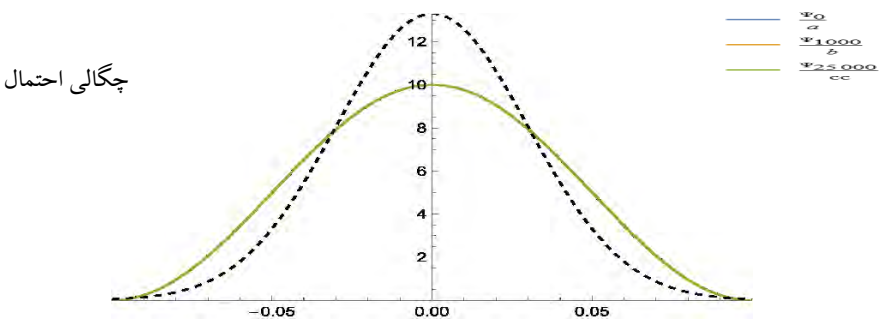
| | | |
|---|---|---|
| $m_0$ | شاخص انبوه | $1.5 * 10^{-28}$ |
| F | بزرگی میدان خارجی (اطلاعات) | $10^{-19}$ |
| D | عرض چاه پتانسیل (نرخ بازده) | 0.2 |

در نمودار ۴ (الف) تابع چگالی احتمال قیمت سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا در ایران نشان داده‌شده است. در مرکز چاه پتانسیل که متناظر با بازده صفر است، نمودار چگالی احتمال بیشترین مقدار را دارد و با حرکت به سمت مرزهای چاه پتانسیل، مقدار آن به‌صورت متقارن، به‌تدریج کاهش‌یافته و به سمت صفر میل می‌کند که بیان‌کننده توزیع گوسی است.

در نمودار ۴(ب) تابع چگالی احتمال قیمت سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا در ایران با توزیع تصادفی نرمال شبیه‌سازی‌شده خود مقایسه شده که تابع توزیع نرمال به‌صورت خط‌چین مشخص‌شده است. نمودار نشان می‌دهد که تابع توزیع نرخ بازده سکه در دوره موردبررسی در مقایسه باحالت توزیع تصادفی نرمال خود دارای کشیدگی کمتر و دنباله پهن‌تر است که نشان‌دهنده ریسک و احتمال وقوع بحران است.

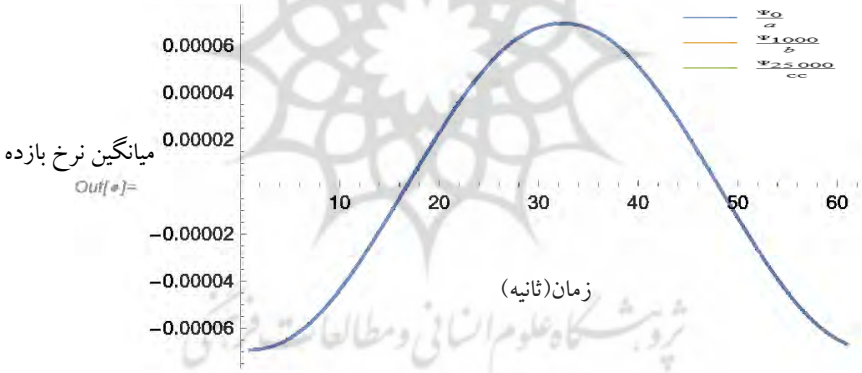



**نمودار ٤(الف). نمودار چگالی احتمال نرخ بازده سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا**




***نمودار ٤ (ب). تابع توزیع نرخ بازده در بازار طلا در مقایسه با توزیع تصادفی نرمال خود***

در نمودار ۵ متغیر «اطلاعات» به تابع توزیع نرخ بازده واردشده است، همان‌طور که دیده می‌شود میانگین نرخ بازده در طول زمان به‌صورت دوره‌ای و متقارن بین $8 * 10^{-5} \pm$نوسان می‌کند. در دوره اول میانگین نرخ بازده قیمت سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا متقارن است با $t=\pi /w$ که ناشی از تقارن دوطرفه همیلتون است (تابع موج در یک دوره).




**نمودار ۵. میانگین نرخ بازده قیمت سکه تمام بهار آزادی از بازار طلا**

### ج. بازار ارز در ایران

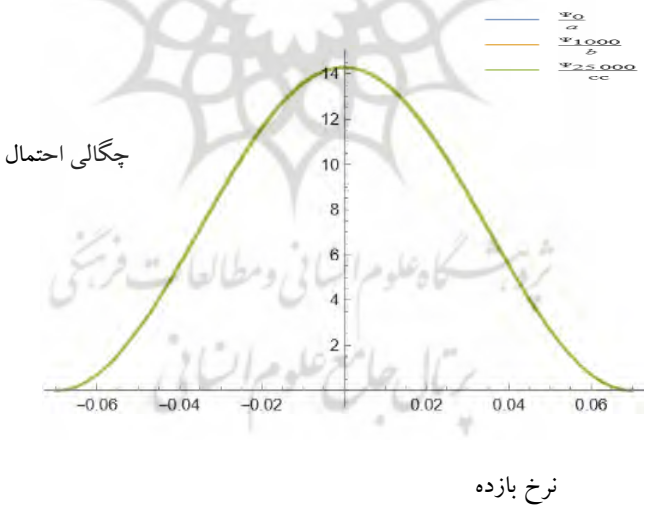
در این قسمت از داده‌های روزانه دلار در ایران استفاده‌شده است. متغیرهای تخمین زده‌شده به‌صورت زیر است:

***جدول ۳. مقادیر تخمین زده‌شده از بازار ارز در ایران***

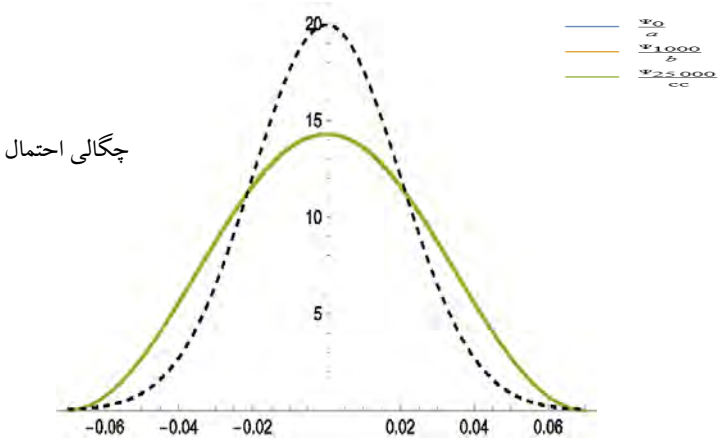
| | | |
|---|---|---|
| $m_0$ | شاخص انبوه | $3.43 * 10^{-28}$ |
| F | بزرگی میدان خارجی (اطلاعات) | $10^{-19}$ |
| D | عرض چاه پتانسیل (نرخ بازده) | 0.14 |

در نمودار ۶(الف) تابع چگالی احتمال قیمت دلار از بازار ارز در ایران نشان داده‌شده است. در مرکز چاه پتانسیل که متناظر با بازده صفر است، نمودار چگالی احتمال بیشترین مقدار را دارد و با حرکت به سمت مرزهای چاه پتانسیل، مقدار آن به‌صورت متقارن، به‌تدریج کاهش‌یافته و به سمت صفر میل می‌کند که بیان‌کننده توزیع گوسی است.

در نمودار ۶(ب) تابع چگالی احتمال قیمت دلار از بازار ارز در ایران با توزیع تصادفی نرمال شبیه‌سازی‌شده خود مقایسه شده که تابع توزیع نرمال به‌صورت خط‌چین مشخص‌شده است. نمودار نشان می‌دهد که تابع توزیع نرخ بازده سکه در دوره موردبررسی در مقایسه باحالت توزیع تصادفی نرمال خود دارای کشیدگی کمتر و دنباله پهن‌تر است که نشان‌دهنده ریسک و احتمال وقوع بحران است.

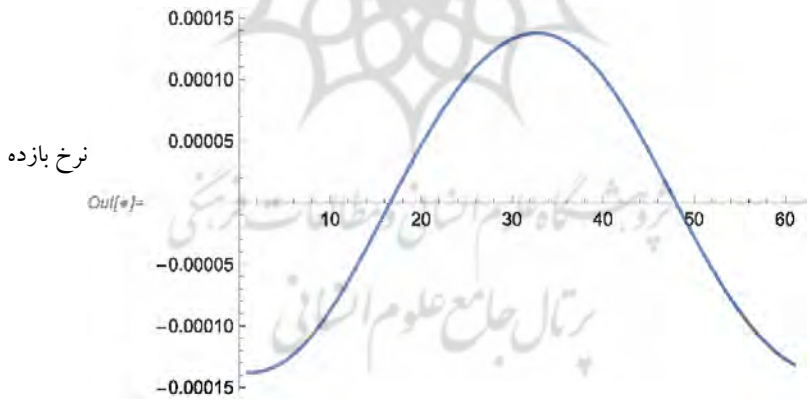



***نمودار ٦(الف). نمودار چگالی احتمال نرخ بازده دلار از بازار ارز***




***نمودار ٦(ب). تابع توزیع نرخ بازده در بازار دلار در مقایسه با توزیع تصادفی نرمال خود***

در نمودار ۷ متغیر «اطلاعات» به تابع توزیع نرخ بازده واردشده است، همان‌طور که دیده می‌شود در طول زمان به‌صورت دوره‌ای و متقارن بین $\pm 14 * 10^{-5}$ نوسان می‌کند. در دوره اول میانگین نرخ بازده دلار متقارن است با $t=\pi /w$ که ناشی از تقارن دوطرفه همیلتون است (تابع موج در یک دوره).




***نمودار ۷. میانگین نرخ بازده دلار***

## نتیجه‌گیری

ازآنجایی‌که افراد دارایی‌های مالی خود را به‌صورت سهام، طلا و ارز نگهداری می‌کنند و یکی از مسائل بسیار قابل‌توجه در عرصه بازارهای مالی و اقتصادی وجود رابطه تنگاتنگ بازارهای مختلف با یکدیگر است، سیستمی که به پردازش می‌پردازد از اهمیت چشمگیری برخوردار است. در این پژوهش با به‌کارگیری داده‌های روزانه، بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران از سال ۱۳۹۲ تا ابتدای ۱۴۰۱ مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته است. روش پژوهش رهیافت کوانتوم مالی با استفاده از معادله شرودینگر و بسط همیلتون است که به حل تابع موج پرداخته، نمودارهای توزیع و میانگین نرخ بازدهی رسم و با هم مقایسه شده است. از بررسی‌های انجام شده در بازارهای سهام، طلا و ارز در ایران دیده شده است، توزیع نمودار چگالی احتمال نرخ بازده شاخص در هر سه بازار از توزیع گوسی پیروی می‌کند. از مقایسه توزیع چگالی احتمال هر بازار با توزیع تصادفی نرمال خود به‌راحتی متوجه می‌شویم که داشتن ریسک در ذات هر بازار مالی است. بعد از وارد کردن متغیر اطلاعات به تابع توزیع نرخ بازده، میانگین نرخ بازده شاخص‌ها در سه بازار به‌صورت سیکلی و متقارن ولی با دامنه‌های متفاوت نوسان کرده است. لازم به بیان است که دامنه نوسان بیشتر، ریسک بیشتر و دامنه نوسان کمتر، ریسک کمتر را نشان می‌دهد. نتایج نشانگر آنست که در بازارهای موردبررسی بازار طلا نسبت به سایر بازارها کمترین ریسک و بازار سهام بیشترین ریسک را دارد، بنابراین احتمال نوسانات و وقوع بحران در بازار سهام بیشتر و در بازار طلا کمتر از سایر بازارها است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

## منابع


ابراهیمی سروعلیا، محمدحسن؛ بابا جانی، جعفر؛ عبادپور، بهرام. (۱۳۹۶). "مدل تصمیم گیری سهامداران حقیقی بورس اوراق بهادار ". *فصلنامه بورس اوراق بهادار*، ۳۶، ۹۷-۱۱۵.

اسلاملوییان، کریم؛ زارع، هاشم. (۱۳۸۵). "بررسی تأثیر متغیرهای کلان و دارایی‌های جایگزین بر قیمت سهام در ایران: یک الگوی خود هم‌بسته با وقفه‌های توزیعی ". *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، (۲۹)۸، ۱۷-۴۶.

بهجت، سحر؛ زارع، هاشم؛ رضایی، لادن. (۱۳۹۸). " یک الگوی نوسانگر غیرکلاسیک در بازار سهام برای چند شرکت منتخب: رهیافتی از مکانیک کوانتوم ". *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۴۳. ۵۹-۷۱.

توکلیان، حسین. (۱۳۹۰)."نگاهی به بازده انواع دارایی‌ها با تأکید بر بازار سکه، طی دوره ۱۳۹۰-۱۳۸۵"، *تازه‌های اقتصاد*، ۱۳۳. ۱۱۷-۱۲۳.

جابری، مهسا؛ محمدی، عمران؛ عزیزی، امیر. (۱۴۰۱). "مدل بهینه سازی چندهدفه سبد سهام با رویکرد ترکیبی فازی- استوار (مورد مطالعه: بورس اوراق بهادار تهران)". *فصلنامه بورس اوراق بهادار تهران*، ۱۵،۵۹، ۴۴۱-۴۷۰.

دادگر، یدالله؛ فهیمی فر، فاطمه؛ نظری، روح اله. (۱۳۹۹)." بررسی هم‌زمانی سیکل‌های نرخ ارز با قیمت نفت، قیمت طلا و ارزش سهام در ایران: الگوی مارکف - سوئیچینگ با ساختار مؤلفه‌ای ". *فصلنامه اقتصاد و الگوسازی*، ۳، ۱۵۱-۱۹۳.

دهقان، عبدالمجید؛ عیسی نژاد بهمنشیری، خالد. (۱۳۹۷). "بررسی تاثیر کیفیت اطلاعات بر حجم و ارزش سهام معامله شده در بورس اوراق بهادار (دوره مورد بررسی ۱۳۸۸-۱۳۹۳)". *فصلنامه بورس اوراق بهادار تهران*، ۴۰، ۵۰-۹۰.

زارع، هاشم. (۱۳۹۱)." رهیافتی از اقتصاد فیزیک در بازار سهام ایران "، پایان‌نامه دکتری، رشته اقتصاد، دانشگاه شیراز.

عباسی، محمودرضا. (۱۳۹۱)." اکونوفیزیک: کاربرد فیزیک در اقتصاد "، کنفرانس سراسری فیزیک و کاربردهای آن، دانشگاه بابلسر.

عبداله زاده، مصطفی؛ زارع، هاشم. (۱۴۰۱). محاسبه آنتروپی پول در فضای تولید و رابطه آن با توسعه بازار سرمایه در اقتصاد ایران (رهیافتی از اقتصاد فیزیک و رگرسیون انتقال ملایم. پ*ژوهش‌های اقتصادی ایران*. (۹۲)۲۷. ۷۷-۱۱۲.

فطرس، محمدحسن؛ هوشیدری، مریم. (۱۳۹۷). "ارتباط‌های پویا بین قیمت نفت، قیمت طلا و نرخ ارز با شاخص سهام بورس اوراق بهادار تهران*". فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، ۵۸، ۸۹-۱۱۶.

فکاری سردهایی، بهزاد؛ میرزاپور، اکبر؛ صیامی، علی؛ کجوری، مصطفی. (۱۳۹۳). "بررسی ارتباط قیمت بازار آتی و نقدی سکه طلای ایران ". *فصلنامه علمی پژوهشی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، (۲۲)۷. ۹۳-۱۰۷.

کریم‌زاده، مصطفی. (۱۳۸۵). "بررسی رابطه بلندمدت شاخص قیمت سهام بورس با متغیرهای کلان پولی با استفاده از روش هم جمعی در اقتصاد ایران ". *فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران*، (۲۶)۸، ۴۱-۵۴.

لطفی هروی، محمدمهدی؛ هوشمند، منیره؛ اسعدی، مرضیه. (۱۴۰۰)." کاربرد الگوریتم‌های یادگیری ماشین کوانتومی در علوم مالی ". *سیاست‌نامه علم و فناوری*، دانشگاه صنعتی شریف.

## References


Abbasi, M. R. (2012). Econophysics: Application of Physics in Economics. National conference on physics and its applications, Babolsar University. (In Persian).

Abdollahzadeh, A; Zare, H. (2022). The Entropy of Money in the Space of Output and its Relationship with the Development of the Stock Market in the Iranian Economy: Econophysics and STAR Approach. *Iranian Journal of Economic Research,* 27 (92), 77 -112. (In Persian).

Allahyaribeik, N; Nikoomaram, H; Allahyaribeik, S; and Rahnamay rood-poshti F. (2022). A Quantum Model for the Stock Market, Advances In Mathematical Finance And Aplications. 7(1), 217-228.

Ballentine, L. E. (1986). Probability in Quantum Mechanics. *New Techniques and Ideas in Quantum Measurement Theory*, *480(1)*, 382-392.

Behjat, S; Zare,H; and Rezaee, L.(1398). A Non-Classical Oscillator Pattern in the Stock Market for a few Selected Companies: a Quantum Mechanical Approach. *Financial knowledge of securities analysis*.43, 59-71. (In Persian).

Chaiboonsri, C; and Wannapan, S. (2021). Applying Quantum Mechanics for Extreme Value Prediction of VAR and ES in the ASEAN Stock Exchange. *Economies*, 9 (13).

Cootner, P.H. (1964). The Random Character of Stock Market Prices. MIT Press. Cambridge, MA.

Cotfas, L. A. (2012). A Quantum Mechanical model for the Stock Market. *Journal of Physica* A, 57, 371-392.

Dadgar, y; Fahimi far, F; and Nazari, R. (2020). Investigating the Simultaneity of Exchange Rate Cycles with Oil Price, Gold Price and Stock Value in Iran: Markov-switching Model with Component Structure. *Quarterly Journal of Economics and Modeling*. 3, 151-193. (In Persian).

Dehgan, A; and Isa Nejad Bahmanshiri, Kh. (2018). Investigating the Impact of the Quality of Information on the Value and Volume of Transaction in Tehran Stock Exchange. *Journal of Securities and Exchange*, 40, 50-90. (In Persian).

Ebrahimi sarv olya, M. H; Babajani, J; and Ebadpoor, B. (2017). The Real Investors Decision Making Model in the Stock Exchange. *Journal of Securities and Exchange*, 36, 97-115. (In Persian).

Eder, J; Marcus. F; and Pereira. H.B.B. (2017). Econophysics: Past and present. *Physica A*, 473, 251–261.

Eslamluian, K; and Zare, H. (1385). Investigating the Impact of Macro variables and Alternative Assets on Stock Prices in Iran: An Auto Regressive Distributed Lag Model. 8 (29), 17-46. (In Persian).

Fakari Sardehai, B; Mirzapoor, A; Siami, A; Kojoori, M. (2014). Investigating the Relationship between the Future and Cash Market Prices of Iranian Gold Coins". Scientific Research Quarterly of Financial Science and Securities Analysis, 7 (22). 93-107. (In Persian).

Fotros, M. H; and hooshidari, M. (2018). Dynamic Relations between Oil price, Gold price and Exchange Rate with Stock Index of Tehran Stock Exchange. *Quarterly Journal of Energy Economics Studies*, 58, 89-116. (In Persian).

Griffiths, D.J. (1995). Introduction to Quantum Mechanics. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ.

Jaberi, M; Mohammadi, E;and Azizi, A. (2022). Multi-Objective Portfolio Optimization Model with Fuzzy-Robust Hybrid Approach (As a case: Tehran Stock Exchange). *Journal of Securities and Exchange*, 15(59), 441-470. (In Persian).

Jovanovic. F. (2016). Econophysics and financial economics: an emerging dialogue. Oxford University Press.

Jovanovic, F; and Schinckus, C. (2013). Econophysics: A New Challenge for Financial Economics. *The Journal of History Economic Thought.* 35 (3).

Jovanovic. F; and Schinckus, C. (2017). Econophysics and Financial Economics: An Emerging Dialogue. Oxford University Press (forthcoming).

Karimzadeh,M.(2006). Investigating the long-Run Relationship between the Stock Price Index and Macro-Monetary Variables using the Auto Regressive Distributed Lag Method in Iran's Economy. I*ranian Economic Research Quarterly*, (26)8, 41-54. (In Persian).

Lotfi Heravi, M. M; Hooshmand, M; and Asaadi, M.(2021). Application of Quantum Machine Learning Algorithms in Financial Sciences. Science and Technology Policy, Sharif University of Technology. (*In Persian*).

Mantegna, R. N. (1991). Levy Walks and enhanced diffusion in Milan stock exchange. Physica A, 179 (1), 232– 242.

Mantegna, R. N. (2016). Some Past and Present Challenges of Econophysics. *The European Physical Journal Special topics*, 225, 3261–3267.

Mantegna. R.N; and Stanley, H.E. (1995). Scaling behavior in the dynamics of an economic index. *Nature*, 376, 46-49.

Mantegna, R. N; and Stanley. H.E. (2000). An introduction to Econophysics: Correlation and Complexity in Finance. Cambridge University press. Cambridge, 355.

Orrell. D. (2021). A Quantum Walk Model of Financial Options. *Wilmott*, 112, 62-69.

Orus, R; Mugel, S; and Lizaso, E. (2019). Quantum computing for finance: Overview and prospect. *Journal of Physics*, 1(11).

Overbye, D. (2019). Quantum Computing Is Coming, Bit by Qubit with transmons and entanglement, scientists strive to put subatomic weirdness to work on the human scale. The New York Times.

Piotrowski, E.W; Sladkowski, J. (2005). Quantum diffusion of prices and profits. Physica A, 345, 185–195.

Schaden, M. (2002). Quantum Finance. Physica A. 316, 511-538.

Schinckus, C. (2010). Is Econophysics a new discipline? The neopositivist argument. Physica A, 389(18), 3814-3821.

Tavakolian, H; (2011). A look at the Returns of all kinds of Assets with an Emphasis on the Coin Market, during the period of 2006-2011. *Economic News*.113, 117-123. (In Persian).

Wagner, M. (1996). Strongly driven quantum wells: an analytical solution to the time-dependent Schrödinger equation. *Physical Review Letters,* 76(21), 4010-4013.

Ye, C; Huang, J. P. (2008). Non-classical oscillator model for persistent fluctuations in stock markets. *Physica* A, 387(5), 1255-1263.

Zare, H. (2012). An Approach of Econophysics in the Iranian Stock Market. PhD Thesis, Department of Economics, Shiraz University. (In Persian).

Zhang, C; and Huang, L. (2010). A Quantum model for the Stock market. *Journal of Physica* A, 389(114), 5769-5775.

COPYRIGHTS

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 license.