Financial Research Journal

Print ISSN: 1024-8153
Online ISSN: 2423-5377

Informed Trading Probability in Exchange-traded Funds on the Tehran Stock Exchange: A Market Microstructure Approach

Ali Namaki *
*Corresponding Author, Assistant Prof., Department of Financial Engineering, Faculty of Accounting and Financial Sciences, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: alinamaki@ut.ac.ir

Reza Eyvazlou
Assistant Prof., Department of Financial Management and Insurance, Faculty of Accounting and Financial Sciences, College of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: eivazlu@ut.ac.ir

Mohsen Sayar
Ph.D. Candidate, Department of Financial Engineering, Kish International Campus, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: pcmmohsen@gmail.com

Abstract

Objective

Informed trading, as a key factor undermining market transparency and efficiency, plays a pivotal role in investor decision-making and risk management. Accordingly, identifying and quantifying such trading activities at the microstructure level of the market is of critical importance. Given the growing presence of exchange-traded equity funds (ETFs) in Iran's capital market and the need for enhanced transparency and regulatory oversight, this study aims to propose a robust and reliable index for measuring information asymmetry within these financial institutions.

Methods

The foundational model for estimating the extent of informed trading is the Probability of Informed Trading (PIN) model. This well-established measure in financial economics

Citation: Namaki, Ali; Eyvazlou, Reza & Sayar, Mohsen (2026). Informed Trading Probability in Exchange-Traded Funds on the Tehran Stock Exchange: A Market Microstructure Approach. *Financial Research Journal*, 28(1), 300-327. https://doi.org/10.22059/FRJ.2026.403269.1007796 (*in Persian*)

Financial Research Journal, 2026, Vol. 28, No.1, pp. 300-327
Published by University of Tehran, College of Management
https://doi.org/10.22059/FRJ.2026.403269.1007796
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: September 28, 2025
Received in revised form: December 13, 2025
Accepted: January 06, 2026
Published online: March 16, 2026

captures the likelihood of informed traders' participation in the market and reflects the degree of information asymmetry in trading activity. Over time, the PIN model has undergone refinements to address computational inefficiencies and the complexity of multi-parameter estimation. A prominent advancement is the Volume-Synchronized Probability of Informed Trading (VPIN) model, which offers superior speed and accuracy, requires fewer parameter estimations, and incorporates a volume-based framework that enables continuous updating. By addressing the primary limitation of the original model—its disregard for trading volume—VPIN facilitates a more precise assessment of informed trading probabilities. The dataset used in this study consists of intraday price, time, and volume data for 92 equity exchange-traded funds listed on the Tehran Stock Exchange, covering the period from April 2019 to March 2025. To compute the VPIN index, real-time data on trade time, volume, and price were collected and processed, yielding VPIN values for each fund across the specified timeframe. Additionally, the funds were categorized based on variables such as assets under management and the industry sector of investment (sectoral ETFs), allowing for an examination of structural factors influencing informed trading levels.

Results

The results reveal significant variation in the probability of informed trading across the studied funds. Specifically, funds with larger assets under management (AUM) exhibited lower average VPIN values compared to smaller funds. Furthermore, sector-specific funds investing in different industries display varying VPIN levels. Moreover, funds investing in less transparent and specialized industries demonstrated higher average VPIN scores. These differences suggest that structural factors—including fund size, the nature of the target industry, and investor trading behavior— significantly influence the extent of informed trading.

Conclusion

This study contributes to the literature by introducing an analytical framework grounded in the VPIN methodology to identify and quantify information asymmetry among ETFs operating in Iran's capital market. The findings—encompassing VPIN monitoring across sectoral, small, medium, and large equity funds—underscore the necessity for regulatory authorities and policymakers to consider variables such as fund structure, industry focus, and trading volume in efforts to enhance market transparency and mitigate informational inequality. Furthermore, the VPIN index proves to be an effective analytical tool for modeling informational risk in ETFs and offers a foundation for developing intelligent regulatory monitoring systems. Ultimately, the insights derived from this research hold practical relevance for investor decision-making, strategic trading design, and the advancement of capital market oversight policies.

Keywords: Informed trading, Exchange-Traded Funds (ETFs), Information asymmetry, Market microstructure, PIN model, VPIN model

تحقیقات مالی
شاپا چاپی: ۱۰۲۴-۸۱۵۳
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۷۷

تخمین احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی در صندوق‌های قابل معامله در بورس تهران: رویکردی بر مبنای ریزساختار بازار

علی نمکی*
* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی مالی، دانشکده حسابداری و علوم مالی، دانشکدگان مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: alinamaki@ut.ac.ir

رضا عیوضلو
استادیار، گروه مدیریت مالی و بیمه، دانشکده حسابداری و علوم مالی، دانشکدگان مدیریت دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: eivazlu@ut.ac.ir

محسن سیار
دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مالی، پردیس بین‌المللی کیش، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: pcmmohsen@gmail.com

چکیده

هدف: معاملات آگاهانه، به‌عنوان یکی از عوامل مخدوش‌کنندهٔ شفافیت و کارایی بازار، در تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاران و مدیریت ریسک، نقشی مؤثر ایفا می‌کند؛ بنابراین شناسایی و سنجش میزان این‌گونه معاملات در سطوح خُرد بازار، اهمیت ویژه‌ای دارد. با توجه به گسترش فعالیت صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس، در بازار سرمایهٔ ایران و نیاز به افزایش شفافیت و نظارت مؤثر بر آن‌ها، این مقاله در تلاش است که شاخصی معتبر و قابل اتکا برای سنجش‌عدم تقارن اطلاعاتی در این نهادهای مالی ارائه کند.

روش: اولین مدل برای سنجش میزان معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی، مدل تخمین احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی (PIN) بوده است. این مدل شاخصی در اقتصاد مالی است که احتمال حضور معامله‌گران دارای اطلاعات نهانی در بازار را اندازه‌گیری می‌کند و نشان‌دهندهٔ میزان‌عدم تقارن اطلاعاتی در فرایند معاملات است. مدل PIN طی زمان بهبود یافته است و مشکلات آن، از جمله سرعت کُند محاسبات و نیاز به تخمین چندین پارامتر، رفع شده است. یکی از مدل‌های تعدیل شده، مدل VPIN است که علاوه‌بر سرعت و دقت بیشتر، نیاز کمتری به تخمین پارامترهای مجهول مدل PIN دارد و با داشتن خاصیت حجم‌محور، قابلیت به‌روزرسانی پیوسته را نیز دارد. مدل VPIN با رفع ضعف اصلی مدل اولیه که حجم معاملات را نادیده می‌گرفت، امکان ارزیابی دقیق‌تری از احتمال وقوع معاملات آگاهانه را فراهم می‌آورد. داده‌های مورد استفاده در این مقاله، اطلاعات درون روزی قیمت، زمان و حجم معاملات برای ۹۲ صندوق سهامی قابل معامله در بورس اوراق بهادار تهران، طی بازه زمانی فروردین ۱۳۹۸ تا اسفند ۱۴۰۳ است. به‌منظور محاسبه شاخص احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی، ضمن جمع‌آوری و پردازش اطلاعاتی از جمله زمان، حجم و قیمت روزانه به‌صورت لحظه‌ای، شاخص

استناد: نمکی، علی؛ عیوضلو، رضا و سیار، محسن (۱۴۰۵). تخمین احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی در صندوق‌های قابل معامله در بورس تهران: رویکردی بر مبنای ریزساختار بازار. *تحقیقات مالی*، ۲۸(۱)، ۳۰۰-۳۲۷.

تحقیقات مالی، ۱۴۰۵، دوره ۲۸، شماره ۱، صص. ۳۰۰- ۳۲۷
ناشر: دانشکدگان مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۰۶
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۲/۲۵
doi: https://doi.org/10.22059/FRJ.2026.403269.1007796

VPIN برای هر صندوق در بازه زمانی مذکور استخراج شد. همچنین، صندوق‌ها بر اساس متغیرهایی چون میزان دارایی تحت مدیریت و نوع صنعت سرمایه‌پذیر (صندوق‌های سهامی بخشی قابل معامله در بورس) دسته‌بندی شدند تا تأثیر عوامل ساختاری بر سطح معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی بررسی شود.

یافته‌ها: نتایج تحقیق نشان می‌دهد که احتمال وقوع معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی، در میان صندوق‌های مورد مطالعه تفاوت معناداری دارد. به‌طور مشخص، صندوق‌هایی با سطح دارایی تحت مدیریت بالاتر، میانگین شاخص VPIN کمتری نسبت به صندوق‌های کوچک‌تر داشته‌اند. همچنین، صندوق‌های بخشی در صنایع مختلف، شاخص VPIN متفاوتی دارند و این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که عوامل ساختاری، از جمله حجم دارایی، نوع صنعت سرمایه‌پذیر و رفتار معاملاتی سرمایه‌گذاران، بر میزان معاملات آگاهانه تأثیرگذارند.

نتیجه‌گیری: مقاله حاضر با ارائه یک چارچوب تحلیلی بر پایه مدل VPIN، گامی در راستای شناسایی و سنجش‌عدم تقارن اطلاعاتی در صندوق‌های ETF فعال در بازار سرمایه ایران برداشته است. نتایج مطالعه (شامل بررسی و پایش شاخص VPINدر صندوق‌های سهامی، بخشی و کوچک، متوسط و بزرگ) بیانگر ضرورت توجه نهادهای نظارتی و سیاست‌گذاران، به متغیرهایی چون ساختار دارایی صندوق‌ها، نوع صنعت سرمایه‌پذیر و حجم معاملات برای افزایش شفافیت و کاهش نابرابری اطلاعاتی در بازار سرمایه است. همچنین، شاخص VPIN می‌تواند به‌عنوان ابزار تحلیلی مؤثر در مدل‌سازی ریسک اطلاعاتی در صندوق‌های ETF مورد استفاده قرار گیرد و مبنایی برای توسعه سامانه‌های نظارتی هوشمند فراهم سازد. در نهایت، یافته‌های این تحقیق ظرفیت کاربرد در تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاران، طراحی راهبردهای معاملاتی و ارتقای سیاست‌های نظارتی بازار سرمایه را دارد.

کلیدواژه‌ها: تقارن اطلاعاتی، ریزساختار بازار، مدل PIN، مدل VPIN، معاملات آگاهانه و صندوق‌های ETF.

مقدمه

بازارهای مالی کارآمد در تخصیص بهینه منابع و رشد اقتصادی نقش حیاتی ایفا می‌کنند (فاما[1]، ۱۹۷۰). یکی از چالش‌های اساسی برای کارآمدی در بازارهای مالی، عدم تقارن اطلاعاتی است. این پدیده زمانی رخ می‌دهد که برخی از فعالان بازار که معامله‌گران آگاه نامیده می‌شوند، به اطلاعات خصوصی و مهمی دسترسی دارند (اطلاعات نهانی) که سایر معامله‌گران از آن اطلاعی ندارند (معامله‌گران ناآگاه) (گروسمن و استیگلیتز[2]، ۱۹۸۰). عدم تقارن اطلاعاتی می‌تواند به نوسان‌های غیرمنطقی قیمت‌ها، کاهش نقدشوندگی و افزایش هزینهٔ سرمایه و ریسک سرمایه‌گذاری منجر شود (ایزلی و اُهارا[3]، ۲۰۰۴)؛ زیرا معامله‌گران ناآگاه در واکنش به عدم شفافیت بازار، از مشارکت فعالانه خودداری می‌کنند.

صندوق‌های سرمایه‌گذاری قابل معامله در بورس[4]، به‌عنوان یکی از ابزارهای سرمایه‌گذاری پربازده و نسبتاً کم‌ریسک که حجم چشمگیری از معاملات روزانه بازار را به خود اختصاص می‌دهند؛ اولین بار در سال ۱۹۹۳ در بورس آمریکا به‌طور رسمی معامله شدند. این صندوق‌ها طی سال‌ها فعالیت، دورهٔ رشد و توسعهٔ تحسین‌برانگیزی را پشت سر نهادند؛ به‌طوری که در حال حاضر، علاوه‌بر سهم بالای این صندوق‌ها از معاملات بازار سرمایه، به‌عنوان دارایی پایه برای سایر ابزارها مانند اختیار معامله نیز استفاده می‌شوند. در ایران نیز، امروزه شاهد حضور صندوق‌های سرمایه‌گذاری قابل معامله در بورس هستیم که با اصطلاح (ETF) نیز شناخته می‌شوند؛ بنابراین مشابه روند جهانی، در ایران نیز طی سال‌های آتی، شاهد توسعهٔ سریع‌تر و بیشتر این صندوق‌ها خواهیم بود؛ هر چند که در حال حاضر نیز قراردادهای اختیار معامله مبتنی بر این صندوق‌ها در بورس، در حال دادوستد است. ارزش دارایی‌های تحت مدیریت این صندوق‌ها، از ۱۰ میلیارد تومان تا بیش از ۱۵,۰۰۰ میلیارد تومان است که تأثیر بالای این صندوق‌ها در عرضه و تقاضای بازار سهام را نشان می‌دهد. ارزش معاملات روزانهٔ این صندوق‌ها در برخی روزها، به بیش از ۳,۰۰۰ میلیارد تومان هم رسیده است که از نقش چشمگیر این صندوق‌ها در معاملات روزانهٔ سهام حکایت می‌کند (فهرست صندوق‌های سرمایه‌گذاری، ۱۴۰۴).

با توجه به ساختار خاص این صندوق‌ها و وابستگی ارزش آن‌ها به قیمت سهام تحت تملک، احتمال وقوع معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی در آن‌ها وجود دارد؛ به‌ویژه در شرایطی که اطلاعات نهانی مربوط به سهام یا صنایع خاص در اختیار برخی معامله‌گران قرار گیرد، اثر آن بر قیمت واحدهای صندوق نیز نمایان خواهد شد. افشای دوره‌ای اطلاعات مالی و معاملاتی این صندوق‌ها نیز می‌تواند زمینه‌ساز بهره‌برداری اطلاعاتی توسط افراد مطلع باشد. علاوه‌براین، عدم توقف نماد صندوق‌ها در شرایط بحرانی، جذابیت بیشتری برای سرمایه‌گذاری ایجاد می‌کند و احتمال فعالیت‌های معاملاتی آگاهانه را افزایش می‌دهد. بنابراین، شناسایی و اندازه‌گیری معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی بالایی، به‌ویژه در بازارهایی با ساختار پیچیده مانند صندوق‌های قابل معامله در بورس (ETF)، اهمیت بسیاری دارد.

یکی از مدل‌های مطرح برای سنجش احتمال حضور معامله‌گران دارای اطلاعات نهانی در بازار، مدل PIN[5] است.

1. Fama
2. Grossman and Stiglitz
3. Easley and O'Hara
4. Exchange Tradable Fund (ETF)
5. Probability of Informed Trading

این مدل که یک شاخص در اقتصاد مالی و نشان‌دهندهٔ میزان عدم تقارن اطلاعاتی در فرایند معاملات است، اولین بار در سال ۱۹۹۲، توسط ایزلی و اُهارا مطرح شد. این مقاله پایه‌گذار بسیاری از مطالعات بعدی در حوزهٔ معاملات آگاهانه و عدم تقارن اطلاعاتی شد. طی سال‌های بعد، ایرادهای مدل مطرح و راه‌کارهایی برای آن ارائه شد. یکی از تعدیلات با اهمیت توسط خود ایزلی در سال ۲۰۱۱ انجام شد که علاوه‌بر سرعت و دقت بیشتر، به تخمین پارامترهای مجهول مدل PIN نیاز کمتری دارد و ضمن برخورداری از خاصیت حجم‌محور، قابلیت به‌روزرسانی پیوسته را نیز دارد. مدل VPIN[1] با رفع ضعف اصلی مدل اولیه که حجم معاملات را نادیده می‌گرفت، امکان ارزیابی دقیق‌تری از احتمال وقوع معاملات آگاهانه را فراهم می‌آورد. در واقع، ویژگی حجم‌محور بودن این مدل، به‌ویژه در معاملات صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس تهران که با نوسان‌های حجمی شایان توجه همراه است، موجب دقت بیشتر در برآورد احتمال معاملات آگاهانه نسبت به مدل سنتی PIN می‌شود.

با وجود اهمیت موضوع، تحقیق حاضر با هدف برآورد و تحلیل شاخص VPIN در ۹۲ صندوق سهامی ETF، از ابتدای فروردین ۱۳۹۸ تا انتهای اسفند ۱۴۰۳ طراحی شده است. انتخاب مدل VPIN در این پژوهش، نه‌تنها به‌دلیل رفع ضعف‌های PIN، بلکه به‌طور خاص به‌دلیل تناسب آن با ساختار حجمی بازار ایران صورت گرفته است. از این رو، مقالهٔ حاضر به‌دنبال پاسخ به این سؤال‌هاست که آیا معاملات صندوق‌های سهامی، با اطلاعات نهانی همراه است؟ آیا روشی برای تخمین آن وجود دارد؟ این احتمال به چه میزان در طیفی از صندوق‌ها وجود دارد؟ برای این منظور، از یکی از مدل ریزساختار بازار (VPIN) استفاده شده تا الگوهای معاملاتی آگاهانه شناسایی و تحلیل شوند.

نتایج این مقاله می‌تواند به نهادهای ناظر در تدوین سیاست‌های افزایش شفافیت و کاهش ریسک اطلاعاتی کمک کند و همچنین ابزار تحلیلی مناسبی برای سرمایه‌گذاران در مدیریت ریسک و شناسایی فرصت‌های معاملاتی فراهم آورد.

مقاله در پنج بخش ساختاربندی شده است: پس از مقدمه، در ادامه به مرور ادبیات پرداخته می‌شود. در بخش روش‌شناسی، مدل تعدیل‌شده PIN تشریح شده است. بخش چهارم، به اجرای مدل و تحلیل نتایج اختصاص دارد و در نهایت، نتیجه‌گیری ارائه خواهد شد.

پیشینهٔ پژوهش

ادبیات تحقیق در حوزه معاملات نهانی (آگاهانه) و اثر اطلاعات نامتقارن بر قیمت‌گذاری دارایی‌ها در سه دهه اخیر، روندی تکاملی را پشت سر گذاشته است: از چارچوب‌های نظری، به مدل‌های سنجش کمّی و سپس به ابزارهای پویای شناسایی لحظه‌ای انجامید. این پیشینه را می‌توان در سه حوزه مفهومی دنبال کرد.

1. Volume-synchronized Probability of Informed Trading

الف. بنیان‌های نظری: از ریسک اطلاعاتی تا نقدشوندگی

اهمیت معاملات نهانی برای اولین‌بار در چارچوب ریزساختار بازار مورد توجه قرار گرفت. آمیهود و مندلسون[1] (۱۹۸۶) نشان دادند که اسپرد عرضه و تقاضا، تنها یک هزینه معاملاتی نیست، بلکه بخشی از آن بازتابی از ریسک اطلاعاتی، یعنی احتمال مواجهه نهادهای مالی با معامله‌گران آگاه است. این دیدگاه، مبنایی برای درک این بود که چرا بازارهایی با عدم تقارن اطلاعاتی بالا، نقدینگی کمتر و هزینه‌های سرمایهٔ بیشتری دارند. ایزلی، هویدکیار و اُهارا[2] (۲۰۰۲) این چارچوب را گسترش دادند و پیوند میان جریان اطلاعات و ساختار سفارش‌ها را رسمی‌تر کردند؛ جایی که تفاوت بین معاملات ناشی از «اطلاعات نهانی» و معاملات ناشی از «نیازهای نقدینگی»، برای اولین‌بار به‌صورت مجزا، قابل تفکیک شد. این تفکیک، مقدمه‌ای حیاتی برای پیدایش معیارهای سنجش اختصاصی شد.

ب. پیدایش و تحول مدل‌های سنجش: از PIN تا VPIN

ایزلی و اُهارا (۱۹۹۲) با مطالعه «قیمت، اندازه معامله و اطلاعات»، اولین شاخص کمّیِ احتمال معامله نهانی (PIN) را معرفی کردند. این مدل با فرض ثابت‌بودن نرخ ورود سفارش‌ها در یک دورهٔ زمانی، توانست ریسک اطلاعاتی را به‌صورت تجربی قابل سنجش کند. با این حال، سه محدودیت اساسی به‌سرعت آشکار شد: ۱. غیرواقع‌بینانه‌بودن فرض ثبات زمانی در بازارهای پویا؛ ۲. وابستگی شدید به طبقه‌بندی صحیح جهت معاملات (خرید/فروش)؛ ۳. عدم توانایی در رصد شوک‌های ناگهانی (مانند اطلاعیه‌های شرکتی).

بوهمر، گرامینگ و تایسن[3] (۲۰۰۷) با اشاره به محدودیت دوم، نشان دادند که در حضور طبقه‌بندی نادرست، PIN سوگیری رو به پایین دارد؛ یافته‌ای که اعتبار تفسیر آن را در بازارهایی با داده ناقص زیر سؤال برد. هم‌زمان، ایزلی، انگل، اُهارا و وو[4] (۲۰۰۸) با مطالعه تغییرات PIN حول اعلام سود، شواهد تجربی بر پویاییِ ذاتی این شاخص ارائه دادند. PIN پیش از اعلام سود، افزایش و پس از آن کاهش می‌یافت؛ یافته‌ای که اعتبار مفهومی PIN را تأیید؛ اما محدودیت اول را تشدید می‌کرد. در پاسخ به این چالش‌ها، مدل VPIN (احتمال حجمی معامله نهانی) معرفی شد. کاریامپاس و پایاردینی[5] (۲۰۱۱) با به‌کارگیری آن روی ETF شاخص اس‌اندپی ۵۰۰، نشان دادند که با جایگزینی بُعد زمان با حجم معاملات، می‌تواند ضمن اجتناب از فرض ثبات، به‌راحت‌ترین شکل ممکن نیز با داده‌های معمولی (بدون نیاز به سفارش‌کتاب) کار کرد. این مزیت، VPIN را به ابزاری مناسب برای بازارهایی با محدودیت داده‌ای تبدیل کرد؛ به‌طوری که پس از آن، ده‌ها مطالعه (کورسی[6]، ۲۰۰۹؛ ایزلی، لوپز دی پرادو و اُهارا[7]، ۲۰۱۱؛ وانگ و هوانگ[8]، ۲۰۱۲؛ هوانگ، لی، لیم و پارک[9]،

1. Amihud & Mendelson
2. Easley, Hvidkjaer & O'hara
3. Boehmer, Gramming & Theissen
4. Easley, Engle, O'hara & Wu
5. Karyampas & Paiardini
6. Corsi
7. Easley, López de Prado & O'hara
8. Wang & Huang
9. Hwang, Lee, Lim & Park

۲۰۱۳؛ طالبلو، شاکری و رحمانیانی، ۱۳۹۷؛ بامباده[1]، ۲۰۱۹؛ دوارت، هو و یانگ[2]، ۲۰۲۰؛ ون، جیا و هائو[3]، ۲۰۲۰؛ گریفین، گریفین، اُبروی و اُدورو[4]، ۲۰۲۱؛ لاف و ون بامل[5]، ۲۰۲۳) به‌طور هماهنگ بر تعدیل و بهبود آن تمرکز کردند.

ج. عوامل مؤثر و یافته‌های تجربی در بازار ایران

هم‌زمان، پژوهشگران به‌دنبال شناسایی عواملی بودند که احتمال یا شدت معاملات نهانی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. آدماتتی و فلیدر[6] (۱۹۸۸) و فاستر و ویسواناتان[7] (۱۹۹۴) نشان دادند که معامله‌گران آگاه الگوهای رفتاری استراتژیک دارند. چان و فانگ[8] (۲۰۰۰) تأکید کردند که اندازه معامله مهم‌تر از تعداد معاملات است. چای[9] (۲۰۰۵) و آکباس[10] (۲۰۱۵) تأیید کردند که حجم معاملات پیش از اطلاعیه‌های مهم، افزایش می‌یابد (نشانه‌ای از نشت اطلاعات).

در بازار سرمایهٔ ایران نیز تحقیقات متعددی به بررسی پدیده عدم تقارن اطلاعاتی پرداخته‌اند که در مجموع، وجود و تأثیرگذاری معاملات نهانی را در بورس اوراق بهادار تهران تأیید می‌کنند. راعی، محمدی و عیوضلو (۱۳۹۲) با بهره‌گیری از مدل PIN در چارچوب ریزساختار بازار، نشان دادند که میانگین احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات خصوصی در نمونه مورد مطالعه، به‌طور آماری معنادار و متفاوت از صفر است. همچنین، نتایج پژوهش دیگری از آن‌ها در بورس تهران نشان داد که احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات خصوصی، علاوه‌بر داشتن توان توضیح‌دهندگی برای بازده سهام، با اندازه شرکت نیز رابطهٔ منفی و معناداری دارد؛ به‌طوری که افزایش ۱۰درصدی این شاخص با حدود ۲/۸ درصد افزایش در بازده همراه است. یافته‌های راعی، عیوضلو و عباس‌زاده‌اصل (۱۳۹۷) و طالبلو و همکاران (۱۳۹۷) نیز تأکید می‌کند که این ریسک اطلاعاتی، تنها مختص سهام کوچک نیست و حتی در شرکت‌های بزرگ نیز قابل‌رصد است. همچنین، کردی تمندانی، زمانیان و هاتفی مجومرد (۱۳۹۷) در مطالعاتی مستقل، با محاسبه شاخص PIN برای شرکت‌های بورسی، تفاوت معناداری را در سطح ریسک عدم تقارن اطلاعاتی بین صنایع مختلف مشاهده کردند. از سوی دیگر، عیوضلو، راعی و محمدی (۱۳۹۱) با تمرکز بر اثرهای تقویمی، نشان دادند که احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات خصوصی در بورس تهران در ماه‌های مختلف سال رفتاری نامتقارن دارد؛ به‌طوری که این شاخص در دی‌ماه افزایش و در اسفندماه کاهش می‌یابد؛ همچنین یافته‌های آنان بر روند نزولی PIN در بازهٔ زمانی ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ دلالت دارد.

از سوی دیگر، توسکی، جانانی و همت‌فر[11] (۲۰۲۰) رابطهٔ مثبت و معناداری میان احتمال معامله آگاهانه و هزینه سرمایه (هم میانگین موزون و هم هزینه حقوق صاحبان سهام) گزارش کردند. همچنین دوستیان و توسکی[12] (۲۰۲۰)

1. Bambade
2. Duarte, Hu & Young
3. Wen, Jia & Hao
4. Griffin, Oberoi & Oduro
5. Lof, M. & Van Bommel
6. Admati & Pfleiderer
7. Foster & Viswanathan
8. Chan & Fong
9. Chae
10. Akbas
11. Touski, Janani & Hemmatfar
12. Doostian & Touski

تأثیر مثبت معنادار PIN بر معیارهایی مانند نسبت گردش مالی و شاخص عدم نقدشوندگی آمیهود را تأیید کردند. در مقابل، رضایی، مهرآرا و سوری (۱۳۹۹) نشان دادند که افزایش سطح افشای اطلاعات، به کاهش معنادار PIN در بازه زمانی سه‌روزه پس از افشا منجر می‌شود؛ یافته‌ای که با فرضیهٔ کاهش ریسک اطلاعاتی در پی شفاف‌سازی شرکت‌ها هم‌سو است.

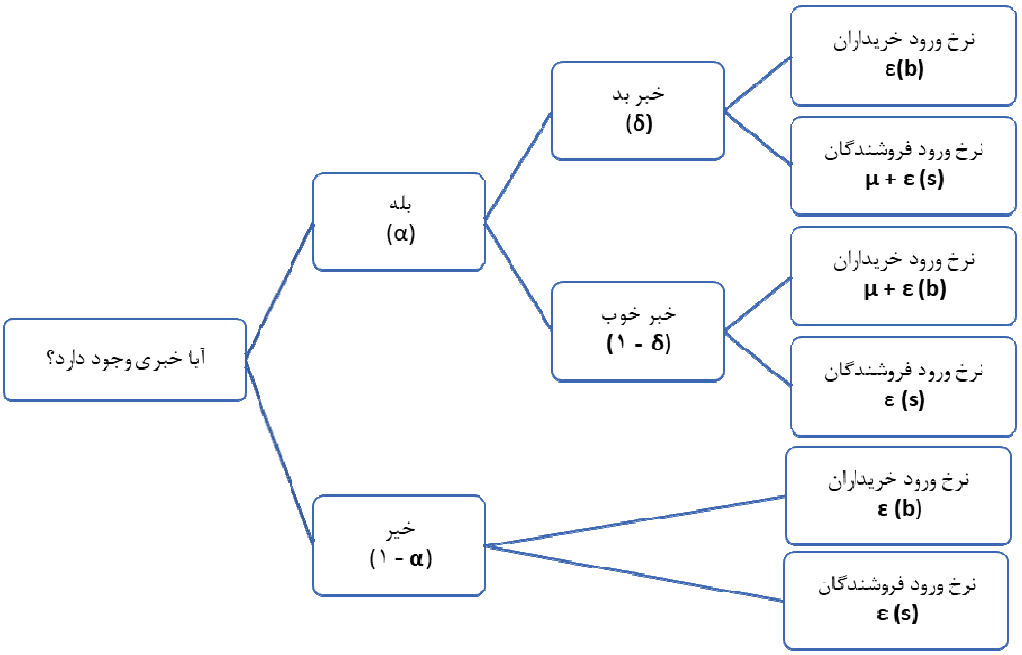
با وجود این، محدودیت مشترک مطالعات یادشده، تمرکز صرف بر دارایی‌های پایه، یعنی سهام شرکت‌های پذیرفته‌شده در بورس است. این در حالی است که صندوق‌های قابل معامله در بورس (ETFها) از ویژگی‌های ساختاریِ متمایزی برخوردارند که می‌تواند سازوکار نفوذ اطلاعات نهانی را دگرگون سازد؛ از جمله: ۱. ماهیت دوگانه قیمت‌گذاری (وابستگی قیمت ثانویه به ارزش دارایی خالص در بازار اولیه)؛ ۲. حضور بازارسازان اختصاصی و نقش آنان در تأمین نقدشوندگی؛ ۳. حساسیت زیاد قیمت به شوک‌های اطلاعاتی مرتبط با بازار. در چنین بستری، فرضِ همسانیِ رفتار اطلاعاتیِ سرمایه‌گذاران در بازار سهام و بازار ETF بدون شواهد تجربی فراتر از حد قابل‌قبولِ تعمیم‌پذیری است. بررسی جامع ادبیات تخصصی نشان می‌دهد که تاکنون پژوهشی داخلی، مدل VPIN را به‌منظور سنجش احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات نهانی در ETFهای سهامی در بازار سرمایه ایران مورد آزمون تجربی قرار نداده است. این تحقیق با بهره‌گیری از داده‌های ریزساختار معاملاتی و استفاده از الگوریتم حجم‌محور در چارچوب مدل VPIN، برای نخستین‌بار احتمال معاملات آگاهانه را در ابزار مالی خاصی چون ETFهای بورس تهران سنجیده است. این نوآوری نه تنها ابزاری بومی‌سازی‌شده برای تحلیل ریسک اطلاعاتی فراهم می‌آورد، بلکه با لحاظ کردن حجم معاملات به‌جای زمان، سطح دقت و تطبیق‌پذیری مدل را ارتقا بخشیده است.

روش‌شناسی پژوهش

همان طور که بیان شد، هدف اصلی در این مقاله تخمین احتمال انجام معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی در صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس تهران است که بدین منظور، این احتمال برای ۹۲ صندوق مذکور که در حال حاضر دادوستد می‌شوند، اندازه‌گیری خواهد شد. داده‌های این پژوهش از سطح معاملات واقعی استخراج شده‌اند. به‌طور مشخص، ریز معاملات درون‌روزی صندوق‌های سهامی، طی دوره شش‌ساله (ابتدای فروردین ۱۳۹۸ تا انتهای اسفند ۱۴۰۳) استفاده شده است. در این مطالعه، فقط معاملات انجام‌شده بررسی شده‌اند و سفارش‌های معوق، صف‌های خرید و فروش و داده‌های عمق بازار در نظر گرفته نشده‌اند. علاوه‌بر اینکه چه در مدل PIN و چه در مدل توسعه یافتهٔ آن، یعنی VPIN ریز معاملات انجام شده مورد تحلیل قرار می‌گیرند. دلیل تمرکز بر معاملات در مقابل سفارش‌های بازار، آن است که سفارش‌ها می‌توانند تحت تأثیر عوامل غیر واقعی، مانند سفارش‌های صوری یا محدودیت‌های نقدینگی قرار گیرند، در حالی‌که معامله انجام‌شده بیانگر تصمیم قطعی خریدار یا فروشنده بر اساس اطلاعات نهانی در دسترس است. تحقیقات متعددی در خصوص بحث عدم تقارن اطلاعاتی و معاملات آگاهانه صورت پذیرفته است که در چارچوب ریزساختارهای بازار، می‌توان به معیار PIN اشاره کرد؛ معیاری که اولین بار توسط ایزلی و اُهارا در سال ۱۹۹۲ مطرح شد. از نظر آنان

مقادیر PIN که بین صفر و یک قرار می‌گیرد، بیانگر انجام معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی است و هر چه این معیار بالاتر باشد، ریسک مربوطه افزایش خواهد یافت. مدل پین به‌عنوان مدل پایه، احتمال معاملات آگاهانه را با توجه به رخدادهای اطلاعاتی مثبت و منفی محاسبه می‌کند و سپس با تعدیل آن، مدل VPIN معرفی می‌شود. از آنجا که مدل مورد استفاده در این پژوهش، مدل VPIN است، بعد از مرور کلی مدل پایه PIN به بررسی مدل VPIN می‌پردازیم.

در این مدل، α بیانگر احتمال وقوع رخداد اطلاعاتی، δ بیانگر احتمال وقوع رخداد اطلاعاتی بد (احتمال خبر منفی) و $1-\delta$ نیز بیانگر احتمال وقوع رخداد اطلاعاتی خوب (احتمال خبر مثبت) در یک روز معاملاتی است. همچنین، اگر در یک روز هیچ اطلاعات نهانی‌ای برای یک صندوق وجود نداشته باشد، تنها معامله‌گران عادی که بر اساس شرایط بنیادی و تکنیکال و فارغ از اخبار نهانی معامله می‌کنند، در آن روز به دادوستد این صندوق اقدام خواهند کرد. تحت چنین مفروضاتی، نرخ ورود معامله‌گران ناآگاه، چه در سمت خرید و چه در سمت فروش، از یک توزیع پوآسون مستقل با احتمال ε پیروی خواهد کرد. به‌طور خلاصه، احتمالات مختلف طی یک روز به‌صورت زیر خواهد بود:



شکل ۱. درخت احتمال معاملات

(ایزلی و اُهارا، ۲۰۰۲)

در ادامه، از اثبات فرمول احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی عبور و نتیجه فرمول را مطرح می‌کنیم.

رابطه ۱) $$PIN_{(t)} = \frac{\alpha\mu}{\alpha\mu + 2\varepsilon}$$

در این فرمول، $\alpha\mu$ برابر با نرخ ورود سفارش‌های آگاهانه و 2ε نیز برابر با نرخ ورود سفارش‌های عادی و در نتیجه $\alpha\mu + 2\varepsilon$ برابر با نرخ ورود کلیه سفارش‌ها خواهد بود. بنابراین PIN وابسته به نرخ ورود معامله گران آگاه و ناآگاه و

احتمال وقوع رویداد اطلاعاتی است. برای مرور بیشتر، فرض کنید هیچ رخداد اطلاعاتی‌ای نداشته باشیم، در نتیجه نرخ ورود معامله‌گران مطلع برابر با صفر خواهد بود و در نتیجه پین برابر صفر می‌شود. یا اگر تمامی معاملات در لحظه t مبتنی بر اطلاعات نهانی باشد، سبب می‌شود که ε برابر صفر شود و در نتیجه پین برابر با یک یا همان ۱۰۰درصد می‌شود.

توضیحات فوق مربوط به مدل PIN بود که پایهٔ روش VPIN در این مقاله است. اما می‌دانیم که با گسترش سیستم‌های معاملاتی و افزایش چشمگیر فعالان بازار و حجم معاملات، نیاز به مدل‌هایی بهینه تر با سرعت بیشتر با هدف شناسایی و اندازه گیری عوامل اطلاعاتی مؤثر بر قیمت داراییها دیده می‌شود. در همین راستا، ایزلی به تعدیل مدل ساده پین اقدام کرد و مدل VPIN را پیشنهاد داد. در واقع ایزلی و همکارانش، در سال ۲۰۱۱، به‌دنبال مدلی مبتنی بر اطلاعات حجم‌محور در بحث ریسک اطلاعاتی بودند و با الهام از مدل سادهٔ پین، مدل تعدیل شده‌ای با عنوان VPIN را ابداع کردند که با استفاده از حجم معاملات، به تعیین احتمال حضور معامله‌گران آگاه بپردازد. در تحقیقات انجام شده توسط ایزلی و همکارانش، یک مدل عمومی خودرگرسیو برای تخمین نرخ ورود معامله‌گران مطلع و نامطلع به بازار توسعه داده شد. در اینجا نیز، از اثبات فرمول پین تعدیل شده خودداری و فرمول نهایی ارائه شده است[1].

رابطه ۲) $$VPIN = \frac{\sum_{t=1}^{n}|v^s - v^B|}{nV}$$

مدل VPIN نسبت به مدل PIN از چندین مزیت کلیدی شامل سرعت و دقت بالاتر، نیاز کمتر به تخمین پارامترهای مجهول، بازه محور بودن (بازه حجمی و نه زمانی) و قابلیت به‌روزرسانی پیوسته برخوردار است. برای محاسبه شاخص VPIN، ابتدا بازه‌های حجمی مشخصی انتخاب می‌شوند. سپس در هر بازه حجمی، تفاوت بین حجم خرید و فروش محاسبه شده و احتمال وجود معامله‌گران مطلع برآورد می‌شود. در مدل VPIN متغیرهای مورد توجه به شرح ذیل است.

تعیین بازه زمانی مورد نظر: با توجه به ادبیات موضوع و تحقیقات انجام شدهٔ ایزلی و همکاران (۲۰۰۸)، بازه زمانی ۶۰ ثانیه‌ای را به‌عنوان مبنا در نظر می‌گیریم (ایزلی و همکاران، ۲۰۰۸). در این روش، حجم کل معاملات انجام شده در یک بازه یک‌دقیقه‌ای جمع‌آوری و قیمت معامله نهایی نیز معادل آخرین قیمت معاملاتی آن بازه در نظر گرفته می‌شود.

تعیین اندازه بسته حجمی: پس از تجمیع معاملات در بازه‌های زمانی مشخص، مرحله بعدی در فرایند محاسبه VPIN، تعیین حجم ثابت هر بسته معاملاتی (که آن را با V نشان می‌دهند) است. این پارامتر نقش کلیدی در نحوه گروه‌بندی داده‌ها برای محاسبه احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات ایفا می‌کند. براساس رویکرد پیشنهادی ایزلی و همکاران (۲۰۰۸)، مقدار V یک متغیر ثابت است که بر اساس شرایط بازار و هدف تحقیق تعیین می‌شود. در این مدل، معاملات جمع‌آوری شده در بازه‌های زمانی (مثلاً یک دقیقه‌ای)، به‌طور متوالی، درون بسته‌های حجمی قرار می‌گیرند تا زمانی که مجموع حجم معاملات در هر بسته به مقدار V برسد (ایزلی و همکاران، ۲۰۰۸). در صورتی که حجم معاملات

1. An improved version of the Volume-Synchronized Probability of Informed

یک بازه زمانی از مقدار V بیشتر باشد، تنها بخشی از آن که برای تکمیل بسته مورد نیاز است، در نظر گرفته می‌شود و حجم باقی‌مانده، به بسته بعدی منتقل می‌شود. این روش اطمینان حاصل می‌کند که هر بسته حجمی دقیقاً شامل V واحد حجم معامله است. بر اساس سوابق موجود در ادبیات موضوع، اکثر تحقیقات از مقدار پیشنهادی ایزلی برای V استفاده کرده‌اند که همان یک پنجاهم میانگین حجم ماهانه است. ما نیز در این مقاله با توجه به تحقیقات و ادبیات موضوع همین مبنای بسته حجمی را در نظر می‌گیریم.

تقسیم‌بندی حجم معاملات به حجم خرید و فروش: در محاسبه شاخص VPIN، تقسیم‌بندی معاملات به خرید و فروش ضروری است و از الگوریتم‌هایی مانند Lee و Ready، Tick Test، Block و Mazumdar & Sengupta استفاده می‌شود. هر روش بر اساس فرضیه‌های متفاوت عمل می‌کند و نتایج عددی متفاوتی دارد؛ اما همه معتبرند و برای شناسایی معامله‌گران آگاه کاربرد دارند. الگوریتم Tick Test به‌دلیل سادگی، کارایی زیاد، عدم نیاز به داده‌های عمق بازار و مقاومت در برابر نویز، گزینه مناسبی برای استفاده در پژوهش‌های مختلف است و در این مقاله نیز به کار گرفته می‌شود.

محاسبه تفاوت حجم خرید و فروش در هر بسته[1]: هر بسته حجمی[2] شامل چند بازه زمانی کوتاه (معمولاً یک‌دقیقه‌ای) است که حجم معاملات در آن با استفاده از الگوریتم‌های تشخیص جهت معامله به خرید و فروش تفکیک می‌شود. هدف، جمع‌آوری جداگانه حجم خرید و فروش و محاسبه اختلاف آن‌هاست. این تفاوت حجمی که از کسر حجم فروش از خرید به‌دست می‌آید، برای محاسبه شاخص VPIN استفاده می‌شود و بیانگر عدم تعادل در جریان سفارش‌هاست. افزایش این عدم تعادل، می‌تواند نشانه فعالیت بیشتر معامله‌گران آگاه باشد (ایزلی و همکاران، ۲۰۰۸). رابطهٔ محاسبهٔ تفاوت حجم خرید ـ فروش[3] در هر بسته حجمی به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$OI_V = \sum_{i=\overset{t}{V}b_1}^{tb_n} V_i^B - \sum_{i=\overset{t}{V}b_1}^{tb_m} V_j^S \qquad \text{رابطهٔ ۳)}$$

که در آن، V_i^B حجم خرید در بازه زمانی iام؛ V_j^S حجم فروش در بازه زمانی jام و m و n تعداد بازه‌های زمانی لازم برای تکمیل بسته حجمی است. این معیار به‌عنوان ورودی اصلی در محاسبه VPIN استفاده می‌شود و در شناسایی روزهای با احتمال بالای وجود اطلاعات نامتقارن در بازار نقش مهمی ایفا می‌کند.

تعیین تعداد نمونه‌های مورد استفاده: در فرایند محاسبه شاخص VPIN، علاوه‌بر تعیین اندازهٔ هر بسته حجمی، تعیین تعداد بسته‌های حجمی (که معادل با اندازه نمونه است) نیز نقش کلیدی ایفا می‌کند. این پارامتر به تعداد بسته‌های حجمی که برای محاسبه VPIN در یک دوره زمانی مشخص استفاده می‌شوند، اشاره دارد. به‌عنوان مثال، اگر اندازه هر بسته حجمی برابر با یک‌پنجاهم میانگین روزانه حجم معاملات قرار داده شود و همچنین تعداد بسته‌ها (اندازه نمونه) برابر

1. Order Imbalance
2. Volume Bucket
3. Buy-Sell Volume Difference

با ۵۰ در نظر گرفته شود، در مجموع معادل یک دوره روزانه خواهد بود. به‌طور مشابه، در صورتی که تعداد بسته‌ها به ۲۵۰ عدد افزایش یابد، محاسبه VPIN معادل یک دوره زمانی هفتگی خواهد بود.

محاسبه نهایی VPIN به‌عنوان معیاری از احتمال وجود معامله‌گران آگاه: در مرحله بعد، اولین مقدار VPIN با استفاده از n بسته حجمی اول محاسبه می‌شود. با افزایش تعداد معاملات و تکمیل بسته حجمی n + ۱، بسته اول از محاسبه حذف و مقدار VPIN با استفاده از بسته‌های دوم تا n + ۱ دوباره محاسبه می‌شود. این رویکرد متحرک ادامه می‌یابد تا تمامی بسته‌های حجمی در محاسبه شرکت کنند. در طول این فرایند، شاخص VPIN به‌طور مداوم به‌روزرسانی می‌شود و در پایان دورهٔ مطالعه، می‌توان میانگین تمام مقادیر VPIN به‌دست‌آمده را به‌عنوان معیاری از احتمال وجود معامله‌گران مطلع در بازار در نظر گرفت. این روش اجازه می‌دهد تا تغییرات زمانی این احتمال به‌خوبی شناسایی شود.

رابطه ۴)
$$VPIN_{\tau=1}^{n} = \frac{\sum_{\tau=1}^{n} OI}{n.V} = \frac{\sum_{\tau=1}^{n} \left[\left|\sum_{i=tb_1}^{tb_n} V_i^B - \sum_{i=tb_1}^{tb_n} V_i^S\right|\right]}{n.V}$$

الگوی مناسب برای تشخیص جنس معامله

در طول سال‌های اخیر، الگوریتم‌های متعددی برای تفکیک معاملات به دو دسته خرید و فروش توسعه داده شده‌اند. این روش‌ها شامل الگوریتم‌هایی نظیر جست[1]، مبتنی بر فرضیه[2]، لی ـ ردی[3] و حجم بسته[4] هستند. در بخش قبلی، مروری کوتاه روی عملکرد هر یک انجام شد. به‌دلیل عدم دسترسی به داده‌های مربوط به سوابق سفارش‌های روزانه در طول دوره شش‌سالهٔ مطالعه، استفاده از روش‌های مبتنی بر فرضیه و لی ـ ردی میسر نبود. همچنین الگوریتم بسته حجمی مزایای بیشتری نسبت به الگوریتم جست دارد. علاوه‌بر دقت بیشتر در شرایط پویای بازار، مقاومت در برابر نویز قیمتی و توانایی در استفاده از اطلاعات حجمی به‌جای تنها قیمت، عدم قابلیت اطمینان الگوریتم جست[5] در شرایط واقعی بازارهای مالی با نوسان‌های شدید قیمتی، باعث شد تا در این مقاله، از الگوریتم بستهٔ حجمی بهره ببریم. در این مقاله تنها از الگوریتم‌های حجم بسته برای دسته‌بندی معاملات استفاده شد؛ زیرا الگوریتم BVC بر اساس حجم ثابت محاسبه می‌شود و VPIN نیز دقیقاً حجم‌محور است و از طرفی یکسان بودن سبدهای حجمی آن‌ها را مقایسه‌پذیر می‌کند؛ در حالی‌که الگوریتم دیگری چون جست (روشی برای تخمین جهت معاملات)، فقط به تغییرات قیمت وابسته است (نه حجم) و به‌علت وجود معاملات با قیمت ثابت، دچار تساوی پر تکرار شده و قیمت محور بودن آن نیز باعث می‌شود نتیجه با تعریف اصلی VPIN هم‌خوانی نداشته باشد.

1. Buy-Sell Volume Difference
2. Imbalance-Based
3. Lee–Ready
4. Volume-Based Classification
5. Tick Rule

الگوریتم حجم بسته (BVC)[1] یکی از روش‌های نسبتاً جدید در تقسیم‌بندی معاملات است که توسط ایزلی و همکاران (۲۰۱۲) معرفی شده است[2]. در این روش، معاملات در بازه‌های زمانی کوچک، مانند یک دقیقه‌ای گروه‌بندی می‌شوند و سپس با توجه به تغییرات قیمت و توزیع آماری آن‌ها از قبیل توزیع نرمال، معاملات به خرید و فروش تقسیم می‌شوند. در نهایت، حجم خریدوفروش در هر بازهٔ زمانی با استفاده از توزیع‌های آماری نظیر توزیع نرمال تعیین می‌شود. در حالت استفاده از توزیع نرمال، از مقدار تجمعی استاندارد Z استفاده می‌شود که در جداول مخصوصی آورده شده است. این روش، به‌ویژه در شرایطی که حجم معاملات بسیار زیاد است، به‌عنوان روشی کارآمد و سریع مطرح می‌شود. ایزلی و همکاران در نهایت الگوریتم را به شرح ذیل معرفی می‌کنند.

$$V_i^B = V_{i*} z\left(\frac{P_i - P_{i-1}}{\sigma_{dP}}\right)$$ رابطه ۵)

$$V_i^S = V_{i*}(1 - z\left(\frac{P_i - P_{i-1}}{\sigma_{dP}}\right)$$ رابطه ۶)

در ادامه، احتمال خرید یا فروش در هر بازه با توجه به این توزیع‌ها محاسبه شده و درنهایت، تفاوت بین حجم خرید و فروش برای هر بسته تعیین و احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات نهانی حجم‌محور محاسبه می‌شود.

شایان ذکر است که به‌منظور بررسی معناداری تفاوت‌های شاخص VPIN میان صندوق‌های بزرگ، متوسط و کوچک، علاوه‌بر گزارش میانگین‌ها، از آزمون‌های آماری نیز استفاده خواهد شد.

یافته‌های پژوهش

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش، بیش از یک میلیون رکورد معاملاتی درون‌روزی از نماد «اطلس» در بازهٔ زمانی ابتدای سال ۱۳۹۸ تا انتهای سال ۱۴۰۳ در بازار سرمایهٔ ایران است. شایان ذکر است که داده‌های مورد استفاده، داده‌های معاملاتی درون‌روزی برای هر نماد است و از سفارش‌های معوق، سفارش‌های در صف خریدوفروش یا داده‌های عمق بازار در این روش استفاده نمی‌شود. بنابراین هر رکورد، بیانگر یک معاملهٔ مستقل است و اطلاعاتی نظیر زمان انجام معامله، قیمت، حجم و ارزش آن را شامل می‌شود. بررسی آماری این داده‌ها با استفاده از آزمون سنجش نرمال بودن[3] داده‌ها، نشان‌دهندهٔ تنوع و پراکندگی قابل توجه در رفتار معاملاتی این نماد است که می‌تواند مبنای مناسبی برای تحلیل ساختار اطلاعاتی بازار باشد.

میانگین قیمت معاملات برابر با ۲۲۹,۳۹۸ ریال و دامنهٔ نوسان قیمت از حداقل ۱۲,۶۰۰ ریال تا حداکثر ۵۰۲,۸۹۹ ریال متغیر است. این گسترهٔ قیمتی، همراه با انحراف معیار بالا (۱۳۷,۰۳۲ ریال)، نشان‌دهندهٔ نوسان‌های شایان توجه در قیمت‌هاست که می‌تواند از واکنش سریع بازار به اطلاعات جدید نشئت گرفته باشد. همچنین مقدار چولگی نزدیک به

1. Bulk Volume Classification
2. Bulk classification of trading activity
3. Normality Test

صفر، نشان‌دهندهٔ توزیعی نسبتاً متقارن است. با این حال، کشیدگی منفی بیانگر توزیعی پهن‌تر و کم‌قله‌تر از توزیع نرمال قیمت‌ها است.

در خصوص حجم معاملات، میانگین حجم برابر با ۱,۳۹۴ واحد در هر معامله و انحراف معیار بسیار بالا (۱۴,۵۳۳ واحد) گویای وجود معاملات با حجم‌های بسیار متفاوت است. حداقل حجم ثبت‌شده برابر با ۱ واحد صندوق و حداکثر آن برابر با ۱,۰۰۰,۰۰۰ واحد است. این پراکندگی در حجم معاملات، نشان‌دهندهٔ حضور هم‌زمان معامله‌گران خرد و کلان در بازار است که می‌تواند در تحلیل فشار اطلاعاتی و نقدشوندگی نقش کلیدی ایفا کند.

با توجه به حجم انبوه داده‌ها، تنوع قیمتی و پراکندگی در حجم معاملات، داده‌های موجود از کفایت آماری لازم برای انجام تحلیل‌های پیشرفته برخوردارند و می‌توانند مبنای مناسبی برای تخمین شاخص VPIN و بررسی ساختار اطلاعاتی بازار در سطح خرد باشند.

در ادامه، مراحل محاسبه شاخص VPIN را برای یک صندوق سهامی قابل معامله در بورس (به‌طور مثال صندوق سرمایه‌گذاری توسعه اطلس مفید با نماد «اطلس») شرح خواهیم داد.

در مرحله نخست، دیتای ریزمعاملات روزانهٔ نماد اطلس را از سایت مدیریت فناوری بورس تهران از روز ۱۳۹۸/۰۱/۰۵ تا ۱۴۰۳/۱۲/۲۸ استخراج می‌کنیم.

جدول ۱. اخذ ریز معاملات روزانه (مرحله یک)

اطلس	date-sh	time	price	volume
۰	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۱۰:۱۷:۰۰	۲۷,۱۰۰	۱۰۰
۱	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۱۰:۱۹:۰۰	۲۷,۰۵۴	۳۰۰
۲	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۱۰:۲۳:۲۱	۲۷,۰۵۴	۳۰
۳	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۱۰:۳۹:۰۸	۲۷,۴۹۷	۱۰۰
۴	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۱۰:۳۹:۰۸	۲۷,۴۹۷	۶۲۷
...	...	...	...	...
۱,۰۸۳,۸۶۷	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۲:۲۹:۳۸	۵۷,۳۸۴	۲,۱۵۱
۱,۰۸۳,۸۶۸	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۲:۲۹:۳۸	۵۷,۳۸۴	۶۷
۱,۰۸۳,۸۶۹	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۲:۲۹:۳۸	۵۷,۳۸۴	۱۰,۰۰۰
۱,۰۸۳,۸۷۰	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۲:۲۹:۳۸	۵۷,۳۸۴	۵,۲۳۰
۱,۰۸۳,۸۷۱	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۲:۲۹:۵۲	۵۷,۴۲۶	۱,۰۰۰

در مرحلهٔ دو، فرمت زمان را به دقیقه تبدیل می‌کنیم. شایان ذکر است که به‌صورت قراردادی، ثانیه صفر در هر دقیقه برای دقیقه قبل در نظر گرفته می‌شود. در مرحلهٔ سوم، حجم معاملات را در هر دقیقه تجمیع و در مرحله چهارم، تغییرات قیمتی را نیز به تفکیک دقیقه محاسبه می‌کنیم.

جدول ۲. تغییرات فرمت زمان، تجمیع حجم به‌صورت دقیقه‌ای و محاسبه تغییرات قیمتی (مرحله دوم تا چهارم)

اطلس	date-sh	price	Modified_ Time	Cumulative_ Volume	delta_p
۰	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۲۷,۱۰۰	۱۰۱۶	۱۰۰	۰
۱	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۲۷,۰۵۴	۱۰۱۸	۳۰۰	-۴۶
۲	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۲۷,۰۵۴	۱۰۲۳	۳۰	۰
۳	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۲۷,۴۹۷	۱۰۳۹	۷۲۷	۴۴۳
۴	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۲۷,۴۴۰	۱۱۰۵	۳۰۰	-۵۷
...	...	...	...	...	...
۲۲۰,۰۰۴	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۵۷,۱۲۰	۱۲۲۵	۸۲,۹۳۵	-۱
۲۲۰,۰۰۵	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۵۷,۳۸۴	۱۲۲۶	۲۶,۹۶۴	۲۶۴
۲۲۰,۰۰۶	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۵۷,۳۸۴	۱۲۲۷	۲,۰۰۱	۰
۲۲۰,۰۰۷	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۵۷,۳۸۴	۱۲۲۸	۶,۸۵۲	۰
۲۲۰,۰۰۸	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۵۷,۴۲۶	۱۲۲۹	۳۴,۶۳۸	۴۲

مرحله پنجم، شامل تعریف «سبد حجمی» است که به مقدار یک پنجاهم میانگین حجم ماهانه صندوق اطلس تعیین شد. با توجه به اینکه میانگین حجم ماهانهٔ این نماد ۸,۰۹۸,۸۴۷ واحد صندوق بود، حجم سبد معادل ۱۶۱,۹۷۷ واحد تعیین شد. در این بخش، داده‌ها به‌گونه‌ای تقسیم‌بندی شدند که هر سبد حجمی با پر شدن کامل توسط معاملات متوالی علامت‌گذاری شود. بدین منظور، متغیر دودویی (۰ یا ۱) برای شناسایی نقاط تکمیل سبد تخصیص داده شد. گفتنی است، چون حجم اطلاعاتی که از ابتدای دوره جمع‌آوری شده بود با حجم سبد اختلاف زیادی داشت، در جدول مربوط به این مرحله، از تایم فریمی دیگر برای نمایش محاسبات استفاده شده است.

جدول ۳. محاسبات حجم تجمیعی تا پر شدن سبد حجمی (مرحله پنجم)

اطلس	date-sh	volume	delta_p	Cumulative_ Volume	Bucket_ End_Flag
۰	۱۳۹۸-۰۱-۰۵	۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
۱	۱۳۹۸-۰۱-۰۵	۳۰۰	۴۶-	۴۰۰	۰
۲	۱۳۹۸-۰۱-۰۵	۳۰	۰	۴۳۰	۰
۳	۱۳۹۸-۰۱-۰۵	۷۲۷	۴۴۳	۱,۱۵۷	۰
۴	۱۳۹۸-۰۱-۰۵	۳۰۰	۵۷-	۱,۴۵۷	۰
۵	۱۳۹۸-۰۱-۰۵	۱۸۶	۳۸۵-	۱,۶۴۳	۰
...	...	...	...	...	...
۱۰۵	۱۳۹۸-۰۱-۱۸	۱,۰۰۰	۹۹	۱۵۶,۱۶۷	۰
۱۰۶	۱۳۹۸-۰۱-۱۸	۵,۳۵۰	۱	۱۶۱,۵۱۷	۰
۱۰۷	**۱۳۹۸-۰۱-۱۸**	**٤٦٠**	**۰**	**۱٦۱,۹۷۷**	**۱**
۱۰۸	۱۳۹۸-۰۱-۱۸	۳۹۰	۰	۳۹۰	۰
۱۰۹	۱۳۹۸-۰۱-۱۸	۱,۰۰۰	۰	۱,۳۹۰	۰
۱۱۰	۱۳۹۸-۰۱-۱۸	۱۰۰	۲۱-	۱,۴۹۰	۰
...	...	...	...	...	...

در گام ششم، برای ارزیابی پراکندگی قیمت با لحاظ وزن معاملات، شاخص «واریانس وزن‌دار» محاسبه شد. بدین ترتیب، برای هر دقیقه، مربع اختلاف قیمت از میانگین با نسبت حجم معامله آن دقیقه به کل حجم معاملات ضرب شده است. چنین رویکردی در تحلیل بازارهای مالی، به شناسایی نوسان‌های معنادار و پرحجم کمک می‌کند و درک عمیق‌تری از ساختار پویای معاملات ارائه می‌دهد. در گام هفتم، چون مقدار p-value برای تغییرات قیمت، بزرگ‌تر از ۰/۰۵ است، شواهد کافی برای رد فرض نرمال بودن ندارد و داده‌ها رفتار نرمال دارند. در نتیجه با استفاده از تابع توزیع نرمال، احتمال خریدوفروش برای هر معامله محاسبه شده است. سپس حجم هر معامله بر اساس این احتمال، تفکیک شد تا حجم‌های تخمینی خریدوفروش به‌دست آید. این تحلیل نشان می‌دهد که با توجه به نوسان‌های قیمت و حجم، کدام معاملات احتمال خرید یا فروش داشته‌اند.

جدول ٤. محاسبه واریانس وزن‌دار و محاسبه احتمال نوع و حجم هر معامله در سمت خرید یا فروش با استفاده از تابع توزیع نرمال (مرحله ششم و هفتم)

اطلس	date-sh	volume	Cumulative_ Volume	W-d(p)	z_buy	z_sell	buy_vol	sell_vol
۰	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۱۰۰	۱۰۰	۰/۰۰۰۰۰۰	٪۵۰	٪۵۰	۵۰/۰۰	۵۰/۰۰
۱	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۳۰۰	۴۰۰	۰/۰۰۰۳۹۶	٪۴۸/۹۲	٪۵۱/۰۸	۱۴۶/۷۶	۱۵۳/۲۴
۲	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۳۰	۴۳۰	۰/۰۰۰۰۰۰	٪۵۰	٪۵۰	۱۵/۰۰	۱۵/۰۰
۳	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۷۲۷	۱۱۵۷	۰/۰۸۷۱۰۹	٪۶۰/۳۰	٪۳۹/۷۰	۴۳۸/۳۹	۲۸۸/۶۱
۴	۰۵-۰۱-۱۳۹۸	۳۰۰	۱۴۵۷	۰/۰۰۰۶۰۶	٪۴۸/۶۶	٪۵۱/۳۴	۱۴۵/۹۸	۱۵۴/۰۲
...	...	...	...	...	...	...	...	...
۲۳۰۰۹۳	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۸۲۹۳۵	۸۴۲۹۴	۰/۰۰۰۱۰۸	٪۴۸/۹۲	٪۵۰/۰۲	۴۱۴۴۸/۰۰	۴۱۴۸۷/۰۰
۲۳۰۰۹۴	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۲۶۹۶۴	۱۱۱۲۵۸	۱/۱۴۵۷۹۳	٪۵۶/۱۸	٪۴۳/۸۲	۱۵۱۴۹/۳۴	۱۱۸۱۴/۶۶
۲۳۰۰۹۵	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۲۰۰۱	۱۱۳۲۵۹	۰/۰۰۰۰۰۰	٪۵۰	٪۵۰	۱۰۰۰/۵۰	۱۰۰۰/۵۰
۲۳۰۰۹۶	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۶۸۵۲	۱۲۰۱۱۱	۰/۰۰۰۰۰۱	٪۵۰	٪۵۰	۳۴۲۶/۰۰	۳۴۲۶/۰۰
۲۳۰۰۹۷	۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۳۴۶۳۸	۱۵۴۷۴۹	۰/۰۳۶۵۷۶	٪۵۰/۹۹	٪۴۹/۰۱	۱۷۶۶۱/۰۹	۱۶۹۷۶/۹۱

در گام هشتم، مجموع تجمعی حجم خریدوفروش بین نقاط تکمیل‌شده سبد حجمی محاسبه شده است. به این ترتیب، تا زمان پر شدن هر سبد حجمی، حجم خریدوفروش در هر ردیف تجمیع می‌شود و پس از تکمیل، مقادیر نهایی ثبت شده و فرایند از ابتدا آغاز می‌شود. سپس اختلاف مطلق بین حجم تجمعی خریدوفروش به‌عنوان شاخصی با عنوان Open Interest تخمینی (OI) محاسبه شده است که می‌تواند مبنایی برای سنجش عدم‌تعادل و جهت‌گیری جریان معاملات در هر سبد باشد. در مرحله نهم (مرحله آخر)، شاخص VPIN به‌عنوان معیاری برای تخمین احتمال معاملات آگاهانه و تشخیص فشار اطلاعاتی در بازار محاسبه شده است. برای این منظور، ابتدا مجموع اختلاف حجمی تجمعی خرید و فروش طی ۵۰ بلوک معاملاتی محاسبه شد تا نوسان‌ها در جریان نقدینگی طی دوره‌های معنادار استخراج شود.

سپس این مقدار به میانگین حجم معاملات تقسیم شد تا VPIN به‌دست آید. میانگین VPIN نیز به‌عنوان نمایهٔ کلی فشار معاملاتی در دوره مورد بررسی ثبت شد که برای این صندوق حدود ۵ درصد تخمین زده شده است.

جدول ۵. محاسبه احتمال معاملات آگاهانه مبتنی بر حجم (مرحله نهم)

date-sh	OI	cumulative_OI_50	vpin
۲۸-۰۷-۱۳۹۸	۱۱۷۵۵/۰۰	۷۵۶۰۸۵/۰۰	٪۹/۰
۲۹-۰۷-۱۳۹۸	۲۲۰۲۱/۰۰	۷۷۷۴۵۷/۰۰	٪۱۰
۰۸-۰۸-۱۳۹۸	۲۸۳۱/۰۰	۷۷۸۱۷۵/۰۰	٪۱۰
۰۸-۱۰-۱۳۹۸	۸۳۳۴/۹۵	۷۱۵۹۵۵/۳۶	٪۸/۸
۲۵-۰۱-۱۳۹۹	۵۱۷۸۳/۹۶	۴۸۰۱۳۷/۳۱	٪۵/۹
۰۹-۰۴-۱۳۹۹	۴۲۳۸/۷۴	۱۳۲۱۸۵۴/۹۷	٪۱۶/۳
۰۶-۰۸-۱۳۹۹	۱۰۶۶۹/۸۹	۷۳۷۷۲۸/۷۳	٪۹/۱
۰۶-۱۰-۱۳۹۹	۳۰۹۴/۰۲	۵۴۵۲۶۰/۰۱	٪۶/۷
۰۸-۰۳-۱۴۰۰	۱۶۹۵۱/۸۳	۸۹۲۰۸۰/۲۲	٪۱۱
۰۵-۰۵-۱۴۰۰	۲۱۹۷/۱۰	۵۲۴۹۷۹/۳۰	٪۶/۵
۰۶-۰۴-۱۴۰۱	۹۷۴۳/۶۲	۳۰۵۳۴۴/۰۷	٪۳/۸
۰۹-۰۷-۱۴۰۲	۱۱۳۹۹/۱۳	۴۴۵۱۲۰/۶۰	٪۵/۵
۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۳۴۹/۴۹	۴۶۹۱۷۷/۷۵	٪۵/۸
۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۲۸۶/۶۷	۴۴۵۶۳۰/۵۹	٪۵/۵
۲۸-۱۲-۱۴۰۳	۱۵۲/۳۷	۴۲۰۹۴۹/۱۲	٪۵/۲

شایان ذکر است که تمامی مراحل محاسبه VPIN برای ۹۲ صندوق در دست بررسی اجرا شد که خلاصه نتایج آن به شرح جدول زیر است. همچنین برای هر نماد، مقدار انحراف معیار استاندارد که بیانگر پراکندگی مطلق داده‌هاست و ضریب تغییرات که برابر نسبت انحراف معیار به میانگین است، محاسبه شده است. طبق این داده‌ها، صندوق‌های سرو (۰/۴۴درصد)، شتاب (۰/۵۱درصد) و بیدار (۰/۶۲درصد) کمترین میزان و بازبیمه (۵۰درصد)، آبنوس (۴۲درصد) و فرصت (۴۱ درصد) بیشترین مقدار شاخص احتمال معاملات آگاهانه را در بین صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس در بازه زمانی بررسی شده داشته‌اند.

از منظر مقدار انحراف معیار استاندارد باز هم سه صندوق سرو (۰/۰۱۱)، شتاب (۰/۰۱۵) و بیدار (۰/۰۱۶) کمترین مقدار و صندوق‌های کاردان (۰/۳۹۳)، سیمانیا (۰/۳۷۵) و آبنوس (۰/۳۷۱) بیشترین میزان را به خود اختصاص داده اند.

در خصوص ضریب تغییرات نیز صندوق بازبیمه (۵۳ درصد)، خودران (۵۸ درصد) و جهش (۵۹ درصد) کمترین و مدیر (۷۲۵ درصد)، آساس (۶۲۱ درصد) و الماس (۶۰۶ درصد) بیشترین میزان را داشته‌اند.

بررسی شاخص VPIN در ۹۲ صندوق سهامی قابل معامله در بورس تهران نشان می‌دهد که پراکندگی رفتار معاملاتی در سطحی وسیع و ناهمگون میان صندوق‌ها جریان دارد که می‌تواند از تفاوت در حجم معاملات و سطح نقدشوندگی و تعادل در عرضه و تقاضا نشئت گرفته باشد. مقایسهٔ میانگین احتمال معاملات آگاهانه بیانگر آن است که برخی صندوق‌ها مانند بازبیمه، آبنوس و فرصت با شاخص‌های بالای ۴۰ درصد، در معرض سطوح بالاتری از ریسک

اطلاعات نهانی قرار دارند؛ در حالی‌که نمادهایی نظیر سرو، شتاب و بیدار، دارای VPIN میانگین بسیار پایینی هستند و از منظر ساختار اطلاعاتی وضعیت شفاف‌تری را تجربه کرده‌اند. این یافته‌ها نشان‌دهندهٔ تفاوت معنادار در الگوهای معاملاتی و توزیع اطلاعات میان نهادهای سرمایه‌گذاری مزبور است. شایان ذکر است که این آستانه‌ها علاوه‌بر مبنای آماری، از نظر رفتاری نیز معنا دارند؛ مقادیر بالای VPIN نشان‌دهندهٔ احتمال بیشتر معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی و بی‌ثباتی در جریان اطلاعات است، در حالی‌که مقادیر پایین‌تر بیانگر شفافیت نسبی و ثبات در رفتار معاملاتی هستند.

جدول ٦. محاسبه VPIN برای ۹۲ صندوق مورد بررسی

fund	Mean	Std. Dev.	CV	fund	Mean	Std. Dev.	fund	Mean	Std. Dev.	fund	Mean	Std. Dev.	CV
آبنوس	٪۴۲/۴	٪۳۷/۱	٪۸۷/۶	تاراز	٪۱۹/۶	٪۲۳/۴	رشدی کیان	٪۲۲/۱	٪۲۱/۲	موج	٪۸/۳	٪۸/۵	٪۱۰۱/۸
آذرین	٪۳	٪۱۱۲/۹	٪۴۲۹/۷	تخت گاز	٪۲۰/۱	٪۱۹/۷	رماس	٪۲۵/۲	٪۱۹/۲	نارنج اهرم	٪۱۹/۱	٪۱۴/۹	٪۷۸/۱
آرام	٪۱۹/۱	٪۱۴/۱	٪۷۳/۷	ترمه	٪۴/۸	٪۵/۹	رویین	٪۲۳/۲	٪۲۶/۸	نارین	٪۲۹	٪۳۲/۵	٪۱۱۱/۸
آس	٪۱۷/۸	٪۲۲/۱	٪۱۲۳/۸	توان	٪۱۳/۱	٪۹/۳	زرین	٪۲۱/۳	٪۲۲/۴	هامون	٪۱	٪۶	٪۵۸۶
آساس	٪۱/۹	٪۱۱/۶	٪۶۲۱/۵	تیام	٪۴/۳	٪۱۱/۱	سرو	٪۰/۴	٪۱/۱	هم وزن	٪۲۰/۷	٪۱۵/۴	٪۷۴/۳
آلیاژ	٪۲۱/۸	٪۲۰/۷	٪۹۴/۸	ثروت ساز	٪۳۴/۸	٪۳۰/۱	سلام	٪۲۲/۱	٪۲۲/۳	هوشیار	٪۲۰	٪۲۵/۱	٪۱۲۵/۳
آوا	٪۳/۲	٪۸/۳	٪۲۶۱/۶	ثروتم	٪۳۰/۶	٪۳۱/۳	سمان	٪۲۷/۱	٪۲۴/۲	هومان	٪۳۵/۴	٪۲۸/۴	٪۸۰/۲
آگاس	٪۱/۵	٪۲/۸	٪۱۹۴	ثمین	٪۲۸/۴	٪۲۵/۴	سپینود	٪۲۸	٪۲۹/۴	هیوا	٪۳۰/۸	٪۳۱	٪۱۰۰/۶
اتوآگاه	٪۱۷/۲	٪۱۰/۶	٪۶۲	ثنا	٪۱۲/۲	٪۱۵/۱	سیمانا	٪۲۸/۳	٪۲۸/۷	وبازار	٪۲۲/۱	٪۱۸/۳	٪۸۲/۷
ارزش	٪۱۷/۹	٪۱۷/۷	٪۹۸/۶	ثهام	٪۲۱/۱	٪۱۶/۴	سیمانو	٪۱۴/۴	٪۱۰/۷	ویستا	٪۲۸/۸	٪۲۹/۸	٪۱۰۳/۸
استیل	٪۲۱/۵	٪۱۵/۳	٪۷۱/۱	جاودان	٪۵/۴	٪۱۴/۸	سیمانیا	٪۱۹/۱	٪۳۷/۵	پادا	٪۴/۶	٪۱۱/۶	٪۲۵۱/۳
اطلس	٪۵/۲	٪۵/۲	٪۹۹/۲	جهش	٪۲۰/۱	٪۱۲	شتاب	٪۰/۵	٪۱/۵	پالایش	٪۲/۴	٪۱۲/۴	٪۵۱۸/۸
افق ملت	٪۳	٪۱۵/۱	٪۵۰۵/۳	جوانه کوچک	٪۲۴/۱	٪۱۹/۴	صدف	٪۶/۱	٪۱۷/۳	پتروآبان	٪۱۴/۹	٪۱۸/۱	٪۱۲۱/۴
الماس	٪۲/۵	٪۱۵/۲	٪۶۰۶/۳	خبرگان	٪۲۹/۶	٪۲۵/۱	عقیق	٪۱۴	٪۱۷	پتروآگاه	٪۱۵	٪۱۱/۸	٪۷۸/۴
اهرم	٪۵/۴	٪۵/۴	٪۱۰۱/۴	خلیج	٪۳۲/۱	٪۳۴/۹	فارما کیان	٪۲/۷	٪۷/۷	پترودارویوش	٪۲	٪۷/۲	٪۳۶۴/۹
اوج	٪۲۸	٪۳۲/۸	٪۱۱۷/۱	خودران	٪۲۳/۱	٪۱۳/۶	فراز	٪۸/۹	٪۱۶/۱	پتروصبا	٪۵/۱	٪۶/۶	٪۱۲۹/۱
اکتان	٪۱۵/۶	٪۱۶/۶	٪۱۰۶	دارا یکم	٪۳/۲	٪۶/۷	فرصت	٪۴۱/۳	٪۳۶/۳	پتروفارس	٪۱۹/۳	٪۲۱/۸	٪۱۱۲/۷
اکسیژن	٪۲۸/۹	٪۳۲/۵	٪۱۱۲/۴	دارونو	٪۳/۹	٪۵	فلزفارابی	٪۲۹/۸	٪۲۵/۹	پتروما	٪۱۶/۹	٪۱۹/۱	٪۱۱۲/۶
بازبیمه	٪۵۰/۸	٪۲۷/۱	٪۵۳/۳	داریوش	٪۲/۱	٪۱۱/۳	فیروزه	٪۳/۷	٪۱۶/۱	پترونپاداش	٪۲۱	٪۲۳/۹	٪۱۱۳/۷
بذر	٪۲۸/۳	٪۳۱	٪۱۱۸	درسا	٪۱/۷	٪۹/۸	مانا	٪۱۳/۵	٪۱۵/۱	پرتو	٪۳۳/۱	٪۲۹/۲	٪۸۸/۱
برلیان	٪۲۴/۶	٪۲۰/۱	٪۸۲	دریا	٪۹/۵	٪۱۱/۹	متال	٪۳۱	٪۲۴/۳	پیروز	٪۲۳/۵	٪۲۵	٪۱۰۶/۳
بهین رو	٪۲۱/۸	٪۱۳/۲	٪۶۰/۷	رخش	٪۳۴/۸	٪۲۷/۲	مدیر	٪۰/۸	٪۵/۶	کاردان	٪۲۳/۵	٪۳۹/۸	٪۱۶۹/۲
بیدار	٪۰/۶	٪۱/۶	٪۲۶۰/۱	رسانا	٪۲۱/۷	٪۲۵	مروارید	٪۷/۶	٪۱۷/۴	کاریس	٪۳/۵	٪۸/۶	٪۲۴۵/۱

در بررسی انحراف معیار استاندارد که به‌عنوان شاخصی از پراکندگی مطلق داده‌ها شناخته می‌شود، صندوق‌هایی چون کاردان، سیمانیا و آبنوس بیشترین میزان نوسان را داشته‌اند که حاکی از بی‌ثباتی در جریان اطلاعات بازار این نمادهاست. این موضوع می‌تواند بیانگر ورود مقطعی و غیرمنظم اطلاعات نهانی یا وجود ساختارهای معاملاتی غیرعادی در این صندوق‌ها باشد.

ضریب تغییرات نیز به‌عنوان شاخصی نسبی از نوسان‌پذیری نسبت به مقدار میانگین، نتایج قابل تأملی ارائه داده است. وجود مقادیر بسیار بالا در برخی صندوق‌ها نظیر مدیر (۷۲۵ درصد)، آساس (۶۲۱ درصد) و الماس (۶۰۶ درصد) نشان‌دهندهٔ بی‌ثباتی شدید در احتمال معاملات آگاهانه آن‌هاست؛ این امر عمدتاً ناشی از میانگین پایین VPIN و نوسان‌های شدید روزانه است که نسبت انحراف معیار به میانگین را به‌صورت تصاعدی افزایش داده است. در مقابل، صندوق‌هایی مانند بازبیمه، خودران و جهش، ضریب تغییرات پایین‌تری دارند و رفتار معاملاتی آن‌ها از هم‌بستگی ساختاری بیشتر و نوسان‌پذیری محدودتری برخوردار است.

به‌منظور درک بهتر ساختار معاملات آگاهانه در صندوق‌های سرمایه‌گذاری قابل معامله در بورس تهران، ترکیب سه شاخص میانگین VPIN، ضریب تغییر VPIN و انحراف معیار استاندارد VPIN برای ۹۲ نماد بررسی شد. این رویکرد، تحلیل چندبعدی از رفتارهای معاملاتی را فراهم ساخت و به تفکیک ۸ حالت ترکیبی منجر شد. هر حالت معرف الگوی خاصی از فعالیت معاملاتی، سطح آگاهی، هماهنگی و پایداری رفتار معامله‌گران است. در ادامه رفتار معاملاتی صندوق‌ها را بر اساس این سه پارامتر دسته‌بندی می‌کنیم. شایان ذکر است مبنای دسته‌بندی به شرح ذیل خواهد بود.

جدول ۷. تقسیم‌بندی پارامترها بر مبنای میانگین

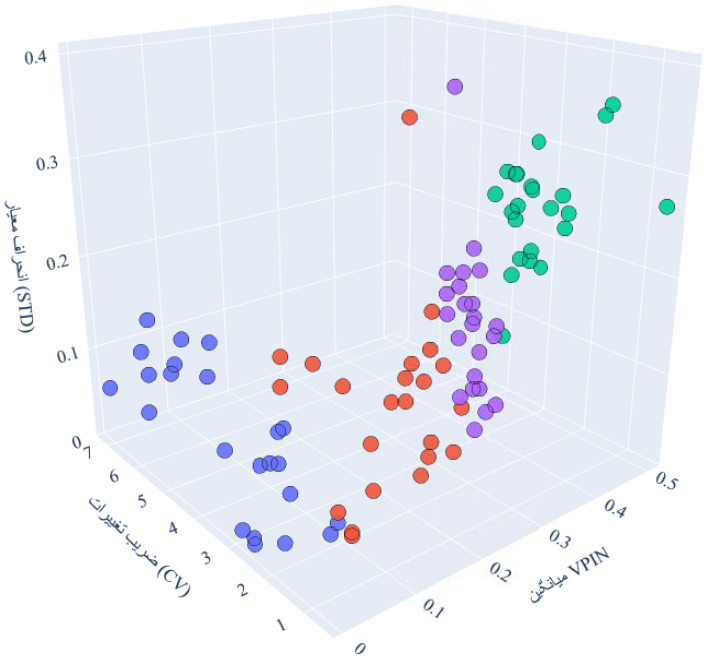
پارامتر	بالا	پایین	مبنا
VPIN	بیش از ۱۷ درصد	کمتر از ۱۷ درصد	میانگین
STD	بیش از ۰/۱۸	کمتر از ۰/۱۸	میانگین
CV	بیش از ۱/۷	کمتر از ۱/۷	میانگین

جدول ۸. حالت‌های ممکن برای ترکیب شاخص‌ها

حالت	توضیح ترکیب شاخص‌ها			تفسیر رفتاری	نماد
	VPIN	CV	STD		
۱	بالا	بالا	بالا	معاملات آگاهانه پرنوسان و ناپایدار (احتمال واکنش جمعی به اطلاعات خبری و شوک‌های بیرونی)	سیمانیا
۲	بالا	بالا	پایین	جریان اطلاعاتی آگاهانه پایدار و ساختاریافته	–
۳	بالا	پایین	بالا	معاملات آگاهانه بالا با تنوع کم ولی نوسان زیاد	آبنوس، آس، آلیاژ، بازبیمه، فرصت و...
۴	بالا	پایین	پایین	معاملات آگاهانه بالا، رفتار هم‌گرا و پایدار (احتمال وجود استراتژی مشترک یا دست‌کاری سازمان‌یافته)	آرام، اتوآگاه، ارزش، استیل، بهین رو، ثهام، جهش، خودران، نارنج اهرم و هم وزن
۵	پایین	بالا	بالا	آگاهی پایین، رفتارهای بسیار متفاوت و نوسان‌دار و	اطلس، اهرم، اکتان، ترمه، توان، ثنا،

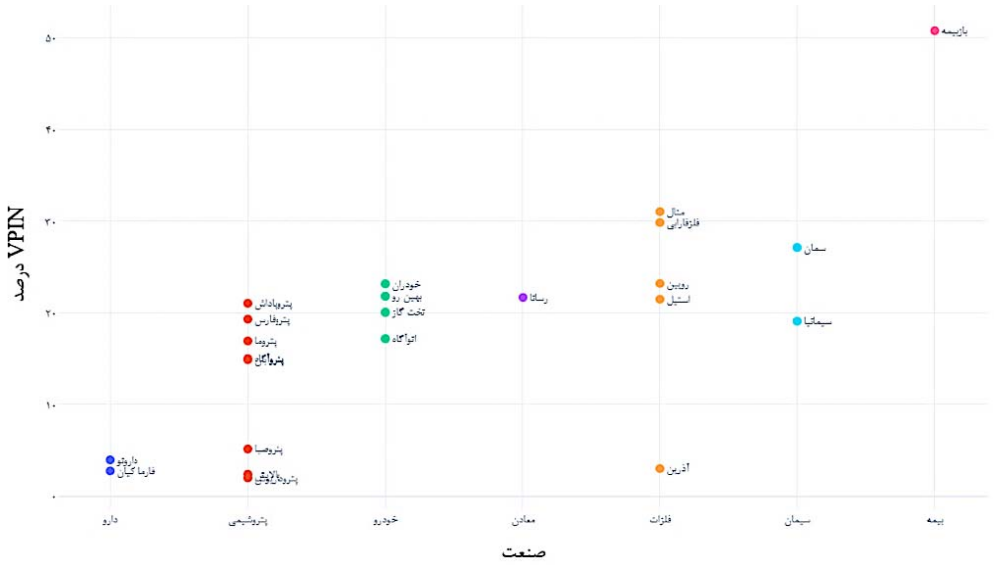
حالت	توضیح ترکیب شاخص‌ها			تفسیر رفتاری	نماد
				هیجانی	دارونو، دریا، سیمانو، عقیق، مانا، موج، پتروآبان، پتروآگاه، پتروصبا
۶	پایین	بالا	پایین	معاملات ناآگاهانه با تنوع رفتاری ولی نوسان محدود	–
۷	پایین	پایین	بالا	ناآگاهانه، هم‌گرا، ولی ناپایدار (رفتار رمه‌ای)	پتروما
۸	پایین	پایین	پایین	سطح پایین معاملات آگاهانه، رفتارهای هم‌گرا و پایدار (رکود)	اهرم، اکتان، ترمه، توان، ثنا، دارونو، دریا، سیمانو، عقیق، مانا، موج، پتروآبان، پتروآگاه، پتروصبا

در ادامه، شکل سه بُعدی وضعیت شاخص VPIN، ضریب تغییرات و انحراف معیار آن برای ۹۲ صندوق مورد بررسی نمایش داده می‌شود.



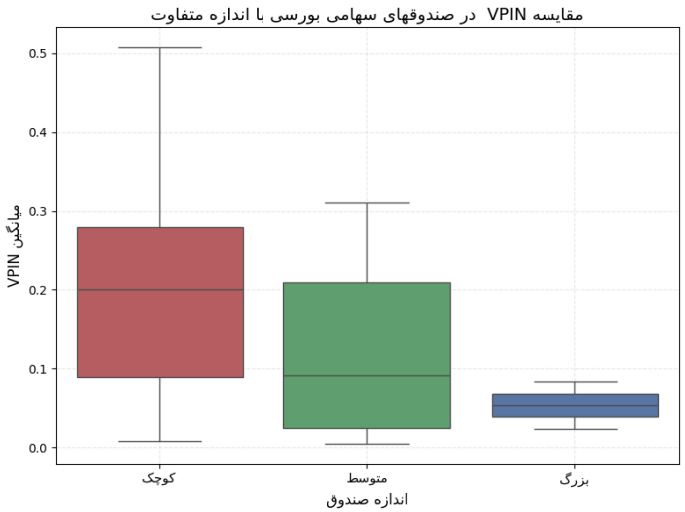
شکل ۲. وضعیت شاخص VPIN، ضریب تغییرات و انحراف معیار

در بخش بعدی وی پین برای صندوق‌های بخشی محاسبه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، صنعت دارو کمترین و صنعت بیمه بیشترین مقدار احتمال معاملات آگاهانه را دارند و با توجه به اینکه میانگین این احتمال برای کل نمادهای صندوق سهامی قابل معامله در بورس طی بازه زمانی سال ۱۳۹۸ تا ۱۴۰۳ برابر با ۱۷ درصد است، می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور میانگین، صندوق‌های بخشی بیمه، سیمان، فلزات و خودرو بالای میانگین کل صندوق‌ها قرار می‌گیرند.



شکل ۳. مقایسه VPIN به تفکیک صندوق‌های بخشی قابل معامله در بورس تهران

به‌منظور بررسی شاخص VPINدر صندوق‌های با اندازه مختلف بر اساس اطلاعات منتشر شده در مرکز پردازش اطلاعات مالی ایران در انتهای سال ۱۴۰۳ صندوق‌ها را در سه بخش بزرگ (بیش از ۱۰،۰۰۰ میلیارد تومان شامل نماد پالایش، دارا یکم، اهرم و موج)، متوسط (بین ۱،۰۰۰ تا ۱۰،۰۰۰ میلیارد تومان از جمله توان، جهش، نارنج اهرم و ...) و کوچک (کمتر از ۱،۰۰۰ میلیارد تومان از جمله آبنوس، آرام و ...) در نظر گرفته‌ایم. شایان ذکر است که میانگین این شاخص در صندوق‌های بزرگ، متوسط و کوچک، به‌ترتیب برابر است با ۴/۸۲ درصد، ۱۲/۵۰ درصد و ۱۹/۱۵ درصد. می‌توان این گونه نتیجه گرفت که به‌طور میانگین، صندوق‌های بزرگ، احتمال معاملات آگاهانهٔ کمتری از صندوق‌های متوسط و صندوق‌های متوسط از صندوق‌های کوچک دارند.



شکل ٤. مقایسه VPIN به تفکیک اندازه صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس تهران

همچنین بر اساس آزمون ANOVA کلاسیک، تفاوت میانگین VPIN بین صندوق‌های بزرگ، متوسط و کوچک معنادار است (F = ۴/۱۹ و p = ۰/۰۱۸). آزمون Welch ANOVA که نسبت به ناهمگنی واریانس‌ها مقاوم است، این نتیجه را با قدرت بیشتری تأیید کرد (F = ۱۷/۹۴ و p = ۰/۰۰۱). اگرچه آزمون Tukey HSD در مقایسه‌های جفتی اختلاف معناداری نشان نداد، آزمون Games–Howell به‌عنوان روش مقاوم نشان داد که تفاوت میانگین‌ها بین همه جفت گروه‌ها معنادار است (p < ۰/۰۵). همچنین آزمون غیرپارامتری Kruskal–Wallis تفاوت کلی را تأیید کرد (H = ۷/۹۴ و p = ۰/۰۱۹) و آزمون Dunn روند اختلاف‌ها را نشان داد. این مجموعه نتایج، بیانگر آن است که صندوق‌های بزرگ VPIN پایین‌تر و صندوق‌های کوچک VPIN بالاتر دارند و این تفاوت‌ها مستقل از فرض‌های کلاسیک آماری پایا و قابل دفاع هستند.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مقاله حاضر با هدف تخمین احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی در صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس تهران، با بهره‌گیری از مدل VPIN و تحلیل ریزساختار بازار انجام شد. طبق این بررسی می‌توان نتیجه گرفت که تفاوت معناداری در شاخص VPIN در صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس تهران وجود دارد؛ به نحوی که برخی صندوق‌ها مانند بازبیمه، آبنوس و فرصت، سطح بالایی از معاملات آگاهانه را داشته‌اند، در حالی‌که نمادهایی مانند سرو، شتاب و بیدار رفتار معاملاتی شفاف‌تری نشان داده‌اند. در این مقاله، برای مقایسه بین صندوق‌ها، از انحراف معیار استاندارد و ضریب تغییرات مقادیر VPIN نیز استفاده شد تا مقایسه دقیق‌تری بین صندوق‌ها انجام شود. بر این اساس، رفتار معاملاتی برخی صندوق‌ها ساختاریافته، پایدار و هم‌گراست، در حالی‌که برخی دیگر دچار نوسان‌های شدید و رفتارهای هیجانی هستند. در قسمت صندوق‌های بخشی، نیز صندوق‌های فعال در صنایع بیمه، سیمان، فلزات و خودرو، شاخص VPIN بالاتری نسبت به میانگین دارند که نشان‌دهندهٔ حساسیت اطلاعاتی بیشتر در این حوزه‌هاست. همچنین در این مقاله، صندوق‌های سهامی قابل معامله در بورس تهران، از جنبهٔ اندازهٔ دارایی تحت مدیریت بررسی شدند. نتایج حاکی از آن بود که صندوق‌های بزرگ‌تر، به‌طور میانگین VPIN پایین‌تری نسبت به صندوق‌های کوچک‌تر دارند که این نتیجه ممکن است از وجود اخبار نهانی کمتر در صندوق‌های بزرگ نسبت به سایر صندوق‌ها نشئت گرفته باشد. نتایج نشان می‌دهد که عواملی مانند نوع صنعت و اندازهٔ دارایی، در شکل‌گیری معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی نقش مهمی دارند و می‌توانند به‌عنوان شاخص‌های هشداردهنده برای نهادهای ناظر و سرمایه‌گذاران استفاده شوند.

پیشنهادها

با توجه به نتایج حاصل از تخمین VPIN در صندوق‌های سهامی بورس تهران، برخی موضوعات برای تحقیق بیشتر پیشنهاد می‌شود. یکی از این موضوعات، دلیل نوسان‌های کمتر برخی صندوق‌ها نسبت به سایر صندوق‌هاست که می‌تواند ناشی از ساختار صندوق‌ها باشد؛ اما اینکه آیا تفاوت در ساختار صندوق‌ها، تمام تفاوت‌ها در VPIN را توضیح

می‌دهد، جای بحث و بررسی بیشتری دارد. شاید عواملی چون نقدشوندگی نیز مؤثر باشد. همچنین پیشنهاد می‌شود VPIN برای سفارش‌ها و معاملات حقیقی و حقوقی، به‌طور جداگانه محاسبه شود؛ زیرا اثر حجم معاملات حقوقی بر کل معاملات می‌تواند در محاسبه VPIN حائز اهمیت باشد. مدل فعلی VPIN فرض می‌کند حجم بالا، الزاماً به فشار اطلاعاتی منجر می‌شود؛ اما در صندوق‌ها، حجم بالا ممکن است فقط ناشی از تراکنش‌های بالای معاملات و نقدشوندگی بالای صندوق باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که VPIN با شاخص‌های رفتاری مثل جریان ورود و خروج سرمایه ترکیب شود تا تصویر دقیق‌تری از فشار اطلاعاتی ارائه دهد.

همچنین بر اساس نتایج مقاله و اهمیت موضوع، پیشنهاد می‌شود که نهادهای ناظر وسیاست‌گذار بازار سرمایه، سامانه‌های نظارتی هوشمند را مبتنی بر VPIN به‌منظور شناسایی رفتارهای مشکوک و معاملات آگاهانه در صندوق‌های ETF توسعه دهند. از آنجا که کل محاسبات در این پژوهش در محیط برنامه‌نویسی پایتون انجام شده است، اجرای کد در مدت زمان خیلی کمتر از محاسبات با سایر نرم‌افزارها امکان‌پذیر است و نهاد ناظر می‌تواند با محاسبه این شاخص به‌صورت دوره‌ای، در کمترین زمان، اخطار افزایش شاخص را دریافت و معاملات را به‌سرعت بررسی کند.

افزایش الزامات افشای اطلاعات با هدف کاهش عدم تقارن اطلاعاتی برای صندوق‌هایی با VPIN بالا نیز می‌تواند سبب افزایش کارایی بازار و جلب اعتماد سرمایه‌گذاران شود. همچنین مدیران صندوق‌های سرمایه‌گذاری، به‌منظور کاهش تمرکز بر صنایع پرریسک، از منظر اطلاعات نهانی، باید در ساختار پرتفوی سرمایه‌گذاری، بازنگری کنند.

پیشنهاد آخر مربوط به مدل‌های دیگر محاسبه احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی، مانند مدل بیز است. در واقع مدل VPIN به‌صورت ایستا محاسبه می‌شود و برای محاسبه لحظه‌ای تخمین VPIN در شرایطی که بازار دچار شوک می‌شود، نیاز است از مدل‌های پویا و داینامیک هم استفاده کرد.

محدودیت‌های پژوهش

با وجود تلاش برای طراحی دقیق مدل تخمین VPIN در صندوق‌های سهامی بورس تهران، برخی محدودیت‌ها در مسیر اجرای پژوهش وجود داشت که خارج از کنترل پژوهشگر بود و ممکن است بر تعمیم‌پذیری نتایج تأثیرگذار باشد. یکی از مهم‌ترین چالش‌ها، سطح دسترسی به داده‌های معاملاتی با جزئیات کافی است. در شرایطی که داده‌های مربوط به معاملات سطح دوم یا نوع معامله‌گر (حقیقی، حقوقی، الگوریتمی) در دسترس نیست، تحلیل فشار اطلاعاتی، فقط بر اساس حجم معاملات انجام می‌شود که ممکن است تصویر کاملی از رفتار بازار ارائه ندهد. در واقع، نبود داده‌های تفکیکی حقیقی و حقوقی موجب می‌شود که نتایج VPIN فقط بازتابی از فشار اطلاعات کلی بازار باشد و امکان تشخیص نقش گروه‌های مختلف معامله‌گران در شکل‌گیری معاملات آگاهانه وجود نداشته باشد. همچنین، ساختار افشای اطلاعات ماهانهٔ صندوق‌ها، به‌گونه‌ای است که امکان بررسی دقیق ترکیب دارایی‌ها یا جریان‌های سرمایه‌گذاری را محدود می‌کند و این موضوع می‌تواند بر تفسیر VPIN در سطح صندوق اثرگذار باشد. از سوی دیگر، انتخاب بازه زمانی پژوهش نیز با محدودیت‌هایی همراه بود و شرایط خاص بازار در آن دوره، ممکن است بر نتایج تأثیر گذاشته باشد.

در نهایت، باید توجه داشت که مدل VPIN به‌صورت ایستا طراحی شده و در شرایطی که بازار دچار نوسان‌های شدید یا شوک‌های اطلاعاتی می‌شود، ممکن است نتواند به‌صورت لحظه‌ای تغییرات فشار اطلاعاتی را منعکس کند. این موارد، اگرچه خارج از کنترل مستقیم پژوهشگر بوده‌اند، در تحلیل نتایج و پیشنهادهای آتی باید مدنظر قرار گیرند.

منابع

راعی، رضا؛ عیوضلو، رضا و محمدی، شاپور (۱۳۹۲). بررسی ریسک اطلاعات با استفاده از مدل‌های ریزساختار بازار. *پژوهش‌های مدیریت در ایران*، ۱۷ (۳)، ۷۱-۸۵.

راعی، رضا؛ محمدی، شاپور و عیوضلو، رضا (۱۳۹۲). تخمین احتمال معامله مبتنی بر اطلاعات خصوصی با استفاده از مدل‌های ریزساختار بازار. *تحقیقات مالی*، ۱۵(۱)، ۱۷-۲۸.

راعی، رضا؛ عیوضلو، رضا و عباس‌زاده اصل، امیرعلی (۱۳۹۶). بررسی رابطه عدم تقارن اطلاعاتی و نقدشوندگی در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از مدل‌های ریزساختار بازار. *دانش مالی تحلیل اوراق بهادار*، ۳۴(۱۰)، ۱۳-۲۴.

رضایی، صادق؛ مهرآرا، محسن و سوری، علی (۱۳۹۹). آیا افشای اطلاعات به کاهش معاملات مبتنی بر اطلاعات خصوصی و شوک متقارن جریان سفارش در بورس اوراق بهادار تهران منجر می‌شود؟ *فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی*، ۱۱(۴۰)، ۳۳-۶۶.

طالبلو، رضا؛ شاکری، عباس و رحمانیانی، میلاد (۱۳۹۸). مقایسه روش‌های مختلف تخمین احتمال مبادله آگاهانه در بورس اوراق بهادار تهران. *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، ۲۴(۷۸)، ۱-۲۹.

عیوضلو، رضا؛ راعی، رضا و محمدی، شاپور (۱۳۹۱). اثرهای تقویمی در احتمال معاملات مبتنی بر اطلاعات نهانی. *فصلنامه بورس اوراق بهادار*، ۵(۱۸)، ۵-۱۷.

کردی تمندانی، حامد؛ زمانیان، غلامرضا و هاتفی مجومرد، محمد (۱۳۹۷). معیار احتمال انجام معاملات آگاهانه در اندازه‌گیری ریسک عدم تقارن اطلاعات و رتبه‌بندی شرکت‌های بورس اوراق بهادار تهران. *مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار (مدیریت پرتفوی)*، ۹(۳۷)، ۱۵۸- ۱۸۶.

فهرست صندوق‌های سرمایه‌گذاری. (۱۴۰۴). مرکز پردازش اطلاعات مالی ایران.

References

Admati, A. R. & Pfleiderer, P. (1988). A Theory of Intraday Patterns: Volume and Price Variability. *The Review of Financial Studies*, *1*(1), 3-4.

Akbas, F. (2015). The Calm before the Storm. *The Journal of Finance*, *71*(1), 225–266. https://doi.org/10.1111/jofi.12377

Amihud, Y. & Mendelson, H. (1986). Asset pricing and the bid-ask sprea. *Journal of Financial Economics*, *17*(2), 223–249. https://doi.org/10.1016/0304-405X(86)90065-6

Bambade, A. (2019). A New Way to Compute the Probability of Informed Trading. *Journal of Mathematical Finance*, *9*(4), 637–666.

Boehmer, E., Gramming, J. & Theissen, E. (2007). Estimating the probability of informed trading—Does trade misclassification matter? *Journal of Financial Markets*, *10*(1), 26–47. https://doi.org/10.1016/j.finmar.2006.07.002

Chae, J. (2005). Trading Volume, Information Asymmetry, and Timing Information. *The Journal of Finance*, *60*(1), 413–422.

Chan, K. & Fong, W.-M. (2000). Trade size, order imbalance, and the volatility–volume relation. *Journal of Financial Economics*, *57*(2), 247–273. https://doi.org/10.1016/S0304-405X(00)00057-X

Corsi, F. (2009). A Simple Approximate Long-Memory Model of Realized Volatility. *Journal of Financial Econometrics*, *7*(2), 174–196. https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbp001

Doostian, R. & Touski, O. F. (2020). The probability of informed trading and stock liquidity. *International Journal of Finance and Managerial Accounting*, *7*(27). https://doi.org/10.30495/IJFMA.2022.61387.1662

Duarte, J., Hu, E. & Young, L. (2020). A comparison of some structural models of private information arrival. *Journal of Financial Economics*, *135*(3), 795–815. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2019.08.005

Easley, D. & O'hara, M. (1992). Time and Process of Security Price Adjustment. *Journal of Finance*, *47*, 576–605. https://doi.org/10.1111/j.1540-6261.1992.tb04402.x

Easley, D. & O'hara, M. (2004). Information and the Cost of Capital. *The Journal of Finance*, *59*(4), 1553–1583.

Easley, D., Engle, R. F., O'hara, M. & Wu, L. (2008). Time-Varying Arrival Rates of Informed and Uninformed Trades. *Journal of Financial Econometrics*, *6*(2), 171-2–7. https://doi.org/10.1093/jjfinec/nbn003

Easley, D., Hvidkjaer, S. & O'hara, M. (2002). Is Information Risk A Determinant of Asset Returns. *The Journal of Finance*, *57*(5), 2185–2221. https://doi.org/10.2139/ssrn.249072

Easley, D., López de Prado, M. M. & O'hara, M. (2011). The Microstructure of the "Flash Crash": Flow Toxicity, Liquidity Crashes, and the Probability of Informed Trading. *The Journal of Portfolio Management*, *37*(2), 118–128. https://doi.org/DOI:%252010.3905/jpm.2011.37.2.118

Eyvazlou, R., Raee, R. & Mohammadi, Sh. (2012). Calendar Effects on the Probability of Informed Trading. *Securities Exchange Quarterly*, 5(18), 5–17. (*in Persian*)

Fama, E. F. (1970). Efficient Capital Markets: A Review of Theory and Empirical Work. *The Journal of Finance*, *25*(02), 383–417. https://doi.org/10.2307/2325486

Foster, F. D. & Viswanathan, S. (1990). A Theory of the Interday Variations in Volume, Variance, and Trading Costs in Securities Markets. *The Review of Financial Studies*, *3*(4), 593–624. https://doi.org/10.1093/rfs/3.4.593

Foster, F. D. & Viswanathan, S. (1994). Strategic Trading with Asymmetrically Informed Traders and Long-Lived Information. *The Journal of Financial and Quantitative Analysis*, *29*(4), 499–518. https://doi.org/10.2307/2331107

Griffin, J., Oberoi, J. & Oduro, S. D. (2021). Estimating the probability of informed trading: A Bayesian approach. *Journal of Banking & Finance*, *125*. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2021.106045

Grossman, S. J. & Stiglitz, J. E. (1980). On the Impossibility of Informationally Efficient Markets. *The American Economic Review*, *70*(3), 393–408.

Hwang, L.S., Lee, W.J., Lim, S.Y. & Park, K.-H. (2013). Does information risk affect the implied cost of equity capital? An analysis of PIN and adjusted PIN. *Journal of Accounting and Economics*, *55*(2–3), 148–167. https://doi.org/10.1016/j.jacceco.2013.01.005

Iran Financial Data Processing Center. (2025). List of investment funds. https://fund.fipiran.ir/mf/list

Karyampas, D. & Paiardini, P. (2011). *Probability of Informed Trading and Volatility for an ETF*. https://www.researchgate.net/publication/254391845_Probability_of_Informed_Trading_and_Volatility_for_an_ETF

Kordi-Temandani, H., Zamanian, G., & Hatefi Mojomard, M. (2018). Probability of informed trading as a measure of information asymmetry risk and the ranking of firms listed on the Tehran Stock Exchange. *Financial Engineering and Securities Management (Portfolio Management),* 9(37), 158–186. (*in Persian*)

Lof, M. & Van Bommel, J. (2023). Asymmetric information and the distribution of trading volume. *Journal of Corporate Finance*, *82*. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S092911992300113X

Raee, R., Eyvazlou, R. & Mohammadi, Sh. (2013). Survey on Information Risk Using Microstructure Models. *Journal of Management Research in Iran*, 17(3), 71-85. (*in Persian*)

Raee, R., Eyvazlu, R., & Abbaszade Asl, A. (2017). The relationship between information asymmetry and liquidity in the Tehran Stock Exchange using market microstructure models. *Financial Knowledge of Securities Analysis*, 10(34), 13–24. (*in Persian*)

Raee, R., Mohammadi, Sh. & Eyvazlu, R. (2013). Estimating Probability of Private Information Based Trade Using Microstructure Model. *Financial Research Journal,* 15(1), 17-28. https://doi.org/10.22059/jfr.2013.35430 (*in Persian*)

Rezaei, S., Mehrara, M., & Soori, A. (2020). Does disclosure reduce private information-based trading and symmetric order flow shock in the Tehran Stock Exchange? *Quarterly Journal of Economic Modeling Research,* 11(40), 33–66. (*in Persian*)

Taleblou, R., Shakeri, A., & Rahmaniani, M. (2019). A comparison of different methods for estimating the probability of informed trading in the Tehran Stock Exchange. *Iranian Economic Research,* 24(78), 1–29. https://doi.org/10.22054/ijer.2019.10161 (*in Persian*)

Touski, O. F., Janani, M. & Hemmatfar, M. (2020). Measuring and Explaining the Probability of Informed Trading and its Relationship with the Cost of Capital with an Emphasis on Family Ownership. *International Journal of Nonlinear Analysis and Applications*, *11*, 63–79. https://doi.org/10.22075/ijnaa.2020.4525

Wang, T. & Huang, Z. (2012). The Relationship between Volatility and Trading Volume in the Chinese Stock Market: A Volatility Decomposition Perspective. *Annals of Economics and Finance*, *13*(1), 217–242.

Wen, C., Jia, F. & Hao, J. (2020). Does VPIN provide predictive information for realized volatility forecasting: Evidence from Chinese stock index futures market. *China Finance Review International*, *13*(2), 285–303. https://doi.org/10.1108/CFRI-05-2020-0049