

## **The Effects of Order Flow Imbalance on Stock Prices in Tehran Stock Exchange**

**Seyed Mahdi Barakchian<sup>\*</sup>, Mohammad H. Seyedsalehi<sup>\*\*</sup>**

Research Paper

### **Abstract**

We investigate the impacts of the order book events on the prices of the 30 largest stocks in the Tehran Stock Exchange in the year 2020. The purpose of this article is to measure the price sensitivity to changes in supply and demand volumes and identify the factors affecting this sensitivity. Similar to the method proposed by Cont et al. (2014), by performing about thirty thousands of OLS regressions, we show that in a low-depth market, the mid-price returns are explained significantly by the order flow imbalance that represents the net change in demand, namely the difference between the volumes of events on two sides of the order book [7]. We also show that the use of the Order Flow Imbalance in the first three levels of the order book can increase the explanatory power of the model for stock mid-price changes, indicating that higher levels of the order book also affect stock price changes significantly. Moreover, the results confirm that the market depth has a negative effect on the power of events to move the stock price. In addition, we show that our results are robust to changes in months or stocks.

**Keywords: Stock Market; Order Book; Order Flow Imbalance; Market Depth.**

---

Received: 2022. September.14, Accepted: 2023. January.10.

<sup>\*</sup> Associate Prof., Institute for Management and Planning studies, Tehran, Iran.

E-Mail: [barakchian@sharif.edu](mailto:barakchian@sharif.edu)

<sup>\*\*</sup> Ph.D. Candidate in Economics, University of Toronto, Toronto, Canada (Corresponding Author).

E-Mail: [m.seyedsalehi@mail.utoronto.ca](mailto:m.seyedsalehi@mail.utoronto.ca)

## بررسی اثر جریان سفارش بر تغییر قیمت سهام در بازار سهام تهران

سید مهدی برکچیان\*، سید محمد حسین سیدصالحی\*\*

### چکیده

مقاله پژوهشی

در این پژوهش با استفاده از داده‌های دفتر سفارش سهام ۳۰ شرکت بزرگ در بازار سهام تهران در سال ۲۰۲۰ میلادی اثر رویدادهای دفتر سفارش بر تغییرات قیمت سهام بررسی می‌شود. هدف از این پژوهش اندازه‌گیری حساسیت قیمت به تغییرات حجم عرضه و تقاضا در سرخطهای مختلف دفتر سفارش و شناسایی عوامل موثر بر این حساسیت است. برای این منظور ابتدا با استفاده از داده‌های دفتر سفارش، متغیر نابرابری جریان سفارش، که نشان‌دهنده نابرابری حجم سفارش‌ها در دو سمت عرضه و تقاضای سهام است، ساخته می‌شود. سپس مشابه روش پیشنهادی کنت و همکاران (۲۰۱۴)، با انجام حدود سی هزار رگرسیون OLS نشان داده می‌شود که متغیر نابرابری جریان سفارش تغییرات قیمت سهام در بازه‌های کوتاه‌مدت را توضیح می‌دهد [۷]. همچنین نشان داده می‌شود که استفاده از متغیر نابرابری جریان سفارش در سه سرخط اول دفتر سفارش می‌تواند توضیح‌دهندگی مدل را برای تغییرات قیمت سهام افزایش دهد که حاکی از آن است که سرخطهای بالاتر دفتر سفارش نیز بر تغییرات قیمت سهام اثرگذار هستند. همچنین نشان داده می‌شود که بین میزان اثرگذاری سفارش‌ها بر تغییرات قیمت سهام و عمق بازار یک رابطه خطی منفی وجود دارد. بنا بر شواهد ارائه شده، این نتایج به تغییرات در ماه‌ها یا سهم‌ها حساس نیستند.

**کلیدواژه‌ها: بازار سهام؛ دفتر سفارش؛ نابرابری جریان سفارش؛ عمق بازار.**

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰.

\* استادیار، گروه اقتصاد، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی، تهران، ایران.

E-Mail: barakchian@sharif.edu

\*\* دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه تورنتو، تورنتو، کانادا (نویسنده مسئول).

E-Mail: m.seyedsalehi@mail.utoronto.ca

## ۱. مقدمه

در شانزدهم اردیبهشت ۱۳۹۰<sup>۱</sup> پدیده‌ای که از آن به‌عنوان سقوط برق‌آسا<sup>۲</sup> یاد می‌شود رخ داد. در طی چند دقیقه شاخص بازار سهام آمریکا حدود ۹ درصد سقوط کرد، سپس بعد از چند دقیقه این سقوط جبران گردید و شاخص بازار سهام به نزدیکی سطح پیشین خود بازگشت. این اتفاق به خاطر فشارهای شدید ایجاد شده توسط معاملات الگوریتمی فروشنده‌ای بزرگ، و استمرار این فشار توسط معامله‌گرهای با تناوب بالا<sup>۳</sup> رخ داد که در شرایط عدم قطعیت بازار شروع به حذف سریع سفارش‌های باز خود می‌کنند. رخداد این‌گونه اتفاقات و ضرورت پیشگیری از آن‌ها سبب شد تا اهمیت مطالعه اثر جریان سفارشات بر تغییرات قیمت سهام بیش از گذشته مورد توجه قرار گیرد. به‌طور نمونه، اندرسون<sup>۴</sup> و بندارنکو<sup>۵</sup> (۲۰۱۴) با معرفی مفهوم مسمومیت جریان سفارشات<sup>۶</sup>، به بررسی نشانه‌های احتمالی اتفاقات مشابه در جریان سفارش‌ها پرداخته‌اند [۳]. از سوی دیگر، یافتن شیوه بهینه در خرید یا فروش سهام نیز مستلزم اطلاع از رابطه بین جریان سفارشات و تغییرات قیمت سهام است؛ فروختن یا خریدن تعداد زیادی سهم در بازار با افزایش فشار عرضه یا تقاضا می‌تواند باعث جابه‌جایی قیمت شود، به‌صورتی که حتی باعث ضرر سفارش دهنده گردد. در نتیجه فروشنده (خریدار) به دنبال راه حل بهینه‌ای است تا با شکستن سفارش خود به سفارش‌های کوچک‌تر و ارسال آن‌ها در بازه زمانی بلندتر، مانع از افت (جهش) شدید قیمت سهام شود [۵]. کاربردهای دیگر شناخت اثر سفارش‌ها بر تغییرات قیمت سهام، از جمله برای تامین‌کنندگان نقدینگی و بازارگردان‌ها است [۱۸] و همچنین در شناسایی سفارشات که با هدف دستکاری قیمت<sup>۷</sup> ثبت شده‌اند [۱].

دفتر سفارش‌های محدود<sup>۸</sup> شامل اطلاعات سفارش‌های ثبت شده معامله‌گران در بازار سهام برای خرید یا فروش یک سهم است. سفارش‌ها یا به‌صورت سفارش‌های شرطی<sup>۹</sup> با قیمت مشخص در یکی از دو سمت عرضه یا تقاضای دفتر سفارش ثبت می‌شود تا هنگامی که قیمت سهم به قیمت سفارش ثبت شده رسید معامله انجام شود، یا به‌صورت سفارش‌های بازاری<sup>۱۰</sup> است که در قیمت فعلی سهم انجام می‌شود و شخص سفارش دهنده با بهترین قیمت پیشنهاد شده از سمت مقابل سهم را می‌خرد یا می‌فروشد. همچنین ممکن است افراد دست به اصلاح سفارش‌های شرطی خود (تغییر قیمت یا حجم آن) بزنند یا آن‌ها را از دفتر سفارش حذف کنند.

<sup>۱</sup> معادل ششم می ۲۰۱۱ میلادی

<sup>۲</sup> Flash crash

<sup>۳</sup> High-Frequency Traders

<sup>۴</sup> Andersen, T. G.

<sup>۵</sup> Bondarenko, O.

<sup>۶</sup> Order flow toxicity

<sup>۷</sup> Price Manipulation

<sup>۸</sup> Limit Orderbook

<sup>۹</sup> Limit Orders

<sup>۱۰</sup> Market Orders

سوال پژوهش حاضر این است که آیا می‌توان تغییرات قیمت سهم را توسط اتفاقات دفتر سفارش توضیح داد. علی‌رغم وجود پژوهش‌های تجربی متعدد، هنوز اجماعی بر نحوه مدل‌سازی این تغییرات وجود ندارد. پاتزلت<sup>۱</sup> و بوچاد<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) کارایی چند نمونه از این مدل‌سازی‌ها در طول دو دهه گذشته را با یکدیگر مقایسه کرده‌اند. این مدل‌سازی در اصل شامل پاسخ به چند سوال کوچک‌تر است. سوال اول این است که چه متغیری را می‌توان از دفتر سفارش استخراج کرد که تجمیع‌کننده مناسبی برای اطلاعات دفتر سفارش باشد و به خوبی بتواند نابرابری عرضه و تقاضا را نشان دهد [۲۳]. متغیرهای معروفی که تا به حال برای این تجمیع معرفی شده‌اند، نابرابری معاملات<sup>۳</sup> و نابرابری جریان سفارش<sup>۴</sup> هستند. اکثر پژوهش‌های گذشته در محاسبه این متغیرها تنها تاثیر حجم یا علامت معاملات انجام شده را در نظر گرفته‌اند [۶]، در حالی که علاوه بر سفارشات بازاری، سفارشات شرطی نیز اثر مهمی بر روی تغییرات قیمت سهام دارند و بدون استفاده از تمام رویدادهای دفتر سفارش نمی‌توان تغییرات قیمت را به خوبی توضیح داد. ایسلر<sup>۵</sup> و همکاران (۲۰۱۸) به تبیین نظری رابطه قیمت و تمامی رویدادهای دفتر سفارش و اندازه‌گیری تجربی اثر آن‌ها بر روی قیمت پرداخته‌اند. در راستای همین رویکرد جدید، در این پژوهش نیز از متغیر نابرابری جریان سفارش استفاده شده است که شامل اطلاعات تمامی انواع رویدادهای دفتر سفارش است.

کنت<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۱۴) با مقایسه متغیرهای مختلف نشان داده‌اند که متغیر نابرابری جریان سفارش می‌تواند به میزان قابل ملاحظه‌ای تغییرات قیمت سهام را توضیح دهد. در حقیقت این متغیر نشان‌دهنده تمایل جمعی سرمایه‌گذاران به خرید یا فروش سهام است. پژوهش ایشان بر روی داده‌های بازار سهام آمریکا انجام شده است و در این پژوهش نیز، همان روش برای مطالعه سهام ۳۰ شرکت بزرگ بازار سهام تهران در بازه هفتم دی ۱۳۹۸ تا یازدهم دی ۱۳۹۹<sup>۷</sup> به کار برده می‌شود. مشابه مقاله کنت و همکاران (۲۰۱۴)، در این پژوهش نیز از انواع سفارش‌ها (شامل سفارش‌های بازاری، حذف، اصلاح و اضافه کردن سفارش‌های شرطی) در دو سمت عرضه و تقاضای دفتر سفارش در محاسبه متغیر نابرابری جریان سفارش استفاده می‌گردد. سپس بررسی می‌شود که تا چه اندازه در بازار ایران تغییرات با تناوب بالای قیمت سهام را می‌توان بر حسب تغییرات نابرابری جریان سفارش توضیح داد. نتایج نشان می‌دهد که قدرت توضیح‌دهندگی متغیر نابرابری جریان سفارش قابل ملاحظه است. سوال دومی که به آن می‌پردازیم نیز این است که چه عواملی می‌توانند میزان اثرپذیری تغییرات قیمت سهام از نابرابری جریان سفارشات را

<sup>1</sup> Patzelt

<sup>2</sup> Bouchaud, J. P.

<sup>3</sup> Trade Imbalance

<sup>4</sup> Order Flow Imbalance

<sup>5</sup> Eisler

<sup>6</sup> Cont

توضیح دهند و نشان داده می‌شود که کاهش عمق بازار<sup>۱</sup> می‌تواند میزان اثرپذیری قیمت از نابرابری جریان سفارش را افزایش دهد.

فهم میزان اثرگذاری انواع سفارشات بر روی تغییرات قیمت در یافتن شیوه بهینه در خرید یا فروش سهام اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد و جایگاه آن در پژوهش‌های داخلی خالی است. هر چند رستگار و اقبال ریحانی (۱۳۹۸) مسئله سفارش‌گذاری بهینه در بازار ایران را بررسی کرده‌اند، و گزارشی از میانگین زمان و هزینه اجرای سفارش‌های مختلف که به صورت بازاری یا شرطی ارسال شوند را ارائه کرده‌اند، اما هنوز پژوهشی که میزان جابه‌جایی قیمت بر اساس سفارش‌ها را اندازه‌گیری و بر اساس آن بهینه‌سازی را انجام دهد ارائه نشده است؛ این موضوع کاملاً وابسته به پاسخی است که برای سوال پژوهش حاضر به دست می‌آید.

در ادامه، ابتدا به تبیین مبانی نظری و مرور پیشینه پژوهش‌های مشابه پرداخته شده است. در بخش بعد، داده‌های مورد استفاده در پژوهش و نحوه آماده‌سازی آن‌ها معرفی گردیده است. سپس، روش‌شناسی پژوهش تشریح و مدل تجربی و نتایج برآوردها ارائه شده است. همچنین، بخش آخر به بحث در مورد نتایج برآوردی و ارائه چند پیشنهاد کاربردی اختصاص دارد.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

ویژگی‌های مختلف دفتر سفارش (مثل قیمت، عمق، نوسان، حجم معاملات و یا فاصله عرضه و تقاضا) و ارتباط آن‌ها با یکدیگر در مقالات متعددی بررسی شده است. به‌عنوان نمونه، مدهاون<sup>۲</sup> (۱۹۹۶) با بررسی داده‌های دفتر سفارش تعدادی از الگوهای رفتاری بین این متغیرها (مانند همبستگی‌ها یا رفتارهای فصلی) را ارائه کرده و نشان داده است که افزایش شفافیت بازار می‌تواند به افزایش نوسان قیمت و کاهش نقدشوندگی منجر شود (مشابه نتیجه‌ای که حیدری و صباغ‌زاده (۱۳۹۷) برای بازار سهام تهران به دست می‌آورند).<sup>۳</sup> در این بین، رابطه بین میزان سفارش معامله‌گران و تغییرات قیمت سهم که اثر قیمت<sup>۴</sup> یک سفارش نامیده می‌شود، مفهومی آشنا برای کسانی است که دست به معامله مقدار قابل توجهی از سهام در بازه زمانی کوتاهی زده‌اند، زیرا سفارش‌های بزرگ ممکن است باعث ایجاد جابه‌جایی در قیمت بر خلاف جهت منفعت معامله‌گران و باعث تحمیل هزینه اضافی بر آن‌ها شود. موضوع این پژوهش اندازه‌گیری این اثر و توضیح عوامل موثر بر آن است.

<sup>۱</sup> Market Depth

<sup>۲</sup> Madhavan, A.

<sup>۳</sup> هرچند انتظار اولیه بر این است که شفافیت بیشتر اطلاعات منجر به کارایی بیشتر بازار شود و در نتیجه آن، نوسانات قیمت کمتر باشد، اما مدهاون نتیجه خلاف انتظار به دست آمده را بدینگونه تفسیر می‌کند که انتشار حجم سفارشات، به ویژه سفارش‌های حجیم‌تر می‌تواند باعث هیجان بیشتر بازار شود و به همین دلیل می‌تواند نوسان در بازار را افزایش دهد. البته مدهاون در ادامه نشان می‌دهد که در بازارهایی که به اندازه کافی بزرگ باشند، این موضوع برعکس خواهد بود.

<sup>۴</sup> Price Impact

به‌طور دقیق‌تر در سازوکار دفتر سفارش، ارسال یک سفارش بازاری خرید، باعث اجرای تعدادی از سفارش‌های شرطی فروش و بالاتر رفتن قیمت سرخط اول فروش در دفتر سفارش می‌شود. قیمت نیز که به‌صورت میانگین قیمت سرخط‌های اول خرید و فروش اندازه‌گیری می‌شود نیز در نتیجه آن بالا خواهد رفت. همچنین، ممکن است ارسال سفارش بازاری خرید باعث افزایش تمایل معامله‌گران به خرید بیشتر در آینده شود، و باعث شود که باقی معامله‌گران سفارش‌های شرطی خود در سرخط فروش را حذف و اصلاح کنند و سفارشات شرطی جدید در قیمت بالاتری ارسال شوند، که دوباره منجر به افزایش قیمت می‌گردد. در نهایت، اثر یک معامله انجام شده بر روی قیمت شامل اثر مستقیم خود آن سفارش بر روی قیمت و اثر سفارشات شرطی بعد از آن است. مشابه این اثر در هنگام ارسال یک سفارش بازاری فروش نیز اتفاق می‌افتد.

در مطالعات پیشین این حوزه، از اطلاعات مندرج در دفتر سفارشات هم برای پیش‌بینی قیمت سهام و معاملات الگوریتمی استفاده شده است [۱۹ و ۲۰ و ۲۲] و هم برای تخمین میزان اثرپذیری همزمان قیمت سهام از تغییرات دفتر سفارش. در مطالعات همزمان، رویکردهای متفاوتی به مدل‌سازی اثر حجم، علامت، قیمت سفارش، و نرخ آمدن سفارشات بر روی تغییرات قیمت وجود داشته است. به‌طور نمونه، برخی فقط به اثر معاملات انجام‌شده بر تغییر قیمت سهام می‌پردازند [۱۲] و برخی دیگر، اثر همه اتفاقات دفتر سفارش - چه آن‌ها که منجر به معامله می‌شوند و چه آن‌ها که نمی‌شوند را در نظر می‌گیرند [۷].

کایل (۱۹۸۵) رابطه بین حجم معامله به‌عنوان متغیر توضیحی و تغییرات قیمت سهم به‌عنوان متغیر وابسته را به‌صورت یک مدل خطی شبیه‌سازی کرده است. وی همچنین متغیر لاندای کایل را که از ضریب متغیر توضیحی در تحلیل خطی گفته شده به دست می‌آید را به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری عمق بازار تعریف کرده است [۱۲]. فرض دیگر او در این مدل‌سازی ثابت بودن اثر سفارشات در طول زمان بر تغییرات قیمت است. اگر  $\Delta P$  نشان‌دهنده تغییرات قیمت بعد از انجام یک سفارش،  $V$  نشان‌دهنده حجم سفارش انجام شده و  $I$  نشانگر نوع معامله باشد ( $I = 1$  اگر نوع سفارش خرید باشد و  $I = -1$  برای سفارش فروش)،  $\lambda$  ای که از اندازه‌گیری رابطه  $\Delta P = \lambda IV$  به کمک مطالعه تجربی به دست می‌آید نشان‌دهنده اثر معامله هر یک واحد سهم بر روی تغییرات قیمت است که لاندای کایل نامیده می‌شود. از جمع زدن این رابطه برای چند واحد زمانی متوالی می‌توان به توضیح تغییرات قیمت در زمان‌های بلندتر به کمک متغیرهای تجمیع شده<sup>۱</sup> در طول زمان پرداخت. (مانند نابرابری معاملات که از جمع علامت‌دار حجم معاملات انجام شده متوالی به دست می‌آید)

<sup>۱</sup> Aggregated Impact

همان طور که اشاره شد رویکردهای متفاوتی به توسعه مدل بالا وجود دارد. تفاوت این رویکردها در انتخاب و نحوه محاسبه متغیری از دفتر سفارش است که قرار است ارتباط آن با قیمت مورد مطالعه بگیرد. یک رویکرد فقط به تاثیر اجرای سفارش‌های بازاری (و بدون استفاده از متغیرهای تجمیع شده) بر روی تغییرات قیمت می‌پردازند. در نقد این رویکرد، بوچاد و همکاران (۲۰۰۹) نشان داده‌اند که همبستگی کمی بین میزان حجم هر سفارش بازاری و تغییرات قیمت وجود دارد (برخلاف فرض خطی بودن رابطه بین حجم و تغییرات قیمت در مدل کایل)، ولی در عین حال همبستگی مثبت بالایی بین تغییرات قیمت و علامت این سفارشات وجود دارد که نشان‌دهنده اهمیت اثر علامت معاملات به جای حجم آن‌ها در توضیح تغییرات قیمت است. همچنین به خاطر شکسته شدن سفارش‌های بزرگتر به سفارش‌های کوچکتر متوالی توسط معامله‌گران (که به خاطر کاهش اثر آن‌ها بر روی قیمت رخ می‌دهد)، همبستگی مثبتی بین علامت سفارش‌های بازاری متوالی وجود دارد که باعث می‌شود یک سفارش جدید با علامتی بر خلاف علامت‌های گذشته، شامل اثر بیشتری بر روی قیمت باشد (بر خلاف فرض یکسان بودن  $\lambda$  در بازه‌های کوتاه زمانی). در یک مطالعه مشابه برای بازار سهام تهران، رستگار، تیموری و باقریان (۱۳۹۷) نشان می‌دهند که در طی روز، با نزدیک شدن به انتهای بازار، نقدشوندگی افزایش می‌یابد و از میزان اثر قیمتی یک معامله کاسته می‌شود. در این رویکرد، باقی رویدادها (اضافه شدن سفارشات شرطی، حذف و اصلاح) که بین دو سفارش بازاری متوالی رخ می‌دهند تابعی از این سفارشات بازاری در نظر گرفته می‌شود، به‌صورتی که بین هر دو سفارش بازاری متوالی، این رویدادها با آن که علاوه بر خود آن سفارش بازاری منجر به تغییر قیمت می‌شوند ولی اثر آن‌ها همراه با سفارش بازاری پیش از آن‌ها یکجا اندازه‌گیری می‌شود. در مدل‌سازی‌های جدیدتر در واقع خود قیمت نیز یک ویژگی استخراج شده از دفتر سفارش است و در نظر گرفتن اثر تمام رویدادهای دفتر سفارش به صورت تفکیک شده امکان آن را فراهم می‌کند که تغییرات قیمت به شکل یک فرمول دقیق و صریح از تمام انواع رویدادهای دفتر سفارش بیان شود [۱۰].

رویکرد دیگر استفاده از متغیرهای تجمیع شده‌ای مانند نابرابری جریان سفارش است که این پژوهش نیز در این حوزه قرار می‌گیرد (نابرابری جریان سفارش حاصل تجمیع حجم سفارش‌های شرطی و بازاری است). این پژوهش‌ها به مطالعه اثر تجمیع شده سفارشات بر روی قیمت در بازه‌های زمانی بزرگتر می‌پردازند و همچنین سعی می‌کنند که عوامل موثر بر تغییرات  $\lambda$  را در بلندمدت توضیح دهند. پژوهش‌های تجربی این حوزه نشان داده‌اند که بین متغیر تجمیعی حجم سفارشات انجام شده و تغییرات قیمت رابطه مثبتی وجود دارد و توزیع شرطی تغییرات قیمت بر

اساس این متغیر به شکل تابع سیگموئید<sup>۱</sup> است [۱۵]. هنوز مدلی ارائه نشده است که بتواند انواع مشاهدات در این دو رویکرد را در یک مدل واحد به درستی توجیه کند.

کنت و همکاران (۲۰۱۴) با فراتر رفتن از صرف معاملات انجام شده، متغیر نابرابری جریان سفارش را به گونه‌ای تعریف می‌کنند که این متغیر اثر همه اتفاقات سرخط اول دفتر سفارش (و نه صرفاً معاملات) را تجمیع می‌کند و سپس آن‌ها اثر این متغیر را بر تغییر قیمت سهم اندازه می‌گیرند. در سرخط اول دفتر سفارش هشت اتفاق می‌افتد که شامل سفارش بازاری، حذف، اصلاح و اضافه شدن سفارش‌های شرطی در هر کدام از سمت‌های دفتر سفارش است. هر کدام از این اتفاقات در راستای افزایش یا کاهش حجم عرضه و تقاضا است. با جمع زدن حجم‌های مربوط به افزایش تقاضا و محاسبه تفاضل آن از مجموع حجم‌های مربوط به عرضه در بازه‌های زمانی کوتاه (۱۰ ثانیه)، خالص افزایش حجم تقاضا در آن بازه زمانی به دست می‌آید. این متغیر به‌عنوان نابرابری جریان سفارش نام‌گذاری می‌شود. کنت و همکاران (۲۰۱۴) نشان می‌دهند که در بیش از ۹۵ درصد رگرسیون‌ها، اثر متغیر نابرابری جریان سفارش بر تغییرات قیمت سهم از لحاظ آماری معنادار و مثبت است. همچنین، متغیر نابرابری جریان سفارش در مقایسه با متغیر نابرابری معاملات<sup>۲</sup> (متغیری مشابه نابرابری جریان سفارش که فقط از روی معاملات انجام شده تعریف می‌شود) دارای قدرت توضیح دهنده بالاتری (به‌طور میانگین دارای  $R^2$  بیست درصد بالاتر) در توضیح تغییرات قیمت سهام در رگرسیون‌های با تناوب بالا است. ضمن اینکه، بعد از کنترل کردن اثر نابرابری جریان سفارش، ضریب متغیر نابرابری معاملات به لحاظ آماری معنادار نیست. علاوه بر این، کنت و همکاران (۲۰۱۴) نشان می‌دهند که نابرابری جریان سفارش، با شاخص عمق بازار رابطه معکوس دارد. مشابه این مطالعه، دنیر و همکاران (۲۰۱۵) بر اساس فرض خطی بودن رابطه فوق‌الذکر در بازه‌های کوتاه مدت، یک مدل غیرخطی بین تغییرات قیمت سهم و رویدادهای دفتر سفارش برای دوره‌های بلندمدت ارائه می‌دهند. اخیراً نیز زو<sup>۳</sup> و همکاران (۲۰۲۰) با توسعه پژوهش کنت و همکاران (۲۰۱۴)، تعریف نابرابری جریان سفارش را به سرخط‌های بالاتر دفتر سفارش گسترش داده‌اند.

پژوهش حاضر از روشی مشابه کنت و همکاران (۲۰۱۴) و زو و همکاران (۲۰۲۰) بهره می‌گیرد تا بررسی کند که آیا نتایج آن مقالات در بازار سهام تهران (یعنی بازاری با شرایط متفاوت و عمق کمتر) نیز قابل تکرار است. با توجه به این که متغیر عمق در این پژوهش نقشی کلیدی دارد مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از یک بازار کم‌عمق با نتایج مقالات فوق جالب توجه خواهد بود. در بخش روش‌شناسی پژوهش، تجزیه و تحلیل داده‌ها و آزمون فرضیه‌ها، روش این

<sup>۱</sup> Sigmoid

<sup>۲</sup> Trade Imbalance

<sup>۳</sup> Xu, K.



دو مقاله برای تعریف متغیر نابرابری جریان سفارش و اندازه‌گیری اثر آن بر روی تغییرات قیمت سهم بیان خواهد شد.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش از داده‌های یک سال دفتر سفارش سهام (از هفتم دی ۱۳۹۸ تا یازدهم دی ۱۳۹۹)<sup>۱</sup> استفاده شده است که در سایت شرکت مدیریت فناوری بورس تهران<sup>۲</sup> برای عموم قابل دسترسی است. شرکت‌های حاضر در بورس تهران بر اساس اندازه بازار آن‌ها در انتهای این بازه زمانی مرتب شده‌اند و با توجه به محدودیت توان پردازش اطلاعات، به بررسی اطلاعات ۳۰ شرکت بزرگ‌تر بورس تهران<sup>۳</sup> در ابتدای دوره پژوهش اکتفا شده است. برای سهم‌های مختلف بین سه تا پنج سرخط در هر یک از طرفین عرضه و تقاضای دفتر سفارش وجود دارد و گاه طی هر دقیقه چندین بار به روز رسانی می‌شوند (با آمدن هر سفارش جدید این داده‌ها یک‌بار تغییر می‌کنند). با توجه به اینکه برای همه سهم‌ها در کل بازه زمانی مورد مطالعه، اطلاعات مربوط به پنج سرخط اول در دفتر سفارش در دسترس نیست، برای آن که رفتار همگنی با همه سهم‌ها صورت گیرد، برای همه سی شرکت فقط از داده‌های سه سرخط اول آن‌ها استفاده شده است. برای دریافت اطلاعات دفتر سفارش از سایت بورس، یک خزنده<sup>۴</sup> وب (با استفاده از زبان پایتون) توسط نویسندگان مقاله نوشته شده و سپس داده‌های استخراج شده پاکسازی شده است. با توجه به این که در ایران پدیده صف خرید و فروش وجود دارد که طی آن قیمت سهم تغییر نمی‌کند ولی داده‌های دفتر سفارش تغییر می‌کند، داده‌های مربوط به زمان‌های صف خرید و فروش حذف شده است تا اثر نابرابری جریان سفارش بر تغییرات قیمت کمتر از میزان واقعی برآورد نشود.

### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌ها

ابتدا مدل برای حالتی تشریح خواهد شد که فقط از داده‌های سرخط اول دفتر سفارش برای مطالعه استفاده شود. در گام اول، تغییرات حجم در سرخط اول دفتر سفارش (هم سمت عرضه و هم سمت تقاضا به صورت جداگانه) بین دو رویداد متوالی محاسبه می‌شود. تغییرات حجمی که به خاطر یک سفارش اتفاق می‌افتد، که با متغیر  $E$  آن را نشان داده می‌شود، توان سفارش نام دارد. علامت این متغیر نیز طوری انتخاب می‌شود که علامت مثبت نشان دهنده افزایش حجم و علامت منفی نشان دهنده کاهش حجم در سمت مربوطه در دفتر سفارش باشد. به طور خلاصه، شیوه محاسبه توان سفارش در سمت تقاضا به این شرح است:

<sup>۱</sup> معادل سال ۲۰۲۰ میلادی

<sup>۲</sup> Tsemc.com

<sup>۳</sup> لیست اسامی ۳۰ شرکت در پیوست مقاله ذکر شده است.

<sup>۴</sup> در ادامه پژوهش از تحلیل حساسیت برای نشان دادن احتمال بالای تعمیم‌پذیری نتایج به بقیه زمان‌ها و سهم‌ها استفاده شده است.

<sup>۵</sup> Crawler

$$E_{bid} = \begin{cases} V_1 & b_1 > b_0 \\ V_1 - V_0 & b_1 = b_0 \\ -V_0 & b_1 < b_0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در معادله بالا،  $E_{bid}$  نشان‌دهنده توان سفارش در سمت تقاضا،  $V_0$  نشان‌دهنده حجم سرخط اول تقاضا قبل از آمدن سفارش جدید،  $V_1$  نشان‌دهنده حجم سرخط اول تقاضا بعد از آمدن سفارش جدید،  $b_0$  نشان‌دهنده قیمت سرخط اول تقاضا قبل از آمدن سفارش جدید و  $b_1$  قیمت سرخط اول تقاضا بعد از آمدن سفارش جدید است. فرمول ۱ را می‌توان بدین شکل تشریح کرد؛ اگر بعد از هر کدام از رویدادهای چهارگانه در دفتر سفارش در سمت تقاضا، قیمت افزایش یابد  $b_1 > b_0$ ، این بدان معناست که بعد از آن رویداد، با سرخط جدیدی در سمت تقاضا روبه‌رو هستیم. در این حالت تمامی حجم سرخط اول (که جدیداً ایجاد شده) به‌عنوان توان این رویداد در نظر گرفته می‌شود که نشان‌گر افزایش تقاضا برای سهم است. اگر بعد از رویداد قیمت نسبت به قبل پایین‌تر آمده بود  $b_1 < b_0$ ، حجم سرخط اول پیشین را با علامت منفی به‌عنوان توان رویداد در نظر گرفته می‌شود که یا نشان‌دهنده کاهش تقاضا (در صورت حذف شدن سفارش سرخط اول) یا افزایش عرضه (اجرا شدن یک سفارش بازاری در سرخط اول تقاضا) است. اگر بعد از رویداد، قیمت سرخط اول ثابت بماند، تفاضل حجم فعلی و پیشین سرخط اول به‌عنوان توان سفارش در نظر گرفته می‌شود. مشابه همین رابطه را برای سمت عرضه نیز تعریف می‌شود:

$$E_{ask} = \begin{cases} U_1 & a_1 < a_0 \\ U_1 - U_0 & a_1 = a_0 \\ -U_0 & a_1 > a_0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در معادله بالا،  $E_{ask}$  نشان‌دهنده توان سفارش در سمت عرضه،  $U_0$  نشان‌دهنده حجم سرخط اول عرضه قبل از آمدن سفارش جدید،  $U_1$  نشان‌دهنده حجم سرخط اول عرضه بعد از آمدن سفارش جدید،  $a_0$  نشان‌دهنده قیمت سرخط اول عرضه قبل از آمدن سفارش جدید و  $a_1$  قیمت سرخط اول عرضه بعد از آمدن سفارش جدید است.

در گام دوم با جمع کردن توان سفارش‌های مربوط به سرخط‌های اول تقاضا و عرضه به‌صورت جداگانه در طول یک بازه ۳۰ ثانیه‌ای و محاسبه تفاضل آن‌ها، نابرابری جریان سفارش در این ۳۰ ثانیه محاسبه می‌گردد.<sup>۱</sup> هر روز معاملاتی در بازار ایران برابر ۲۱۰ دقیقه است. این

<sup>۱</sup> کنت و همکاران (۲۰۱۴) و زو و همکاران (۲۰۲۰) از زمان تجمیع ۱۰ ثانیه برای اتفاقات دفتر سفارش و بازه ۳۰ دقیقه برای انجام رگرسیون استفاده کرده‌اند. بعد از انجام پاکسازی بر روی داده‌ها مشاهده شد که تعداد رویدادهای دفتر سفارش در بازار سهام تهران کمتر از آن است که متغیر نابرابری جریان سفارش محاسبه شده بر اساس یک بازه ۱۰ ثانیه‌ای بتواند اطلاعات مفیدی از تحولات تقاضا و عرضه سهام را منعکس کند (گاهی در یک بازه ۱۰ ثانیه‌ای هیچ رویدادی در دفتر سفارش رخ نمی‌دهد). به همین دلیل تصمیم گرفته شد که یک بازه ۳۰ ثانیه‌ای بجای بازه ۱۰ ثانیه‌ای برای محاسبه نابرابری جریان سفارش در نظر گرفته شود و متعاقباً بازه زمانی رگرسیون نیز به نحوی افزایش یافت که در هر بازه، تعداد مشاهدات کافی برای انجام رگرسیون - یعنی ۱۰۵ مشاهده - موجود باشد (که می‌شود معادل یک بازه ۵۲/۵ دقیقه‌ای).

بازه زمانی به ۴۲۰ بخش مساوی ۳۰ ثانیه‌ای تقسیم می‌شود و برای هر یک از این بازه‌های ۳۰ ثانیه‌ای، متغیر نابرابری جریان سفارش (OFI)، بدین شکل محاسبه می‌گردد:

$$OFI_t = \sum_{E \in t} E_{bid} - \sum_{E \in t} E_{ask} \quad \text{رابطه (۳)}$$

که هر  $t$  نشان‌گر یک بازه ۳۰ ثانیه‌ای است. برای هر یک از این بازه‌های ۳۰ ثانیه‌ای تغییر قیمت سهم نیز محاسبه می‌گردد. سپس این ۴۲۰ مشاهده به چهار دسته مساوی ۱۰۵ مشاهده‌ای تقسیم می‌شود (این دسته‌ها با  $i$  نشان داده می‌شود). در مرحله بعد یک رگرسیون روی هر دسته ۱۰۵ مشاهده‌ای انجام می‌شود. پس برای هر سهم در کل یک‌سال (که معادل ۲۵۵ روز کاری منهای تعطیل‌های رسمی، روزهای بسته بودن سهم و بازه‌هایی است که صف خرید یا فروش تشکیل شده است)، به ازای هر روز معاملاتی چهار رگرسیون اجرا خواهد شد که هر کدام شامل ۱۰۵ مشاهده خواهند بود و در نتیجه، در مجموع در حدود ۱۰۲۰ رگرسیون برای هر سهم اجرا می‌شود.

دلیل این که برای تمام مشاهدات دوره یک‌ساله فقط یک رگرسیون اجرا نمی‌شود و این بازه را به تکه‌های کوچک ۱۰۵ مشاهده‌ای تقسیم می‌شود این است که رابطه‌ی نابرابری جریان سفارش با تغییرات قیمت سهم الزاماً ثابت نیست و ممکن است در طول زمان تغییر کند و مثلاً از شرایط بازار و اثرات فصلی تاثیر بگیرد. لازم به ذکر است که وقتی به‌عنوان آزمایش، رگرسیون بر روی یک بازه دو ماهه انجام شد،  $R^2$  برابر با ۵ درصد مشاهده گردید که در مقایسه با  $R^2$  های ارائه‌شده در مقاله حاضر (برای بازه‌های زمانی حدوداً ۵۰ دقیقه‌ای) که میانگین  $R^2$  آن‌ها حدود ۱۹ درصد برآورد شده، به‌طور قابل توجهی کوچک‌تر است.

رابطه رگرسیون بین تغییرات قیمت سهم و نابرابری جریان سفارش به این شکل خواهد بود:

$$ret_t^s = \alpha_t^s + \beta_t^s OFI_t^s + \varepsilon_t^s \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه بالا،  $S$  اندیس مربوط به سهم است  $1 \leq S \leq 30$ ،  $i$  نماد یک رگرسیون است که روی یک دسته ۱۰۵ مشاهده‌ای اجرا می‌شود  $1 \leq i \leq 1020$  و  $t$  اندیس هر یک از ۱۰۵ مشاهده است که هر کدام جداگانه بر اساس یک بازه ۳۰ ثانیه‌ای محاسبه شده‌اند. ضریب بتا که از این رابطه به دست می‌آید نشان می‌دهد که نابرابری جریان سفارش تا چه میزان بر روی تغییرات قیمت سهم در کوتاه مدت اثرگذار خواهد بود. نتایج این رگرسیون در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱. ضرایب حاصل از رگرسیون تغییرات قیمت بر نابرابری جریان سفارش (فرمول ۴)

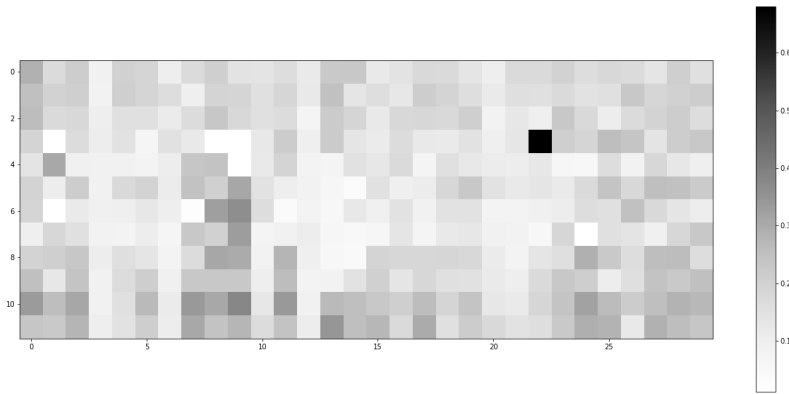
|                         | t-stats median | p-value median | +5% significant |
|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| $\alpha$                | ۰/۰۳           | ۰/۵۶           | ۴/۵%            |
| $\beta$                 | ۴/۲۲           | ۰/۰۰           | ۸۲/۵%           |
| Average( $R^2$ ) = ۰/۱۹ |                |                |                 |

توضیحات: این جدول تجمیع نتایج حاصل از رگرسیون‌های فرمول ۴ و تاثیرپذیری متغیر  $ret$  (رشد قیمت) از OFI (نابرابری جریان سفارش) را نشان می‌دهد. این متغیرها در طول بازه‌های ۳۰ ثانیه‌ای برای هر سهم اندازه‌گیری شده‌اند. هر رگرسیون مربوط به ۱۰۵ مشاهده (اندیس  $t$ ) است و سپس میانه ضرایب رگرسیون‌ها برای ۱۰۲۰ رگرسیون (اندیس  $i$ ) مربوط به هر ۳۰ سهم (اندیس  $s$ ) در بالا محاسبه شده‌اند. ستون آخر نیز درصد ضرایب همه‌ی رگرسیون‌ها را گزارش می‌دهد که در سطح درصد ۵ معنادار هستند.

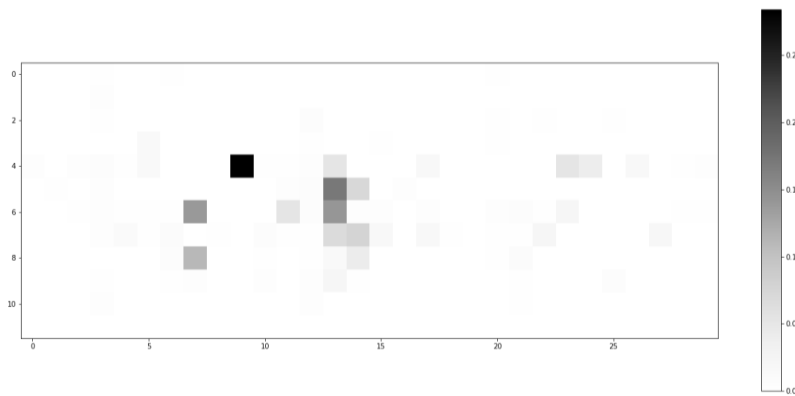
چنانکه مشاهده می‌شود، میانه آماره  $t$  مربوط به ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  در بین همه رگرسیون‌های اجرا شده به ترتیب برابر  $۰/۰۳$  و  $۴/۲۲$  به دست آمده است. (تعداد کل رگرسیون‌ها برابر است با ۳۰ سهم  $\times$  ۴ رگرسیون در روز  $\times$  حداکثر ۲۵۵ روز کاری در سال  $= ۳۰۶۰۰$ ). میانه آماره  $t$ -stat در مقایسه با میانگین این آماره می‌تواند شهود مناسب‌تری ارائه کند زیرا به علت وجود مقادیر بسیار بزرگ برای  $t$ -stat در برخی رگرسیون‌ها، میانگین می‌تواند گمراه‌کننده باشد. همان‌طور که در ستون آخر مشاهده می‌شود، بیشتر از ۸۰ درصد ضرایب  $\beta$  در همه رگرسیون‌ها در سطح ۵ درصد معنادار هستند. در مجموع، نتایج نشان می‌دهند که متغیر نابرابری جریان سفارش به‌صورت معناداری می‌تواند تغییرات قیمت سهم را توضیح دهد، هرچند که نتایج به دست آمده ضعیفتر از نتایج گزارش شده توسط کنت و همکاران (۲۰۱۴) برای بازار سهام نیویورک است [۷]. بر اساس نتایجی که ایشان ارائه کرده‌اند، میانگین آماره  $t$  مربوط به ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  به ترتیب برابر  $۰/۲$  و  $۱۱/۴۷$  به دست آمده، بیشتر از ۹۵ درصد ضرایب  $\beta$  در همه رگرسیون‌ها در سطح ۵ درصد معنادار بوده‌اند، و میانگین  $R^2$  رگرسیون‌ها برابر ۶۷ درصد بوده است.

برای کسب اطمینان نسبت به نتایج به دست آمده از جدول ۱ و تحلیل حساسیت این نتایج نسبت به زمان و به سهم‌های مختلف، میانگین ماهانه آماره‌های  $R^2$  و  $p$ -values را برای معادله ۴ در سهم‌ها و ماه‌های مختلف در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده‌ایم (در هر دو نمودار، محور افقی نشان‌گر شماره سهم و محور عمودی نشان‌گر شماره ماه است). همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود برای نتایج مربوط به  $R^2$ ، اثر فصلی<sup>۱</sup> - یعنی الگوی افقی تکرار شونده در بین سهم‌ها - وجود ندارد (نقاط سفید در شکل ۱ مربوط به بازه‌هایی است که سهام در بازار بسته بوده و معاملات انجام نمی‌شده که آن را از داده‌ها حذف کرده‌ایم). شکل ۲ نیز نشان می‌دهد ضرایب  $\beta$  برای اکثریت سهام در بیشتر زمان‌ها در سطح درصد ۵ معنادار است و لذا نتایج ارایه شده در جدول ۱ در هیچ بازه زمانی یا در هیچ سهمی به‌طور قابل ملاحظه‌ای نقض نشده‌اند.

<sup>۱</sup> Seasonal Effect



شکل ۱ میانگین میزان  $R^2$  رگرسیون‌های فرمول ۴ برای سهام و ماه‌های مختلف  
توضیحات: محور افقی نشان‌گر شماره سهم و محور عمودی نشان‌گر شماره ماه است.



شکل ۲ میانه میزان  $P$ -values رگرسیون‌های فرمول ۴ برای سهام و ماه‌های مختلف  
توضیحات: محور افقی نشان‌گر شماره سهم و محور عمودی نشان‌گر شماره ماه است.

در ادامه، مشابه زو و همکاران (۲۰۲۰) متغیر نابرابری جریان سفارش برای سرخط‌های بالاتر نیز تعریف می‌شود [۲۱]. در این تعریف هر سرخط از سمت تقاضا را با سرخط مشابه از طرف عرضه متناظر خواهد شد و مجموع توان سفارش‌های آن‌ها از هم کم می‌شود. اندیس  $l$  در بالای نمادها نشان‌دهنده شماره سرخط است. برای سمت تقاضا داریم:

$$E_{bid}^l = \begin{cases} V_1^l & b_1^l > b_0^l \\ V_1^l - V_0^l & b_1^l = b_0^l \\ -V_0^l & b_1^l < b_0^l \end{cases} \quad \text{رابطه (۵)}$$

و همچنین برای سمت عرضه به صورت مشابه داریم:

$$E_{ask}^l = \begin{cases} U_1^l & a_1^l < a_0^l \\ U_1^l - U_0^l & a_1^l = a_0^l \\ -U_0^l & a_1^l > a_0^l \end{cases} \quad \text{رابطه (۶)}$$

و در نهایت نابرابری جریان سفارش برای سرخط  $l$  ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$OFI_t^l = \sum_{E \in t} E_{bid}^l - \sum_{E \in t} E_{ask}^l \quad \text{رابطه (۷)}$$

مدل رگرسیون خطی تغییرات قیمت سهام بر روی نابرابری‌های جریان سفارش در سرخط‌های مختلف به صورت زیر خواهد بود:

$$ret_t^s = \alpha_i^s + \sum_l \beta_i^{s,l} OFI_t^{s,l} + \varepsilon_t^s \quad \text{رابطه (۷)}$$

در رابطه بالا،  $l$  اندیس مربوط به شماره سرخط است  $1 \leq l \leq 3$ ،  $s$  اندیس مربوط به سهام است  $1 \leq s \leq 30$ ،  $i$  نماد یک رگرسیون است که روی یک دسته ۱۰۵ مشاهده‌ای اجرا می‌شود و  $1 \leq i \leq 1020$  و  $t$  اندیس هر یک از ۱۰۵ مشاهده است که هر کدام جداگانه بر اساس یک بازه ۳۰ ثانیه‌ای محاسبه شده‌اند.

لازم به ذکر است که پیش از این، بدری و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش هاسبروک نشان داده‌اند که در بازار سهام تهران سرخط‌های بالاتر دفتر سفارش‌ها به نسبت سرخط اول شامل اطلاعات بیشتری در مورد جابه‌جایی قیمت سهام هستند. نکته‌ای که باید به هنگام تحلیل نتایج رگرسیون فوق (معادله ۸) بدان توجه داشت این است که بین نابرابری جریان سفارش در سرخط‌های مختلف همبستگی بالایی وجود دارد که طبیعتاً باعث افزایش هم‌خطی در رگرسیون می‌شود. در نتیجه، به صورت پیشینی مورد انتظار است که با افزایش واریانس ضرایب تخمین زده شده، از معناداری آن‌ها کاسته شود. جدول ۲ همبستگی نابرابری جریان سفارش را در سرخط‌های مختلف برای سهم فولاد (در طول دو ماه) به تصویر می‌کشد که حاکی از همبستگی بالای بین آن‌هاست.

جدول ۲. ضریب همبستگی سرخط‌های مختلف نابرابری جریان سفارش برای سهم فولاد

|         | $OFI^1$ | $OFI^2$ | $OFI^3$ | $OFI^4$ | $OFI^5$ |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $OFI^1$ | ۱/۰۰    | ۰/۳۷    | ۰/۴۰    | ۰/۴۶    | ۰/۴۵    |
| $OFI^2$ | -۰/۳۷   | ۱/۰۰    | ۰/۳۳    | ۰/۳۲    | -۰/۲۶   |
| $OFI^3$ | -۰/۴۰   | ۰/۳۳    | ۱/۰۰    | ۰/۶۳    | ۰/۵۵    |
| $OFI^4$ | -۰/۴۶   | ۰/۳۲    | ۰/۶۳    | ۱/۰۰    | ۰/۶۶    |
| $OFI^5$ | -۰/۴۵   | -۰/۲۶   | ۰/۵۵    | ۰/۶۶    | ۱/۰۰    |

توضیحات: این جدول همبستگی متغیر  $OFI$  (نابرابری جریان سفارش) را در پنج سرخط اول دفتر سفارش نشان می‌دهد که همبستگی بالای آن‌ها دلیل کاهش تعداد ضرایبی است که در سطح ۵ درصد معنادار هستند.

در جدول ۳ نتایج حاصل از انجام رگرسیون تغییرات قیمت سهم بر روی نابرابری جریان سفارش تا سه سرخط اول دفتر سفارش را مشاهده می‌کنید (معادله ۸). اکثر بتاها معنادار هستند، ولی همان‌طور که انتظار می‌رفت در مقایسه با جدول ۱ درصد معناداری هر یک از بتاها کمتر شده است. اما از سوی دیگر، با افزودن نابرابری جریان سفارش در سرخط‌های بالاتر به رگرسیون،  $R^2$  به میزان ۱۶ درصد نسبت به جدول ۱ افزایش می‌یابد.

جدول ۳ نتایج رگرسیون تغییرات قیمت بر مراتب بالاتر نابرابری جریان سفارش (فرمول ۸)

|                         | t-stats median | p-value median | 5% significant |
|-------------------------|----------------|----------------|----------------|
| $\alpha$                | -۰/۰۴۳         | ۰/۵۵           | ۴٪             |
| $\beta^1$               | ۲/۳۲           | ۰/۰۲           | ۶۰٪            |
| $\beta^2$               | ۱/۳۳           | ۰/۱۴           | ۳۷٪            |
| $\beta^3$               | ۲/۳۸           | ۰/۰۲           | ۶۰٪            |
| Average( $R^2$ ) = ۰/۳۵ |                |                |                |

توضیحات: این جدول تجمیع نتایج حاصل از رگرسیون‌های معادله ۸ و تاثیرپذیری متغیر  $ret$  (رشد قیمت) از OFI (نابرابری جریان سفارش) در سه سرخط اول دفتر سفارش را نشان می‌دهد. این متغیرها در طول بازه‌های ۳۰ ثانیه‌ای برای هر سهم اندازه‌گیری شده‌اند. هر رگرسیون مربوط به ۱۰۵ مشاهده (اندیس  $t$ ) است و سپس میانگین ضرایب رگرسیون‌ها برای ۱۰۲۰ رگرسیون (اندیس  $i$ ) مربوط به هر ۳۰ سهم (اندیس  $s$ ) در بالا محاسبه شده‌اند. ستون آخر نیز درصد ضرایب همه‌ی رگرسیون‌ها را گزارش می‌دهد که در سطح درصد معنادار هستند.

کنت و همکاران (۲۰۱۴) با در نظر گرفتن دو فرض (۱) ثابت بودن عمق بازار در سطوح مختلف قیمت دفتر سفارش در یک مقطع از زمان، و (۲) این که حذف و اضافه‌شدن سفارش‌های شرطی فقط در سرخط اول اتفاق می‌افتد، به‌صورت نظری اثبات می‌کنند که تحت این شرایط، باید بین تغییرات قیمت سهم و حاصل ضرب نابرابری جریان سفارش در معکوس عمق بازار یک رابطه خطی برقرار باشد. به همین دلیل ایشان ادعا می‌کنند که عمق بازار تعیین‌کننده ضریب متغیر نابرابری جریان سفارش در فرمول ۴ است (یعنی ضریب بتا). در این پژوهش نیز در ادامه، رابطه بین ضریب بتا با عمق بازار بررسی می‌شود. به این منظور ضرایب بتای به دست آمده از هر رگرسیون ۱۰۵ مشاهده‌ای از فرمول ۴ (جدول ۱) در کل سال برای یک سهم در یک نمونه جمع خواهد شد و سپس ضریب بتا روی عمق بازار رگرس می‌شود (۳۰ رگرسیون برای ۳۰ سهم مختلف).

$$\log \beta_i^s = c + \lambda^s \log AD\_mean_i^s + v_i \quad \text{رابطه (۸)}$$

در رابطه ۸،  $s$  اندیس مربوط به سهام است  $1 \leq s \leq 30$ ، و  $i$  نماد رگرسیونی است که روی یک دسته ۱۰۵ مشاهده‌ای اجرا شده است  $1 \leq i \leq 1020$ . متغیر  $AD\_mean$  نشان‌دهنده میانگین عمق بازار در طول یک بازه ۱۰۵ مشاهده‌ای است. تعریف متغیر عمق (میانگین حجم‌های سرخط دو طرف عرضه و تقاضا) نیز بدین شکل است:

$$AD_t = \frac{1}{2|t|} \sum_{E \in t} (q_E^{ask} + q_E^{bid}) \quad \text{رابطه (۹)}$$

و  $q$  در معادله بالا نشان دهنده حجم موجود در سرخط‌های عرضه و تقاضا است. نتایج در جدول ۴ ارائه شده است:

جدول ۴ نتایج رگرسیون ضرایب بتا بر عمق بازار (معادله ۹)

|                         | t-stats median | p-value median | +5% significant |
|-------------------------|----------------|----------------|-----------------|
| $c$                     | -۱۹/۹۴         | ۰/۰۰           | ۱۰۰%            |
| $\lambda$               | -۳۳/۲۳         | ۰/۰۰           | ۱۰۰%            |
| Average( $R^2$ ) = ۰/۴۴ |                |                |                 |

توضیحات: این جدول، تجمیع نتایج حاصل از رگرسیون‌های معادله ۹ را نشان می‌دهد. معادله ۹ بیانگر رابطه متغیر  $\beta$  (ضریب اثرپذیری تغییرات قیمت از نابرابری جریان سفارش که از رگرسیون فرمول ۴ و نتایج جدول ۱ به دست آمده است) با  $AD\_mean$  (میانگین عمق بازار در بازه زمانی مشابهی که  $\beta$  اندازه‌گیری شده است) است. هر رگرسیون مربوط به حداکثر ۱۰۲۰ مشاهده (اندیس  $i$ ) از  $\beta$  و  $AD\_mean$  است و سپس میانه ضرایب رگرسیون‌ها برای ۳۰ رگرسیون مربوط به ۳۰ سهم (اندیس  $S$ ) در جدول نمایش داده شده‌اند. ستون آخر نیز درصد ضرایب همه‌ی رگرسیون‌ها را گزارش می‌دهد که در سطح درصد ۵ معنادار بوده‌اند.

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده می‌کنید برای هر ۳۰ سهم، یک رابطه معنادار (در سطح ۵ درصد) بین (لگاریتم) ضریب بتا و (لگاریتم) عمق بازار به دست می‌آید و (لگاریتم) عمق بازار به تنهایی ۴۴ درصد تغییرات (لگاریتم) بتا را توضیح می‌دهد. لذا همان‌طور که انتظار می‌رفت، نتایج نشان می‌دهد در شرایطی که عمق بازار کمتر است امکان دستکاری قیمتی بالاتر است. در مقاله کنت و همکاران (۲۰۱۴)، میانگین آماره  $t$  مربوط به ضریب  $\lambda$  برابر ۲۹/۵۳- و میانگین  $R^2$  برابر ۷۴ درصد گزارش شده است.

## ۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا با به کارگیری داده‌های دفتر سفارش ۳۰ سهم بزرگ بازار سهام تهران نشان داده شد که متغیر نابرابری جریان سفارش اثر معناداری بر تغییرات قیمت سهام دارد. یکی از چالش‌های این پژوهش کمتر بودن تعداد سفارش‌هایی است که در بازار کم عمق در مقایسه با یک بازار عمیق در واحد زمانی مشابه رخ می‌دهد. به همین دلیل تجمیع متغیر نابرابری جریان سفارش در طول یک بازه ۳۰ ثانیه‌ای صورت گرفت و در نهایت، درصد ۸۲/۵ از ضرایب متغیر نابرابری جریان سفارش در رگرسیون‌های انجام شده در سطح معناداری درصد ۵ قرار داشتند. در مقاله کنت و همکاران (۲۰۱۴) این رقم با استفاده از بازه‌های ۱۰ ثانیه‌ای برابر ۹۵ درصد بود. همچنین، میزان اثرگذاری این متغیر بر روی تغییرات قیمت سهم با میزان عمق بازار رابطه معکوس دارد (با میانگین  $R^2$  برابر درصد ۴۴). همچنین مشابه با مقاله کنت و همکاران (۲۰۱۴) در تمامی رگرسیون‌های انجام شده ضریب عمق بازار در سطح ۵ درصد معنادار بود.



همچنین علاوه بر کارهای گذشته با نشان دادن پراکندگی میانگین  $R^2$  و p-value رگرسیون‌های انجام شده در دو بعد سهام و زمان، دیده شد که این نتایج به تغییرات در این دو حساس نیستند و در نتیجه نتایج به دست آمده به طور قابل توجهی پایدار است. سپس در ادامه پژوهش بدری و همکاران (۱۳۹۵) و با استفاده از روش مقاله زو و همکاران (۲۰۲۰) نشان داده شد که استفاده از اطلاعات سرخط‌های دوم و سوم منجر به افزایش ۱۶ درصدی میزان  $R^2$  می‌شود که نشان می‌دهد متغیر نابرابری جریان سفارش در سرخط‌های بالاتر نیز حاوی اطلاعاتی افزون بر سرخط اول در مورد تغییرات قیمت سهم است.

## ۶. پیشنهادها و محدودیت‌ها

از جمله تحولاتی که در چند سال اخیر در بازار سهام تهران اتفاق افتاده تغییرات مربوط به میزان شفافیت اطلاعات دفتر سفارش بوده و در نتیجه آن، اطلاعات دفتر سفارش گاهی برای سه سرخط و گاهی برای پنج سرخط منتشر شده‌اند. در مرور ادبیات اشاره شد که این شفافیت می‌تواند بر نوسانات قیمت اثر بگذارد. یک پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی آن است که بین این شفافیت چگونه بر نتایج اثر می‌گذارد و به طور نمونه، آیا انتشار اطلاعات مربوط به سرخط‌های چهارم و پنجم از اثرگذاری سرخط‌های اول تا سوم بر روی تغییرات قیمت سهم کاسته است یا خیر. البته به طور کلی از جمله محدودیت‌های این پژوهش، عمومی نبودن اطلاعات سرخط‌های بالاتر از پنجم دفتر سفارش برای بررسی دقیق‌تر اثر آن‌ها بر تغییرات قیمت بوده است که دسترسی به آن‌ها می‌تواند فرصت‌های بیشتری در واکاوی رابطه بین رویدادهای دفتر سفارش و قیمت سهم ایجاد کند.

از دیگر محدودیت‌های این پژوهش، عدم انتشار عمومی اطلاعات دفتر سفارش به تفکیک نوع رویداد است که باعث می‌شود امکان محاسبه متغیر نابرابری معاملات و مقایسه آن با متغیر نابرابری جریان سفارشات وجود نداشته باشد. در صورت دسترسی به این اطلاعات، مقایسه این دو متغیر می‌تواند نشان دهد که رویدادهای حذف و اصلاح تا چه میزان در مقایسه با حجم سفارشات انجام شده بر روی تغییرات قیمت اثرگذارند. شناسایی بقیه عوامل اثرگذار بر ضریب متغیر نابرابری جریان سفارش و جایگزینی متغیر نابرابری جریان سفارش با متغیر دیگری از دفتر سفارشات به گونه‌ای که بتواند توضیح دهندگی بیشتری بر روی تغییرات قیمت داشته باشد نیز از دیگر پژوهش‌های ممکن در ادامه این مقاله است.

برآورد ضریب اثر نابرابری جریان سفارش بر قیمت سهم و تعیین عوامل موثر بر آن ضریب می‌تواند به ناظر بازار در شناسایی زمان‌هایی که امکان دستکاری قیمت بالاتر است کمک کند و علاوه بر آن به بازسازها و تامین‌کنندگان نقدینگی نیز اجازه می‌دهد که زمان و روشی که لازم است تا با مداخله در بازار سطح این ضریب را کاهش دهند را مشخص کنند. همچنین دانستن آن به سرمایه‌گذاران کمک می‌کند که از سفارشات بزرگ در خرید یا فروش در زمان‌هایی که این ضریب عدد بزرگتری است و منجر به جابه‌جایی قیمت در جهت عکس منفعت آن‌ها می‌شود خودداری کنند.

## منابع

1. Alfonsi, A. & Acevedo, J. I. (2014). Optimal execution and price manipulations in time-varying limit order books. *Applied Mathematical Finance*, 21(3), 201-237.
2. Aminimehr, A., Bajalan, S., & Hekmat, H. (2021). A study on the characteristics of TSE index return data and introducing a regime switching prediction method based on neural networks. *Journal of Financial Management Perspective*, 11(34), 145-171. (In Persian)
3. Andersen, T. G. & Bondarenko, O. (2014). VPIN and the flash crash. *Journal of Financial Markets*, 17, 1-46.
4. Badri, A., Arabmazar, M. & Soltanzali, M. (2016). Information Content of Limit Order Book in Tehran Stock Exchange, *Journal of Investment Knowledge*, 5(18), 95-117. (In Persian)
5. Bertsimas, D. & Lo, A. W. (1998). Optimal control of execution costs. *Journal of Financial Markets*, 1(1), 1-50.
6. Bouchaud, J. P., Farmer, J. D. & Lillo, F. (2009). How markets slowly digest changes in supply and demand. In *Handbook of financial markets: dynamics and evolution* (pp. 57-160). North-Holland.
7. Cont, R., Kukanov, A. & Stoikov, S. (2014). The price impact of order book events. *Journal of financial econometrics*, 12(1), 47-88.
8. Cont, R. & Kukanov, A. (2017). Optimal order placement in limit order markets. *Quantitative Finance*, 17(1), 21-39.
9. Donier, J., Bonart, J., Mastromatteo, I. & Bouchaud, J. P. (2015). A fully consistent, minimal model for non-linear market impact. *Quantitative finance*, 15(7), 1109-1121.
10. Eisler, Z., Bouchaud, J. P. & Kockelkoren, J. (2011). Models for the impact of all order book events. *arXiv preprint arXiv:1107.3364*.
11. Kyle, A. S. (1985). Continuous auctions and insider trading. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 1315-1335.
12. Madhavan, A. (1996). Security prices and market transparency. *Journal of Financial Intermediation*, 5(3), 255-283.
13. Patzelt, F. & Bouchaud, J. P. (2017). Nonlinear price impact from linear models. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2017(12), 123404.
14. Patzelt, F. & Bouchaud, J. P. (2018). Universal scaling and nonlinearity of aggregate price impact in financial markets. *Physical Review E*, 97(1), 012304.
15. Rastegar, M. A. & Eghbalreihani, N. (2019), Order Splitting Strategy to Reduce Market Impact in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 21(3), 321-347. (In Persian)
16. Rastegar, M. A., Teimoory, F. & Bagherian, B. (2017), Order Placement Strategy: Trade-off between Market Impact and Non-Execution Risk, *Financial Research Journal*, 20(2), 151-172. (In Persian)
17. Sandas, P. (2001). Adverse selection and competitive market making: Empirical evidence from a limit order market. *The review of financial studies*, 14(3), 705-734.
18. Shahriari, A. A., Daei-Karimzadeh, S., & Behmanesh, R. (2021). Stock portfolio optimization in fireworks algorithm using risk value and comparison with Particle Swarm Optimization (PSO). *Journal of Financial Management Perspective*, 11(35), 9-37. (In Persian)

19. Tsantekidis, A., Passalis, N., Tefas, A., Kannianen, J., Gabbouj, M. & Iosifidis, A. (2017, July). Forecasting stock prices from the limit order book using convolutional neural networks. In 2017 IEEE 19th Conference on Business Informatics (CBI) (Vol. 1, pp. 7-12). IEEE.

20. Xu, K., Gould, M. D., & Howison, S. D. (2018). Multi-level order-flow imbalance in a limit order book. *Market Microstructure and Liquidity*, 4(03n04), 1950011.

21. Yaftian, A. H., & Rastegar, M. A. (2020). Designing an Automated Trading System Using Convolutional Neural Network. *Journal of Financial Management Perspective*, (31), 153-184. (In Persian)

22. Zhang, R., Zhao, C., Chen, Y., Wu, L., Dai, Y., Chen, E., ... & Wu, L. (2022). High-Frequency Liquidity in the Chinese Stock Market: Measurements, Patterns, and Determinants. *Patterns, and Determinants* (August 16, 2022).

## پیوست

نماد سی سهمی که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته‌اند به این شرح است: ذوب، اخابر، فولاد، پارس، پارسان، تاپیکو، جم، حکشتی، خساپا، خودرو، رمپنا، شبندر، شپدیس، شپنا، شتران، فارس، فخور، فملی، کگل، کچاد، نوری، همراه، وامید، وبصادر، وبلمت، وپارس، وپاسار، وغدیر، وتجارت، ومعادن

---

## استناد

برکچیان، سید مهدی و سیدصالحی، سید محمدحسین (۱۴۰۱). بررسی اثر جریان سفارش بر تغییر قیمت سهام در بازار سهام تهران. *چشم‌انداز مدیریت مالی*، ۱۲(۴۰)، ۹-۲۷.

---

## Citation

Barakchian, Seyed Mahdi & Seyedsalehi, Mohammad H. (2022). The Effects of Order Flow Imbalance on Stock Prices in Tehran Stock Exchange. *Journal of Financial Management Perspective*, 12(40), 9 - 27. (in Persian)

---