Financial Research Journal

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

Order Splitting Strategy to Reduce Market Impact in Tehran Stock Exchange

Mohamad Ali Rastegar
*Corresponding author, Assistant Prof., Department of Financial Engineering, Faculty of Industrial Engineering & Systems, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. E-mail: ma_rastegar@modares.ac.ir

Nahid Eghbalreihani
M.Sc., Department of Financial Engineering, Faculty of Financial Science, Kharazmi University, Tehran, Iran. E-mail: n.eghbalreihani@yahoo.com

Abstract

Objective: This research is aimed at offering an order splitting strategy to divide a large order into a number of smaller orders to reduce Market Impact cost and imbalances created by Large orders in the market.

Methods: Due to the limited access to data and high volume of calculations, for some shares of the Tehran Stock Exchange (TSE), market impact cost function of bought trades were calculated using the I-star model. Then, by using the MI function and based on the investor's trading horizon, we split a large order into a series of small orders to place them at intervals rather than ordering all at once. The goal is to reduce the market impact cost, and avoid creating an imbalance of large orders in the market.

Results: According to the intraday patterns of the average trading volumes and the market impact cost, it is observed that the trading volume of shares is low and market impacts cost are high at the beginning of the day, then at the end of the day, as the trading volume and market liquidity increase, the market impact cost incurred by traders reduces**.** This is mainly because investors will not need to increase trading prices to complete their orders when the stock market experiences an increase in liquidity and trading volumes, and this is also seen in the Tehran Stock Exchange. The market impact cost function for the shares in Tehran Stock Exchange is also concave and investors behave much more aggressively when buying compared to selling.

Conclusion: The results show that by examining the intraday patterns of liquidity parameters such as trading volumes and market impact then designing a trading strategy for the splitting of large orders can reduce the additional costs incurred by traders and result in orders being traded in relatively more reasonable prices.

Keywords: Large Order Splitting Strategy, Intraday Patterns, Algorithmic Trading, Market Impact, Transaction Costs.

Citation: Rastegar, M.A., & Eghbalreihani, N. (2019). Order Splitting Strategy to Reduce Market Impact in Tehran Stock Exchange. *Financial Research Journal*, 21(3), 321-346. (*in Persian*)

Financial Research Journal, 2019, Vol. 21, No.3, pp. 321-346
DOI: 10.22059/frj.2019.268397.1006757
Received: March 03, 2019; Accepted: May 26, 2019
© Faculty of Management, University of Tehran

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

راهبرد تقسیم سفارش با رویکرد کاهش واکنش بازار در بورس اوراق بهادار تهران

محمدعلی رستگار
* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی مالی، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: ma_rastegar@modares.ac.ir

ناهید اقبال ریحانی
کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مالی، دانشکده علوم مالی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران. رایانامه: n.eghbalreihani@yahoo.com

چکیده

هدف: در این پژوهش قصد داریم که یک سفارش بزرگ را به تعدادی سفارش کوچک‌تر تقسیم کنیم تا هزینه واکنش بازار و بی‌تعادلی به‌وجود آمده از سفارش‌های بزرگ در بازار را کاهش دهیم.

روش: با توجه به محدودیت دسترسی به داده‌های معامله‌های درون‌روزی و حجم بسیار محاسبه‌ها، تابع واکنش بازار آنی از سمت خرید را برای چند سهم از بورس تهران با استفاده از مدل واکنش بازار I star به‌دست آوردیم و با استفاده از تابع واکنش بازار و بازه سفارش‌گذاری، یک سفارش بزرگ را به تعدادی سفارش کوچک‌تر تقسیم کردیم تا به‌جای سفارش‌گذاری یک‌باره همه سهام در بازار، سفارش‌گذاری‌ها را در بازه‌های زمانی مختلف انجام دهیم. هدف از این کار، کاهش هزینه واکنش بازار و کنترل بی‌تعادلی به‌وجود آمده از سفارش‌های بزرگ در بازار است.

یافته‌ها: طبق الگوهای درون‌روزی به‌دست‌آمده برای میانگین حجم معامله‌ها و واکنش بازار، برای هر دسته از سهم‌های بررسی‌شده در ابتدای روز، حجم معامله‌ها کم و واکنش بازار زیاد است؛ اما در انتهای روز با افزایش حجم معامله‌ها و نقدشوندگی در بازار، هزینه واکنش بازار کاهش می‌یابد؛ زیرا با افزایش نقدشوندگی در بازار، سفارش‌های سرمایه‌گذاران با تغییرهای کمتر قیمت تکمیل خواهد شد. علاوه‌بر این، تابع واکنش بازار آنی برای سهم‌های بررسی‌شده در بورس تهران نیز مقعر است و سرمایه‌گذاران در اجرای معامله‌های خرید در مقایسه با فروش هیجانی‌تر رفتار می‌کنند. ویژگی‌های به‌دست‌آمده در طراحی راهبرد برای معامله‌های سرمایه‌گذاران تأثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با بررسی الگوهای درون‌روزی پارامترهای نقدشوندگی بازار، مانند حجم معامله‌ها و واکنش بازار و همچنین، طراحی راهبرد معامله برای تقسیم سفارش‌های بزرگ، می‌توان هزینه‌های مازاد متحمل‌شده توسط معامله‌گران را کاهش داد و باعث شد که سفارش‌ها با قیمت مناسب‌تر اجرا شود.

کلیدواژه‌ها: راهبرد تقسیم سفارش‌های بزرگ، الگوهای درون‌روزی، معامله‌های الگوریتمی، واکنش بازار، هزینه معامله‌ها.

استناد: رستگار، محمدعلی؛ اقبال ریحانی، ناهید (۱۳۹۸). راهبرد تقسیم سفارش با رویکرد کاهش واکنش بازار در بورس اوراق بهادار تهران. *تحقیقات مالی*، ۲۱(۳)، ۳۲۱- ۳۴۶.

تحقیقات مالی، ۱۳۹۸، دوره ۲۱، شماره ۳، صص. ۳۲۱- ۳۴۶
DOI: 10.22059/frj.2019.268397.1006757
دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲، پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۰۵
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

تغییر فناوری‌ها، نحوه معامله دارایی‌های مالی را دگرگون کرده است. هر گام از فرایند معامله، از ورود سفارش تا اجرای آن با استفاده از بسترهای فناوری انجام می‌شود. بنابراین با حذف واسطه‌ها، هزینه معامله‌ها کاهش پیدا کرده است. یکی از این پیشرفت‌ها، معامله‌های الگوریتمی است که در دهه‌های اخیر تأثیر شگرفی بر بازارهای مالی گذاشته است که به‌منظور کاهش هزینه‌های معامله برای اجرای سفارش‌های بزرگ به‌کار می‌روند و به‌طور عمده توسط سرمایه‌گذاران نهادی اجرا می‌شوند. هزینه‌های معامله بر بازده‌های حاصل از سرمایه‌گذاری تأثیر شایان توجهی می‌گذارند. از این رو، اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل آنها برای به‌دست‌آوردن بهترین راهبرد اجرای سفارش مهم است. همچنین با توجه به اینکه بازارهای مالی نقدشوندگی کافی ندارند، سرمایه‌گذاران نمی‌توانند در هر لحظه از زمان، بدون متحمل‌شدن هزینه واکنش بازار، پاسخ‌گوی سفارش‌های خود باشند، به همین دلیل از راهبردهای خاصی برای اجرای سفارش‌هایشان بهره می‌برند. در تئوری مالی، به هزینه معامله‌هایی که معامله‌گران برای جذب خریداران یا فروشندگان جدید، به‌منظور تکمیل سفارش‌های خود متحمل می‌شوند، هزینه واکنش بازار گفته می‌شود. در واقع، واکنش بازار[1] تغییرات قیمت دارایی مالی است که به‌دلیل کافی‌نبودن نقدشوندگی ایجاد می‌شود (سن، فارمر، گیلموت، لیلو و مایک[2]، ۲۰۰۴). واکنش بازار یکی از پرهزینه‌ترین اجزای هزینه‌ها در معامله‌های پنهان است که به تغییرات معکوس قیمت منجر می‌شود و از تقاضای نقدشوندگی سرمایه‌گذاران و محتوای اطلاعاتی معامله نشئت می‌گیرد. هر معامله فروش انجام‌شده، به‌طور معمول موجب می‌شود قیمت بازار دارایی مالی کاهش یابد و هر معامله خرید انجام‌شده، افزایش قیمت بازار را موجب می‌شود. این تغییر قیمت به‌دلیل مصرف نقدشوندگی موجود در بازار است؛ زیرا در دفتر سفارش‌های بازارهای حراج دوطرفه[3]، سفارش‌های خریداران (فروشندگان) موجب می‌شود که سفارش‌های فروش (خرید) موجود در دفتر سفارش‌ها انجام شود و با حذف آنها، بهترین قیمت فروش (خرید) دفتر تغییر کند. این واکنش، واکنش بازار آنی[4] یا موقت است. بلافاصله بعد از تکمیل سفارش، همراه با وارد شدن جریان سفارش‌های جدید، قیمت تغییر می‌کند و در جهت معکوس اصلاح می‌شود و در نتیجه بازار به قیمت تعادلی جدید بعد از معامله دست می‌یابد. واکنش بازار موقت در طول زمان از بین می‌رود؛ اما واکنش دائمی در قیمت حفظ می‌شود. ثبت سفارش‌های بزرگ می‌تواند بر نوسان‌ها و تغییرهای ناگهانی قیمت مؤثر باشد، بنابراین سرمایه‌گذارانی که قصد دارند سفارش‌های بزرگ انجام دهند، همواره با تقابل بین واکنش بازار و ریسک اجرای سفارش مواجه می‌شوند. اینکه چگونه معامله‌گر یک سفارش بزرگ را به‌صورت بهینه انجام دهد و کمترین تأثیر را بر قیمت بازار داشته باشد، موضوع مهمی است که در کانون توجه نهادهای ناظر بازار، قانون‌گذاران و بازارگردانان قرار گرفته است. با توجه به تئوری استاندارد اقتصاد، افزایش تقاضا باعث می‌شود قیمت افزایش یابد و کاهش تقاضا کاهش قیمت را به‌دنبال دارد، بنابراین معامله خرید باعث می‌شود قیمت افزایش یابد که در این صورت، سرمایه‌گذار در دومین معامله خود، به‌دلیل اثر معامله قبل خودش بر قیمت، هزینه بیشتری را متحمل خواهد شد. در نتیجه، موضوع مهم

1. Market Impact
2. Farmer, Gillemot, Lillo, Mike & Sen
3. Double Auction Electronic Order Book
4. Instantaneous Market Impact

مطرح‌شده برای سرمایه‌گذاران این است که چگونه می‌توانند حجم بزرگی از یک سهم را به‌صورت بهینه (با کمترین هزینه معاملاتی) انجام دهند؛ به‌طوری‌که واکنش بازار که از سفارش بزرگ نشئت می‌گیرد، به حداقل برسد. یکی از راهبردهای بدیهی برای کاهش واکنش بازار، شکستن سفارش بزرگ به تعدادی سفارش کوچک‌تر و انجام سفارش‌ها در طول چندین دوره است. شکستن سفارش بزرگ به چند سفارش کوچک‌تر، علاوه‌بر کاهش واکنش بازار، موجب می‌شود اجرای سفارش با ریسک مواجه شود که آن نیز ممکن است به حرکت قیمت بازار در جهت عکس قیمت مورد انتظار معامله‌گر در طول دوره‌های متعدد معامله‌ها منجر شود. این مسئله با عنوان معمای معامله‌گر[1] (کیسل، گلنتز و مالاموت[2]، ۲۰۰۴) شناخته می‌شود. بنابراین، ایجاد تعادل بین هزینه واکنش بازار و ریسک اجرای سفارش، به طراحی راهبردهای اجرای معامله نیاز دارد. کاهش هزینه واکنش بازار یکی از اهداف اولیه الگوریتم‌های معامله است. بسیاری از الگوریتم‌های موجود، این فاکتور را به‌طور مستقیم در تصمیم‌های خود در خصوص نوع و زمان سفارش‌گذاری در نظر می‌گیرند. همچنین، میزان تهاجمی‌بودن اجرای معامله بر هزینه واکنش بازار اثر می‌گذارد. انتشار سفارش‌های بازار یا سفارش‌های محدود تهاجمی، باعث می‌شود هزینه‌ها سنگین‌تر شوند. با اندازه‌گیری هزینه واکنش بازار، می‌توان راهبردهای اجرای سفارش بزرگ مناسبی را برای کاهش هزینه واکنش بازار ارائه داد.

در این پژوهش، ابتدا تابع واکنش بازار آنی معامله‌ها از سمت خرید را با استفاده از مدل I star برای سهام مدنظر به‌دست می‌آوریم که برای این کار از معامله‌های خرید انجام‌شده طی روز و سفارش‌های ثبت‌شده از سمت خرید و فروش استفاده شده است. سپس داده‌های تاریخی مربوط به حجم معامله‌ها و الگوهای درون‌روزی معامله‌های انجام‌شده برای سهام را بررسی می‌کنیم و در نهایت، معادله هزینه واکنش بازار را با روش لاگرانژ برای مینیمم‌سازی حل می‌کنیم. با حل مدل واکنش بازار، یک سفارش بزرگ را به چند سفارش کوچک‌تر تقسیم کرده، سپس حجم‌های کوچک به‌دست‌آمده را در بازه زمانی تعیین‌شده برای سفارش‌گذاری توسط سرمایه‌گذار، سفارش‌گذاری خواهیم کرد.

هدف از تقسیم سفارش بزرگ، کاهش هزینه واکنش بازار و کنترل عدم‌تعادل ایجاد شده در بازار، به‌دلیل پیشنهاد قیمت‌های ناعادلانه برای انجام نیازهای نقدشوندگی سرمایه‌گذاران است.

پیشینه پژوهش

پژوهش‌های زیادی در رابطه با هزینه‌های معامله انجام شده است. کیسل (۲۰۰۶) هزینه‌های معامله را هزینه‌هایی تعریف می‌کند که در طول انجام معامله توسط خریداران پرداخت شده، اما توسط فروشندگان دریافت نشده است. فام و وث[3] (۲۰۰۵) اثر دائمی بازار و هزینه‌های معامله‌های گسسته ثابت را با فرض اینکه روند قیمت از حرکت براونی تبعیت می‌کند، بررسی کردند. جونکا[4] (۲۰۱۲) مدلی از دارایی مالی را بررسی کرد که در آن هزینه واکنش بازار در یک دوره نامحدود در نظر گرفته شده است. وی این پژوهش را با هدف افزایش درآمد حاصل از معامله‌ها انجام داد. سپس

1. Trader Dilemma
2. Kissel, Glantz, & Malamut
3. Pham & Vath
4. Junca

بهینه‌بودن تابع هدف مدل را با استفاده از چارچوب راه‌حل‌های ویسکوزیته که روشی برای اعتبارسنجی بهینه‌بودن مدل‌هاست، بررسی کرد. آلمگرن[1] (۲۰۰۳) با هدف به حداقل رساندن ترکیبی از هزینه فرصت و هزینه معامله، به بررسی اجرای معامله‌های پرتفوی پرداختند و راهبرد کسورات اجرایی را که پژوهشگران و سرمایه‌گذاران به آن توجه زیادی نشان داده‌اند، معرفی کردند. از پژوهش‌های بسیار مهم در این زمینه، پژوهش واگنر و ادواردز[2] (۱۹۹۳) است که هزینه‌های معامله را به اجزای مشخصی با عنوان زمان‌بندی، تأخیر، اثر قیمتی و هزینه فرصت شکستند. در ادبیات ریزساختار بازار، پژوهش‌های متفاوتی در زمینه هزینه‌های معامله، از جمله مدل‌های هزینه واکنش بازار صورت گرفته است، به‌طور مثال، مدل‌های تئوریکی اولیه معرفی شده توسط کایل[3] (۱۹۸۵)، گلستن و میلگرام[4] (۱۹۸۵) و هاسبروک[5] (۱۹۹۱) بر مدل‌های ریزساختاری که واکنش بازار را با عدم تقارن اطلاعاتی توضیح می‌دهند، تمرکز کرده‌اند. این مدل‌ها، به‌عنوان دیدگاه کلاسیکی مدل‌های ریزساختاری بازارهای مالی در نظر گرفته می‌شوند که معامله‌گران آگاه در مقابل معامله‌گران ناآگاه معامله می‌کنند. این مدل‌ها نمی‌توانستند واکنش بازار دائمی و سایر اثرهای مشاهده‌شده در پژوهش‌های تجربی را توضیح دهند؛ اما پایه‌ای برای پژوهش‌های بعدی بودند. در مدل واکنش بازار کایل (۱۹۸۵)، ساده‌ترین فرض این است که هزینه واکنش بازار با حجم معامله‌شده رابطه خطی دارد و در طول زمان دائمی است. همچنین در این مدل، این فرض توجیه می‌شود که بازارگردان در هر بازه زمانی، سفارش‌های مربوط به معامله‌گر آگاه و اخلال‌گر را تسویه می‌کند. برتسیماس و لو[6] (۱۹۹۸) و آلمگرن (۲۰۰۳)، در مطالعات خود که در رابطه با تعیین راهبردهای معامله با پرتفوی‌های بزرگ بود، شکل تابعی واکنش بازار را به‌صورتی توضیح دادند که هر گونه مفهوم ریزساختاری را نادیده می‌گرفت. آبیژاوا و ونگ[7] (۲۰۰۵)، الفونسی، شید و فروس[8] (۲۰۱۰) نیز، برای واکنش بازار از شکل تابعی استفاده کردند که از دفتر سفارش‌های محدود پیروی می‌کرد. بوچاد[9] (۲۰۰۹)، بر اساس مشاهده‌های تجربی، مدل ریزساختاری را برای واکنش بازار در نظر گرفتند که از پارادایم کلاسیکی مربوط به معامله‌گران آگاه و ناآگاه دور بود. آنان با توجه به مشاهده‌های تجربی و تئوریکی، تئوری جدیدی ساختند که تعیین می‌کرد بازارها چگونه به حالت تعادل می‌رسند. مهم‌ترین ویژگی این مدل‌ها، وجود همبستگی بین جریان سفارش‌های عامل‌ها بود. این عامل‌ها علاوه‌بر فراهم‌ساختن نقدشوندگی برای بازار، به‌دنبال بهینه‌کردن اجرای معامله‌های خود بودند. مطالعات صورت‌گرفته در رابطه با تابع واکنش بازار، به مقعر بودن این تابع اشاره می‌کنند. هاسبروک[10] (۱۹۹۱)، شکل تابع واکنش بازار را نسبت به اندازه سفارش‌های مقعر در نظر گرفت. لیلو، فارمر و منتگنا[11] (۲۰۰۳) در پژوهش تجربی خود در رابطه با شکل منحنی واکنش بازار، آن را مقعر در نظر گرفتند. واکنش بازار به‌طور معمول به دو قسمت واکنش دائمی و موقت دسته‌بندی می‌شود. واکنش موقت، هزینه تقاضای نقدشوندگی را منعکس می‌کند. واکنش دائمی یا تأثیر بلندمدت سفارش، اطلاعات اعلام‌شده در بازار را منعکس می‌کند.

1. Almgren
2. Wagner & Edwardz
3. Kyle
4. Glosten & Milgrom
5. Hasbrouck
6. Bertsimas, & Lo
7. Obizhaeva & Wang
8. Alfonsi, Fruth, & Schied
9. Bouchaud
10. Hasbrouck
11. Lillo, Farmer, & Mantegna

به‌وضوح، اگر بازار خریدار یا فروشندهٔ بزرگی را شناسایی کند، به‌شکل سیگنال قوی عمل می‌کند، بنابراین قیمت را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هر سفارش بزرگ ممکن است واکنش موقت بزرگ‌تری از یک مجموعه سفارش‌های کوچک داشته باشد. با این حال، برآیند واکنش‌های دائمی سفارش‌های کوچک، مشابه نتیجه سیگنالی است که به‌وسیله یک سفارش بزرگ ایجاد شده است (جانسون[1]، ۲۰۱۰). تفکیک واکنش بازار به اجزای موقت و دائم کمی مشکل است. بعضی از مدل‌های برآورد قیمت با فرض اینکه معامله واکنش کلی شایان توجه نداشته باشد، در عمل واکنش دائم را صفر در نظر می‌گیرند. با این حال می‌توان با استفاده از مدل برآوردی کیسل و همکاران (۲۰۰۴) این واکنش را تقریب زد. استول[2] (۱۹۹۷)، بیان کردند که اجرای سفارش‌های بزرگ، واکنش بازار موقت و دائمی دارد و این نظریه توسط بایایز[3] (۱۹۹۵) تأیید شده است.

در یک سری از پژوهش‌ها، واکنش بازار معامله‌ها تک سهم در نظر گرفته شده است. این پژوهش‌ها واکنش را تابعی مقعر از حجم معامله‌ها در نظر می‌گیرند. لیلو و همکارانش (۲۰۰۳) نشان دادند که واکنش بازار معامله‌های تک سهم، تابعی توانی از حجم معامله‌ها با توانی در محدوده ۰/۵ – ۰/۲ است. پاترز[4] (۲۰۰۳) نشان داد که تابع لگاریتمی برای واکنش مناسب‌تر است. هاپمن[5] (۲۰۰۳) واکنش بازار سفارش‌های انفرادی اجراشده را بررسی کرد و نشان داد که از تابع توانی با توان ۰/۴ پیروی می‌کند.

دسته‌ای دیگر از پژوهش‌ها به‌جای بررسی واکنش بازار مربوط به یک معامله خرید یا فروش، به بررسی واکنش بازار مربوط به مجموعه‌ای از معامله‌های خرید و فروش در یک بازه زمانی مشخص تمرکز کرده‌اند. هدف این پژوهش‌ها، تعیین هزینه‌ای است که از مجموع معامله‌ها در طول بازه ایجاد می‌شود. به‌تازگی پاتزلت و بوچاد[6] (۲۰۱۷) بررسی کردند که آیا مدل‌های واکنش بازار پایه، می‌توانند ویژگی مقعر و غیرخطی‌بودن واکنش بازار را توضیح دهند و برای این کار معامله‌ها را به دو دسته طبقه‌بندی کردند: دستهٔ اول معامله‌هایی که باعث شده‌اند قیمت تغییر کند و دستهٔ دوم معامله‌هایی که بر قیمت تأثیری نداشته‌اند. آنها نشان دادند که تغییرات قیمت به جریان سفارش‌های نامنظم وابسته است. کرول، کوان و وسترهولم[7] (۲۰۱۸) با توجه به افزایش الگوریتم‌های تقسیم سفارش‌های بزرگ و تعامل‌های پویای بین سرمایه‌گذاران نقدشوندگی، مدلی ارائه دادند که در آن دو معامله‌گر نقدشوندگی برای افزایش سود خود از معامله و کسب آگاهی درباره اطلاعات پنهان، به یکدیگر علامت می‌دهند. همچنین نشان دادند که تقسیم سفارش‌های بزرگ به قسمت‌های کوچک‌تر و منتظر ماندن برای طرف معامله، برای مدیریت هزینه‌های معامله مؤثرترین راه است. کوراتو، گاترال و لیلو[8] (۲۰۱۷)، مسئله اجرای بهینه سفارش‌های بزرگ را با استفاده از مدل واکنش بازار غیرخطی گذرا بررسی و تابع هزینه را با روش عددی بهینه کردند. همچنین از داده‌های معامله‌های بورس لندن در بازه‌های ۱۵ دقیقه برای بررسی واکنش بازار به‌عنوان تابعی از حجم معامله‌ها استفاده شد که با بررسی داده‌های بورس نیویورک در مقیاس‌های

1. Janson
2. Stoll
3. Biais
4. Paterz
5. Hopman
6. Patzelt, & Bouchaud
7. Kervel, Kwan, & Westerholm
8. Curato, Gatheral, & Lillo

زمانی ۵ تا ۱۹۵ دقیقه نشان داده شد که واکنش بازار با تانژانت هایپربولیک حجم معامله‌ها متناسب است. همچنین همه پژوهش‌ها، به مقعر بودن تابع واکنش بازار اشاره کرده‌اند؛ ولی شکل‌های تابعی متفاوتی را پیشنهاد داده‌اند که دلیل این تفاوت‌ها، به گوناگونی بازارها و مقیاس‌های زمانی به‌کاررفته در پژوهش‌ها بازمی‌گردد.

گروهی دیگر از پژوهش‌ها، واکنش بازار سفارش‌های بزرگ سازمانی را که به سفارش‌های پنهان معروف‌اند، بررسی کرده‌اند (بوچاد[1]، ۲۰۰۹). بررسی واکنش سفارش‌های پنهان در مقایسه با سفارش‌های جمعی و انفرادی، به رویکرد متفاوتی نیاز دارد؛ زیرا این سفارش‌ها از سمت یک عامل و به‌صورت مجموعه سفارش‌هایی با حجم یکسان است که به‌تدریج وارد بازار می‌شود. به‌دلیل ارتباط بین حجم سفارش‌ها با یکدیگر و ترتیبی که در زمان ارسال آنها به بازار وجود دارد، بین این جریان سفارش‌ها همبستگی شدیدی ایجاد می‌شود فارمر، لیلو و منتگنا (۲۰۰۲)، در نتیجه، توزیع دنباله سنگین حجم معامله‌ها را موجب می‌شود. فارمر و همکارانش (۲۰۰۳)، یک تئوری در رابطه با واکنش بازار سفارش‌های پنهان ارائه داده است که در آن با در نظر گرفتن مارتینگل بودن قیمت و شرایط منصفانه قیمت‌گذاری، قیمت پس از تکمیل سفارش‌های پنهان با متوسط قیمت‌های اجرا برابر است. ادبیات تجربی واکنش بازار سفارش‌های پنهان، به‌دلیل دشواری دسترسی به اطلاعات محدود است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های آلمگرین (۲۰۰۳) اشاره کرد. از مدل‌های دیگر، مدل‌های واکنش بازار (AC) است که آلمگرین (۲۰۰۳) آنها را معرفی کرده‌اند. رویکرد این مدل مبتنی بر مسیر است؛ یعنی هزینه‌های کل سفارش را بر اساس توالی معامله‌ها برآورد می‌کند و از پایین به بالاست؛ زیرا هزینه‌های کل سفارش بر اساس توالی و ترتیب واقعی معامله‌ها تعیین می‌شود. کیسل و همکارانش (۲۰۰۴) نیز مدل آی استار را معرفی کرده‌اند. رویکرد این مدل تخصیص هزینه بالا ـ پایین است. در این مدل، ابتدا هزینه کل سفارش برآورد می‌شود، سپس این هزینه بر اساس برنامه معامله، به دوره‌های معامله تخصیص می‌یابد. تابع توانی مدل آی استار شامل، نقد شوندگی، نوسان‌ها، عدم تعادل و الگوهای معامله‌های درون‌روزی است. هابرمن و استنزل[2] (۲۰۰۴) و فارمر و همکاران (۲۰۰۲) نشان دادند که ویژگی خاص واکنش یا اثر خطی مدل کایل این است که اجازه دست‌کاری قیمت را نمی‌دهد. رویکردهای متفاوت مدل‌سازی واکنش بازار همچنین در ادبیات نظری از جمله، واگنر[3] (۱۹۹۱)، کیسل و گلنتز (۲۰۰۳)، چان و لاکونیشوک[4] (۱۹۹۷)، کیم و مادهاوان[5] (۱۹۹۷)، بارا[6] (۱۹۹۷)، برتیسماس و لو (۱۹۹۸)، لیلیو و همکاران (۲۰۰۳) و گترال[7] (۲۰۱۲) به چشم می‌خورد. پرولد[8] (۱۹۹۸) مقدار مجموع هزینه‌های معامله را اندازه گرفت و نشان داد که ریسک کسورات اجرایی به‌طور شایان توجهی باعث می‌شود که سودآوری پرتفوی صندوق‌ها از ۲۰ درصد به ۲/۵ درصد کاهش یابد. این هزینه‌ها برای سفارش‌های بزرگ به‌طور متوسط بیشتر از سفارش‌های کوچک است و ضرورت شکستن سفارش‌های بزرگ به سفارش‌های کوچک را نشان می‌دهد. چان و لاکونیشوک (۱۹۹۵) و کیم و مادهاوان (۱۹۹۵ و ۱۹۹۶) راهبرد تقسیم سفارش برای معامله‌گران بزرگ سازمانی را بررسی کردند، در حالی‌که برتسیماس و لو

1. Bouchaud
2. Huberman & Stanzl
3. Wagner
4. Chan & Lakonishol
5. Madhavan
6. Barra
7. Gatheral
8. Perold

(۱۹۹۸) و بسیاری از فعالان بازار، برای کاهش هزینه اجرای سفارش‌ها، به طراحی راهبردهای معامله اقدام کردند. چان و لاکونیشوک (۱۹۹۵)، انگل[1] (۱۹۸۲) نیز روی دسته‌ای از سفارش‌های تقسیم‌شده متمرکز شدند. رستگار و ساعدی‌فر (۲۰۱۷) اجرای سفارش‌های بزرگ را بررسی کردند و نشان دادند که برای هر سفارش بزرگ خرید، راهبرد استفاده از انواع سفارش، بهتر از راهبرد استفاده از تنها یک نوع سفارش است. راهبردهای اجرای سفارش با اندازهٔ بزرگ، بر هر دو گروه معامله‌گران آگاه (مدل‌شده توسط ایزلی و اوهارا[2] در سال ۱۹۸۶) و معامله‌گران نقدشوندگی (مدل‌شده توسط ادماتی و فلایدر[3] در سال ۱۹۸۸) تأثیر می‌گذارند. معامله‌گر آگاه برای حداکثرسازی سود حاصل از معامله، به پنهان‌کردن اطلاعات نهانی خود تمایل دارد که از طریق اندازه سفارش به آن دست می‌یابد، در حالی‌که معامله‌گر نقدشوندگی تمایل دارد تقاضای نقدشوندگی خود را برای کاهش هزینه‌های ناآشکار معامله‌ها پنهان کند (کیم و مادهاوان، ۱۹۹۵ و ۱۹۹۶). اوهارا، بلومفیلد و سار[4] (۲۰۱۳)، با بررسی بازار حراج دوطرفه بدون بازارگردان دریافت که معامله‌گران به دو دلیل سفارش‌های بزرگ را به سفارش‌های کوچک تقسیم کرده و معامله می‌کنند: یکی برای پنهان ساختن اندازه واقعی سفارش‌هایشان و دیگری برای معامله بازارگردانی داوطلبانه[5]. در پژوهش آنها، از آنجا که بازارگردان با ریسک انتخاب معکوس مواجه نمی‌شود، بیشتر شبیه به معامله‌گر آگاه رفتار می‌کند. معامله‌گرانی که سفارش‌های خود را می‌شکنند، معمولاً معامله‌گران خبره یا سازمانی هستند که به نقدکردن موقعیت خود و کاهش واکنش بازار تمایل دارند یا معامله‌گران آگاهی هستند که تلاش می‌کنند سود حاصل از معامله‌ها را به حداکثر برسانند. معامله‌گران نقدشوندگی اخلال‌گر می‌بایست کل سفارش‌های خود را به‌سرعت معامله کنند، درحالی‌که معامله‌گران نقدشوندگی اختیاری، برای کاهش هزینه‌های ناآشکار، معامله آنها را می‌شکنند (آدماتی و فلایدر، ۱۹۸۸). وایانوز[6] (۱۹۹۹)، رفتار راهبردی معامله‌گران نقدشوندگی اختیاری ناآگاه را با مدل‌های پویا بررسی کرد. معامله‌گران نقدشوندگی اختیاری ناآگاه، معامله‌گرانی هستند که فراهم‌کردن نقدشوندگی برای بازار جزء اهداف آنها نیست. آنها همواره در جهت منافع خود معامله می‌کنند؛ اما با انجام معامله‌های خود ورود نقدشوندگی به بازار را باعث می‌شوند، مانند صندوق‌های بازنشستگی و سرمایه‌گذاری مشترک. وی نتیجه گرفت که معامله‌گران بزرگ، برای کاهش هزینه واکنش بازار، به شکستن سفارش خود اقدام می‌کنند؛ اما سرعت معامله، به توانایی آنها برای پنهان‌کردن تقاضای نقدشوندگی‌شان بستگی دارد. وایانوز (۱۹۹۹)، پیش‌بینی کرد که در صورت افشانشدن تقاضای نقدشوندگی معامله‌گران بزرگ برای دیگران، آنها سفارش‌های خود را شکسته و به‌صورت انفعالی معامله می‌کنند؛ اما در صورت افشا شدن، برای کاهش هزینه‌ها، به‌صورت تهاجمی معامله خواهند کرد.

بعضی از مدل‌های نظری، تصمیم‌های مربوط به اندازه سفارش‌ها را برای معامله‌گران آگاه از بین می‌برند (کایل، ۱۹۸۵؛ ایسلی و اوهارا[7]، ۱۹۸۷ و گلوستن و میلگرام[8]، ۱۹۸۵). کایل (۱۹۸۵)، نشان داد که معامله‌گران آگاه برای کاهش نرخ تعدیل قیمت مربوط به اطلاعات پنهانی و افزایش سود، سفارش‌ها را به‌تدریج در بازار قرار می‌دهند. با در نظر گرفتن

1. Engle
2. Ohara
3. Admati & Pfleiderer
4. Bloomfield & O'Hara & Saar
5. Voluntary Market Making
6. Vayanos
7. Easley & O'Hara
8. Glosten, & Milgrom

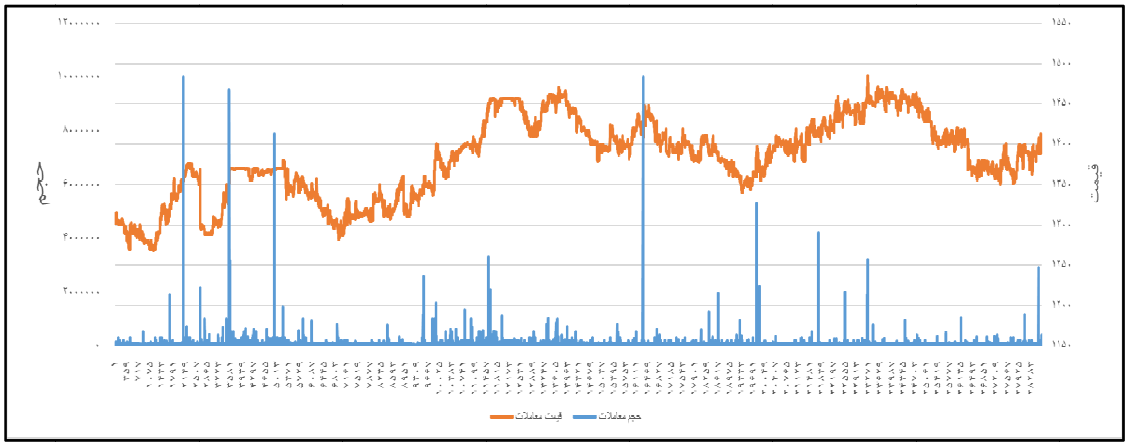
اینکه محدودیت بازه نوسان قیمت، ورودی جریان سفارش‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، حقیقی، فلاح‌پور و عیوضلو[1] (۲۰۱۶) با استفاده از فرایند هاوکز، ورودی‌های سفارش را با توجه به محدودیت نوسان‌های قیمت در بازار مدل‌سازی کردند و نشان دادند این مدل، تغییرات ورودی سفارش داده‌های درون‌روزی از بورس تهران را که بازاری با محدودیت قیمت است، به‌خوبی نشان می‌دهد. کنت و کوکانوف[2] (۲۰۱۷) با فرموله‌کردن سفارش‌گذاری در قالب مسئله بهینه‌سازی محدب، یک چارچوب کمی ارائه کردند. مدل آنها برای ثبت سفارش در یک بازار، راه‌حل روشنی را برای تقسیم بهینه سفارش‌های محدود و سفارش‌های بازار ارائه می‌کند. آنها برای ثبت سفارش در چند بازار، نوعی الگوریتم تصادفی پیشنهاد کردند که خط‌مشی مسیریابی بهینه را محاسبه و حساسیت راه‌حل را نسبت به پارامترهای مختلف بررسی می‌کند. چن، لی و گوا[3] (۲۰۱۷) برای سفارش‌گذاری بهینه شامل سفارش‌های محدود و پنهان، یک مدل برنامه‌ریزی پویای چندمرحله‌ای ارائه دادند و نتیجه گرفتند که در الگوی اجرای بهینه، معامله‌گر باید سفارش‌های پنهان را در مراحل اولیه ارائه دهد، سپس ترکیبی از سفارش‌های محدود و پنهانی را در نظر بگیرد و تنها در زمان‌های پایانی، از سفارش‌های محدود استفاده کند. اوهنیشی و شیموشی میزو[4] (۲۰۱۹) مسئله اجرای سفارش‌های بزرگ معامله‌گران را همراه با مدل‌های واکنش قیمت بررسی کردند. آنها معامله‌گران با سفارش‌های بزرگ را فرایند تصمیم‌گیری مارکف در نظر گرفتند و با حل مسئله از طریق برنامه‌ریزی پویای بازگشتی، نشان دادند که راهبرد اجرای سفارش‌های بزرگ معامله‌گران، تحت تأثیر وجود سایر معامله‌گران و حجم معامله‌های آنها و در واقع واکنش بازار قرار می‌گیرد. آنها راهبرد اجرای بهینه را با حل مدل ارائه دادند. رستگار، تیموری و باقریان (۲۰۱۸) با ارائه یک مدل بهینه سفارش‌گذاری با رویکرد ریزساختار بازار، نشان دادند که به‌کارگیری هم‌زمان ریسک اجرایی‌شدن سفارش و هزینه معاملاتی در راهبرد سفارش‌گذاری عملکرد بهتری نسبت به سایر راهبردهای معامله‌گران بازار دارد.

روش‌شناسی پژوهش

اطلاعات لازم برای این پژوهش، داده‌های مربوط به معامله‌های درون‌روزی و دفتر سفارش‌های محدود در پنج سطح است. بررسی و مقایسه داده‌های استفاده‌شده در پژوهش‌های مشابه نشان داد که بهتر است از سهام با نقدشوندگی و حجم معامله‌های بالا استفاده شود. برای انتخاب سهم‌ها با فیلترنویسی در دیده‌بان سایت بورس، از بین صنعت‌های مختلف، چهار سهمی انتخاب و بررسی شد که در بازه شش‌ماهه دوم سال ۱۳۹۵ این ویژگی‌ها را داشتند. بدین ترتیب، در این مقاله از داده‌های سهم‌های وبملت، فولاد، شبندر و وخارزم که در آن بازه زمانی، وضعیت نماد ثابتی داشتند، استفاده شده است. داده‌های زمان پیش‌گشایش، یعنی داده‌های قبل از ساعت ۰۹:۰۰:۰۰ صبح و داده‌های بعد از ۱۲:۳۰:۰۰ حساب نشده است. همچنین در این پژوهش حجم معامله‌هایی که در زمان‌های یکسان با قیمت و حجم متفاوت انجام شده، به‌صورت مجموع حجم‌ها و میانگین وزنی قیمت‌ها در نظر گرفته شده است. خلاصه اطلاعات آماری داده‌ها در

1. Haghighi, Fallahpour, & Eyvazlu
2. Cont, & Kukanov
3. Chen, Li, & Gao
4. Ohnishi, & Shimoshimizu

جدول ۱ و سری زمانی قیمت و حجم معامله‌های سهم فولاد در شکل ۱ مشاهده می‌شود. بررسی معامله‌ها به‌صورت درون‌روزی انجام شده است. بررسی رابطه بین عوامل نقدشوندگی، از جمله میانگین حجم معامله‌ها و واکنش بازار از موضوعات مهم ریزساختار بازارهای مالی است.



شکل ۱. سری زمانی قیمت و حجم (۱۳۹۷) معامله‌های سهم فولاد

جدول ۱. اطلاعات آماری سهم‌ها

نام سهم	فولاد مبارکه اصفهان	وبملت	شبندر	وخارزم
میانگین قیمت (ریال)	۱۳۸۲,۲۷	۱۱۰۱,۱۱	۵۰۴۰,۲۶	۷۷۹,۱۰۰
انحراف معیار قیمت	۴۸,۸۴۵	۶۳,۴۹	۲۴۷,۳۱	۴۷,۸۸۳
میانگین حجم معامله‌های روزانه	۲۰۳۰۲۳۵۶,۷۱	۱۷۳۹۵۰۰۰	۵۶۳۰۴۶۷,۲۰۵	۱۱۳۷۹۹۱۳,۳۹
انحراف معیار حجم معامله‌های روزانه	۴۷۰۸۹۷,۲۸۳۶	۱۷۳۸۰۴۲۷,۹۹	۷۶۸۶۰۷,۴۱۲	۱۵۶۹۴۷۸۳,۸۳
نقدشوندگی بالا با معیار حجم معامله‌ها	✓	✓	✓	✓
تعداد روزهای معامله	۷۰	۵۶	۴۴	۵۶
تعداد مشاهده‌ها (معامله‌ها)	۲۸۶۰۸	۲۱۵۰۵	۱۴۲۲۴	۱۳۲۷۰

برای به‌دست آوردن متغیرهای مدل آی استار با توجه به ادبیات پژوهش‌های مشابه، معامله‌های درون‌روزی مربوط به روزهای مورد بررسی، به بازه‌های نیم‌ساعتی تقسیم می‌شود تا در هر بازه، به‌طور متوسط احتمال مشاهده یک تغییر وجود داشته باشد. بعد از محاسبه متغیرهای تابع واکنش آنی برای هر یک از سهم‌ها، پارامترهای مناسب برای آن با استفاده از نرم‌افزار ایی ویوز[1] تخمین زده می‌شود. همچنین در این پژوهش با توجه به داده‌های تاریخی حجم معامله‌های هر یک از سهم‌ها، هدف شکستن سفارش به اندازه ۱ میلیون سهم برای افق معامله‌های یک‌روزه است. این افق زمانی

1. Evews

یک‌روزه به هفت بازه نیم‌ساعتی برای سفارش‌گذاری طبقه‌بندی خواهد شد تا سرمایه‌گذار بعد از تقسیم سفارش بتواند در هر بازه نیم‌ساعته سفارش‌گذاری کند.

مدل واکنش بازار آی استار

مدل واکنش بازار آلمگرین و کریس (AC) (۲۰۰۳) یک مدل مبتنی بر مسیر است که هزینه‌های کل سفارش را بر اساس توالی معامله‌ها تخمین می‌زند. رویکرد این مدل پایین به بالاست؛ زیرا هزینه‌های کل سفارش بر اساس ترتیب واقعی معامله‌ها تعیین می‌شود. مدل آی استار که در این پژوهش استفاده شده است، ابتدا توسط کیسل و همکاران (۲۰۰۴) توسعه یافت و بعدها در پژوهش‌های مربوط به راهبرد معامله‌های بهینه (کیسل و گلنتز، ۲۰۰۳)، چارچوب عملی برای برآورد هزینه‌های معامله و توسعه راهبرد معامله‌های بهینه برای دستیابی به بهترین اجرا (کیسل و همکاران، ۲۰۰۴) و راهبردهای معامله‌های الگوریتمی (کیسل، ۲۰۰۶) توصیف شد. مدل واکنش بازار آی استار، یک رویکرد تخصیص هزینه بالا به پایین است که ابتدا هزینه کل سفارش برآورد می‌شود، سپس این هزینه به دوره‌های معامله بر اساس برنامه معامله‌های مدنظر تخصیص می‌یابد و مدل به دو قسمت تقسیم می‌شود: واکنش آنی با عنوان I star یا I^* و واکنش بازار با عنوان MI[1] که در واقع هزینه متحمل‌شده به‌دلیل راهبرد معامله‌های اتخاذشده توسط سرمایه‌گذار است. تابع واکنش بازار MI به دو جزء دائمی و موقت دسته‌بندی می‌شود. در پژوهش حاضر از این مدل استفاده شده است؛ زیرا هدف پژوهش، کاهش هزینه معامله‌های تحمیل‌شده در حین اجرای معامله برای سفارش‌هایی با اندازه‌های مختلف است و می‌توان با پیش‌بینی هزینهٔ کل سفارش و مدیریت سفارش‌گذاری، مقداری از آن را کاهش داد. همچنین فعالان بازار این هزینه‌ها را بر اساس اندازهٔ سفارش‌ها و حجم‌های بازار متحمل می‌شوند. این مدل از تعادل عرضه و تقاضای اقتصادی پیروی می‌کند.

معادله واکنش آنی

در معامله‌ها، هزینه واکنش آنی، هزینه ایجادشده توسط سرمایه‌گذار در صورت اجرای یک‌باره کل سفارش در بازار است. این جزء، همچنین به‌عنوان کل پرداختی موردنیاز برای جذب خریداران و فروشندگان جدید به بازار در نظر گرفته می‌شود. در اقتصاد، I-star هزینه متحمل‌شده توسط تقاضاکنندگان در اثر عدم تعادل در عرضه و تقاضاست. مدل آی استار، در سری زمانی بازه‌های نیم‌ساعته، به‌صورت مجموع اختلاف قیمت معامله از سمت خرید نسبت به معامله خرید لحظه قبل خود است.

رابطه ۱) $$\mathrm{Istar} = a_1\left(\frac{Q}{ADV}\right)^{a_2}\sigma^{a_3}$$

در این رابطه، Q، عدم تعادل بازار (تفاوت بین حجم معامله‌های خریدوفروش در بازه زمانی مدنظر) است.

عدم تعادل در بازه زمانی مدنظر، از داده‌های لحظه‌ای مربوط به حجم معامله‌ها در طول ساعت‌های معامله به‌دست

1. Market Impact

می‌آید. معامله‌ها بر اساس قانون تیک اصلاح‌شده لی و ردی[1] (۱۹۹۱) با استفاده از داده‌های دفتر سفارش‌ها و معامله‌ها در نرم‌افزار اکسل، به دو دسته معامله از سمت خریدار و فروشنده طبقه‌بندی می‌شوند. در این قانون، قیمت معامله‌ها با میانگین قیمت شکاف قیمتی مقایسه می‌شوند. به این ترتیب، معامله‌هایی که قیمتی بیشتر از میانگین قیمت شکاف قیمتی داشته باشند، در طبقهٔ معامله از سمت خریدار دسته‌بندی می‌شوند و اگر کمتر از آن باشند، در دستهٔ معامله‌ها از سمت فروشنده قرار می‌گیرند. در صورت یکسان بودن این قیمت‌ها، دسته‌بندی بر اساس معامله قبلی صورت می‌گیرد، به این ترتیب که اگر معامله قبلی خرید بود، معامله مدنظر به‌عنوان معامله خرید و اگر فروش بود به‌عنوان معامله از سمت فروش در نظر گرفته می‌شود. عدم تعادل از تفاوت مجموع حجم معامله‌ها از سمت خریدوفروش در بازه زمانی مدنظر به دست می‌آید.

رابطه ۲) $$Q = \left|\sum Buy_initiated \; - \sum Sell_initiated\right|$$

در این رابطه، $Buy_initiated$ حجم معامله‌های آغاز شده از سمت خریدار در بازه زمانی مدنظر و $Sell_initiated$ حجم معامله‌های آغاز شده از سمت فروشنده در بازه زمانی مدنظر؛ ADV متوسط حجم معامله‌ها در بازه زمانی مدنظر (طول ساعت‌های معامله) و T تعداد روزهایی است که معامله‌های مدنظر انجام شده است.

رابطه ۳) $$ADV = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T} v_i(day)$$

$v_i(day)$ کل حجم معامله‌شده در بازه زمانی مدنظر و σ نوسان‌های بازده در بازه زمانی مدنظر است.

رابطه ۴) $$\sigma = \sqrt{\frac{250}{T-1}\sum_{i=2}^{T}(r_i - r_{avg})^2}$$

r_i بازده لگاریتمی که به‌صورت $\ln\left(\frac{P_t}{P_{t-1}}\right)$ محاسبه می‌شود. P_t، قیمت معامله نماد در لحظه t؛ P_{t-1} قیمت معامله در لحظه t−۱؛ r_{avg} میانگین بازده لگاریتمی در دوره مدنظر و a_1، a_2 و a_3 پارامترهای مدل هستند که از طریق رگرسیون غیرخطی تعیین می‌شوند.

اندازه عدم تعادل

اندازه عدم تعادل، به‌صورت درصدی از متوسط حجم معامله‌های روزانه در نظر گرفته می‌شود.

رابطه ۵) $$size = \frac{Q}{ADV}$$

1. Lee & Ready

معادله واکنش بازار MI برای سفارش تک‌سهمی

هزینه واکنش بازار، معرف هزینه‌ای است که انتظار می‌رود توسط معامله‌گر به‌دلیل راهبرد معامله‌هایی که اتخاذ کرده، همانند درصد حجمی (POV)، برنامه معامله‌های (Trade Schedule) و ... ایجاد شود.

$$MI(x_k) = \sum_{k=1}^{t}\left(b \times I\ star \times \frac{x_k^2}{X \times V_k}\right) + \sum_{k=1}^{t}(1-b) \times I\ star$$ رابطه ۶)

k، تعداد دوره‌های معامله‌های مدنظر؛ b، پارامتر واکنش موقت؛ $I\ star$، هزینه واکنش آنی؛ x_k، میزان سفارش در دوره k ام؛ X کل سفارش‌های مدنظر؛ v_k، حجم معامله‌های مورد انتظار در دوره مدنظر؛ $b - ۱$، پارامتر واکنش دائمی.

شکل‌گیری تابع واکنش بازار به این صورت است که بعد از برآوردکردن هزینه آنی I star، این مقدار به هریک از دوره‌های معامله بر اساس درصدی از سفارش اجراشده در آن دوره اختصاص می‌یابد. اگر x_k تعداد سهم، از کل سفارش مدنظر X در دوره kام اجرا شود، آنگاه درصدی از I star تخصیص داده‌شده به دوره kام برابر است با $\frac{x_k}{X} \times$ I star. سپس درصدی از واکنش موقت و دائمی به‌ترتیب به‌میزان $\frac{x_k}{X} \times$ b × I star و $\frac{x_k}{X} \times$ $(۱ - b) \times$ I star به دوره kام تخصیص داده می‌شود. آنگاه هزینه واکنش موقت به سرمایه‌گذار بر اساس درصد حجم معامله در دوره مدنظر به مقدار $\frac{x_k}{x_k+v_k} \times \frac{x_k}{X} \times$ b × I star تخصیص داده می‌شود. برای سادگی، هزینه واکنش موقت در قالب نرخ معامله‌ها، به‌صورت $\frac{x_k}{v_k} \times \frac{x_k}{X} \times$ b × I star در نظر گرفته می‌شود که در نتیجه، کل هزینه واکنش بازار برای راهبرد برنامه معامله‌ها با جمع‌کردن هزینه در طول تعداد دوره‌های مدنظر به دست می‌آید.

حل معادله واکنش بازار

روش لاگرانژ (یافتن بیشینه و کمینه مسائل محدودیت‌دار)

معادله با استفاده از روش لاگرانژ حل می‌شود. این روش برای کمینه یا بیشینه‌کردن مسائل با محدودیت‌هایی به‌شکل تساوی استفاده می‌شود. صورت کلی روش لاگرانژ در زیر مشاهده می‌شود.

$$\min\ f(x_1.x_2 \ldots.x_n)$$ رابطه ۷)

$$g(x_1 \ldots.x_n) = 0$$

$$l(x.\lambda) = f(x_1 \ldots x_n) - \sum_{k=1}^{n} \lambda_i 0 g_i(x_1 \ldots x_n)$$ رابطه ۸)

رابطه ۸ تابع لاگرانژ و λ_i ها ضرایب لاگرانژ نامیده می‌شوند. با حل معادله‌های زیر، به جواب مدنظر می‌رسیم.

$$\frac{\partial l}{\partial x_i} = 0$$ رابطه ۹)

$$\frac{\partial l}{\partial \lambda_i} = 0$$

$$i = 1, \ldots, n$$

معادله‌های واکنش بازار مدل پژوهش

تابع هدف مدنظر، هزینه واکنش بازار و هدف، حداقل‌کردن آن است.

رابطه ۱۰)
$$\text{Istar} = a_1 (\frac{Q}{ADV})^{a_2} \sigma^{a_3}$$

$$\min\ MI(x_k) = \sum_{k=1}^{t} \left(b \times Istar \times \frac{x_k^2}{X \cdot V_k} \right) + \sum_{k=1}^{t} (1-b) \times Istar$$

$$\sum_{k=1}^{t} x_k = X$$

تابع لاگرانژ معادله مدنظر

رابطه ۱۱)
$$L(x \times \lambda) = \frac{b \times a_1}{X \times ADV^{a_2}} \sum_{k=1}^{t} \frac{x_k^{a_2+2}}{v_k} + \frac{(1-b) \times a_1}{ADV^{a_2}} \sum_{k=1}^{t} {x_k}^{a_2} - \lambda (\sum_{k=1}^{t} x_k - X)$$

رابطه ۱۲)
$$\frac{\partial L}{\partial x_k} = \frac{b \times a_1 \times (a_2+2) \times {x_k}^{a_2+1}}{X \times ADV^{a_2} \times v_k} + \frac{(1-b) \times a_1 \times a_2 \times x_k^{a_2-1}}{ADV^{a_2}} - \lambda = 0$$

رابطه ۱۳)
$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = -(\sum_{k=1}^{t} (x_k) - X) = 0$$

رابطه ۱۴)
$$A_k = \frac{b \times a_1 \times (a_2+2)}{X \times ADV^{a_2} \times v_k} \times x_k^{a_2+1}$$

رابطه ۱۵)
$$B_k = \frac{(1-b) \times a_1 \times a_2}{ADV^{a_2}} \times x_k^{a_2-1}$$

رابطه ۱۶)
$$A_k \times x_k^{a_2+1} + B_k \times x_k^{a_2-1} - \lambda = 0$$

$$K = 1, \ldots, t$$

رابطه ۱۷)
$$\sum_{k=1}^{t} (x_i) - X = 0$$

$$K = 1, \ldots, t$$

با حل رابطه‌های ۱۶ و ۱۷ در نرم‌افزار متلب، حجم سفارش بزرگ را به تعدادی حجم کوچک تقسیم می‌کنیم.

پیش‌بینی حجم معامله‌های سهم‌های انتخابی

در طراحی راهبرد معامله‌های تقسیم سفارش بزرگ، برای کاهش هزینه واکنش بازار سرمایه‌گذار، به پیش‌بینی حجم معامله‌های روزانه نیاز داریم تا با استفاده از حل تابع مدنظر، حجم سفارش برای دوره‌های معامله‌های مدنظر را تعیین کنیم. در پژوهش حاضر، برای پیش‌بینی از نرم‌افزار اکسل با استفاده از روش هموارسازی نمایی استفاده شده است. حجم مورد انتظار با استفاده از داده‌های تاریخی مربوط به حجم معامله‌ها در بازه‌های نیم‌ساعته برای یک روز معامله (هفت بازه نیم‌ساعته) پیش‌بینی می‌شود که برای دوره‌های کوتاه‌مدت از اعتبار کافی برخوردار است.

یافته‌های پژوهش

در این بخش، نتایج تخمین پارامترهای مدل واکنش بازار با استفاده از نرم‌افزار ایی ویوز ارائه شده است.

جدول۲. سهم فولاد

متغیر	متغیر وابسته واکنش بازار آنی (Market Impact)			
	احتمال	آماره t	خطای استاندارد	ضرایب
C	۰۰/۰۰	۲۳/۵۴	۰/۱۷	۴
Ln (size)	۰۰/۰۰	۶/۸۷	۰/۰۲	۰/۱۶
Ln (sigma)	۰/۰۰۴۰	۲/۸۹	۰/۰۸	۰/۲۳
آماره‌های آزمون مدل				
سطح معناداری F	۰۰/۰۰		R^2 تعدیل‌شده	۰/۳۱
آماره F	۷۴/۳۰		آماره دوربین ـ واتسون	۱/۹۸

جدول۳. وخارزم

متغیر	متغیر وابسته واکنش بازار آنی (Market Impact)			
	احتمال	آماره t	خطای استاندارد	ضرایب
C	۰۰/۰۰	۱۳/۲۷	۰/۵۵	۴
Ln (size)	۰۰/۰۰	۶/۵۲	۰/۰۲	۰/۱۷
Ln (sigma)	۰۰/۰۰	۹/۵۳	۰/۰۷	۰/۷۴
آماره‌های آزمون مدل				
سطح معناداری F	۰۰/۰۰		R^2 تعدیل‌شده	۰/۲۸
آماره F	۷۲/۱۹		آماره دوربین ـ واتسون	۱/۹۹

جدول٤. سهم وبملت

متغیر	متغیر وابسته واکنش بازار آنی (Market Impact)			
	احتمال	آماره t	خطای استاندارد	ضرایب
C	۰۰/۰۰	۱۱/۲۳	۰/۴۹	۵
Ln (size)	۰۰/۰۰	۴/۶۳	۰/۰۲	۰/۱۱
Ln (sigma)	۰/۰۰۰۷	۳/۴۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲
آماره‌های آزمون مدل				
سطح معناداری F	۰۰/۰۰	R^2 تعدیل‌شده		۰/۳۹
آماره F	۵۰/۰۸	آماره دوربین ـ واتسون		۱/۹۶

جدول٥. سهم شبندر

متغیر	متغیر وابسته واکنش بازار آنی (Market Impact)			
	احتمال	آماره t	خطای استاندارد	ضرایب
C	۰۰/۰۰	۲۱/۸۲	۰/۴۸	۷
Ln (size)	۰۰/۰۰	۸/۶۹	۰/۰۲۳	۰/۲
Ln (sigma)	۰۰/۰۰	۱۳/۱۷	۰/۰۰۸	۰/۱۱
آماره‌های آزمون مدل				
سطح معناداری F	۰۰/۰۰	R^2 تعدیل‌شده		۰/۵۰
آماره F	۹۶/۹۳	آماره دوربین ـ واتسون		۱/۹۶

نتایج آماری به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که پارامترهای آماری نظیر R-Squared برای هریک از سهم‌ها در سطح نسبتاً مطلوبی قرار دارد و در مدل‌های مدنظر، اندازه عدم تعادل و نوسان‌های بازده قیمتی، حدود ۳۰درصد از تغییرات واکنش بازار را توضیح می‌دهد.

تابع واکنش بازار آنی سهم‌های منتخب

تابع واکنش بازار آنی (میزان تغییر در قیمت سهم مدنظر به ازای حجم معامله‌های مختلف در صورت سفارش‌گذاری یکباره در بازار) حاصل از تخمین داده‌های سری زمانی سهم‌های مدنظر در جدول ۶ ارائه شده است.

همان طورکه در جدول ۶ مشاهده می‌شود، بر اساس تابع واکنش بازار آنی، سرمایه‌گذار برای اجرای سفارش‌هایش که در اندازه‌های مختلفی هستند، هزینه‌های متفاوتی را متحمل می‌شود. در واقع، فرض بر این است که در هر لحظه که سرمایه‌گذار قصد گذاشتن سفارش در بازار را دارد، نوعی عدم تعادل در بازار ایجاد می‌کند و در صورتی که در بازار نقدشوندگی کافی وجود نداشته باشد، باید هزینه‌ای بابت عدم تعادل ایجادشده در بازار و تکمیل سفارش‌هایش متحمل شود که در این پژوهش با ارائه راهبرد تقسیم سفارش به‌دنبال حداقل‌کردن این هزینه هستیم. در این پژوهش، تابع هزینه واکنش بازار سهم‌ها به‌دست‌آمده و فقط با یکدیگر مقایسه شده‌اند و به‌صورت آماری بررسی نشده‌اند. همان طور

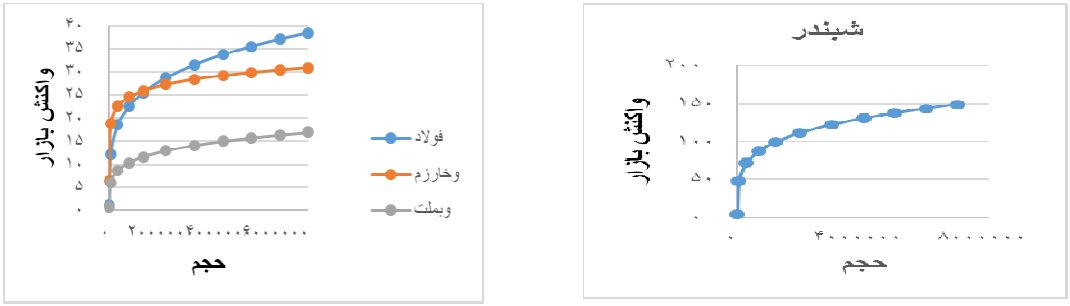
که مشاهده می‌شود، برای بعضی از سهم‌ها واکنش بازار به ازای حجم‌های یکسان بیشتر و برای بعضی کمتر است که این تفاوت، از ویژگی‌های ریزساختاری و ذاتی سهم نشئت می‌گیرد؛ زیرا بعضی از سهم‌ها توسط حقوقی‌ها خریداری‌شده و حجم زیادی از آنها معامله می‌شود. در نتیجه، در صورتی که برای سهم، نقدشوندگی کافی در بازار وجود نداشته باشد، سرمایه‌گذار بابت انجام سفارش‌هایش هزینه واکنش بازار سنگینی متحمل خواهد شد.

جدول ٦. تابع واکنش بازار آنی سهم‌های منتخب

سهم	تابع واکنش بازار
فولاد	$\text{I star} = (۵۴/۵۹) \times \left(\frac{x}{ADV}\right)^{۰/۱۶} (۰/۱۹)^{۰/۲۳}$
وخارزم	$\text{I star} = (۹۹/۴۸) \times \left(\frac{x}{ADV}\right)^{۰/۱۷} (۰/۱۲)^{۰/۷۴}$
وبملت	$\text{I star} = (۲۰/۰۸) \times \left(\frac{x}{ADV}\right)^{۰/۱۰} (۰/۰۱)^{۰/۰۲}$
شبندر	$\text{I star} = (۱/۹۶) * \left(\frac{x}{ADV}\right)^{۰/۲۰} (۰/۱۶)^{۰/۱۱}$

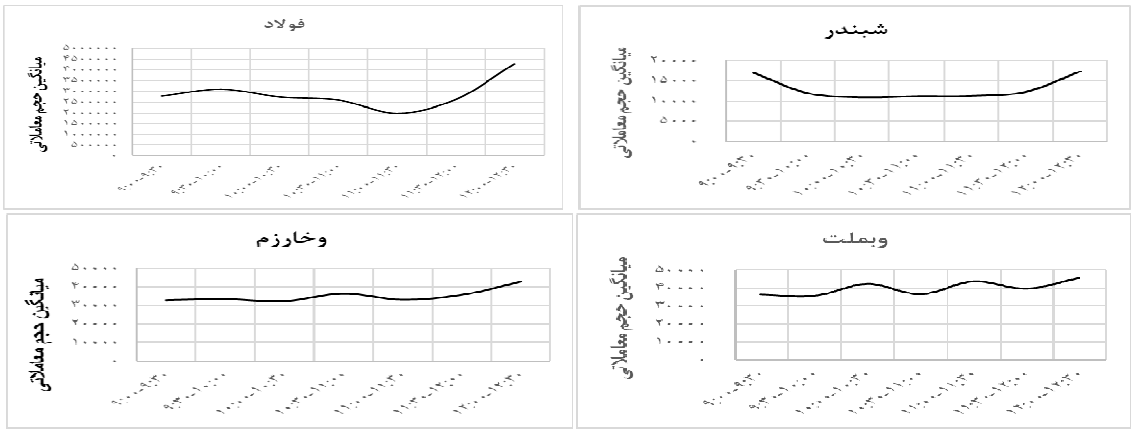
الگوی رفتاری واکنش بازار آنی

با توجه به پژوهش‌های پیشین، شکل تابع واکنش بازار به ازای حجم معامله‌ها در بورس‌های مختلف، به‌صورت مقعر است و با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از شکل ۲، مشاهده می‌شود که این ویژگی برای بورس اوراق بهادار تهران نیز صادق است. طبق نتایج، حاشیه واکنش بازار برای حجم‌های کوچک‌تر، بیشتر از حجم‌های بزرگ‌تر است. در واقع با افزایش اندازه سفارش‌ها، سرمایه‌گذار راضی نیست که هزینه‌های بیشتری تحمل کند. این افراد سرمایه‌گذارانی هستند که حجم‌های بسیار زیادی را معامله می‌کنند، در واقع سرمایه‌گذاران سازمانی که افق معامله‌های طولانی‌تری دارند، به‌جای قبول کردن هزینه‌های بیشتر، برای رسیدن نقدشوندگی به بازار بابت اجرای سفارش‌هایشان منتظر می‌مانند که در این صورت، حاشیه واکنش بازار برای معامله‌ها آنها کمتر است. شکل ۲ مقایسه الگوی رفتاری هزینه‌های واکنش بازار سهم‌های منتخب را نشان می‌دهد که فقط با توجه به نمودار مقایسه شده‌اند. هر چهار سهم الگوی رفتاری مقعری دارند و به ازای مقادیر مختلف اندازه سفارش‌ها، واکنش بازارهای متفاوتی را نشان می‌دهند. با بررسی اطلاعات مربوط به سهم شبندر مشاهده می‌شود که در بازه زمانی مدنظر بیشتر حجم معامله از سمت حقوقی‌ها بوده است که آنها برای انجام معامله‌های خود راضی به افزایش قیمت بوده‌اند و باعث شده‌اند واکنش بازار یا تغییر قیمت‌های بیشتری ایجاد شود. بعد از سهم شبندر، در رابطه با سه سهم دیگر، فولاد بیشتر از وخارزم و وخارزم بیشتر از وبملت دارای واکنش بازار است. در این میان، سهم وبملت به‌دلیل اینکه در مقایسه با سایر سهم‌ها قیمت کمتری دارد (هم ارزان‌تر و هم حجم معامله‌های آن در مقایسه با سهم‌های دیگر کمتر است)، معامله‌گران برای تکمیل سفارش و جذب خریدار یا فروشندگان مازاد به بازار، متحمل هزینه کمتری می‌شوند (تغییر قیمت حاصل شده کم است)، از این رو، دارای واکنش بازار کمتری است.

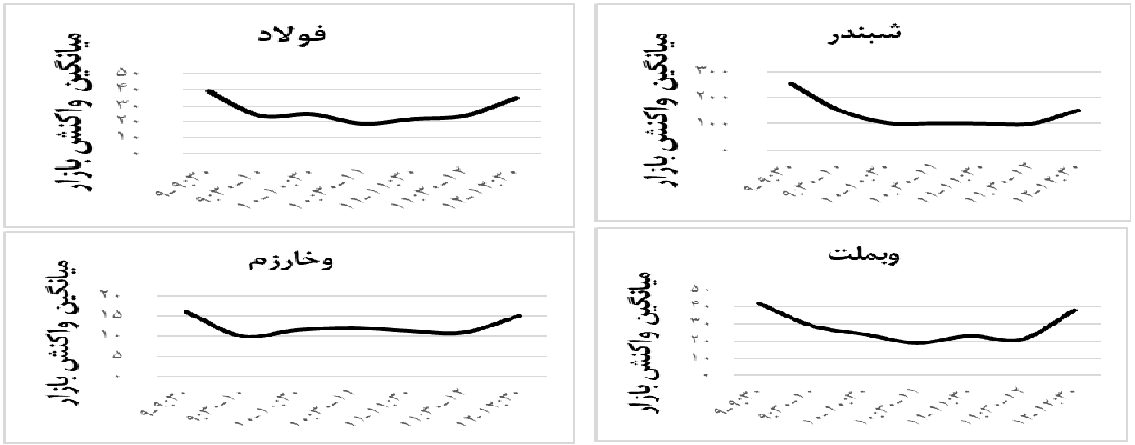


شکل۲. نمودارهای الگوی رفتاری واکنش بازار آنی سهم‌ها

در ادامه، نمودارهای الگوهای رفتاری میانگین حجم معامله‌ها و هزینه واکنش بازار نشان داده شده است.



شکل۳. نمودارهای الگوی رفتاری میانگین حجم معامله‌های هر چهار سهم برای بازده‌های نیم‌ساعته



شکل٤. نمودارهای الگوی رفتاری میانگین واکنش بازار سهم‌ها برای بازه‌های نیم‌ساعته

نتایج پیش‌بینی حجم معامله سهم‌های مدنظر

با استفاده از حجم معامله‌های پیش‌بینی‌شده در نرم‌افزار اکسل، در مرحله بعد می‌توانیم از معادله واکنش بازار برای تقسیم سفارش بزرگ و ارائه راهبرد معامله برای حداقل‌کردن هزینه واکنش بازار سفارش بزرگ استفاده کنیم.

جدول۷. مقادیر حجم معامله‌های پیش‌بینی‌شده با استفاده از اکسل برای سهم‌های منتخب در هفت دوره

سهم	فولاد	وبملت	وخارزم	شبندر
۱	۱۸۷۳۵۳۲	۵۷۰۳۲۱۳	۲۵۷۳۵۹۷۹	۸۰۱۸۷۵۲
۲	۱۹۴۰۶۸۱	۳۰۷۸۰۷۲	۱۶۹۱۱۵۶۶	۸۰۲۴۴۱۳
۳	۳۴۲۷۰۷۲	۱۸۴۱۰۷	۱۶۸۲۶۷۷۴	۸۰۳۰۰۷۴
۴	۱۷۸۳۹۵۵	۳۳۰۷۱۶	۲۰۱۴۰۴۶۸	۸۰۳۵۷۳۴
۵	۲۹۵۶۷۸۸	۲۹۴۳۱۸	۱۷۷۵۱۱۹۲	۸۰۴۱۳۹۵
۶	۲۳۱۳۰۸۰	۷۷۰۱۵۲	۱۶۵۵۸۷۵۲	۸۰۴۷۰۵۶
۷	۷۰۵۰۲۶۰	۱۴۰۶۸۹۷	۱۷۷۸۵۰۴۰	۸۰۵۲۷۱۷

تقسیم سفارش بزرگ بر اساس تابع MI

معادله هزینه واکنش بازار مربوط به راهبرد معامله‌های سرمایه‌گذار دارای پارامترهای b و b−۱ است. در واقع این پارامترها، اثر ناشی از گذاشتن سفارش سرمایه‌گذار در بازار است که در طول زمان قسمتی از آن از بین می‌رود (b) و فقط تأثیر بخش اندکی از آن (b−۱) بر قیمت سهم حفظ می‌شود. به‌دست آوردن مقدار دقیق b برای سهم مدنظر کار دشواری است و با توجه به وضعیت بازار و پویا بودن ماهیت آن، به بررسی دقیق نیاز دارد. برای تعیین مقدار b و تقسیم سفارش مدنظر، می‌توان از نوسان‌های بهترین قیمت خرید بهره برد. از این رو با پیش‌بینی نوسان‌های بهترین قیمت سفارش‌های سمت خرید، به‌کمک مدل‌های اقتصادسنجی می‌توان b مربوط به هر سهم را تعیین کرد. زیاد بودن این نوسان‌ها دلیلی بر وجود رقابت بین خریداران و در نتیجه، تغییر سریع قیمت‌های پیشنهادی است. از این رو، واکنش موقت حاصل از سفارش‌های معامله‌گران (b) کم است و تغییر ایجاد شده در قیمت حفظ خواهد شد. همچنین در صورتی که نوسان‌های مدنظر کم باشد، یعنی رقابت زیادی بین خریداران وجود نداشته و تغییر قیمت ایجاد شده آنی بوده است و بخش زیادی از آن اصلاح شده و اثر کمی از آن بر قیمت حفظ خواهد شد که به‌معنای بالا بودن b است. در این پژوهش، به‌دلیل متغیر بودن مقدار b، با استفاده از سناریوسازی برای مقادیر مختلف b، حجم‌های سفارش تقسیم شده برای هر مرحله را به‌دست می‌آوریم تا بر اساس پیش‌بینی از وضعیت بازار، سرمایه‌گذار بتواند به‌جای اجرای یکباره سفارش بزرگ، با توجه به ویژگی‌های سهم مدنظر، سفارش را به چند سفارش کوچک‌تر شکسته و سفارش‌گذاری کند. در این پژوهش، سفارش بزرگ به‌ازای شش مقدار متفاوت b تقسیم شده است تا با توجه به الگوی درون‌روزی حجم معامله‌ها و واکنش بازار سهم‌ها، الگوی رفتاری مربوط به سفارش‌های تقسیم‌شده به‌دست آید و بررسی شود که آیا مدل، سفارش مدنظر را بر اساس ویژگی‌های بازار تقسیم می‌کند یا خیر.

حجم‌های به‌دست آمده برای سمت خرید به‌ازای مقادیر واکنش بازار موقت و دائمی (b) و (b−1)

جدول ۸. تقسیم سفارش سهم فولاد برای هفت دوره نیم‌ساعته

b	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹	۰/۹۵
۱	۲۸۵۰۵	۷۸۰۹۴	۷۴۸۷۳	۸۹۸۴۰	۹۸۵۷۶	۴۷۰۰۲۹
۲	۱۶۷۴۲۰	۸۷۶۶۱	۲۰۶۸۶۸	۸۵۴۴۵	۱۷۵۰۷۸	۱۱۲۲۳۲
۳	۲۸۲۳۵	۷۸۳۶۴	۷۶۲۸۲	۹۰۶۲۰	۱۰۷۸۵۴	۱۲۳۵۴
۴	۲۳۰۳۴۸	۲۳۵۷۴۳	۱۸۹۷۵۵	۹۵۸۸۵	۱۷۴۳۰۷	۱۱۱۲۲۸
۵	۳۳۰۷۴۷	۳۴۲۳۴۲	۲۷۳۶۵۸	۴۶۰۶۴۴	۲۵۲۲۰۶	۱۱۷۶۳۵
۶	۲۶۲۸۰	۷۱۵۷۷	۷۱۴۰۰	۹۱۶۱۰	۱۱۲۲۵۱	۶۵۰۳۱
۷	۱۸۸۴۶۵	۱۱۱۴۹۲	۱۰۷۱۶۴	۱۰۶۲۲۰	۸۵۹۵۶	۷۹۷۲۸
مجموع سفارش‌ها	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
MI	۱۰۲/۶۲۷۷	۸۶/۰۹۱۶	۷۰/۰۱۰۰	۵۳/۶۰۳۱	۳۶/۲۰۹۹	۲۲/۸۸۳۶

جدول ۹. تقسیم سفارش سهم وخارزم برای هفت دوره نیم‌ساعته

b	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹	۰/۹۵
۱	۸۸۸۴۱	۱۳۰۲۰۹	۱۴۱۹۰۳	۱۴۳۴۳۴	۱۴۳۵۳۹	۲۶۴۷۷۵
۲	۹۳۵۹۹	۱۳۷۷۱۵	۱۴۱۷۹۳	۱۴۶۵۱۹	۱۴۴۲۰۶	۱۵۱۰۳۹
۳	۸۹۳۳۳	۵۱۳۴۴	۱۴۲۶۷۷	۱۴۲۲۱۸	۱۴۰۷۲۲	۱۱۴۷۲۸
۴	۷۲۶۴۸	۱۹۷۱۹	۱۴۲۸۶۸	۱۴۲۱۷۳	۱۴۰۲۹۳	۱۱۵۳۰۹
۵	۸۸۲۲۹	۲۹۷۸۳	۱۴۲۸۱۰	۱۴۲۱۸۴	۱۴۰۴۱۲	۱۱۵۱۵۹
۶	۴۶۲۸۱۲	۴۶۰۸۸۷	۱۴۶۷۵۶	۱۴۱۹۹۲	۱۳۶۷۱۷	۱۱۷۳۸۳
۷	۱۷۰۳۴۲	۱۵۴۱۱۲	۱۴۱۴۸۰	۱۴۱۱۹۳	۱۲۱۶۰۷	۱۰۴۵۳۹
مجموع سفارش‌ها	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
MI	۴۱/۹۷۰۳	۱۰۴/۶۰۱۲	۲۷/۹۵۲۹	۲۱/۰۰۳۰	۱۴/۰۴۴۴	۱۰۲۹/۷

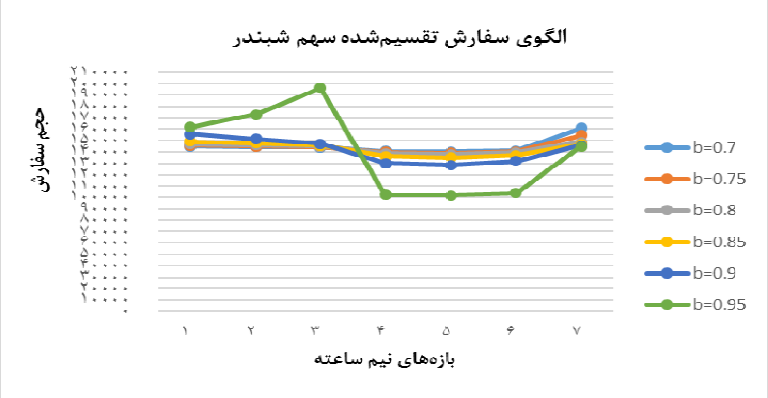
جدول ۱۰. تقسیم سفارش سهم وبملت برای هفت دوره نیم‌ساعته

b	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹	۰/۹۵
۱	۱۲۵۹۲۶	۱۲۸۴۶۸	۱۳۸۸۵۴	۱۴۲۹۲۰	۱۷۷۵۷۸	۴۸۷۷۵۷
۲	۱۲۶۱۷۴	۱۲۵۸۱۵	۱۳۷۱۲۷	۱۴۳۳۵۸	۴۷۳۳۸۶	۸۵۰۲۴
۳	۱۲۴۸۰۰	۱۴۰۸۷۵	۱۴۲۴۳۵	۱۴۱۲۱۲	۸۳۷۲۹	۸۵۴۷۸
۴	۱۲۸۵۶۴	۱۴۳۳۶۱	۱۴۲۷۱۸	۱۴۰۹۷۵	۸۰۵۵۳	۸۵۴۶۸
۵	۱۲۶۷۵۴	۱۴۲۶۱۹	۱۴۲۶۴۳	۱۴۱۰۴۰	۸۱۳۷۹	۸۵۴۷۰
۶	۲۴۱۰۵۱	۲۱۲۳۵۷	۱۴۴۱۰۴	۱۳۹۲۴۲	۶۸۰۹۹	۸۵۴۳۲
۷	۳۲۵۲۷۷	۱۵۲۱۱۹	۱۵۱۲۵۲	۱۳۶۵۰۵	۱۲۶۷۳۲	۸۵۳۷۱
مجموع سفارش‌ها	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
MI	۴۱/۷۰۷۳	۳۵/۴۴۴۹	۲۹/۰۹۷۲	۲۲/۹۹۳۸	۱۵/۲۷۶۹	۶۸۶۰/۸

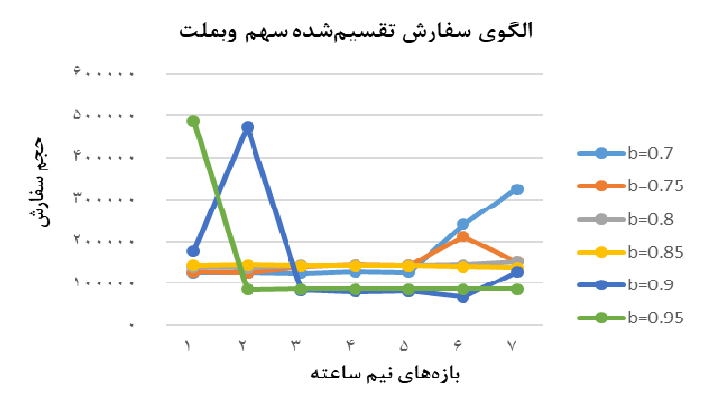
جدول ۱۱. تقسیم سفارش سهم شبندر هفت دوره نیم‌ساعته

b	۰/۷	۰/۷۵	۰/۸	۰/۸۵	۰/۹	۰/۹۵
۱	۱۴۵۰۱۶	۱۴۵۷۶۰	۱۴۶۸۶۷	۱۴۹۱۸۸	۱۵۵۹۴۸	۱۶۱۷۲۰
۲	۱۴۴۵۴۵	۱۴۵۰۴۴	۱۴۶۰۵۲	۱۴۷۶۴۲	۱۵۱۵۷۲	۱۷۳۱۷۵
۳	۱۴۳۹۸۹	۱۴۴۳۴۴	۱۴۴۷۹۱	۱۴۵۷۰۱	۱۴۷۳۷۶	۱۹۶۲۱۳
۴	۱۴۰۵۰۸	۱۳۹۷۳۴	۱۳۸۵۲۳	۱۳۶۱۷۰	۱۳۰۱۲۵	۱۰۲۳۳۵
۵	۱۴۰۰۹۸	۱۳۹۱۴۱	۱۳۷۷۷۶	۱۳۵۱۷۰	۱۲۸۴۴۸	۱۰۱۸۱۱
۶	۱۴۰۹۲۳	۱۴۰۳۳۸	۱۳۹۲۸۸	۱۳۷۲۰۴	۱۳۱۹۱۷	۱۰۳۸۴۱
۷	۱۶۰۹۰۵	۱۵۴۶۱۴	۱۴۸۹۲۵	۱۴۶۷۰۲	۱۴۵۶۴۰	۱۴۴۹۲۱
مجموع سفارش‌ها	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰
MI	۴۶۸/۲۹۴۰	۳۹۰/۸۷۹۵	۳۱۳/۴۶۳۰	۲۳۶/۰۶۰۲	۱۵۸/۶۴۹۰	۸۱/۴۳۳۷

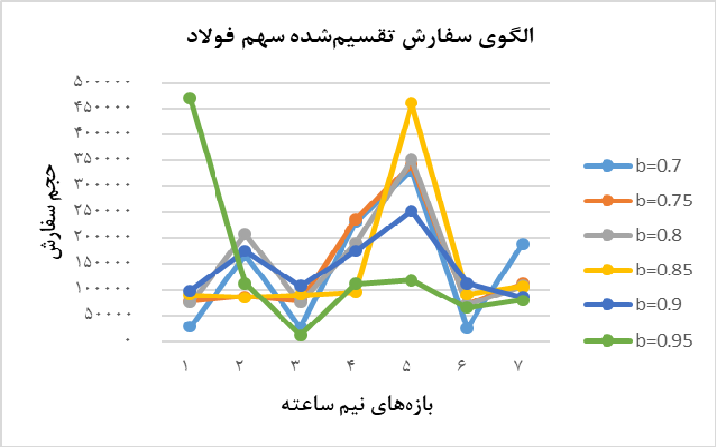
الگوی سفارش تقسیم‌شده به ازای پارامتر واکنش بازار b برای سهم‌های مختلف



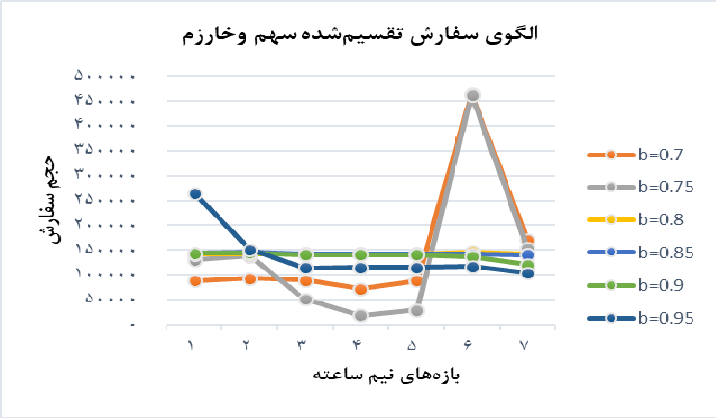
شکل ۵. نمودار الگوی سفارش تقسیم‌شده سهم شبندر برای سفارش‌گذاری در هفت بازه نیم‌ساعته



شکل ٦. نمودار الگوی سفارش تقسیم‌شده سهم وبملت برای سفارش‌گذاری در هفت بازه نیم‌ساعته



شکل ۷. نمودار الگوی سفارش تقسیم‌شده سهم فولاد
برای سفارش‌گذاری در هفت بازه نیم‌ساعته



شکل ۸. نمودار الگوی سفارش تقسیم‌شده سهم وخارزم
برای سفارش‌گذاری در هفت بازه نیم‌ساعته

با توجه به الگوی تقسیم سفارش‌ها و همچنین الگوی درون‌روزی، میانگین حجم معامله‌ها و واکنش بازار هر یک از سهم‌ها برای سری زمانی بازه‌های نیم‌ساعته به دست آمد. همان طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، حجم معامله‌ها در ابتدای روز کم بوده و در آخر روز، حجم معامله‌ها افزایش یافته است. چون در ابتدای روز سرمایه‌گذاران از وضع بازار اطلاعی ندارند، حجم کمتری معامله می‌کنند و با رسیدن به ساعات پایانی روز، تعداد فعالان بازار با توجه به وضعیت بازار افزایش می‌یابد و در نتیجه بر حجم معامله‌ها افزوده می‌شود. همچنین در شروع روز، حجم معامله‌ها کم و واکنش بازار زیاد است که نشان می‌دهد سرمایه‌گذاران به‌دلیل تعداد فعالان بازار و نقدشوندگی کم بازار، مجبورند برای اجرا و برآورده‌کردن نیازهای نقدشوندگی خود و جذب فعالان جدید به بازار، قیمت معامله‌های خود را برای سفارش‌های خرید

بیشتر از قیمت فعلی بازار و برای سفارش‌های فروش قیمتی، کمتر از بازار پیشنهاد کنند؛ اما در ساعات پایانی که حجم معامله‌ها افزایش می‌یابد، برای اجرای سفارش‌های سرمایه‌گذاران، نقدشوندگی در بازار به اندازه کافی وجود دارد و آنها هزینه سنگینی را که همان هزینه واکنش بازار است، متحمل نمی‌شوند و هزینه واکنش بازار در ساعات پایانی نسبت به ابتدای روز کمتر است. در اواسط روز، برای هر سهم وضعیت متفاوت است و تنها با استفاده از رابطه حجم و واکنش بازار نمی‌توان اظهار نظر کرد؛ چون عوامل زیادی مثل عمق بازار، نوسان‌های بازده قیمتی، وضعیت دفتر سفارش‌ها و... بر آن تأثیر می‌گذارد. همچنین با توجه به تقسیم سفارش صورت گرفته، مشاهده می‌شود که مدل مدنظر طبق الگوهای درون‌روزی بازار عمل کرده و به دوره‌های پایانی در مقایسه با دوره‌های ابتدایی بازار، حجم بیشتری تخصیص داده است. همچنین پارامترهای واکنش موقت (b) و دائمی بازار (b–۱) با توجه به شرایط پویای بازار ثابت نیستند و با تغییر پارامترهای مختلف بازار مانند نقدشوندگی، عمق بازار و عوامل دیگر تغییر می‌کنند. از این رو، در این پژوهش سفارش مدنظر، بر اساس مقادیر مختلف پارامتر واکنش موقت بازار تقسیم شده است. با توجه به الگوی رفتاری حجم‌های به‌دست آمده برای هر دوره نیم‌ساعته در ابتدا و انتهای هر روز مشاهده می‌شود که برای نیم ساعت اول روز، میانگین حجم معامله‌ها کم و میانگین هزینه واکنش بازار زیاد است. برای مقادیر کم پارامتر b، حجم سفارش به‌دست آمده کم است و با افزایش مقدار b، حجم تقسیمی افزایش می‌یابد. این ویژگی، در الگوی سفارش تقسیم شده نیز مشاهده می‌شود. در واقع، در ابتدای روز، به‌ازای مقادیر کم b و زیاد b– ۱، واکنش بازار دائم سفارش تقسیمی کم است تا سرمایه‌گذاران هزینه واکنش بازار کمتری را متحمل شوند و با افزایش مقدار b و کاهش b – ۱، حجم سفارش در ابتدای روز بیشتر است؛ زیرا با انجام معامله، بخش اعظم تغییر قیمت ایجاد شده موقت بوده و تا آخر روز از بین می‌رود و قیمت به مقدار تعادلی خود اما تا اندازه‌ای بالاتر از قیمت معامله‌های قبل (به‌دلیل محتوای اطلاعاتی منتشر شده در بازار) بازمی‌گردد. از این رو، در انتهای روز سرمایه‌گذاران می‌توانند حجم مدنظر خود را با هزینه کمتری معامله کنند. همچنین الگوی مربوط به سفارش‌های تقسیمی نشان می‌دهد که مدل مدنظر از اعتبار مناسبی برخوردار است و سفارش بزرگ را بر اساس ماهیت بازار و ویژگی سهم‌ها تقسیم می‌کند. همان طور که گفته شد، تعیین دقیق مقدار b دشوار است و با توجه به شرایط پویای بازارهای مالی تغییر می‌کند، از این رو، برای تعیین مقدار b و تقسیم سفارش مدنظر، می‌توان از نوسان‌های بهترین قیمت خرید بهره برد و با پیش‌بینی نوسان‌های بهترین قیمت سفارش‌های سمت خرید و به‌کمک مدل‌های اقتصادسنجی، b مربوط به هر سهم را تعیین کرد. زیاد بودن این نوسان‌ها دلیلی بر وجود رقابت بین خریداران و درنتیجه تغییر سریع قیمت‌های پیشنهادی است، از این رو، واکنش موقت حاصل از سفارش‌های معامله‌گران (b) کم شده و تغییر ایجاد شده در قیمت حفظ خواهد شد. همچنین، در صورتی که نوسان‌های مدنظر کم باشد، به این معناست که رقابت زیادی بین خریداران وجود نداشته و تغییر قیمت ایجاد شده آنی بوده است و بخش زیادی از آن اصلاح شده و اثر کمی از آن بر قیمت حفظ خواهد شد که به‌معنای بالا بودن b است. معامله‌گران با توجه به این ویژگی می‌توانند مقدار مناسب b را تعیین کرده و بر اساس آن، سفارش بزرگ خود را تقسیم کنند.

نتیجه‌گیری

یکی از اهداف بسیار مهم سرمایه‌گذاران و معامله‌گران، کاهش هزینه‌های تحمیل‌شده در انجام سفارش‌های بزرگ است، از این رو، آنها همواره به راهبردها و الگوریتم‌هایی نیاز دارند که هنگام اجرای سفارش‌ها، هزینه را به حداقل برساند. با گسترش معامله‌های الگوریتمی، یکی از اهداف اولیه این الگوریتم‌ها، یعنی کاهش هزینه‌های انجام سفارش‌های بزرگ تا حدی برآورده شده است. در این پژوهش، معامله‌های انجام‌شده درون‌روزی چند سهم در بورس اوراق بهادار تهران از سمت خرید بررسی شد و معادله واکنش بازار آنی سهم‌های مدنظر برای هر یک به دست آمد. سپس با استفاده از تابع واکنش بازار MI یعنی هزینه تحمیل‌شده به سرمایه‌گذار برای راهبرد معامله‌هایی که اتخاذ کرده، یک سفارش بزرگ به اندازه ۱ میلیون سهم برای هر یک از سهم‌ها، بر اساس افق معامله‌های سرمایه‌گذار (در این پژوهش یک روز معاملاتی) به هفت بازه نیم‌ساعته برای سفارش‌گذاری در هر دوره (به جای سفارش‌گذاری یکباره همه سهم) تقسیم شد. از این رو، سرمایه‌گذار می‌تواند سفارش بزرگ خود را بدون متحمل شدن هزینه سنگین و ایجاد عدم تعادل در بازار و قیمت سهم، در بازه‌های نیم‌ساعته سفارش‌گذاری کند. اینکه در ساعت‌های مختلف روز الگوی رفتاری حجم معامله‌ها و واکنش بازار به چه شکلی است، برای سفارش‌گذاری اهمیت زیادی دارد و سرمایه‌گذاران با آگاهی از الگوی رفتاری سهم و دانستن این مطلب که در چه ساعاتی نقدشوندگی سهم زیاد یا هزینه واکنشی تحمیل شده بر سرمایه‌گذار، کم خواهد شد، می‌توانند معامله‌های خود را به‌صورت بهینه انجام دهند. با بررسی الگوی رفتاری حجم معامله‌ها و هزینه واکنش بازار برای هر یک از سهم‌ها، مشاهده کردیم که در بازار بورس تهران برای سهم‌های مدنظر در ابتدای روز، حجم معامله‌ها پایین بود و با گذشت زمان، سرمایه‌گذاران زیادی وارد بازار شدند و نقدشوندگی موجود در بازار افزایش پیدا کرد. الگوی رفتاری هزینه واکنش بازار عکس این حالت بود؛ یعنی در ابتدای روز، به‌دلیل حجم کم معامله‌ها، هزینه واکنش بازار زیاد بود و سرمایه‌گذار در صورت انجام معامله، هزینه سنگینی را متحمل می‌شد و در انتهای روز، حجم معامله‌ها زیاد و هزینه واکنش بازار کم شد. از این رو با تعیین دقیق پارامترهای واکنش دائمی و موقت بازار برای هر سهم و با توجه به الگوی رفتاری حجم معامله‌ها، سرمایه‌گذاران می‌توانند از مدل واکنش بازار I star برای تقسیم سفارش بزرگ خود بهره ببرند. همچنین مشاهده می‌شود که در بازه نیم‌ساعت اول، برای مقادیر کم واکنش بازار موقت (به‌دلیل زیاد بودن اثر دائمی)، حجم سفارش حاصل از تقسیم سفارش بزرگ کمتر شد و با افزایش میزان واکنش موقت، یعنی کاهش واکنش دائم، میزان حجم سفارش بیشتر شد تا سرمایه‌گذار سفارش‌های خود را در ساعت‌های اولیه بازار انجام دهد و هزینه واکنش بازار کمتری را متحمل شود. این ویژگی در الگوی سفارش تقسیم‌شده به ازای پارامتر واکنش b برای سهم‌های مختلف مشاهده می‌شود. با توجه به پویا بودن بازارهای مالی و اینکه b نیز بسته به شرایط بازار تغییر می‌کند، برای تعیین دقیق آن می‌توان از پیش‌بینی و بررسی نوسان‌های قیمت بهترین سفارش خرید نیز استفاده کرد. در صورت پرنوسان بودن، به‌دلیل حضور فعال معامله‌گران و رقابت بین آنها، واکنش آنی کم خواهد بود و واکنش دائمی ناشی از سفارش‌ها به‌طور شایان توجهی قیمت سهم را افزایش خواهد داد.

با توجه به اهمیت انجام سفارش‌های بزرگ با حداقل هزینه و کاهش هزینه معامله‌های پنهان، یعنی هزینه واکنش

بازار، پیشنهاد می‌شود به موضوعاتی از جمله بررسی معامله‌های درون روزی از سمت فروش و تعیین تابع واکنش بازار برای آن با استفاده از مدل I star و تعیین دقیق پارامترهای واکنش بازار موقت و دائم برای هر یک از سهم‌ها پرداخته شود. همچنین می‌توان عملکرد راهبرد تقسیم سفارش را از طریق مدل بررسی کرد تا مشخص شود سفارش‌ها با قیمت مناسب‌تری نسبت به بازار انجام خواهند شد یا خیر.

منابع

رستگار، محمدعلی؛ تیموری، فریده؛ باقریان، بهنام (۱۳۹۷). استراتژی سفارش‌گذاری: تقابل واکنش بازار و ریسک اجرای معامله‌ها. *تحقیقات مالی*، ۲۰(۲)، ۱۵۱– ۱۷۲.

رستگار، محمدعلی؛ ساعدی‌فر، خاطره (۱۳۹۶). استراتژی اجرای معامله‌ها بزرگ با رویکرد شبیه‌سازی عامل‌گرا. *تحقیقات مالی*، ۱۹(۲)، ۲۳۹–۲۶۲.

References

Admati, A., & Pfleiderer, P. (1988). A theory of intraday patterns: volume and price variability. *Review of financial studies*, 1(1), 3-40.

Alfonsi, A., Fruth, A., Schied, A. (2010). Optimal execution strategies in limit order books with general shape functions. *Quantitative finance*, 10(2), 143-157.

Almgren, R. (2003). Optimal executions with non-linear impact functions and trading enhanced risk. *Applied mathematical Finance*, 10, 1-18.

Almgren, R., Chriss, N. (2003). Bidding principles. *Risk*, 97–102

Bertsimas, D., & Lo, A. W. (1998). Optimal control of execution costs. *Journal of Financial Markets*, 1(1), 1-50.

Biais, B. (1995). An Empirical Analysis of the Limit Order Book and the Order Flow in the Paris Bourse. *The Journal of Finance,* 50(5), 1655–1689.

Bloomfield, R., O'Hara, M., & Saar, G. (2013). Hidden Liquidity: Some New Light on Dark Trading. *Working Paper*.

Bouchaud, J. P. (2009). Price impact. *Capital Fund Management*, 13(1), 397-419.

Chan, L.K., Lakonishok, J. (1995). The behavior of stock prices around institutional trades. *The Journal of Finance*, 50 (4), 1147-1174.

Chan, L.K., Lakonishok, J., 1997. Institutional equity trading costs: NYSE versus Nasdaq. *Journal of Finance,* 52 (2), 713-735.

Chen, Y., Li, D., & Gao, X. (2017). *Optimal Order Exposure in a Limit Order Market.* Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=2938377.

Cont, R., & Kukanov, A. (2017). Optimal order placement in limit order markets. *Quantitative Finance*, *17*(1), 21-39.

Curato, G., Gatheral, J., & Lillo, F. (2017). Optimal execution with non-linear transient market impact. *Quantitative Finance,* 17(1), 41-54.

Easley, D., O'Hara, M. (1987). Price, trade size, and information in securities markets. *Journal of Financial Economics,*19(1), 69-90.

Engle, R.F. (1982). Autoregressive conditional heteroscadisticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica*, 50, 987-1008.

Farmer, D., J., Gillemot, L., Lillo, F., Mike, S., & Sen, A. (2004). What really causes large price changes? *Quantitative Finance*, 4(4), 383-397.

Gatheral, J. (2010). No-dynamic-arbitrage and market impact. *Quantitative Finance,*10 (7), 749-759.

Glosten, L., Milgrom, P. (1985). Bid, ask and transaction prices in a specialist market with heterogeneously informed traders. *Journal of Financial Economics,*14(1), 71–100.

Haghighi, A., Fallahpour, S., & Eyvazlu, R. (2016). Modelling order arrivals at price limits using Hawkes processes. *Financial research letters,* 19, 267-272.

Hasbrouck, J. (1991). Measuring the Information Content of Stock Trades. *The Journal of Finance*, 46(1), 179–207.

Hopman, C. (2007). Do supply and demand drive stock prices? *Quantitative Finance*, 7(1), 37-53.

Huberman, G., Stanzl, W. (2001). Optimal liquidity trading. Yale School of Management, *Working Papers* ysm165, Yale School of Management, revised 01 Aug 2001.

Junka, M. (2012). Optimal execution strategy in the presence of permanent price impact and fixed transaction cost. *Optimal Control Applications and Methods*, 33(6), 713-738.

Kervel, V., Kwan, A., & Westerholm, J. (2018). Order splitting and searching for a Counterparty. Available in: http://finance.uc.cl/docs/conferences/15th/KervelKwan Westerholm_2018_Vincent_van_Kervel.pdf.

Kissell, R., Glantz, M., & Malamut, R. (2004). A practical framework for estimating transaction costs and developing optimal trading strategies to achieve best execution. *Finance Research Letters,* 1(1), 35-46.

Kyle, A. S. (1985). Continous auctions and insider trading. *Econometrica,* 53, 1315-1335.

Lee, C., Ready, M. (1991). Inferring trade direction from intraday data. *Journal of Finance*, 46, 733–747.

Lillo, F., Farmer, J., & Mantegna, R. (2002). *Single curve collapse of the price impact function for the New York stock exchange.* Available at: https://arxiv.org/pdf/cond-mat/ 0207428.pdf.

Lillo, F., Farmer, J., & Mantegna, R. (2003). Econophysics: Master curve for Price impact function. *Nature*, 421, 129-130.

Obizhaeva, A. A., & Wang, J. (2013). Optimal trading strategy and supply/demand dynamics. *Journal of Financial Markets*, 16(1), 1-32.

Ohnishi, M., & Shimoshimizu, M. (2019). *Optimal and equilibrium execution strategies with generalized price impact*. Available at SSRN: https://ssrn.com/abstract=3323335.

Patzelt, F., & Bouchaud, J.F. (2017). Universal scaling and nonlinearity of aggregate price impact in financial markets. *Physical Review E,* 97(1).

Pham, M.M.H. & Vath, V.L. (2005). A model of optimal portfolio selection under liquidity risk and price impact. *Finance and Stochastics,* 11(1), 51-90.

Rastegar, M. A., & Saedifar, Kh. (2017). Optimal Execution Strategy: An Agent-based Approach, *Financial Research Journal*, 19(2), 239-262. (*in Persian*)

Rastegar, M. A., Teimouri, F., & Bagherian, B. (2018). Order Placement Strategy: Trade-off between Market Impact and Non-Execution Risk. *Financial Research Journal*, 20(2), 151-172. (*in Persian*)

Stoll, H. (1997). The Components of the Bid-Ask Spread: A General Approach. *The Review of Financial Studies,* 10(4), 995-1034.

Torre, F. (1997). *Market Impact model*, Handbook. Available in: https://pdfs.semanticscholar.org/06e9/7a3e189ed21ee51c857fc735f589a4e57bcd.pdf.

Vayanos, D. (1999). Strategic Trading and Welfare in a Dynamic Market. *Review of Economic Studies,* 66(2), 219–254.

Wagner, E. M. (1993). Best Execution. *Financial Analysts Journal,* 49(1), 65-71.

Wagner, W. (Ed.) (1991). The Complete Guide to Security Transactions. *John Wiley*.