فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
شماره پنجاه/ بهار ۱۴۰۱

توسعه الگوریتم معاملاتی در بازارهای متلاطم

سهیلا عسکری‌حسن‌آبادی[۱]
سعید مرادپور[۲]
محمدحسین رنجبر[۳]
علی امیری[۴]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۷/۱۷

چکیده

هدف اصلی این پژوهش، توسعه الگوریتم معاملاتی در بازارهای متلاطم است. روزهای متلاطم در بازار در این پژوهش، زمانی تعریف می‌شوند که مقادیر قدرمطلق بازده‌های بازار بزرگتر از ۲ درصد هستند. بدین منظور، نمونه‌ای متشکل از ۲۷۶ شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و لجستیک بررسی شده است. نتایج پژوهش نشان داد؛ در روزهای صعودی بازار، سهامی که تقاضای معاملات الگوریتمی بیشتری دارند، دارای بازده غیرعادی سهام کمتری هستند و از نوسانات قیمت کمتری برخوردار هستند. نتایج در مورد روزهای نزولی بازار نشان داد؛ سهامی که بیشتر توسط معاملات الگوریتمی معامله می‌شوند، نوسانات نزولی بیشتری را در روزهای نزولی بازار از خود نشان می‌دهند. همچنین نتایج نشان می‌دهد، اخبار و اطلاعات حسابداری بر تصمیمات معامله‌گران الگوریتمی در روزهای متلاطم تاثیر می‌گذارد و منجر به نوسانات کمتر قیمت سهام می‌شود. به گونه‌ای که افزایش معاملات الگوریتمی در ارتباط با نوسانات قیمت در شرکت‌هایی که اخبار و اطلاعات حساس به قیمت را منتشر می‌کنند، در مقایسه با سایر شرکت‌ها بیشتر است. به طور کلی نتایج نشان می‌دهد؛ در مقایسه با معاملات غیرالگوریتمی، معاملات الگوریتمی موجب نوسان قیمت بین سهام در بازارهای آشفته نمی‌شوند.

کلمات کلیدی

معاملات الگوریتمی، بازارهای متلاطم، بازده غیرعادی سهام

۱-گروه حسابداری و مدیریت مالی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. soheila.askari87@gmail.com
۲- گروه حسابداری و مدیریت مالی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران، (نویسنده مسئول)Saeed.moradpour@gmail.com
۳- گروه حسابداری و مدیریت مالی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. Mhranjbar54@gmail.com
۴- گروه حسابداری و مدیریت مالی، واحد بندرعباس، دانشگاه آزاد اسلامی، بندرعباس، ایران. Amiri.study@gmail.com

مقدمه

معاملات الگوریتمی نوعی از معاملات خودکار است که شامل برنامه‌های کامپیوتری برای ارسال سفارشات همراه با الگوریتم‌های تصمیم‌گیری هستند که این الگوریتم‌ها خود بر اساس پارامترهای منحصربه‌فرد سفارش مانند زمان، قیمت و یا مقدار سفارش می‌باشند. در بازارهای مالی الکترونیکی، معاملات الگوریتمی به معنای استفاده از برنامه‌های کامپیوتری برای ورود سفارش‌های معاملاتی است که سیگنال‌های معاملاتی آن، توسط بخشی دیگر از سیستم تولید شده است. معاملات الگوریتمی روابط سنتی بین سرمایه‌گذاران و واسطه‌های مالی را تغییر داده است. این الگوریتم‌ها از طریق رایانه، سفارش‌هایی را برای سرمایه‌گذاران (هم برای طرف خریدار و هم طرف فروشنده) بدون دخالت عامل انسانی ایجاد می‌کنند. امروزه با کمک الگوهای جدید دسترسی به بازار، شرکت‌ها می‌توانند کنترل بیشتری بر روی تصمیمات معاملاتی واقعی و فرآیند تخصیص سفارش خود داشته باشند و الگوریتم‌های معاملاتی خود را توسعه دهند. به‌کارگیری الگوریتم‌های رایانه‌ای که سفارش‌های خودکار را ایجاد می‌کنند، هزینه‌ی معاملات را به میزان قابل توجهی برای سرمایه‌گذاران کاهش داده است؛ از این‌رو استقبال از انجام معاملات الگوریتمی روبه افزایش است و این معاملات سهم قابل توجهی از بازارهای مالی بین‌المللی را در سال‌های اخیر به خود اختصاص داده است (جمشیدی ویسمه، ۱۳۹۶). با در نظر گرفتن توسعه فناوری و افزایش استفاده از الگوریتم‌های کامپیوتری توسط سرمایه‌گذاران در سهام، سوالی که به وجود می‌آید این است که معاملات الگوریتمی چه تاثیری بر نوسانات قیمت سهام دارد. در همین راستا، پژوهش‌های متعددی (مانند هندرشات، جونز و منکولد [۱]، ۲۰۱۱؛ هاسبروک و سار [۲]، ۲۰۱۳؛ اگراوال و توماس [۳]، ۲۰۱۷؛ مرادپور و دستوری، ۱۴۰۰) تلاش کردند تا به صورت تجربی تاثیر معاملات الگوریتمی بر نوسانات قیمت سهام را بررسی کنند. پژوهش‌های انجام شده اغلب بیان می‌کنند؛ معاملات الگوریتمی به کیفیت بازار و شکل‌گیری قیمت کمک می‌کنند و اثرات مثبتی بر نقدشوندگی و نوسانهای قیمتی کوتاه مدت دارند. با این وجود، اگر چه پژوهش‌های پیشین به بررسی رابطه بین معاملات الگوریتمی و نوسانات قیمت اشاره می‌کنند (به عنوان مثال هندرشات و ریوردان [۴]، ۲۰۱۳؛ چبود، چیکوئین، هجالمارسون و وگا [۵]، ۲۰۱۴)؛ ولی در این مطالعات به نوسانات شدید و بلندمدت بازار توجه نشده است و بر تاثیرات بسیار کوتاه‌مدت در محدوده میلی‌ثانیه تا دقیقه تمرکز شده است. به عنوان مثال هاندرشات و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند که معاملات الگوریتمی می‌تواند موجب کاهش تاثیر قیمت معاملات در ۵ تا ۳۰ دقیقه آتی شود. هاربروک و سار (۲۰۱۳) چارچوبی را برای شناسایی معاملات پربسامد [۶] (HFT) پیشنهاد و تاثیرات روزانه آن را ارزیابی کردند. بروگارد، هندرشات و ریوردان [۷] (۲۰۱۴) تاثیر معاملات

پربسامد بر اطلاعات منتشر شده در بازار را به صورت ثانیه به ثانیه بررسی کردند و تاثیر معاملات پربسامد را در ۲۰ امین ثانیه بعد از اعلامیه‌های عمومی گزارش کردند. این در حالی است که بر مبنای ادبیات، معامله‌گران الگوریتمی به عنوان یک پیام رسان عمل می‌کنند و می‌توانند منجر به تغییرات قیمت بین مشتقات مالی، شاخص‌ها و قیمت‌های مرتبط به سهام در بلندمدت شوند (چبود و همکاران، ۲۰۱۴)؛ لذا معاملات الگوریتمی می‌تواند در شرایط کاهش (افزایش) شدید شاخص‌های بازار، موجب اعمال فشار قیمتی بر تک تک سهام شود و بدین ترتیب معاملات الگوریتمی می‌توانند موجب فشار و تاثیر قیمتی بلندمدت بر معاملات شوند و قیمت‌گذاری را تحت تاثیر قرار دهند (هاندرشات، جونز و منکولد، ۲۰۱۱)؛ لذا سوالی که مطرح می‌شود این است که آیا وقتی بازار با روند نزولی (صعودی) شدید و بلندمدت روبرو است، معاملات الگوریتمی سبب کاهش بیشتر (کمتر) قیمت یک سهم می‌شوند؟ از این‌رو در این پژوهش تعداد سهام شرکت‌ها در قالب دو گروه روزهای رویداد (روزهایی که مقادیر قدرمطلق بازده‌های بازار بزرگتر از ۲ درصد هستند) و غیررویداد و سپس روزهای رویداد نیز به دو گروه روزهای صعودی و نزولی تقسیم شده است تا تاثیر معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی و نوسانات قیمت سهام در شرایطی که کل بازار جریان سریع و غیرعادی یا افت‌هایی را تجربه می‌کند، بررسی شود. از سوی دیگر، اگر چه همان‌گونه که بیان شد پژوهش‌هایی تاثیر معاملات الگوریتمی بر تغییرات قیمت سهام را بررسی نموده‌اند؛ اما در این مطالعات اغلب به بررسی تاثیر مستقیم معاملات الگوریتمی بر نوسانات و تغییرات قیمت سهام پرداخته شده است و به بررسی این موضوع پرداخته نشده است که در شرایطی که اخبار و شرایط بازار متفاوت باشد، تفاوت در اخبار و شرایط بازار چه تاثیری می‌تواند بر رابطهٔ بین معاملات الگوریتمی با نرخ بازده غیرعادی و نوسانات قیمت سهام بگذارد؛ بنابراین شکاف قابل توجهی در ادبیات موجود وجود دارد که این پژوهش به دنبال پر کردن آن است؛ لذا این پژوهش به گونه‌ای طراحی شده است تا مشکلات و محدودیت‌هایی که در پژوهش‌های پیشین مشاهده شده است را رفع کند و به پرسش‌های ذیل پاسخ دهد. آیا در شرایطی که کل بازار جریان سریع و غیرعادی یا افت‌هایی را تجربه می‌کند، معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی سهام تاثیر می‌گذارد؟ آیا اثر شرایط بازار در روزهای رویداد در مقایسه با روزهای غیررویداد بر رابطه بین افزایش خرید معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام متفاوت است؟ آیا اخبار و اطلاعات حسابداری بر رابطه بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام تاثیر می‌گذارد؟

مبانی نظری و بسط فرضیه‌های پژوهش

بازارهای مالی در سال‌های اخیر همسو با رشد روز افزونی که در حوزه فناوری‌های اطلاعات رخ داده

است، همواره دستخوش تغییرات بسیاری در ارائه راهکارهای متنوع سرمایه‌گذاری و دستیابی به سود بیشتر بوده است و با الکترونیکی شدن روش‌های معاملاتی؛ بکارگیری آنچه که امروز به معاملات الگوریتمی شهرت دارد؛ بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است.

معاملات الگوریتمی به معنای اجرای معامله با بکارگیری رایانه است و چگونگی پیاده‌سازی آن به وسیله الگوریتم‌ها صورت می‌گیرد که این الگوریتم‌ها معاملات سهام، اوراق قرضه، ارز و حجم وسیعی از اوراق بهادار را شامل می‌شوند. به بیانی دیگر؛ معاملات الگوریتمی اتخاذ موقعیت‌های مناسب خرید و فروش بر اساس تصمیمات الگوریتم‌های رایآنهای است. شروع بکارگیری راهکارهای معاملاتی به دهه ۱۹۷۰ باز می‌گردد و با توجه به تحولی که در عرصه فناوری در سال‌های اخیر رخ داده است، استفاده از این الگوریتم‌ها نیز رشد روز افزونی داشته است (نوتی، میرقائمی، تریلیون و ینگساریی، ۲۰۱۱).

در یک نمونه ساده، معامله الگوریتمی می‌تواند در قالب حد سود و ضرر انجام شود؛ یعنی با رسیدن قیمت به یک حد تعریف شده، دستور خرید یا فروش به صورت خودکار صادر می‌شود؛ اما در سوی پیچیده‌تر، یک الگوریتم معاملاتی بدون دخالت انسان، تمام نمادها را به کمک داده‌های بنیادی و تکنیکال بررسی و ارزیابی می‌کند. سپس فرآیند انتخاب سبد سهام، تخصیص دارایی به هر نماد، خرید در نقطه درست و فروش در نقطه مناسب و شناسایی سود ضمن رعایت ریسک تعریف شده را انجام می‌دهد که به این حالت سیستم تمام خودکار گفته می‌شود. به طور کلی، معاملات الگوریتمی این امکان را به سرمایه‌گذاران می‌دهد که معاملات را به صورت کارآمدتر و با هزینه‌های معاملاتی کمتر انجام دهند که در نتیجه باعث بهبود عملکرد پرتفوی‌ها می‌شود (سید حسینی و احمدی، ۱۳۹۳).

بازارهای باثبات و انعطاف‌پذیر، اعتماد سرمایه‌گذاران و مشارکت‌کنندگان را افزایش می‌دهد و به ایجاد بازارهایی با نقدشوندگی و کارایی بیشتر کمک می‌کند. در این زمینه ارزیابی این که مکانیزه کردن معاملات در بازار، ریسک بیشتری بر ثبات مالی تحمیل می‌کند و یا معاملات پربسامد (HFT) شکنندگی بیشتری در بازار ایجاد می‌کند، بسیار مشکل است؛ از این‌رو با وقوع رخدادهای شدید در بازار مانند سقوط آنی، نقش معاملات الگوریتمی (AT) در بازارهای متلاطم به شدت مورد توجه پژوهشگران، قانون‌گذاران و بازیگران بازار قرار گرفت و این سوال مطرح شد آیا زمانی که کل بازار با روند نزولی (صعودی) روبروست، معاملات الگوریتمی موجب کاهش (افزایش) بیشتر قیمت یک سهم می شود یا خیر؟ پاسخ به این سوال هنوز مشخص نیست؛ زیرا از یک سو، معامله‌گران الگوریتمی با انتقال تغییرات قیمت به مشتقات، شاخص‌ها و قیمت سهام مربوطه، به عنوان پیام رسان عمل می‌کنند (هندرشات و ریوردون ۲۰۱۳؛ چبود، چیکوایین، جمالرسون و وگا ۲۰۱۴)؛ بنابراین معاملات الگوریتمی می‌تواند در شرایط افت شدید

شاخص‌های بازار، موجب اعمال فشار قیمتی بر تک تک سهام شود. در حالی که از سوی دیگر، الگوریتم‌های کامپیوتری می‌توانند فشار قیمت و تاثیر قیمتی معاملات را کاهش دهند و به تبع آن خطای قیمت‌گذاری را کاهش دهند (هاندرشات، جونز و منکولد، ۲۰۱۱) که از این موضوع می‌توان استدلال کرد معاملات الگوریتمی می‌تواند فشار قیمتی کاهشی (نزولی) را در بازارهای نزولی را از بین ببرد (ژو، کالف و فرینو[۸]، ۲۰۲۰).

با توجه به آنچه بیان شد در این پژوهش رابطه بین معاملات الگوریتمی و نوسانات قیمت در روزهایی که شاخص بازار تغییرات زیادی دارد (به عنوان روزهایی که بازده مطلق بازار از ۲ درصد بیشتر شود) بررسی خواهد شد؛ بنابراین فرضیه اول پژوهش به صورت زیر تدوین شده است.

فرضیه اول: در شرایطی که کل بازار جریان سریع و غیرعادی یا افت‌هایی را تجربه می‌کند، معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی سهام تاثیر می‌گذارد.

ژو و همکاران (۲۰۲۰) در بورس استرالیا نشان دادند معاملات الگوریتمی (AT) با نوسانات کمتر قیمت در روزهای متلاطم و پرتنش (روزهای متلاطم که از آن به عنوان روزهای رویداد نیز یاد می‌شود زمانی تعریف می‌شوند که مقادیر قدرمطلق بازده‌های بازار بزرگتر از ۲ درصد هستند) مرتبط است و در مقایسه با معاملات غیرالگوریتمی، معاملات الگوریتمی موجب نوسان قیمت بین سهام در بازارهای آشفته نمی‌شوند. همچنین ژو و همکاران (۲۰۲۰) درباره نرخ بازده بعد از روز متلاطم بازار نشان دادند؛ معاملات غیرالگوریتمی نسبت به فشار بازار واکنش بیش از حد نشان می‌دهند و قیمت سهام را ورای ارزش ذاتی آن حرکت می‌دهند. از این یافته‌های ژو و همکاران (۲۰۲۰) می‌توان استدلال کرد معاملات الگوریتمی، تغییرات شدید قیمت را تشدید نمی‌کند. بااین وجود، لازم‌است سازوکارهای این‌رابطه بررسی‌شود. دراین زمینه شواهدنشان می‌دهد؛ شرایط‌بازار، اخبارواطلاعات حسابداری‌سازوکاری است که می‌تواندبر معاملات الگوریتمی (AT) و معاملات غیرالگوریتمی (non-AT) در شرایط آشفته و متلاطم بازار تاثیر بگذارد.

معامله‌گران الگوریتمی ممکن است به برخی از ویژگی‌ها و شرایط بازار مانند نرخ بازده، نقدینگی، اندازه سهام و نوسانات یک سهم خاص واکنش نشان دهند و اقداماتشان را براساس آن تعدیل کنند (ژو و همکاران، ۲۰۲۰). این مساله می‌تواند استنباط‌ها درباره افزایش معاملات الگوریتمی و نوسانات قیمت سهام را تغییر دهد. به عنوان مثال، معامله‌گران الگوریتمی ممکن است تصمیم بگیرند بیشتر سهامی را بخرند که نرخ بازده‌های کمتری دارند و سهام با بازده بالاتر را کمتر بخرند. متعاقباً در چنین شرایطی، در روزهای صعودی بازار (روزهای رویداد صعودی)، یک رابطه منفی بین افزایش خرید معاملات الگوریتمی و نوسانات صعودی قیمت وجود دارد (کیریلنکو، کایل، صمدی و توزون[۹]، ۲۰۱۷)؛ از این‌رو برای ارائه

درک بهتری از اثر شرایط بازار نمونه آماری به دو گروه روزهای رویداد و غیررویداد تقسیم و سپس روزهای رویداد نیز به دو گروه صعودی و نزولی تقسیم شده است. فرضیه دوم به شرح ذیل تدوین و مورد آزمون قرار گرفته است.

فرضیه دوم: اثر شرایط بازار در روزهای رویداد در مقایسه با روزهای غیررویداد بر رابطه بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام متفاوت است.

با در نظر گرفتن استدلال‌های بخش پیشین، از نظر تئوری منطقی است که علی‌رغم پیچیدگی سیگنال‌هایی که شرایط بازار در ارتباط با معاملات الگوریتمی ارسال می‌کنند، استنباط شود که شرایط بازار می‌تواند رابطهٔ بین معاملات الگوریتمی و نوسانات قیمت سهام در روزهای رویداد را تحت تاثیر قرار دهد؛ اما ممکن است این رابطه اطلاعات محور باشد و بر اساس اطلاعات باشد. به عنوان مثال، هندرشات و ریوردان (۲۰۱۳) بیان کرده‌اند به دلیل هزینه‌های نظارت ارزان‌تر، ممکن است معاملات الگوریتمی به سرعت اطلاعات مربوط بازار را در خود جای دهد. همچنین فرینو، پرودرومو، وانگ، وسترهولم و زنگ (۲۰۱۷) دریافتند عدم تعادل حجم معاملات غیرالگوریتمی منجر به عدم تعادل حجم معاملات الگوریتمی قبل از اعلامیه سود شرکت می‌شود؛ اما معاملات الگوریتمی می‌تواند بلافاصله پس از اعلامیه‌ها و اطلاعات منتشر شده معاملات را تعدیل کند.

اگر معامله‌گران غیرالگوریتمی اطلاعات مربوط به قیمت بیشتری را نسبت به معامله‌گران الگوریتمی در طول دوره‌های انتشار اعلامیه‌ها ترکیب کنند، رابطه مشاهده شده بین معاملات الگوریتمی و نوسانات قیمت سهام ممکن است جلوه‌ای از اطلاعات ترکیب شده معاملات غیرالگوریتمی در قیمت‌های سهام باشد (ژو و همکاران، ۲۰۲۰)؛ لذا برای آنکه بتوان این توضیح جایگزین را بررسی کرد، باید رابطه بین معاملات الگوریتمی و نوسانات قیمت در روزهای سهام بدون دریافت اطلاعات حساس به قیمت خاص شرکت ارزیابی شود؛ از این‌رو فرضیه سوم پژوهش بدین صورت مطرح شده است.

فرضیه سوم: اخبار و اطلاعات حسابداری رابطه بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

پیشینه پژوهش

در راستای بررسی پیشینه پژوهش هر چند مطالعاتی تلاش کرده‌اند تا تاثیر معاملات الگوریتمی بر افزایش (کاهش) نوسآنهای قیمت را بررسی کنند؛ اما اغلب پژوهش‌های پیشین در حوزه معاملات الگوریتمی تنها به بررسی مستقیم و غیرمستقیم رابطه بین معاملات الگوریتمی و تغییرات قیمت سهام

پرداخته‌اند. همچنین اغلب پژوهش‌های انجام شده در زمینه معاملات الگوریتمی و معاملات پربسامد بر تاثیرات بسیار کوتاه مدت، بین چند ثانیه تا چند دقیقه تمرکز کرده‌اند.

مطابق با دیدگاه فوق، هندرشات و همکاران (۲۰۱۱) نشان دادند، معاملات الگوریتمی نقش مفیدی را از نظر نقدینگی و تعیین قیمت در بازار ایفا می‌کنند. همچنین آنها نشان دادند که اجرای الگوریتم‌ها از روند میانگین قیمت حجمی وزنی (VWAP) استفاده می‌کند و موجب کاهش هزینه‌های اجرای معاملات خواهد شد. در ارتباط با سیستم معاملات زوجی، برترام[۱۰] (۲۰۱۰) برای یک دارایی ترکیبی که از فرایند OU پیروی می‌کند با در نظر گرفتن زمان و یک فرمول تحلیلی، به انتخاب باندهای مناسب پرداخت. وی نشان داد برای حداکثر نمودن بازده در هر واحد زمانی و بیشینه نمودن نسبت شارپ، باندهای بهینه به صورت متقارن اطراف میانگین قرار می‌گیرد. هندرشات و ریوردان (۲۰۱۳) به این نتیجه رسیدند معاملات الگوریتمی می‌تواند موجب کاهش تاثیر قیمتی معاملات تنها در ۵ تا ۳۰ دقیقه آتی شود. بروگارد و همکاران (۲۰۱۴) تاثیر معاملات پربسامد را بر کارایی بازار به صورت ثانیه به ثانیه بررسی کردند و تاثیر معاملات پربسامد را در بیستمین ثانیه بعد از اعلان عمومی، گزارش نمودند. زنگ و لی[۱۱] (۲۰۱۴) دربارهٔ تأثیر انتخاب باندهای باریک و پهن در میزان بازده و مدت زمان اجرای هر معامله بحث کردند و به بررسی باندهای بهینه در قالب تابعی از هزینه معاملات و پارامترهای فرایند OU با هدف حداکثر کردن میانگین سود مورد انتظار بلندمدت پرداختند. آنها با پیاده‌سازی روش خود بر اطلاعات روزانه سهام شرکت‌های کوکاکولا و پپسی، دریافتند که استراتژی جدید پیشنهاد شده آنها عملکرد بهتری از مدل‌های الگوریتمی پیشین دارد. گائو و میزراچ[۱۲] (۲۰۱۶) معاملات پربسامد را در روندهای صعودی و نزولی بازار مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در این پژوهش روزهای نزولی (صعودی) بازار روزهایی تعریف شده است که در آن بهترین قیمت تقاضا (عرضه) یک سهم بیش از ده درصد نسبت به قیمت ابتدایی، کاهش (افزایش) داشته و سپس در انتهای روز تا ۲/۵ درصد برگشت داشته باشد. نتایج این پژوهش نشان داد، معاملات پربسامد با فراوانی روزهای نزولی بازار ارتباط مثبت دارد. کیریلنکو و همکاران (۲۰۱۷) به نقش بازارسازان معاملات پربسامد (HFT) در کاهش شدید بازار را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند فعالیت‌های بازارسازان باعث ایجاد نقدینگی در بازار می‌شود؛ اما وقتی فشار فروش بیشتر از ظرفیت آنها باشد، موقعیت خود را جابه‌جا می‌کنند. بروگارد و گریت[۱۳] (۲۰۱۸) تاثیر معاملات پربسامد را در تغییرات شدید قیمتی بازار بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند تاثیر خالص عرضه و تقاضای نقدینگی با جهت تغییرات قیمتی رابطه‌ای معکوس دارد. بومر، فانگ و وو (۲۰۱۹) به این نتیجه رسیدند که معاملات الگوریتمی و معاملات پربسامد موجب افزایش نوسان‌پذیری بازار می‌شوند. ژو و همکاران

(۲۰۲۰) دریافتند سهام با معاملات الگوریتمی بالا، افزایش (کاهش) ناگهانی کمتری را در روزی که بازار بیشتر از دو درصد صعودی (نزولی) است، تجربه می‌کنند؛ اما سهام‌های با الگوریتم معاملاتی پایین، نوسانات قیمتی بیشتری را در روزهایی که بازار نوسانات بیشتری (بیش از دو درصد) دارد، نشان می‌دهد. همچنین آنها نشان دادند معاملات الگوریتمی می‌تواند موجب حداقل‌سازی فشار قیمتی و کاهش خطای قیمت‌گذاری موقت شود.

در همین راستا در بورس اوراق بهادار تهران دستپاک و رستگار (۱۳۹۴) مدل معاملاتی با تکرار بالا را ارائه کردند. نتایج مدل ارائه شده توسط آنها حاکی از عملکرد بهتر این مدل نسبت به سازوکار خرید و نگهداری در هر سه نوع بازار (صعودی، نزولی و نرمال) حتی با در نظر گرفتن هزینه کل معاملاتی است. رستگار و ساعدی‌فر (۱۳۹۶) استراتژی بهینه اجرای معاملات بزرگ با رویکرد شبیه‌سازی عامل‌گرا را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند برای هر سفارش بزرگ خرید، استراتژی با استفاده از انواع سفارش می‌تواند بهتر از استراتژی‌هایی با استفاده از تنها یک نوع سفارش باشد. رستگار و صداقتی‌پور (۱۳۹۷) طی پژوهشی با عنوان ارائه سیستم معاملات الگوریتمی برای قرارداد آتی سکه طلا مبتنی بر داده‌های درون – روزی و با هدف توسعه یک سیستم معاملات خودکار و الگوریتمی بر روی قرارداد آتی سکه طلای بورس ایران نشان دادند سیستم معاملاتی طراحی شده، نسبت بازدهی به ریسک مطلوب‌تری نسبت به دیگر استراتژی‌های رقیب، مانند خرید و نگهداری و فروش و نگهداری دارد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد، چارچوب زمانی ۳۰ دقیقه برای طراحی سیستم‌های معاملاتی بر روی قرارداد آتی سکه طلا مناسب به نظر می‌رسد. رستگار و دستپاک (۱۳۹۷) طی پژوهشی با عنوان مدل معاملاتی با فراوانی زیاد، همراه با مدیریت پویای سبد سهام به روش یادگیری تقویتی به این نتیجه رسیدند عملکرد مدل معاملاتی با فراوانی زیاد در بازارهای نزولی و نرمال بهتر از استراتژی خرید و نگهداری است. طادی و همکاران (۱۳۹۷) استراتژی معاملات زوجی با رویکرد فاصله‌ای در بورس اوراق بهادار تهران را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند با فرض وجود سیستم فروش استقراضی و در محدوده آستانه مطلوب، بازدهی معاملات زوجی از استراتژی خرید و نگهداری بیشتر خواهد بود. دستوری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی این موضوع پرداختند که در دنیای امروز بازارهای سرمایه با توجه به پیشرفت تکنولوژی‌های کامپیوتری و استفاده از زیرساخت‌های فناوری اطلاعات امکان ایجاد سودآوری از طریق معاملات پربسامد را افزایش داده است. در همین راستا آنها با پیاده‌سازی دو مدل الگوریتم معاملات زوجی و الگوریتم معاملات زوجی کنترل کیفیت آماری فازی نشان دادند که الگوریتم اصلاح شده در دوره مشابه سرمایه‌گذاری توانسته است ۵۷/۹۵٪ بازده ایجاد نماید؛ در حالی که مدل پایه ۴۶/۱۷٪ بازده

را برای سرمایه‌گذاران به همراه داشته است. رستگار، تیموری و باقریان (۱۳۹۸) نشان دادند، به‌کارگیری ریسک اجرایی شدن سفارش و هزینه معاملاتی به‌طور همزمان در استراتژی سفارش‌گذاری، عملکرد بهتری نسبت به استراتژی‌های مبتنی بر درجه تهاجمی بودن معامله‌گران بازار دارد.

روش‌شناسی تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف کاربردی و بر مبنای روش از نوع همبستگی با رویکرد رگرسیونی است که در آن برای آزمون فرضیه‌ها از تحلیل رگرسیون چند متغیره مبتنی بر داده‌های ترکیبی و رگرسیون لجستیک استفاده شده است. نمونه آماری پژوهش حاضر شامل معاملات سهام انجام شده در بورس اوراق بهادار تهران طی دوره زمانی ۱۳۹۸/۰۱/۰۵ ۱۳۹۸/۱۲/۲۸ است. در پژوهش حاضر از مجموعه داده‌هایی استفاده می‌شود که در آن معاملات توسط الگوریتم‌های رایانه‌ای انجام شده باشد. مجموعه داده‌های معاملات الگوریتمی و اطلاعات معاملات، اعم از قیمت معامله، بهترین قیمت خرید، بهترین قیمت فروش، حجم معاملات و ... از طریق سرورهای بورس اوراق بهادار تهران در اختیار پژوهشگران قرار می‌گیرد. سپس با برنامه‌نویسی و تهیه پایگاه بانک اطلاعاتی در SQL Server، اطلاعات مورد نیاز معاملات هر ۱۵دقیقه از سرورهای بورس اوراق بهادار فراخوانی می‌شوند و بانک اطلاعاتی سهام به‌روز رسانی می‌شود. با تجمیع اطلاعات، سری‌های زمانی از قیمت در نمودارهای شمعی (کندل استیک) ۱۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه‌ای محاسبه و آماده می‌شوند. تمامی اندیکاتورها و سری‌های زمانی نیز در محیط SQL Server محاسبه و دسته‌بندی می‌شوند. دلیل آن که محاسبات اندیکاتورها و بازده‌ها در این محیط انجام می‌شود این است که رویکرد محاسباتی SQL Server به صورت ماتریسی بوده و در نتیجه انجام عملیاتی همچون محاسبه سری زمانی میانگین‌های متحرک، تاخیر دادن به سری زمانی و ... با سرعت بالاتری نسبت به C# یا متلب قابل انجام است.

برای اطمینان از این که حجم کافی از داده‌های مربوط به معاملات الگوریتمی و غیرالگوریتمی در نمونه آماری وجود دارد تا نتایج پایدارتری حاصل شود، نمونه آماری پژوهش حاضر به سهام‌هایی محدود شده‌اند که شرایط ذیل را دارا باشند. تا پایان اسفند ماه سال ۱۳۹۷ در بورس اوراق بهادار تهران پذیرفته شده؛ اطلاعات مالی مورد نیاز شرکت‌ها طی سال ۱۳۹۸ در دسترس باشد؛ نماد معاملاتی شرکت حداقل ۲۰۰ روز از ۲۳۱ روز کاری در سال ۱۳۹۸ فعال و معامله شده باشد؛ از این‌رو پس از جمع‌آوری داده‌ها، تعداد ۲۷۶ شرکت از جامعه مورد نظر باقی مانده‌اند.

انتخاب روز رویداد

پژوهش‌های پیشین از محدوده گسترده‌ای از روش‌ها استفاده کرده‌اند تا دوره‌های معاملاتی متلاطم را شناسایی کنند. در این پژوهش همسو با دنیس و استریکلند (۲۰۰۲) روزهای متلاطم زمانی تعریف می‌شوند که مقادیر قدرمطلق بازده‌های بازار بزرگتر از ۲ درصد هستند. بر اساس این تعریف ۲۵ روز صعودی و ۱۵ روز نزولی طی دوره زمانی پژوهش در بازار وجود دارد. در هر روز متلاطم، سهام‌هایی در نظر گرفته می‌شوند که حداقل یک معامله خرید و فروش داشته‌اند باشند که توسط معاملات الگوریتمی و غیرالگوریتمی انجام شده است تا بتوان فعالیت‌های تقاضای نقدینگی را نیز محاسبه کرد. همچنین برای سنجش فعالیت‌های عرضه نقدینگی توسط معاملات الگوریتمی و غیرالگوریتمی، سهام‌هایی را که معاملات خرید یا فروش عرضه شده توسط معاملات الگوریتمی و غیرالگوریتمی را از دست داده‌اند حذف می‌شوند. بدین ترتیب نمونه نهایی پژوهش شامل ۲۷۶ سهام است.

جدول ۱ تعداد روزهای رویداد، تعداد سهام‌ها برای هر روز رویداد و بازده‌های همه معاملات را نشان می‌دهد. ذکر این نکته ضرروی است که برخی از شرکت‌های بزرگ می‌توانند باعث ایجاد حرکات بزرگ در شاخص وزنی ارزش بازار شوند؛ لذا روزهای انتخاب شده ممکن است شامل روزهایی باشد که تغییر شاخص، نمایانگر تغییر قیمت در طیف وسیعی از سهام نیست؛ از این‌رو برای جلوگیری از این سوگیری بالقوه در انتخاب روز رویداد، درصد شرکت‌های دارای بازده مثبت، صفر و منفی محاسبه شده است. نتایج برای روزهای صعودی و نزولی بازار نشان می‌دهد، میانگین نرخ بازده سهام برای روزهای صعودی بازار ۱۱۱/۷۲۹ درصد و برای روزهای نزولی بازار ۲۰/۴۵۸- درصد است. این نتیجه گویای آن است که بازار در روزهای صعودی متلاطم‌تر است. برای روزهای صعودی بازار ۲۷ بهمن ۱۳۹۸ با نرخ بازده ۹۵۶/۲۹۷ درصد و برای روزهای نزولی بازار ۲۱ بهمن ۱۳۹۸ با نرخ بازده ۹۰/۱۵۹- درصد بیشترین تغییرات را داشته‌اند. همان گونه که ملاحظه می‌شود، میانگین درصد سهام با بازده مثبت در ستون سوم ۷۵/۷۳۱ است که نشان می‌دهد برای روزهای صعودی بازار به طور متوسط ۳۲۸ سهام دارای بازدهی مثبت است. همچنین بیشترین و کمترین درصد سهام با بازده مثبت برای روزهای صعودی بازار به ترتیب ۹۷/۲۳۰ درصد در ۲۲ دی ماه ۱۳۹۸ و ۶۴/۳۹۱ درصد در ۲۶ اسفند ۱۳۹۸ است. نتایج میانگین نسبت سهام با بازدهی مثبت به سهام با بازده منفی نشان‌دهنده‌ی آن است که به طور میانگین تعداد سهام با بازده مثبت ۷/۵۷۶ برابر بیشتر از سهام با بازده منفی در نمونه آماری است.

در نهایت، همان گونه که نتایج جدول ۱ نشان می‌دهد تعداد سهام‌های در نظر گرفته شده برای هر روز رویداد مشابه نیست؛ لذا این احتمال وجود دارد که تصمیم معامله‌گران الگوریتمی برای معامله در

سهام‌های خاص در روزهای رویداد خاص تحت تاثیر این نتایج باشد. برای کاهش این سوگیری بالقوه اثرات ثابت سهام و زمان (ماه) در مدل‌های پژوهش گنجانده می‌شود.

جدول ۱. نتایج روزهای رویداد صعودی

تاریخ	نرخ بازده سهام	تعداد سهام	درصد سهام با بازده مثبت	درصد سهام با بازده منفی	درصد سهام با بازده صفر	نسبت سهام با بازده مثبت به منفی
۱۳۹۸/۰۱/۱۰	۲/۰۳۹	۳۲۲	۸۶/۶۴۵	۱۲/۴۲۲	۰/۹۳۱	۶/۹۷۵
۱۳۹۸/۰۱/۲۶	۲/۹۸۵	۳۲۰	۷۵/۶۲۵	۲۲/۸۱۲	۱/۶۲	۳/۳۱۵
۱۳۹۸/۰۱/۳۱	۲/۲۹۶	۳۲۷	۸۸/۶۸۵	۱۱/۰۰۹	۰/۳۰۵	۸/۰۵۵
۱۳۹۸/۰۲/۰۸	۲/۰۴۵	۳۳۸	۷۱/۰۵۵	۲۶/۹۲۳	۲/۰۷۱	۲/۶۳۷
۱۳۹۸/۰۲/۰۹	۲/۶۰۹	۳۳۵	۷۴/۶۲۶	۲۵/۳۷۳	۰/۲۹۸	۲/۹۴۱
۱۳۹۸/۰۳/۰۷	۲/۶۴۸	۳۱۹	۷۸/۶۸۳	۱۹/۴۳۵	۱/۸۸۰	۴/۰۴۸
۱۳۹۸/۰۴/۰۳	۲/۱۷۱	۳۲۱	۷۷/۵۷۰	۲۱/۴۹۵	۰/۹۳۴	۳/۶۰۸
۱۳۹۸/۰۴/۲۵	۸۷۱/۶۹۳	۳۰۶	۸/۸۲۳	۹۱/۱۷۶	۰/۰۰۰	۰/۰۹۶
۱۳۹۸/۰۶/۰۴	۲/۱۲۲	۳۳۱	۹۲/۱۴۵	۶/۶۴۶	۱/۲۰۸	۱۳/۸۶۳
۱۳۹۸/۰۷/۰۱	۳/۰۹۷	۳۴۲	۷۵/۱۴۶	۲۴/۲۶۹	۰/۵۸۴	۳/۰۹۶
۱۳۹۸/۰۷/۰۸	۲/۰۱۳	۳۲۸	۷۵/۰۰۰	۲۵/۰۰۰	۰/۰۰۰	۳/۰۰۰
۱۳۹۸/۰۷/۲۰	۲/۸۹۵	۳۳۴	۷۷/۲۴۵	۲۱/۸۵۶	۰/۸۹۸	۳/۵۳۴
۱۳۹۸/۰۷/۳۰	۲/۰۱۲	۳۲۷	۷۴/۰۰۶	۲۵/۹۹۴	۰/۰۰۰	۲/۸۴۷
۱۳۹۸/۱۰/۲۲	۴/۳۸۲	۳۲۵	۹۷/۲۳۰	۲/۷۶۹	۰/۰۰۰	۳۵/۱۱۱
۱۳۹۸/۱۰/۲۳	۴/۳۹۷	۳۳۲	۹۵/۴۸۱	۳/۳۱۳	۱/۲۰۴	۲۸/۸۱۸
۱۳۹۸/۱۰/۲۸	۲/۶۶۹	۳۲۹	۸۸/۱۴۵	۱۰/۹۴۲	۰/۹۱۱	۸/۰۵۵
۱۳۹۸/۱۱/۱۴	۲/۵۰۹	۳۲۸	۷۷/۷۴۳	۲۱/۳۴۱	۰/۹۴	۳/۲۱۴
۱۳۹۸/۱۱/۲۰	۹۰۴/۲۹۸	۳۱۶	۱۷/۴۰۵	۸۲/۲۷۸	۰/۳۱۶	۰/۲۱۱
۱۳۹۸/۱۱/۲۷	۹۵۶/۲۹۷	۳۳۰	۶۵/۷۵۷	۳۰/۱۲۱	۲/۱۲۱	۲/۰۴۷
۱۳۹۸/۱۲/۰۴	۴/۲۳۷	۳۲۴	۹۵/۹۸۷	۳/۰۸۶	۰/۹۲۵	۳۱/۱۰۰
۱۳۹۸/۱۲/۰۶	۴/۰۱۵	۳۳۴	۸۷/۱۲۵	۱۱/۹۷۶	۱/۱۹۷	۷/۲۷۵
۱۳۹۸/۱۲/۱۲	۲/۶۳۷	۳۳۹	۸۴/۹۵۵	۱۳/۸۶۴	۱/۱۷۹	۶/۱۲۷
۱۳۹۸/۱۲/۱۳	۲/۷۶۸	۳۳۳	۸۲/۲۸۲	۱۴/۱۱۴	۰/۶۰۰	۵/۸۲۹
۱۳۹۸/۱۲/۲۶	۲/۳۴۸	۳۳۷	۶۴/۳۹۱	۳۵/۶۰۸	۰/۸۹۰	۱/۸۰۸
۱۳۹۸/۱۲/۲۸	۲/۰۳۳	۳۴۱	۸۱/۵۲۴	۱۷/۰۰۸	۱/۴۶۶	۴/۷۹۳

نتایج روزهای رویداد نزولی						
تاریخ	نرخ بازده سهام	تعداد سهام	درصد سهام با بازده مثبت	درصد سهام با بازده منفی	درصد سهام با بازده صفر	نسبت سهام با بازده منفی به مثبت
۱۳۹۸/۰۲/۱۶	-۳/۶۸۷	۳۳۰	۱۲/۱۲۱	۸۷/۵۷۵	۰/۳۰۳	۷/۲۲۵
۱۳۹۸/۰۲/۱۷	-۳/۴۹۱	۳۳۲	۹/۰۳۶	۹۰/۰۶۰	۰/۹۰۳	۹/۹۶۶
۱۳۹۸/۰۲/۲۲	-۲/۴۴۲	۳۳۳	۲۳/۴۲۳	۷۳/۲۷۳	۰/۳۰۰	۳/۱۲۸
۱۳۹۸/۴/۱۹	-۸۹/۹۶۲	۳۱۲	۵۵/۷۶۹	۴۴/۲۳۰	۰/۳۲۰	۰/۷۹۳
۱۳۹۸/۰۴/۳۰	-۸۹/۸۶۷	۲۷۷	۵۹/۹۲۷	۳۸/۲۶۷	۱/۸۰۵	۰/۶۳۸
۱۳۹۸/۰۶/۲۷	-۲/۶۲۹	۳۳۳	۱۸/۹۱۸	۸۰/۷۸۰	۰/۳۰۰	۴/۲۶۹
۱۳۹۸/۰۷/۱۴	-۲/۱۹۶	۳۳۳	۲۷/۹۲۷	۷۰/۸۷۰	۰/۳۰۰	۲/۵۳۷
۱۳۹۸/۰۷/۲۳	-۳/۳۷۲	۳۳۷	۴/۴۵۱	۹۵/۵۴۸	۰/۰۰۰	۲۱/۴۶۶
۱۳۹۸/۰۷/۲۸	-۲/۶۲۰	۳۲۹	۵/۷۷۵	۹۳/۹۲۰	۰/۳۰۳	۱۶/۲۶۳
۱۳۹۸/۱۰/۱۴	-۴/۳۵۱	۳۲۸	۱/۸۲۹	۹۸/۱۷۰	۰/۰۰۰	۵۳/۶۶۶
۱۳۹۸/۱۱/۲۱	-۹۰/۱۵۹	۳۳۲	۳۰/۱۲۰	۶۹/۵۷۸	۰/۳۰۱	۲/۳۱۰
۱۳۹۸/۱۲/۱۰	-۳/۴۳۰	۳۱۲	۲۹/۴۸۷	۶۹/۸۷۱	۰/۶۴۱	۲/۳۶۹
۱۳۹۸/۱۲/۱۹	-۲/۶۸۹	۳۲۱	۵/۹۱۹	۹۳/۴۵۷	۰/۶۲۳	۱۵/۷۸۹
۱۳۹۸/۱۲/۲۰	-۲/۶۵۹	۳۲۴	۱۴/۸۱۴	۸۴/۵۶۷	۰/۶۱۷	۵/۷۰۸
۱۳۹۸/۱۲/۲۴	-۳/۳۲۵	۳۲۰	۶/۲۵۰	۹۳/۴۳۷	۰/۳۱۲	۱۴/۹۵۰

مدل و متغیرهای پژوهش

هدف از آزمون فرضیه اول پژوهش، بررسی تاثیر معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی سهام در شرایطی که کل بازار جریان سریع و غیرعادی یا افت‌هایی را تجربه می‌کند است؛ از این‌رو به منظور ارزیابی این‌که چگونه فعالیت‌های معاملاتی گروه‌های مختلف سرمایه‌گذار با بازده سهام در بازارهای متلاطم در ارتباط است، بازده تعدیل شده بازار در هر روز رویداد به عنوان تابعی از افزایش معاملات الگوریتمی (AT) و متغیرهای کنترلی به شرح مدل‌های رگرسیون پانل (۱) تا (۴) مدل‌سازی و به آزمون فرضیه اول پژوهش پرداخته شده است.

مدل ۱)
$$ar_{i,t} = a_0 + a_1 iAT^{d}_{i,t} + a_2 iAT^{s}_{i,t} + a_3 size_{i,t} + a_4 effsprd_{i,t} + a_5 ivola_{i,t} + a_6 beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

مدل ۲)
$$ar_{i,t} = a_0 + a_1 iATbuy^{d}_{i,t} + a_2 iATsell^{d}_{i,t} + a_3 size_{i,t} + a_4 effsprd_{i,t} + a_5 ivola_{i,t} + a_6 beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

$$ar_{i,t} = a_0 + a_1 iATbuy^{s}_{i,t} + a_2 iATsell^{s}_{i,t} + a_3 size_{i,t} + a_4 effsprd_{i,t} + a_5 ivola_{i,t} + a_6 beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$ مدل ۳)

در مدل‌های فوق $ar_{i,t}$ بازده غیرعادی تعدیل شده بازار برای سهام i در روز t، $iAT^{d}_{i,t}$ افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی، $iAT^{s}_{i,t}$ افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی، $iATbuy^{d}_{i,t}$ و $iATsell^{d}_{i,t}$ به ترتیب افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط خریدار و آغاز شده توسط فروشنده، $iATbuy^{s}_{i,t}$ و $iATsell^{s}_{i,t}$ به ترتیب افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی در بخش خرید و فروش، $size_{i,t}$ اندازه بازار سهام، $effsprd_{i,t}$ درصد وزنی حجم معاملات روزانه، $ivola_{i,t}$ نوسانات و $beta_{i,t}$ بتا سهام است (جگادیش، نوه، پوکتوانتونگ، رول، و وانگ، ۲۰۱۹).

هدف از آزمون فرضیه دوم پژوهش، بررسی اثر تفاضلی شرایط بازار در روزهای رویداد در مقایسه با روزهای غیررویداد بر رابطه بین افزایش خرید معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام است. در این پژوهش این موضوع با استفاده از آزمون تفاوت در تفاوت بین روزهای رویداد و غیررویداد بررسی می‌شود؛ از این‌رو جامعه آماری به روزهای رویداد به عنوان گروه آزمون و روزهای غیررویداد به عنوان گروه کنترل تقسیم می‌شوند. با این وجود نمی‌توان به طور مستقیم گروه‌های آزمون و کنترل را با هم مقایسه کرد. برای مقایسه این دو وضعیت روش‌های متنوعی وجود دارد. در این پژوهش از تکنیک همسان‌سازی براساس نمره تمایل (PMS) استفاده شده است. برای برآورد معادله نمره تمایل باید دو انتخاب صورت گیرد. نخست انتخاب الگوی برآورد احتمال و انتخاب دوم، متغیرهای کمکی این الگو است. معمولا الگوی به کار برده شده برای ارزیابی نمرات تمایل از الگوی رگرسیون لجستیک در مجموعه‌ای از متغیرهای کووریت به دست می‌آید.

در این پژوهش برای به دست آوردن احتمال این که افزایش معاملات الگوریتمی در روزهای رویداد و غیررویداد بر نوسانات قیمت سهام تاثیرگذار باشد، الگوی لجستیک برآورد می‌شود. با یک مقایسه ساده نمی‌توان تفاوت احتمالی در نوسانات قیمت سهام در این دو گروه را به افزایش معاملات الگوریتمی در روزهای رویداد و غیررویداد نسبت داد. متغیرهای بسیاری در این دو گروه از شرایط بازار در روزهای رویداد و غیررویداد بر نوسانات قیمت سهام موثر بوده و تفاوت در نوسانات قیمتی بین روزهای رویداد و غیررویداد را ایجاد می‌کنند.

بر مبنای پژوهش‌های پیشین (مانند ژو و همکاران، ۲۰۲۰) متغیرهای نرخ بازده تعدیل شده بازار، اندازه، پراکندگی موثر، بتا و نوسانات ویژه از جمله متغیرهای مهم شرایط بازار هستند که بین افزایش

معاملات الگوریتمی در این دو گروه از روزهای رویداد و غیررویداد بر نوسانات قیمت سهام موثر هستند؛ از این‌رو این متغیرها به عنوان متغیرهای کمکی یا همگن‌ساز وارد الگو می‌گردند. بدین ترتیب الگوی تجربی این پژوهش در رهیافت PSM به صورت مدل (۵) است.

$$Y_{i,t} = a_0 + a_1 ar_{i,t} + a_2 size_{i,t} + a_3 effsprd_{i,t} + a_4 ivola_{i,t} + a_5 beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$ مدل ۵)

در مدل‌های فوق $ar_{i,t}$ بازده غیرعادی تعدیل شده بازار سهام، $size_{i,t}$ اندازه بازار سهام، $effsprd_{i,t}$ درصد وزنی حجم معاملات روزانه، $ivola_{i,t}$ نوسانات و $beta_{i,t}$ بتا سهام و $Y_{i,t}$ متغیر نتیجه است. متغیر نتیجه (وابسته) یک متغیر مجازی است. برای محاسبه متغیر نتیجه، اگر مشاهدات در یک روز رویداد باشد عدد ۱ و در غیر این صورت عدد ۰ تعلق می‌گیرد.

پس از برآورد نمره تمایل، جهت همسان‌سازی هر مشاهده در گروه آزمون با دو مشاهده از گروه کنترل که دارای مشخصات بازار مشابه هستند همسان می‌شود. ذکر این نکته ضروری است که روزهای رویداد صعودی و نزولی بازار به طور جداگانه همسان می‌شوند.

در نهایت پس از همسان‌سازی با استفاده از تکنیک همسان‌سازی براساس نمره تمایل (PMS)، رگرسیون تفاوت در تفاوت برای روزهای صعودی و روزهای نزولی بازار به طور جداگانه در نمونه همسان برآورد می‌شود تا بررسی شود که آیا اثر تفاضلی افزایش معاملات الگوریتمی در روزهای رویداد در مقایسه با روزهای غیررویداد همسان با توجه به آنکه مشاهدات در روزهای رویداد و غیررویداد دارای مشخصات بازار مشابه هستند، وجود دارد یا خیر. به طور خاص، اثرات تعاملی متغیرهای افزایش معاملات الگوریتمی و متغیرهای مجازی روز رویداد در مدل گنجانده شده تا اثر حاشیه‌ای معاملات الگوریتمی بر نوسانات قیمت در سایه فشار کلی بازار ارزیابی شود (تامپسون، ۲۰۱۱).

در رگرسیون تفاضل در تفاضل روزهای رویداد با روزهای غیررویداد مقایسه می‌شود تا اثر شرایط بازار بر افزایش معاملات الگوریتمی بر نوسانات قیمت ارزیابی گردد؛ از این‌رو الگوی تجربی این پژوهش در رهیافت تفاضل در تفاضل برای روزهای رویداد صعودی و نزولی بازار به ترتیب به‌صورت روابط رگرسیونی تفاضل در تفاضل (۶) و (۷) است.

مدل ۶)
$$ar_{i,t} = a_0 + a_1 iATbuy^d_{i,t} + a_2 iATsell^d_{i,t} + a_3 iATbuy^s_{i,t} + a_4 iATsell^s_{i,t} + a_5 \times up + a_6 iATbuy^d_{i,t} \times up + a_7 iATsell^d_{i,t} \times up + a_8 iATbuy^s_{i,t} \times up + a_9 iATsell^s_{i,t} \times up + a_{10} size_{i,t} + a_{11} effsprd_{i,t} + a_{12}\, ivola_{i,t} + a_{13} beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

مدل ۷)
$$ar_{i,t} = a_0 + a_1 iATbuy^d_{i,t} + a_2 iATsell^d_{i,t} + a_3 iATbuy^s_{i,t} + a_4 iATsell^s_{i,t} + a_5 \times down + a_6 iATbuy^d_{i,t} \times down + a_7 iATsell^d_{i,t} \times down + a_8 iATbuy^s_{i,t} \times down + a_9 iATsell^s_{i,t} \times down + a_{10} size_{i,t} + a_{11} effsprd_{i,t} + a_{12}\, ivola_{i,t} + a_{13} beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

در مدل‌های فوق UP یک متغیر مجازی است که اگر روز رویداد در بازار صعودی باشد عدد ۱ و در غیر صورت عدد ۰ تعلق می‌گیرد، down یک متغیر مجازی است که اگر روز رویداد در بازار نزولی باشد عدد ۱ و در غیر صورت عدد ۰ تعلق می‌گیرد و سایر متغیرها مشابه با مدل‌های قبلی است.

به منظور آزمون فرضیه سوم پژوهش، بررسی تاثیر اخبار و اطلاعات حسابداری بر رابطه بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام از مدل (۸) به شرح زیر استفاده شده است.

مدل ۸)
$$ar_{i,t} = a_0 + a_1 iATbuy^d_{i,t} + a_2 iATsell^d_{i,t} + a_3 iATbuy^s_{i,t} + a_4 iATsell^s_{i,t} + a_5 \times news + a_6 iATbuy^d_{i,t} \times news + a_7 iATsell^d_{i,t} \times news + a_8 iATbuy^s_{i,t} \times news + a_9 iATsell^s_{i,t} \times news + a_{10} size_{i,t} + a_{11} effsprd_{i,t} + a_{12}\, ivola_{i,t} + a_{13} beta_{i,t} + \varepsilon_{i,t}$$

در مدل فوق $news$ اخبار و اطلاعات حسابداری و سایر متغیرها مشابه با مدل‌های قبلی است. در مدل فوق ضرایب β_5 تا β_9 نشان دهنده جهت متغیر تعدیل‌گر و سطح معناداری ضرایب نشان دهنده تعدیل‌گر بودن متغیر اخبار بر رابطهٔ بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام است.

متغیرهای پژوهش

متغیر وابسته در این پژوهش نرخ بازده غیرعادی روزانه تعدیل شده براساس مدل بازار است.

بازده غیرعادی روزانه بر اساس مدل تعدیل شده‌ی بازار به شرح رابطه (۱) محاسبه می‌شود. در این مدل فرض بر این است بازده بازار نشان‌دهنده‌ی بازده مورد انتظار سهام شرکت‌ها در هر دوره‌ی زمانی

است و ریسک سهم معادل ریسک بازار در نظر گرفته می‌شود. بنابراین تفاضل بازده واقعی سهم i و بازده بازار، در دوره‌ی t، نشانگر بازده غیرعادی است.

رابطه ۱) $$AR_{i,t} = R_{i,t} - E(R_{i,t})$$

در رابطه فوق $AR_{i,t}$ بازده غیرعادی سهام، $R_{i,t}$ بازده واقعی سهام و $E(R)_{i,t}$ بازده مورد انتظار سهام است.

بازده واقعی سهام از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود.

رابطه ۲) $$R_{i,t} = \frac{P_{i,t} - P_{i,t-1}}{P_{i,t-1}}$$

در رابطه فوق $R_{i,t}$ بازده واقعی سهام، $P_{i,t}$ قیمت سهام i در روز t و $P_{i,t-1}$ قیمت سهام i در روز t-1 است.

بازده مورد انتظار برابر بازده بازار و بر حسب شاخص‌های کل بازار در نظر گرفته می‌شود؛ لذا به بازده غیرعادی محاسبه شده طبق این روش بازده تعدیل شده بازار می‌گویند. در این پژوهش بازده بازار بر حسب شاخص‌های کل بازار و همسو با پژوهش مهرانی و همکاران (۱۳۸۷) از طریق رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

رابطه ۳) $$R_{m,t} = \frac{TEDPIX_t - TEDPIX_{t-1}}{TEDPIX_{t-1}}$$

در رابطه فوق $R_{m,t}$ بازده بازار، $TEDPIX_{i,t}$ شاخص کل قیمت و سود نقدی سهام در روز t و $TEDPIX_{i,t-1}$ شاخص کل قیمت و سود نقدی سهام در روز t-1 است.

متغیر مستقل

متغیر مستقل اصلی در این پژوهش، سطح فعالیت معاملات الگوریتمی (AT) است که به نسبت‌های افزایش خرید و نسبت‌های افزایش فروش تقسیم می‌شود تا اطلاعات اضافی دیگری از جهت معاملات شناسایی شود. نحوه اندازه‌گیری متغیرهای نسبت‌های افزایش خرید و فروش معاملات الگوریتمی در ادامه بیان شده است.

افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی[۱۴] (iAT^d):

در این پژوهش افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی (iAT^d)، به عنوان مابه‌التفاوت بین حجم تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی در روز رویداد و میانگین حجم تقاضای نقدینگی معاملات

الگوریتمی در پنج روز گذشته تعریف می‌شود. نحوه محاسبه جبری افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی در رابطه (۴) ارائه شده است.

رابطه ۴)
$$iAT_t^d = rAT_t^d - \frac{1}{5}\sum_{i=t-5}^{t-1} rAT_i^d$$

در رابطه فوق rAT_t^d نسبت حجم تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی که به شرح زیر محاسبه می‌شود.

متغیر rAT^d به عنوان نسبت حجم تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی (AT) تقسیم بر حجم کل معاملات تعریف می‌شود و از طریق رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

رابطه ۵)
$$rAT_{i.t}^d = \frac{ATvolume_{i.t}^d}{Totalvolume_{i.t}^d}$$

در رابطه فوق $ATvolume_{i.t}^d$ حجم تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی برای سهام i در روز t و $Totalvolume_{i.t}^d$ حجم کل تقاضای نقدینگی برای سهام i در روز t است. نسبت عرضه نقدینگی نیز به طور مشابه تعریف می‌شود.

افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی[۱۵] (iAT^s):

افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی (iAT^s)، به عنوان مابه‌التفاوت بین حجم عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی روز رویداد و میانگین حجم عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی در پنج روز گذشته تعریف می‌شود. نحوه محاسبه جبری افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی در رابطه (۶) ارائه شده است.

رابطه ۶)
$$iAT_t^s = rAT_t^s - \frac{1}{5}\sum_{i=t-5}^{t-1} rAT_i^s$$

در رابطه فوق rAT_t^s حجم عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی است و از طریق رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

رابطه ۷)
$$rAT_{i.t}^s = \frac{ATvolume_{i.t}^s}{Totalvolume_{i.t}^s}$$

در رابطه فوق $ATvolume_{i.t}^{d}$ حجم عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی برای سهام i در روز t و $Totalvolume_{i.t}^{d}$ حجم کل تقاضای نقدینگی برای سهام i در روز t است. نسبت عرضه نقدینگی نیز به طور مشابه تعریف می‌شود.

افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط خریدار و فروشنده ($iATbuy_{i,t}^{d}$ و $iATsell_{i,t}^{d}$)

در ادامه $iATbuy_{i,t}^{d}$ و $iATsell_{i,t}^{d}$ به ترتیب به عنوان افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط خریدار و آغاز شده توسط فروشنده و $iATbuy_{i,t}^{s}$ و $iATsell_{i,t}^{s}$ به عنوان افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی در بخش خرید و فروش به طور مشابه تعریف و به ترتیب رابطه‌های ۸ و ۹ اندازه‌گیری می‌شوند.

رابطه ۸)
$$iATbuy_{t}^{d} = rATbuy_{t}^{d} - \frac{1}{5}\sum_{i=t-5}^{t-1} rATbuy_{i}^{d}$$

رابطه ۹)
$$iATsell_{t}^{d} = rATsell_{t}^{d} - \frac{1}{5}\sum_{i=t-5}^{t-1} rATsell_{i}^{d}$$

در رابطه فوق $rATbuy_{i.t}^{d}$ نسبت حجم تقاضای نقدینگی خرید معاملات الگوریتمی، $rATsell_{i.t}^{d}$ نسبت حجم تقاضای نقدینگی فروش معاملات الگوریتمی است که به شرح روابط ۱۰ و ۱۱ اندازه‌گیری می‌شوند. نسبت حجم تقاضای نقدینگی خرید معاملات الگوریتمی همانگونه که در رابطه (۱۰) نشان داده شده است به عنوان $rATbuy_{i.t}^{d}$، تعریف می‌شود.

رابطه ۱۰)
$$rATbuy_{i.t}^{d} = \frac{ATbuyvolume_{i.t}^{d}}{Totalbuyvolume_{i.t}^{d}}$$

در رابطه فوق $ATbuyvolume_{i.t}^{d}$ حجم تقاضای نقدینگی سمت خرید معاملات الگوریتمی برای سهام i در روز t و $Totalbuyvolume_{i.t}^{d}$ کل حجم تقاضای نقدینگی معاملات خرید برای سهام i در روز t است. همچنین نسبت حجم تقاضای نقدینگی فروش معاملات الگوریتمی به شرح رابطه (۱۱) اندازه‌گیری می‌شود.

رابطه ۱۱)
$$rATsell_{i.t}^{d} = \frac{ATsellvolume_{i.t}^{d}}{Totalsellvolume_{i.t}^{d}}$$

در رابطه‌های فوق $ATsellvolume_{i.t}^{d}$ حجم تقاضای نقدینگی سمت فروش معاملات الگوریتمی، $Totalsellvolume_{i.t}^{d}$ حجم کل تقاضای نقدینگی معاملات فروش است.

افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط خریدار و فروشنده ($iATsell_{i,t}^{s}$ و $iATbuy_{i,t}^{s}$)

در ادامه $iATbuy_{i,t}^{s}$ و $iATsell_{i,t}^{s}$ به عنوان افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی در بخش خرید و فروش به طور مشابه تعریف و به ترتیب رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ اندازه‌گیری می‌شوند.

رابطه ۱۲)
$$iATbuy_{t}^{s} = rATbuy_{t}^{s} - \frac{1}{5}\sum_{i=t-5}^{t-1} rATbuy_{i}^{s}$$

رابطه ۱۳)
$$iATbuy_{t}^{s} = rATsell_{t}^{s} - \frac{1}{5}\sum_{i=t-5}^{t-1} rATsell_{i}^{s}$$

در رابطه فوق $rATbuy_{i.t}^{s}$ نسبت حجم عرضه نقدینگی خرید AT و $rATsell_{i.t}^{s}$ نسبت حجم عرضه نقدینگی فروش AT است که به شرح روابط ۱۴ و ۱۵ اندازه‌گیری می‌شوند.

رابطه ۱۴)
$$rATbuy_{i.t}^{s} = \frac{ATbuyvolume_{i.t}^{s}}{Totalbuyvolume_{i.t}^{s}}$$

رابطه ۱۵)
$$rATsell_{i.t}^{s} = \frac{ATsellvolume_{i.t}^{s}}{Totalsellvolume_{i.t}^{s}}$$

در رابطه فوق $ATbuyvolume_{i.t}^{s}$ حجم عرضه نقدینگی سمت خرید معاملات الگوریتمی برای سهام i در روز t، $Totalbuyvolume_{i.t}^{s}$ کل حجم عرضه نقدینگی معاملات خرید برای سهام i در روز t، $ATsellvolume_{i.t}^{s}$ حجم عرضه نقدینگی سمت فروش معاملات الگوریتمی و $Totalsellvolume_{i.t}^{s}$ حجم کل عرضه نقدینگی معاملات فروش است.

متغیر تعدیل‌گر

متغیر تعدیل‌گر متغیری است که جهت و شدت ارتباط بین متغیر مستقل و وابسته را تحت تاثیر قرار می‌دهد. در این پژوهش متغیر تعدیل‌گر اخبار $(news)$ است. بورس اوراق بهادار تهران از شرکت‌های پذیرفته شده در بورس خواسته است که اطلاعات حساس به قیمت را به محض دسترسی به اطلاعات افشا کنند، اطلاعات افشا شده سپس به صورت اعلامیه منتشر می‌شوند. اعلامیه‌های حساس به قیمت و خاص شرکت شامل اعلان سود، گزارش فعالیت‌های سه ماهه، گزارش جریان وجوه نقد سه ماهه، اعلام

سود سهام، گزارش‌های پیشرفت، گزارش‌های دوره‌ای، اعلامیه‌های تصرف، سهام منتشر شده و تحصیل دارایی‌ها است. متغیر اخبار در این پژوهش یک متغیر مجازی است که شامل اعلامیه‌های حساس به قیمت و خاص شرکت است. برای محاسبه این متغیر اگر اعلامیه‌های حساس به قیمت و خاص شرکت در روز رویداد t منتشر شده باشد عدد ۱ و در غیر این صورت عدد ۰ تعلق می‌گیرد اگر اعلامیه‌ای در بازه زمانی بین بسته شدن آخرین روز معاملاتی و بسته شدن روز جاری رخ داده باشد، برای یک روز سهام حذف می‌شود که در همین راستا ۱۹۴ سهم- روز با اعلامیه‌های حساس به قیمت در روزهای صعودی بازار و ۱۸۶ سهم- روز با اعلامیه‌های حساس به قیمت در روزهای نزولی بورس اوراق بهادار تهران شناسایی شده است.

متغیر کنترلی

متغیرهای اندازه، میانگین وزنی حجم روزانه هر معامله، نوسانات ویژه روزانه سهام و بتا مجموعه متغیرهای کنترلی پژوهش هستند که در پژوهش‌های پیشین از آنها به عنوان متغیرهای موثر بر نرخ بازده غیرعادی سهام یاد شده است (مانند فوکو، کادان و کندل، ۲۰۱۳؛ هندرسوت و ریوردان، ۲۰۱۳؛ جاگادیش و همکاران، ۲۰۱۹).

اندازه شرکت (Size)، از طریق لگاریتم طبیعی ارزش بازار سهام پنج روز قبل از روز رویداد به دست می‌آید. متغیر اندازه شرکت در مدل‌های پژوهش گنجانده شده است تا ارتباط ممکن آن با نرخ بازده و افزایش معاملات الگوریتمی کنترل شود. علاوه بر این، در همه سفارشات، شاخص ارزش وزن‌دهی، وزن بیشتری به سهام شرکت‌های بزرگتر می‌دهد؛ بنابراین در نظر گرفتن اندازه می‌تواند سوگیری‌های بالقوه به سمت سهام بزرگتر را کاهش دهد. $effsprd_{i.t}$ میانگین وزنی حجم روزانه برای هر معامله است. میانگین حجم وزن‌دهی‌شده پراکندگی موثر روزانه در مدل‌های پژوهش گنجانده شده است تا تاثیرات نقدینگی بر نرخ بازده و افزایش معاملات الگوریتمی کنترل شود. در همین راستا، مدل تجربی ارائه شده توسط فوکو، کادان و کندل (۲۰۱۳) ارتباط قوی بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده معاملات را نشان داد. اگر معاملات الگوریتمی با نقدینگی در نمونه آماری پژوهش مرتبط باشد، حذف کردن معیارهای نقدینگی ممکن است متغیرهای اصلی را مجبور کند که تبدیل به معیارهایی برای اثرات نقدینگی شوند؛ بنابراین برای اطمینان از این که رابطه تخمینی بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده نسبت به تاثیر معیارها و قیمت‌گذاری قوی است، میانگین حجم وزن‌دهی‌شده روزانه معاملات به مدل‌های پژوهش اضافه شده است (ژو و همکاران، ۲۰۲۰). $ivola_{i.t}$ برابر با نوسانات ویژه روزانه براساس نرخ بازده روزانه سهام و بازار در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای است. دیرکنز (۱۹۹۱) پیشنهاد می‌کند که از نوسانات خاص به

عنوان معیاری برای اثرات اطلاعاتی استفاده شود. اگر معاملات الگوریتمی دارای مزیت اطلاعاتی باشد، همانطور که توسط بایایس و همکاران(۲۰۱۵) استدلال شده است، معاملات الگوریتمی با واریانس ویژه مرتبط خواهد بود. $beta_{i.t}$ بتا ابزاری است که اگر روز t یک روز زوج (فرد) باشد، بتا براساس بتاهای ۵ روز فرد (زوج) گذشته و براساس نتایج تجربی پژوهش جاگادیش و همکاران (۲۰۱۹) تعریف می‌شود. مقدار بتا مستقیماً با نرخ بازده و نوسانات تعدیل شده بازار ارتباط دارد. مشابه با پژوهش جاگادیش و همکاران (۲۰۱۹) بتای در روزهای زوج (فرد) ابزاری است که بر اساس بتای ۵ روز فرد (زوج) گذشته تعیین می‌شود. ابزار بتا می‌تواند خطای اندازه‌گیری را در ضرایب شیب مدل بازار کاهش دهد و از تأثیر ساختار عامل در نوسانات بازار جلوگیری کند. در ادامه لیست کاملی از تعریف متغیرهای پژوهش در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲. تعاریف متغیرها

متغیر	تعریف
متغیردامی $at_{i.t}$	$at_{i.t}$ متغیر مجازی است که در آن اگر معامله توسط معاملات الگوریتمی آغاز شود، برابر با ۱ و در غیراین صورت مقدار صفر به آن تعلق می‌گیرد.
$ar_{i.t}$	نرخ بازده غیرعادی روزانه تعدیل شده براساس مدل بازار است.
$size_{i.t}$	اندازه شرکت برابر با لگاریتم طبیعی ارزش بازار سهام پنج روز قبل از روز رویداد است.
$effsprd_{i.t}$	میانگین وزنی حجم روزانه برای هر معامله است.
$ivola_{i.t}$	نوسانات ویژه روزانه براساس نرخ بازده روزانه سهام و بازار در بازه‌های زمانی ۵ دقیقه‌ای
$beta_{i.t}$	بتا ابزاری است که اگر روز t یک روز زوج (فرد) باشد، بتا براساس بتاهای ۵ روز فرد (زوج) گذشته و براساس نتایج تجربی پژوهش جاگادیش (۲۰۱۸) تعریف می‌شود.
$up_{i.t}$	متغیر مجازی روزهای صعودی است که اگر روز t، روز صعودی بازار باشد برابر یک است.
$down_{i.t}$	متغیر مجازی روزهای نزولی است که اگر روز t، روز نزولی بازار باشد، برابر یک خواهد بود.
$news_{i.t}$	متغیر مجازی اخبار است که اگر اخبار خاص شرکت و تاثیرگذار بر قیمت سهم در روز t باشد، برابر یک خواهد بود.

یافته‌های پژوهش

آمار توصیفی

در اولین بخش از یافته‌های پژوهش، آماره‌های توصیفی متغیرهای پژوهش ارائه شده است. نتایج آمار توصیفی در جدول ۳ مقادیر میانگین مقطعی حجم معاملات، تعداد معاملات و نسبت‌های حجم معاملات الگوریتمی (AT) را نشان می‌دهد. آمارهای روزانه برای تمام روز معاملاتی از جمله ۲۵ روز صعودی و

۱۵ روز نزولی گزارش شده است. میانگین افزایش خرید و فروش معاملات الگوریتمی به ترتیب ۰/۵۱۰ و ۰/۴۹۲ است که همسو با یافته‌های کوردیا و سوبراهمانیام (۲۰۰۴) و ژو و همکاران (۲۰۲۰) در بورس استرالیا نشان می‌دهد تعداد معاملات خرید اندکی بیشتر از تعداد معاملات فروش است. همچنین مطابق با این مفهوم که نرخ بازده بازار با افزایش حجم معاملات ارتباط دارد، میانگین افزایش خرید معاملات الگوریتمی در روزهای صعودی بازار بیشتر از کلیه روزها است.

جدول ۳. نتایج آمار توصیفی

متغیرها	کلیه روزها		روزهای صعودی		روزهای نزولی	
	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین	انحراف‌معیار	میانگین	انحراف‌معیار
rAT^d (%)	۰/۵۱۰	۰/۰۱۸	۰/۵۳۸	۰/۰۱۲	۰/۵۴۰	۰/۰۳۰
rAT^s (%)	۰/۴۹۲	۰/۰۴۲	۰/۵۰۶	۰/۰۳۹	۰/۵۲۵	۰/۰۴۴
$rATbuy^d$ (%)	۰/۴۸۴	۰/۰۰۹	۰/۵۴۲	۰/۰۱۳	۰/۵۶۸	۰/۰۲۵
$rATsell^d$ (%)	۰/۵۲۵	۰/۱۵۳	۰/۵۳۴	۰/۱۶۴	۰/۵۵۵	۰/۲۰۱
$rATbuy^s$ (%)	۰/۴۹۴	۰/۰۷۴	۰/۵۱۷	۰/۰۸۹	۰/۵۲۹	۰/۰۱۱
$rATsell^s$ (%)	۰/۴۸۳	۰/۰۲۶	۰/۵۵۲	۰/۰۲۰	۰/۵۳۴	۰/۰۳۴
$ar_{i.t}$	۰/۱۵۴	۰/۰۳۱	۰/۲۰۲	۰/۰۰۶	-۰/۱۴۳	۰/۰۱۲
$size_{i.t}$	۶/۴۸۰	۰/۲۲۱	۶/۲۷۵	۰/۲۳۲	۶/۰۱۴	۰/۲۲۴
$ivola_{i.t}$	۰/۲۲۷	۰/۰۲۳	۰/۲۵۹	۰/۰۱۷	۰/۲۶۲	۰/۰۴۸
$beta_{i.t}$	۱/۲۵۷	۰/۲۴۹	۱/۳۶۰	۰/۱۳۵	۱/۴۸۲	۰/۰۹۴

در این بخش به منظور تجزیه و تحلیل همبستگی بین متغیرهای پژوهش از ضریب همبستگی استفاده شده است. نتایج حاصل از ضریب همبستگی در میان نسبت‌های معاملات الگوریتمی در جدول ۴ ارائه شده است و نشان می‌دهد اگر چه ضریب همبستگی بین متغیر rAT^d با $rATbuy^d$ و $rATsell^d$ به ترتیب ۰/۵۱۹ و ۰/۶۲۰ است؛ اما مقدار ضریب همبستگی بین $rATbuy^d$ و $rATsell^d$ فقط ۰/۰۹۴ است. روابط میان متغیرهای نسبت‌های عرضه نقدینگی نیز مشابه است. به عنوان مثال مقدار ضریب همبستگی بین متغیر rAT^s با $rATbuy^s$ و $rATsell^s$ به ترتیب ۰/۷۱۱ و ۰/۵۹۲ است؛ اما مقدار ضریب همبستگی بین $rATbuy^s$ و $rATsell^s$ فقط ۰/۰۲۴- است. این یافته‌ها بدان معناست که تفکیک متغیر معاملات الگوریتمی به نسبت‌های تقاضا و عرضه‌ی خرید و فروش اطلاعات اضافی و متمایزی را در مقایسه با فقط نسبت معاملات الگوریتمی غیرجهت‌دار ارائه می‌کند.

جدول ۴. نتایج ضریب همبستگی

متغیر	$rATbuy^d$	$rATsell^d$	rAT^s	$rATbuy^s$	$rATsell^s$
rAT^d	۰/۵۱۹	۰/۶۲۰	۰/۲۸۴	۰/۲۵۱	۰/۲۳۹
$rATbuy^d$		۰/۰۹۴	۰/۲۵۳	۰/۱۴۲	۰/۵۶۱
$rATsell^d$			۰/۲۲۸	۰/۳۳۲	۰/۱۰۸
rAT^s				۰/۷۱۱	۰/۵۹۲
$rATbuy^s$					-۰/۰۲۴

نتایج آزمون فرضیه اول

هدف از آزمون فرضیه اول پژوهش، بررسی تاثیر معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی سهام است که برای این منظور از افزایش تقاضا و عرضه نقدینگی و نسبت‌های افزایش تقاضا و عرضه خرید و فروش معاملات الگوریتمی به عنوان معیارهایی برای معاملات الگوریتمی استفاده شده است. نتایج آزمون فرضیه اول در ادامه به تفکیک بیان شده است.

الگوهای ۱ و ۴ در جدول ۵، نتایج مربوط به افزایش معاملات الگوریتمی در روزهای صعودی را نشان می‌دهند. همانگونه که نتایج الگوی اول در جدول ۵ نشان می‌دهد ضریب متغیر افزایش تقاضای معاملات الگوریتمی ۰/۵۴۱- و معنادار و ضریب متغیر افزایش عرضه معاملات الگوریتمی ۰/۲۰۹- و غیرمعنادار است. منفی و معنادار بودن مقدار ضریب متغیر افزایش تقاضای معاملات الگوریتمی بدین معناست که بین افزایش تقاضای معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام رابطه‌ای معکوس وجود دارد. به عبارتی دیگر، شرکت‌هایی که تقاضای معاملات الگوریتمی بیشتری دارند، دارای بازده غیرعادی کمتری هستند و از نوسانات قیمت کمتری برخوردار هستند. ضریب متغیرهای افزایش تقاضا و عرضه معاملات الگوریتمی همانگونه که براساس مبانی نظری بیان شد برای روزهای صعودی منفی است.

در ادامه برای تأکید بر اهمیت مسیر معاملات، همانگونه که در مدل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده افزایش معاملات الگوریتمی به افزایش خرید و فروش بر اساس حجم خرید و فروش تفکیک شده است و این مدل‌ها آزمون شده است. نتایج الگوی دوم نشان می‌دهد در سطح معناداری ۰/۰۵ متغیر افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط خریدار ($iATbuy_{i,t}^{d}$) رابطهٔ منفی و معنادار و متغیر افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط فروشنده ($iATsell_{i,t}^{d}$) دارای رابطهٔ منفی و غیرمعنادار با نرخ بازده غیرعادی سهام است. مقدار ضریب افزایش تقاضای خرید معاملات الگوریتمی ۱/۰۲۵- بدین معناست که یک افزایش ۱۰ درصدی در خرید

معاملات الگوریتمی منجر به کاهش ۱۰ واحد پایه در نرخ بازده غیرعادی سهام می‌شود. نتایج الگوی سوم نشان می‌دهد در سطح معناداری ۰/۰۵ متغیر افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط خریدار ($iATbuy^{s}_{i,t}$) رابطهٔ منفی و معنادار و متغیر افزایش عرضه نقدینگی معاملات الگوریتمی برای معامله‌های آغاز شده توسط فروشنده ($iATsell^{s}_{i,t}$) دارای رابطهٔ منفی و غیرمعنادار با نرخ بازده غیرعادی سهام است. منفی و معنادر بودن مقدار ضریب افزایش عرضه خرید معاملات الگوریتمی ۱/۱۵۶- بدین بدین معناست که افزایش عرضه خرید منجر به کاهش نرخ بازده غیرعادی سهام می‌شود.

جدول ۵. نتایج بررسی نرخ بازده تعدیل شده بازار روز رویداد بر افزایش معاملات الگوریتمی

روزهای صعودی						
متغیر	الگوی اول		الگوی دوم		الگوی سوم	
	ضریب	مقداراحتمال	ضریب	مقداراحتمال	ضریب	مقداراحتمال
iAT^{d}	-۰/۵۴۱	۰/۰۳۹	-	-	-	-
iAT^{s}	-۰/۲۰۹	۰/۰۶۴	-	-	-	-
$iATbuy^{d}$	-	-	-۱/۰۲۵	۰/۰۳۱	-	-
$iATsell^{d}$	-	-	-۰/۳۲۰	۰/۰۵۱	-	-
$iATbuy^{s}$	-	-	-	-	-۰/۵۲۳	۰/۰۰۰
$iATsell^{s}$	-	-	-	-	-۱/۱۵۶	۰/۰۸۰
$size$	-۰/۷۰۴	۰/۰۲۱	-۰/۵۲۰	۰/۰۰۳	-۰/۱۲۴	۰/۰۴۸
$effsprd$	-۰/۱۴۶	۰/۲۴۶	-۰/۰۱۴	۰/۱۵۰	-۰/۰۹۰	۰/۰۷۶
$ivola$	۰/۲۶۵	۰/۰۰۰	۰/۳۴۸	۰/۰۰۹	۰/۰۱۴	۰/۰۱۳
$beta$	۰/۱۰۸	۰/۰۵۵	۰/۸۲۱	۰/۰۸۳	۰/۰۶۲	۰/۱۲۸
β_0	۱/۴۱۲	۰/۰۰۰	۱۰/۲۶۲	۰/۰۰۰	۱/۰۳۸	۰/۰۰۰
آزمون هاسمن	آماره ۱۶/۵۱۸	مقداراحتمال ۰/۰۰۰	آماره ۸/۲۲۴	مقداراحتمال ۰/۰۰۴	آماره ۱۲/۶۰۹	مقداراحتمال ۰/۰۰۰
نوع مدل	پانل با اثرات ثابت		پانل با اثرات ثابت		پانل با اثرات ثابت	
آماره	آماره F	مقداراحتمال	آماره F	مقداراحتمال	آماره F	مقداراحتمال
مقدار آماره	۲/۰۴۲	۰/۰۰۱	۲/۷۵۹	۰/۰۰۰	۲/۴۳۱	۰/۰۰۰
ضریب‌تعیین	۰/۲۸۴		۰/۰/۳۰۱		۰/۳۱۶	

نتایج مربوط به افزایش معاملات الگوریتمی در روزهای نزولی در جدول ۶ ارائه شده است. نتایج الگوی اول در جدول ۶ نشان می‌دهد ضریب متغیر افزایش تقاضای معاملات الگوریتمی ۰/۱۸۲ و

غیرمعنادار و ضریب متغیر افزایش عرضه معاملات الگوریتمی ۰/۰۱۳ و معنادار است. مثبت و معنادار بودن مقدار ضریب متغیر افزایش عرضه معاملات الگوریتمی در روزهای نزولی بدین معناست که بین افزایش عرضه معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام در روزهای متلاطم که بازار سیر نزولی دارد رابطه‌ای مثبت وجود دارد. نتایج الگوی دوم و سوم نشان می‌دهد تنها متغیر افزایش تقاضای فروش معاملات الگوریتمی $iATsell_{i,t}^{d}$ با نرخ بازده غیرعادی سهام دارای رابطه مثبت و معنادر است. مقدار ضریب افزایش تقاضای فروش معاملات الگوریتمی ۱/۲۲۶- بدین معناست که یک افزایش ۱۰ درصدی در فروش معاملات الگوریتمی منجر به کاهش ۱۲ واحد پایه در نرخ بازده غیرعادی سهام می‌شود.

به طور کلی، این نتایج نشان می‌دهد هنگامی که بازار دارای کاهش قیمت بیش از ۲٪ است، کاهش بیشتر در قیمت یک سهم مشخص، توسط یک کاهش در نرخ بازده غیرعای که نشان دهنده فشار قیمت نزولی بیشتر آن است نشان داده می‌شود؛ لذا ضریب مثبت متغیر افزایش معاملات الگوریتمی نشان می‌دهد معاملات الگوریتمی با فشارهای نزولی بیشتر در قیمت سهام رابطه دارد. متناوباً، ضریب منفی افزایش معاملات الگوریتمی نشان می‌دهد سهامی که بیشتر توسط معاملات الگوریتمی معامله شده، نوسانات نزولی کمتری را در روزهای نزولی بازار از خود نشان دهند.

جدول ۶. نتایج بررسی نرخ بازده تعدیل شده بازار روز رویداد بر افزایش معاملات الگوریتمی

روزهای نزولی						
متغیر	الگوی اول		الگوی دوم		الگوی سوم	
	ضریب	مقداراحتمال	ضریب	مقداراحتمال	ضریب	مقداراحتمال
iAT^{d}	۰/۱۸۲	۰/۰۶۴	–	–	–	–
iAT^{s}	۰/۰۱۳	۰/۰۰۷	–	–	–	–
$iATbuy^{d}$	–	–	-۰/۴۱۰	۰/۰۵۷	–	–
$iATsell^{d}$	–	–	۱/۲۶۶	۰/۰۱۳	–	–
$iATbuy^{s}$	–	–	–	–	۰/۱۲۸	۰/۲۱۸
$iATsell^{s}$	–	–	–	–	۱/۱۱۵	۰/۰۹۳
$size$	-۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۹۴	۰/۰۳۱	-۰/۶۱۸	۰/۰۱۷
$effsprd$	-۰/۰۴۸	۰/۰۳۹	-۰/۲۷۶	۰/۰۰۰	-۰/۷۸۴	۰/۰۰۰
$ivola$	۰/۸۳۲	۰/۵۰۰	۰/۸۴۲	۰/۰۸۱	۰/۳۵۲	۰/۰۰۰
$beta$	۰/۵۱۴	۰/۱۲۸	۰/۱۶۰	۰/۱۰۸	۰/۱۰۹	۰/۴۴۳
β_0	۰/۶۳۲	۰/۰۰۰	۱/۰۷۷	۰/۰۰۰	۱/۱۶۰	۰/۰۰۰

آزمون هاسمن	آماره ۷/۰۲۸	مقداراحتمال ۰/۰۰۲	آماره ۲/۶۳۱	مقداراحتمال ۰/۰۶۴	آماره ۱۴/۷۳۱	مقداراحتمال ۰/۰۰۰
نوع مدل	پانل با اثرات ثابت		پانل با اثرات تصادفی		پانل با اثرات ثابت	
آماره	آماره F	مقداراحتمال	آماره F	مقداراحتمال	آماره F	مقداراحتمال
مقدار آماره	۲/۴۱۶	۰/۰۰۱	۳/۱۷۹	۰/۰۰۰	۲/۳۷۵	۰/۰۰۰
ضریب‌تعیین	۰/۲۶۴		۰/۳۱۱		۰/۳۳۸	

تحلیل بعد از روز رویداد

یافته‌های تجربی در رابطه با روزهای رویداد نشان داد ارزش قدرمطلق نرخ بازده سهام با معاملات الگوریتمی با شدت کمتر، بیشتر از نرخ بازده سهام با معاملات الگوریتمی با شدت بالاتر است؛ از این‌رو در این بخش، تفاوت بازده پس از روزهای رویداد بین سهام با افزایش معاملات الگوریتمی زیاد و کم بررسی می‌شود.

تفاوت نرخ بازده سهام در روز رویداد را می‌توان توسط واکنش معاملات غیرالگوریتمی به اطلاعات و قیمت‌های مشتق شده نسبت به ارزش‌های بنیادی آنها توضیح داد. اگر به این شیوه باشد، نباید هیچ برگشت بازده‌ای در طول دوره بلافاصله بعد از روز رویداد برای سهام با افزایش معاملات الگوریتمی کمتر در مقایسه با آنهایی که دارای افزایش معاملات الگوریتمی بالاتر هستند، مشاهده شود. با این وجود، اگر برگشت‌های بازده معناداری در میان سهام با افزایش معاملات الگوریتمی کمتر وجود داشته باشد، در این صورت معاملات غیر الگوریتمی نوسانات قیمت را افزایش می‌دهد و باعث می‌شود که قیمت‌ها از ارزش‌های بنیادی‌شان منحرف شوند.

در راستای تحلیل داده‌ها از آنجا که دوره زمانی پژوهش یک سال است؛ لذا محدوده زمانی داده‌های پژوهش نشان می‌دهد که تحلیل‌های بلندمدت ممکن نیست؛ با این وجود، تجزیه و تحلیل بازده غیرعادی انباشته (CAR) بعد از روز رویداد برای پنج روز بلافاصله بعد از روز رویداد ارائه شده است. بازده‌های غیرعادی بعد از روز رویداد به عنوان CARهایی برای هر سهم جمع می‌شود و سپس براساس افزایش تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی روز رویدادشان به دسته‌های چهارتایی تقسیم می‌شوند. برای تقسیم‌بندی از متغیر $iATbuy^d$ ($iATsell^d$) برای روزهای صعودی (نزولی) بازار استفاده می‌شود. سپس با استفاده از آزمون مقایسه میانگین‌ها تفاوت میانگین بین CARهای دارای افزایش معاملات الگوریتمی بالا و پایین محاسبه شده است. اگر رابطه اثرات نرخ بازده با افزایش معاملات الگوریتمی پایین (و در نتیجه افزایش معاملات غیرالگوریتمی بالا) در روزهای رویداد ناپایدار باشد، CARهای بسیار

بالاتری را در سهام با معاملات الگوریتمی پایین در مقایسه با سهام با معاملات الگوریتمی بالا بلافاصله بعد از روزهای نزولی بازار مشاهده می‌شود. متناوباً، اگر تاثیرات بازده در روزهای رویداد بنیادی باشند، اختلاف‌های ناچیزی در CARهای بعد از رویداد مشاهده می‌شود.

جدول ۷ نتایج آزمون مقایسه میانگین بازده غیرعادی انباشته (CAR) بعد از روز رویداد که توسط تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی به چهار گروه رتبه بندی شده را نشان می‌دهد. سطر اول (دوم) حاوی میانگین تفاوت بین ۵۰٪ (۲۵٪) بالا و پایین بازده غیرعادی انباشته بر اساس فعالیت‌های معاملات الگوریتمی است. ستون اول و ستون سوم شامل تفاوت تمام بازده‌های غیرعادی انباشته پس از رویداد است. ستون‌های دوم و چهارم تفاوت بازده‌های غیرعادی انباشته در زیر مجموعه‌ای از روزهای رویداد و پس از روز رویداد را نشان می‌دهد. به بیانی دیگر، ستون‌های دوم و چهارم تفاوت بازده‌های غیرعادی انباشته بعد از رویداد را در زیر مجموعه‌ای از روزهای رویداد مستقل نشان می‌دهد که حداقل پنج روز از یکدیگر فاصله دارند؛ بنابراین دوره های CAR در ستون ۳ و ۵ با هم همپوشانی ندارند.

نتایج جدول ۷ نشان می‌دهد در روزهای نزولی بازار، تفاوت بازده‌های غیرعادی انباشته پس از روز رویداد در سطح معناداری ۰/۰۵ از نظر آماری منفی و معنادار است. این یافته نشان می‌دهد برگشت‌های بازده معناداری در میان سهام با افزایش معاملات الگوریتمی کمتر وجود داشته است. با این وجود، نتایج در روزهای صعودی بازار نشان می‌دهد تفاوت بازده‌های غیرعادی انباشته پس از روز رویداد در سطح معناداری ۰/۰۵ از نظر آماری معنادار نیست. به طور کلی این نتایج نشان می‌دهد سهامی که سطوح پایین‌تر معاملات الگوریتمی دارند، بازگشت بازده قابل توجهی را بعد از روزهای نزولی بازار تجربه می‌کنند. همچنین سهامی که کمتر توسط معاملات الگوریتمی معامله می‌شوند، اغلب در روزهای متلاطم طی ۵ روز معاملاتی بعد، تمایل بیشتری به برگشت از کاهش قیمت را دارند.

جدول ۷. نتایج آزمون مقایسه میانگین CAR بعد از روز رویداد

روزهای صعودی		روزهای نزولی	
تمام روزها	روزهای مستقل	تمام روزها	روزهای مستقل
-۰/۱۵۴	-۰/۲۰۱	-۰۱/۳۵۶	-۰/۴۲۰
(۰/۰۱۲)	(۰/۱۴۵)	(۰/۰۰۲)	(۰/۰۰۱)
۰/۳۹۸	۰/۴۱۲	۰/۳۲۳	۱/۱۹۳
(۰/۲۲۲)	(۰/۱۰۳)	(۰/۰۴۳)	(۰/۰۲۰)

نتایج آزمون فرضیه دوم

هدف از آزمون فرضیه دوم پژوهش، بررسی اثر تفاضلی شرایط بازار در روزهای رویداد در مقایسه با روزهای غیررویداد بر رابطه بین افزایش خرید معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام است. جهت برآورد اثر تفاضلی شرایط بازار در روزهای رویداد و غیررویداد بر رابطه بین افزایش خرید معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام، ابتدا یک مدل لجستیک تخمین زده می‌شود و براساس آن نمره تمایل محاسبه می‌شود. سپس با استفاده از نمره تمایل به‌دست آمده همسان‌سازی صورت می‌گیرد. در نهایت رگرسیون تفاوت در تفاوت برای روزهای صعودی و روزهای نزولی بازار به طور جداگانه در نمونه همسان برآورد می‌شود. نتایج جدول ۸ و ۹ موارد تشخیصی همسان‌سازی نمره تمایل بین روزهای رویداد و روزهای غیررویداد را نشان می‌دهد. نمونه آماری به روزهای صعودی (نزولی) به عنوان گروه تیمار و روزهای غیررویداد به عنوان گروه کنترل تقسیم شده است. هر روز- سهم در گروه درمان با دو روز- سهم در گروه کنترل بر اساس نمرات تمایل آنها همسان شده است. نمره تمایل از رگرسیون‌های لجستیک برای گروه تیمار و کنترل بدست می آید.

جدول ۸. نتایج آزمون PMS برای روزهای صعودی

متغیر	پیش از همسان‌سازی				پس از همسان‌سازی			
	گروه کنترل (C)	گروه تیمار (T)	تفاضل (C-T)	آماره t	گروه کنترل (C)	گروه تیمار (T)	تفاضل (C-T)	آماره t
ar	۰/۳۲۳	۰/۲۶۶	۰/۰۵۶	۱/۹۹۶	۰/۲۹۴	۰/۲۶۶	۰/۰۲۷	۱/۴۵۲
$beta$	۰/۳۱۰	۰/۲۴۲	۰/۰۶۸	۱/۴۴۷	۰/۳۴۰	۰/۲۴۲	۰/۰۹۸	۰/۷۲۳
$effsprd$	۰/۵۱۸	۰/۶۳۴	-۰/۱۱۶	-۳/۳۷۳	۰/۶۴۲	۰/۶۳۴	۰/۰۰۸	۰/۳۲۲
$size$	۱۲/۶۶۷	۱۲/۷۸۶	-۰/۱۰۹	-۲/۰۰۸	۱۲/۷۰۲	۱۲/۷۸۶	۰/۰۸۴	۱/۰۴۰
$ivola$	۰/۱۲۸	۰/۱۳۴	-۰/۰۰۶	-۴/۹۰۱	۰/۱۳۱	۰/۱۳۴	-۰/۰۰۳	-۰/۵۰۴

جدول ۹. نتایج آزمون PMS برای روزهای نزولی

متغیر	پیش از همسان‌سازی				پس از همسان‌سازی			
	گروه کنترل (C)	گروه تیمار (T)	تفاضل (C-T)	آماره t	گروه کنترل (C)	گروه تیمار (T)	تفاضل (C-T)	آماره t
ar	۰/۲۹۶	-۰/۰۴۰	۰/۳۳۶	۳/۸۳۱	-۰/۰۳۹	-۰/۰۴۰	۰/۰۱۸	۱/۰۱۴
$beta$	۰/۳۱۳	۰/۳۳۵	-۰/۰۲۳	-۲/۷۷۰	۰/۳۶۲	۰/۳۳۵	۰/۰۲۶	۱/۵۷۵
$effsprd$	۰/۴۵۸	۰/۵۲۶	-۰/۰۶۸	-۳/۴۷۰	۰/۵۱۸	۰/۵۲۶	-۰/۰۰۸	-۰/۹۱۴

$size$	۱۲/۶۶۷	۱۲/۳۷۸	-۰/۲۸۹	-۲/۶۳۳	۱۲/۳۸۰	۱۲/۳۷۸	۰/۰۰۲	۰/۳۷۲
$ivola$	۰/۱۲۶	۰/۱۳۰	-۰/۰۰۴	-۲/۳۵۰	۰/۱۲۱	۰/۱۳۰	-۰/۰۰۹	-۱/۳۴۹

نتایج حاصل از تخمین مدل بر اساس رهیافت تفاضل در تفاضل در جدول ۱۰ ارائه شده است. در این رگرسیون ضریب متغیرهای تعاملی نشان دهنده اثر شرایط بازار در افزایش معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی است. نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد در روزهای صعودی بازار، متغیرهای افزایش معاملات الگوریتمی در سطح معناداری ۰/۰۵ از نظر آماری معنادار نیستند؛ در حالی که متغیر اثرات تعاملی روزهای صعودی بازار (up) و افزایش خرید تقاضای نقدینگی معاملات الگوریتمی ($iATbuy^d$) در سطح معناداری ۰/۰۵ منفی و معنادار است. این دو نتیجه نشان می‌دهد با وجود آنکه گروه‌های آزمایش و کنترل دارای مشخصات بازار مشابه هستند، رابطه بین افزایش معاملات الگوریتمی و بازده غیرعادی تنها زمانی معنادار است که فشار کلی بازار وجود داشته باشد. به بیانی دیگر، این نتیجه از نظر اقتصادی نشان می‌دهد شرایط بازار اثر ملموسی در افزایش معاملات الگوریتمی بر نوسانات قیمت سهام دارد. همانگونه که نتایج جدول ۱۰ نشان می‌دهد، نتایج در خصوص روزهای نزولی بازار نیز مشابه هستند.

جدول ۱۰. نتایج آزمون تفاضل در تفاضل بین روزهای رویداد و غیررویداد همسان‌سازی شده

متغیر	روزهای صعودی		روزهای نزولی	
	ضریب	سطح معناداری	ضریب	سطح معناداری
$iATbuy^d$	-۰/۴۲۱	۰/۱۲۰	۰/۰۸۳	۰/۲۷۹
$iATsell^d$	-۰/۰۶۲	۰/۱۴۳	۰/۴۱۶	۰/۱۵۲
$iATbuy^s$	-۰/۰۹۸	۰/۲۰۵	۰/۷۱۳	۰/۰۶۱
$iATsell^s$	-۰/۷۰۰	۰/۰۸۹	۰/۴۲۱	۰/۲۷۵
up	-۰/۰۱۲	۰/۰۵۴	-	-
$iATbuy^d * up$	-۰/۱۴۲	۰/۰۳۰	-	-
$iATsell^d * up$	-۰/۲۹۰	۰/۱۹۷	-	-
$iATbuy^s * up$	-۰/۹۸۹	۰/۳۲۳	-	-
$iATsell^s * up$	-۰/۴۰۰	۰/۱۶۳	-	-
$down$	-	-	۰/۰۴۳	۰/۰۰۰
$iATbuy^d * down$	-	-	۰/۱۳۴	۰/۰۲۲
$iATsell^d * down$	-	-	۰/۱۶۰	۰/۰۳۱
$iATbuy^s * down$	-	-	۰/۶۲۹	۰/۱۷۴
$iATsell^s * down$	-	-	۰/۰۳۹	۰/۲۱۳

$size$	-۰/۰۰۸	۰/۰۰۳	-۰/۷۲۵	۰/۰۰۶
$effsprd$	۰/۰۴۹	۰/۰۳۷	-۱/۳۴۷	۰/۱۷۸
$ivola$	۰/۳۲۸	۰/۱۲۰	۰/۸۸۵	۰/۰۵۹
$beta$	۰/۷۲۵	۰/۰۸۶	۰/۱۷۲	۰/۲۲۷
β_0	۰/۲۱۹	۰/۰۰۰	۰/۰۸۱	۰/۰۰۰
آماره کای-دو	۹۰/۳۵۸	۰/۰۰۰	۱۰۶/۳۲۶	۰/۰۰۰
ضریب R^2	۰/۴۴۱		۰/۴۰۶	

نتایج آزمون فرضیه سوم

هدف از آزمون فرضیه سوم پژوهش، بررسی تاثیر اخبار و اطلاعات حسابداری بر رابطه بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام است. بدین منظور جامعه آماری مورد پژوهش بر اساس روزهای رویداد به دو گروه، روزهای صعودی و روزهای نزولی تقسیم شده است و سپس مدل ۸ برای هر یک از زیر گروه‌ها برآورد شده است. نتایج حاصل از آزمون فرضیه سوم در جدول ۱۱ ارائه شده است. در بررسی معناداری الگوی اول و دوم با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱۱ مقدار احتمال آماره F برای هر دو الگو در سطح معناداری از ۰/۰۵ کوچک‌تر است که با اطمینان ۹۵٪ معنادار بودن هر دو الگو تائید می‌شود. همچنین مقدار ضریب تعیین تعدیل شده برای هر دو الگو به ترتیب برابر با ۰/۳۵۲ و ۰/۳۰۱ است که نشان می‌دهد متغیرهای توضیحی در هر یک الگوها به ترتیب ۳۵ و ۳۰ درصد از تغییرات متغیر وابسته را تبیین می‌کنند.

جدول ۱۱. نتایج بررسی رابطه بین معاملات الگوریتمی و ورود اطلاعات خاص شرکت

متغیر	روزهای صعودی			روزهای نزولی		
	ضریب	آماره t	مقداراحتمال	ضریب	آماره t	مقداراحتمال
$iATbuy^d$	-۰/۰۰۹۲	-۶/۰۵۵	۰/۰۰۰	۰/۳۵۲	۱/۸۱۰	۰/۰۷۱
$iATsell^d$	-۰/۰۱۴	-۰/۸۴۰	۰/۴۰۳	۰/۰۲۸	۲/۰۰۸	۰/۰۴۵
$iATbuy^s$	-۰/۰۷۸	-۰/۶۳۸	۰/۵۲۳	۰/۱۵۲	۱/۱۷۱	۰/۰۸۷
$iATsell^s$	۰/۱۲۰	-۱/۲۹۱	۰/۱۹۷	۰/۰۸۲	۰/۸۵۰	۰/۳۹۵
$news$	-۰/۵۵۳	-۳/۱۹۳	۰/۰۰۱	-۰/۱۴۴	-۳/۵۱۴	۰/۰۰۰
$iATbuy^d * news$	۰/۱۷۲	۳/۳۸۶	۰/۰۱۷	-۰/۷۱۱	-۱/۶۱۳	۰/۱۰۷
$iATsell^d * news$	۰/۰۶۵	۱/۰۶۱	۰/۲۸۹	-۰/۰۳۰	-۲/۵۲۶	۰/۰۱۱
$iATbuy^s * news$	۰/۳۸۸	۱/۵۰۱	۰/۱۳۴	-۰/۶۲۸	-۱/۸۱۰	۰/۰۷۰
$iATsell^s * news$	۰/۲۴۷	۱/۱۷۱	۰/۰۸۷	-۰/۹۰۳	-۲/۳۳۳	۰/۰۲۰

$size$	-۰/۰۱۱	-۳/۰۵۳	۰/۰۰۲	-۰/۲۴۹	-۵/۵۸۰	۰/۰۰۰
$effsprd$	-۰/۰۱۴	-۲/۹۴۳	۰/۰۰۴	۰/۷۵۲	۰/۷۸۹	۰/۴۳۰
$ivola$	۰/۰۵۸	۰/۹۸۷	۰/۳۱۹	۰/۱۶۲	۳/۲۴۱	۰/۰۰۱
$beta$	۰/۶۴۹	-۱/۵۷۰	۰/۱۱۷	۰/۰۴۸	۱/۶۱۵	۰/۱۰۷
β_0	۰/۳۹۱	۶/۳۰۲	۰/۰۰۰	۰/۷۴۲	۷/۱۰۳	۰/۰۰۰
آماره آزمون هاسمن	۱/۵۲۱			۲/۲۴۷		
مقداراحتمال	۰/۰۰۰			۰/۰۰۰		
نوع مدل	پانل با اثرات ثابت			پانل با اثرات ثابت		
آماره F	۳/۸۹۴			۳/۶۴۳		
مقداراحتمال	۰/۰۰۰			۰/۰۰۰		
ضریب‌تعیین	۰/۳۵۲			۰/۳۰۱		

در بررسی معناداری ضرایب همان طور که نتایج در جدول ۱۱ نشان می‌دهد، ضریب متغیر اخبار و اطلاعات دارای رابطه‌ای منفی و معنادار با نرخ بازده غیرعادی سهام است. منفی و معنادار بودن مقدار ضریب متغیر اخبار ۰/۰۵۲ بدین معناست که اخبار و اطلاعات رابطه‌ای معکوس با نرخ بازده غیرعادی سهام دارند. به بیانی دیگر، اخبار و اطلاعات حساس به قیمت با نوسانات قیمت کمتر رابطه دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهد از میان متغیرهای تعاملی افزایش معاملات الگوریتمی و اخبار تنها ضریب متغیر اثرات متقابل اخبار و افزایش تقاضای خرید $(iATbuy^d * news)$ در روزهای صعودی دارای رابطه‌ای مثبت و معنادار و متغیر اثرات متقابل اخبار و افزایش تقاضای فروش $(iATsell^d * news)$ در روزهای نزولی دارای رابطه‌ای منفی و معنادار در سطح معناداری ۰/۰۵ با نرخ بازده غیرعادی هستند. مثبت و معنادار بودن مقدار ضریب متغیر اثرات متقابل اخبار و افزایش تقاضای خرید ۰/۱۷۲ و منفی و معنادار بودن اثرات متقابل افزایش تقاضای فروش ۰/۹۰۳- بدین معناست که اخبار و اطلاعات شرکت‌ها دارای اثر تعدیل‌کنندگی است و اثری مستقیم (معکوس) بر رابطهٔ بین افزایش معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی در روزهای صعودی (نزولی) می‌گذارد. این نتیجه تأیید می‌کند اخبار و اطلاعات بر تصمیمات معامله‌گران الگوریتمی در روزهای متلاطم تاثیر می‌گذارد و منجر به نوسانات کمتر قیمت سهام می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

مطالعات متعددی در بورس اوراق بهادار تهران به بررسی عوامل موثر بر نرخ بازده سهام پرداخته‌اند؛ اما مطالعات کمی به بررسی تاثیر معاملات الگوریتمی بر بازده سهام در شرایطی که کل بازار جریان سریع و غیرعادی یا افت‌هایی را تجربه می‌کند، پرداخته‌اند؛ از این‌رو هدف اصلی این پژوهش، توسعه الگوریتم

معاملاتی در بازارهای متلاطم است. با بررسی ادبیات برای اندازه‌گیری معاملات الگوریتمی از نسبت‌های افزایش خرید و نسبت‌های افزایش فروش استفاده شده است. روزهای متلاطم در بازار در این پژوهش، زمانی تعریف می‌شوند که مقادیر قدرمطلق بازده‌های بازار بزرگتر از ۲ درصد هستند. بدین منظور، نمونه‌ای متشکل از ۲۷۶ شرکت پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران طی سال ۱۳۹۸ با استفاده از رگرسیون چندمتغیره و لجستیک بررسی شده است.

یافته‌های پژوهش در ارتباط با فرضیه اول، بررسی تاثیر معاملات الگوریتمی بر نرخ بازده غیرعادی سهام در شرایطی که کل بازار جریان سریع و غیرعادی یا افت‌هایی را تجربه می‌کند نشان داد، در روزهای صعودی بازار، زمانی که بازده بازار بیش از ۲ درصد است، بین افزایش تقاضای معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام رابطه‌ای معکوس وجود دارد. به عبارتی دیگر، سهامی که تقاضای معاملات الگوریتمی بیشتری دارند، دارای بازده غیرعادی کمتری هستند و از نوسانات قیمت کمتری برخوردار هستند. نتایج در مورد روزهای نزولی بازار، یعنی زمانی که بازده بازار بیش از (۲-) درصد است، نشان داد بین افزایش تقاضای معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام رابطه‌ای مستقیم وجود دارد. این یافته بیانگر این است که سهامی که بیشتر توسط معاملات الگوریتمی معامله می‌شوند، نوسانات نزولی بیشتری را در روزهای نزولی بازار از خود نشان می‌دهند. همچنین یافته‌ها درباره نرخ بازده بعد از روزهای متلاطم بازار نشان داد، معاملات غیرالگوریتمی نسبت به فشار بازار واکنش بیش از حد نشان می‌دهند و قیمت سهام را ورای ارزش ذاتی آن حرکت می‌دهند. به طور کلی نتایج فرضیه اول نشان می‌دهد که در مقایسه با معاملات غیرالگوریتمی، معاملات الگوریتمی موجب نوسان قیمت بین سهام در بازارهای آشفته نمی‌شوند. نتایج آزمون فرضیه اول پژوهش همسو با نتایج پژوهش هندرشات و همکاران (۲۰۱۱)؛ بومر، فانگ و وو[۱۶] (۲۰۱۹) و بروگارد، هندرشات، و ریوردان (۲۰۱۹) است. با این تفاوت که بروگارد و همکاران (۲۰۱۹) برای اندازه‌گیری معاملات الگوریتمی از داده‌های حجم-سفارش استفاده کرده‌اند.

نتایج پژوهش در ارتباط با فرضیه دوم، بررسی اثر تفاضلی شرایط بازار در روزهای رویداد در مقایسه با روزهای غیررویداد بر رابطه بین افزایش خرید معاملات الگوریتمی و بازده غیرعادی سهام نشان داد نرخ بازده، نقدینگی، اندازه‌ی سهام و نوسانات سهام به عنوان ویژگی‌ها و شرایط بازار بر تصمیمات معامله‌گران الگوریتمی تاثیر و منجر به نوسانات قیمت سهام می‌شود. این یافته از نظر اقتصادی نشان می‌دهد، شرایط بازار اثر ملموسی در افزایش معاملات الگوریتمی بر نوسانات قیمت سهام دارد. یافته‌های پژوهش در ارتباط با فرضیه سوم با نتایج پژوهش‌هایی مانند ژو و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد.

نتایج پژوهش در ارتباط با فرضیه سوم بررسی تاثیر اخبار و اطلاعات حسابداری بر رابطه بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام نشان داد، اخبار و اطلاعات در هر دو روزهای صعودی و نزولی بازار بر بازده غیرعادی سهام تاثیر منفی می‌گذارد. به بیانی دیگر، اخبار و اطلاعات حساس به قیمت (مربوط) باعث نوسانات کمتر قیمت سهام می‌شوند. یافته‌های پژوهش در ارتباط با اثر تعدیل‌کنندگی اخبار و اطلاعات حسابداری شرکت‌ها نشان داد اخبار و اطلاعات حسابداری دارای اثر تعدیل‌کنندگی است و بر رابطه‌ی بین معاملات الگوریتمی و نرخ بازده غیرعادی سهام تاثیر می‌گذارد، بدین ترتیب که اخبار و اطلاعات می‌تواند بر افزایش معاملات الگوریتمی در بازار را تحت تاثیر قرار دهد. به طور کلی، نتایج آزمون فرضیه دوم پژوهش نشان می‌دهد، اخبار و اطلاعات بر تصمیمات معامله‌گران الگوریتمی در روزهای متلاطم تاثیر می‌گذارد و منجر به نوسانات کمتر قیمت سهام می‌شود. یافته‌های پژوهش در ارتباط با فرضیه سوم با نتایج پژوهش‌هایی مانند ژو و همکاران (۲۰۲۰) همخوانی دارد.

با توجه به نتایج پژوهش، در شرایطی که بازار جریان سریع و صعودی را تجربه می‌کند معاملات الگوریتمی می‌تواند تاثیری سودمند بر نوسانات قیمت داشته باشد؛ لذا توصیه می‌شود سازمان بورس با در نظر گرفتن ابزارهای نظارتی دقیق به توسعه معاملات الگوریتمی کمک کند. زیرا این ابزار کمک می‌کند تا بدون درگیر شدن احساسات و یا هیجآنها در بازار معامله انجام شود. سال گذشته و در پی ریزش قیمت‌ها در بازارسهام، سازمان بورس و اوراق بهادار معاملات الگوریتمی را متوقف کرد؛ که با توجه به نتایج پژوهش در روزهای نزولی به نظر می‌رسد این تصمیم درست بوده است؛ لذا توصیه می‌شود سازمان بورس در چنین شرایطی تلاش کند تا حد امکان، الگوریتم‌ها کنترل شوند تا در موارد بروز مخاطرات، ناظر بازار بتواند در سریع‌ترین زمان ممکن عملکرد این الگوریتم‌ها را متوقف کرده یا به‌صورت دوره‌ای بتواند ساختار این الگوریتم‌ها را بررسی و در صورت مشاهده تنظیمات نادرست در این الگوریتم‌ها، تذکرات لازم را به بهره‌برداران آن اعلام کند. به سایر پژوهشگران پیشنهاد می‌شود تاثیر انواع دیگر از معاملات الگوریتمی مانند معاملات پربسامد بر نوسانات قیمت سهام مورد بررسی قرار دهند. همچنین پیشنهاد می‌شود الگوریتم‌های نامساعد بر بازار سرمایه مورد شناسایی و پژوهش قرار گیرد. در ارتباط با محدودیت‌های پژوهش باید به این نکته توجه شود که اگر چه دوره نمونه پژوهش یکی از آشفته‌ترین سال‌ها را برحسب دهه‌های گذشته تحت پوشش قرار می‌دهد، اما اندازه نمونه تنها به یک سال محدود می‌شود؛ لذا در تعمیم نتایج حاصل از پژوهش باید با احتیاط عمل شود. در این پژوهش اثرات ناشی از نوع صنعت در نظر گرفته نشده است، با توجه به شدت و ضعف روابط در صنایع مختلف باید به تاثیر صنایع مختلف در تفسیر نتایج توجه شود. همچنین عوامل کلانی مانند تورم می‌تواند بر نتایج اثرگذار

باشد؛ اما اثرات ناشی از این عوامل در پژوهش در نظر گرفته نشده است. علاوه بر این، اگر چه نتایج پژوهش نشان دهنده تاثیر سودمند معاملات الگوریتمی در بازار سرمایه است؛ اما در این پژوهش احتمال اختلال در بازار ناشی از دستکاری شدن الگوریتم‌ها در نظر گرفته نشده است؛ لذا در تفسیر نتایج باید دقت شود.

منابع

۱) جمشیدی ویسمه، مهسا. (۱۳۹۶). معاملات الگوریتمی و معاملات پربسامد (بنیان ساز و کار و آموخته‌های جهانی). بورس اوراق بهادار تهران، معاونت توسعه، چاپ اول، ۱-۶۴.

۲) دستپاک، محسن؛ رستگار، محمدعلی. (۱۳۹۴). ارائه مدل معاملاتی با تکرار بالا در بورس اوراق بهادار تهران. دانش سرمایه‌گذاری. ۴(۱۵)، ۱۰۹-۸۹.

۳) رستگار، محمدعلی؛ امین صداقتی‌پور. (۱۳۹۷). ارائه سیستم معاملات الگوریتمی برای قرارداد آتی سکه طلا مبتنی بر داده‌های درون- روزی. فصلنامه دانش سرمایه‌گذاری، ۷(۲۸)، ۶۷-۴۹.

۴) رستگار، محمدعلی؛ دستپاک، محسن. (۱۳۹۷). ارائه مدل معاملاتی با فراوانی زیاد، همراه با مدیریت پویای سبد سهام به روش یادگیری تقویتی در بورس اوراق بهادار تهران. تحقیقات مالی، ۲۰(۱)، ۱-۱۶.

۵) رستگار، محمدعلی؛ ساعدی‌فر، خاطره. (۱۳۹۶). استراتژی بهینه اجرای معاملات بزرگ با رویکرد شبیه‌سازی عامل‌گرا. تحقیقات مالی، ۱۹(۲)، ۲۶۲-۲۳۹.

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

۷) سید حسینی، میرمیثم؛ احمدی، زانیار. (۱۳۹۳). مفاهیم معاملات الگوریتمی. مدیریت پژوهش، توسعه و مطالعات اسلامی، ۲، ۱-۱۱۶.

۸) طادی، مسعود؛ آبکار، مجید؛ مطهری‌نیا، وحید. (۱۳۹۷). استراتژی معاملات زوجی با رویکرد فاصله‌ای در بورس اوراق بهادار تهران. دانش سرمایه‌گذاری، ۷(۲۶)، ۱۱۲-۹۹.

۹) مرادپور، سعید؛ دستوری، مجتبی. (۱۴۰۰). کاربرد معاملات الگوریتمی و پایداری در بازار رمز ارز. مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۱۲(۴۷)، ۴۳۵-۴۴۹.

10) Aggarwal, N., & Thomas, S. (2017). The Causal Impact of Algorithmic Trading on Market Quality. working paper. Indira Gandhi Institute of Development.

11) Bershova, N., & Rakhlin, D. (2013). High-frequency trading and long-term investors: a view from the buy-side. Journal of Investment Strategies, 2(2), 69-25.

12) Bertram, W. (2010). Analytic solutions for optimal statistical arbitrage trading. Physical A: Statistical Mechanics and its Applications, 389(11), 2234–2243.

13) Boehmer, E., Fong, K., & Wu, J. (2019). International Evidence on Algorithmic Trading. (Unpublished working paper. Singapore Management University).

14) Brogaard, J., & Garriott, C. (2018). High-frequency trading competition. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 54(4),1469-1497

15) Bogaard, J., Hendershott, T., & Riordan, R. (2014). High frequency trading and price discovery. The Review of Financial Studies, 27, 2267–2306.

16) Brogaard, J., Hendershott, T., & Riordan, R. (2019). Price discovery without trading: evidence from limit orders. The Journal of Finance, 74 (4), 1621–1658.

17) Chaboud, A.P., Chiquoine, B., Hjalmarsson, E., & Vega, C. (2014). Rise of the machines: algorithmic trading in the foreign exchange market. The Journal of Finance, 69(5), 2045-2084.
18) Frino, A., Prodromou, T., Wang, G. H., Westerholm, P. J., & Zheng, H., 2017. An empirical analysis of algorithmic trading around earnings announcements. Pacific-Basin Finance Journal. 45, 34–51.
19) Gao, C., & Mizrach, B. (2016). Market quality breakdowns in equities. Journal of Financial Markets, 28, 1–23.
20) Hasbrouck, J., & Saar, G. (2013). Low-latency trading. Journal of Financial Markets, 16 (4), 646–679.
21) Hendershott, T., & Riordan, R. (2013). Algorithmic trading and the market for liquidity. Journal of Financial and Quantitative Analysis, 48 (4), 1001–1024.
22) Hendershott, T., Jones, C. M., & Menkveld, A. J. (2011). Does algorithmic trading improve liquidity? The Journal of Finance, 66 (1), 1–33.
23) Jegadeesh, N., Noh, J., Pukthuanthong, K., Roll, R., & Wang, J. L. (2019). Empirical Tests of Asset Pricing Models with Individual Assets: Resolving the Errors-in-Variables Bias in Risk Premium Estimation. (Unpublished working paper. Emory University).
24) Kirilenko, A., Kyle, A.S., Samadi, M., & Tuzun, T. (2017). The flash crash: high frequency trading in an electronic market. The Journal of Finance. 72 (2), 967–998.
25) Zeng, Z., & Lee, C. G. (2014). Pairs trading: optimal thresholds and profitability. Quantitative Finance, 14(11), 1881-1893.
26) Zhou, H., Kalev, P. S., & Frino, A. (2020). Algorithmic trading in turbulent markets. Pacific-Basin Finance Journal, 62, 101358, 1-27. doi: 10.1016/j.pacfin.2020.101358.

یادادشت‌ها

1- Hendershott, Jones and Menkveld
2- Hasbrouck and Saar
3- Aggarwal and Thomas
4- Hendershott and Riordan
5- Chaboud, Chiquoine, Hjalmarsson, and Vega
۶- زیر مجموعه ای از معاملات الگوریتمی است که اغلب بر اساس تاکید بر سرعت معاملاتی از معاملات الگوریتمی متمایز می شود.
7- Brogaard, Hendershott and Riordan
8- Zhou, Kalev, and Frino
9- Kirilenko, Kyle, Samadi and Tuzun
10- Bertram
11- Zeng and Lee
12- Gao and Mizrach
13- Brogaard and Garriott
14- Algorithmic Trading Liquidity Demanding Intensity
15- Algorithmic Trading Liquidity Supply Intensity
16- Boehmer, Fong and Wu