فصلنامه مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار
دوره چهارده، شماره پنجاه و هفت، زمستان ۱۴۰۲
نوع مقاله : علمی پژوهشی
صفحات : ۲۳-۱

معامله زوجی بر پایه تجزیه موجک

بهاره زرین‌تاج[۱]
سعید آقاسی[۲]
فروزان بکتاش[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۰۸/۱۸ تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۱/۱۱/۰۸

چکیده

در پژوهش حاضر از تجزیه موجک برای تجزیه سری‌های زمانی قیمت در یک زوج دارایی به سری‌های زمانی کلیات و جزئیات استفاده می‌شود و خاصیت همجمعی بین سطوح مختلف و متناظر تجزیه دو سری بررسی می‌شود تا زوج‌های همجمع در سطوح مختلف تجزیه یافت شود و سپس سودآوری آن مورد بررسی قرار گیرد. در این پژوهش سودآوری سیستم معامله زوجی بر پایه تجزیه موجک بر روی ۱۴ شاخص از بورس اوراق بهادار تهران در فاصله سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۱ بررسی شد. نتایج نشان می‌دهد که برای سطح دوم جزئیات در تجزیه موجک، نتایج کاملاً چشمگیر می‌باشد و تعداد موقعیت‌های معاملاتی به بیش از دو برابر، بازده روزانه به چهار برابر و نسبت شارپ نیز به حدود دو برابر افزایش یافته است. سیستم شکل گرفته بر اساس سطح اول جزئیات نیز عملکرد سودآوری بهتری نسبت به همجمعی معمولی دارد و عملکرد سطح سوم جزئیات در حدود همجمعی می‌باشد. به علاوه متوسط مدت زمان معامله نیز در سطح اول و دوم کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. عملکرد سودآوری در سطح سری کلیات در مجموع ضعیف‌تر از همجمعی می‌باشد.

کلمات کلیدی

آربیتراژ آماری، استراتژی معاملاتی، معامله زوجی، تجزیه موجک، نسبت شارپ.

۱-گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران. bahar.zarintaj62@gmail.com
۲-گروه مدیریت، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران. (نویسنده مسئول) saeedaghasi@dehaghan.ac.ir
۳-گروه اقتصاد، واحد دهاقان، دانشگاه آزاد اسلامی، دهاقان، ایران. F.baktash@gmail.com

مقدمه

سرمایه‌گذاران در بازار سهام به دنبال استراتژی‌های معاملاتی با بازده مناسب و ریسک پایین هستند. به طور کلی سهام و اوراق بهادار همواره با عدم قطعیت و ریسک همراه است. با این حال، بسیاری از سرمایه‌گذاران، پتانسیل کسب سود در بازار سهام را با استفاده از اطلاعات و به کارگیری استراتژی‌ها و سیستم‌های معاملاتی مختلف دنبال می‌کنند و سعی در کسب سود بر اساس درکی درست از بازار سهام و رفتار آن دارند. هر سیستم معاملاتی در واقع بیانی از یک الگوریتم است که به کمک علومی چون ریاضی، آمار، مالی و... به دنبال پیدا کردن دارایی‌های مالی می‌باشد که زیر قیمت منصفانه خود ارزش گذاری شده است. امروزه استفاده از برنامه‌های کامپیوتری در دنیای بازارهای مالی گسترش فراوانی یافته است. این برنامه‌ها بدون دخالت احساسات یک سیستم معاملاتی را به صورت آنلاین و بی‌درنگ اجرا می‌کنند. بنابراین کیفیت سودآوری این برنامه‌ها وابسته به کیفیت الگوریتم معاملاتی پیاده سازی شده می‌باشد. آربیتراژ آماری یک دسته از الگوریتم‌های معاملاتی می‌باشد که از رهیافت‌های آماری (مدل‌های آماری) برای یافتن دارایی هایی که زیر ارزش خود قیمت گذاری شده‌اند، استفاده می‌کند.

آربیتراژ آماری شامل استفاده از فرصت‌های آربیتراژی می‌باشد که بر اساس مدل‌های آماری محاسبه و بدست آمده‌اند. یکی از متداول‌ترین رویکردها در آربیتراژ آماری، معامله زوجی می‌باشد. همان‌طور که از نام معامله زوجی مشخص است این استراتژی معاملاتی بر روی یک زوج دارایی اعمال می‌شود. معاملات زوجی[1] از معروف‌ترین و قدیمی‌ترین سیستم های معاملات الگوریتمی است که کارایی و سودآوری آن در بسیاری از پژوهش‌هایی که تاکنون در بازارهای مالی مختلف صورت گرفته است، اثبات و نشان داده شده است (کلج و کراوس[2] ،۲۰۱۸). اساس معاملات زوجی اتخاذ موقعیت‌های خرید و فروش بر روی یک زوج دارایی (سهام، کالا، اختیار معاملات یا پول) است که دارای روابط تعادلی بلندمدت با یکدیگر هستند. معاملات زوجی یک استراتژی سرمایه‌گذاری خنثی نسبت به تغییرات و روندهای بازار است که معامله‌گر را به کسب سود در هر شرایط از بازار مانند نزولی، صعودی و یا حرکت‌های مجانبی و یا حتی در دوره‌ایی با نوسانات بالا یا پایین، قادر می‌سازد (براهیمی پور و داودی،۱۴۰۰). این استراتژی از آنجایی که به طور همزمان خرید و فروش را روی دارایی‌های معادل لحاظ می‌کند و از مزایای تفاوت قیمتی بین آن‌ها بهره گرفته و سود کسب می‌کند، در گروه استراتژی‌های آربیتراژ آماری قرار می‌گیرد.

پیاده‌سازی‌هایی که تا کنون از معامله زوجی گردیده است، همگی بر اساس رفتارهای قیمتی یا بازده‌ای دارایی‌های تشکیل دهنده زوج دارایی صورت گرفته است. پژوهش حاضر به دنبال بررسی روابط تعادلی زوج دارایی در فرکانس‌های مختلف حاصل از تجزیه قیمت می‌باشد. بنابراین هدف پژوهش حاضر

طراحی و بررسی سودآوری سیستم معامله زوجی در مقیاس‌های زمانی مختلف با استفاده از تحلیل زمان-مقیاس با رهیافت تبدیل موجک می‌باشد. بر این اساس سری زمانی قیمت دو دارایی در مقیاس‌های زمانی مختلف تجزیه می‌شود و در هر مقیاس زمانی، خاصیت همجمعی[۳] مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نظر گرفتن مقیاس‌های زمانی مختلف این امکان را می‌دهد که سری زمانی قیمت به روندهای کوتاه‌مدت و بلندمدت تقسیم شود. روندهای بلندمدت دارای نوسانات کمتری می‌باشند و روندهای کوتاه‌مدت همراه با نوسان بالا هستند. مطالعه استراتژی معامله زوجی در فضای زمان مقیاس این امکان را می‌دهد تا اثر روندهای کوتاه‌مدت و بلندمدت بر سودآوری معامله زوجی مورد مطالعه قرار گیرد. ممکن است یک زوج برای یک مقیاس زمانی دارای خاصیت همجمعی نباشند و برای یک مقیاس دیگر دارای این خاصیت باشند و یا در یک افق زمانی، سودآوری قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.

بیان مساله

در معامله زوجی، مفهومی به نام قیمت گذاری نسبی وجود دارد و در صورتی که مدل آماری مورد استفاده حاکی از قیمت گذاری نسبی اشتباه دو دارایی باشد، دارایی که به صورت نسبی زیر قیمت ارزش گذاری شده است خریداری می‌شود چون انتظار می‌رود افزایش قیمت یابد و دارایی که به صورت نسبی بالای قیمت ارزش گذاری شده است، فروخته می‌شود چون انتظار می‌رود قیمت آن کاهش یابد (راموس و همکاران[۴]،۲۰۲۱). معامله زوجی برای یافتن فرصت‌های آربیتراژی از تحلیل آماری همزمان دو دارایی استفاده می‌کند. نکته مهم در معامله زوجی این است که معامله زوجی نسبت به جهت بازار (بازار صعودی یا نزولی) خنثی می‌باشد زیرا همواره سهامی در آن فروش استقراضی می‌شود که در بازار نزولی به سود منتهی می‌شود و سهامی در آن خریداری می‌شود که در بازار صعودی به سود منتهی می‌شود. بنابراین معامله زوجی در هر دو بازار صعودی و نزولی قابل انجام است (الیوت و بردرانیا [۵]،۲۰۱۸).

معامله زوجی به روش‌های همچون فاصله، روش همجمعی، روش کاپولا[۶] و فیلتر کالمان[۷] پیاده سازی می‌شود. روش فاصله از تفاضل قیمت نرمال شده دو سهم به عنوان شاخصی برای قیمت گذاری نسبی اشتباه استفاده می‌کند و زمان معامله از طریق رسیدن تفاضل مورد نطر به سطح از پیش تعیین شده‌ای مشخص می‌شود. روش همجمعی در مورد زوج سهام با خاصیت همجمعی به کار می‌رود. سری قیمت در دو سهم با خاصیت همجمعی چنان است که در صورت دور شدن از یکدیگر، انتظار می‌رود در آینده به یکدیگر نزدیک شوند. در روش کاپولا برای سری‌های بازده دو سهم تابع چگالی توام و سپس تابع چگالی شرطی محاسبه می‌شود و از طریق تابع چگالی شرطی ملاکی برای قیمت گذاری اشتباه معرفی می‌شود. در رویکرد فیلتر کالمان، فاصله تعادلی بین دارایی به صورت یک متغیر تصادفی غیر قابل مشاهده در نظر

گرفته می‌شود و به کمک فرآیند پیش بینی و اصلاح مورد برآورد قرار می‌گیرد. رویکردهای دیگری مبتنی بر یادگیری ماشین نیز در پیاده سازی سیستم معامله زوجی مانند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. در ادامه تعدادی از تحقیقات مرتبط با معامله زوجی و رهیافت‌های مورد استفاده آن‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

براهیمی‌پور و داودی (۱۴۰۰) به بررسی سودآوری استراتژی معامله زوجی بر پایه سیستم حالت فضای خطی و فیلتر کالمان در بورس اوراق بهادار پرداختند. استراتژی معامله زوجی پژوهش بر پایه توصیف فرآیند قابل مشاهده یعنی باقی مانده‌های مدل همجمعی بر حسب یک فرآیند غیر قابل مشاهده با خاصیت بازگشت به میانگین و در ضمن یک مدل حالت-فضا قرار دارد. سود آوری استراتژی معامله زوجی پژوهش بر روی ۲۱ سهم از زیر مجموعه سهام صنایع فرآورده‌های نفتی و فلزات اساسی از بورس اوراق بهادار تهران نشان می‌دهد که مدل زوجی پژوهش در معیار نسبت شارپ در مقایسه با معامله زوجی بر حسب همجمعی و عملکرد بازار سودآورتر می‌باشد. فلاح‌پور و حکیمیان (۱۳۹۹) از روش یادگیری تقویتی به منظور انتخاب آستانه‌های معاملاتی و پنجره‌های زمانی مناسب با هدف ماکزیمم‌سازی بازده و مینیمم‌سازی ریسک‌های منفی در معاملات زوجی با رویکرد هم‌انباشتگی استفاده کردند. نتایج آزمایش روی داده‌های درون‌روزی زوج سهام منتخب، نشان می‌دهد که استفاده از روش یادگیری تقویتی در طراحی سیستم معاملات در معاملات زوجی نسبت به کارهای قبلی انجام‌شده، برتری چشمگیری دارد. دستوری و همکاران (۱۳۹۷) به بررسی یکی از محدودیت‌های الگوریتم معاملات زوجی یعنی استفاده از حدود و قوانین ثابت پرداختند که نمی‌تواند بخشی از پویایی‌های سیستم را مدل نمایید که نتایج حاصل شده نشان داد 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 سرمایه گذار به همراه داشته است. طادی و همکاران (۱۳۹۷) به منظور به کارگیری استراژی زوجی، زوج سهم‌ها از صنعت استخراج کانه‌های فلزی و داده‌های قیمت در بازه‌ی زمانی مربوط به سال ۱۳۹۵ انتخاب کردند. سپس با اعمال استراتژی زوجی و پس‌آزمایی آن، عملکرد استراتژی معاملات زوجی با استراتژی خرید و نگهداری مقایسه کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که با فرض وجود سیستم فروش استقراضی و در محدوده آستانه مطلوب، بازدهی معاملات زوجی از استراتژی خرید و نگهداری بیشتر خواهد بود. فلاح‌پور و حکیمیان (۱۳۹۶) با محاسبه و بررسی بازده و نسبت سورتینو، عملکرد سیستم معاملات زوجی با استفاده از رویکرد هم انباشتگی در بورس اوراق بهادار تهران مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایشی بر روی زوج سهام‌های منتخب در بورس اوراق بهادار تهران نشان می‌دهد که استفاده از سیستم معاملات زوجی به

عنوان یک سیستم معاملاتی خنثی نسبت به تغییرات و روندهای بازار، بازدهی چشمگیری نسبت به بازدهی معمولی سهام در مدت مشابه دارد.

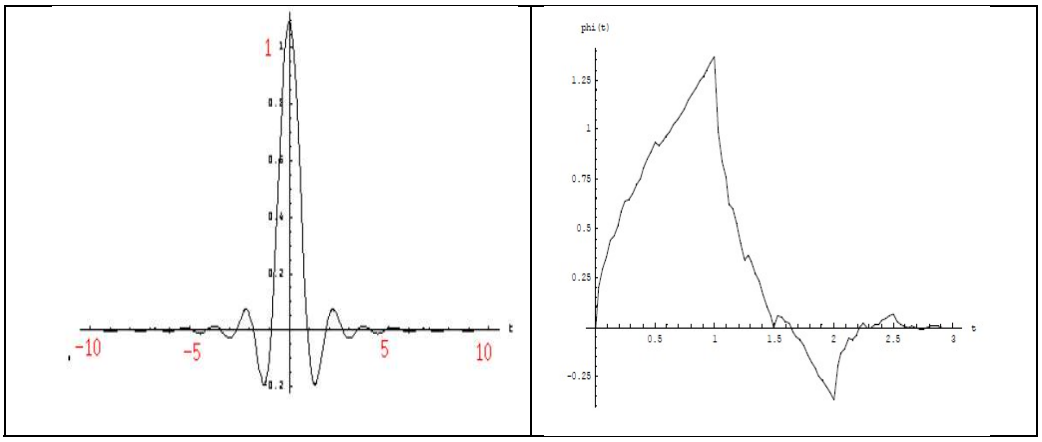
راموس و همکاران[۸](۲۰۲۱) زوج‌هایی را انتخاب کردند که سری‌هایشان درجه بالایی از پایداری را نشان می‌دهند. در نهایت، یک استراتژی بازگشت به میانگین برای این جفت‌ها کردند و نشان دادند که که با این رویکرد به معاملات جفتی، نتایج مثبتی را می‌توان در طول بازارهای صعودی و دوره‌های با نوسان کم به دست آورد. لو و همکاران[۹](۲۰۲۱) یک چارچوب بهینه‌سازی استراتژی معامله زوجی دو فازی، یعنی استراتژی زوجی هشدار دهنده حالت شکست را با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین طراحی کردند. فاز اول یک مدل ترکیبی است که ویژگی‌های حوزه فرکانس و زمان را برای تشخیص شکست‌های ساختاری استخراج می‌کند و فاز دو با تشخیص ریسک‌های مهم، از جمله شکست‌های ساختاری و ریسک‌های بسته شدن بازار، با یک مدل یادگیری تقویتی جدید به پیاده سازی معامله زوجی می‌پردازد. هان و همکاران[۱۰](۲۰۲۱)، یک استراتژی معامله زوجی را از طریق یادگیری بدون نظارت توسعه دادند. آن‌ها جفت‌ها را با ترکیب ویژگی‌های شرکت (اطلاعات بنیادی) و همچنین اطلاعات قیمت شناسایی کردند. ویژگی‌های شرکت برای ارائه اطلاعات مهم برای شناسایی جفت و بهبود قابل توجهی عملکرد استراتژی معامله زوجی آشکار می‌شود.

ریکوینا و همکاران[۱۱](۲۰۲۰) به طراحی استراتژی معاملاتی زوجی با رویکرد توان هرست پرداختند. یک زوج با توان هرست کمتر از نیم می‌تواند به عنوان یک زوج معامله زوجی انتخاب شود و بر اساس فاصله سری نرمال شده دو سهم موقعیت‌های معاملاتی باز و بسته می شوند. نتیجه پژوهش بر روی سهام زیر مجموعه S&P در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ حاکی از عملکرد بهتر معامله زوجی با رهیافت توان هرست نسبت به روش فاصله و خودجمعی می‌باشد. کلج و کراوس[۱۲] (۲۰۱۸) به بررسی سودآوری استفاده از مفهوم همجعی جزئی در سیستم معامله زوجی پرداختند. برای محاسبه پارامترهای مربوط به همجمعی جزئی از نمایش حالت فضای خطی و تقریب ضرایب بوسیله ماکسیمم درست‌نمایی استفاده کردند. نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که سودآوری استراتژی مذکور در حدود ۱۲ درصد در سال و با در نظر گرفتن هزینه‌های معاملاتی می‌باشد که این مقدار بالاتر از روش فاصله و عملکرد بازار می‌باشد. الیوت و بردرانیا[۱۳] (۲۰۱۸) به ارائه یک مدل پویا برای معامله زوجی گسسته پرداختند. برای این منظور تعدادی حالت پنهان بر اساس رویکرد سویچینگ مارکوف برای فرآیند فاصله در نظر گرفتند. نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که انتخاب تعداد حالات بر برآورد پارامترهای مدل اثر دارد. استوبینگر و بریتار[۱۴](۲۰۱۷) به بررسی سودآوری انواع استراتژی‌های معامله زوجی در بورس نیویورک در خلال سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵

پرداختند. داده‌های مورد استفاده دارای فرکانس بالا و به صورت دقیقه به دقیقه مورد بررسی قرار گرفتند. نتیجه پژوهش نشان می‌دهد که بهترین استراتژی زوجی دارای بازده سالیانه‌ای برابر ۰/۵۰۵۰ با نسبت شارپ ۸/۱۴ بعد از احتساب هزینه‌های معاملاتی می‌باشد. تحقیق خاطر نشان می‌کند که هر چند سودآوری استراتژی‌های زوجی در گذر زمان کمتر شده است اما همچنان می‌تواند گزینه مناسبی برای ورود به موقعیت‌های معاملاتی باشد. مورا و همکاران[۱۵] (۲۰۱۶) به تبیین یک استراتژی معامله زوجی بر اساس نمایش فاصله همجمعی در یک سیستم حالت فضای خطی پرداختند. در این مدل فرآیند تصادفی فاصله همجمعی، بر اساس یک فرآیند بازگشت به میانگین که نقش فرآیند غیر قابل مشاهده در سیستم حالت-فضا را دارد، مدل می‌شود و در پایان با به کارگیری آن در بورس آمریکا و برزیل نتایج حاصل از بازده سیستم معاملاتی را بالاتر از بازار گزارش دادند.

قیمت سهام را می توان به عنوان یک سری زمانی مورد مطالعه قرار داد. مطالعه سری زمانی در حالت معمولی در فضای زمان صورت می‌گیرد این در حالی است که می‌توان یک سری زمانی را در فضاهای دیگری همچون فضای فرکانسی[۱۶] یا بسامدی مورد مطالعه قرار داد تا اطلاعات پنهان در سری زمانی خود را نشان دهند. در این دیدگاه سری زمانی یا سیگنال به صورت ترکیب خطی یک‌سری سیگنال‌های پایه با بسامد مشخص در نظر گرفته می‌شود. در این دیدگاه فرکانس‌های بالا متناظر با رفتارهای کوتاه‌مدت و فرکانس‌های پایین نشان دهنده روند غالب و جهت حرکت بلندمدت می‌باشد (لیو و یان[۱۷]، ۲۰۲۱)، برای بررسی رفتار یک سری یا سیگنال در فضای فرکانسی می‌تواند از نظریه‌ای ریاضی سری فوریه[۱۸] و برای بررسی فضای زمان-فرکانس از موجک[۱۹] استفاده کرد. در تبدیل فوریه سری زمانی بر حسب امواج سینوسی و کسینوسی نوشته می‌شود. مشکل تبدیل فوریه در این است که اگر سیگنال حاوی فرکانس‌های بالا باشد برای بدست آوردن یک تقریب مناسب باید تعداد زیادی از جملات نوشته شوند. همچنین در لحظاتی که سیگنال تغییر فاز می‌دهد، تبدیل فوریه تقریب مناسبی ارایه نمی‌کند. در این تبدیل اطلاعات فرکانس و زمان به طور همزمان وجود ندارد (تریپاتی و جاپورا[۲۰]۲۰۲۰).

در مقایسه با تبدیل فوریه می‌توان گفت که تبدیل موجک دارای خصوصیت محلی‌سازی بسیار خوبی است. تحلیل موجک بر اساس تجزیه سیگنال‌ها به نسخه‌های تغییر یافته و مقیاس شده یک موجک است. موجک، برخلاف موج سینوسی، یک‌نوسان موج مانندست که به سرعت درحال میرایی است. موجک‌ها[۲۱]، دسته‌ای از توابع ریاضی هستند که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مؤلفه‌های فرکانسی آن بکار می‌رود که رزولوشن هر مؤلفه برابر با مقیاس آن است. تبدیل موجک تجزیه یک تابع بر مبنای توابع موجک می‌باشد (نالینیپراوا و سانجیتا[۲۲]،۲۰۲۰). شکل۱، نمودار دو موجک پرکاربرد را نشان می‌دهد

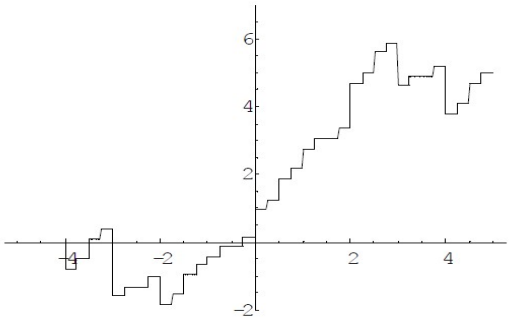


شکل۱- نمونه‌ای از دو موجک: موجک دابیچیز در سمت راست و میبر در سمت چپ

به زبان ساده، قضیه اساسی در تبدیل موجک بیان می‌کند که هر تابع مربع انتگرال پذیر را می‌توان به کمک مجموعی از توابع که حاصل از مقیاس بندی و انتقال تابع موجک پایه هستند، تقریب زد. به عنوان نمونه موجک معروف زیر موسوم به موجک هار[۲۳] می‌باشد.

$$\psi(x)=\begin{cases}1 & 0\le x\le 1/2\\ -1 & 1/2\le x<1\\ 0 & otherwise\end{cases}$$

شکل ۲ حاصل جمع موجک‌های انتقال یافته و مقیاس بندی شده هار می‌باشند. با توجه به شکل ۲ می‌توان انتظار داشت که با جمع کردن تعداد کافی از ψ_{jk} بتوانیم به تقریب مناسبی از یک تابع دلخواه دست پیدا کنیم.



شکل ۲- تبدیلات موجک هار

تبدیل موجک در مالی غالباً در مبحث پیش بینی بازده دارایی‌های مالی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان نمونه پنگ و همکاران[۲۴](۲۰۲۱) برای بازسازی سیگنال‌ها در مقیاس‌های چندگانه و فیلتر کردن نویز اندازه‌گیری، یک مدل پیش‌بینی مبتنی بر سری زمانی قیمت سهام با استفاده از تجزیه و تحلیل چند وضوحی (MRA[۲۵]) ارائه کردند. سپس برای آموزش و آزمون داده‌های تجربی از یادگیری عمیق در روش شبکه عصبی استفاده کردند. تریپاتی و جاپورا[۲۶](۲۰۲۰) با استفاده از رویکرد ترکیبی تبدیل موجک گسسته و مدل شبکه‌های عصبی مصنوعی ، قیمت بازار سهام را برای ۱۹ سال از ۱ جولای ۱۹۹۷ تا ۳۱ مارس ۲۰۱۸ پیش‌بینی کردند. دقت مدل شبکه عصبی-موجک با استفاده از میانگین درصد مطلق خطا در پیش بینی قیمت بازار سهام ۹۲/۵۸ درصد است. بلو[۲۷] (۲۰۲۱)، از موجک پیوسته برای بررسی حرکات توام سهام چهار کشور فرانسه، آلمان، بریتانیا و ایالات متحده استفاده کرد که نتیجه نشان می‌دهد که قدرت حرکات با توجه به افق‌های زمانی متفاوت است و شدت آن در بلندمدت نسبت به کوتاه‌مدت بیشتر است. لیو و یان[۲۸](۲۰۲۱) عمدتاً یک الگوریتم سری زمانی مالی مبتنی بر تجزیه و تحلیل موجک و همجوشی داده‌ها را مورد بحث قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که نتایج پیش‌بینی روش ترکیبی پیش‌بینی موجک همراه با روش پیش‌بینی شبکه عصبی پایه شعاعی بهتر از پیش‌بینی موجک یا پیش‌بینی شبکه پایه شعاعی است. دو و همکاران[۲۹](۲۰۲۰) یک روش جدید پیشنهاد دادند که روش‌های یادگیری ماشین و پردازش تصویر را برای تعریف و پیش‌بینی وضعیت بازار با داده‌های مالی روزانه ترکیب می‌کند. یک تبدیل موجک برای بازده ورود به سیستم قیمت سهام برای استخراج تصویر و حذف نویز اعمال می‌شود. سپس یک شبکه عصبی کانولوشنال الگوهایی را از تصاویر موجک حذف‌شده استخراج می‌کند تا سری‌های زمانی روزانه را طبقه‌بندی کند.

مطالعه پیشینه تحقیقات که در دو بخش پژوهش‌های حوزه معامله زوجی و تجزیه موجک ارائه گردید، نشان می‌دهد که استفاده از ترکیب تجزیه موجک در پیاده سازی سیستم معامله زوجی تا کنون در ادبیات تحقیق مورد بررسی قرار نگرفته است. در پژوهش حاضر تجزیه موجک برای تجزیه سری‌های زمانی یک جفت دارایی به اجزای تشکیل دهنده (سری‌های کلیات و جزئیات) مورد استفاده قرار می‌گیرد که تا رفتارهای کوتاه‌مدت و بلندمدت سری‌های زمانی خود را نشان دهد. فلسفه بکارگیری تجزیه موجک در استراتژی معامله زوجی بر دو ایده استوار است. یکی اینکه ممکن است دو سری زمانی در سطح دارای خاصیت همجمعی نباشند اما در سطوح متناظر حاصل از تجزیه دارای این خاصیت باشند یا اینکه ممکن است در یک سطح خاص از تجزیه دارای عملکرد فوق العاده و مناسبی باشند که این روش شناسی به آن

دست می‌یابد. به عنوان نمونه در سطوح متناظر با فرکانس‌های بالا انتظار می‌رود که متوسط زمان انجام معامله کاهش یابد. جزئیات مربوط به پیاده سازی مدل‌ها در بخش بعد ارائه می‌شود.

مدل تحقیق

در پژوهش حاضر برای پیاده سازی سیستم معامله زوجی بر پایه تجزیه موجک از خاصیت همجمعی برای بررسی وجود رابطه تعادلی بلند مدت استفاده می‌گردد. در واقع دو سری که دارای خاصیت همجمعی باشند، به عنوان یک زوج مناسب برای معامله زوجی در نظر گرفته می‌شوند. در ابتدا به معرفی این خاصیت و نحوه عملکرد سیستم معامله زوجی بر پایه آن می‌پردازیم. همجمعی در واقع مفهومی عمومی از ارتباطی مانا بین متغیرهای ناماناست. ایده اصلی در تجزیه و تحلیل همجمعی آن است که اگرچه بسیاری از سری‌های زمانی اقتصادی نامانا بوده و یک روند تصادفی افزایشی یا کاهشی دارند، اما ممکن است در بلندمدت یک ترکیب خطی از این متغیرها، همواره مانا بوده و بدون روند تصادفی باشد. مفهوم اقتصادی همجمعی آن است که دو یا چند سری زمانی بر اساس مبانی نظری با یکدیگر ارتباط داده می‌شوند تا یک رابطه تعادلی بلندمدت را شکل دهند، هرچند ممکن است خود این سری‌های زمانی دارای روند تصادفی بوده باشند (ناپایا باشند) امّا در طول زمان یکدیگر را به خوبی دنبال می‌کنند به گونه‌ای که تفاضل بین آن‌ها با ثبات (پایا) است. بنابراین مفهوم همجمعی تداعی کننده وجود یک رابطه تعادلی بلندمدت است. فرض کنیم $y_t = (\mathrm{y}_{1t}, \mathrm{y}_{2t}, ..., \mathrm{y}_{nt})'$ برداری متشکل از n سری زمانی جمعی مرتبه یک باشد (یعنی خود سری مانا نیست اما سری تفاضل آن مانا می‌باشد). به عبارتی $\forall i : \mathrm{y}_{it} \approx I(1)$. بردار y_t را دارای خاصیت همجمعی گویند هر گاه بردار حقیقی $\beta = (\beta_1, \beta_2, ..., \beta_n)'$ موجود باشد به صورتی که

$$\beta' y_t = \beta_1 \mathrm{y}_{1t} + \beta_2 \mathrm{y}_{2t} + ... + \beta_n \mathrm{y}_{nt} \approx I(0) \qquad (1)$$

در رابطه (۱)، بردار β را بردار ضرایب همجمعی می‌نامند و $I(0)$ به معنای مانایی می‌باشد. به عبارتی چند سری زمانی نامانا دارای یک ترکیب خطی مانا هستند. برای مشخص سازی یکتای β آن را نرمال می‌کنند. یک بردار ضرایب نرمال شده در حالت کلی به صورت $\beta = (1, -\beta_2, ..., -\beta_n)'$ می‌باشد. بنابراین رابطه همجمعی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$y_{1t} = \beta_2 y_{2t} + \ldots + \beta_n y_{nt} + u_t \qquad u_t \approx I(0) \qquad (۲)$$

که u_t را جز خطای عدم تعادل می‌نامند و بنابراین در صورتی که زوج $y_t = (y_{1t}, y_{2t})'$ همجمع باشند

$$\beta y_t = y_{1t} - \beta_2 y_{2t} \approx I(0) \qquad (۳)$$

انگل و گرانجر[۳۰] (۱۹۸۷) نشان دادند که همجمعی وجود یک رابطه به عنوان مدل تصحیح خطا به فرم زیر را نتیجه می‌دهد:

$$\Delta y_{1t} = c_1 + \alpha_1 (y_{1t-1} - \beta_2 y_{2t-1}) + \sum_j \psi_{11}^j \Delta y_{1t-j} + \sum_j \psi_{12}^j \Delta y_{2t-j} + \varepsilon_{1t} \qquad (۴)$$

$$\Delta y_{2t} = c_2 + \alpha_2 (y_{1t-1} - \beta_2 y_{2t-1}) + \sum_j \psi_{21}^j \Delta y_{1t-j} + \sum_j \psi_{22}^j \Delta y_{2t-j} + \varepsilon_{2t}$$

که توصیف کننده پویایی رفتاری y_{1t} و y_{1t} می‌باشد. رویکرد انگل-گرانجر در بررسی همجمعی دارای دو مرحله است. در مرحله اول رگرسیون $y_{1t} = c + \beta y_{2t} + u_t$ بوسیله روش حداقل مربعات خطا مورد تقریب قرار می‌گیرد. در ادامه به کمک آزمون‌های تشخیص مانایی، باقی مانده‌های رگرسیون مورد بررسی قرار می‌گیرد و در صورت تایید مانایی، سری‌های زمانی y_{1t} و y_{1t} همجمع با بردار ضرایب همجمعی $(1, -\beta)'$ می‌باشد.

پس از معرفی خاصیت همجمعی در ادامه به بررسی ساز وکار معامله زوجی بر پایه این خاصیت پرداخته می‌شود. در معامله زوجی بر اساس همجمعی، تمام زوج‌های ممکن از دارایی‌های مالی کاندید در نظر گرفته می‌شوند. سپس برای هر زوج به کمک آزمون انگل و گرانچر خاصیت همجمعی بررسی می‌شود. خروجی این آزمون شامل مقدار احتمال آزمون و ضریب همجمعی می‌باشد. به عنوان نمونه در صورتی که مقدار احتمال آزمون زیر ۰/۰۵ باشد، دو سری دارای خاصیت همجمعی در سطح اطمینان ۰,۹۵ می‌باشند و لذا در دراز مدت تشکیل تعادل می‌دهند و یکدیگر را دنبال می‌کنند. بر این اساس در صورتی که خاصیت همجمعی برای دو سری قیمت p_t^X و P_t^Y تایید شود، میزان انحراف دو سری از

حالت تعادلی خود یعنی $d_t = p_t^X - \beta p_t^Y$ محاسبه می‌شود. سپس میانگین و انحراف معیار سری d_t در داده‌های درون نمونه‌ای که به ترتیب با μ و σ نمایش داده می‌شود محاسبه و سری نرمال شده $S_t = \frac{d_t - \mu}{\sigma}$ به عنوان معیاری برای قیمت گذاری نسبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در داده‌های برون نمونه‌ای به صورت متداول زمانی که فاصله نرمال شده بیشتر از دو باشد، سهم x فروخته (فروش استقراضی) و سهم y به تعداد β سهم خریداری می‌شود. در صورتی که فاصله کمتر از منفی دو باشد سهم Y به تعداد β سهم فروخته (فروش استقراضی) و سهم X خریداری می‌شود موقعیت معاملاتی زمانی بسته می‌شود که این فاصله به صفر یا مقدار مشخص از پیش تعیین شده‌ای برسد. در پژوهش حاضر با توجه به اینکه فروش استقراضی در بورس اوراق بهادار تهران صورت نمی‌گیرد، در پیاده سازی استراتژی زوجی فقط معامله خرید صورت خواهد گرفت.

پس از معرفی سیستم معامله زوجی با رهیافت همجمعی، در ادامه به نحوه تجزیه یک سری زمانی به سری‌های کلیات و جزئیات بر اساس تبدیل موجک پرداخته می‌شود. برای این منظور، موجک مادر $\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}}\psi(\frac{x-b}{a})$ تبدیل ψ با انتقال و تغییر مقیاس به موجک‌های دیگری به نام موجک فرزند می‌گردد. مقادیر کم برای پارامتر مقیاس a، معادل فشردگی زمانی تابع موجک و معادل تغییرات شدید یا سریع یا فرکانس بالا می‌باشد. مقادیر بالا برای پارامتر مقیاسa، معادل تابع موجک گسترده و معادل تغییرات آرام و نرم یا فرکانس پایین می‌باشد. در حقیقت تبدیل موجک یک شباهت‌سنجی بین سیگنال و موجک‌ها است و منظور از شباهت‌سنجی در این بحث شباهت بین محتوای فرکانسی است. می‌توان ثابت کرد که برای هر تابع مربع انتگرال پذیر مانند f داریم:

$$f(\mathrm{x}) = \sum_{a,b} w_{a,b}\psi_{a,b} \qquad (۵)$$

که $w_{a,b} = \int_{-\infty}^{\infty} f(\mathrm{x})\overline{\psi}_{a,b}dx$ که این مقدار به کمک روش‌های عددی تقریب زده می‌شود. با انتخاب مقادیر بزرگ برای ضریب مقیاس و شباهت‌سنجی موجک با سیگنال اصلی بر روی محور زمان، سری‌های جزئیات و برای ضرایب کوچک، سری کلیات حاصل می‌شود. بدین صورت یک سری زمانی می‌تواند به یک سری کلیات و چند سری جزئیات تبدیل گردد.

مدل پژوهش یعنی معامله زوجی بر پایه تبدیل موجک، خاصیت همجمعی را برای سری‌های حاصل از تجزیه به کمک تجزیه موجک به کار می‌برد. بر این اساس، ابتدا دو سری زمانی قیمت در یک جفت دارایی به کمک تجزیه موجک مورد تجزیه قرار می‌گیرند تا سری‌های کلیات و جزئیات مورد محاسبه گردد. سپس رابطه همجمعی بین سری‌های که در یک سطح از تجزیه قرار دارند، مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه در صورتی که دو سری (x_t, y_t) نشان دهنده سری قیمت دو دارایی در یک جفت باشد و تجزیه موجک آن‌ها را به صورت

$$x_t = a_{1t}^x + d_{1t}^x + d_{2t}^x + ... + d_{nt}^x \qquad (۶)$$
$$y_t = a_{1t}^y + d_{1t}^y + d_{2t}^y + ... + d_{nt}^y$$

تجزیه کند که a_{1t}^x سری کلیات و d_{1t}^x سری جزئیات سطح i ام می‌باشد، آنگاه خاصیت همجمعی در زوج‌های

$$(a_{1t}^x, a_{1t}^y), (d_{1t}^x, d_{1t}^y), (d_{2t}^x, d_{2t}^y), ..., (d_{nt}^x, d_{nt}^y) \qquad (۷)$$

نیز بررسی می‌شود و در صورت تایید خاصیت همجمعی، سیستم معامله زوجی بر روی آن‌ها و به کمک داده‌های تاریخی مورد پیاده سازی قرار می‌گیرد تا عملکرد آن‌ها در معیارهای همچون میانگین بازده، ریسک و نسبت شارپ مشخص گردد. در بخش بعد به پیاده سازی عملی مدل پژوهش اقدام می‌گردد.

یافته‌های تحقیق

در این بخش در ابتدا به توصیف آماری داده‌های پژوهش پرداخته می‌شود. داده‌های پژوهش شامل ۲۴۳۱ بازده روزانه از ۱۴ صنعت یا شاخص از بورس اوراق بهادار تهران در بازه ۱۳۹۱ تا ۱۴۰۰ می‌باشد. توصیف آماری این داده‌ها در جدول۱ ارائه شده است.

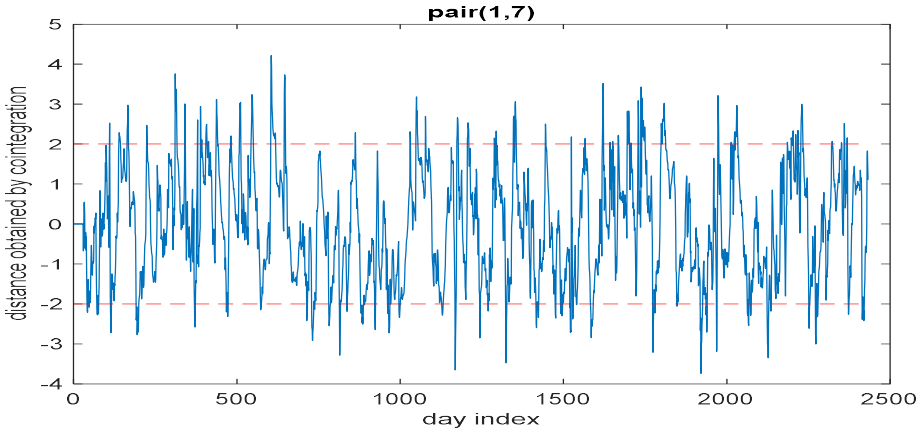
جدول۱- توصیف آماری بازده‌های روزانه دارایی‌های پژوهش

شاخص آماری صنعت	میانگین	میانه	بیشینه	کمینه	انحراف معیار استاندارد	نسبت شارپ	مقدار احتمال آماره جارک برا
۱-کانی فلزی	۰,۰۰۱۹۱۴	-۰,۰۰۰۲۵	۰,۲۰۴	-۰,۱۲۲	۰,۰۵۱	۰,۰۳۸	۰
۲-سیمان	۰,۰۰۱۷۳۹	-۰,۰۰۰۴۶	۰,۱۸۳	-۰,۱۳۱	۰,۰۴۲	۰,۰۴۱	۰
۳-کاشی	۰,۰۰۲۰۹۳	۰	۰,۳۴۴	-۰,۱۶۱	۰,۰۴۹	۰,۰۴۲	۰
۴-خودرو	۰,۰۰۱۶۰۱	۰	۰,۲۴۵	-۰,۱۵۲	۰,۰۶۵	۰,۰۲۵	۰
۵-شیمیایی	۰,۰۰۱۹۱	۰,۰۰۰۱۱۱	۰,۲۷۵	-۰,۱۱۷	۰,۰۴۱	۰,۰۴۶	۰
۶-فنی	۰,۰۰۱۶۹۹	۰	۰,۲۵۲	-۰,۱۷۳	۰,۰۶۶	۰,۰۲۵	۰
۷-فلزات اساسی	۰,۰۰۱۸۹۱	۰,۰۰۱۱۱	۰,۲۳	-۰,۱۵۵	۰,۰۴۷	۰,۰۴۰	۰
۸-دارو	۰,۰۰۱۹۰۱	۰	۰,۱۸۸	-۰,۱۴۵	۰,۰۴۱	۰,۰۴۶	۰
۹-غذا	۰,۰۰۱۹۲۴	۰	۰,۲۷۸	-۰,۱۲۷	۰,۰۴۵	۰,۰۴۲	۰
۱۰-قند	۰,۰۰۱۹۲۴	۰	۰,۲۷۸	-۰,۱۲۷	۰,۰۴۵	۰,۰۴۲	۰
۱۱-ماشین آلات	۰,۰۰۱۹۸۵	۰۰۰۴۳۹.۰	۰,۲۲۱	-۰,۱۲۹	۰,۰۴۳	۰,۰۴۶	۰
۱۲-ف نفتی	۰,۰۰۱۷۱۶	۰,۰۰۰۲۰۲	۰,۲۱۸	-۰,۱۰۸	۰,۰۴	۰,۰۴۲	۰
۱۳-سرمایه‌گذاری	۰,۰۰۱۴۳۲	-۰,۰۰۰۲۱	۰,۲۶۱	-۰,۱۲۳	۰,۰۴۶	۰,۰۳۱	۰
۱۴-بانک	۰,۰۰۱۹۳	۰	۰,۲۵۶	-۰,۱۸	۰,۰۴۶	۰,۰۴۱	۰

همان‌طور که در جدول آمار توصیفی دیده می‌شود، در بازه پژوهش میانگین بازده روزانه شاخص‌ها در بازه ۰,۰۰۱۴ تا ۰,۰۰۲ قرارد دارد. در مالی، انحراف معیار استاندارد یکی از ابزارهای سنجش ریسک می‌باشد که پراکندگی داده‌ها را حول میانگین نشان می‌دهد. به عنوان نمونه صنعت دارو دارای متوسط بازده روزانه ۰,۰۰۱۹ و ریسک ۰,۰۴۱ می‌باشد. نسبت شارپ نیز از تقسیم بازده به ریسک حاصل می‌شود و نشان می‌دهد که در واحد ریسک، چه میزان بازده‌ای حاصل می‌شود که این مقدار در بازه ۰,۰۲ تا

۰,۰۵ مقدار گرفته است. مقدار احتمال متناظر با آماره جارک برا نشان می‌دهد که توزیع بازده روزانه در سطح اطمینان ۰,۰۹۵، از توزیع نرمال پیروی نمی‌کند.

در رویکرد سیستم معامله زوجی همجمعی ابتدا با استفاده از آزمون انگل-گرانچر به بررسی وجود خاصیت همجمعی در ترکیبات زوج‌های مختلف از ۱۴ صنعت پرداخته شد و مقدار این آزمون در سطح اطمینان ۰,۹۵ ارزیابی گردید بر اساس نتایج حاصل شده تعداد ۲۸ زوج سهام دارای خاصیت همجمعی هستند. به عنوان نمونه زوج (۷و۱) دارای همجمعی می‌باشد که نمودار باقی مانده‌های نرمال شده آن‌ها در نمودار ۱ ارائه شده است.



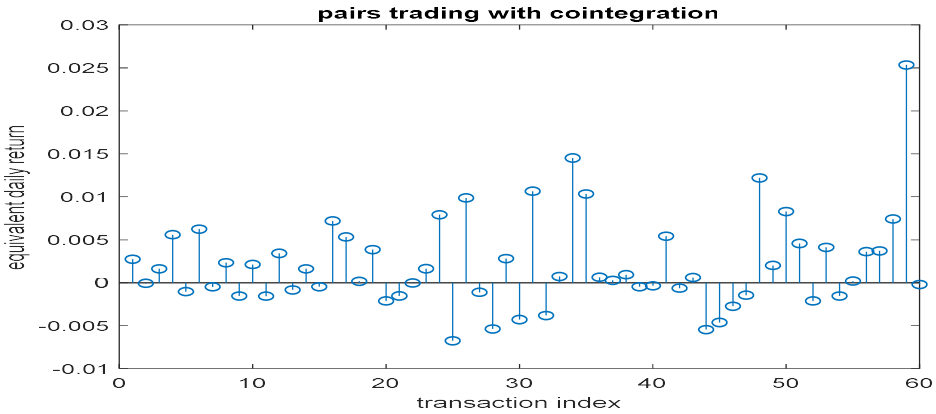
نمودار۱- باقی مانده‌های نرمال شده همجمعی برای زوج (۱و۷)

در پژوهش حاضر آستانه‌های خرید برابر دو عدد ۲ و منفی ۲ اخذ شده است. بنابراین با رسیدن سری تفاضل بازده‌های نرمال شده به این دو عدد، دارایی با قیمت کمتر خریداری می‌شود. در نمودار ۱ آستانه‌های خرید و فروش با خط قرمز رنگ مشخص شده است. با بررسی استراتژی معامله زوجی بر پایه همجمعی بر روی داده‌ها، ۶۰ موقعیت معاملاتی محاسبه گردید که هر کدام دارای یک بازده، مدت زمان معامله و معادل بازده روزانه هستند که در جدول۲ ارائه شده است. با توجه به اینکه مدت زمان موقعیت‌های معاملاتی کشف شده متفاوت می باشد، معادل بازده روزانه، بازده حاصل شده را در واحد یک روز اندازه‌گیری می‌کند.

جدول۲- توصیف آماری موقعیت‌های معاملاتی سیستم زوجی همجمعی

عملکرد شاخص آماری	بازده موقعیت	معادل بازده روزانه	مدت زمان(روز)
میانگین	۰,۰۳۲۵۷۳	۰,۰۰۲۱۵۸	۲۴,۴۶۶۶۷
میانه	۰,۰۱۳۱۷۵	۰,۰۰۰۶۸۴	۲۲,۰۰۰۰۰
بیشینه	۰,۴۷۹۸۰۳	۰,۰۲۵۳۴۲	۷۲,۰۰۰۰۰
کمینه	-۰,۲۲۷۰۳۶	-۰,۰۰۶۷۵۴	۳,۰۰۰۰۰۰
انحراف معیار	۰,۱۱۶۳۴۸	۰,۰۰۵۴۱۲	۱۵,۸۶۲۱۹
چولگی	۱,۲۴۴۷۸۵	۱,۵۸۸۹۸۱	۱,۰۸۶۱۵۱
کشیدگی	۵,۹۹۲۲۲۴	۷,۲۵۳۹۵۵	۳,۸۷۴۵۲۸
آماره جارک برا	۰,۱۲۹۵۰۸	۳۷,۸۷۸۴۱	۱۳,۷۰۹۲۳
مقدار احتمال	۰,۰۰۱۷۲۸	۰.۰۰۰۰۰۰	۰,۰۰۱۰۵۵

نمودار بازده روزانه حاصل شده از ۶۰ موقعیت در نمودار ۲ ارائه شده است.



نمودار۲- معادل بازده روزانه موقعیت‌های معاملاتی زوجی همجمعی

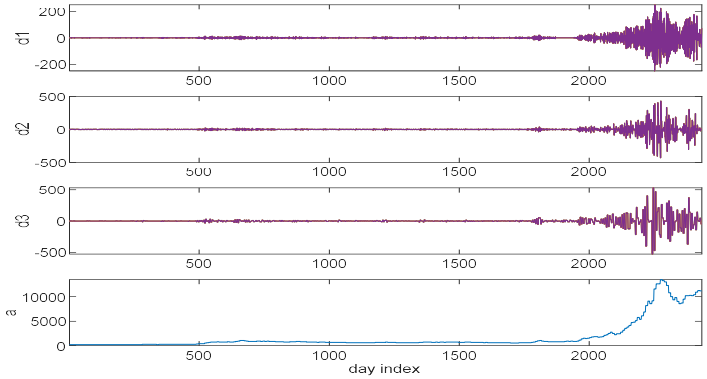
عملکرد سودآوری سیستم معاملاتی زوجی بر پایه همجمعی بر اساس موقعیت‌های کشف شده در جدول ۳ ارائه شده‌است.

جدول۳- عملکرد سودآوری سیستم معاملاتی زوجی بر پایه همجمعی

معیار عملکرد	مقدار
تعداد معامله	۶۰
میانگین بازده روزانه	۰,۰۰۲۱۵۸
انحراف معیار	۰,۰۰۵۴۱۲
نسبت شارپ	۰,۳۹۸۸۳۲
متوسط مدت معامله	۲۴,۴۶۶۶۷
ارزش در معرض ریسک(۰,۹۵)	۰,۰۰۴۹۹۷

بر اساس اطلاعات جدول ۳ این سیستم معاملاتی به صورت متوسط، بازده روزانه‌ای برابر ۰,۰۰۲۱۵۸ تولیدمی‌کند که برای رسیدن به آن بایدمتحمل‌ریسکی (انحراف معیار) برابر ۰,۰۰۵۴گردید. نسبت شارپ برای‌سیستم معاملاتی اخیر برابر ۰,۳۹۸۸۳۲ می‌باشد و ارزش درمعرض‌ریسک نشان‌می‌دهد که در سطح اطمینان، میزان ضرر از ۰,۰۰۴۹۹۷ تجاوز نمی‌کند (با در نظر گرفتن سرمایه اولیه‌ای برابر یک واحد).

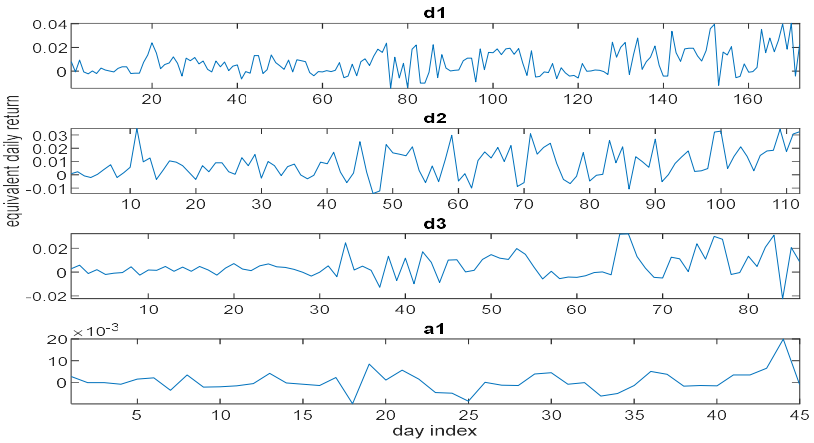
پس از بررسی رویکرد همجمعی به معامله زوجی بر پایه تجزیه موجک پرداخته می‌شود. به کمک تجزیه موجک، سری‌های ۱۴ گانه هر کدام به صورت یک سری کلیات (a_1) و سه سری جزئیات (d_1, d_2, d_3) تجزیه گردید. به عنوان نمونه تجزیه مرتبط با شاخص دوم در نمودار ۳ ارائه شده است.



نمودار ۳- تجزیه موجک برای شاخص دوم در سه سطح جزئیات و یک سطح کلیات

برای تمام زوج ها، تجزیه موج در سه سطح جزئیات و یک سطح کلیات صورت گرفت و در هر زوج، خاصیت همجمعی برای ۴ سطح متناظر بررسی گردید و در صورت تأیید خاصیت همجمعی، موقعیت‌های

معاملاتی حاصل شده مورد محاسبه قرار گرفت. نمودار بازده روزانه تمام موقعیت حاصل شده در نمودار ۴ ارائه شده است.



نمودار۴- معادل بازده روزانه موقعیت‌های معاملاتی زوجی بر پایه تجزیه موجک

توصیف آماری سیستم معاملاتی زوجی بر پایه تجزیه موجک بر اساس معادل بازده روزانه موقعیت‌های کشف شده در جدول۴ ارائه شده است.

جدول ۴- عملکرد آماری سیستم معاملاتی زوجی بر پایه تجزیه موجک

سطح تجزیه	d۱	d۲	d۳	a۱
شاخص آماری	جزئیات سطح ۱	جزئیات سطح۲	جزئیات سطح۳	کلیات
میانگین	۰,۰۰۷۱۰۷	۰,۰۰۸۵۰۴	۰,۰۰۵۲۴۲	۰,۰۰۰۵۰۰
میانه	۰,۰۰۵۸۳۰	۰,۰۰۷۲۹۴	۰,۰۰۳۰۵۳	-۰,۰۰۰۱۸۴
بیشینه	۰,۰۴۰۳۵۵	۰,۰۳۴۸۹۶	۰,۰۳۲۲۸۴	۰,۰۱۹۹۱۴
کمینه	-۰,۰۱۴۴۸۶	-۰,۰۱۴۰۵۶	-۰,۰۲۲۴۰۳	-۰,۰۰۹۷۸۸
انحراف معیار	۰,۰۱۰۷۸۴	۰,۰۱۱۱۴۷	۰,۰۱۰۱۸۶	۰,۰۰۴۷۸۱
چولگی	۰,۷۶۷۶۴۶	۰,۴۵۵۰۲۷	۰,۷۳۷۷۷۷	۱,۲۳۱۲۰۶
کشیدگی	۳,۴۹۶۴۷۴	۲,۶۶۸۹۲۶	۳,۸۸۸۳۲۷	۷,۶۸۰۰۰۲
آماره جارک برا	۱۸,۶۵۹۱۸	۴,۳۷۶۴۴۰	۱۰,۶۲۹۵۴	۵۲,۴۳۶۰۴
مقدار احتمال	۰,۰۰۰۰۸۹	۰,۱۱۲۱۱۶	۰,۰۰۴۹۱۸	۰,۰۰۰۰۰۰

عملکرد سودآوری سیستم معاملاتی زوجی بر پایه تجزیه موجک بر اساس معادل بازده روزانه موقعیت‌های کشف شده در جدول ۵ ارائه شده است.

جدول ۵- عملکرد سودآوری سیستم معاملاتی زوجی بر پایه تجزیه موجک

سطح تجزیه	d۱	d۲	d۳	a۱
معیار سودآوری	جزئیات سطح ۱	جزئیات سطح۲	جزئیات سطح۳	کلیات
تعداد معامله	۱۷۲	۱۱۲	۸۶	۴۵
میانگین بازده روزانه	۰,۰۰۷۱۰۷	۰,۰۰۸۵۰۴	۰,۰۰۵۲۴۲	۰,۰۰۰۵
انحراف معیار	۰,۰۱۰۷۸۴	۰,۰۱۱۱۴۷	۰,۰۱۰۱۸۶	۰,۰۰۴۷۸۱
نسبت شارپ	۰,۶۵۹۰۰۱	۰,۷۶۲۸۵	۰,۵۱۴۶۳۸	۰,۱۰۴۶۷۷
متوسط مدت معامله	۲,۱۷۴۴۱۹	۳,۳۱۲۵	۵,۹۱۸۶۰۵	۳۷,۶۸۸۸۹
ارزش در معرض ریسک (۰,۹۵)	۰,۰۰۵۹۵۵	۰,۰۰۶۴۷۲	۰,۰۰۷۴۶۷	۰,۰۰۶۷۴

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول۵ و در مقایسه با جدول ۳، معامله زوجی بر مبنای سطح اول جزئیات در مقایسه با همجمعی معمولی دارای حدوداً سه برابر موقعیت‌های معاملاتی بیشتر می‌باشد و متوسط زمان یک معامله به حدود یک دوازدهم کاهش یافته است. متوسط بازده روزانه رشد سه برابری و نسبت شارپ نیز رشد ۱,۶۵ برابری را نشان می‌دهد. ارزش در معرض ریسک نیز به عنوان یک معیار سنجش ریسک نامطلوب رشد ۱,۲ برابری را نشان می‌دهد. معامله زوجی بر مبنای سطح دوم جزئیات در مقایسه با همجمعی معمولی دارای حدوداً سه برابر تعداد موقعیت‌های معاملاتی بیشتر می‌باشد و متوسط زمان یک معامله به حدود یک هشتم کاهش یافته است. متوسط بازده روزانه رشد چهار برابری را نشان می‌دهد و نسبت شارپ نیز رشد دو برابری را نشان می‌دهد. ارزش در معرض ریسک نیز رشد ۱,۳ برابری را نشان می‌دهد. معامله زوجی بر مبنای سطح سوم جزئیات در مقایسه با همجمعی معمولی دارای تعداد موقعیت‌های معاملاتی حدوداً یک و نیم برابری می‌باشد اما متوسط زمان یک معامله به حدود یک چهارم کاهش یافته است. متوسط بازده روزانه رشد حدوداً دو و نیم برابری را نشان می‌دهد و نسبت شارپ نیز رشد ۱,۳ برابری را نشان می‌دهد. ریسک با معیار ارزش در معرض ریسک نیز رشد ۱,۵ برابری را نشان می‌دهد. معامله زوجی بر مبنای کلیات در مقایسه با همجمعی معمولی در تمام معیارها دارای عملکرد بدتری می‌باشد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

معامله زوجی یک از استراتژی‌های معاملاتی می‌باشد که با رویکردهای مختلفی چون فاصله، همجمعی، فیلتر کالمان، همجمعی جزیی و رویکردهای فرکتالی قابل پیاده سازی می باشد. در پژوهش حاضر رویکرد همجمعی در کنار تجزیه موجک مورد استفاده قرار گرفت. ایده اصلی در پژوهش حاضر

بررسی خاصیت همجمعی در یک زوج دارایی در سطوح مختلف حاصل از تجزیه سیگنال قیمت بر اساس تجزیه موجک می‌باشد. بدین صورت انتظار می‌رود تا در فرکانس‌های بالاتر، تعداد موقعیت های معاملاتی افزایش و مدت زمان هر موقعیت نیز کاهش یابد. نتایج پژوهش مؤید این مطلب می‌باشد و در سطح اول و دوم و تا حدودی سطح سوم تجزیه، افزایش موقعیت‌های معاملاتی و کاهش زمان هر معامله دیده می‌شود. در سطح اول و دوم تجزیه تعداد موقعیت‌های معاملاتی حدوداً دو برابر شده است. متوسط زمان یک معامله زوجی نیز به صورت چشمگیری در سطوح اول تا سوم کاهش یافته است و به یک ششم زمان لازم برای معامله در همجمعی معمولی(بدون تجزیه) کاهش یافته است. غالباً رابطه ریسک و بازده در بازارهای مالی به صورت هم جهت می‌باشد و با افزایش ریسک، بازده نیز افزایش می‌یابد. رشد بازده در سطوح اول، دوم و سوم تجزیه به ترتیب در حدود سه، چهار و دو و نیم برابری است که می‌تواند برای سرمایه‌گذاران ریسک طلب از جذابیت بالایی برخوردار باشد. برای سرمایه گذاران ریسک گریز اما ریسک به اندازه برای دریافت بازده از اهمیت بالایی برخوردار است و از این رو معیار بازده تعدیل شده با ریسک یا همان نسبت شارپ از اهمیت بسزایی برخودار است. رشد نسبت شارپ در سطوح اول و دوم نیز به ترتیب با مقادیر ۱,۶۵ و دو برابری چشمگیر می‌باشد و می‌تواند سرمایه گذاران ریسک گریز را مجاب به استفاده از این سیستم معاملاتی بکند. در سطح کلیات تجزیه که متناظر با رفتارهای بلند مدت می‌باشد، معیارهای عملکرد نسبت به همجمعی معمولی بدتر می‌باشد. مقایسه جدول ۵ و جدول آمار توصیفی نیز نشان می‌دهد که عملکرد سیستم زوجی پژوهش نسبت به رویکرد خرید و نگهداری (انتخاب یک روز تصادفی و انجام عملیات خرید و فروش) در معیارهای میانگین بازده روزانه و نسبت شارپ، برتری کاملاً بالایی دارد. بر اساس نتایج حاصل شده به سرمایه گذاران توصیه می‌شود تا با تجزیه سیگنال بر تبدیل موجک، رفتار همجمعی زوج دارایی در سطوح مختلف تجزیه را مورد بررسی قرار دهند و سپس متناسب با قدرت ریسک پذیری خود از سطح نجزیه مناسب برای تشکیل سیستم معاملاتی زوجی استفاده کنند.

محدودیت‌های تحقیق

محدودیت اصلی تحقیق عدم امکان فروش استقراضی در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد. از این رو در پیاده سازی سیستم معامله زوجی تنها عملیات خرید دارایی با قیمت کمتر در هنگام تشکیل سیگنال معاملاتی توسط رویکرد معامله زوجی صورت می‌گیرد.

منابع

۱) براهیمی پور، محمد مهدی، داودی (۱۴۰۰) بررسی سود آوری استراتژی معامله زوجی بر پایه سیستم حالت-فضای خطی و فیلتر کالمن در بورس اوراق بهادار، دانش سرمایه‌گذاری، ۱۰، ۳۷، ۷۵-۵۷.

۲) دستوری، مجتبی، فلاح‌پور، تهرانی، مهرگان (۱۳۹۷) الگوریتم معاملات زوجی پربسامد با استفاده از کنترل کیفیت آماری فازی، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۹، ۳۷، ۲۳-۴۱.

۳) طادی، مسعود؛ آبکار، مطهری نیا، (۱۳۹۷) ارزیابی استراتژی معاملات زوجی با رویکرد فاصله‌ای در بورس اوراق بهادار تهران، دانش سرمایه‌گذاری، ۷، ۲۶، ۹۹-۱۱۲.

۴) فلاح‌پور، سعید، حکیمیان، (۱۳۹۹) بهینه‌سازی استراتژی معاملات زوجی با استفاده از روش یادگیری تقویتی، با به‌کارگیری دیتاهای درون‌روزی در بورس اوراق بهادار تهران، تحقیقات مالی، ۲۱، ۱، ۱۹-۳۴.

۵) فلاح‌پور، سعید، حکیمیان، (۱۳۹۶) بررسی عملکردسیستم معاملات زوجی در بورس‌اوراق‌بهادار تهران: رویکرد هم انباشتگی و بررسی نسبت سورتینو، مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادر،۸، ۳۰، ۱۷-۱.

6) Bello, Rasheed Adegbola (2021) Risk-Return in the Stock Market: A Wavelet Approach. Journal of Mathematical Finance, 11, 651-669.

7) Clegg, Matthew, Krauss (2018) Pairs trading with partial cointegration. Quantitative Finance, 18, 1, 121-138.

8) Dai, Zhifeng, Zhu (2020) Forecasting stock market returns by combining sum-of-the-parts and ensemble empirical mode decomposition, Applied Economics, 52, 21, 2309-2323.

9) De Moura, Carlos Eduardo, Pizzinga, Zubelli (2016) A pairs trading strategy based on linear state space models and the Kalman filter. Quantitative Finance, 16, 10, 1559-1573.

10) Du, Bairui, Fernandez-Reyes, Barucca (2020) Image processing tools for financial time series classification. arXiv preprint arXiv:2008.06042.

11) Elliott, Robert J, Bradrania (2018) Estimating a regime switching pairs trading model. Quantitative Finance, 18, 5, 877-883.

12) Han, Chulwoo, He, Toh (2021) Pairs Trading via Unsupervised Learning. Available at SSRN 3835692.

13) Liu, Wuwei, Yan (2021) Financial Time Series Image Algorithm Based on Wavelet Analysis and Data Fusion. Journal of Sensors, 2021.

14) Lu, Jing-You, Lai, Shih, Chen, Huang, Chang, Wang, Huang, Dai (2021) Structural break-aware pairs trading strategy using deep reinforcement learning. The Journal of Supercomputing, 1-40.

15) Peng, Lifang, Chen, Li (2021) Predicting Stock Movements: Using Multiresolution Wavelet Reconstruction and Deep Learning in Neural Networks. Information, 12, 10,388.

16) Ramos-Requena, José Pedro, López-García, Sánchez-Granero, Trinidad-Segovia (2021) A Cooperative Dynamic Approach to Pairs Trading. Complexity, 2021.

17) Ramos-Requena, José Pedro, Trinidad-Segovia, Sánchez-Granero (2020) Some Notes on the Formation of a Pair in Pairs Trading, Mathematics, 8, 3,1-17.

18) Stübinger, Johannes, Bredthauer (2017) Statistical Arbitrage Pairs Trading with High-frequency Data, International Journal of Economics and Financial, 7, 4, 650-662.

19) Tripathy, Naliniprava, Jaipuria (2020) Forecasting stock market using discrete wavelet transforms and artificial neural networks model. The Empirical Economics Letters, 19, 11, 1263-1277.

یادداشت‌ها

1 Pairs trading
2 Clegg and Krauss
3 Cointegration
4 Ramos-Requena et al.
5 Elliott .R& Bradrania
6 Copula
7 Kalman filter
8 Ramos-Requena et al.
9 Lu et al.
10 Han et al.
11 Requena et al.
12 Clegg and Krauss
13 Elliott .R& Bradrania
14 Stübinger.J, Bredthauer
15 Moura et al.
16 frequency
17 Liu, & Yan
18 Fourier analysis
19 wavelet
20 Tripathy and Jaipuria
21 Wavelet
22 Naliniprava, T & Sanjita
23 Haar
24 Peng et al.
25 Multi-resolution analysis
26 Tripathy and Jaipuria
27 Bello
28 liu, & YanJ
29 Du et al.
30 Engle-Granger

Pairs trading based on wavelet decomposition

Bahareh Zarintaj[1]
Saeed Aghasi[2]
Forozan Baktash[3]

Receipt: 09/11/2022 Acceptance: 28/01/2023

Abstract

In the current research,wavelet analysis is used to analyze the time series of prices in a pair of assets into general and detailed time series, and the property of collocation between different and corresponding levels of analysis of two series is checked in order to find collinear pairs at different levels of analysis. And then its profitability is examined. In this research, the profitability of the pair trading system based on wavelet analysis was investigated on 14 indices of the Tehran Stock Exchange betwee 2013-2022. The results show that for the second level of detail in the wavelet analysis, the results are quite impressive and the number of trading positions is more than doubled, the daily return is increased to four times and the Sharpe ratio is also increased to about two times. The system formed based on the first level of detail also has a better profitable performance than the normal aggregation, and the performance of the third level of detail is within the limits of aggregation. In addition, the average duration of the transaction also shows a significant decrease in the first and second levels. Profitability performance at the level of general series is generally weaker than the aggregate.

Keywords

Statistical arbitrage, Pairs trading, Wavelet decomposition, Sharpe ratio.

1-Department of Management, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. bahar.zarintaj62@gmail.com
2-Department of Management , Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. (Corresponding Author) saeedaghasi@dehaghan.ac.ir
3-Department of Economy, Dehaghan Branch, Islamic Azad University, Dehaghan, Iran. F.baktash@gmail.com