نشریـه علمـی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار
دوره ۱۶ / شماره ۱ (پیاپی ۵۷) / بهار ۱۴۰۲
صفحه ۱۱۱ تا ۱۲۴

بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی برای معاملات جفتی چند متغیره در بورس اوراق بهادار تهران: رویکرد هم‌انباشتگی

حسین نیکو[۱]
جمال برزگری خانقاه*[۲]
حمید رضا میرزایی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

چکیده

استراتژی معاملات جفتی یکی از قدیمی‌ترین و رایج‌ترین استراتژی‌های آربیتراژ آماری محسوب می‌شود. تشکیل جفت یک مرحله مهم در معاملات جفتی است که فقط به روش دستی مورد بررسی قرار گرفته است و این روش در حالت چند متغیره شکست خورده و اهداف متناقض را در ساختار مسئله در نظر نمی‌گیرد. مسئله اصلی پژوهش حاضر ارائه روشی است که ترکیب‌های جفتی چند متغیره را با در نظر گرفتن اهداف متناقض چندگانه و تمرکز بر رویکرد هم‌انباشتگی ایجاد کند. لذا ترکیبی از سهام در دو هدف متضاد ریسک (بازگشت به میانگین) و بازده (واریانس اسپرد) بهینه می‌شوند تا مجموعه‌ای از فرصت‌های معاملات جفتی چند متغیره سودآور را تشکیل دهند. جامعه آماری، شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران هستند. نمونه آماری به‌واسطه نیاز به معاملات پربسامد از ۵۰ شرکت برتر محدود شده است. مسئله در قالب یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط (*MIP*) تدوین، و به‌دلیل محدودیت‌های غیرمحدب و فضای حل نمایی از الگوریتم ژنتیک چندهدفه برای به‌دست آوردن ترکیب‌های جفتی استفاده شده است. برای دستیابی به اهداف چندگانه، از نوع توسعه‌یافته الگوریتم ژنتیک؛ الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب آشوبناک (*CNSGA-II*) استفاده گردید. برای به‌دست آوردن راه‌حل‌های مناسب و با دقت بالا، از تئوری آشوب در ایجاد جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. تحقیقات نشان داده که استفاده از نظریه آشوب می‌تواند میزان همگرایی را در الگوریتم‌های تکاملی افزایش دهد. نتایج آزمایش‌های این پژوهش نشان می‌دهد که استراتژی‌های معاملات جفتی چند هدفه با تمرکز بر رویکرد هم‌انباشتگی نسبت به مدل تک هدفه سنتی از برتری معناداری برخوردار است.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی چند هدفه، معاملات جفتی، الگوریتم ژنتیک، رویکرد هم‌انباشتگی

۱ دانشجوی دکتری مدیریت مالی، گروه حسابداری و مالی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. h.nikoo@stu.yazd.ac.ir

۲ دانشیار، گروه حسابداری و مالی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران. (نویسنده مسئول) barzegari@yazd.ac.ir

۳ استادیار، گروه حسابداری و مالی، دانشکده اقتصاد، مدیریت و حسابداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.hmirzaei@yazd.ac.ir

۱-مقدمه

معاملات الگوریتمی طیف وسیعی از استراتژی‌های معاملاتی را در بر می‌گیرد که برخی از آن‌ها معروف و با کاربرد بالا هستند. یک دسته خاص از معاملات الگوریتمی دربردارنده استراتژی‌هایی همچون آربیتراژ آماری می‌باشد که تصمیمات معاملاتی را بر مبنای انحراف از روابط تاریخی می‌گیرد. رایج‌ترین رهیافت مربوط به خانواده آربیتراژ آماری، یک استراتژی، به نام معاملات جفتی است. استراتژی معاملات جفتی شامل دو مسئله تصمیم‌گیری اصلی است: تشکیل جفت *(PF)* و معاملات جفتی *(PT)*. روش‌های موجود برای انتخاب جفت‌ها بستگی به شهود متخصص یا دستورالعمل‌های شمارشی فشرده تخمینی دارد. این امر نه‌تنها فرصت‌های معاملات را محدود به جفت‌های تک متغیره می‌کند، بلکه رویه‌های معمول انتخاب، اهداف متناقض را نمی‌توانند به‌درستی در نظر بگیرند. این مسئله به تئوری پرتفوی مارکویتز شباهت‌هایی دارد، که برای انتخاب سیستماتیک دارایی، یک تعادل بین اهداف متضاد ریسک و بازده را بهینه‌سازی می‌کند. تشکیل جفت‌ها از دارایی‌های متعدد تحت چندین هدف نمی‌تواند با استفاده از روش‌های موجود انجام شود (گلدکمپ و دهقانی محمدآبادی، ۲۰۱۹). مسئله اصلی این تحقیق ارائه روشی است که با در نظر گرفتن اهداف متناقض چندگانه ترکیب‌های جفتی چند متغیره را ایجاد کند. مسئله در قالب یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط *(MIP)* تدوین شده، و به‌دلیل محدودیت‌های غیرمحدب و فضای حل نمایی از الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب *(NSGA-II)* برای به‌دست آوردن ترکیب‌های جفتی استفاده می‌شود. همچنین برای دستیابی به اهداف چندگانه، از نوع توسعه‌یافته الگوریتم *NSGA-II*، یعنی الگوریتم ژنتیک آشوبناک چندهدفه *(CNSGA-II)* استفاده شده است. میزان همگرایی در الگوریتم ژنتیک آشوبناک بیشتر از الگوریتم ژنتیک ساده می‌باشد، بنابراین جمعیت اولیه افراد در الگوریتم ژنتیک چندهدفه بر اساس تئوری آشوب ایجاد گردید. به‌طور کلی هدف از انجام این پژوهش عبارت است از بررسی مدل تک هدفه در مقابل چندهدفه با تمرکز بر رویکرد هم‌انباشتگی، به منظور تعیین این‌که چگونه معیارهای تشکیل جفت بر سودآوری تأثیر می‌گذارد.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

در این بخش ابتدا مفاهیم پژوهش توضیح داده می‌شود و در ادامه به مهم‌ترین تحقیقات داخلی و خارجی مرتبط با این پژوهش پرداخته می‌شود.

۲-۱- آربیتراژ آماری:

طبق نظر شلیفر و ویشنی (۱۹۹۷) آربیتراژ خالص، یک استراتژی سرمایه‌گذاری است که نیازی به سرمایه ندارد و مستلزم ریسک بنیادی بلندمدت نیست و همیشه منجر به بازده مثبت می‌شود که بعید است در محیط معاملاتی واقعی رخ دهد، زیرا در اکثر موقعیت‌های دنیای واقعی آربیتراژگرها برای تنظیم معاملات خود به مقادیر قابل توجهی سرمایه نیاز دارند و با انواعی از ریسک روبرو هستند. به عبارت دیگر، موقعیت‌های آن‌ها فقط به طور میانگین سودآور است، نه با قطعیت. زمانی که این ریسک‌ها که معامله‌گر در تنظیم استراتژی سرمایه‌گذاری با آن مواجه است، از نظر آماری ارزیابی می‌شود، مناسب است از اصطلاح آربیتراژ آماری استفاده شود. آربیتراژ آماری یک استراتژی سرمایه‌گذاری بدون ریسک نیست (یعنی یک استراتژی آربیتراژ خالص نیست)، بلکه یک استراتژی سرمایه‌گذاری است که در آن ریسک‌ها با استفاده از ابزارهای آماری ارزیابی می‌شود. لازارینو و همکاران (۲۰۱۸) آربیتراژ آماری را به عنوان یک استراتژی ارزش نسبی با بازده مورد انتظار مثبت و زیان بالقوه نسبتاً کوچک تعریف می‌کند و این واقعیت را برجسته می‌کند که ریسک زیان‌های بالقوه جزء حیاتی این نوع استراتژی‌ها است که آنها را از استراتژی‌های آربیتراژ خالص متمایز می‌کند. ساده‌ترین استراتژی آربیتراژ آماری به اصطلاح معاملات جفتی آماری است.

۲-۲- معاملات جفتی:

در مرجع جامع معاملات جفتی، معاملات جفتی، یک استراتژی سرمایه‌گذاری ارزش نسبی است که در جستجوی شناسایی دو شرکت با مشخصات مشابه می‌باشد، به طوری که قیمت دارایی‌ها با یک روند قیمتی مشابه در جریان باشند. زمانی که یک ناهنجاری باعث ایجاد اختلال در این روند می‌شود، یک دارایی نسبت به ارزش متوسط تاریخی‌اش افزایش قیمت و دیگری کاهش قیمت پیدا می‌کند. این استراتژی سرمایه‌گذاری، شامل خرید دارایی است که کاهش قیمت پیدا کرده و فروش استقراضی دارایی خواهد بود که قیمت آن افزایش پیدا کرده است. این موقعیت تا زمان برطرف شدن این ناهنجاری حفظ خواهد شد. این استراتژی با خاصیت خنثی بودن نسبت به بازار اجرا می‌شود (ارمن، ۲۰۰۶).

۲-۲-۱- جفت:

ترکیبی از دو جزء که هر یک دارای سری‌های زمانی خاص خود می‌باشند.

- در مورد تک متغیره، هر جزء از یک سهام تشکیل شده است.
- در مورد چند متغیره، هر جزء دارای بیش از یک سهام است.
- جفت‌های شبه‌چند متغیره؛ یک جزء یک‌متغیره در برابر یک جزء چند متغیره دیگر دارند.

۲-۲-۲- اسپرد:

تفاوت قیمت بین اجزای خرید (L) و فروش (S) یک جفت را اسپرد گویند. قیمت‌های هر جزء صرفاً مجموع بردارهای قیمت نرمال‌شده تشکیل‌دهنده آن‌ها هستند. مطابق با رابطه (۱) اسپرد d_t در زمان t، تفاوت وزنیW قیمت‌های نرمال شده(A) بین مؤلفه‌های خرید (L) و فروش (S) است.

$$d_t = \left(\sum_{i\epsilon L} w_i A_{i,\mathrm{t}} - \sum_{j\epsilon S} w_j A_{j,t}\right) \quad t$$

$w_i A_{i,\mathrm{t}}$: قیمت نرمال شده موزون جزء i ام.

$w_j A_{j,t}$: قیمت نرمال شده موزون جزء j ام.

۲-۳- الگوریتم ژنتیک:

الگوریتم‌های ژنتیک از اصل "بقای شایسته‌ترین‌ها" برای یافتن راه حل‌هایی برای مسائل بهینه‌سازی استفاده می‌کنند (گلدبرگ، ۱۹۸۹). رویکرد الگوریتم ژنتیک (*GA*) یک تکنیک جستجوی مصنوعی است که فرآیندهای وراثت، انتخاب، تقاطع و جهش را از زیست‌شناسی وام می‌گیرد تا به طور مکرر راه‌حل‌های بهتر و بهتر را جستجو کند (لی و صباغی، ۲۰۲۰).

۲-۴- الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (*NSGA-II*):

الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی نامغلوب (*NSGA-II*) را می‌توان نوع توسعه یافته از الگوریتم ژنتیک (*GA*) با همان عملگرها (تقاطع و جهش) در نظر گرفت که می‌تواند مدل‌های ریاضی با چندین توابع هدف متناقض را مدیریت کند (ربانی و همکاران، ۲۰۲۲).

۲-۵- مانایی:

اگر در طول زمان تمام گشتاورهای یک سری ثابت، اکیدا مانا و اگر گشتاور مرتبه اول و دوم آن ثابت باشد مانای ضعیف می‌باشد.

۲-۶- هم‌انباشتگی:

در واقع ایده اصلی در تجزیه و تحلیل هم‌انباشتگی 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.

۲-۷- بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی:

روش‌های بهینه‌سازی چندهدفه در بسیاری از شاخه‌های علوم و مهندسی به کار گرفته می‌شوند و زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای رسیدن به تصمیمات بهینه در سیستم، نیاز است میان دو یا چند هدف متناقض موازنه، برقرار شود. بیشتر مسائل دنیای واقعی دارای اهداف متناقضی هستند که نیاز به سبک سنگین کردن تصمیمات دارند. به‌عنوان مثال، بهینه‌سازی پرتفوی ذاتاً یک مسئله چندهدفه با برقراری تعادل بین ریسک و بازده است. مهم‌ترین

ویژگی در چنین روش‌هایی این است که با به‌کارگیری مدل‌های بهینه سازی چندهدفه، بیش از یک جواب کاندید (یک جواب ممکن برای مسأله مورد نظر) در اختیار طراح قرار گرفته می‌شود؛ هر یک از این جواب‌ها، موازنه میان توابع هدف مختلف را نمایش خواهند داد.

۲-۸- رویکردهای مختلف استراتژی معاملات جفتی:

روش‌های کمی مختلفی برای توسعه و به‌کارگیری استراتژی معاملات زوجی در ادبیات مطرح شده است. این رویکردها شامل؛ رویکرد هم‌انباشتگی، رویکرد فاصله، رویکرد تصادفی و رویکرد پیش‌بینی‌های ترکیبی هستند، که در این پژوهش از رویکرد هم‌انباشتگی استفاده شده است. در سال ۲۰۰۲، این روش در استراتژی سرمایه‌گذاری خرید و فروش در بیش از دو سهام توسط الکساندر و دیمیتریو و نیز توسط گالنکوو همکارانش (۲۰۰۷)، استفاده گردید. در مباحث مالی، از تکنیک‌های هم‌انباشتگی برای شناسایی حرکت مشترک بین دارایی‌ها و شناسایی ویژگی بازگشت به میانگین اسپردهای قیمتی خاص استفاده می‌شود (یان و وانگ، ۲۰۲۱). به عبارتی دیگر، روش هم‌انباشتگی مفهوم بازگشت به میانگین را با چارچوب معاملات جفتی ترکیب نموده است، به این شکل که اگر ارزش پرتفوی حول ارزش تعادلی نوسان نماید، هرگونه انحرافی از این ارزش را می‌توان فرصتی برای معامله قلمداد کرد. از جمله مطالعاتی که در حوزه رویکرد هم‌انباشتگی صورت گرفته است می‌توان به لین و همکاران (۲۰۰۶)، ویدیامورثی (۲۰۰۴)، گیلسپی و آلپ (۲۰۰۱)، و هنگ و سوسمل (۲۰۰۳) اشاره نمود.

۲-۹- پیشینه پژوهش:

برونتی و دی‌لوکا (۲۰۲۲)، پژوهشی با عنوان حساسیت سودآوری در معاملات جفتی مبتنی بر هم‌انباشتگی انجام دادند. آنها نشان دادند که نه تنها معیارهای عملکرد (یعنی میانگین بازده مازاد، نسبت‌های شارپ و درصد بازده اضافی مثبت)، بلکه ویژگی‌های استراتژی و ویژگی‌های معاملات نیز به انتخاب پارامترها (طول دوره شکل‌گیری و سیگنال واگرایی) بسیار حساس هستند. ما و اسلپاکزوک (۲۰۲۲)، پژوهشی با عنوان سودآوری استراتژی‌های معاملات جفتی در بازار سهام هنگ کنگ: روش‌های فاصله، هم‌انباشتگی و همبستگی انجام دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که هر سه روش(استراتژی معاملات جفتی مبتنی بر همبستگی، استراتژی معاملات جفتی مبتنی بر هم‌انباشتگی و استراتژی معاملات جفتی مبتنی بر فاصله) در بازار سهام هنگ کنگ سودآور هستند و می‌توانند با توجه به معیارهای بازده تعدیل شده با ریسک، بازار را شکست دهند. تادی و کورچمسکی (۲۰۲۱)، به ارزیابی استراتژی معاملات جفتی مبتنی بر هم‌انباشتگی پویا در بازار ارزهای دیجیتال پرداختند. در این مطالعه از روش انگل-گرنجر، آزمون کاپتانیوس‌اسنل‌شین و آزمون جوهانسن به عنوان آزمون‌های هم‌انباشتگی در سناریوهای مختلف استفاده شده است. ناکاراتو و همکاران (۲۰۲۱)، به بهینه‌سازی سبد مارکوویتز از طریق استراتژی هم‌انباشتگی معاملات جفتی در سرمایه‌گذاری بلندمدت پرداختند. آنها استدلال می‌کنند، این استراتژی این امکان را می‌دهد که قیمت‌ها و بازده هر سهم بر اساس یک رابطه هم‌انباشتگی برآورد شده با استفاده از مدل تصحیح خطای برداری (*VECM*) شناسایی شود. ایساکسن (۲۰۱۹)، به بررسی هم‌انباشتگی و معاملات جفتی در ارزهای دیجیتال اصلی پرداخت. این پژوهش از تست‌های هم‌انباشتگی برای شناسایی جفت ارزهای دیجیتال استفاده می‌کند که می‌توانند در استراتژی معاملات جفتی استفاده شوند. گلدکمپ و دهقانی محمد آبادی (۲۰۱۹)، مدل بهینه‌سازی تکاملی چندهدفه را برای معاملات جفتی چند متغیره ارائه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد، استراتژی معاملات جفتی چندهدفه و چند متغیره در مقایسه با استراتژی معاملات جفتی تک هدفه و تک متغیره سنتی برتری دارد. مرادپور و دستوری (۱۴۰۰)، کاربرد معاملات الگوریتمی و پایداری در بازار رمزارز را مورد بررسی قرار دادند. داده‌های تحقیق آن‌ها به صورت روزانه بوده و از روش تجزیه و تحلیل *R/S* و هم‌انباشتگی کسری به‌منظور تجزیه و تحلیل استفاده

کرده‌اند. نتایج تحقیقشان نشان می‌دهد که این بازار از پایداری برخودار می‌باشد. استفاده از الگوریتم‌های معاملاتی مبتنی بر حافظه بازار و هم‌انباشتگی، پتانسیل ایجاد سود را دارد و توسعه مدل‌ها و الگوریتم‌ها قادر است به سرمایه‌گذاران در ایجاد بازده کمک کند و از سوی دیگر منجر به کارایی بازار در بلندمدت شود. دستوری و مرادپور (۱۴۰۰)، در پژوهشی به بهینه‌سازی الگوریتم معاملات زوجی پربسامد با استفاده از تلفیق الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی پرداختند. با توجه به نتایج پژوهش آنها مدل کنترل فرایند آماری فازی و الگوریتم ژنتیک درمقایسه با مدل‌های قبلی افزایش قابل توجهی در متوسط بازدهی داشته است. پاکیزه و حبیبی (۱۳۹۶)، در پژوهشی به مقایسه سودآوری استراتژی معاملات جفتی بین طبقات مختلف دارایی پرداختند. روش‌هایی که در این پژوهش بررسی شده است، شامل روش کمترین فاصله، روش آزمون دیکی‌فولر تعمیم‌یافته و آزمون علیت گرنجری و روش بر پایه رگرسیون خطی است. فلاح‌پور و حکیمیان (۱۳۹۶)، با محاسبه و بررسی بازده و نسبت سورنتو، عملکرد سیستم معاملات جفتی را با استفاده از رویکرد هم‌انباشتگی در بورس اوراق بهادار تهران مورد بررسی قرار دادند. بر مبنای مطالعات گسترده داخلی و خارجی این حوزه، مشاهده می‌شود به بازار سرمایه ایران به‌دلیل محرومیت از اعمال فروش استقراضی، چندان توجه نشده و تعداد معدودی از پژوهش‌های داخلی، معاملات جفتی را بررسی کرده‌اند؛ از این‌رو، می‌توان این پژوهش را نمونه‌ی کمتر کار شده‌ای در حوزه‌ی معاملات جفتی در بازار سرمایه‌ی ایران دانست. مطالعات خارجی نیز در حوزه تشکیل جفت تک متغیره و بهینه‌سازی پرتفو زیاد کار کرده‌اند، ضمن اینکه به هریک از این حوزه‌ها در مطالعات مستقل پرداخته‌اند. بنابراین در این پژوهش تلاش گردید روشی ارائه شود که ترکیب‌های جفتی چند متغیره با در نظر گرفتن اهداف متناقض چندگانه را ایجاد کند و علاوه بر این دو مسئله تشکیل جفت و معاملات جفتی در یک چارچوب یکپارچه و در کنار هم مورد بررسی قرار گیرد.

۳- روش‌شناسی پژوهش

تحقیق حاضر به لحاظ هدف از نوع کاربردی و در حوزه تحقیقات توصیفی است. در خصوص داده‌های مورد استفاده، نوع داده‌ها تاریخی بوده و در پاسخ به سؤال تحقیق از آن استفاده می‌شود. از سوی دیگر تحقیق حاضر به لحاظ معرفت‌شناسی از نوع تجربه‌گرا و به لحاظ نوع مطالعه کتابخانه‌ای پس‌رویدادی است. جامعه آماری این تحقیق کلیه شرکت‌های پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران می‌باشد. شرکت‌های لیست شده در فهرست ۵۰ نماد برتر بورس اوراق بهادار تهران به عنوان نمونه انتخابی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

۳-۱- تعریف مسئله:

همانطور که گفتیم استراتژی معاملات جفتی شامل دو مسئله تصمیم‌گیری اصلی است: تشکیل جفت (PF) و معاملات جفتی (PT). ما مسئله PF را در زیر تعریف می‌کنیم.

مسئله *PF*: با توجه به مجموعه‌ای از nسهم، وزن‌ها را طوری به یک زیرمجموعه اختصاص می‌دهیم، که اسپرد بین جزء خرید و فروش حاصله، که هر یک از V سهم تشکیل شده است، سود بالقوه بالایی را نشان دهد.

۳-۱-۱- متغیرهای تصمیم‌گیری:

برای انتخاب یک مجموع از n سهم موجود، آن-هایی که متعلق به هر جزء خرید/فروش از یک جفت هستند توسط بردارهای بولی $X^c \in \mathbb{B}^{n\times 1}$ نشان داده می‌شود، که $S, L \in c$، و L جزء خرید و S جزء فروش را نشان می‌دهند. وزن‌های مربوطه که به هر سهم انتخابی در اجزای خرید یا فروش یک جفت اختصاص داده می‌شود، توسط بردارهای حقیقی مثبت $W^c = \mathbb{R}_+^{n\times 1}$ نشان می‌دهیم. بنابراین چهار بردار کلی از درجه n به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری وجود دارد.

۳-۱-۲- محدودیت‌ها:

اندازه برای هر جزء از یک جفت توسط محدودیت زیر کنترل می‌شود که در آن $\mathbf{1}$ بردا $1 \times n$ ر آن‌ها است. این تضمین می‌کند که تعداد سهام انتخاب شده، کران پایین ℓ و کران بالای u را برآورده می‌کند.

$$\ell \le X^{c\prime}\mathbf{1} \le u$$

برای جلوگیری از تعلق سهام به اجزای خرید و فروش، محدودیت زیر به هر $j \in 1 \dots n$ نیاز دارد. سهام انتخاب شده می‌تواند به جزء خرید یا فروش یک جفت تعلق داشته باشد، اما نمی‌تواند به هر دو متعلق باشد.

$$X_j^L + X_j^S \le 1 \forall_j \in$$

تمام وزن‌ها برای سهام در هر جزء بین $0 \le W_j^c \le 1$ متغیر است، در حالی که وزن آن دسته از سهام انتخاب نشده $W_j^c = 0$ در نظر گرفته می‌شوند. این امر با محدودیت زیر انجام می‌شود اگر دارایی برای جزء c انتخاب نشده باشد، $W_j^c = 0$ است. وزن بیشتر از یک می‌تواند موقعیت اهرمی را به‌وجود آورد که در این تحقیق در نظر نمی‌گیریم.

$$0 \le W^C \le X^C$$

آخرین محدودیت تضمین می‌کند که وزن مجموع سهام داخل هر جزء به یک برسد. با این‌کار، این محدودیت مقادیر مساوی از سرمایه را، به هر طرف جفت تخصیص می‌دهد. این محدودیت از مواردی جلوگیری می‌کند که، دو برابر سرمایه نسبت به طرف خرید یک جفت، به طرف فروش اختصاص داده شود.

$$X^{c\prime}\mathbf{1} = 1$$

مجموعه‌ای از اهداف به‌جای تجمیع آن‌ها در یک مقدار بهینه می‌شوند. بردار $f = [f_1, f_2, \dots, f_k]$ مجموعه‌ای از توابع اهداف چندگانه را برای حداقل شدن روی خصوصیات مسئله نشان می‌دهد.

۳-۱-۳- مدل تشکیل جفت(PF) چند هدفه عمومی:

رابطه (۲)، نمایش چندهدفه از مدل تشکیل جفت چند متغیره را نشان می‌دهد.

$$\begin{cases} f = [f_1, f_2, \dots, f_k] \\ \ell \le \mathrm{X}^{c\prime}\mathbf{1} \le u \\ \mathrm{X^L} + \mathrm{X^S} \le 1 \\ 0 \le \mathrm{W^c} \le \mathrm{X^c} \\ \mathrm{X}^{c\prime}\mathbf{1} = 1 \end{cases}$$

$$\mathrm{X^c} \in \mathbb{B}^{n\times 1}$$

$$\mathrm{W^c} \in \mathbb{R}_+^{n\times 1}$$

در این پژوهش اسپرد به منظور ساده‌سازی علامت‌گذاری در توابع هدف، به‌صورت بردار در رابطه (۳)، محاسبه می‌شود. $\mathrm{A} \in \mathbb{R}^{n\times m}$ را ماتریس قیمت نرمال شده برای n سهم در میان m مشاهده قیمت در نظر می‌گیریم و $d \in \mathbb{R}^{1\times m}$ بردار اسپرد حاصله برای دوره تشکیل جفت با طول m می‌باشد. بردار اسپرد d، همان‌طور که در معادله زیر نشان داده شده، حاصلضرب A برای دارایی‌های انتخاب شده $\mathrm{X^c}$ در تفاضل وزن مربوطه $\mathrm{W^c}$ است. این رابطه، همچنین مدل را ساده می‌کند زیرا هر دو جزء محدود به وزن‌های غیرمنفی هستند.

$$d = A'(W^L - W^S)$$

مجموع مربعات فواصل(SSD): معمولاً در رویکردهای موجود استفاده می‌شود مانند گتو و همکاران (۲۰۰۶) و صرفاً یک تخمین حداقل مربعات یا (نرم۲) بردار اسپرد است.

تعداد دفعات عبور از صفر (NZC): در بعضی از تکنیک‌ها، معیار اضافی برای تعداد دفعات عبور اسپرد از صفر (NZC) استفاده می‌شود، همان‌طور که در رابطه (۴)، نشان داده شده است.

$$NZC = \sum_{t=2}^{m} [sgn(d_t) \neq sgn(d$$

۳-۱-۴- مدل تک هدفه معیار(BS):

دو هدف NZC و SSD، بسیار همبستگی دارند، بنابراین این دو هدف ترکیب می‌شوند و مدل تک هدفه اصلی که در رابطه (۵)، ارائه شده، شکل می‌دهند (گلدکمپ و دهقانی محمدآبادی، ۲۰۱۹). ما از این مدل به‌عنوان مدل تک هدفه معیار استفاده می‌کنیم.

$$f_{BS} = [\| d \|_2 , -NZC$$

۳-۱-۵- مدل چند هدفه هم‌انباشتگی(CM):

دو سری زمانی در صورت وجود یک ترکیب خطی ثابت در بین آنها هم‌انباشته هستند. ترکیب خطی می‌تواند نمایانگر اسپرد جفت باشد، بنابراین داشتن یک نوسان اسپرد ایستا اطراف میانگین می‌تواند به‌طور طبیعی فرصت‌های معامله جذابی را فرآهم نماید. الگوریتم ژنتیک و رویکردهای آزاد از مشتق به‌طور کلی، می‌توانند آماره آزمون را از یک آزمون هم‌انباشتگی به حداقل برسانند، زیرا آنها به جای محاسبه شیب‌ها، آزمون را به سادگی ارزیابی می‌کنند. به همین دلیل، از آزمون آماری دیکی‌فولر تعمیم‌یافته برای ایستایی در مدل چند هدفه هم‌انباشتگی استفاده می‌شود که نوسان‌پذیری را حداکثر و آماره آزمون ایستایی را حداقل می‌کند، که در رابطه (۶) نشان داده شده است. آزمون آماری ADF جایگزین معیار NZC به عنوان ابزاری برای یافتن اسپردهای بازگشت به میانگین است. آماره t پایین‌تر، احتمال بالاتری از ایستا بودن را نشان می‌دهد. با استفاده از این مدل چند هدفه نیز جفت‌های بهینه را شناسایی می‌کنیم.

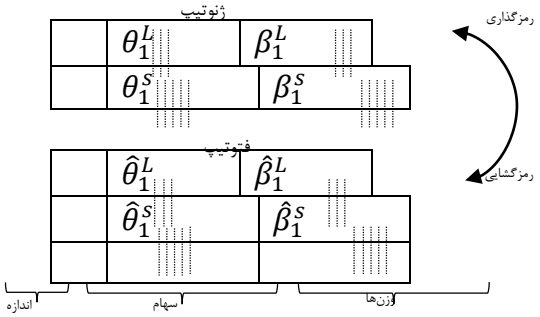
$$f_{CM} = [-\sigma_d\ , -ADF]$$

۳-۲- روش چندهدفه پیشنهادی:

GA یک روش مبتنی بر جمعیت است که به‌طور سودمندی متغیرهای گسسته و پیوسته را مدیریت می‌کند، بنابراین برای مسئله PF در مقایسه با سایر الگوریتم‌های فراابتکاری رایج، مناسب‌تر است. همچنین انعطاف‌پذیری بیشتری در طراحی محدودیت‌ها با GA و پتانسیل موازی‌سازی برای محاسبات در مقیاس بزرگ، همانطور که در دائو و همکاران (۲۰۱۷)، و سونمز و بتمیر (۲۰۱۲)، توضیح داده شد، وجود دارد. همانطور که در طاهر و اسمیت (۲۰۰۷)، اشاره شد، همچنین نشان داده شده است که GA به طور موثری مسائلی را که دارای فضاهای جستجوی نمایی و نویزی هستند، مانند مسئله PF کنترل می‌کند. ما مسئله PF را با تشکیل جمعیتی از جفت‌های کاندید با ویژگی‌های اسپرد سودآور از طریق استفاده از یک الگوریتم ژنتیک آشوبناک چندهدفه به‌نام *Chaotic-NSGA-II (CNSGA-II)* حل می‌کنیم. همانطور که در بخش‌های قبل نیز بیان گردید، به‌کارگیری نظریه آشوب در الگوریتم ژنتیک می‌تواند همگرایی را افزایش دهد. بنابراین در روش چندهدفه پیشنهادی نیز از این نظریه استفاده می‌شود.*CNSGA-II* با بهبود جمعیت متنوعی از کاندیدها، راه‌حل‌های پارتو را برمی‌گرداند، که به‌دلیل تنوع راه‌حل‌ها، به‌خوبی به معاملات جفتی کمک می‌کند. تصمیم‌گیرنده به‌جای تنها یک راه‌حل طیف وسیعی از فرصت‌های معاملاتی (راه‌حل) را برای انتخاب دارد.

۳-۲-۱- ارائه راه‌حل:

ساختارهای راه‌حل نقش مستقیمی در چشم‌انداز سازگاری و کنترل محدودیت‌ها دارند. شکل۱، نحوه ساخت هر راه‌حل جداگانه را نشان می‌دهد. اندازه‌های برداری شناور (یا لیست‌ها) به دلیل ماهیت پراکنده مسئله به کار گرفته می‌شوند. با این کار، مانع از این می‌شویم که وزن سهامی که در جفت موجود نیست توسط این الگوریتم تعیین شود.



شکل۱- ارائه راه‌حل

پارامترهای α، θ و β متغیرهای تصمیم با مقدار بین [۰،۱] هستند، که مقادیر آن‌ها از طریق عملیات تقاطع و جهش بهینه‌سازی می‌شود. این پارامتر α به $\hat{\alpha}$ ترجمه شده است که نشان‌دهنده عدد صحیح از اندازه هر جزء است، که همچنین اندازه‌های لیست را برای θ و β اعمال می‌کند. پارامتر θ، سهام انتخاب شده و β شامل وزن‌های مربوط به آن‌ها را نمایش می‌دهد. مشابه α، θ و β از طریق رمزگذاری به فرم‌های سنجش واقعی آن‌ها ترجمه می‌شوند. معادلات زیر نشان می‌دهد که چگونه ژنوتیپ‌های کاندید به فنوتیپ‌های خود ترجمه می‌شوند:

$$\hat{\alpha}^c = min[u, \ell + \lfloor \alpha^c \cdot (\mathbf{1} + u$$

$$\hat{\theta}^c = min[n, \lfloor \mathbf{1} + n\theta^c$$

$$\hat{\beta}^c = \frac{\beta^c}{|\beta^c|}$$

۳-۳- پایایی و روایی:

پایایی به این مفهوم اشاره دارد که اگر مطالعه توسط محقق دیگری انجام شده باشد، می‌توان با استفاده از روش و داده‌های مشابه، یافته‌های یکسان را نتیجه گرفت (جاستسن و میک مایر، ۲۰۱۰). به این ترتیب، پایایی نیز به شدت با شفافیت در ارتباط است. بنابراین، پایایی به درجه‌ای بستگی دارد که مطالعه فارغ از باورها، ارزش‌ها و نظرات شخصی محقق است و تا چه حد سوگیری‌ها و قضاوت شخصی به حداقل رسیده است. در اینجا، سوگیری به معنای "خطاهای سیستماتیک در جمع‌آوری یا تجزیه و تحلیل داده‌ها، ناشی از رویه‌های فنی نامناسب" است (پین و پین، ۲۰۰۴). بنابراین، برای مطالعات کمی، پایایی یک موضوع مهم است، زیرا این موارد به طور بالقوه می‌توانند بر یافته‌ها و دانشی که مطالعه در ارائه آن‌ها ادعا دارد، تأثیر بگذارد. در این پژوهش سعی کرده‌ایم تا حد ممکن در انتخاب‌ها، ملاحظات و استدلال‌های خود شفاف باشیم تا سایر محققین مطالعه ما را به نحو مفیدی درک و بررسی کنند. به این ترتیب سعی شده است تا حد امکان در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها بدون تعصب عمل شود. بکارگیری شفافیت و رویکرد عدم تعصب این مطالعه را قادر می‌سازد تا قابل اعتماد تلقی شود.

روایی به این اشاره دارد که مطالعه با چه درجه‌ای به سؤال تحقیق پاسخ می‌دهد. به این معنی که آیا محققان به آن نتیجه‌ای که بیان می‌کنند، می‌رسند(جاستسن و میک مایر، ۲۰۱۰). روایی مطالعات کمی با پایایی ارتباط تنگاتنگی دارد، زیرا یک مطالعه می‌تواند پاسخ معتبری برای یک سوال تحقیق بیان کند و معتبر تلقی شود. با این حال، اگر پاسخ قابل اعتماد، منسجم یا سازگار نباشد، هیچ کاربرد قابل درکی نخواهد داشت. در این مطالعه تحت رویکردی کاربردی استدلال می‌شود که ارائه دانش مفید در مورد سودآوری و قابلیت استفاده از مدل چند هدفه در استراتژی معاملات جفتی معتبر است، زیرا قابل اعتماد، منسجم، سازگار و مبتنی بر تجزیه و تحلیل آماری دقیق و صحیح تلقی می‌شود که به دنبال تعمیم قطعی نیست (گرنجر و همکاران، ۲۰۰۹). با مقایسه نتایج با ادبیات موجود، نتایج پژوهش حاضر بیشتر تأیید می‌شود، بنابراین سعی شده در مورد اینکه آیا نتایج و یافته‌ها به طور قابل ملاحظه متفاوت بوده است یا خیر بررسی انجام شود.

۴- سوال پژوهش

هدف از انجام این پژوهش بررسی مدل تک هدفه معیار در مقابل مدل چندهدفه هم‌انباشتگی، به‌منظور تشکیل جفت‌های سودآور در بورس اوراق بهادار تهران است. با توجه به ماهیت این پژوهش به جای داشتن فرضیه، به دنبال پاسخگویی به این سوال بوده‌ایم که چگونه معیارهای تشکیل جفت بر سودآوری تأثیر می‌گذارد؟

۵- یافته‌های پژوهش

۵-۱- مجموعه داده‌ها:

در این پژوهش از قیمت‌های پایانی روزانه سهام در بورس اوراق بهادار تهران برای آزمایش استراتژی معاملات جفتی استفاده شده است. داده‌ها از نرم‌افزار *TSE Client* استخراج شده است. مجموعه داده‌ها شامل داده‌های روزانه از ابتدای مرداد ماه سال ۱۳۹۸ تا انتهای اردیبهشت ماه سال ۱۴۰۱ می‌باشد. داده‌ها از ۵۰ نماد برتر بورس اوراق بهادار تهران انتخاب شده‌اند. تمام قیمت‌ها در شروع دوره شکل‌گیری نسبت به ۱ نرمال گردید. فضای جستجوی محدود روش‌های تک متغیره، فرصت‌های بالقوه معاملات را محدود می‌کند. با توجه به n سهم مختلف، رابطه (۸)، تعداد ترکیبات جفتی P را برای اندازه‌های جزء که تا u افزایش یافته، معین می‌کند. تشکیل یک جفت از دو جزء چند متغیره منحصر به فرد را می‌توان به عنوان ترکیبی از ترکیباتی که بصورت نمایی رشد می‌کنند، در نظر گرفت.

$$P = \left(\sum_{v=1}^{u} \binom{n}{v} \right)_{2}$$

۵-۲- آزمایش تجربی:

برای هر دوره تشکیل، *CNSGA-II* ده بار مختلف اجرا می‌شود تا جمعیت کافی از جفت‌های کاندید را به فاز معاملاتی عرضه کند. از آن‌جایی که برخی از راه‌حل‌ها در یک دوره تشکیل ممکن است بیش از حد مشابه باشند، یک روش مرتب‌سازی نهایی جفت‌های مشابه را در همان دوره حذف می‌کند. یک جفت در صورتی که حداقل ۷۵ درصد اجزای تشکیل‌دهنده آن با جفت دیگری مطابقت داشته باشد یا اگر جزء خرید/فروش یک جفت دقیقاً با جزء خرید/فروش جفت دیگر مطابقت داشته باشد حذف می‌شود. برای کل دوره آزمون، تعداد جفت‌های کاندید P برای هر دوره تشکیل $P \leq 50$ است که منجر به $P \leq 600$ برای کل بک تست[1] می‌شود. *CNSGA-II* و تمامی مدل‌ها در نرم‌افزار متلب کدنویسی شدند.

پارامترهای معاملاتی در دو مدل تک هدفه معیار و چند هدفه هم‌انباشتگی یکنواخت هستند. آستانه‌های باز شدن معامله، به میانگین اسپرد جفت (μ_d) و انحراف استاندارد اسپرد (σ_d)، از دوره شکل‌گیری بستگی دارد. آن‌ها بر روی $\mu_d \pm 1.5\sigma_d$ و با آستانه بسته شدن μ_d تنظیم شده‌اند. یک جفت ۱۰۰ روز فرصت دارد تا قبل از دور انداختن به سیگنال باز برسد. در صورت باز شدن، دوره همگرایی مجاز ۲۰ روز و دوره انقضا ۵۰ روز تعیین می‌شود. به عبارت دیگر، یک جفت باز شده ۲۰ روز فرصت دارد تا کاملاً همگرا شود و ۳۰ روز دیگر تا سودآور شود.

بازده روزانه جفت j با رابطه (۹)، به دست می‌آید که در آن d_t اسپرد جفت است.

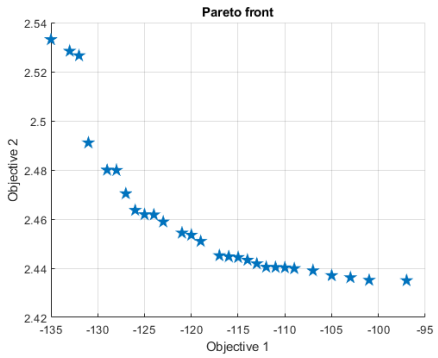
$$r_{j,t} = \pm(d_t - d_{t-1})$$

علامت $\pm$ تنها در صورتی منفی است که اسپرد کوتاه شده باشد. همانطور که در رابطه (۱۰)، اشاره شده است، بازده کل (tr) جفت j، (سود یا زیان تجمعی) را می‌توان به‌صورت مجموع بازده روزانه $r_{j,t}$ بیان کرد.

$$tr_{j,t} = \prod_{t=1}^{n} (1 + r_{j,t})$$

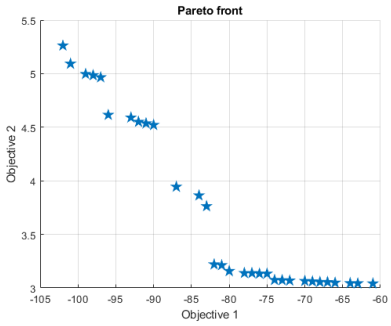
۵-۳- نتایج تجربی:

در این بخش نتایج آزمایشات و ارزیابی‌های مختلف بر روی روش پیشنهادی ارائه گردده است. در شکل‌های ۲ و ۳، مشاهده می‌شود، روش آشوبناک پیشنهادی دارای کیفیت و نظم قابل توجهی در به‌دست آوردن راه-حل‌های فضای مسئله می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در شکل ۳، نظم و کیفیت راه‌حل‌های به‌دست آمده در جبهه پارتو به خوبی روش آشوبناک نمی‌باشد.



شکل ۲- نمودار جبهه پارتو برای روش پیشنهادی با تابع آشوب

منبع: یافته‌های پژوهش



شکل ۳- نمودار جبهه پارتو برای روش پیشنهادی بدون تابع آشوب

منبع: یافته‌های پژوهش

۵-۴- مدل تک هدفه معیار(BS):

برای مدل تک هدفه معیار در جدول ۱، روال‌های بهینه‌سازی ۲۸۳ جفت منحصر به فرد را در کل دوره آزمایش ایجاد کردند که ۱۶۴ مورد از آن‌ها به سیگنال باز رسیدند. از بین جفت‌های معامله شده، ۳۷ جفت کاملاً همگرا و ۲۹ جفت منقضی شده‌اند که عمده‌ترین دسته، ۹۸ معامله نیمه‌همگرا تحت دسته سودگیری است. واضح است که معاملات همگرا نوسان‌پذیری اسپرد (σ_d) کمتر، و تعداد عبور از صفر (NZC) بالاتری را نسبت به هر دو دسته سودگیری و منقضی شده، نشان داده‌اند.

۵-۵- مدل چند هدفه هم‌انباشتگی(CM):

ضریب همبستگی بین دو هدف نوسان‌پذیری اسپرد (σ_d) و آماره t دیکی‌فولر تعمیم‌یافته (ADF)، ۰٫۷۴- است، بنابراین، به طور طبیعی، بین ایستایی و نوسان‌پذیری همبستگی منفی قوی وجود دارد. نوسان‌پذیری اسپرد (σ_d) و آماره t دیکی‌فولر تعمیم‌یافته (ADF)، برای جفتهای همگرا بسیار پایین تر از هر دو دسته سودگیری و منقضی شده در جدول ۲ است. آماره t دیکی‌فولر تعمیم‌یافته جفت‌های منقضی‌شده کمی پایین‌تر از دسته سودگیری همگرا جزئی است که برخلاف روال معمول است. تفاوت قابل توجهی در NZC برای جفت‌های همگرا نسبت به دو دسته دیگر نیز وجود دارد. طبق آزمایشات انجام شده بر روی مدل پیشنهادی، ما متوسط بازده بالایی معادل ۱۰٫۶٪ برای معاملات همگرا و بازده ۲٫۸٪ برای همه معاملات را شاهد هستیم.

۵-۶- عملکرد جفت‌ها:

به‌منظور بررسی سودآوری جفت‌های بهینه‌شده از هر مدل، آزمون $t-Student$ را با فرض صفر، $H_0: \mu_r = 0$(میانگین بازده برابر با صفر)، انجام می‌دهیم. جدول ۳ نتایج حاصل از آزمون به همراه فاصله اطمینان تخمین زده شده را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج آزمون $t-Student$

مدل	آماره t	درجه آزادی	$p-value$	فاصله اطمینان ٪۹۹
مدل BS	۱/۹۷	۳۲	۰/۰۴۱	(۰/۰۰۰۵-و۰/۰۰۷۹)
مدل CM	۵/۱۱	۵۶	۰/۰۰۰	(۰/۰۰۳۸-و ۰/۰۲۲۶)

منبع: یافته‌های پژوهش

مدل تک هدفه معیار(BS)، وضعیت ضعیف‌تری را برای ایجاد جفت‌های سودآور ارائه می‌کند، زیرا این مدل به سختی فرض صفر را در سطح معناداری $\alpha = 0.05$، رد می‌کند. سودآوری مدل چند هدفه هم‌انباشتگی(CM)، به طور معناداری با میانگین بازده $\mu_r = 0$ ، در فاصله اطمینان ۹۹٪ متفاوت است. با توجه به نتایج مذکور، منطقی است استنباط کنیم که استفاده از بهینه‌سازی چندهدفه سهم ارزشمندی در روال تشکیل جفت دارد. با توجه به نتایج تجربی به دست آمده از آزمایش‌ها می‌توان نتیجه گرفت که به هدف ذکر شده در بخش مقدمه پژوهش رسیده‌ایم. در واقع نتایج حاصل نشان می‌دهند که عملکرد استراتژی معاملات جفتی مبتنی بر مدل چند هدفه هم‌انباشتگی، برتر از مدل تک هدفه معیار است.

جدول ۱- نتایج آماری مدل تک هدفه معیار

		تمام جفت‌ها	معامله شده	همگرا	سودگیری	منقضی شده
	تعداد	۲۸۳	۱۶۴	۳۷	۹۸	۲۹
	درصد تناسب		۵۷,۳	۱۳,۱	۳۴,۶	۱۰,۲
نوسان‌پذیری	حداقل	۰,۰۱۵	۰,۰۱۸	۰,۰۱۷	۰,۰۱۹	۰,۰۲۱
اسپرد(σ_d)	حداکثر	۰,۳۷۱	۰,۲۸۲	۰,۱۶۳	۰,۳۷۴	۰,۲۱۲
	میانه	۰,۰۲۷	۰,۰۳۴	۰,۰۲۳	۰,۰۳۹	۰,۰۳۴
	میانگین	۰,۰۷۲	۰,۰۵۱	۰,۰۲۸	۰,۰۹۴	۰,۰۳۹
تعداد عبور از	حداقل	۱	۱	۷	۱	۱
صفر NZC	حداکثر	۷۱	۶۸	۶۶	۵۱	۵۷
	میانه	۱۹	۲۲	۲۸,۱	۱۷	۱۵,۴
	میانگین	۲۳,۴	۲۱,۵	۲۴,۱	۲۰,۴	۱۸,۱
t-test	حداقل	-۴,۳۳	-۴,۹	-۴,۱	-۳,۷	-۳,۴۱
	حداکثر	۳,۴	۲,۲۸	۱,۷۲	۲,۰۹	۲,۱۱
	میانه	-۱,۲۱	-۱,۶۲	-۱,۲۴	-۱,۳۱	-۱,۲۵
	میانگین	-۱,۰۲	-۱,۳۸	-۱,۱۲	-۱,۱۹	-۱,۲۲
بازده	حداقل		-۰,۲۳۲	۰,۰۱	۰,۰۰۳	-۰,۱۹۲
	حداکثر		۰,۱۴۴	۰,۱۳۹	۰,۲۶	-۰,۰۲
	میانه		۰,۰۱۹	۰,۰۳۱	۰,۰۲۴	-۰,۲۰۴
	میانگین		۰,۰۱۲	۰,۰۳۵	۰,۰۱۹	-۰,۱۵۷
	انحراف معیار		۰,۰۴۳	۰,۰۳۱	۰,۰۳۸	۰,۰۹۷

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۲- نتایج آماری مدل چندهدفه هم‌انباشتگی

		تمام جفت‌ها	معامله شده	همگرا	سودگیری	منقضی شده
	تعداد	۴۶۳	۲۸۷	۳۵	۱۹۸	۵۴
	درصد تناسب		۶۲,۱	۷,۶	۴۲,۸	۱۱,۷
نوسان‌پذیری	حداقل	۰,۱۴	۰,۰۲۲	۰,۰۲۲	۰,۰۲۲	۰,۰۲۹
اسپرد(σ_d)	حداکثر	۰,۷۹۶	۰,۷۴۱	۰,۲۷۶	۰,۷۳۸	۰,۵۹۱
	میانه	۰,۱۵۱	۰,۱۳۱	۰,۰۵۷	۰,۱۵۳	۰,۱۱۶
	میانگین	۰,۱۷۴	۰,۱۶۸	۰,۰۷۳	۰,۱۸۲	۰,۱۴۷
تعداد عبور از	حداقل	۱	۱	۸	۱	۱
صفر NZC	حداکثر	۷۱	۷۱	۷۱	۶۹	۶۳
	میانه	۱۴	۱۶	۲۹	۱۱	۱۷
	میانگین	۱۷,۵	۱۹,۶	۳۲	۱۷,۱	۱۹,۳
t-test	حداقل	-۴,۸۲	-۴,۳۱	-۴,۳۷	-۳,۹۴	-۳,۸۶
	حداکثر	۴,۴۸	۶,۳	۱,۰۳	۳,۸۲	۳,۲۲
	میانه	-۰,۵۵۸	-۱,۰۷	-۱,۹۲	-۰,۴۵۱	-۱,۱۲
	میانگین	-۰,۵۲۴	-۱,۰۴	-۱,۸۷	-۰,۶۴۳	-۱,۰۲
بازده	حداقل		-۰,۶۴۱	۰,۰۱۹	۰,۰۰۵	-۰,۸۴۱
	حداکثر		۰,۶۰۲	۰,۴۱۷	۰,۶۶۸	-۰,۰۱۱

میانه	۰,۰۴۱	۰,۰۹۳	۰,۰۵۱	-۰,۱۶۳
میانگین	۰,۰۲۸	۰,۱۰۶	۰,۰۴۴	-۰,۱۸۲
انحراف معیار	۰,۱۴۷	۰,۰۵۹	۰,۰۷۶	۰,۱۱۸

منبع: یافته‌های پژوهش

نتیجه‌گیری و بحث

در این پژوهش یک روش جدید برای ایجاد ترکیب‌های سودآور سهام برای معاملات جفتی از طریق یک چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه ارائه شده است. این جفت‌ها به جفت تک متغیره محدود نمی‌شوند، بنابراین در جایی که تکنیک‌های شمارش سنتی شکست می‌خورند روش معرفی شده این پژوهش قادر به پیشنهاد فرصت‌های معاملاتی بیشتر می‌باشد. حجم بیشتر فرصت‌های معاملاتی برای کاربرد واقع‌بینانه معاملات جفتی سودمند است زیرا ظرفیت بالاتری برای سرمایه‌گذاری از طریق جفت ارائه می‌دهد. معاملات جفتی انواع مختلفی از تصمیمات مهم را برای ارزیابی ارائه می‌دهد. با این‌حال، هرگونه پیشرفت در مراحل انتخاب و معاملات همیشه با کیفیت و نظم جفت‌های نامزد تولید شده در مسئله PF محدود می‌شود. این پژوهش به موضوع انتخاب زیرمجموعه برای تشکیل جفت‌هایی که اسپردهای ناپایدار و بازگشت به میانگین را برای استراتژی معاملات جفتی چند متغیره تولید می‌کنند، می‌پردازد. چارچوب پیشنهادی قادر به تشکیل جفت‌های تک متغیره و چند متغیره بر روی معیارهای متضاد از طریق بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی آشوبناک است. اصلاحات لازم در $NSGA\text{-}II$ و ارائه راه‌حل شرح داده شده بر روی داده‌های سهام بورس اوراق بهادار تهران برای ارزیابی تجربی مدل‌های مختلف انجام شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که جفت‌های چند متغیره تشکیل‌شده از طریق مدل چندهدفه به‌طور قابل‌توجهی از تکنیک‌های تک هدفه موجود بهتر عمل می‌کنند. کاربرد سیستم‌های هوشمند به طور مستقیم برای معاملات جفتی سودمند می‌باشد و باید به حوزه‌های مختلف در امور مالی و سایر صنایع گسترش یابد. بهینه‌سازی چندهدفه تکاملی آشوبناک به‌ویژه برای ساختار مسئله PF مفید بوده است. اکثر مسائل واقع‌بینانه معمولاً دارای ویژگی‌های مشابهی از معیارهای متضاد، انواع متغیرهای مختلط و محدودیت‌های غیرمحدب هستند. این پژوهش، سودمندی سیستم‌های هوشمند را برای پرداختن به مسائل دنیای واقعی نشان داد. برای کارهای آتی پیشنهاد می‌شود که، از الگوریتم‌های طبقه‌بندی همانند، ماشین‌های بردار پشتیبان یا تکنیک‌های خوشه‌بندی برای تمایز بین انواع جفت، استفاده شود. اکنون که چارچوبی برای یافتن چنین ترکیب‌های پیچیده‌ای ارائه کرده‌ایم، محققان نیز می‌توانند تا توابع هدف جدید و اندازه‌های بهینه اجزا را بررسی کنند.

فهرست منابع

پاکیزه، کامران، حبیبی، ثمر (۱۳۹۶). مقایسه سودآوری استراتژی معاملات جفتی بین طبقات مختلف دارایی. فصلنامه علمی-پژوهشی مدیریت دارایی و تامین مالی، ۴(۵)، ۶۹-۸۸.

دستوری، مجتبی و مرادپور، سعید (۱۴۰۰). بهینه‌سازی الگوریتم معاملات زوجی پربسامد با استفاده از تلفیق الگوریتم ژنتیک و کنترل فرایند آماری فازی. نشریه دانش سرمایه گذاری ، ۴۰(۴)، ۴۷۱-۴۸۴.

فلاح‌پور، سعید، حکیمیان، حسن (۱۳۹۶). بررسی عملکرد سیستم معاملات زوجی در بورس اوراق بهادار تهران: رویکرد هم‌انباشتگی و بررسی نسبت سورتینو. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۳۰(۱) ۱-۱۷.

مرادپور، سعید و دستوری، مجتبی (۱۴۰۰). کاربرد معاملات الگوریتمی و پایداری در بازار رمزارز. مجله مهندسی مالی و مدیریت اوراق بهادار، ۴۷(۲)، ۴۳۵-۴۴۹.

Lin, Y. X., McCrae, M., & Gulati, C. (2006). Loss protection in pairs trading through minimum profit bounds: A cointegration approach. Advances in Decision Sciences, 2006.

MA, B., & ŚLEPACZUK, R. THE PROFITABILITY OF PAIRS TRADING STRATEGIES ON HONG-KONG STOCK MARKET: DISTANCE, COINTEGRATION, AND CORRELATION METHODS.

Naccarato, A., Pierini, A., & Ferraro, G. (2021). Markowitz portfolio optimization through pairs trading cointegrated strategy in long-term investment. Annals of Operations Research, 299(1), 81-99.

Payne, G., & Payne, J. (2004). Key concepts in social research. Sage.

Rabbani, M., Oladzad-Abbasabady, N., & Akbarian-Saravi, N. (2022). Ambulance routing in disaster response considering variable patient condition: NSGA-II and MOPSO algorithms. Journal of Industrial & Management Optimization, 18(2), 1035.

Shleifer, A., & Vishny, R. W. (1997). The limits of arbitrage. The Journal of finance, 52(1), 35-55.

Sonmez, R., & Bettemir, Ö. H. (2012). A hybrid genetic algorithm for the discrete time–cost trade-off problem. Expert Systems with Applications, 39(13), 11428-11434.

Tadi, M., & Kortchemski, I. (2021). Evaluation of dynamic cointegration-based pairs trading strategy in the cryptocurrency market. Studies in Economics and Finance.

Tahir, M. A., & Smith, J. E. (2007). Feature selection for heterogeneous ensembles of nearest-neighbour classifiers using hybrid tabu search. In Advances in metaheuristics for hard optimization (pp. 69-85). Springer, Berlin, Heidelberg.

Vidyamurthy, G. (2004). Pairs Trading: quantitative methods and analysis (Vol. 217). John Wiley & Sons.

Yan, T., & Wong, H. Y. (2021). Equilibrium Pairs Trading Under Delayed Cointegration. Available at SSRN 41172

Brunetti, M., & De Luca, R. (2022). Sensitivity of Profitability in Cointegration-Based Pairs Trading.

Dao, S. D., Abhary, K., & Marian, R. (2017). An innovative framework for designing genetic algorithm structures. Expert Systems with Applications, 90, 196-208.

Ehrman, D. S. (2006). The handbook of pairs trading strategies using equities, options, and futures (Vol. 240). John Wiley & Sons.

Galenko, A., Popova, E., & Popova, I. Trading in the Presence of Cointegration 12.

Gillespie, T., & Ulph, C. (2001). Pair trades methodology: A question ofreversion. 8111 International C, 1.

Golberg, D. E. (1989). Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning. Addion wesley, 1989(102), 36.

Goldkamp, J., & Dehghanimohammadabadi, M. (2019). Evolutionary multi-objective optimization for multivariate pairs trading. Expert Systems with Applications.

Granger, C. W. J., Castle, J. L., & Shephard, N. (2009). The Methodology and Practice of Econometrics: A Festschrift in Honour of David F. Hendry. In Praise of Pragmatics in Econometrics, 429-448.

Hong, G., & Susmel, R. (2003). Pairs trading in the Asian ADR market. University of Houston, Unpublished Manuscript.

Isaksen, V. (2019). Cointegration and Pairs Trading in Major Cryptocurrencies (Master's thesis, University of Stavanger, Norway).

Justesen, L., & Mik-Meyer, N. (2010). Kvalitative metoder i organisations-og ledelsesstudier. Hans Reitzels Forlag.

Lazzarino, M., Berrill, J., & Šević, A. (2018). What is statistical arbitrage? Theoretical Economics Letters, 8(05), 888.

Lee, J., & Sabbaghi, N. (2020). Multi-objective optimization case study for algorithmic trading strategies in foreign exchange markets. Digital Finance, 2(1),15-37.

نشریـه علمـی دانش مالی تحلیل اوراق بهادار
دوره ۱۶ / شماره ۱ (پیاپی ۵۷) / بهار ۱۴۰۲
صفحه ۱۱۱ تا ۱۲۴

Journal of Financial Knowledge of Securities Analysis

Vol. 16 / No. 57, Spring 2023

Evolutionary Multi-Objective Optimization for ultivariate Pair Trading in Tehran Stock Exchange: The Cointegration Approach

Hossein Nikoo[1]

Jamal Barzegari Khanagha[2*]

Hamid Reza Mirzaei[3]

Abstract

Pair trading strategy is one of the oldest and most common statistical arbitrage strategies. Pair formation is an important step in pair trading that examined manually and this method fails in the multivariate mode and does not consider conflicting goals in the problem structure. The main problem in this study is to present a method that creates multivariate pair combinations with multiple contradictory goals and focusing on the integration approach. Therefore, a combination of stocks optimized for two opposite objectives: risk (mean-reversion) and return (spread variance) to form a set of profitable multivariate pair trading opportunities. The statistical population is companies listed on the Tehran Stock Exchange. The statistical sample limited by the need for high-frequency transactions from the top 50 companies. The problem developed in the form of a mixed integer-programming model (MIP), and due to non-convex constraints and exponential space, a multi-objective genetic algorithm used to obtain pair combinations. To achieve multiple goals, an advanced type of genetic algorithm; The Chaotic Non-dominated Sorting Genetic Algorithm (CNSGA-II) was used. The Chaos theory used to create the initial population of the genetic algorithm in order to obtain appropriate and high-precision solutions. Research has shown that the use of chaos theory can increase the degree of convergence in evolutionary algorithms. The results of the experiments of this study show that multi-objective pair trading strategies focusing on the integration approach have a significant advantage over the traditional single-objective model.

Keywords: *Multi-Objective Optimization, Pair Trading, Genetic Algorithm, Cointegration Approach*

1 PhD Student of financial management, Department of Accounting & Finance, Faculty of Economic, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran. h.nikoo@stu.yazd.ac.ir

2 Associate Professor, Department of Accounting & Finance, Faculty of Economic, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran. (Corresponding Author): barzegari@yazd.ac.ir

3 Assistant Professor, Department of Accounting & Finance, Faculty of Economic, Management and Accounting, Yazd University, Yazd, Iran. hmirzaei@yazd.ac.ir