

دانشکده دانشکده علوم ریاضی
گروه ریاضی

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته
ریاضی کاربردی

عنوان

حل مساله انتخاب سبد بهینه پروژه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

استاد راهنما

دکتر حامد رضا طارقیان

نگارنده

عطیه مردانی

تابستان ۱۳۹۴

اظهارنامه

عنوان پایان نامه : حل مساله انتخاب سید بهینه پروژه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

اینجانب عطیه مردانی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد دانشکده دانشکده علوم ریاضی دانشگاه فردوسی نویسنده پایان نامه تحت راهنمایی دکتر حامد رضا طارقیان متعهد می شوم:

آ. تحقیقات در این رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.

ب. در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.

ج. مطالب مندرج در این پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی به جایی ارائه نشده است.

د. کلیه حقوق این اثر متعلق به دانشگاه دانشکده فردوسی است و مقالات مستخرج با نام "دانشگاه دانشکده فردوسی" و یا "Ferdowsi University of Mashhad" به چاپ خواهد رسید.

ه. حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی رساله تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از آن رعایت شده است.

و. در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.

ز. در کلیه مراحل انجام این رساله، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ
امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه دانشکده فردوسی است. این مطلب بایستی به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج این رساله بدون ذکر مرجع مجاز نیست.

هو العلم

زیباترین نام را بر زبان جاری می کنم ... که هر کس زبان به حمد تو گشود بی تردید نگاه تو بر او افتاده. پس بر قلبم آن جاری کن که خود می پسندی در ثنایت لب گشایم.

در وادی معرفت نگنجد، سرچشمه هدایت نجو شد، سر بر قامت بندگی فرو نیافتد ... گر گنجینه ای را که مقدسش خواندی و به آن قسم یاد کردی^۱، کوچک شمرده شود و تنها خاطره جوهر خشک شده ای از آن بر برگ برگ صفحات زندگی باقی ماند.

تو علم را روشنی قرار دادی و فانوسی در بیغوله راه که مسیر را، راه نماید و تزکیه را مقدم بر آن دانستی تا نگاهبانش باشد که تزکیه و تعلیم در معیت هم گوهر وجودی انسان را به نور تو منور کند، پرده از واقعیات کنار زند. آن جاست که حقیقت رخ نمایاند، نظر فراتر افتد، خوان گنجینه های دانش رنگین شود و ... آری آنجاست که آدمی معنا یابد.

من اگر وعده هایم با تو زیر خروارها تل فراموشی و غفلت مدفون گردیده، اگر زشتی طغیان در نظرم زیبا جلوه گری می کند و چشمانم خشک تر از آن است که در مقام توبه اشکی بر آن جاری شود، بدان از سر جهل است و نسیان ... اما بار الها چشم طمع بر رحمت دوخته ام و در تمنای رهایی از ظلمت ضلالت، ترنم باران معرفت را می طلبم، امید آنکه جوانه های حقیقت را در وجودم برویاند و انعکاس آن چشمانم را روشن کند.

اکنون چهره بر چهره خاک می سایم و تو را به حبیبیت قسم می دهم که ... "هر آن خصلت ناپسند که در من می بینی به لطف واسع خویش اصلاحش فرمای تا پسندیده شود و هر آن عیب که نفسم را به فساد بیالاید از من بازگیر و هر آن نقص که جانم را از کمال باز دارد برطرفش فرمای!"

و در آن روز که نوبت زندگانی به سر رسد و پیک مرگ حلقه بر در خانه تن بکوبد و دعوت واجب الاجابه تو از آسمان ها به گوش آید ... پروردگارا! بر محمد (ص) و آل پاکش درود فرست و به حق ایشان عمر ما را با رستگاری به پایان آور و عاقبتمان را ختم به خیر فرمای ...!

زبان قاصراست و مجال کوتاه ...

تو خود قصیده ی مهر را از لوح نانوشتی قلم بخوان ...!

^۱ن و القلم و ما یسطرون

سپاس گزارى...

سپاس خدايى را كه اوّل و آخر وجود است. خدايى كه كه نور شناختش را به قلب ما تابانيد و شكرش را بر وجودمان الهام فرمود.

در آغاز وظيفه‌ي خود مي‌دانم از زحمات بي‌دريغ استاد راهنماي خود، جناب آقاي دكتور حامد رضا طارقيان صميمانه تشكر و قدرداني كنم كه از راهنمايي‌هاي ارزنده ايشان در راستاي پيشبرد پژوهش حاصل فراوان بردم و همواره شاگرد مكتب علم و انسانيت و منش والاي ايشان هستم.

بوسه مي‌زنم بر دستان خداوندگاران مهر و مهرباني، پدر و مادر عزيزم و بعد از خدا، ستايش مي‌كنم وجود مقدس‌شان را و تشكر مي‌كنم از برادران عزيزم كه در اين راه مرا تنها نگذاشتند.

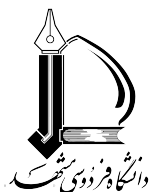
در انتها تشكر مي‌كنم از همسر مهربانم به پاس عاطفه سرشار و گرماي اميدبخش وجودش كه همواره بهترين پشتيبان من بود.

عطيه مرداني
تابستان ۱۳۹۴

تقدیم به

آن ها که بی دریغ کوشیدند

تا امروز سر بر اوج ساییدن را تجربه کنیم.



بسمه تعالی
مشخصات پایان نامه تحصیلی دانشجویان
دانشگاه دانشگاه فردوسی

عنوان: حل مساله انتخاب سبد بهینه پروژه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

نام نویسنده: عطیه مردانی
استاد راهنما: دکتر حامد رضا طارقیان

دانشکده: دانشکده علوم ریاضی گروه: ریاضی رشته تحصیلی: ریاضی کاربردی

تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۸/۱۲ تاریخ دفاع: ۱۳۹۴/۶/۳۰

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد تعداد صفحات: ۸۹

چکیده پایان نامه: مساله انتخاب سبد بهینه پروژه از جمله مساله های مهم در مباحث مدیریت پروژه، مدیریت مالی، مدیریت خطرپذیری و مدیریت سرمایه گذاری است که هم به لحاظ نظری و هم از جنبه کاربردی طی چند دهه گذشته مورد توجه بوده است. در این پایان نامه، مساله انتخاب سبد بهینه پروژه را با دو هدف پیشینه سازی سود و کمینه سازی ریسک مورد بررسی قرار می دهیم. برای حل این مساله بهینه سازی دو هدفه، از الگوریتم ابتکاری ازدحام ذرات استفاده شده است. دو مشکل اصلی الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، افتادن در دام بهینگی محلی و پایین بودن سرعت همگرایی آن می باشد. بدین منظور راهکارهایی ارائه می دهیم تا از مشکلات مربوط به الگوریتم ازدحام ذرات از جمله پایین بودن سرعت همگرایی جواب ها و همچنین به دام افتادن در بهینه های محلی در این مساله اجتناب شود. در پایان، عملکرد الگوریتم ازدحام ذرات در حل مساله حاضر را با الگوریتم تکاملی ژنتیک از منظر حصول جواب های با کیفیت (انتخاب سبد سودآورتر با ریسک کمتر) مقایسه می کنیم.

واژگان کلیدی: بهینه سازی سبد سرمایه، ازدحام ذرات، بهینگی محلی، عامل انقباض

امضای استاد راهنما: تاریخ:

فهرست مطالب

۷	پیش‌گفتار
۹	۱ مفاهیم و کلیات
۹	۱.۱ مقدمه
۱۰	۲.۱ سبد سرمایه (پورتفولیو) چیست؟
۱۰	۱.۲.۱ مدیریت سبد سرمایه
۱۱	۳.۱ نظریه مدرن سبد سرمایه
۱۲	۱.۳.۱ ریسک در نظریه مدرن سبد سرمایه
۱۲	۴.۱ مفروضات مدل مارکویتز
۱۳	۱.۴.۱ ریسک سبد سهام
۱۳	۲.۴.۱ بازده مورد انتظار سبد سهام
۱۴	۳.۴.۱ مدل ریاضی مارکویتز برای حل مساله انتخاب سبد بهینه سهام
۱۵	۴.۴.۱ کاستی‌های موجود در مدل مارکویتز
۱۶	۵.۱ نتیجه‌گیری
۱۸	۲ روش‌های حل مساله انتخاب سبد بهینه
۱۸	۱.۲ مقدمه
۱۹	۲.۲ ادبیات موضوعی

۱۰.۲.۲	مدل میانگین - واریانس مارکوفیتز	۲۰
۲۰.۲.۲	مدل میانگین - نیمه واریانس	۲۱
۳۰.۲.۲	مدل شارپ ^۱	۲۳
۴۰.۲.۲	مدل راس ^۲	۲۴
۵۰.۲.۲	مدل قدر مطلق انحراف از میانگین	۲۵
۶۰.۲.۲	مدل ارزش در معرض ریسک	۲۷
۳.۲	حل مساله انتخاب با استفاده از روش‌های هوشمند	۳۲
۴.۲	NP-COMPLETE بودن مساله	۳۲
۵.۲	روش‌های ابتکاری و فراابتکاری در حل مساله انتخاب	۳۳
۱۰.۵.۲	دسته بندی الگوریتم‌های بهینه سازی	۳۳
۲۰.۵.۲	معیارهای طبقه بندی الگوریتم‌های فراابتکاری	۳۴
۳۰.۵.۲	پیشینه استفاده از روش‌های فراابتکاری در حل مساله انتخاب	۳۵
۶.۲	روش بهینه سازی ازدحام ذرات	۳۶
۱۰.۶.۲	انواع روش‌های بهینه سازی ازدحام ذرات	۳۸
۲۰.۶.۲	معایب روش و راه حل‌های ارائه شد	۳۹
۷.۲	نتیجه گیری	۴۰
۳	روش ازدحام ذرات در حل مساله انتخاب سبد بهینه	۴۲
۱.۳	مقدمه	۴۲
۲.۳	مفاهیم اولیه	۴۳
۳.۳	عملکرد روش ازدحام ذرات	۴۴
۴.۳	پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد	۴۵
۵.۳	مراحل اجرای الگوریتم به شرح زیر است:	۴۶

¹W.F. Sharpe²Ross

۶۳	مدل ریاضی الگوریتم ازدحام ذرات	۴۷
۷۳	واکاوی پارامترها در روش ازدحام ذرات	۴۸
۸۳	مدل تک هدفه مساله انتخاب سبد سهام	۵۰
۹۳	شبه کد ارائه شده برای حل مساله انتخاب سبد سهام با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات	۵۳
۴	پیاده سازی مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات	۵۵
۱۰۴	مقدمه	۵۵
۲۰۴	پیاده سازی مدل های کلاسیک در حل مساله ی انتخاب سبد سهام با استفاده از نرم افزار	
متلب ^۱		۵۶
۱۰۲۰۴	مشاهدات تجربی	۶۰
۳۰۴	تنظیمات اعمال شده بر روی الگوریتم ازدحام ذرات	۶۲
۱۰۳۰۴	ایجاد محدودیت بر روی سرعت ذرات	۶۲
۲۰۳۰۴	ایجاد محدودیت بر روی موقعیت ذرات	۶۲
۳۰۳۰۴	روش عامل انقباض ^۲	۶۳
۴۰۴	ارزیابی الگوریتم	۶۴
۱۰۴۰۴	مقایسه جواب های الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در حل مساله	
انتخاب سبد بهینه		۶۶
۲۰۴۰۴	آزمون فرضیات تحقیق	۶۸
۵۰۴	قابلیت اجرایی مدل	۷۰
۶۰۴	نتیجه گیری و آینده پژوهش	۷۱

مراجع

۷۲

واژه نامه فارسی به انگلیسی

۷۷

¹Matlab²Contraction Factor

فهرست جدول‌ها

۱۰۲	تاریخچه حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از روش‌های هوشمند	۳۷
۱۰۴	مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش میانگین – واریانس	۵۷
۲۰۴	مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش میانگین – نیمه واریانس	۵۷
۳۰۴	مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش قدرمطلق انحراف از میانگین	۵۸
۴۰۴	مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک	۵۸
۵۰۴	توابع محک استاندارد	۶۴
۶۰۴	نتایج به دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات برای توابع محک استاندارد	۶۵
۷۰۴	نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک برای توابع محک استاندارد	۶۵
۸۰۴	نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در حل مساله انتخاب سبد بهینه	۶۷
۹۰۴	مقایسه میانگین ریسک با استفاده از معیار نیمه واریانس در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در سبد های هشت سهمی	۶۹
۱۰۰۴	نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در سبد های مختلف	۷۰

فهرست شکل‌ها

۱۰۳	الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات	۴۷
۲۰۳	روند حرکت ذرات در یک گروه	۵۰
۱۰۴	مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش میانگین - واریانس	۵۹
۲۰۴	مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش میانگین - نیمه واریانس	۵۹
۳۰۴	مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش قدرمطلق انحراف از میانگین	۶۰
۴۰۴	مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک	۶۰

فهرست نمادها و علائم ریاضی

نام	نماد
جمع	Σ
ضرب	Π
تقسیم	$/$
انحراف معیار	δ
واریانس	δ^2
تابع توزیع احتمال	$F(.)$
ضریب همبستگی	ρ
امید ریاضی	$E(.)$

پیش گفتار

در این پایان نامه به بیان مساله انتخاب سبد سهام بهینه پرداخته و مدل‌ها و روش‌های ارائه شده در حل این مساله را مورد بررسی اجمالی قرار می‌دهیم. در ادامه روش فراابتکاری ازدحام ذرات را به عنوان روش حل مساله انتخاب سبد بهینه برمی‌گزینیم. سپس به اعمال تنظیماتی جهت بهبود جواب‌ها و رفع برخی معایب موجود در الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد می‌پردازیم. در انتها مساله را با دو روش الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته حل کرده و نتایج حاصله را مورد بررسی و مقایسه قرار می‌دهیم.

در فصل اول ابتدا مفاهیم اولیه مربوط به مساله انتخاب سبد بهینه را بیان می‌کنیم. در ادامه به بیان مدل مارکویتز در زمینه حل این مساله پرداخته و چالش‌های موجود در این مدل را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

در فصل دوم به بیان ادبیات موضوعی در زمینه مساله انتخاب سبد بهینه پرداخته و روش‌های کلاسیک در حل این مساله را بیان می‌کنیم. در ادامه به بیان روش‌های هوشمند در حل این مساله پرداخته و روش ازدحام ذرات را به عنوان روش حل مساله بر می‌گزینیم.

در فصل سوم به معرفی روش ازدحام ذرات پرداخته، مفاهیم، پارامترها و عملکرد این روش را به طور کامل مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه مدل ریاضی الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد را بیان می‌کنیم و در انتها به ارائه مدلی استاندارد جهت حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات می‌پردازیم.

در فصل چهارم در ابتدا به حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از روش‌های کلاسیک پرداخته و جواب‌های حاصل از این روش‌ها را بررسی می‌کنیم. تنظیمات انجام گرفته جهت بهبود الگوریتم ازدحام ذرات را

ارائه کرده و بار دیگر مساله را با استفاده از این روش حل می‌کنیم. جهت مقایسه‌ی کیفیت جواب‌های به دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات، مساله را با استفاده از الگوریتم ژنتیک نیز حل کرده و به بررسی جواب‌های به دست آمده می‌پردازیم و در انتها قابلیت اجرایی مدل را مورد سنجش قرار می‌دهیم.

فصل ۱

مفاهیم و کلیات

۱.۱ مقدمه

ابتدا به تبیین مفهوم سبد سرمایه^۱ پرداخته و نظریه مدرن سبد سرمایه‌گذاری را مطرح می‌کنیم. در ادامه با مفهوم ریسک آشنا شده و مفروضات مدل مارکوویتز^۲ را ارائه می‌کنیم. مارکوویتز به خاطر تلاش‌های مستمر و اثربخشش در زمینه سبد سرمایه مستحق دریافت جایزه نوبل اقتصاد شناخته شد و در اواخر دهه ۹۰ میلادی این جایزه را دریافت داشت. در انتهای فصل با بیان برخی چالش‌های موجود در مدل ارائه شده توسط مارکوویتز زمینه را برای واکاوی مساله انتخاب سبد بهینه سرمایه‌گذاری و تشریح راه حل‌های ارائه شده در تصحیح مدل مارکوویتز در فصل‌های بعدی آماده می‌کنیم.

¹Investment portfolio

²Markowitz

۲.۱ سبد سرمایه (پورتفولیو) چیست؟

بازارهای مالی یکی از اساسی‌ترین بازارهای سوداگری در هر کشور است. از جمله مهم‌ترین مفاهیمی که در این بازارها مطرح می‌شود، بحث سهام و انتخاب آن است که برخی با عنوان سبد سرمایه (پورتفولیو) از آن یاد می‌کنند. با بیانی ساده سبد سرمایه عبارت است از ترکیبی از دارایی‌ها که توسط یک سرمایه‌گذار برای سرمایه‌گذاری انتخاب می‌شود. البته سرمایه‌گذار می‌تواند یک فرد یا یک موسسه باشد. بسیاری از مردم از طریق برنامه‌ریزی و بر مبنای روش‌های علمی و یا بر اساس اطلاعات عمومی خود اقدام به انتخاب سبدی از سرمایه‌گذاری‌ها (دارایی‌های واقعی و مالی) می‌کنند. یک سبد سرمایه غالباً مجموعه کامل دارایی‌های حقیقی و مالی سرمایه‌گذار را در بر می‌گیرد.

۱.۲.۱ مدیریت سبد سرمایه^۱

مطالعه تمام جنبه‌های سبد سرمایه، مدیریت سبد یا پورتفولیو نام دارد. این واژه وسیع در برگیرنده مفاهیم نظری سبد سرمایه است که بخش مهمی از سرمایه‌گذاری را شامل می‌شود. برای مثال، مدیریت سبد سرمایه پروژه در جهت ارزیابی صحیح، انتخاب، اولویت بخشی، بودجه بندی و برنامه‌ریزی صحیح برای پروژه‌ها به کار می‌رود. مدیریت پورتفولیوی پروژه، یک قابلیت مدیریتی مرکزی و هسته‌ای در سازمان‌های پروژه محور است. سه عامل اصلی در مدیریت سبد سرمایه، افراد و یا همان تصمیم گیرندگان، ابزار، تکنیک‌ها و مدل‌های انتخاب و در نهایت فرایند و یا چارچوب مورد استفاده در انتخاب پروژه‌ها می‌باشند. مدل‌ها و تکنیک‌های بسیاری برای انتخاب سبد پروژه وجود دارد، با این حال چارچوب‌هایی که این ابزار و تکنیک‌ها را به طور منطقی سازمان دهی نمایند، کم است. لذا انتخاب و ایجاد یک چارچوب مناسب برای ارزیابی پروژه‌های پیشنهادی و انتخاب یک سبد پروژه هم‌سو با خط مشی کلان سازمان‌ها از نکات مهم انتخاب پروژه‌ها در سبد پروژه است.

^۱Portfolio Management

۳.۱ نظریه مدرن سبد سرمایه^۱

سرمایه‌گذاران به دنبال انتخاب ترکیب بهینه‌ی دارایی‌های خود به گونه‌ای هستند که بتوانند به هدف سرمایه‌گذاری خود که افزایش درآمد و کسب سود است، دست یابند. این مساله می‌تواند به صورت یک مساله بهینه سازی مورد بررسی قرار گیرد. مسئله‌ی انتخاب سبد سهام، یکی از مهم‌ترین مسائل ادبیات مالی است که مبنای بسیاری از مدل‌های مالی موجود را نیز شامل می‌شود. در یک رویکرد کلی، نظریه‌های مربوط به تشکیل سبد سهام را می‌توان به دو گروه مدرن و فرا مدرن تقسیم کرد. آنچه تحت عنوان "نظریه مدرن سبد سرمایه" مطرح می‌شود، شالوده‌اش توسط هری مارکوویتز بنا شد و بر اساس رابطه بازدهی و ریسک تبیین می‌شود. در این نظریه، ریسک به عنوان انحراف از میانگین بازده تعریف می‌شود، به تعبیر دیگر نوسانات بالا و پایین هم ارزش هستند و واریانس و انحراف معیار، شاخص‌های عددی برای اندازه گیری ریسک تلقی می‌شود. توجه داشته باشید که پیش فرض استفاده از واریانس و انحراف معیار، وجود توزیع نرمال است. در مقابل نظریه مدرن سبد سهام، "نظریه فرامدرن سبد سهام" مطرح شده که برخلاف نظریه قبلی فرض را به غیرنرمال بودن توزیع احتمالات بازده قرار می‌دهد. نظریه فرا مدرن سبد سهام بهینه، بر اساس رابطه بازده و ریسک نامطلوب^۲، به تبیین رفتار سرمایه‌گذار و انتخاب سبد سهام می‌پردازد. مفهوم ریسک در این نظریه تغییر می‌کند، ریسک به عنوان انحرافات نامطلوب و نامساعد نسبت به میانگین تعریف می‌شود، به گونه‌ای که نوسانات بالاتر از میانگین مساعد است و تنها نوسانات پایین تر از میانگین نامطلوب است. ریسک نامطلوب به عنوان شاخص اندازه گیری ریسک، نوسانات منفی بازده اقتصادی در آینده را در برمی گیرد.

نظریه مدرن سبد سرمایه، به عنوان یکی از مهم‌ترین و تاثیر گذارترین نظریات اقتصادی مربوط به سرمایه‌گذاری و امور مالی توسط هری مارکوویتز^۳ در سال ۱۹۵۲ تحت عنوان "انتخاب سبد سرمایه"^۴ در مجله مالی^۵ منتشر شد [۶]. طبق این نظریه توجه به ریسک و سود احتمالی یک سهام خاص کفایت نمی‌کند و با سرمایه‌گذاری در چند سهام، سرمایه‌گذار می‌تواند از یک طرف سود سهام‌های پر سود و احتمالاً ریسکی را

¹Modern Portfolio Theory

²Downside Risk

³Harry Markowitz

⁴Portfolio Selection

⁵Journal of Finance

بدست آورد و از جهت دیگر ریسک کل سبد سرمایه را با سهام‌های کم ریسک تر کاهش دهد. این نظریه که به طور کمی منافع تنوع در سرمایه‌گذاری را اندازه‌گیری می‌کند، معمولاً با این جمله هم توصیف می‌شود: "بهرتر است تا تمام تخم مرغ‌ها را در یک سبد قرار نداد!"

۱.۳.۱ ریسک در نظریه مدرن سبد سرمایه

ریسکی که بیشتر سرمایه‌گذاران متحمل می‌شود از ناحیه سود است. به این معنا که ممکن است سود تحصیل شده نسبت به میزان سود پیش بینی شده انحراف قابل توجهی پیدا کند. لذا ریسک بنا به تعریف عبارت است از درصد انحراف معیار استاندارد از سود متوسط. هر سهام برای خود انحراف معیار استاندارد از سود متوسط خاصی دارد که در نظریه مدرن سبد سرمایه، ریسک آن سهم نامیده می‌شود. یکی از نکات کلیدی نظریه مدرن سبد سرمایه این است که اگر سهام چند شرکت با یکدیگر به طور مستقیم رابطه نداشته باشند و یا به عبارت دیگر نسبت به هم مستقل باشند، در این صورت ریسک سبد سرمایه متشکل از ترکیبی از این سهام‌ها، کمتر است از ریسک هر یک از سبدهای سرمایه‌ای که فقط از یکی از این سهام‌ها تشکیل شده باشد. برای مثال اگر مثلاً تعدادی از سهام سبدتان در نتیجه رشد نرخ ارز سود می‌برند، بخشی از سبدتان را نیز در حوزه‌هایی مثل بانکداری، مخابرات و IT قرار دهید تا وابستگی بازده سبد سهامتان به قیمت ارز در حد متعادل باقی بماند. به طور خلاصه این نظریه بیان می‌کند که تنها انتخاب سهام خوب کافی نیست و سرمایه‌گذار باید به دنبال ترکیبی متناسب از سهام‌های خوب باشد که تغییرات این سهام‌ها نسبت به یکدیگر مستقل باشند [۱].

۴.۱ مفروضات مدل مارکویتز

مدل مارکویتز بر اساس مفروضات زیر شکل گرفته است. در نظریه او سرمایه‌گذاران: بازده را مطلوب دانسته و از پذیرش ریسک اجتناب می‌کنند، در تصمیم‌گیری منطقی عمل می‌کنند و بالاخره تصمیم‌هایی اتخاذ می‌کنند که باعث بیشینه‌سازی بازده سهام موردنظر آنها می‌شود. بنابراین مطلوبیت سرمایه‌گذاران تابعی است از بازده مورد انتظار و ریسک، که این دو عامل، پارامترهای اساسی تصمیمات مربوط به سرمایه‌گذاری هستند [۱].

۱.۴.۱ ریسک سبد سهام^۱

ریسک معمولاً با پراکندگی بازده‌های آتی مرتبط است و پراکندگی به تغییر پذیری اشاره دارد. فرض بر این است که ریسک باعث افزایش تغییر پذیری و پراکندگی می‌شود و عبارت از تفاوت میان بازده واقعی یک سرمایه‌گذاری با بازده مورد انتظار آن است. در واقع اگر بازده یک دارایی پراکندگی و تغییر پذیری نداشته باشد آن دارایی بدون ریسک خواهد بود. متداولترین معیار پراکندگی در طول چند دوره، انحراف معیار نام دارد که انحراف هر مشاهده از میانگین حسابی مشاهدات را نشان می‌دهد و به خاطر اینکه تمامی اطلاعات نمونه، مورد استفاده قرار می‌گیرد، معیار معتبری برای تغییر پذیری است. انحراف معیار بازده، ریسک کلی یک سهم یا ریسک کلی سهام یک سبد سهام را اندازه‌گیری می‌کند. به طور خلاصه می‌توان گفت که انحراف معیار، اطلاعات مفیدی را در خصوص توزیع بازده ارائه می‌کند و به سرمایه‌گذاران کمک می‌کند تا پیامدهای ممکن یک سرمایه‌گذاری را ارزیابی کنند.

۲.۴.۱ بازده مورد انتظار سبد سهام^۲

بازده مورد انتظار هر سبد سهامی از طریق میانگین وزنی بازده مورد انتظار هر سهمی به آسانی قابل محاسبه است. با توجه به دامنه متفاوت قیمت سهام در بازار، وزن‌ها در سبد سهام از طریق نرمال سازی داده‌های مربوط به قیمت هر سهم معین می‌گردند. وزن‌هایی که برای میانگین مورد استفاده قرار می‌گیرند، نسبت‌هایی از وجوه قابل سرمایه‌گذاری است که در هر یک از سهام‌ها سرمایه‌گذاری شده‌اند.

برای مثال فرض می‌کنیم کل بودجه در اختیار سرمایه‌گذار ۱۰۰۰ واحد باشد. قیمت سهم الف، ۱۵۰ واحد، قیمت سهم ب، ۷۵ واحد، قیمت سهم ج، ۳۵۰ واحد و قیمت سهم پ، ۴۲۵ واحد باشد. در این صورت وزن سرمایه‌گذاری برای هر سهم برابر است با:

$$\frac{\text{قیمت هر سهم}}{\text{کل بودجه}}$$

در این صورت داریم :

¹Portfolio Risk

²Expected Return

$$\begin{aligned}\frac{150}{1000} &= 0/15 \text{ : وزن سرمایه‌گذاری سهم الف} \\ \frac{75}{1000} &= 0/075 \text{ : وزن سرمایه‌گذاری سهم ب} \\ \frac{350}{1000} &= 0/35 \text{ : وزن سرمایه‌گذاری سهم ج} \\ \frac{425}{1000} &= 0/425 \text{ : وزن سرمایه‌گذاری سهم پ}\end{aligned}$$

۳.۴.۱ مدل ریاضی مارکوویتز برای حل مساله انتخاب سبد بهینه سهام

روش میانگین - واریانس^۱ استاندارد مارکوویتز که در سال ۱۹۵۲ عرضه شد، برای انتخاب سبد سهام اقدام به رهگیری یک مرز کارا^۲ می‌نماید. این مرز منحنی پیوسته‌ای است که مبادله میان بازده و ریسک سبد سهام را نشان می‌دهد. مارکوویتز این سبد سهام را سبد سهام کارا نامید. سبد سهام کارا سبدي است که دارای بالاترین بازده ممکن برای درجه معینی از ریسک باشد. به طور خلاصه مدل بهینه سازی دو هدفه مارکوویتز با استفاده از روش میانگین - واریانس به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$Max \quad \mu_p = \sum_i w_i \mu_i = W^T \mu$$

$$Min \quad \delta_p^2 = \sum_i \sum_j w_i w_j \delta_{ij}$$

s.t.

$$\sum_i w_i = 1$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N$$

در مدل فوق :

μ_p : بازده مورد انتظار سبد سهام

μ_i : بازده سهم i ام

w_i : وزن سرمایه‌گذاری (درصد مبلغ سرمایه‌گذاری در سهم i ام)

¹Mean - Variance

²Efficient Frontier

δ_p^2 : واریانس (ریسک) بازده سبد سهام

δ_{ij} : کوواریانس میان سهام i و j که بیانگر رابطه میان این دو سهم است.

تابع هدف اول مربوط به بیشینه سازی بازده مورد انتظار سبد سهام و تابع هدف دوم مربوط به کمینه سازی ریسک بازده سبد سهام می باشد. متغیر تصمیم در روش میانگین واریانس، W می باشد. محدودیت به کار برده شده در این مدل مربوط به محدودیت کل پول در اختیار سرمایه گذار است. مدل مارکوویتز را می توان به وسیله روش های برنامه ریزی درجه دوم^۱ حل کرد. برنامه ریزی درجه دوم رده خاصی از مسایل برنامه ریزی غیرخطی است که در آن تابع هدف از نوع درجه دوم و قیود، خطی می باشند. مدل های متداول برنامه ریزی درجه دوم نیازمند پارامترهایی معین با مقادیری ثابت هستند. این مدل ها به طور گسترده برای حل مسائل دنیای واقعی به کار برده می شوند. از طرف دیگر دسته گسترده ای از مسائل که در زندگی روزمره با آن سر و کار داریم مسائلی نادقیق و یا مجموعه هایی با کران های تقریبی می باشند. بنابراین مقادیر پارامترهایی که در این مدل ها استفاده می شوند بر اساس پیش بینی شرایط آینده تخمین زده می شوند و همواره دارای ابهام و عدم قطعیت هستند. پیاده سازی مدل مارکوویتز با استفاده از روش های برنامه ریزی درجه دوم در فصل چهارم آورده شده است. توجه دارید که برای حل هر مصداقی از این مساله لازم است تا وزن هریک از سهام سبد (درصد وجوه قابل سرمایه گذاری در هر یک از سهام)، مشخص شوند. به عبارت دیگر، با داشتن ورودی های بازده مورد انتظار، انحراف معیار و همبستگی سهام مورد بررسی، وزن سرمایه گذاری، تنها متغیری است که برای حل مسائل سبد سهام می توان آن را تغییر داد.

۴.۴.۱ کاستی های موجود در مدل مارکوویتز

هرچند مدل مارکوویتز به لحاظ نظری با روش های برنامه ریزی ریاضی قابل مدل سازی و حل است اما در عمل کاستی هایی دارد که کاربرد آن در دنیای واقعی را دچار مشکل می کند. اولاً، محدودیت هایی که در دنیای واقعی وجود دارد، در مدل مارکوویتز در نظر گرفته نشده است، همانند محدودیت تعداد سهام ثابت در سبد، هزینه های معاملاتی، معامله سهام در دسته های ثابت و متأسفانه اکثر این محدودیتها، از توابع غیر خطی پیروی می کنند

¹Planning Quadratic Equations

که مدل را برای حل، دچار مشکل می‌نمایند. از طرف دیگر فرض نرمال بودن تابع توزیع بازده دارایی‌ها فرض قابل قبولی نیست. به طور کلی برای نمایش عدم اطمینان موجود در پیش بینی دارایی، روال بهینه سازی در تئوری مدرن سبد سهام این است که برای هر دارایی، به توزیع آماری بازده نیاز داریم که باید تعیین و مشخص شوند.

مطالعات نشان داده است که احتمال به وجود آمدن سودها و زیان‌های غیر عادی، بیش تر از آن است که تابع توزیع نرمال پیش بینی می‌کند [۲]. مشکل دیگر استفاده از واریانس، این است که سودهایی که فاصله زیادی از میانگین دارند و برای سرمایه‌گذار مطلوب هستند، به عنوان ریسک شناخته می‌شوند. از سوی دیگر، واریانس به عنوان معیار ریسک، برای سرمایه‌گذار ملموس و قابل درک نیست و نیاز به اطلاعات آماری دارد. به طور کلی اگر توزیع بازده یک نوع دارایی، از نوع نرمال نباشد، آن گاه استفاده از واریانس به عنوان معیاری برای محاسبه ریسک، روش درستی نخواهد بود.

۵.۱ نتیجه‌گیری

طی سده اخیر تلاش‌های بسیاری در راستای هدایت سرمایه‌گذاران به نحوه سرمایه‌گذاری مناسب صورت گرفته است و مدل‌های بی شماری عرضه شده است. مفاهیم بهینه سازی سبد سهام و تنوع بخشی به مثابه ابزاری در راستای توسعه و فهم بازارهای مالی و تصمیم‌گیری مالی در آمده‌اند. انتشار نظریه انتخاب سبد سهام هری مارکوویتز اصلی‌ترین و مهم‌ترین موفقیت در این راستا بوده است. از زمانی که مارکوویتز مدل خود را منتشر کرد، این مدل تغییرات و بهبودهای فراوانی را در شیوه نگرش مردم به سرمایه‌گذاری و سبد سهام ایجاد کرد و به عنوان ابزاری برای بهینه سازی سبد سهام به کار گرفته شده است. از آن جا که رفتار سهام در بازار مانند بسیاری از پدیده‌های طبیعی، رفتاری غیر خطی^۱ است. مدل‌های خطی از تشخیص صحیح رفتار غیر خطی عاجز هستند و تنها می‌توانند بخش خطی رفتار را خوب تشخیص دهند. بنابراین نیاز به الگوها و مدل‌های غیر خطی برای شناسایی رفتار سهام تاثیر بسزایی در پیش بینی آتی سهام و اتخاذ تصمیم مناسب دارد. بنابراین با توجه به عدم اطمینانی که بر بورس و اوراق بهادار حاکم است و هم چنین در نظر داشتن گرایش‌ها و ترجیحات

¹Non Linear

مختلف سرمایه‌گذاران، یافتن روشی برای انتخاب یک مجموعه مناسب از سهام که از طریق آن بتوان بر عدم اطمینان‌ها و ترجیحات مختلف غلبه کرد ضروری به نظر می‌رسد. از این رو در فصل بعدی با علم به معایب و مشکلات مربوط به روش ارائه شده توسط مارکوویتز، رویکردها و راه‌حل‌های ارائه شده در حل آن را طی سال‌های گذشته مورد واکاوی قرار می‌دهیم.

فصل ۲

روش‌های حل مساله انتخاب سبد بهینه

۱.۲ مقدمه

همان طور که در فصل گذشته بیان شد ارائه‌ی مدل ریاضی مسئله‌ی انتخاب سبد سهام توسط مارکوویتز که به مدل میانگین - واریانس شهرت یافت، به سرآغاز نظریه مدرن مالی منجر شد. ریسک گریز بودن کلیه سرمایه‌گذاران، فرض اصلی این مدل است. این مساله یک محدودیت کارکردی دارد که بر اساس آن، وزن هر یک از دارایی‌ها سبد سهام باید عدد حقیقی و غیر منفی باشد و مجموع اوزان دارایی‌ها نیز باید برابر یک شود. همان‌طور که در فصل گذشته بحث شد این مدل کاستی‌هایی نیز دارد: گستردگی حجم محاسبات مربوط به کوواریانس با افزایش تعداد دارایی‌ها، عدم کارایی روش‌های قطعی در شناسایی بهینه کل و عدم کارایی معیار واریانس در برخورد با دارایی‌هایی که توزیع غیر نرمال دارند. برای مقابله با کاستی‌های اول و دوم، در سال‌های اخیر محققان روش‌های ابتکاری (شبکه‌های عصبی، الگوریتم‌های تکاملی و ...) را مطرح کرده‌اند. در تحقیق حاضر نیز از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات^۱ برای تحقق این امر استفاده شده است. برای رفع مورد سوم، استفاده از معیارهای دیگر ریسک مانند نیمه واریانس، قدرمطلق انحراف، ارزش در معرض ریسک و ... پیشنهاد

¹Particle Swarm Optimization

شده است.

در این فصل ادبیات موضوعی انتخاب سید بهینه سهام را مرور کرده و به بررسی معیارهای ریسک می‌پردازیم. در انتها با معرفی روش‌های ابتکاری و فراابتکاری به کار برده شده در حل این مساله، در پرتو دلایلی که ذکر خواهند شد، روش ابتکاری ازدحام ذرات را برای حل مساله انتخاب سید بهینه سهام بر می‌گزینیم.

۲.۲ ادبیات موضوعی

شاید بتوان ادعا کرد که پدیده ریسک و اندازه‌گیری آن یکی از بحث برانگیزترین مباحث موجود در نظریه مالی است. ریسک را می‌توان نتیجه نبود اطلاعات کامل تلقی کرد به طوری که در صورت نبود اطمینان کامل از موفقیت، ریسک وجود دارد. تعاریف بسیاری از ریسک ارائه شده است که در ذیل به چند مورد آن اشاره می‌گردد:

- حالت یا کیفیتی که مورد شک است.
- اتفاق یا نتیجه غیره منتظره.
- عدم اطمینان.
- تغییرات ممکن در پیامدها.
- انحراف از آنچه مد نظر است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود هر چه از مورد اول به سمت موارد بعدی پیش می‌رویم به تدریج از یک سو به قابلیت اندازه‌گیری ریسک افزوده می‌گردد ولی از سوی دیگر از هم خوانی تعاریف ارائه شده با مفهوم رایج و عمومی ریسک کاسته می‌شود. برای مثال آیا می‌توان هر گونه تغییر در پیامدهای آتی را نوعی ریسک محسوب نمود؟ آیا وجود احتمال کسب بازده بیشتر از بازده مورد انتظار نیز به نوعی تقبل ریسک است؟ از دیگر تلاش‌ها برای توسعه مدل سید سرمایه‌گذاری تلاش برای معرفی اندازه‌گیری‌های ریسک بوده است. جهت کمی نمودن و اندازه‌گیری ریسک تا کنون معیارهای گوناگونی ارائه شده است که منجر به معرفی سنجش‌های ریسک جدید از

قبیل واریانس^۱، نیمه واریانس^۲، قدرمطلق انحراف از میانگین^۳، ارزش در معرض ریسک^۴ ارزش در معرض ریسک مشروط^۵ و ... شده است. در بررسی ادبیات موضوعی که در خصوص انتخاب سبد پروژه وجود دارد به روش‌های مختلف و متنوعی برای حل این مشکل برمی‌خوریم که هر یک به جنبه‌ای خاص از این مشکل توجه داشته‌اند. یکی از تأثیرگذارترین افراد در این بحث، مارکوویتز می‌باشد به طوری که نظریه مارکوویتز در سال ۱۹۵۲ و روش میانگین - واریانس او یکی از قوی‌ترین نظریه‌های موجود می‌باشد [۶].

۱.۲.۲ مدل میانگین - واریانس مارکوویتز

در سال ۱۹۵۲ مارکوویتز مدل پیشنهادی خود را برای انتخاب پورتفولیو ارائه داد. اساس بیشتر مدل‌های موجود برای انتخاب پورتفولیو در ادبیات مالی را عوامل و فاکتورهای پیشنهادی مارکوویتز شکل می‌دهند. از برجسته‌ترین نکات مورد توجه در مدل مارکوویتز توجه به ریسک سرمایه‌گذاری نه تنها بر اساس انحراف معیار یک طرح بلکه با توجه به ریسک مجموعه سرمایه‌گذاری می‌باشد. در روش میانگین - واریانس مارکوویتز جهت محاسبه انحراف معیار، پس از محاسبه میانگین داده‌ها، انحراف داده‌ها از میانگین محاسبه شده و میانگین مجموع مجذورات این انحرافات به عنوان معیار ریسک ارائه می‌گردد ولی نمی‌توان هر گونه انحراف از میانگین را ریسک محسوب نمود. برای رفع این نقیصه می‌توان از نیمه واریانس به عنوان یکی از معیارهای ریسک نامطلوب^۶ استفاده نمود. در ریسک نامطلوب بر خلاف آنچه در مدل مارکوویتز به عنوان ریسک تلقی شده بود (هر گونه انحراف از میانگین به عنوان ریسک محسوب می‌گشت)، تنها ریسک ناشی از کمتر شدن میزان بازده واقعی از بازده مورد انتظار در نظر گرفته شده است.

یکی دیگر از دلایل استفاده از معیارهای ریسک نامطلوب، احتمال نرمال نبودن توزیع بازده سهام است که در این صورت واریانس پاسخ گوی انتظارات تحلیل گران ریسک نخواهد بود. زیرا در حالتی که توزیع جامعه

¹Variance

²Semi- Variance

³Mean-Absolute Deviation

⁴Value at Risk

⁵Conditional Value at Risk

⁶Downside Risk

نرمال نباشد، میانگین و واریانس، نمایی واقعی از داده‌ها را به تصویر نمی‌کشاند. به عنوان مثال فرض کنید مدیری می‌خواهد میانگین موجودی حساب‌های قرض الحسنه یک بانک را محاسبه نماید. چنانچه از مجموع مشتریان بانک چند نفر وجود داشته باشند که موجودی‌های میلیونی داشته باشند، با این فرض به دلیل وجود پراکندگی زیاد در میان داده‌ها، میانگین کل به طور خودکار به سمت بالا میل خواهد کرد. این مسئله ساده خود را در نرمال بودن جامعه آشکار می‌کند. در چنین حالتی، چون مبنای تصمیم‌گیری عموماً میانگین و سایر شاخصه‌های مرتبط با میانگین است با فرض انحراف از توزیع نرمال، تصمیم‌گیری‌ها چهره‌ای منطقی و واقعی نخواهند داشت.

۲.۲.۲ مدل میانگین - نیمه واریانس

به کارگیری واریانس و انحراف معیار در توزیع‌های غیر نرمال امکان‌پذیر نبوده و وابستگی شدیدی به نوع توزیع بازده و نرمال بودن آن دارد. جهت رفع این مشکل می‌توان از معیارهای ریسک نامطلوب استفاده نمود. در این شیوه تابع مطلوبیت فرد سرمایه‌گذار بر اساس میانگین بازده دارایی‌ها و واریانس داده‌های نامطلوب بیان می‌شود. کاربرد مدل میانگین - نیمه واریانس در نظریه سبد سهام قدمتی برابر با واریانس دارد. استفاده از میانگین - نیمه واریانس به عنوان معیار ریسک با انتشار مقاله‌ای مجزا در سال ۱۹۵۲ توسط روی^۱ به عنوان معیار ریسک مطرح گردید [۷].

مارکویتز با تایید نتایج تحقیقات روی دو دلیل: هماهنگی بیشتر ریسک نامطلوب با واقعیات و مفهوم ریسک و مقابله با شرایطی که ممکن است بازده سهام تابع توزیع نرمال نباشد را برای تمایل سرمایه‌گذار به کمینه سازی ریسک نامطلوب ارایه داد.

سرمایه‌گذاران با توجه به اهداف کوتاه مدت تا حد امکان به دنبال نوسانات مثبت هستند و تنها نوسانات منفی را به عنوان ریسک حاصل از سرمایه‌گذاری شناسایی می‌کنند. به عبارتی ریسک متقارن نیست و شدیداً به سمت ریسک نامطلوب تمایل دارد. میران انحراف از بازده مورد انتظار تا جایی خطر آفرین است که به زیان سرمایه‌گذار بینجامد و در غیر این صورت، انحراف از بازده هیچ گونه ریسکی ایجاد نمی‌کند. بنابراین در

¹ Roy

محاسبه ریسک در مواقعی که مقدار بازده تصادفی از بازده مورد انتظار بیشتر باشد، مقدار صفر را جایگزین تفاوت آن دو میکنیم. بنابراین کافی است در مدل بهینه سازی سید سهام میانگین - واریانس از رابطه نیمه واریانس در تعریف ریسک استفاده کنیم.

۱.۲.۲.۲ مدل ریاضی میانگین - نیمه واریانس

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \mu_p = \sum_i w_i \mu_i = W^T \mu \\ \text{Min} \quad & \delta_p^2 = \sum_i \sum_j w_i w_j \delta_i^- \delta_j^- \rho_{ij} \\ \text{s.t.} \quad & \\ & \sum_i W_i = 1 \\ & w_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned}$$

که در آن :

μ_p : بازده مورد انتظار سید سهام

μ_i : بازده سهم i ام

w_i : وزن سرمایه‌گذاری (درصد مبلغ سرمایه‌گذاری در سهم i ام)

δ_p^2 : ریسک به سمت پایین^۱ (نیم واریانس)، بیانگر اثرات کاهشی بازده سهام می‌باشد.

ρ_{ij} : ضریب همبستگی^۲ بین دو سهم i و j ، اگر ρ_{ij} منفی باشد نشان دهنده تاثیر معکوس این دو سهام بر روی یکدیگر است. یعنی اگر قیمت یک سهم در حال افزایش باشد قیمت سهم دیگر در حال کاهش است و برعکس. اگر ρ_{ij} مثبت باشد نشان دهنده تاثیر مستقیم این دو سهام بر روی یکدیگر است. یعنی اگر یک قیمت یک سهم در حال افزایش باشد، قیمت سهم دیگر هم در حال افزایش خواهد بود و برعکس. هر گاه $\rho_{ij} = 0$ آنگاه دو سهم کاملاً مستقل از هم عمل می‌کنند.

¹Downside Risk

²Correlation Coefficient

تابع هدف اول مربوط به بیشینه سازی بازده مورد انتظار سبد سهام و تابع هدف دوم مربوط به کمینه سازی نیمه واریانس (ریسک نامطلوب) بازده سبد سهام می‌باشد.

۲.۲.۲.۲ بررسی مدل میانگین-نیمه واریانس

در نظریه‌های جدید سبد سهام، از نیم واریانس به عنوان معیار ریسک استفاده شده است. پژوهش‌های (کویرک^۱ ۱۹۶۶) و (مائو^۲ ۱۹۷۰) نشان داده اند سرمایه‌گذاران به لحاظ رفتاری و محاسبات فردی، بیش تر به ریسک نامطلوب تمرکز دارند تا ریسکی که همه نوسانات مثبت و منفی را در بر داشته باشد. از معایب استفاده از نیم واریانس، نیاز به اطلاعات زیاد، معادل دو برابر مدل میانگین واریانس و هم چنین ابهام در توانایی تبیین چگونگی توزیع احتمال بازده‌ها را می‌توان نام برد.

۳.۲.۲ مدل شارپ^۳

کاستی‌های مدل مارکوویتز، شارپ را بر آن داشت تا بر اساس نظریه بازار سرمایه، مدل قیمت گذاری دارایی‌های سرمایه^۴ را ارائه کند [۸]. در روش شارپ بازده هر سهم از دو بخش به دست می‌آید. بخش اول حاصل ضرب بازده بازار و ضریبی به نام بتا است. بخش دوم مستقل از بازار است. می‌توان گفت که مدل تک شاخصی ارائه شده به وسیله شارپ وسیله آزمایش مدل قیمت گذاری دارایی‌های سرمایه ای می‌باشد. مدل تک شاخصی بر فرضیه وجود ارتباط خطی معنی دار بین بازده مورد انتظار سبد سهام و بازده مورد انتظار بازار استوار است.

مدل خطی شارپ قادر به تعیین سبد کارا می‌باشد. اما سرمایه‌گذار را در انتخاب سبدهایی که با ترجیحات وی بهترین تناسب را داشته باشد یاری نمی‌دهد. این مدل نشانگر یک تئوری ساده است که نتیجه ساده ای را نیز در پی دارد. این مدل می‌گوید تنها دلیلی که یک سرمایه‌گذار بازده ای بالاتر از میانگین بازار از طریق

¹Quirk

²Mao

³W.F. Sharpe

⁴Capital Asset Pricing Model, CAMP

سرمایه‌گذاری در یک سهام بدست می‌آورد این است که ریسک بیشتری را متحمل شده است و یا سهامی را انتخاب کرده است که ریسک آن بیشتر از ریسک کل بازار است. اما سوال اساسی این است که آیا در واقعیت هم این مدل به این دقت کار می‌کند؟ کاملاً روشن نیست. بزرگترین عامل این ابهام چیزی نیست جز عامل بتا. مطالعاتی که روی بازده بورس‌های آمریکا و نیویورک طی سالهای ۶۳ تا ۹۰ میلادی انجام شد این نکته را مشخص کرد که در این فاصله زمانی نسبتاً طولانی، تفاوت در بازده سال‌های مختلف از طریق تفاوت بتاهای آنها قابل توصیف نیست. هم چنین ارتباط خطی بین بتا و بازده‌های یک سهم در یک دوره زمانی کوتاه برقرار نیست.

۴.۲.۲ مدل راس^۱

سادگی و نیاز کمتر به داده‌های اولیه از جمله مزایای مدل قیمت‌گذاری دارایی‌های سرمایه و مدل تک شاخصی شارپ هستند. البته این مدل‌ها بر اساس مفروضاتی بنا نهاده شده‌اند که برخی از آنها کاملاً غیر واقعی‌اند. از این رو به منظور بهسازی آنها گام منطقی بعدی کاهش مفروضات و شناخت عواملی به غیر از یک عامل ممکن است که قیمت سهام را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به همین منظور در دهه ۷۰ میلادی راس نظریه قیمت‌گذاری آربیتراژ^۲ را پایه‌گذاری نمود [۹].

آربیتراژ در علم اقتصاد به معنای بهره‌گرفتن از تفاوت قیمت بین دو یا چند بازار برای کسب سود است. مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ یک تئوری برای تبیین رابطه تعادلی ریسک و بازده است که می‌تواند برای قیمت‌گذاری دارایی‌ها مورد استفاده قرار گیرد. مدل قیمت‌گذاری آربیتراژ یک مدل عمومی قیمت‌گذاری است که بازده را به صورت یک رابطه خطی با چند فاکتور بنیادی و کلان اقتصادی مدل‌سازی می‌کند. به عبارتی توضیح می‌دهد که چه چیزی باعث ایجاد تفاوت بین بازدهی سهام مختلف می‌شود.

مفهوم اساسی در این مدل قانون وجود یک قیمت می‌باشد. یعنی دو سهم که در ریسک و بازده مشابه‌اند نمی‌توانند در قیمت‌های متفاوت فروخته شوند. بدین ترتیب قیمت‌گذاری نادرست به سرعت از بین می‌رود و آربیتراژ سرانجام تعادل را در بازار بین ریسک و بازدهی ایجاد می‌کند. بنابراین در این مدل با فرض وجود تعادل در بازار و استفاده از دستگاه معادلات، قیمت‌های تعادلی به دست می‌آید.

¹Ross

²Arbitrage Pricing Theory

اگر چه مدل تئوری قیمت گذارایی آربیتراژ مشکل تعیین عایدی و ریسک سرمایه‌گذاری را تا حدودی برطرف نموده است ولیکن به دلیل عدم تعیین تعداد و انواع عواملی که در عایدات سهام‌ها اثر می‌گذارند و هم چنین داشتن مفروضاتی مبنی بر اینکه سرمایه‌گذاران ریسک‌گریزند و مهم‌تر از همه اینکه بازار در حالت رقابت کامل می‌باشد، چنان قابلیت کاربرد و توانمندی را در جهان واقعی ندارد.

۵.۲.۲ مدل قدر مطلق انحراف از میانگین

کونو و یامازاکی در سال ۱۹۹۱ با به کارگیری اندازه ریسک انحراف معیار مطلق به عنوان مفهوم جدیدی از ریسک، مساله‌ی انتخاب سید سهام را به یک مدل برنامه ریزی خطی تبدیل کردند که به مساله میانگین - قدر مطلق انحراف شناخته می‌شود [۱۰].

۱.۵.۲.۲ مدل ریاضی قدر مطلق انحراف از میانگین

$$\text{Max} \quad \mu_p = \sum_i w_i \mu_i = W^T \mu$$

$$\text{Min} \quad s_p^- = \sum_{i=1}^n w_i s_i$$

$s.t.$

$$\sum_i w_i = 1$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, N$$

که در آن :

$$s_i = E|r_i(t) - \mu_i| = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T r_i(t) - \mu_i$$

s_i : مقدار قدرمطلق انحراف از میانگین برای سهم i ام

s_p : مقدار قدرمطلق انحراف از میانگین برای سبد

w_i : وزن سرمایه‌گذاری (درصد مبلغ سرمایه‌گذاری در سهم i ام)

μ_i : بازده مورد انتظار سهم i ام

μ_p : بازده سبد

$r_i(t)$: بازده سهم i ام

تابع هدف اول مربوط به بیشینه سازی بازده مورد انتظار سبد سهام و تابع هدف دوم مربوط به کمینه سازی امید ریاضی قدرمطلق انحراف از میانگین بازده سبد سهام می‌باشد.

۲.۵.۲.۲ بررسی مدل قدر مطلق انحراف از میانگین

مدل قدرمطلق انحراف از میانگین نیز خالی از اشکال نیست. اولین مشکل این مدل این است که هر گونه انحراف چه بیشتر از میانگین چه کمتر از میانگین را بر نمی‌تابد و مانع هر گونه انحراف پورتفولیو از این مقدار میانگین می‌شود حال آنکه انحرافات بیشتر از میانگین به معنی بازده بیشتر از حد انتظار پورتفولیو نیز هست. از اشکالات دیگر این مدل این است که هر گونه انحرافی از میانگین تنها به یک میزان در نظر گرفته می‌شود حال آنکه تاثیر یک انحراف کوچک و یک انحراف بزرگ نسبت به میانگین بر مدل یکسان نیست و در این صورت انحرافات بزرگ باید بیشتر از انحرافات کوچک جریمه شوند.

۶.۲.۲ مدل ارزش در معرض ریسک

در پژوهشی که توسط آرتز و همکاران^۱ انجام شد، مناسب‌ترین معیار برای اندازه‌گیری ریسک معیاری معرفی شد که بتواند در صورت بروز شرایط بد با احتمال معین بیشترین زیان مورد انتظار در طول دوره زمانی مشخص را در نظر بگیرد. به این روش ارزش در معرض ریسک شرطی گفته می‌شود [۱۴].

در دنیای مالی کنونی، ارزش در برابر ریسک از جمله مهم‌ترین مواردی است که در سنجش ریسک مورد استفاده قرار می‌گیرد. هدف اصلی مدیریت سبد سهام، بهینه‌سازی تخصیص دارایی‌ها، مطابق بازده موردانتظار و درجه ریسک است.

مدل‌های مربوط به ریسک سبد، با سرعت از توزیع سود و زیان سنتی، به ارزش در برابر ریسک، توسعه پیدا کرده‌اند. مشتریان علاقه دارند از مقدار زیان سبد خود در شرایط مشخص، اطلاع داشته باشند. از سوی دیگر، ریسک بازار شامل انواع مختلفی از ریسک‌هاست که هر یک دارای خصوصیات خاص خود هستند. ارزش در معرض ریسک از خانواده معیارهای اندازه‌گیری ریسک نامطلوب است. این شاخص حداکثر خسارت مورد انتظار یک سبد (یا بدترین زیان ممکن) را برای یک افق زمانی مشخص با توجه به یک فاصله اطمینان معین بیان می‌کند.

ارزش در معرض ریسک که سرمایه در معرض ریسک نیز نامیده می‌شود، مبلغی از ارزش پورتفولیو یا دارایی را مشخص می‌کند که انتظار می‌رود طی دوره زمانی مشخص و تا میزان احتمالی معین، از دست برود. مثلاً یک بانک ممکن است اعلام کند ارزش در معرض ریسک روزانه خرید و فروش پرتفوی بانک، در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ۱۰ میلیون است. و این یعنی تنها در ۵ مورد از ۱۰۰ معامله روزانه، ممکن است زیانی بیش از ۱۰ میلیون اتفاق افتد.

سادگی مفهوم ارزش در برابر ریسک این امکان را فراهم می‌سازد که نه تنها برای آن دسته از مؤسسات مالی که شامل عملیات تجاری در مقیاس وسیع می‌شوند بلکه برای بانک‌های کوچک، شرکت‌های بیمه، نهادهای سرمایه‌گذاری و کسب و کارهای غیرمالی نیز به عنوان مقیاس ریسک استاندارد معرفی شود. ارزش در برابر ریسک، به ابزاری غیرقابل انکار برای کنترل ریسک و بخش جدایی‌ناپذیری از روش‌های توزیع سرمایه بین

¹Artzner et al

محیط‌های متنوع تجاری تبدیل شده است [۱].

روش‌های متنوعی برای محاسبه ارزش در معرض ریسک همچون روش واریانس - کوواریانس ساده، شبیه سازی تاریخی^۱، شبیه سازی مونت کارلو^۲ و ... وجود دارد. ما در اینجا اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک با استفاده از روش واریانس - کوواریانس ساده را مورد بحث قرار می‌دهیم.

۱.۶.۲.۲ روش واریانس - کوواریانس^۳

این شیوه تخمین یک روش خطی است. برای تخمین ارزش در معرض ریسک در این روش فرض می‌کنیم که تغییر در ارزش سبد ΔW می‌باشد. این روش بیشتر در اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک سرمایه‌گذاری‌ها در بازار مالی کاربرد دارد و فرض اساسی آن نرمال بودن توزیع داده‌های بازده دارایی‌هاست. همان‌طور که می‌دانیم نرخ تغییرات یک سبد، میانگین وزنی نرخ تغییرات عوامل تشکیل دهنده سبد است. بنابراین :

$$\mu_p = W^T \mu = \sum_i w_i \mu_i$$

از طرفی می‌دانیم واریانس سبد از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$\delta_p^2 = \sum_i \sum_j w_i w_j \delta_{ij}$$

w_i : وزن سرمایه‌گذاری

δ_p^2 : واریانس سبد

δ_{ij} : عضو سطر i ام ستون j ام ماتریس واریانس - کوواریانس ϕ است و W ها وزن‌های عوامل تشکیل

دهنده سبد و به عبارتی، سهم سرمایه‌گذاری بر روی دارایی‌ها هستند. اگر بخواهیم ماتریس واریانس -

¹Historical Simulation

²Mont Carlo Method

³Variance-Covariance Method

کواریانس را بنویسیم خواهیم داشت:

$$\phi = \begin{pmatrix} \delta_{1,1}^2 & \cdots & \delta_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \delta_{n,1} & \cdots & \delta_{n,n}^2 \end{pmatrix}$$

بنابراین واریانس سبد برابر است با :

$$\delta_p^2 = V^T \phi V$$

در رابطه فوق V بردار وزن‌ها و V^T ترانزپوز آن است.

طبق تعریف اگر $1 - \alpha$ سطح اطمینان باشد در این صورت، احتمال اینکه تغییرات سبد از میزان ارزش در معرض ریسک کمتر باشد برابر $1 - \alpha$ خواهد بود، یعنی:

$$P(\Delta W \leq V) = 1 - \alpha$$

اگر دو طرف نامساوی داخل پرانتز را در معکوس انحراف معیار سبد ضرب کنیم در نهایت به رابطه زیر خواهیم رسید :

$$VaR = F^{-1}(1 - \alpha) \sqrt{V^T \phi V}.$$

۲.۶.۲.۲ ارائه مدل ریاضی ارزش در معرض ریسک

$$\text{Max} \quad \mu_p = \sum_i w_i \mu_i = W^T \mu$$

s.t.

$$\delta_p^2 < var$$

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1$$

$$VaR = F^{-1}(1 - \alpha) \sqrt{V^T \phi V} < v$$

$$\delta_p^2 = \sum_i \sum_j w_i w_j \delta_{ij}$$

که در آن:

μ_i : بازده مورد انتظار سهم i ام

μ_p : بازده سبد

δ_p^2 : واریانس بازده سبد

δ_{ij} : کوواریانس سهم‌های i ام . j ام

w_i : وزن سرمایه‌گذاری (درصد مبلغ سرمایه‌گذاری در سهم i ام)

v : حداکثر ارزش در معرض ریسک مورد قبول سرمایه‌گذار که نشان می‌دهد سرمایه‌گذار تا چه حد ریسک

پذیر یا ریسک‌گریز است. هر چه این عدد بزرگ‌تر باشد، نشان دهنده ریسک‌پذیر بودن سرمایه‌گذار است.

var : نشان دهنده حداکثر واریانس مورد قبول سرمایه‌گذار است، که مانند حداکثر ارزش در معرض

ریسک مورد قبول، به رفتار سرمایه‌گذار بستگی دارد.

تابع هدف مربوط به بیشینه‌سازی بازده مورد انتظار سبد سهام است. محدودیت اول، مربوط به حداکثر

واریانس بازده قابل قبول سرمایه‌گذار است. محدودیت دوم مربوط به محدودیت کل پول در اختیار سرمایه‌گذار

است. محدودیت سوم مربوط به حداکثر ارزش در معرض ریسک قابل قبول سرمایه‌گذار است که به عنوان یک

محدودیت جدید به مدل مارکوفیتز اضافه شده است [۱].

۳.۶.۲.۲ بررسی مدل ارزش در معرض ریسک

در شرایط عادی، ارزش در معرض ریسک برای سنجش ریسک کوتاه‌مدت (یک روز تا دو هفته) دارای بیشترین کاربرد است. زمانی که الگوهای بازار به دلیل بروز وقایع ناگوار از حالت عادی خارج می‌شوند، ارزش در معرض ریسک معمولاً به میزان قابل ملاحظه‌ای، ریسک را دست پایین اعلام می‌کند. همچنین، تحلیل ارزش در معرض ریسک نیازمند آن است که قیمت‌های تاریخی دارایی‌ها، مشخص و معلوم باشد. در مورد دارایی‌هایی که قبلاً در بورس و بازارهای ثانویه مورد معامله قرار نگرفته‌اند، امکان محاسبه ارزش در معرض ریسک وجود ندارد. استفاده از روش ارزش در معرض ریسک مشابه هر روش دیگر محاسبه ریسک، دارای کمبودها و مشکلات خاص خود است. این روش متکی بر برخی مفروضات خاص و ساده‌کننده است که انطباقی صد درصد با واقعیت ندارند. این مدل نیز همانند هر مدل دیگر، تلاش دارد تا با استفاده از مفروضاتی نزدیک به واقعیت، به نتایجی کاربردی و مفید دست یابد.

با وجود همه مزایای ارزش در معرض ریسک، هنگام به کارگیری این معیار برای تعیین سبد بهینه سهام مشکلاتی وجود دارد، از جمله این که این معیار از نظر محاسبات ریاضی خواص رضایت بخشی ندارد. به این صورت که مدل تشکیل سبد سهام با این معیار، یک مدل برنامه ریزی غیر خطی و غیر محدب و یک مسئله دشوار از مرتبه NP خواهد بود. به این معنا که الگوریتم کارآمدی برای حل قطعی این مساله در ابعاد بزرگ وجود ندارد. با استفاده از بعضی از الگوریتم‌های ابتکاری مانند آنچه در پژوهش‌های کانسیلی^۱ و هم چنین گیلی و گلزی^۲ مطرح شده، نتایج قابل قبولی برای رسیدن به جواب این مسئله به دست آمده است [۱۷] و [۱۶]. گایورونسکی^۳ نشان داد این الگوریتم فقط برای تعداد محدودی سهام مثلاً کمتر از سه سهم کار برد دارد [۱۹]. آرتز و همکاران در پژوهشهای خود نشان دادند که استفاده از معیار ارزش در معرض ریسک، ممکن است سبب جلوگیری از متنوع سازی سبد سهام شود [۱۴]. گیلی و گلزی در پژوهش خود از عدم وجود خاصیت جمع پذیری در معیار ارزش در معرض ریسک سخن گفتند. بدین صورت که ارزش در معرض ریسک یک سبد سهام با دو سهم ممکن است از مجموع ارزش در معرض ریسک هر سهم به تنهایی، بیش تر باشد [۱۶].

¹Consigli

²Gilli Kellezi

³Gaivoronski

در حال حاضر تحقیقات بسیاری برای یافتن مدل‌هایی برای تعیین سبد سهام بهینه با استفاده از ارزش در معرض ریسک در حال انجام است.

۳.۲ حل مساله انتخاب با استفاده از روش‌های هوشمند

دنیای واقعی، پیچیده و متشکل از جزئیات بسیاری است که مدل‌ها نمی‌توانند همه آنها را در برگیرند. نقش مدل، غالباً این است که ساختارهای پیچیده را ساده و عوامل مهم را برجسته سازد. یک مدل خوب مالی، مدلی است که در شناسایی متغیرهای اصلی از دیگر عوامل، به تحلیل‌گر کمک کند. ارزیابی یک مدل تنها براساس توانایی پیش‌بینی آن صورت می‌گیرد و نباید آن را براساس مفروضات به‌کار رفته و یا بر پایه جامعیت مدل در پوشش تمامی جزئیات دنیای واقعی، موردسنجش قرار دارد. به‌بیانی دیگر، اگر یک مدل بتواند در پیش‌بینی آینده و بهبود کارایی فرایند تصمیم‌گیری کمک کند، می‌تواند در عین سادگی موفق باشد.

۴.۲ NP-COMPLETE بودن مساله

با در نظر گرفتن محدودیت اندازه‌ی مبادله در مدل انتخاب سبد سهام، مدل مورد نظر به یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح^۱ تبدیل می‌شود. اما با این حال این مسئله دارای برخی مشکلات می‌باشد از جمله اینکه این مسئله یک مدل درجه دوم می‌باشد و همچنین در مسائل دنیای واقعی نیازمند محاسبات بسیار زیادی برای بدست آوردن ماتریس واریانس - کوواریانس است. از این رو این مدل در دنیای واقعی کارائی چندانی ندارد، زیرا با افزایش ابعاد این مدل به ازای افزایش شمار سهام تشکیل دهنده سبد، دست یافتن به جواب بهینه‌ی دقیق برای این مسئله به واسطه‌ی افزایش پیچیدگی زمانی و حافظه‌ی مورد نیاز، امکان پذیر نیست. اسپرانزا^۲ در پژوهش خود اثبات کرد که یافتن یک جواب شدنی برای مسئله‌ی انتخاب سبد سهام با محدودیت حداقل اندازه‌ی مبادله (یا صحیح بودن اندازه‌ی مبادله) که به معنای محدودیت در حجم معاملات می‌باشد، صرف نظر از نوع اندازه‌ی

^۱Mixed Integer Programming

^۲Speranza

ریسک یک مساله NP-complete است [۱۲]. لذا به کارگیری روش‌های تقریبی، روشی مرسوم برای دست یافتن به جواب نه الزاما بهینه مسئله است.

۵.۲ روش‌های ابتکاری و فراابتکاری در حل مساله انتخاب

مشخصه ذاتی انسان‌ها و دیگر موجودات تمایل به انجام کارها و فعالیت‌ها با کمترین زحمت و نائل شدن به بیشترین سود و منفعت می‌باشد که همین مشخصه، دلیل اصلی دغدغه بشر در افزایش بهره‌وری و بازدهی فعالیت‌های خود در برابر منابع نسبتاً محدود طبیعت است. از آن جایی که برای حل همه مسائل موجود در بهینه سازی روش یکتایی وجود ندارد، روش‌های متنوعی از بهینه سازی برای حل مسائل مختلف بهینه سازی پدید آمده‌اند.

۱.۵.۲ دسته بندی الگوریتم‌های بهینه سازی

روش‌ها و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دو دسته الگوریتم‌های دقیق^۱ و الگوریتم‌های تقریبی^۲ تقسیم‌بندی می‌شوند. الگوریتم‌های دقیق قادر به یافتن جواب بهینه به صورت دقیق هستند اما در مورد مسائل NP کارایی ندارند و زمان حل آنها در این مسائل به صورت نمایی افزایش می‌یابد. الگوریتم‌های تقریبی قادر به یافتن جواب‌های خوب (نزدیک به بهینه) در زمان حل کوتاه برای مسائل بهینه‌سازی سخت هستند. الگوریتم‌های تقریبی نیز به دو دسته الگوریتم‌های ابتکاری^۳ و فراابتکاری^۴ تقسیم‌بندی می‌شوند. هدف الگوریتم‌های ابتکاری تولید جوابی منطقی در مدت زمانی معقول است. این جواب الزاما جواب بهینه مسئله نیست اما نزدیک به آن است. گاهی پیدا کردن جوابی نزدیک به بهینه در مدت زمان کمتر نسبت به پیدا کردن جواب بهینه در مدت زمان بسیار طولانی ترجیح داده می‌شود. دو مشکل اصلی الگوریتم‌های ابتکاری، قرار گرفتن آنها در بهینه‌های محلی، و ناتوانی آنها برای کاربرد در مسائل گوناگون است. الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل این

^۱Exact

^۲Approximate Algorithms

^۳Heuristic

^۴Meta-Heuristic

مشکلات الگوریتم‌های ابتکاری ارائه شده‌اند [۵]. در واقع الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون رفت از بهینه محلی می‌باشند و قابل کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل هستند. رده‌های گوناگونی از این نوع الگوریتم در دهه‌های اخیر توسعه یافته است.

۲.۵.۲ معیارهای طبقه‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری

معیارهای مختلفی می‌تواند برای طبقه‌بندی الگوریتم‌های فراابتکاری استفاده شود:

- **مبتنی بر یک جواب و مبتنی بر جمعیت** : الگوریتم‌های مبتنی بر یک جواب در حین فرایند جستجو یک جواب را تغییر می‌دهند، در حالی که در الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت در حین جستجو، یک جمعیت از جواب‌ها در نظر گرفته می‌شوند.
- **با حافظه و بدون حافظه** : برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری فاقد حافظه می‌باشند، به این معنا که، این نوع الگوریتم‌ها از اطلاعات بدست آمده در حین جستجو استفاده نمی‌کنند (به طور مثال تبرید شبیه‌سازی شده). این در حالی است که در برخی از الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر جستجوی ممنوعه از حافظه استفاده می‌کنند. این حافظه اطلاعات بدست آمده در حین جستجو را در خود ذخیره می‌کند.
- **قطعی و احتمالی** : یک الگوریتم فراابتکاری قطعی نظیر جستجوی ممنوعه، مسئله را با استفاده از تصمیمات قطعی حل می‌کند. اما در الگوریتم‌های فراابتکاری احتمالی نظیر تبرید شبیه‌سازی شده، یک سری قوانین احتمالی در حین جستجو مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- **الهام گرفته شده از طبیعت** : از دهه ۱۹۶۰ به بعد، حل مساله بهینه‌سازی با الگو برداری از مخلوقات زنده طرفداران خاصی پیدا کرد. از جمله این الگو برداری‌ها می‌توان به الگوریتم‌های کلونی مورچگان، ازدحام ذرات، شبکه‌های عصبی، تبرید شبیه‌سازی شده، ژنتیک و ... اشاره کرد. این تکنیک‌ها وقتی در حل مسائل پیچیده دنیای واقعی به کار می‌روند، ناکارآمدی روش‌های معمول را نشان می‌دهند.

۳.۵.۲ پیشینه استفاده از روش‌های فراابتکاری در حل مساله انتخاب

شاید نخستین استفاده از تکنیک‌های فراابتکاری برای حل مسئله بهینه سازی سبد سهام را بتوان کار چانگ^۱ دانست. آنها در مقاله خود با استفاده از الگوریتم ژنتیک^۲، تبرید شبیه سازی شده^۳ و روش جستجوی ممنوع^۴، مسئله انتخاب سبد سهام را بهینه سازی کرده و محدودیت‌های اصلی و محدودیت مربوط به نسبت سرمایه‌گذاری شده در هر سهم را در مدل خود در نظر گرفته‌اند. آنها نشان داده‌اند، در حالت کلی هیچ کدام از این تکنیک‌ها برتری نسبت به دیگری از لحاظ رسیدن به جواب بهینه ندارد و در نهایت استفاده از هر سه این روش‌ها را برای مسئله بهینه سازی سبد سهام پیشنهاد داده‌اند. ریسک در مقاله آنها با معیار میانگین - واریانس اندازه‌گیری شده است.

چانگ و یانگ مسئله انتخاب سبد بهینه سهام را تحت معیارهای ریسک میانگین - واریانس، نیمه - واریانس، واریانس با چولگی و قدر مطلق انحراف از میانگین را با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه سازی کرده‌اند و در هر مورد مرز کارا را برای داده‌های جمع آوری شده از بازارهای سهام مختلف ترسیم کرده و نشان داده‌اند که این الگوریتم می‌تواند به خوبی مسئله انتخاب سبد، تحت معیارهای مختلف ریسک را بهینه سازی کند [۲۵]. یانگ و همکاران^۵ به مسئله انتخاب سبد و سرمایه‌گذاری در سهام صنایع نظامی پرداخته‌اند. آنها از معیار ریسک نیمه واریانس استفاده کرده و محدودیت اصلی را در انتخاب سبد در نظر گرفته‌اند. در این مقاله از الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی ممنوع برای بهینه سازی مدل نیمه واریانس استفاده شده است [۲۷].

سلیمانی و همکاران با در نظر گرفتن مدل میانگین - واریانس مارکویتز سه نوع محدودیت را در این مدل در نظر گرفته‌اند که شامل محدودیت اصلی، محدودیت دسته بندی و محدودیت مربوط به تعداد سهام معامله شده است. آنها برای حل این نوع مسئله، الگوریتم ژنتیک را پیشنهاد داده‌اند و برای تنظیم پارامترهای این الگوریتم و بررسی کارایی الگوریتم پیشنهادی از نرم افزار لینگو^۶ استفاده کرده‌اند [۲۴].

¹Chang

²Genetic Algorithm

³Simulated Annealing

⁴Tabu Search

⁵Yang et al

⁶Lingo

فرناندز و گومز^۱ از شبکه‌های عصبی هاپفیلد^۲ برای بهینه سازی مسئله انتخاب پورتفولیو استفاده کرده‌اند [۲۰]. قابلیت شبکه‌های عصبی برای حل این نوع مسئله با تکنیک‌های ژنتیک، تبرید شبیه سازی شده و روش جستجوی ممنوع مقایسه شده و نتیجه گرفته شده است که هیچکدام از این تکنیک‌ها در حالت کلی برتری نسبت به دیگری ندارند.

آنها همچنین از داده‌های جمع آوری شده از بازارهای سهام مختلف برای مقایسه عملکرد این تکنیک‌ها استفاده کرده‌اند. کراما و سچین^۳ به ارائه الگوریتم تبرید شبیه سازی شده برای مسئله انتخاب پورتفولیو پرداخته‌اند [۱۸]. محدودیت‌های مختلفی در این مسئله در نظر گرفته شده و بیان می‌شود که رویکرد پیشنهادی در صورت استفاده از توابع هدف مختلف برای ریسک، باز هم قابل استفاده است. معیار ریسک در نظر گرفته شده در مدل آنها معیار ریسک میانگین - واریانس است و مسئله بهینه سازی مورد نظر یک مسئله برنامه ریزی درجه دوم مختلط عدد صحیح بوده است.

افراد مختلف مسئله انتخاب سبد پروژه را با روش‌های متفاوتی حل کردند که در جدول ۱.۲ خلاصه شده است [۳].

۶.۲ روش بهینه سازی ازدحام ذرات

یکی دیگر از روش‌هایی که در مساله انتخاب سبد سهام در سال‌های اخیر مطرح شده است، روش بهینه سازی گروه ذرات است. بهینه سازی گروه ذرات یکی از تکنیک‌های بهینه سازی ابتکاری است که بر مبنای جمعیت کار می‌کند. ایده اصلی این روش در ابتدا توسط کندی و ابرهارت^۴ در سال ۱۹۹۵ مطرح گردید [۱۱]. آنها در ابتدا قصد داشتند که با بهره گیری از مدل‌های اجتماعی و روابط موجود اجتماعی، نوعی از هوش محاسباتی را به وجود بیاورند که به توانایی فردی ویژه نیازی نداشته باشد. کار آنان منجر به به ایجاد الگوریتمی قوی برای بهینه سازی، به نام الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات شد، که از رفتار دسته جمعی ماهی‌ها و پرندگان برای

¹Fernandez and Gomez

²Hopfield Neural Network

³Crama, and Schyns

⁴kennedy , Eberhart

جدول ۱۰۲: تاریخچه حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از روش‌های هوشمند

سال	محقق و مولف	روش ارائه شده
۱۹۷۸	آکر و تیبیجی	برنامه ریزی عدد صحیح صفر و یک
۱۹۹۱	کاراوی و اشمیت	برنامه ریزی پویا
۱۹۹۵	موخروجی و برا	برنامه زیری آرمانی
۱۹۹۵	سائتانام و کیپاریسیس	برنامه ریزی غیر خطی صفر و یک همراه برنامه ریزی آرمانی
۲۰۰۴	دورنر و همکاران	الگوریتم مورچگان
۲۰۰۷	محمود زاده و همکاران	تاپسیس در محیط فازی
۲۰۰۷	هلوآنی و همکاران	روش PROMETHEE- MD- 2T
۲۰۰۹	قربانی و ربانی	الگوریتم ژنتیک
۲۰۱۰	کارازو و همکاران	جست و جوی ممنوعه

یافتن غذا الهام می‌گیرد.

الگوریتم ازدحام ذرات رویکردی احتمالی و مبتنی بر تشکیل جوامع، برای بهینه سازی توابع است. روش ازدحام ذرات بر این منطق استوار است که با اشتراک گذاشتن اطلاعات بین اعضای یک جامعه، یا یک گونه‌ی خاص از موجودات، تکامل می‌تواند صورت پذیرد و موجودات زنده اغلب قادرند با همکاری تیمی به اهداف پیچیده دست یابند.

روش ازدحام ذرات، یک روش سراسری بهینه سازی است. در این چنین فضایی، فرضیاتی مطرح می‌شود و یک سرعت ابتدایی به ذرات اختصاص داده می‌شود. همچنین کانال‌های ارتباطی بین ذرات در نظر گرفته می‌شود. سپس این ذرات در فضای پاسخ حرکت می‌کنند و نتایج حاصله بر مبنای یک ملاک شایستگی پس از

هر بازه زمانی محاسبه می‌شود. با گذشت زمان ذرات به سمت ذراتی که دارای ملاک شایستگی بالاتری هستند و در گروه ارتباطی یکسانی قرار دارند، شتاب می‌گیرند.

کندی و ابره‌ه‌ارت در تحقیقات خود در سال ۱۹۹۵ نشان دادند روش ازدحام ذرات بی نیاز از هر گونه اطلاعات مشتقی، در فضاها و مسائل پیچیده و مشتق ناپذیر از خود عملکردی کارا، قوی و انعطاف پذیر به جا می‌گذارد. آنها همچنین نشان دادند که الگوریتم ازدحام ذرات از بعد محاسباتی، الگوریتم هزینه بر و گرانی نیست و حتی با حافظه‌ها و پردازشگرهای بسیار معمولی که در اغلب رایانه‌های خانگی نیز یافت می‌شوند، قابل اجراست [۱۱].

۱.۶.۲ انواع روش‌های بهینه سازی ازدحام ذرات

الگوریتم‌های روش ازدحام ذرات در حالت کلی به دسته‌های زیر تقسیم می‌شوند:

- **بهینه سازی گروه ذرات تک هدفی** : این دسته از الگوریتم‌ها تنها پاسخ یک مسئله بهینه سازی پیوسته و بدون قید را پیدا می‌کنند.
- **بهینه سازی گروه ذرات بر اساس مفهوم نیچ^۱** : این الگوریتم‌ها تلاش می‌کند تا راه حل‌های چندتایی را در مسائل بهینه سازی پیدا کند. الگوریتم‌های نیچ مدل دیگری از پردازش‌های طبیعی می‌باشند که عده ای افراد برای یافتن منابع محدود در طبیعت با یکدیگر به رقابت می‌پردازند.
- **بهینه سازی گروه ذرات مقید و محدود شده** : الگوریتم‌هایی از بهینه سازی گروه ذرات را شامل می‌شوند که برای حل مساله دارای قید توسعه داده شده‌اند. بسیاری از مسائل مهندسی دارای محدودیت هستند.
- **بهینه سازی گروه^۲** : دسته الگوریتم‌هایی از بهینه سازی گروه ذرات است که برای مسائل با چندین زیر هدف Mini-Max به کار برده می‌شوند.

¹Niching PSO

²Multi Objective Optimization

- بهینه سازی گروه با محیط متغیر: الگوریتم‌هایی از بهینه سازی گروه ذرات را شامل می‌شوند که قادرند نقاط بهینه را در فضای جست و جوی پویا پیدا نموده و دنبال نمایند.
- بهینه سازی گروه ذرات در فضای گسسته: الگوریتم‌هایی از بهینه سازی گروه ذرات را شامل می‌شوند که برای مسائل یا بهینه سازی در فضای گسسته به کار برده می‌شوند.

۲.۶.۲ معایب روش و راه حل‌های ارائه شد

بعد از اینکه مدل اصلی الگوریتم ازدحام ذرات ارائه شد، تحقیقات بسیاری جهت از بین بردن نقاط ضعف آن صورت گرفت که در زیر به نمونه‌هایی از این روش‌ها می‌پردازیم.

در روش ازدحام ذرات همانند دیگر روش‌های فرا ابتکاری تضمینی برای یافتن جواب بهینه وجود ندارد و امکان دارد که این الگوریتم‌ها در کمینه‌های محلی قرار بگیرد و به همگرایی زود رس برسد. برای رفع این مشکلات روش‌های بسیاری ارائه شده است. الگوریتم‌های این دسته را می‌توان به پنج دسته زیر تقسیم بندی کرد:

- الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت : این دسته شامل الگوریتم‌هایی هستند که از توپولوژی‌های اجتماعی متفاوتی برای همسایگی ذرات استفاده می‌کنند و همچنین در این گونه الگوریتم‌ها مدل‌های مختلفی برای رد و بدل کردن اطلاعات در بین ذرات وجود دارد.

- الگوریتم‌های ترکیبی : این دسته شامل الگوریتم‌های ترکیبی از روش ازدحام ذرات با الگوریتم‌های دیگر می‌باشد. به عنوان مثال یان^۱ و میانو^۲ در پژوهشی با استفاده از ترکیبی از روش‌های ازدحام ذرات و ژنتیک به انتخاب سبد بهینه با استفاده از عامل نیم واریانس پرداختند. آنها نشان دادند که استفاده ترکیبی از این دو روش به مراتب کارتر از کاربرد هر یک از این روش‌ها به تنهایی می‌باشد؛ کارایی اشاره به انجام کار به شیوه درست دارد. در تحقیق دیگر اس سی چيام^۳ با ترکیب الگوریتم ژنتیک و تکنیک

^۱yan

^۲miano

^۳s.c.chiam

بهینه سازی ازدحام ذرات در قالب الگوریتم ممتیک نشان دادند که با استفاده از این الگوریتم سیدی به مراتب کارتر از زمانی که این الگوریتم‌ها به صورت جداگانه اعمال شوند به دست خواهد آمد.

• **الگوریتم‌های چند جمعیتی :** در این روش‌ها که تعمیمی بر روش‌های ازدحام ذرات می‌باشد به این صورت عمل می‌شود که به جای اینکه یک دسته ذره برای حل مساله استفاده شود چندین دسته برای پیدا کردن جواب بهینه شروع به کار می‌کنند. این گروه‌ها می‌توانند کاملاً مجزا یا یکدیگر رفتار نمایند یا می‌توانند با یکدیگر نیز در تعامل باشند.

• **الگوریتم‌های بر پایه فرهنگ :** در این روش‌ها مکانیزم جست و جوی محلی با الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد ادغام شده است.

• **الگوریتم‌های با چند نقطه شروع:** در این نوع الگوریتم‌ها هنگامی که الگوریتم‌های به مرحله خاصی از جست و جو می‌رسد ذرات کل گروه یا قسمتی از گروه را دوباره در فضای جست و جو قرار می‌دهند.

• **الگوریتم‌های جذبی:** در این گونه از الگوریتم‌ها سعی می‌شود که از برخورد ذرات جلوگیری شود و یا ذرات جذب یکدیگر شوند. هدف از این دسته الگوریتم‌ها افزایش تنوع در بین ذرات می‌باشد.

۷.۲ نتیجه گیری

با توجه به وجود پارامترهای زیادی که بر روی روش ازدحام ذرات تاثیر می‌گذارند همانند تعداد ذرات، ابعاد مساله، وزن اینرسی، اندازه همسایه‌ها و ... از این رو در مدل‌های مختلف ارائه شده سعی شده تا با در نظر گرفتن این پارامترها، احتمال افتادن در دام بهینه‌های محلی کاهش یافته و هم چنین توانایی جستجوی سراسری و جستجوی محلی الگوریتم بالا رود و از طرفی سرعت همگرایی نیز افزایش یابد. با توجه به نو ظهور بودن این روش و با توجه به وجود پارامترهای زیاد دخیل در فرآیند بهینه سازی ازدحام ذرات به رغم کارهای متعددی که در سال‌های اخیر در این زمینه انجام شده است هنوز نیاز به تحقیقات گسترده تر و شناخت هر چه بیشتر این روش به منظور بهینه سازی آن احساس می‌شود.

از این رو در فصل‌های بعدی به ارائه مدلی برای حل مساله انتخاب با استفاده از روش ازدحام ذرات بهبود یافته می‌پردازیم و نتایج حاصله از آن را با نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک در حل این مساله مقایسه می‌کنیم.

فصل ۳

روش ازدحام ذرات در حل مساله انتخاب

سبد بهینه

۱.۳ مقدمه

در ادامه مباحث مربوط به بهینه سازی سبد سهام با توجه به آگاهی که در مورد روش ازدحام ذرات در حل مسائل بهینه سازی در فصل قبل به دست آوردیم، در ابتدا به بیان مفاهیم اولیه در این روش پرداخته، عملکرد و پارامترهای دخیل در آن را مورد بررسی قرار می‌دهیم. سپس مدل ریاضی الگوریتم ازدحام ذرات را ارائه می‌دهیم. در انتها مساله انتخاب سبد بهینه را در دستور کار خود قرار داده و به ارائه مدلی استاندارد جهت حل مساله انتخاب سبد بهینه توسط الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات، مستقل از مدلی که برای حل مساله در نظر گرفته شده است، می‌پردازیم.

۲.۳ مفاهیم اولیه

- روش ازدحام ذرات بر مبنای حرکت و هوش ذرات است.
- روش ازدحام ذرات مفهوم تعامل اجتماعی را برای حل مسائل بهینه سازی به کار می گیرد.
- هر ذره در حال جست و جو برای پیدا کردن نقاط بهینه است.
- هر ذره در حال جابجایی است (در غیر این صورت نمی تواند جست و جو کند).
- هر ذره در هر مرحله موقعیتی را که بهترین نتیجه را در آن داشته است به خاطر می سپارد (بهترین موقعیت فردی هر ذره).
- ذرات در گروه ذرات با هم همیاری می کنند. ذرات اطلاعاتی که درباره موقعیتی که در آن هستند را با هم تبادل می کنند.
- حرکت هر ذره به سه عامل بستگی دارد:

۱. موقعیت فعلی ذره^۱

۲. بهترین موقعیتی که تاکنون ذره داشته است.^۲

۳. بهترین موقعیتی که کل مجموعه ذرات تاکنون داشته اند،^۳ که این مورد نتیجه تعامل و همکاری

ست که ذرات در شناسایی بهترین جوابی که تاکنون به دست آورده اند، انجام می دهند.

¹Particle's Current Position

²Particle's Personal Best position

³Global Best Position

۳.۳ عملکرد روش ازدحام ذرات

این الگوریتم به ایجاد و نگهداری گروهی از پاسخ‌های مناسب می‌پردازد. به این پاسخ‌ها به عنوان ذره^۱ اشاره می‌شود. در ابتدا الگوریتم به ایجاد جمعیتی تصادفی از ذرات اقدام می‌کند. سپس ذرات با استفاده از مکانیزم بردار سرعت، به سوی پاسخ بهینه، تکامل و پیشرفت می‌نمایند. بردار سرعت، خود نیز بر اساس حافظه‌ی کسب شده توسط ذرات، تغییر یافته و بهنگام می‌شود. از نظر مفهومی این حافظه، دو بعد شخصی و جمعی دارد که در واقع مبین دانش کسب شده توسط فرد و اجتماع است. ذرات با این مکانیزم‌ها در فضای حالت‌های چند بعدی اصطلاحاً پرواز داده می‌شوند و به سوی بهترین پاسخی که توسط خود و همسایگان‌شان یافت می‌شود پیش می‌روند. به عبارتی اثر این پرواز، حرکت جمعی به سوی نقطه کمینه (یا بیشینه) با نیم نگاهی به کل فضای حالت و بهنگام رسانی بهینه هاست. عملکرد هر ذره در نزدیک شدن به پاسخ بهینه به وسیله‌ی یک تابع ارزیابی^۲ یا شایستگی که مبین مسئله‌ی تحت بهینه سازی است، سنجیده می‌شود.

روند بهینه سازی روش‌های مبتنی بر جمعیت - همانند روش ازدحام ذرات - شامل دو مرحله اصلی اکتشاف^۳ و بهره برداری^۴ است. فاز اکتشاف مسئول شناسایی نوید بخش ترین و امیدوارکننده ترین نواحی فضای حالت است، در حالی که فاز بهره برداری، مسئول گسترش همگرایی ذرات به سوی بهترین پاسخ شناسایی شده تا آن لحظه است. طی اجرای الگوریتم می‌توان این دو گام را به صورت همزمان و یا پیاپی پیش برد. اثر اندازه جمعیت و همسایگی بر تعاملات فی ما بین این دو فاز امری اثبات شده است. اما چگونگی این اثر و حساسیت تعاملات، هنوز به روشنی مشخص نیست و رویه رسمی و اثبات شده ای برای تعیین بهینه‌ی این اندازه وجود ندارد. اگرچه این ابهامات در مورد الگوریتم ازدحام ذرات به دلیل نوپایی وجود دارد، اما قواعد و قوانین سر انگشتی برای تعیین اندازه جمعیت و همسایگی وجود دارد.

¹Particle

²Fitness function

³Exploration

⁴Exploitation

۴.۳ پارامترهای الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد

پارامترهای زیادی هستند که بر روی الگوریتم ازدحام ذرات تاثیر می‌گذارند، به عنوان مثال تعداد ذرات، ابعاد مساله، وزن اینرسی، اندازه همسایه‌ها، تعداد تکرارهای الگوریتم، ضرایب ثابت مولفه‌های اجتماعی، مولفه‌های شناختی و ماکزیم سرعت یک ذره.

• **اندازه گروه:** هر گاه تعداد ذرات زیاد باشد و ذرات در فضای جست‌وجو به طور یکنواخت توزیع شده باشند، تنوع در بین ذرات زیاد شده و الگوریتم راندمان بالاتری می‌یابد. البته باید توجه داشت که تعداد زیاد ذرات در پیچیدگی الگوریتم ارتباط مستقیم دارند. هر چند نسبت زمانی که تعداد ذرات کم است، تعداد تکرارهای الگوریتم کمتر است و زمان رسیدن به پاسخ بهینه کمتر است، با این حال مقدار مناسب ذرات به مساله بستگی دارد.

• **اندازه همسایگی:** اندازه همسایگی تاثیر زیادی در تعامل بین ذرات دارد. سائز همسایگی کم، تعامل بین ذرات را کاهش می‌دهد و نرخ همگرایی در این روش کم بوده و امکان قرار گرفتن ذره در بهینه محلی^۱ را کاهش می‌دهد. جهت استفاده از فواید همسایگی بزرگ و کوچک در ابتدا اندازه همسایگی را کوچک و سپس بزرگ در نظر می‌گیریم.

• **ضرایب سرعت:** از این دو پارامتر به عنوان پارامترهای اعتماد نیز یاد می‌شود. چرا که مبین میزان اعتمادی است که ذره به خود (C_1 یا پارامتر خودشناسی^۲) و گروه (C_2 یا پارامتر اجتماعی^۳) دارد. C_1 و C_2 با ضرایب r_1 و r_2 نقش بسیار زیادی در راندمان ذره دارند. اگر $C_1 = C_2 = 0$ باشد، ذرات فقط با سرعت خاصی بدون هدف در فضا حرکت می‌کنند و آنقدر به حرکت خود ادامه می‌دهند تا به مرز فضای جست‌وجو برسند. اگر $C_1 > 0$ و $C_2 = 0$ باشد، ذرات فقط به تجربه فردی خود توجه می‌نمایند. اگر $C_1 = 0$ و $C_2 > 0$ باشد، ذرات فقط به بهترین فرد گروه توجه می‌کنند. در بسیاری از الگوریتم‌ها این دو مقدار را ثابت در نظر می‌گیرند.

¹Local Optimum

²Cognitive Parameters

³Social Parameters

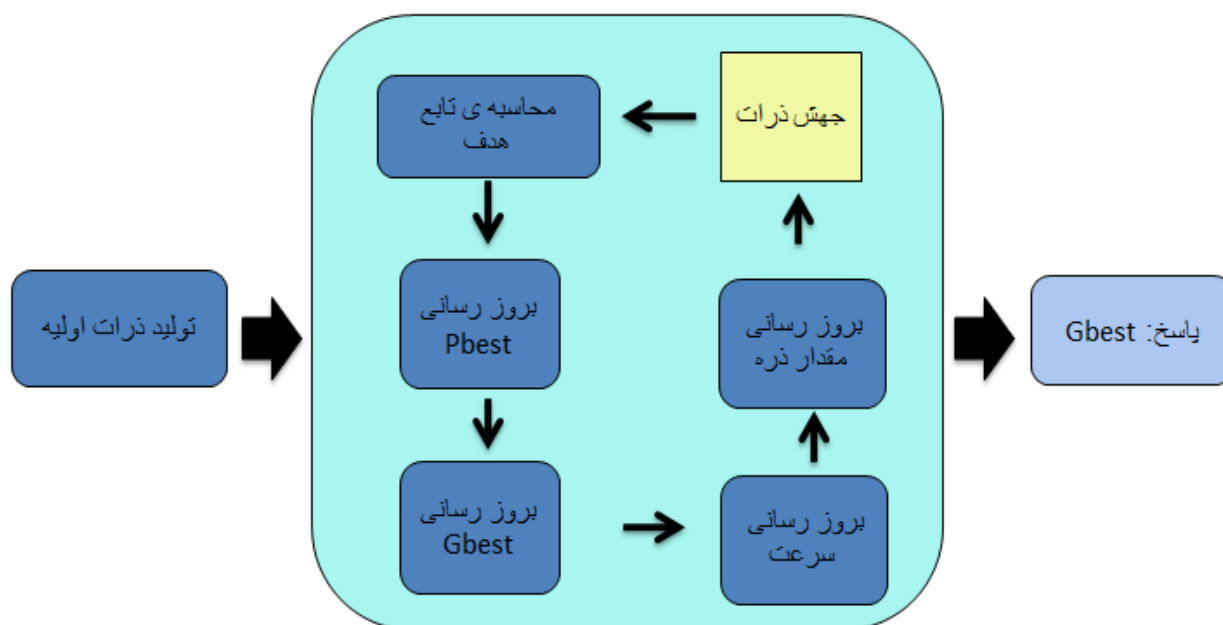
- **وزن اینرسی^۱** : این پارامتر اولین بار توسط شی و ابره‌ه‌ارت معرفی شد [۳۶]. وزن اینرسی ضریب سرعت قبلی ذره می‌باشد که مشخص می‌نماید سرعت قبلی تا چه اندازه در محاسبه سرعت فعلی ذره دخیل است. وزن اینرسی رابطه و تعاملات بین اکتشاف و بهره‌برداری را کنترل می‌کند. این پارامتر با تأثیر مستقیم بر بردار سرعت ذره، نقش بسیار مهمی در همگرایی ذرات در الگوریتم ازدحام ذرات بازی می‌کند. جهت تنظیم این پارامتر از روش‌های زیادی از جمله مقدار تصادفی، کاهش خطی وزن اینرسی، کاهش غیر خطی وزن اینرسی، وزن اینرسی تطبیفی فازی و ... استفاده می‌کنند. در این پژوهش ما از کاهش خطی وزن اینرسی بهره برده ایم.

۵.۳ مراحل اجرای الگوریتم به شرح زیر است:

۱. ایجاد جمعیت اولیه و ارزیابی آن
 ۲. تعیین بهترین خاطره‌های شخصی و بهترین خاطره جمعی
 ۳. بروز رسانی سرعت و موقعیت ذرات
 ۴. در صورت برآورده نشدن شرایط به مرحله ۲ می‌رویم.
 ۵. پایان . شرایط خاتمه :
- رسیدن به حد قابل قبولی از پاسخ
 - سپری شدن تعداد تکرار/ زمان مشخص
 - سپری شدن تعداد تکرار/ زمان مشخص بدون مشاهده بهبود خاصی در نتیجه
 - بررسی شدن تعداد مشخصی از پاسخ‌ها

شکل ۱.۳ مراحل اجرای الگوریتم ازدحام ذرات را نشان می‌دهد.

¹Inertia Weight



شکل ۱۰۳: الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

۶.۳ مدل ریاضی الگوریتم ازدحام ذرات

فرض کنید فضای حالت مسئله n بعدی است. در چنین فضایی می توان هر ذره گروه را با یک بردار n بعدی مکان همانند $X_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in})$ که موقعیت فعلی ذره i ام و بردار n بعدی سرعت همانند $V_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in})$ که سرعت فعلی ذره i ام را نشان می دهد، توصیف کرد. این بردار سرعت، برداری احتمالی است و به فاصله ذره از بهترین خاطره شخصی و نیز فاصله اش از بهترین خاطره همسایگی اش بستگی دارد (منظور از خاطره همان حافظه ای از پاسخ ها است. بنابراین در لحظه شروع، خاطره، مکان همان لحظه است). همچنین شایستگی هر ذره توسط تابع ارزیابی مسئله قابل سنجش است. بهترین مکان قبلی که هر ذره در آن بوده است با عنوان بهترین مکان شخصی و بردار $P_i = (p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{in})$ شناخته می شود. موقعیت برترین عضو از مجموعه ی حاصل که در واقع بهترین مکان شخصی کل ذرات نیز می باشد، با عنوان بهترین مکان جامع ذرات با بردار $G_i = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{in})$ شناخته می شود. در هر مرحله از پیشرفت الگوریتم،

بردارهای مکان و سرعت با استفاده از معادلات زیر بهنگام می‌شوند.

$$\text{برای } i = 1, 2, \dots, m \text{ و } j = 1, 2, \dots, n$$

$$V_{ij}(t+1) = W \times V_{ij}(t) + C_1 r_{1j}(t) \times [P_{ij}(t) - X_{ij}(t)] + C_2 r_{2j}(t) \times [G_{ij}(t) - X_{ij}(t)],$$

$$X_{ij}(t+1) = X_{ij}(t) + V_{ij}(t+1).$$

که در این معاملات :

m : تعداد کل ذرات گروه و یا اندازه گروه

n : ابعاد مساله یا تعداد پارامترهای تحت تابع بهینه سازی

r_1, r_2 : متغیرهای مستقل با توزیع یکنواخت در بازه (۰،۱)

$X_{ij}(t)$: مکان ذره i در بعد j در لحظه t

$V_{ij}(t)$: سرعت ذره i در بعد j در لحظه t

$P_{ij}(t)$: بهترین مکان شخصی ذره i در بعد j در لحظه t

$G_{ij}(t)$: بهترین مکان جامع ذرات همسایگی ذره i در بعد j در لحظه t

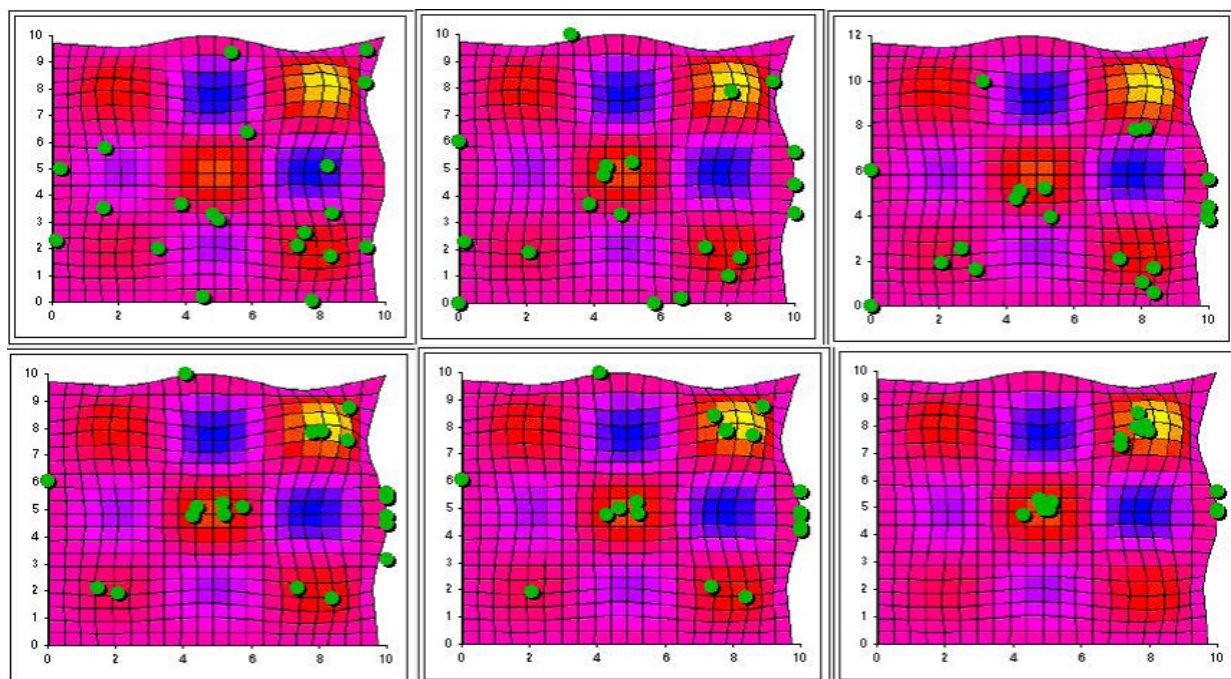
C_1, C_2 : پارامترهای مثبت با مقادیر ثابت که به ضریب شتاب معروف هستند.

W : وزن لختی یا وزن اینرسی نامیده می‌شود.

۷.۳ واکاوی پارامترها در روش ازدحام ذرات

پارامترهای C_1, C_2 و W نقش بسیار مهمی در رفتار همگرایی روش ازدحام ذرات ایفا می‌کنند. هر ذره جهت حرکت در فضای جست‌وجو به یک میزان خاص به سمت بهترین مکان شخصی و بهترین مکان جامع ذرات حرکت نموده و براساس این دو موقعیت، موقعیت و سرعت خود را به روز می‌کند. اگر مقدار این پارامترها پایین باشد، به ذره کمک می‌کند تا با فاصله زیادی نسبت به سایر پاسخ‌های بهینه حرکت نماید و در صورتی که مقدار

این پارامترها بالا باشد ذره به طور ناگهانی به سمت این دو نقطه مینیمم حرکت می‌نماید و دیگر فرصت جستجوی خود در محیط را از دست می‌دهد. در فرایند جستجو بعضی از مواقع رفتار اجتماعی مهم تر از رفتارهای شناختی ذرات است. میتوان این رفتارهای اجتماعی و شناختی ذره را با استفاده از یک سری از پارامترهای آماری تنظیم نمود که ذرات گروه در مسیر درستی حرکت نمایند. به عنوان مثال در ابتدای جستجوی ذرات در فضا، جستجوی سراسری مناسب تر از جست و جوی محلی ذرات می‌باشد. در این مرحله می‌توان مقادیر W و پارامترهای رفتار اجتماعی ذرات را افزایش و مقادیر پارامترهای شناختی ذرات را کاهش داد. در این صورت ذرات می‌توانند حداکثر تعامل را با یکدیگر داشته باشند و ناحیه بهتر (با شایستگی بهتر) را تشخیص دهند. پس از یافتن ناحیه مناسب ذرات رفته رفته جستجوی محلی خود را آغاز می‌نمایند به گونه ای که مقدار پارامتر شناختی ذرات افزایش و مقدار پارامتر اجتماعی و W ذرات کاهش می‌یابد. همان طور که تابع شایستگی ذره بهتر و بهتر می‌شود باید ذره فضای جست و جوی خود را کاهش دهد اما با دقت بیشتری در آن فضا حرکت نماید. این بدین مفهوم است که تعامل اجتماعی ذرات باید کاهش یابد. هنگامی که ذرات به صورت محلی یک منطقه را جستجو می‌نمایند اگر به یکدیگر توجه نمایند و رفتار اجتماعی داشته باشند سریعاً همگرا می‌شوند چه بسا این همگرایی زودرس باشد. شکل ۲.۳ روند حرکت ذرات در یک گروه را نشان می‌دهد.



شکل ۲.۳: روند حرکت ذرات در یک گروه

۸.۳ مدل تک هدفه مساله انتخاب سبد سهام

همان طور که در فصل دو به طور کامل بیان شد مساله انتخاب سبد سهام یک مساله بهینه سازی چند هدفه^۱ می باشد. ما در این بخش ابتدا این مساله چند هدفه را به صورت مساله تک هدفه در آورده و سپس با الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات به حل آن می پردازیم.

برای تبدیل مساله چند هدفه به مساله تک هدفه از دو طریق می توان عمل کرد:

۱. کمینه سازی ریسک با تعیین حداقل مورد انتظار بازده

۲. بیشینه سازی بازده با تعیین حداکثر ریسک قابل قبول

در این پژوهش ما حالت اول را مورد بررسی قرار می دهیم. مستقل از روش حلی که برای مساله در نظر گرفته

¹Multi Objective Optimization

شده است، مساله انتخاب سبد سهام را به صورت یک مساله کمینه سازی واریانس با تعریف حداقل بازده مورد انتظار تعریف می‌کنیم:

$$\text{Min } Risk(w)$$

$$s.t.$$

$$\mu_p = W^T \geq \mu_{po}$$

$$\sum_i w_i = 1$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 0, 1, \dots, n$$

که در این معادلات:

w_i : وزن سرمایه‌گذاری سهم i ام

μ_p : بازده مورد انتظار سبد سهام

μ_{po} : حداقل بازده مورد انتظار سبد سهام

n : تعداد سهام

تابع هدف مساله مربوط به کمینه سازی ریسک بازده می‌باشد. محدودیت اول مربوط به حداقل بازده مورد

انتظار سرمایه‌گذاری است، محدودیت دوم مربوط به محدودیت کل پول در اختیار سرمایه‌گذار است.

برای اطمینان از برقراری قید دوم کفایت مقدار

$$0 \leq \hat{w}_i \leq 1$$

در نظر بگیریم، در این صورت با قرار دادن :

$$w_i = \frac{\hat{w}_i}{\sum_j \hat{w}_j}$$

آنگاه قید مورد نظر برای w_i ها بر آورده خواهد شد. برای اطمینان از برقراری قید اول روش‌های مختلفی

وجود دارد. یکی از این روش‌ها روش تابع جریمه^۱ است. در این روش به این صورت عمل می‌کنیم:

برای جواب‌هایی که قید برای آنها برقرار است که تابع هدف بدون تغییر برقرار می‌ماند. ولی برای حالاتی که قید برقرار نباشد به جای حل مساله مذکور، مساله زیر را حل می‌کنیم:

$$\text{Min Risk} + \text{Penalty}$$

روش‌های مختلفی برای تعیین تابع جریمه وجود دارد. در حالت کلی با توجه به می‌نیم بودن مساله مورد نظر، جریمه یک مقدار مثبت می‌باشد که برای جواب‌هایی که قید برای آنها برقرار نیست مقدار تابع هدف را افزایش می‌دهد.

در واقع در اینجا شاخصی به نام تخطی^۲ تعریف می‌کنیم که:

$$V = \max \left(0, 1 - \frac{\mu_p}{\mu_{p0}} \right).$$

در این حالت تابع هدف را می‌توان به یکی از صورت‌های زیر در نظر گرفت:

$$\text{Risk}(w) + \alpha \times V(w).$$

$$\text{Risk}(w) + [1 + \beta \times V(w)].$$

در اینجا ما به علت پیچیدگی محاسباتی که گاهی برای محاسبه α به وجود می‌آید، حالت دوم را در نظر می‌گیریم. پس مساله ما به صورت زیر در می‌آید:

$$\text{Min Risk}(w) \times [1 + \beta \times \text{Max} \left(0, 1 - \frac{\mu_p}{\mu_{p0}} \right)]$$

s.t

$$\sum_i w_i = 1$$

$$w_i \geq 0 \quad i = 0, 1, \dots, n$$

¹Penalty function

²Violation

۹.۳ شبه کد ارائه شده برای حل مساله انتخاب سید سهام با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

For each particle $i \in 1, \dots, s$ do

Randomly initialize x_i

Randomly initialize v_i (or just set v_i to zero)

Set $y_i = x_i$

Endfor

For each particle $i \in 1, \dots, s$ do

Evaluate fitness(portcost) of particle i, $f(x_i)$

Update

$$y_i(t+1) = \begin{cases} y_i(t) & \text{if } f(x_i(t+1)) \geq f(y_i(t)) \\ x_i(t+1) & \text{if } f(x_i(t+1)) < f(y_i(t)) \end{cases}$$

Update y using

$$y_t \in \{y_o, y_1, \dots, y_s\} = \min\{f(y_o(t)), f(y_1(t)), \dots, f(y_s(t))\}$$

For each dimension $j \in \{1, \dots, N_d\}$ do

Apply velocity update using

$$V_{ij}(t+1) = W \times V_{ij}(t) + C_1 \times r_{1j}(t) \times (P_{ij}(t) - X_{ij}(t)) + C_2 \times r_{2j}(t) \times (G_{ij}(t) - X_{ij}(t))$$

endloop

Apply position update using

$$X_{ij}(t+1) = X_{ij}(t) + V_{ij}(t+1)$$

endloop

Until som convergence criteria in satisfied

فصل ۴

پیاده سازی مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات

۱.۴ مقدمه

در این فصل در ابتدا به پیاده سازی مدل‌های کلاسیک در حل مساله انتخاب سبد سهام با استفاده از نرم افزار متلب می‌پردازیم. پس از آن تنظیمات اعمال شده در الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد را بیان کرده، سپس مساله انتخاب سبد بهینه را با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری ازدحام ذرات و ژنتیک پیاده سازی می‌کنیم و به مقایسه نتایج حاصله از این دو الگوریتم می‌پردازیم.

۲.۴ پیاده سازی مدل های کلاسیک در حل مساله ی انتخاب سبد

سهام با استفاده از نرم افزار متلب^۱

در این بخش، اقدام به حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از روش های کلاسیک (روش های برنامه ریزی درجه دوم) به منظور دست یابی به جواب های دقیق مساله می کنیم. با توجه به اینکه روش های کلاسیک تنها قادر به حل مسائلی با تعداد محدود سهام می باشند از این روش سبدي که ما در این بخش در نظر گرفته ایم، متشکل از تنها هشت سهم می باشد.

داده های سری زمانی به کار گرفته شده در این پژوهش مربوط به قیمت هشت شاخص سهام مربوط به شرکت های بین المللی ماشین آلات^۲، گوگل^۳، اپل^۴، یاهو^۵، آمازون^۶، اچ پی^۷، اینتل^۸ و جنرال الکتریک^۹ از بازار جهانی در بازه زمانی اول ژانویه ۲۰۱۵ تا اول فوریه ۲۰۱۵، به همراه مقادیر مربوط به واریانس ها، کواریانس ها و میانگین های آنها می باشد. از آنجایی که مقیاس قیمت در هر سهم متفاوت از دیگری ست، از این رو به جای قیمت هر شاخص، از بازده^{۱۰} آن استفاده می کنیم. در این صورت کمیت ها هم مقیاس شده و امکان مقایسه آنها فراهم می گردد.

در جداول زیر مقادیر مربوط به ریسک و بازده استراتژی مختلف را با استفاده از مدل های کلاسیک محاسبه کرده ایم. هر کدام از این استراتژی ها در سبد سهام بیانگر یک نقطه می باشد.

¹ Matlab

² IBM

³ GOOGL

⁴ AAPL

⁵ YHOO

⁶ AMZN

⁷ HPQ

⁸ INTC

⁹ GE

¹⁰ Return

جدول ۱۰۴: مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش میانگین - واریانس

استراتژی	وزن سرمایه‌گذاری مربوط به سهام								ریسک	بازده
	IBM	GOOGL	AAPL	YHOO	AMZN	HPQ	INTC	GE		
استراتژی ۱	۰/۳۳۶۴	۰/۰۰۹۰	۰	۰/۰۶۴۷	۰	۰	۰	۰/۵۸۹۹	۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۱۸
استراتژی ۲	۰/۰۲۲۱	۰/۱۹۸۶	۰	۰/۰۷۰۲	۰/۰۴۶۳	۰	۰	۰/۶۶۲۸	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۳۲
استراتژی ۳	۰	۰/۳۴۴۰	۰	۰/۰۹۲۷	۰/۱۱۰۴	۰	۰	۰/۴۵۲۹	۰/۰۱۱۹	۰/۰۰۴۷
استراتژی ۴	۰	۰/۴۸۸۴	۰	۰/۱۱۶۵	۰/۱۷۵۳	۰	۰	۰/۲۱۹۹	۰/۰۱۵۸	۰/۰۰۶۱
استراتژی ۵	۰	۰/۶۱۴۴	۰	۰/۱۴۲۶	۰/۲۴۳۰	۰	۰	۰	۰/۰۲۰۰	۰/۰۰۷۵
استراتژی ۶	۰	۰/۴۳۶۸	۰	۰/۲۰۶۵	۰/۳۵۶۶	۰	۰	۰	۰/۰۲۴۹	۰/۰۰۸۹
استراتژی ۷	۰	۰/۲۵۹۲	۰	۰/۲۷۰۵	۰/۴۷۰۳	۰	۰	۰	۰/۰۳۰۵	۰/۰۱۰۳
استراتژی ۸	۰	۰/۰۸۱۶	۰	۰/۳۳۴۵	۰/۵۸۴۰	۰	۰	۰	۰/۰۳۶۴	۰/۰۱۱۷
استراتژی ۹	۰	۰	۰	۰/۲۳۶۱	۰/۷۶۳۹	۰	۰	۰	۰/۰۴۳۸	۰/۰۱۳۱
استراتژی ۱۰	۰	۰	۰	۰	۱/۰۰۰۰	۰	۰	۰	۰/۰۵۷۰	۰/۰۱۴۶

جدول ۲۰۴: مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش میانگین - نیمه واریانس

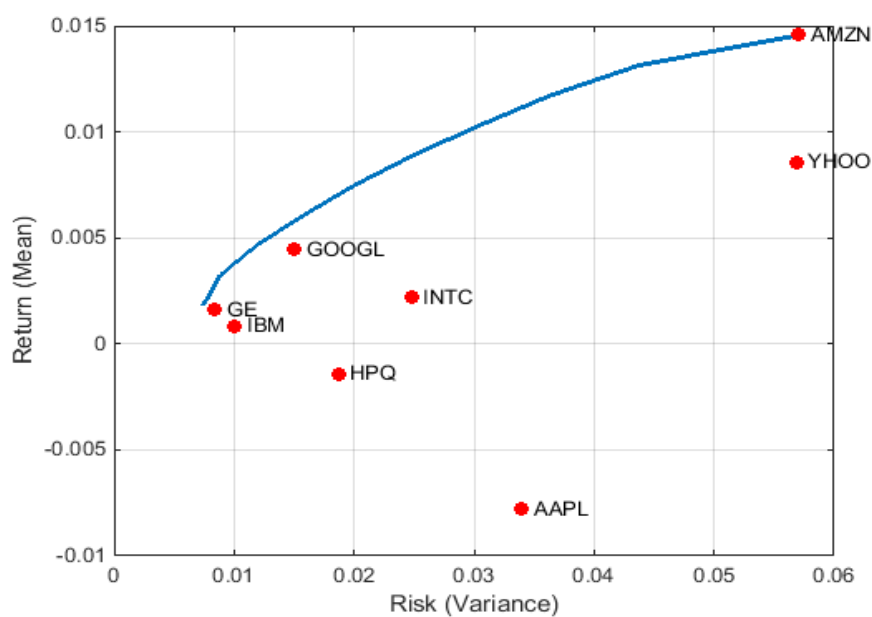
استراتژی	وزن سرمایه‌گذاری مربوط به سهام								ریسک	بازده
	IBM	GOOGL	AAPL	YHOO	AMZN	HPQ	INTC	GE		
استراتژی ۱	۰/۲۰۸۷	۰	۰	۰/۲۰۵۹	۰/۰۰۷۳	۰/۰۲۶۴	۰	۰/۵۵۱۷	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۲۹
استراتژی ۲	۰/۱۶۸۸	۰	۰	۰/۲۵۴۴	۰/۰۷۷۶	۰/۰۲۰۴	۰	۰/۴۷۸۹	۰/۰۰۷۰	۰/۰۰۴۲
استراتژی ۳	۰/۱۲۸۸	۰	۰	۰/۳۰۲۹	۰/۱۴۷۸	۰/۰۱۴۴	۰	۰/۴۰۶۱	۰/۰۰۸۱	۰/۰۰۵۵
استراتژی ۴	۰/۰۸۷۶	۰/۰۰۳۳	۰	۰/۳۵۰۴	۰/۲۱۷۸	۰/۰۰۸۲	۰	۰/۳۳۲۸	۰/۰۰۹۶	۰/۰۰۶۸
استراتژی ۵	۰/۰۴۳۴	۰/۰۱۴۳	۰	۰/۳۹۵۵	۰/۲۸۶۹	۰/۰۰۱۵	۰	۰/۲۵۸۳	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۸۱
استراتژی ۶	۰	۰/۰۲۴۵	۰	۰/۴۴۲۴	۰/۳۵۶۷	۰	۰	۰/۱۷۶۴	۰/۰۱۳۵	۰/۰۰۹۴
استراتژی ۷	۰	۰/۰۲۸۵	۰	۰/۰۴۹۵۷	۰/۴۲۷۲	۰	۰	۰/۰۴۸۵	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۰۷
استراتژی ۸	۰	۰	۰	۰/۴۳۲۶	۰/۵۶۷۴	۰	۰	۰	۰/۰۱۸۱	۰/۰۱۲۰
استراتژی ۹	۰	۰	۰	۰/۲۱۶۳	۰/۷۸۳۷	۰	۰	۰	۰/۰۲۳۲	۰/۰۱۳۳
استراتژی ۱۰	۰	۰	۰	۰	۱/۰۰۰۰	۰	۰	۰	۰/۰۲۹۸	۰/۰۱۴۶

جدول ۳.۴: مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش قدرمطلق انحراف از میانگین

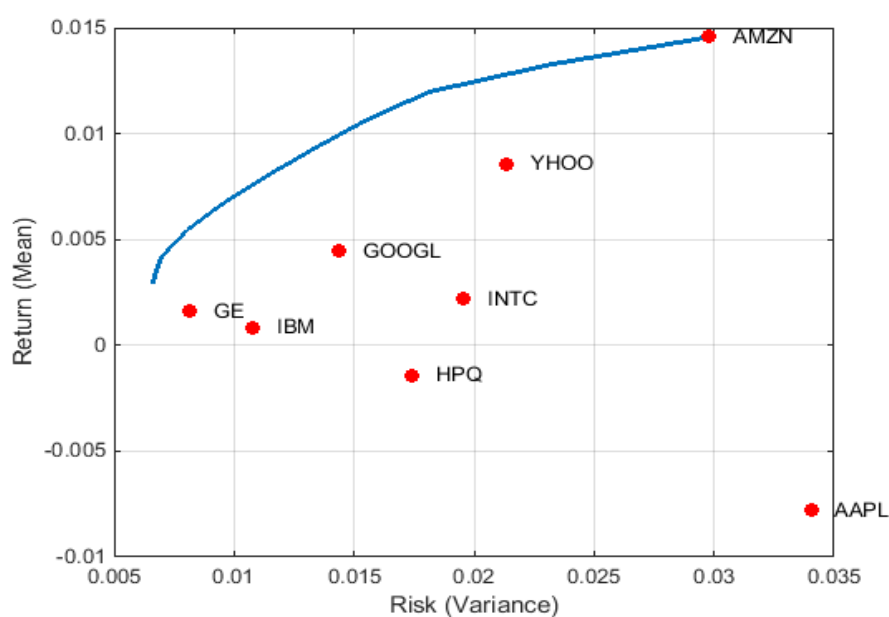
استراتژی	وزن سرمایه‌گذاری مربوط به سهام								ریسک	بازده
	IBM	GOOGL	AAPL	YHOO	AMZN	HPQ	INTC	GE		
استراتژی ۱	۰/۴۶۳۱	۰/۱۱۸۳	۰	۰/۰۶۴۷	۰/۰۰۲۷	۰	۰	۰/۳۴۸۵	۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۲۱
استراتژی ۲	۰/۳۱۷۶	۰/۱۳۶۲	۰	۰/۰۷۰۷	۰/۰۹۵۳	۰	۰	۰/۳۸۰۱	۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۳۵
استراتژی ۳	۰/۲۶۸۸	۰/۱۴۶۹	۰	۰/۰۷۹۱	۰/۱۹۲۶	۰	۰	۰/۳۱۲۶	۰/۰۰۹۱	۰/۰۰۴۹
استراتژی ۴	۰/۱۲۴۲	۰/۱۵۶۶	۰	۰/۰۸۳۲	۰/۲۸۶۶	۰	۰	۰/۳۴۹۴	۰/۰۱۱۰	۰/۰۰۶۲
استراتژی ۵	۰	۰/۱۵۵۴	۰	۰/۰۸۹۳	۰/۳۸۳۲	۰	۰	۰/۳۷۲۰	۰/۰۱۳۰	۰/۰۰۷۶
استراتژی ۶	۰	۰/۰۹۰۵	۰	۰/۱۰۷۴	۰/۴۹۴۶	۰	۰	۰/۳۰۷۴	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۹۰
استراتژی ۷	۰	۰/۱۱۱۰	۰	۰/۱۱۷۱	۰/۵۹۲۰	۰	۰	۰/۱۸۰۰	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۰۴
استراتژی ۸	۰	۰/۱۹۹۹	۰	۰/۱۱۹۹	۰/۶۷۷۹	۰	۰	۰/۰۰۲۲	۰/۰۱۹۶	۰/۰۱۱۸
استراتژی ۹	۰	۰/۰۵۰۲	۰	۰/۱۴۶۴	۰/۸۰۳۴	۰	۰	۰	۰/۰۲۲۳	۰/۰۱۳۲
استراتژی ۱۰	۰	۰	۰	۰	۱/۰۰۰	۰	۰	۰	۰/۰۲۸۷	۰/۰۱۴۶

جدول ۴.۴: مقادیر به دست آمده مرز کارا با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک

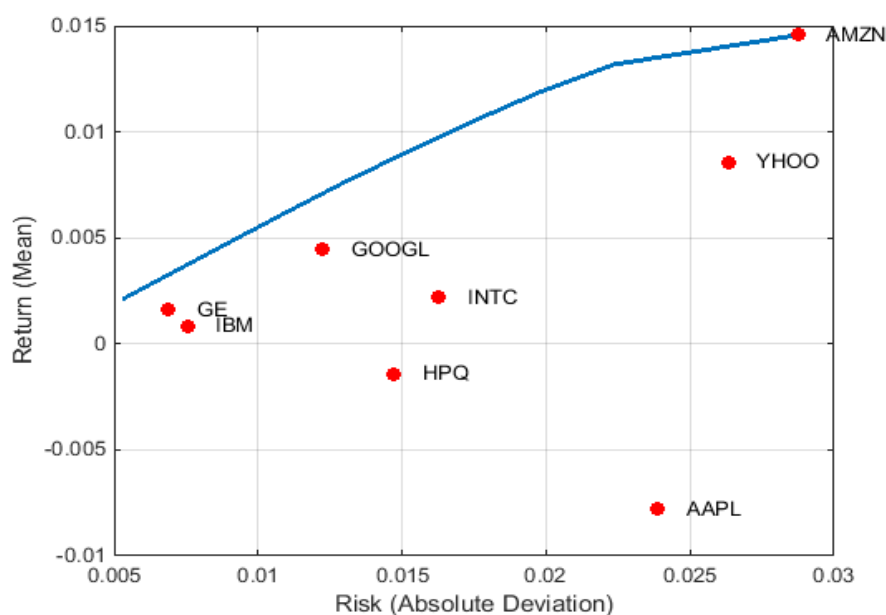
استراتژی	وزن سرمایه‌گذاری مربوط به سهام								ریسک	بازده
	IBM	GOOGL	AAPL	YHOO	AMZN	HPQ	INTC	GE		
استراتژی ۱	۰/۴۰۶	۰/۳۴۳۰	۰	۰/۰۰۵۲	۰	۰/۲۰۱۷	۰	۰/۴۰۹۴	۰/۰۰۹۸	۰/۰۰۲۰
استراتژی ۲	۰	۰/۳۲۴۳	۰	۰	۰/۱۰۰۴	۰/۱۴۹۸	۰	۰/۴۲۵۶	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۳۴
استراتژی ۳	۰	۰/۳۲۰۴	۰	۰	۰/۱۹۷۱	۰/۰۹۷۸	۰	۰/۳۸۴۷	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۴۸
استراتژی ۴	۰	۰/۳۱۶۵	۰	۰	۰/۲۹۳۸	۰/۰۴۵۸	۰	۰/۳۴۳۹	۰/۰۱۵۱	۰/۰۰۶۲
استراتژی ۵	۰	۰/۳۱۷۴	۰	۰	۰/۳۹۰۷	۰	۰/۰۰۳۱	۰/۲۸۸۷	۰/۰۱۷۰	۰/۰۰۷۶
استراتژی ۶	۰	۰/۳۵۳۸	۰	۰	۰/۴۸۹۵	۰	۰/۰۲۹۴	۰/۱۲۷۲	۰/۰۱۹۰	۰/۰۰۹۰
استراتژی ۷	۰	۰/۳۷۱۱	۰	۰	۰/۵۹۳۵	۰	۰/۰۳۵۴	۰	۰/۰۲۱۱	۰/۰۱۰۴
استراتژی ۸	۰	۰/۲۷۶۲	۰	۰	۰/۷۲۳۸	۰	۰	۰	۰/۰۲۴۵	۰/۰۱۱۸
استراتژی ۹	۰	۰/۱۳۸۱	۰	۰	۰/۸۶۱۹	۰	۰	۰	۰/۰۲۸۶	۰/۰۱۳۲
استراتژی ۱۰	۰	۰	۰	۰	۱/۰۰۰	۰	۰	۰	۰/۰۳۳۰	۰/۰۱۴۶



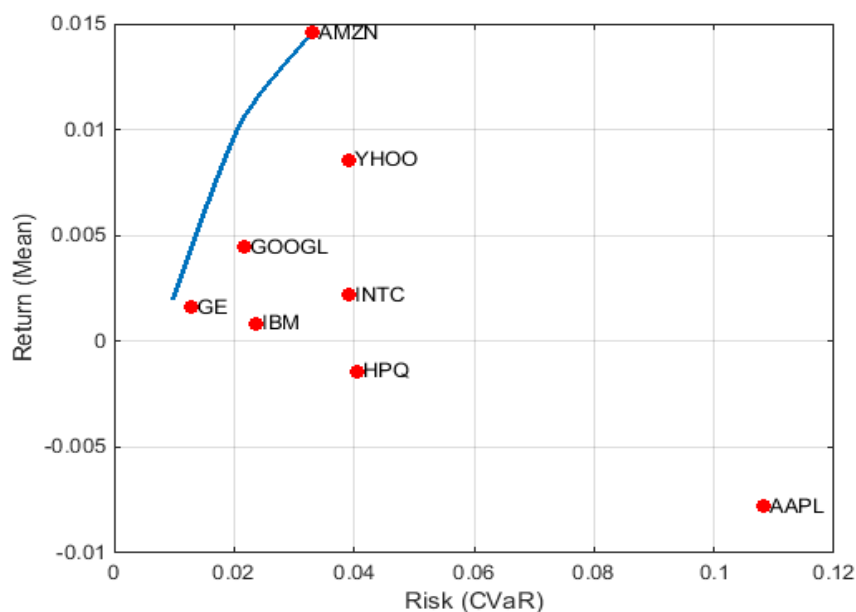
شکل ۱۰۴: مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش میانگین - واریانس



شکل ۲۰۴: مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش میانگین - نیمه واریانس



شکل ۳.۴: مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش قدرمطلق انحراف از میانگین



شکل ۴.۴: مرزکارا به دست آمده با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک

۱.۲.۴ مشاهدات تجربی

شکل ۱.۴: مرز کارای به دست آمده با استفاده از مدل میانگین - واریانس را که متشکل از ده استراتژی می باشد،

برای داده های مورد نظر نمایش می دهد. بر اساس مرز کارای رسم شده، در استراتژی های ابتدایی سرمایه گذار

بیشترین میزان سرمایه‌گذاری خود را حول سه سهم شرکت ماشین آلات، جنرال الکتریک و گوگل انجام می‌دهد. این سهام‌ها کمترین میزان ریسک و به طبع کمترین مقدار بازده را خواهند داشت. با حرکت بر روی مرز کارا در استراتژی‌های بعدی سرمایه‌گذار بیشترین وزن سرمایه‌گذاری خود را بر روی سه سهم گوگل، یاهو و آمازون قرار می‌دهد. این سهام‌ها ریسک بالاتر و به دنبال آن بازده بالاتری را در بر می‌گیرند. و همان‌طور که مشاهده می‌شود در استراتژی انتهایی سهام دار همه سرمایه‌گذاری خود را بر روی سهم آمازون انجام می‌دهد. این سهم بر روی مرز کارا قرار گرفته و دارای بالاترین ریسک و بالاترین مقدار بازده می‌باشد.

با توجه به شکل ۱۰۴ بدیهی به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذار هیچ‌گاه در سهام‌های مربوط به اپل، اچ پی و اینتل سرمایه‌گذاری نکند، زیرا این سه سهم بیشترین فاصله را از مرز کارا دارند.

بر اساس محاسبات صورت گرفته در جداول شماره ۲۰۴ و ۳۰۴ همان‌طور که مشاهده می‌شود در یک سطح معینی از بازده، ریسک در مدل میانگین - نیمه واریانس و مدل قدرمطلق انحراف از میانگین به مراتب کمتر از مدل میانگین - واریانس می‌باشد. برای مثال در مقایسه استراتژی ۱۰ در روش میانگین - واریانس با نرخ بازده ۱۴۶٪، مقدار ریسک برابر ۵۷۰٪ می‌باشد و این در حالی است که با همین نرخ بازده، ریسک محاسبه شده در مدل میانگین - نیمه واریانس برابر ۲۹۸٪ و در مدل قدر مطلق انحراف از میانگین برابر ۲۸۷٪ می‌باشد. معیارهای در نظر گرفته شده در مدل ارزش در معرض ریسک متفاوت تر از سه مدل قبلی می‌باشد. در سه مدل قبلی بخشی از وزن سرمایه‌گذاری بر روی سهام یاهو قرار می‌گرفت در حالی که در مدل ارزش در معرض ریسک تنها در استراتژی اول یک وزن برای یاهو در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به نتایج به دست آمده، در یک سطح معینی از بازده، مشخص گردید ریسک در معیار ارزش در معرض ریسک به مراتب بیشتر از دو معیار میانگین - نیمه واریانس و قدر مطلق انحراف از میانگین می‌باشد. با توجه به نتیجه حاصل، در ادامه این پژوهش تنها از دو معیار قدرمطلق انحراف از میانگین و نیمه واریانس به عنوان معیار ریسک استفاده خواهد شد.

۳.۴ تنظیمات اعمال شده بر روی الگوریتم ازدحام ذرات

در این بخش تنظیماتی را در الگوریتم ازدحام ذرات استاندارد اعمال می کنیم که اولاً مشکل واگرایی جواب ها را کاهش دهد، ثانیاً جواب هایی با کیفیت بالاتر از نظر نزدیکی مقدار جواب های تقریبی به دست آمده به مقدار دقیق جواب ها که از حل مساله با استفاده از روش های کلاسیک به دست آمده است، ارائه دهد.

۱.۳.۴ ایجاد محدودیت بر روی سرعت ذرات

مقدار نهایی سرعت هر ذره برای جلوگیری از واگرایی الگوریتم به یک بازه محدود می شود که معمولاً به صورت زیر تعریف می شود:

$$V_{max} = \alpha \times (X_{max} - X_{min}),$$

که در آن $\alpha \cong 0.1$ در نظر گرفته می شود.

۲.۳.۴ ایجاد محدودیت بر روی موقعیت ذرات

این محدودیت به طور مشابه بر روی موقعیت ذرات به منظور جلوگیری از خروج ذرات از بازه تعریف شده نیز اعمال می گردد.

برای جلوگیری از خروج ذره از مرز تعیین شده روش دیگری تحت عنوان ” اثر آینه ای^۱ “ معرفی شده است. در این روش بردار سرعت آن دسته از مولفه هایی که خارج از فضای موجه ما هستند را قرینه می کنیم. بدین ترتیب این طور به نظر می رسد که ذره با برخورد با دیواره های فضا دوباره به داخل محدوده موجه باز می گردد و از فضای تعیین شده خارج نمی گردد. بدین ترتیب از واگرایی جواب ها جلوگیری می شود.

¹Miroor Effect

۳.۳.۴ روش عامل انقباض^۱

یکی از کارهای ارزشمندی که در زمینه اصلاح الگوریتم ازدحام ذرات صورت گرفت، روش عامل انقباض بود که توسط کلرک و کندی پیشنهاد داده شد. بحث مفصل در مورد عامل انقباض فراتر از محدوده این پژوهش است. اما یک روش ساده از ترکیب آن در معادله زیر توصیف شده است:

$$V_{ij}(t+1) = \chi \times [V_{ij}(t) + C_1 r_{1j}(t) \times (P_{ij}(t) - X_{ij}(t)) + C_2 r_{2j}(t) \times (G_{ij}(t) - X_{ij}(t))]$$

که در اینجا χ عامل انقباض نامیده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\chi = 2/(\phi - 2 + \sqrt{\phi^2 - 4\phi}),$$

که در آن:

$$\Phi = \phi_1 + \phi_2, > 4.$$

در این روش پارامترها به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$W = \chi.$$

$$C_1 = \chi \times \phi_1.$$

$$C_2 = \chi \times \phi_2.$$

در بین همه اینها حالتی را به عنوان حالت بهینه در نظر گرفتند. در این حالت مقادیر پارامترها به صورت

زیر است:

$$\phi_1 = \phi_2 = 2.05.$$

$$w = 0.7298.$$

$$C_1 = C_2 = 1.4962.$$

در روش عامل انقباض ادعا شده که نیازی به قید محدودیت برای سرعت نیست. ولی ما در حالت کلی از

این قید استفاده می‌کنیم.

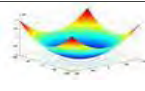
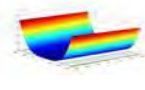
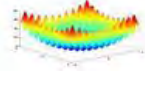
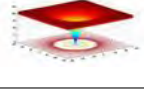
¹Contraction Factor

۴.۴ ارزیابی الگوریتم

به منظور مقایسه الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته ارائه شده با سایر الگوریتم های فراابتکاری موجود، این مساله را یک بار با استفاده از الگوریتم ارائه شده در این پژوهش و بار دیگر با استفاده از الگوریتم شناخته شده ژنتیک به عنوان نماینده ای از الگوریتم های فراابتکاری که سابقه ای طولانی در حل مسائل بهینه سازی دارد، حل می کنیم.

به منظور ارزیابی این دو الگوریتم از توابع محک استاندارد^۱ برای بهینه سازی استفاده می کنیم. این توابع برای ارزیابی ویژگی های الگوریتم های بهینه سازی همانند سرعت همگرایی، دقت، ثبات و عملکرد کلی مورد استفاده قرار می گیرند.

جدول ۵.۴: توابع محک استاندارد

نمودار n=۲	دامنه	فرمول	نام تابع
	$[-100, 100]^n$	$f(x) = \sum_{i=1}^n x_i^2$	Sphere
	$[-30, 30]^n$	$f(x) = \sum_{i=1}^{n-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (x_i - 1)^2]$	Rosenbrock
	$[-5/12, 5/12]^n$	$f(x) = \sum_{i=1}^n (x_i^2 - 10 \cos(2\pi x_i) + 10)$	Rasterigin
	$[-32, 32]^n$	$f(x) = -20e^{-0.2\sqrt{1/n \sum_{i=1}^n x_i^2}} - e^{1/n \sum_{i=1}^n \cos(2\pi x_i)}$	Ackley

در این ارزیابی ۲۰ ذره با ابعاد ۲۰، ۱۰ و ۳۰ بعد استفاده شده است و بعد از ۴۰۰۰ بار تکرار نتایج مورد نظر به دست آمده است. مشخصات الگوریتم ژنتیک به کار رفته به شرح زیر است:

درصد تقاطع: ۰/۸، نرخ جهش: ۰/۰۲، درصد جهش: ۰/۳ و استفاده از روش چرخ رولت به عنوان روش انتخاب.

¹Benchmark function

این شبیه سازی ها را ۱۰ بار به طور مستقل انجام دادیم. جداول ۶.۴ و ۷.۴ نتایج بهترین مقادیر به دست آمده این شبیه سازی ها را برای توابع محک مختلف و ابعاد مختلف نشان می دهد.

جدول ۶.۴: نتایج به دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات برای توابع محک استاندارد

توابع محک	۱۰ بعد	۲۰ بعد	۳۰ بعد	زمان اجرا
Sphere	$3/7724e - 182$	$9/8537e - 101$	$5/2475e - 56$	۲۱/۱۶۱
Rosenbrock	$0/0017378$	$0/0019766$	$0/0034403$	۲۱/۳۸۹
Rasterigin	$2/9849$	$17/9092$	$31/8386$	۲۱/۶۱۴
Ackley	$8/8818e - 16$	$8/8818e - 16$	$8/8818e - 16$	۲۱/۷۸۰

جدول ۷.۴: نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک برای توابع محک استاندارد

توابع محک	۱۰ بعد	۲۰ بعد	۳۰ بعد	زمان اجرا
Sphere	$1/5062e - 5$	$0/00237$	$0/007148$	۲۳/۰۳۸
Rosenbrock	$2/5044$	$17/4754$	$23/8002$	۲۲/۹۵۰
Rasterigin	$0/000166$	$0/00106$	$0/00611$	۲۴/۶۶۳
Ackley	$7/1305e - 08$	$3/3861e - 05$	$1/32e - 0/5$	۲۳/۷۴۱

نتایج ارائه شده در جداول ۷.۴ و ۶.۴ اولاً عملکرد صحیح الگوریتم های ژنتیک و ازدحام ذرات بهبود یافته ارایه شده در این پژوهش را در حل مسائل استاندارد نشان می دهد، ثانیاً برتری عملکرد کلی الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته را در برابر الگوریتم ژنتیک نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود الگوریتم ازدحام ذرات در زمانی کوتاه تر جواب هایی با کیفیت بهتر از نظر نزدیکی به جواب دقیق مساله نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه می دهد.

۱.۴.۴ مقایسه جواب‌های الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک در حل

مساله انتخاب سبد بهینه

پس از انجام فرآیند ارزیابی و اطمینان از عملکرد صحیح الگوریتم‌ها اکنون به حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از این دو الگوریتم می‌پردازیم.

داده‌های عددی به کار گرفته شده در این قسمت همان داده‌های سری زمانی مربوط به قیمت هشت شاخص سهام از بازار جهانی به کار گرفته شده در بخش ۲.۴ می‌باشد. تنظیمات مقادیر پارامترها همانند آنچه در بخش تنظیمات پارامتر گفته شد، در نظر گرفته شده است.

برای هر سطحی از بازده، یک سبد می‌توان در نظر گرفت که کمترین ریسک را دارا باشد. با توجه به اطلاعاتی که از بازده سهام هشت شاخص مورد نظر داریم، بازده مطلوب ما که مجموعه وزن داری از اطلاعات گرفته شده است باید عددی بین می‌نیم و ماکزیمم اطلاعات مربوط به بازده هشت شاخص باشد. به همین منظور، الگوریتم ازدحام ذرات را با بازده‌های متفاوت که برگشتی مطلوب ما هستند، اجرا کرده و خروجی‌های مختلف را مورد محاسبه قرار دادیم. در این ارزیابی نتایج مربوط به ۴۰ ذره بعد از ۱۰۰ تکرار را به دست آوردیم.

جدول ۸.۴ نتایج به دست آمده از مقدار ریسک در یک سطح معینی از بازده را در الگوریتم‌های ازدحام

ذرات و ژنتیک نشان می‌دهد.

جدول ۸.۴: نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در حل مساله انتخاب سبد بهینه

میانگین نیمه واریانس		قدرمطلق انحراف از میانگین		بازده
Ga.Risk	Pso.Risk	Ga.Risk	Pso.Risk	
۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۵۸	۰/۰۰۲۵
۰/۰۰۶۸	۰/۰۰۶۶	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۳۴
۰/۰۰۷۲	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۷۹	۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۴۰
۰/۰۰۸۹	۰/۰۰۸۲	۰/۰۱۰۰	۰/۰۱۱۵	۰/۰۰۵۵
۰/۰۰۹۷	۰/۰۰۹۰	۰/۰۱۱۴	۰/۰۱۲۸	۰/۰۰۶۳
۰/۰۱۰۷	۰/۰۱۰۰	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۳۷	۰/۰۰۷۰
۰/۰۱۲۴	۰/۰۱۲۲	۰/۰۱۴۴	۰/۰۱۵۳	۰/۰۰۸۵
۰/۰۱۳۵	۰/۰۱۳۲	۰/۰۱۵۶	۰/۰۱۶۱	۰/۰۰۹۲
۰/۰۱۴۶	۰/۰۱۴۵	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۰۰
۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۷۰	۰/۰۱۹۴	۰/۰۱۹۵	۰/۰۱۱۵

مقایسه مقادیر ریسک به دست آمده با استفاده از الگوریتم ازدحام ذرات در جدول ۸.۴ با مقادیر ریسک به دست آمده از دو مدل میانگین - نیمه واریانس و قدر مطلق انحراف از میانگین در جداول ۲.۴ و ۳.۴ نشان از نزدیکی جواب های تقریبی الگوریتم ازدحام ذرات با جواب های دقیق حاصل از روش های کلاسیک دارد. به منظور مقایسه نتایج به دست آمده در دو الگوریتم ازدحام ذرات و ژنتیک، از آزمون ویلکاکسون^۱ استفاده کرده ایم. این آزمون از آزمونهای ناپارامتری است که برای ارزیابی همانندی دو نمونه وابسته با مقیاس رتبه ای به کار می رود. این آزمون مناسب طرح های ماقبل و مابعد است (یک نمونه در دو موقعیت مختلف) و یا دو نمونه که از یک جامعه باشند. این آزمون اندازه تفاوت میان رتبه ها را در نظر می گیرد.

^۱wilcoxon

۲.۴.۴ آزمون فرضیات تحقیق

فرضیه اول:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 < \mu_2 \end{cases}$$

که در آن اندیس ۱ بیانگر ریسک در الگوریتم ازدحام ذرات و اندیس ۲ بیانگر ریسک در الگوریتم ژنتیک می باشد.

فرض صفر: بین میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبد های هشت سهمی انتخاب و بهینه شده بر مبنای مدل میانگین - نیمه واریانس و توسط الگوریتم ازدحام ذرات و میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبدهای هشت سهمی بهینه و انتخاب شده بر مبنای مدل میانگین - نیمه واریانس و توسط الگوریتم ژنتیک تفاوت معنی داری وجود ندارد.

فرض مقابل: بین میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبد های هشت سهمی انتخاب و بهینه شده بر مبنای مدل میانگین - نیمه واریانس و توسط الگوریتم ازدحام ذرات و میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبدهای هشت سهمی بهینه و انتخاب شده بر مبنای مدل میانگین - نیمه واریانس و توسط الگوریتم ژنتیک تفاوت معنی داری وجود دارد.

فرضیه دوم:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 < \mu_2 \end{cases}$$

که در آن اندیس ۱ بیانگر ریسک در الگوریتم ازدحام ذرات و اندیس ۲ بیانگر ریسک در الگوریتم ژنتیک می باشد.

فرض صفر: بین میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبد های هشت سهمی انتخاب و بهینه شده بر مبنای

مدل قدر مطلق انحراف از میانگین و توسط الگوریتم ازدحام ذرات و میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبدهای هشت سهمی بهینه و انتخاب شده بر مبنای مدل قدر مطلق انحراف از میانگین و توسط الگوریتم ژنتیک تفاوت معنی داری وجود ندارد.

فرض مقابل: بین میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبدهای هشت سهمی انتخاب و بهینه شده بر مبنای مدل قدر مطلق انحراف از میانگین و توسط الگوریتم ازدحام ذرات و میانگین ریسک سرمایه گذاری در سبدهای هشت سهمی بهینه و انتخاب شده بر مبنای مدل قدر مطلق انحراف از میانگین و توسط الگوریتم ژنتیک تفاوت معنی داری وجود دارد.

جدول ۹.۴: مقایسه میانگین ریسک با استفاده از معیار نیمه واریانس در الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در سبدهای هشت سهمی

	Pso.Risk.semi-var – Ga.Risk.semi-var	Pso.Risk.abs – Ga.Risk.abs
Z	-۲/۶۸۲	-۲/۸۰۹
سطح معناداری	۰/۰۰۷	۰/۰۰۵

با توجه به جدول ۹.۴ برای آزمون مقایسه معیار ریسک نیمه واریانس و قدرمطلق انحراف از میانگین در الگوریتم ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک، مقدار سطح معناداری به دست آمده در هر دو مدل کمتر از ۰/۰۵ است. لذا در سطح خطای ۰/۰۵ فرضیه برابری میانگین ها (H_0) رد می شود. در نتیجه میانگین ریسک در الگوریتم ازدحام ذرات با استفاده از دو مدل میانگین - نیمه واریانس و قدرمطلق انحراف از میانگین کمتر از میانگین ریسک در الگوریتم ژنتیک با استفاده از این دو مدل می باشد.

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون فرضیات تحقیق، برتری الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته در انتخاب سبدهای هشت سهمی با ریسک کمتر در هر دو معیار میانگین - نیمه واریانس و قدرمطلق انحراف از میانگین نسبت به الگوریتم ژنتیک، مشخص گردید.

۵.۴ قابلیت اجرایی مدل

با اطمینانی که از کارایی الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته در انتخاب سبدهای بهینه هشت سهمی در بخش قبل به دست آوردیم، اکنون به منظور بررسی قابلیت اجرایی مدل در انتخاب سبدهایی با تعداد سهام بیشتر، بار دیگر اقدام به حل این مساله با تعداد سهام بیشتر می کنیم.

بازده هر سهم به کار برده شده در این سبد ها، یک عدد تصادفی تولید شده در بازه (۰ و ۱) است.

جدول ۱۰.۴: نتایج به دست آمده از الگوریتم ژنتیک و الگوریتم ازدحام ذرات در سبد های مختلف

زمان اجرا		قدرمطلق انحراف از میانگین		میانگین نیمه واریانس		بازده	تعداد سهم
Ga	Pso	Ga.Risk	Pso.Risk	Ga.Risk	Pso.Risk		
۱۹/۸۴۹	۱۸/۱۴۸	۰/۰۳۶۰	۰/۰۳۲۰	۰/۰۵۲۷	۰/۰۴۵۴	۰/۵۱۶۱	۱۰
۲۰/۲۵۶	۲۲/۰۳۵	۰/۰۲۴۵	۰/۰۲۲۴	۰/۰۳۰۶	۰/۰۲۹۲	۰/۵۰۴۸	۱۵
۲۲/۳۶۸	۲۰/۸۱۱	۰/۰۲۵۵	۰/۰۲۰۴	۰/۰۳۵۱	۰/۰۰۲۴۷	۰/۴۹۴۳	۲۵
۲۱/۵۵۸	۲۲/۱۸۹	۰/۰۲۶۳	۰/۰۲۰۵	۰/۰۳۷۸	۰/۰۲۶۹	۰/۵۰۳۸	۳۰
۱۹/۳۱۷	۲۲/۳۸۲	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۶۵	۰/۰۱۵۰	۰/۰۰۴۶	۰/۴۹۷۹	۴۰
۲۲/۱۳۲	۲۴/۴۱۰	۰/۰۲۴۵	۰/۰۰۲۶	۰/۰۲۸۱	۰/۰۰۱۸	۰/۵۱۹۳	۵۰

بر اساس داده های به دست آمده از جدول ۱۰.۴ بار دیگر آزمون فرضیات تحقیق را در مورد سبدهای ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۳۰، ۴۰ و ۵۰ سهمی به طور جداگانه انجام دادیم. سطح معناداری به دست آمده در کلیه سبدها کمتر از ۰/۰۵ می باشد. در نتیجه فرض برابری میانگین ها در کلیه سبد ها رد می شود.

در نتیجه میانگین ریسک در الگوریتم ازدحام ذرات با استفاده از دو معیار میانگین - نیمه واریانس و قدرمطلق انحراف از میانگین در کلیه سبد ها کمتر از مقادیر به دست آمده در الگوریتم ژنتیک با استفاده از این دو معیار می باشد.

هم چنین مشاهده می شود که با افزایش تعداد سهام موجود در سبد تغییر محسوسی در زمان اجرای الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته مشاهده نمی شود و این الگوریتم در زمانی معقول اقدام به حل مساله می نماید.

۶.۴ نتیجه گیری و آینده پژوهش

در این پایان نامه در ابتدا به حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از مدل های کلاسیک پرداختیم. جواب های به دست آمده در این آرایش خاص از داده ها، بیان گر پایین بودن ریسک در دو مدل میانگین - نیمه واریانس و قدر مطلق انحراف از میانگین نسبت به مدل ارزش در معرض ریسک و مدل میانگین - واریانس بود. پس از آن با اعمال تنظیمات جدید لحاظ شده در روش ازدحام ذرات استاندارد به حل مساله انتخاب سبد بهینه با استفاده از این الگوریتم پرداختیم. با توجه به مقادیر به دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات و مقایسه آن با جواب های به دست آمده از مدل های کلاسیک، روش ازدحام ذرات جواب های قابل قبولی در حل مساله انتخاب سبد بهینه ارائه می دهد. سپس به منظور مقایسه کیفیت جواب های به دست آمده از الگوریتم ازدحام ذرات با سایر الگوریتم های فرا ابتکاری، بار دیگر مساله را با استفاده از الگوریتم شناخته شده ژنتیک حل کردیم. با توجه به نتایج به دست آمده از آزمون فرضیات تحقیق، برتری الگوریتم ازدحام ذرات بهبود یافته در انتخاب سبدهایی با ریسک کمتر نسبت به الگوریتم ژنتیک، مشخص گردید. در انتها به منظور بررسی قابلیت اجرایی مدل، حل مساله انتخاب سبد بهینه با تعداد سهام بیشتر را در دستور کار خود قرار دادیم. مشخص گردید که افزایش تعداد سهام موجود در سبد تاثیری بر روند اجرای الگوریتم نخواهد داشت و الگوریتم در زمانی معقول اقدام به حل مساله می کند. با توجه به مطالعات انجام شده و نتایج به دست آمده، این تحقیق می تواند در راستای موارد زیر گسترش یابد:

- بررسی دقیق پارامترها و مطالعه در زمینه وابستگی و یا عدم وابستگی الگوریتم به مقادیر پارامترها.
- استفاده از تکنیک های بهینه سازی چند هدفه به جای استفاده از روش تک هدفه.
- استفاده از روش های مختلف انتخاب از قبیل فاصله ازدحام، چرخ رولت و... در روش های چند هدفه.
- استفاده از الگوریتم های چند جمعیتی که به جای استفاده از یک دسته ذره از چندین دسته به صورت موازی برای پیدا کردن جواب های بهینه استفاده می کند.

مراجع

- [۱] کامبیز پیکارجو، بهنام شهریار، نیما نوراللهی (۱۳۸۸). اندازه گیری ریسک دارایی شرکت ها و موسسات مالی با استفاده از روش ارزش در معرض ریسک، پژوهش نامه اقتصادی شماره ۵، صفحه ۱۹۵-۲۲۱
- [۲] منصوره گرکز، ابراهیم عباسی، مطهره مقدسی (۱۳۸۹)، انتخاب و بهینه سازی سبد سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک بر اساس تعاریف متفاوتی از ریسک، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد، شماره ۱۱
- [۳] علیرضا علی نژاد، کاووس سیمپاری (۱۳۹۲)، انتخاب سبد بهینه پروژه با استفاده از رویکرد تلفیقی، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، شماره ۲۸، صفحه ۴۱-۶۰
- [۴] ابراهیم عباسی، بابک تیموپور، منوچهر برجسته ملکی (۱۳۸۸)، کاربرد ارزش در معرض ریسک در تشکیل سبد بهینه در بورس اوراق بهادار تهران، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۷، صفحه ۷۵-۹۰
- [۵] مسعود یقینی، محمد رحیم اخوان کاظم زاده (۱۳۹۳). الگوریتم های بهینه سازی فراابتکاری، انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی امیر کبیر).
- [6] H. M. Markowitz (1952), *Portfolio selection*. Journal of Finance, Vol. 7, No. 1, pp. 77-91
- [7] A.D. Roy (1952), *Safety-first and the holding of assets*. Journal of the Econometric Society, Vol. 20, No. 3, pp. 431-449
- [8] W.F. Sharpe (1963), *A Simplified Model for Portfolio Analysis*. Journal of Management Science, Vol. 9, issue. 2, pp. 277-293

- [9] Stephen A. Ross (1976), *The arbitrage theory of capital asset pricing*. Journal of Economic Theory, Vol. 13, issue. 3, pp. 341-360
- [10] Hiroshi Konno, Hiroaki Yamazaki (1991), *Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market*. Journal of Management Science, Vol. 37, issue. 5, pp. 519-531
- [11] J. Kennedy, R.C. Eberhart (1995), *Particle swarm optimization*. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Vol. 4, pp. 1942-1948
- [12] M. Grazia Speranza (1995), *a heuristic algorithm for a portfolio optimization model applied to the Milan stock market*. Journal of Computers and Operations Research, Vol. 23, no.5, pp.433-441
- [13] Y. Shi, R.C. Eberhart (1998), *A modified particle swarm optimizer*. Proceedings of Congress on Evolutionary Computation, pp. 69-73
- [14] Philippe Artzner, Freddy Delbaen, Jean-Marc Eber, David Heath (1999), *Coherent Measures of Risk*. Journal of Mathematics, Statistics and Financial Economics, Vol. 9, issue. 3, pp.203-228
- [15] F. V. D. Bergh, A. Engelbrecht (2000), *Cooperative learning in neural networks using particle swarm optimizers*. South African Computer Journal, vol. 26, pp. 84-90
- [16] Manfred Gilli, Evis Kellezi (2002), *A Global Optimization Heuristic for Portfolio Choice with VaR and Expected Shortfall*. Journal of Applied Optimization, Vol. 74, pp. 167-183
- [17] G. Consigli (2002). *Tail estimation and mean-VaR portfolio selection in market subject to financial instability*. Journal of Banking and Finance, Vol. 28, pp. 1355-1382

- [18] Y. Crama, M. Schyns (2003), *Simulated Annealing for Complex Portfolio Selection Problems*. European Journal of Operational Research, Vol. 150 , pp. 546-571
- [19] A.A Gaivoronski, G.Pflug (2005), *Value at risk in portfolio optimization: Properties and computational approach*. Journal of Risk, Vol. 7, No. 2, pp. 1-31
- [20] Alberto Fernandez, Sergio Gomez (2007), *Portfolio Selection using Neural Networks*. Journal of Computers and Operations Research, Vol. 34, pp. 1177-1191
- [21] Ben Niu, Yunlong Zhu, Xiaoxian He, Henry Wu (2007), *MCPSO: A multi-swarm cooperative particle swarm optimizer*. Journal of Applied Mathematics and Computation, Vol. 185, issue. 2, pp. 1050-1062
- [22] Wei Jingxuan, Wang Yuping (2007), *Multi-objective fuzzy particle swarm optimization based on elite archiving and its convergence*. Journal of Systems Engineering and Electronics, Vol. 19, No. 5, pp. 1035-1040
- [23] Giorgi G. De. Enrico, Post Thierry. (2008), *Second Order Stochastic Dominance, Reward-Risk Portfolio Selection and the CAPM*. Journal of Financial and Quantitative Analysis, Vol. 43 ,No.2, pp. 525–546
- [24] Hamed Soleimani, Hamid Reza Golmakani, Mohammad Hossein Salimi (2009), *Markowitz-based portfolio selection with minimum transaction lots, cardinality constraints and regarding sector capitalization using genetic algorithm*. Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp. 5058-5063
- [25] Tun-Jen Chang, Sang-Chin Yang (2009), *Portfolio optimization problems in different risk measures using genetic algorithm*. International Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 36, issue. 7, pp.10529-10537

- [26] M. Rabbani , M. Aramoon Bajestani, G. Baharian Khoshkhou (2010), *A multi-objective particle swarm optimization for project selection problem*. Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 37, Issue 1, pp. 315-321
- [27] Sang-Chin Yang, Ting-Li Lin, Tun-Jen Chang, Kuang-Jung Chang (2010), *A semi-variance portfolio selection model for military investment assets*. International Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 38, issue. 3, pp. 2292-2301
- [28] B.Y. Qu, J.J. Liang, P.N. Suganthan (2011), *Niching particle swarm optimization with the local search for multi-modal optimization*. International Journal of Information Sciences, Vol. 197, pp. 131-143
- [29] Chao-li Sun, Jian-chao Zeng, Jeng-shyang Pan (2011), *An improved vector particle swarm optimization for constrained optimization problems*. International Journal of Information Sciences, Vol. 181, No. 6, pp. 1153-1163
- [30] Mengqi Hu, Teresa Wu, Jeffery D. Weir (2012), *An intelligent augmentation or particle swarm optimization with multiple adaptive methods*. International Journal of Information Sciences, Vol. 213, pp. 68-83
- [31] Marco Corazza, Giovanni Fasano, Riccardo Gusso (2013), *Particle swarm optimization with nin-smooth penalty reformulation for a complex portfolio selection problems -A comparison with mean-variance analysis*. Journal of Applied Mathematics and Computation, Vol. 37, No. 12, pp. 5526-5537
- [32] Farhad Hassanzadeh, Hamid Nemati, Minghe Sun. (2014), *Robust optimization for interactive multiobjective programming with imprecise information applied to RD project portfolio selection*. European Journal of Operational Research, Vol. 238, No. 1, pp. 41-53

- [33] Guohua Wu, Dishan Qiu, Ying Yu, Witold Pedrycz, Manho Ma, Haifeng Li (2014), *Superior solution guided particle swarm optimization combined with local search techniques*. International Journal of Expert Systems with Applications, Vol. 41, No. 16, pp. 7536-7548
- [34] Huseyin Hakli, Harun Uguz (2014), *A novel particle swarm optimization algorithm with Levy flight*. Journal of Information Sciences, Vol. 23, pp. 333-345
- [35] Mohammad Reza Bonyadi, Xiang Li, Zbigniew Michalewicz (2014), *A hybrid particle swarm with a time-adaptive topology for constrained optimization*, *The Swarm and Evolutionary Computation* . Vol. 18, pp. 22-37
- [36] Young-Bin Shin, Eisuke Kita. (2014), *Search performance improvement of particle swarm optimization by second best particle information*. Vol. 246, pp. 346-354
- [37] Ran Cheng, Yaochu Jin (2015), *A social learning particle swarm optimization algorithm for scalable optimization*, *The Information Sciences*. International Journal of Computational Intelligence and Applications, Vol. 291, pp. 43-60

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

۱

Miroor Effect	اثر آینه ای
Conditional Value at Risk	ارزش در معرض ریسک مشروط
Value at Risk	ارزش در معرض ریسک
Exploration	اکتشاف
Particle Swarm Optimization	الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات
Genetic Algorithm	الگوریتم ژنتیک
Heuristic	الگوریتم‌های ابتکاری
Approximate Algoritithms	الگوریتم‌های تقریبی
Portfolio Selection	انتخاب سبد سرمایه

ب

Return	بازده
Expected Return	بازده مورد انتظار سبد سهام
Planning Quadratic Equations	برنامه ریزی درجه دوم
Exploitation	بهره برداری
Multi Objective Optimization	بهینه سازی چند هدفه
Multi Objective Optimization	بهینه سازی گروه
Niching PSO	بهینه سازی گروه ذرات بر اساس مفهوم نیچ
Local Optimum	بهینه محلی

پ

Social Parameters	پارامتر اجتماعی
Cognitive Parameters	پارامتر خودشناسی

ت

Fitness function	تابع ارزیابی
Penalty function	تابع جریمه
Simulated Annealing	تبرید شبیه سازی شده
Violation	تخطی
Benchmark function	توابع محک استاندارد

ذ

ذره Particle

ر

روش جستجوی ممنوع Tabu Search

ریسک به سمت پایین Downside Risk

ریسک سبد سهام Portfolio Risk

ریسک نامطلوب Downside Risk

س

سبد سرمایه Investment portfolio

ش

شبیه سازی تاریخی Historical Simulation

شبیه سازی مونت کارلو Mont Carlo Method

ض

ضریب همبستگی Correlation Coefficient

غ

غیر خطی Non Linear

ف

فراابتکاری Meta-Heuristic

ق

قبیل واریانس Variance

قدرمطلق انحراف از میانگین Mean-Absolute Deviation

م

مدل برنامه ریزی عددصحیح Mixed Integer Programming

مدیریت سبد سرمایه Portfolio Management

Efficient Frontier مرز کارا

Particle's Current Position موقعیت فعلی ذره

ن

Arbitrage Pricing Theory نظریه قیمت گذارایی آربیتراژ

Modern Portfolio Theory نظریه مدرن سبد سرمایه

Semi- Variance نیمه واریانس

و

Inertia Weight وزن اینرسی

نمایه

Approximate Algorithms الگوریتم‌های تقریبی. ۳۳

Arbitrage Pricing Theory نظریه قیمت گذارایی آربیتراژ. ۲۴

Benchmark function توابع محک استاندارد. ۶۱

Cognitive Parameters پارامتر خودشناسی. ۴۵

Conditional Value at Risk ارزش در معرض ریسک مشروط. ۲۰

Correlation Coefficient ضریب همبستگی. ۲۲

Downside Risk ریسک نامطلوب. ۱۱، ۲۰، ۲۳

Efficient Frontier مرز کارا. ۱۴

۳۳.

Expected Return بازده مورد انتظار سبد سهام. ۱۳

Exploration اکتشاف. ۴۴

Exploitation بهره برداری. ۴۴

Fitness function تابع ارزیابی. ۴۴

Genetic Algorithm الگوریتم ژنتیک. ۳۵

Heuristic الگوریتم‌های ابتکاری. ۳۴

Historical Simulation شبیه سازی تاریخی. ۲۸

. ۳۶

Inertia Weight وزن اینرسی. ۴۵

Investment portfolio سبد سرمایه. ۹

Local Optimum بهینه محلی. ۴۵

. ۱۴

Mean-Absolute Deviation قدرمطلق انحراف از میانگین. ۲۰

Meta-Heuristic فراالبتکاری. ۳۴

Miroor Effect اثر آینه ای. ۶۲

Mixed Integer Programming مدل برنامه ریزی عددصحیح. ۳۲

Modern Portfolio Theory نظریه مدرن سبد سرمایه. ۱۱

Mont Carlo Method شبیه سازی مونت کارلو. ۲۸

Multi Objective Optimization بهینه سازی گروه. ۵۰، ۳۹

Niching PSO بهینه سازی گروه ذرات بر اساس مفهوم نیچ. ۳۸

Non Linear غیر خطی. ۱۷

Particle ذره. ۴۳

Particle Swarm Optimization الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات. ۱۸

Particle's Current Position موقعیت فعلی ذره. ۴۳

Penalty function تابع جریمه. ۵۲

Planning Quadratic Equations برنامه ریزی درجه دوم. ۱۵

Portfolio Management مدیریت سبد سرمایه. ۱۰

Portfolio Risk ریسک سبد سهام. ۱۳

Portfolio Selection انتخاب سبد سرمایه. ۱۲

Return بازده. ۵۶

Semi- Variance نیمه واریانس. ۲۰

Simulated Annealing تبرید شبیه سازی شده. ۳۵

Social Parameters پارامتر اجتماعی. ۴۵

Tabu Search روش جستجوی ممنوع. ۳۵

Value at Risk ارزش درمعرض ریسک. ۲۰

Variance قبیل واریانس. ۲۰

۲۸ .

Violation تخطی. ۵۲

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

A

Approximate Algoritithms	الگوریتم‌های تقریبی
Arbitrage Pricing Theory	نظریه قیمت گذاری آربیتراژ

B

Benchmark function	توابع محک استاندارد
--------------------	---------------------

C

Cognitive Parameters	پارامتر خودشناسی
Conditional Value at Risk	ارزش در معرض ریسک مشروط
Correlation Coefficient	ضریب همبستگی

D

Downside Risk ریسک نامطلوب

E

Efficient Frontier مرز کارا

Expected Return بازده مورد انتظار سبد سهام

Exploration اکتشاف

Exploitation بهره برداری

F

Fitness function تابع ارزیابی

G

Genetic Algorithm الگوریتم ژنتیک

H

Heuristic	الگوریتم‌های ابتکاری
Historical Simulation	شبیه سازی تاریخی

I

Inertia Weight	وزن اینرسی
Investment portfolio	سبد سرمایه

L

Local Optimum	بهینه محلی
---------------	------------

M

Mean-Absolute Deviation	قدرمطلق انحراف از میانگین
Meta-Heuristic	فرابتکاری
Mirror Effect	اثر آینه ای
Mixed Integer Programming	مدل برنامه ریزی عدد صحیح
Modern Portfolio Theory	نظریه مدرن سبد سرمایه

Mont Carlo Method شبیه سازی مونت کارلو

Multi Objective Optimization بهینه سازی گروه

N

Niching PSO بهینه سازی گروه ذرات بر اساس مفهوم نیچ

Non Linear غیر خطی

P

Particle ذره

Particle Swarm Optimization الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات

Particle's Current Position موقعیت فعلی ذره

Penalty function تابع جریمه

Planning Quadratic Equations برنامه ریزی درجه دوم

Portfolio Management مدیریت سبد سرمایه

Portfolio Risk ریسک سبد سهام

Portfolio Selection انتخاب سبد سرمایه

R

Return بازده

S

Semi- Variance نیمه واریانس

Simulated Annealing تبرید شبیه سازی شده

Social Parameters پارامتر اجتماعی

T

Tabu Search روش جستجوی ممنوع

V

Value at Risk ارزش در معرض ریسک

Variance قبیل واریانس

Violation تخطی



In the name of God
Graduate Studies Thesis Information
Ferdowsi University of Mashhad

Using particle swarm algorithm to solve the project portfolio problem

Author: atiyeh mardani

Supervisor: Dr. Hamed Reza Tareghian

Faculty: Faculty of Mathematical Sciences Department: applied
Mathematics Specialization: control and optimization

Approval Date: 2014

Defence Date: 2015

M.Sc.

Number of Pages: 89

Abstract Thesis : The problem of optimal portfolio selection, as one of the critical issues in project management, financial management, risk management and investment management, has been the subject of growing attention in theory and practice in the past decades. In this thesis, the problem of portfolio selection is addressed with the aim of maximizing the profits and minimizing the project risk. To solve this two-objective optimization problem, the particle swarm optimization algorithm was used. The main deficiencies of the particle swarm optimization algorithm are twofold, namely falling in local optimal trap and low convergence rate. To overcome these problems, some solutions are offered. Finally, the performance of the particle swarm algorithm in solving the above problem is compared to that of a genetic evolutionary algorithm in terms of obtaining high-quality solutions (i.e. the selection of a portfolio with higher profits and lower risks).

Key Words: Portfolio selection, Particle swarm optimization, Local optimal

Signature of Supervisor:

Date:



Ferdowsi University of Mashhad

Faculty of Mathematical Sciences

Dissertation Submitted in Partial

Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Science in

applied Mathematics

Using particle swarm algorithm to solve the project portfolio problem

Supervisor

Dr. Hamed Reza Tareghian

by

atiyeh mardani

2015