

## بهینه‌سازی سبد سرمایه‌گذاری بر اساس ارزش در معرض ریسک با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان

غلامرضا اسلامی بیدگلی

دانشیار دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

احسان طیبی ثانی

دانشجوی دکتری دانشگاه تهران (مسئول مکاتبات)

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۹/۲۰

### چکیده

تحقیق حاضر یک الگوریتم ابتکاری را برای حل مسأله محدود بهینه‌سازی سبد سهام با توجه به ارزش در معرض ریسک (VaR) به عنوان معیار ریسک و با استفاده از الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک ارائه می‌دهد. در این تحقیق نشان داده خواهد شد که الگوریتم ترکیبی پیشنهادی قادر است مسأله بهینه‌سازی سبد سهام را با توجه به معیار ارزش در معرض ریسک (VaR) با در نظر گرفتن محدودیت عدد صحیح برای تعداد سهام موجود در سبد سهام حل نماید. به منظور نشان دادن کارایی الگوریتم، از الگوریتم پیشنهادی در جهت بهینه‌سازی سبد سهامی از شاخص‌های صنایع موجود در بورس اوراق بهادار تهران استفاده گردیده است. نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم حاکی از آن است که الگوریتم ترکیبی در تمامی حالت‌های مورد بررسی در این تحقیق نتایجی بهتر از نتایج بدست آمده توسط الگوریتم ژنتیک به تنهایی بدست می‌آورد.

**واژه‌های کلیدی:** ارزش در معرض ریسک (VaR)، الگوریتم‌های فراابتکاری (Meta Heuristic Algorithm)، الگوریتم مورچگان (Ant Colony optimization)، الگوریتم ژنتیک (Genetic Algorithm).

## ۱- مقدمه

مدل میانگین- واریانس که توسط مارکوویتز ارائه گردید، یکی از مدل‌هایی است که به طور گسترده در مسئله انتخاب سبد سهام مورد استفاده قرار می‌گیرد. باید توجه داشت که هرچند این مدل از لحاظ نظری با روش برنامه ریزی ریاضی قابل حل است اما در عمل مشکلاتی در این زمینه وجود دارد. اولاً، محدودیت‌هایی که در دنیای واقعی وجود دارد، در مدل مارکوویتز در نظر گرفته نشده است. همانند محدودیت تعداد سهام ثابت در پرتفوی<sup>۱</sup>، هزینه‌های معاملاتی<sup>۲</sup>، معامله سهام در دسته‌های ثابت<sup>۳</sup>، و ... متأسفانه اکثر این محدودیت‌های از توابع غیر خطی پیروی می‌کنند که مدل را برای حل، دچار مشکل می‌نمایند.

از طرف دیگر فرض نرمال بودن تابع توزیع بازده دارایی‌ها فرض قابل قبولی نیست. مطالعات فاما<sup>۴</sup> (Fama, 1965) نشان داد که احتمال اینکه بازده دارایی‌های منفرد مقادیر بالایی به خود بگیرند، بیشتر از چیزی است که توسط توزیع نرمال پیش بینی می‌شود. در واقع از نظر آماری تابع توزیع احتمال بازده‌ها دارای leptokurtosis است که به این پدیده در مالی "Fat-tail" گویند. از اینرو مناسب بودن واریانس به عنوان معیار ریسک مورد تردید است. معیارهای مختلفی برای ریسک مطرح شده است و زمانی که تابع توزیع بازده متقارن نباشد، بسیاری از آنها کارایی بهتری در اندازه‌گیری ریسک نسبت به واریانس دارند.

در بازار سرمایه کشور، ضرورت ایجاد انواع ابزارها و نهادهای مالی جدید برای پوشش سلیق مختلف سرمایه‌گذاری به شدت احساس می‌شود. از طرف دیگر از آنجا که ارزش در معرض ریسک (VaR) بعنوان پرکاربردترین معیار ریسک نامطلوب در حوزه مالی مطرح است پس برای سرمایه‌گذاری که ریسک خود را براساس ارزش در معرض ریسک (VaR) اندازه‌گیری می‌کند بسیار ضروری است که مدل انتخاب سبد سرمایه‌گذاری خود را نیز براساس آن تنظیم کند. زیرا نتایج پژوهش‌های قبلی نشان می‌دهد که مرز کارا با در نظر گرفتن ارزش در معرض ریسک (VaR) در صورت محاسبه آن از طریق روش شبیه‌سازی به عنوان معیار ریسک متفاوت از مرز کارای مدل میانگین- واریانس مارکوویتز است. در حالیکه روش‌های اندازه‌گیری ارزش در معرض ریسک (VaR) از مدت‌زمانی قبل توسعه یافته‌اند، مدل‌های انتخاب پرتفوی بهینه توسط ارزش در معرض ریسک (VaR) اخیراً مورد توجه بسیار قرار گرفته است.

روش شبیه‌سازی تاریخی از مهم‌ترین روش‌های محاسبه ارزش در معرض ریسک (VaR) می‌باشد. این روش دارای سرعت و دقت قابل قبولی است. در صورت محاسبه ارزش در معرض ریسک (VaR) از این روش، دیگر در تمام نقاط بهینه محلی مشتق پذیر نیست که این مسئله بدین معنی

است که تکنیک های بهینه سازی معمولی غیر خطی برای حداقل سازی چنین تابعی دچار مشکل خواهند شد زیرا این گونه روش ها نیاز به مشتق تابع هدف دارند. از این رو جهت اندازه گیری ارزش در معرض ریسک (VaR) بدلیل مشکلات بیان شده در بالا برای بهینه سازی ارزش در معرض ریسک (VaR) از الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک که جزو الگوریتم های فرابتکاری برای حل مسائل بهینه سازی ترکیبی و سخت هستند، استفاده می شود.

فرضیه اصلی این پژوهش الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک نسبت به الگوریتم ژنتیک در بهینه سازی مدل Mean-VaR بهتر عمل می نماید.

## ۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

در مقاله (Gilli & Kellezi, 2001) ضمن اشاره به عدم وجود راه حل بهینه برای بهینه سازی پرتفوی در چارچوب Mean-VaR، سعی شده است با استفاده از الگوریتم فرابتکاری Threshold Accepting (TA) این مسأله حل گردد. در آن مقاله به جای واریانس از دو معیار VaR و CVaR استفاده شده است. و دو مدل برنامه ریزی ریاضی برای هر کدام از این معیارها طراحی گشته است. به این دو مدل محدودیتهای دیگری همانند تعداد دارایی های مجاز پرتفوی و همچنین حداکثر و حداقل هر دارایی در پرتفوی هم اضافه گشته است. در نهایت از آنجا که مدل های فوق با الگوریتم های بهینه ریاضی قابل حل نبوده اند، از الگوریتم ابتکاری TA برای حل آنها استفاده شده است. در مقاله (Puelz, 1998) سعی شده است از VaR به عنوان یک فیلتر در بهینه سازی پرتفوی استفاده شود. بدین معنی که ابتدا از روش های معمول بهینه سازی پرتفوی همانند روش Mean-Variance مارکویتز استفاده شده است و مرز کارا بدست می آید. سپس تمام مرز کارا جستجو شده و پرتفوی بهینه ای که بتواند VaR مورد نظر سرمایه گذار را داشته باشد، تعیین گردیده است. همچنین این مقاله به طور عملی نشان داده است که چنانچه بهینه سازی پرتفوی بر مبنای VaR باشد، پرتفوی حاصل دارای ریسک بیشتری نسبت به زمانی است که مبنای ریسک در بهینه سازی معیار CVaR بوده است. مقاله (Larsen et al, 2002) به ارائه دوالگوریتم ابتکاری برای بهینه سازی VaR اختصاص یافته است. در این مقاله، بهینه سازی VaR بر مبنای حداقل کردن معیار هم خانواده آن یعنی CVaR که در واقع حد بالایی برای VaR است، بنابراین حداقل سازی CVaR مطمئناً باعث کم شدن VaR می شود. در چهارچوب دو الگوریتم توسعه داده شده است. این الگوریتم ها برای حداقل سازی ریسک اعتباری پرتفوی اوراق قرضه بکار رفته اند. از آنجا که تابع VaR بسیار نامنظم است نقاط اکسترموم فراوانی دارد، مقاله (Gaivoronski & Pflug, 2000) سعی کرده است با استفاده از هموارسازی<sup>۵</sup>، پیچیدگی های تابع را کم

کند. روش SVaR ابداع شده در این مقاله برای حداقل سازی VaR بر بدست آوردن تقریبی از VaR تاریخی با استفاده از فیلتر کردن برخی نوسانات محلی بنا شده است. در مقاله فوق، سعی شده است تابع VaR به دو جزء شکسته شود. جزء اول بخشی از تابع است که رفتار مناسبی دارد و جزء دوم که دارای رفتار کاملاً نامنظم است. با الگوریتم ابداعی در این مقاله، سعی شده است جزء نامنظم تابع حذف گردد. در نهایت و پس از حذف نوسانات، جزء باقیمانده قابل بهینه کردن بوسیله الگوریتم های بهینه سازی غیر خطی است. رحمتی اقدام به بهینه سازی پرتفوی ارزی بانک تجارت بر اساس مدل Mean-VaR صورت گرفته است. از آنجا که برای محاسبه ارزش در معرض ریسک از روش شبیه سازی تاریخی استفاده شده است و چون تابع VaR بدست آمده از این روش محدب نمی باشد و دارای نقاط اکسترموم فراوانی است پس یک مسئله بهینه سازی سخت می باشد که برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. اعتبار مدل این تحقیق بوسیله راه حل شمارش کامل و مقاسیه پاسخ های آن با پاسخ های بدست آمده از طریق الگوریتم ژنتیک بررسی شده است (رحمتی، ۱۳۸۷). در بهینه سازی و بررسی اثر تنوع بر عملکرد پرتفوی با استفاده از الگوریتم مورچگان به حل مساله بهینه سازی پرتفوی با محدودیت های کاردینال با استفاده از الگوریتم مورچگان پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان می دهد که مطابق نظر برخی از اندیشمندان مالی، می توان پرتفوی کوچکی از دارایی ها را تشکیل داد که عملکردی به خوبی پرتفوی های بسیار متنوع داشته باشند. به علاوه نتایج تحقیق نشان دهنده نزولی بودن مشارکت نهایی سهام اضافی در تنوع پرتفوی می باشد به این معنی که بعد از رسیدن به حدی معین، افزودن سهام جدید تاثیر چندانی در تنوع پرتفوی و افزایش عملکرد تعدیل شده بر حسب ریسک آن ندارد (اسلامی بیدگلی، وافی ثانی، باجلان، علیزاده، ۱۳۸۸).

### ۳- مدل های پژوهش

#### انتخاب مدل برای بهینه سازی سبد سهام بر مبنای ارزش در معرض ریسک (VaR)

همانطور که گفته شد هدف اصلی در این تحقیق، بهینه سازی سبد سهام با وجود معیار برآورد ریسک VaR است بطوریکه سبد سهام بهینه Mean-VaR بدست آید. لذا انتخاب روشی که بتواند حداکثر سازی بازده و حداقل سازی ریسک را با هم در نظر بگیرد و این دو هدف با هم در تضاد را در یک مدل گنجانده و سرمایه گذار را به سمت اهداف بهینه هدایت نماید، مهم و ضروری به نظر می رسد.

در این تحقیق ما فرض می‌کنیم که سرمایه‌گذاران می‌توانند از بین  $N$  صنعت موجود در بازار بورس، پرتفوی خود را انتخاب کنند و همچنین آنها خواهان کمینه‌سازی VaR پرتفوی خود بر سطح معینی از بازده می‌باشند.

در صورتیکه بازاری شامل  $N$  صنعت باشد و بتوان حداکثر  $k$  تای آنها را جهت سرمایه‌گذاری در پرتفوی خود انتخاب نمود، مسأله بهینه‌سازی پرتفوی را می‌توان به صورت زیر نوشت :

Min  $Var_p$

Subject to :

$$R_p = \sum_{i=1}^k x_i r_i \geq R_c$$

$$\sum_{i=1}^k x_i = 1 \text{ and } \begin{cases} x_i > 0 & \forall i \in p \\ x_i = 0 & \forall i \notin p \end{cases}$$

$$|p| = k$$

$Var_p$ : ارزش در معرض ریسک پرتفوی

$R_p$ : بازده پرتفوی سهام

$R_c$ : سطح حداقل بازده مورد نیاز

$x_i$ : وزن هر سهم در پرتفوی

$r_i$ : بازده هر سهم

$|p|$ : تعداد سهام موجود در پرتفوی

اندازه چنین مسأله ایی با افزایش تعداد دارایی‌ها به سرعت روبه افزایش می‌نهد. به عنوان مثال چنانچه هدف انتخاب ۱۰ دارایی از بین ۱۰۰ دارایی باشد و وزن دارایی‌ها فرض شود که بتواند صرفاً به صورت مضربی از ۱۰٪ تغییر نماید، مسأله دارای  $10^{10} \times \binom{100}{10}$  حالت ممکن می‌گردد. با فرض اینکه پردازنده کامپیوتر قادر باشد که یک میلیون محاسبه را در یک ثانیه انجام دهد، برای پردازش این تعداد حالت ممکن به  $1.32 \times 10^{11}$  سال لازم است، یعنی چیزی در حدود ۱۰ برابر عمر جهان هستی. در صورتیکه فرض گردد تعداد دارایی‌ها ایی که می‌بایست در پرتفوی وارد شوند از ۱۰ به ۱۱ عدد افزایش یابد و وزن دارایی‌ها بتواند بصورت مضربی از ۵٪ تغییر کند این زمان به بیش از ۲۳۳ برابر عمر عالم هستی افزایش خواهد یافت (Maringer, 2001). برای حل چنین مسأله ای معمولاً از یک سری قواعد سرانگشتی (بر پایه ویژگی‌های معینی از دارایی‌ها) و یا کاهش فضای مسأله از طریق تقسیم کردن آن به چندین زیر مجموعه و انتخاب بهترین‌ها در هر زیرمجموعه استفاده می‌شود (Farrell, 1997). از آنجاکه هیچ یک از این روش‌ها واقعا ترکیب‌های غیر بهینه را حذف نمی‌کنند گرایش دارند که در عوض انتخاب پرتفوی بهینه محلی را پیدا کنند. یک روش جایگزین جهت حل چنین مسأله ایی استفاده

از الگوریتم های فراابتکاری می باشد که بر اساس آنها بخش عمده ای از فضای جواب های ممکن حذف نمی شود. الگوریتمی که در این تحقیق مورد استفاده قرار می گیرد ریشه در علم زیست شناسی دارد و به الگوریتم مورچگان مشهور است (اسلامی بیدگلی، وافی ثانی، باجلان، علیزاده، ۱۳۸۸).

### ۳-۱- تعیین مدل تخمین زنده VaR

به منظور بررسی بهینه سازی VaR با استفاده از روش های شبیه سازی، می توان از هر دو روش شبیه سازی تاریخی و مونت کارلو استفاده کرد. مبنای هر دو روش فوق مبتنی بر تولید سناریوهای مختلف برای بازده پرتفوی در آینده و محاسبه بدترین ضرر با اطمینان ۵٪ در سناریوهای تولیدی است. ولیکن شبیه سازی تاریخی از سناریوهای واقعی گذشته برای این منظور استفاده می کند و شبیه سازی مونت کارلو از سناریوهای فرضی که از یک فرایند تصادفی تولید می شوند بهره می برد. در این تحقیق هر زمان که نیاز به استفاده از روش شبیه سازی باشد، از شبیه سازی تاریخی استفاده شده است. این انتخاب به سه دلیل صورت گرفته است :

- اجرای شبیه سازی تاریخی بسیار ساده تر از مونت کارلو می باشد. مقالات و پژوهش های زیادی به بررسی و اندازه گیری VaR پرداخته اند و از آنجا که در تخمین VaR دقت مدل تخمین زنده بسیار مهم است، از هر دو روش تاریخی و مونت کارلو استفاده کرده اند. ولیکن تمرکز اصلی این تحقیق بر بهینه سازی VaR قرار دارد. از این جهت از پیچیده کردن روش اندازه گیری خود داری شده.
- در عمل بسیاری از بانکها و موسسات مالی در دنیا از شبیه سازی تاریخی استفاده می کنند که دلیل این امر سرعت زیاد و سادگی پیاده سازی آن بر روی پرتفوی های بسیار پیچیده و دقت قابل قبول آن است.
- از نظر بهینه سازی خواص شبیه سازی تاریخی و مونت کارلو شبیه هم هستند. هر دو دارای تابع غیر محدب و نامنظم هستند که بهینه سازی آنها با استفاده از روش های بهینه سازی معمول بسیار دشوار است (رحمتی، ۱۳۸۷).

### تعیین پارامترهای مدل تخمین VaR

برای اجرای یک شبیه سازی تاریخی برای تخمین VaR، ابتدا داده های سری زمانی را برای هر یک عامل های ریسک بازار بدست می آوریم. لیکن همانطور که گفته شد، انتخاب پارامترها برای تخمین VaR زمانیکه صحت مدل را از طریق آزمون بازخورد بررسی می شود اختیاری نمی باشد. مستقل از روش تخمین VaR در تمام آنها باید سه پارامتر مهم زیر را از پیش تعیین کرد. تعیین درست این سه پارامتر بسیار مهم و حیاتی است و تاثیر مستقیم بر دقت مدل تخمین زنده دارند.

### ➤ دوره مشاهده

دوره مشاهده، بیانگر دوره زمانی از گذشته است که با استفاده از داده‌های آن، به تخمین پارامترهای مدل دست می‌زنیم. طول دوره مشاهده در تخمین VaR بسیار مهم است. انتخاب طول دوره مشاهده، به داده‌های در دسترس وابسته است. کمیته بازل، دوره مشاهده ۲۵۰ روز کاری را برای مشاهدات روزانه پیشنهاد کرده است. که در این تحقیق نیز دوره مشاهده ۲۵۰ روز برای تخمین استفاده شده است. چنانچه طول دوره مشاهده بیش از حد کوتاه انتخاب شود، باعث کاهش دقت مدل شود. دوره مشاهده بیش از حد بلند و باعث کندی عکس‌العمل مدل به تغییرات در نوسان بازده پرتفوی می‌شود.

در نهایت آنچه نشان دهنده انتخاب صحیح طول دوره مشاهده می‌باشد آزمون برگشت است در این پژوهش طول دوره مشاهده ۲۵۰ روز کاری در نظر گرفته شده است. این انتخاب بر مبنای آزمونهای برگشت با طول دوره‌های مختلف و در نظر گرفتن داده‌های در دسترس صورت گرفته است.

### ➤ دوره نگهداری

دوره نگهداری مورد استفاده در این پژوهش یک روز می‌باشد. بدین معنی که در تخمین VaR از بازده‌های روزانه استفاده شده است.

### ➤ فاصله اطمینان

انتخاب فاصله اطمینان به سیاست‌های مدیریت ریسک بستگی دارد. برای ایجاد یک مدل با اعتبار خوب باید سطوح اطمینان پایین استفاده شود، طبق (Jorion, 2001) سطح اطمینان ۹۵٪ برای انجام آزمون بازخور مناسب می‌باشد. با این روش امکان مشاهده تعداد کافی تخطی از VaR برای یک دوره یکساله خواهد بود. بهر حال داشتن سطح اطمینان‌های متفاوت در آزمون بازخور فرایند این آزمون را اثربخش‌تر می‌نماید. در این پژوهش از سطوح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ استفاده شده است.

### بررسی صحت مدل‌های تخمین زنده VaR

صحت مدلها از طریق آزمون برگشت سنجیده می‌شود. برای این منظور از دو آزمون پوشش غیر شرطی<sup>۷</sup> و آزمون استقلال<sup>۸</sup> استفاده شده است طبیعتاً مدلی مناسب است که بتواند هر دو آزمون فوق را با موفقیت بگذراند.

### ➤ ویژگی پوشش غیر شرطی<sup>۹</sup>

احتمال رخداد ضرر بیش از VaR گزارش شده،  $Var_t(\alpha)$ ، باید دقیقاً برابر  $\alpha \times 100\%$  باشد (به عبارت دیگر  $\alpha = 1 - Pr(I_{t+1}(\alpha))$ ) اگر ضررهای بیش VaR با تکراری بیش از  $\alpha \times 100\%$  دفعات، مشاهده شوند، می‌تواند نشانه این باشد که معیار VaR به طور سیستماتیک ریسک واقعی پورتفوی

را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. حالت مخالف هم، یعنی زمانی که تعداد تخطی‌ها کمتر از مقدار پیش‌بینی شده باشد، بیانگر محافظه‌کار بودن مدل تعیین ریسک و بیش از حد تخمین زدن آن باشد.

### ➤ ویژگی استقلال<sup>۱۰</sup>

ویژگی پوشش غیر شرطی، محدودیت برای تعداد دفعات مشاهده استثناء قائل می‌شد، ولی ویژگی استقلال محدودیتی قویتر در مورد اینکه این استثنائات چگونه باید اتفاق بیافتند، قرار می‌دهد به طور خاص، هر دو جزء از توالی ضربه  $(I_{t-j}(\alpha), I_{t+k}(\alpha))$  باید از یکدیگر مستقل باشند. این مسئله را می‌توان بدین گونه بیان نمود که سابقه استثنائات  $\{I_{t-1}(\alpha), I_t(\alpha), \dots\}$  نباید هیچ گونه اطلاعاتی در مورد اینکه یک تخطی دیگر  $I_{t+1}(\alpha) = 1$  رخ خواهد داد، بدهد.

### آزمون برگشت برای پرتفوی متشکل از ۱۰ دارایی

همانطور که قبلاً اشاره شد در این پژوهش هدف بهینه‌سازی پرتفوی متشکل از ۱۰ دارایی با استفاده از مدل Mean-VaR می‌باشد. ارزش شاخص ۱۰ صنعت از بین صنایع موجود در بورس که به صورت نمونه تصادفی انتخاب شده اند در ۳ سال اخیر از سایت بورس اوراق بهادار تهران استخراج شده است. این قیمت‌ها از تاریخ ۱۳۸۷/۰۳/۰۴ الی ۱۳۹۰/۰۵/۳۰ می‌باشند. در این بازه تاریخی ۸۰۰ قیمت وجود دراد که منجر به ۷۹۹ بازده روزانه برای صنایع می‌شود.

به منظور تشکیل پرتفوی، باید وزن هر کدام از شاخص‌ها درون پرتفوی مشخص گردد. که وزن هر شاخص صنعت در پرتفوی را متناسب با ارزش آن صنعت در روزی که VaR برای آن محاسبه شده است در نظر می‌گیریم.

برای این مدل ۲ حالت آزمون برگشت در نظر گرفته شده است که در جدول ۴-۱ مشاهده می‌کنید. در جدول صفحه بعد نتیجه اجرای هر دو آزمون پوشش غیر شرطی و آزمون استقلال را بر روی مدل‌های در نظر گرفته شده مشاهده می‌کنید.

جدول ۴-۱- آزمون

دروه مشاهده	سطح اطمینان
۲۵۰	٪۹۵
۲۵۰	٪۹۹
۴۰۰	٪۹۵
۴۰۰	٪۹۹



جدول ۴-۲- اوزان ۱۰ شاخص برتر

وزن	شاخص
۱۱,۴۸٪	فلزات اساسی
۱,۹۹٪	فراورده‌های نفتی
۱,۵۶٪	محصولات غذایی و آشامیدنی به جز قند و شکر
۱,۶۱٪	محصولات شیمیایی
۰,۷۶٪	سیمان، گچ و آهن
۰,۳۸٪	سرمایه‌گذاریها
۱,۱۹٪	سایر واسطه‌گریهای مالی
۱,۱۲٪	رایانه و فعالیت‌های وابسته به آن
۶۳,۰۹٪	مواد و محصولات دارویی
۱۶,۸۱٪	خودرو و ساخت قطعات

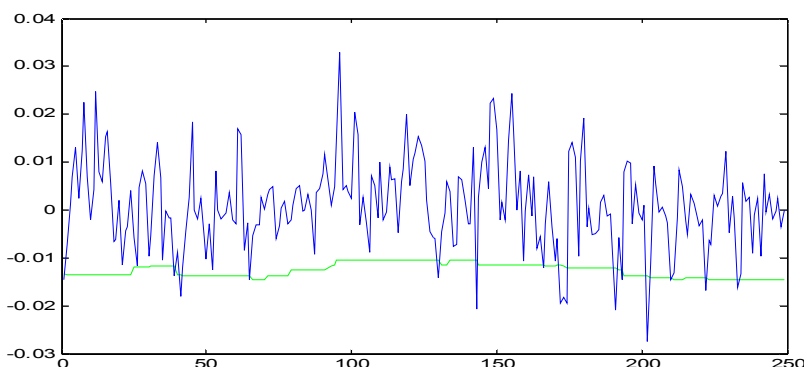
همانطور که مشاهده می‌کنید مدل شبیه‌سازی تاریخی برای دوره مشاهده ۴۰۰ روز با در هر دو فاصله اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ پذیرفته نمی‌شود دلیل این امر این است که بدلیل زیاد بودن داده‌های تاریخی که برای تخمین VaR استفاده می‌شوند، میزان اثرگذاری داده‌های جدید کمتر شده و مدل به کندی تغییر در ریسک را گزارش می‌دهد. در (Pritsker, 2001) این پدیده در هنگام استفاده از شبیه‌سازی تاریخی در سایر بورس‌ها و پرتفوی‌ها هم تجربه شده است و به عنوان مهم‌ترین ضعف شبیه‌سازی تاریخی شناخته می‌شود. برای رفع این مشکل از روش شبیه‌سازی تاریخی فیلتر شده<sup>۱۱</sup> پیشنهاد شده که بررسی آن خارج از بحث این پژوهش است.

جدول ۴-۳- آزمون

نتیجه	آزمون استقلال	نتیجه	آزمون پوشش غیر شرطی	کای-مربع	دروه مشاهده	سطح اطمینان
پذیرفته می‌شود	۰,۹۹۴۵	پذیرفته می‌شود	۰,۹۸۱۳	۳,۸۴۱۰	۲۵۰	۹۵٪
پذیرفته می‌شود	۰,۰۳۲۵	پذیرفته می‌شود	۰,۱۰۴۴	۶,۶۳۵۰	۲۵۰	۹۹٪
پذیرفته می‌شود	۱,۸۱۵۲	نمی‌توان پذیرفت	۱۸,۲۸۰۵	۳,۸۴۱۰	۴۰۰	۹۵٪
پذیرفته می‌شود	۰,۰۲۰۲	نمی‌توان پذیرفت	۷,۱۰۴۴	۶,۶۳۵۰	۴۰۰	۹۹٪

تعداد تخطی‌ها از VaR با در نظر گرفتن فاصله اطمینان ۹۵٪ و دوره مشاهده ۴۰۰ روز در مدل شبیه‌سازی تاریخی ۱۴ عدد از میان ۳۹۹ آزمون برگشت منفرد بوده است ولیکن مقداری که توسط فاصله اطمینان پیش‌بینی می‌شود  $0.05 \times 400 = 20$  که این نشان دهنده این است که دوره مشاهده ۴۰۰ روز باعث می‌شود مدل تاریخی طراحی شده، ریسک را بیشتر از حد واقعی تخمین بزند و اصطلاحاً بیش از حد محافظه‌کارانه باشد.

نمودار ۴-۱- منحنی‌های VaR تخمینی در مقابل نوسان واقعی بازده



شکل بالا نشان دهنده VaR محاسبه شده در آزمون برگشت برای ۲۵۰ روز در کنار بازده واقعی در این ۲۵۰ روز می‌باشد. که در جاهایی که منحنی بازده از روی منحنی VaR عبور کرده است نشان دهنده تخطی‌های صورت گرفته در آزمون برگشت انجام شده می‌باشد. خط آبی رنگ نشان دهنده بازده‌های واقعی در طول دوره و خط سبز رنگ نشان دهنده VaR های تخمینی برای این ۲۵۰ روز می‌باشد.

جدول ۴-۴- خصوصیات شاخص‌های استفاده شده

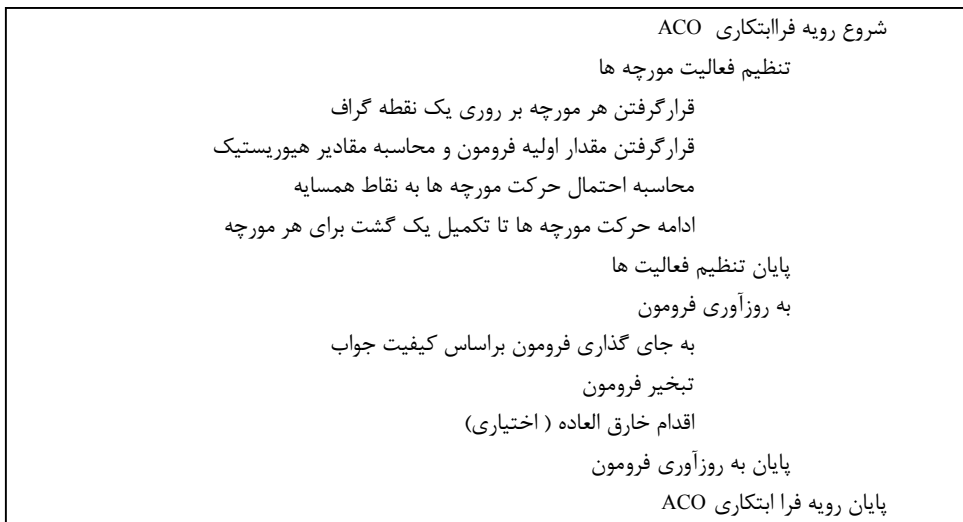
ردیف	شاخص	میانگین بازده	انحراف معیار	چولگی	کشی‌گی
۱	فلزات اساسی	۰,۰۰۲۲	۰,۰۱۳۵	۰,۰۸۶۵	۳,۹۹۵۷
۲	خودرو و ساخت قطعات	۰,۰۰۱۱	۰,۰۱۷۲	۰,۲۴۸۹	۲,۷۰۴۳
۳	قند و شکر	۰,۰۰۲۲	۰,۰۰۰۹	۳,۰۹۹۱	۲۴,۳۶۰۲
۴	چند رشته ایی صنعتی	۰,۰۰۲۷	۰,۰۱۳۱	۰,۳۷۱۵	۳,۹۵۷۳
۵	مواد و محصولات دارویی	۰,۰۰۱۳	۰,۰۰۴۹	۲,۷۷۰۱	۱۸,۵۲۷۶

ردیف	شاخص	میانگین بازده	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
۶	کاشی و سرامیک	۰,۰۰۰۵	۰,۰۰۵۸	۰,۶۸۲۳	۴,۵۷۷۶
۷	سیمان، گچ و آهن	۰,۰۰۰۶	۰,۰۰۴۹	۱,۰۸۳۶	۵,۰۱۰۴
۸	محصولات شیمیایی	۰,۰۰۰۲	۰,۰۰۹۵	۱,۲۰۳۷	۱۰,۹۶۸۸
۹	خدمات فنی و مهندسی	-۰,۰۰۰۶	۰,۰۱۸۸	۰,۲۱۸۸	۲,۶۸۱۴
۱۰	انبوه سازی، املاک و مستغلات	۰,۰۰۱۲	۰,۰۰۸۹	۰,۲۲۷۸	۴,۸۲۴۷
۱۱	رایانه و فعالیت های وابسته به آن	۰,۰۰۲۵	۰,۰۱۹۸	۰,۴۴۶۴	۴,۵۲۳۴
۱۲	استخراج ذغال سنگ	۰,۰۰۳۵	۰,۰۲۲۶	۰,۵۵۶۸	۳,۹۸۶۴
۱۳	استخراج نفت، گاز و خدمات جنبی جز اکتشافات	۰,۰۰۰۱	۰,۰۲۱۴	۰,۳۲۴۳	۳,۱۳۴۹
۱۴	استخراج کانیهای فلزی	۰,۰۰۱۸	۰,۰۱۵۷	۱,۲۰۷۳	۸,۱۵۹۹
۱۵	استخراج سایر معادن	۰,۰۰۰۷	۰,۰۰۸۵	۱,۴۶۲۱	۱۷,۴۱۹۶
۱۶	محصولات کاغذی	۰,۰۰۰۴	۰,۰۰۸۶	-۰,۲۸۲۸	۷,۶۴۵۸
۱۷	انتشار، چاپ و تکثیر	۰,۰۰۱۵	۰,۰۱۵۴	-۱,۵۵۵۱	۱۹,۸۷۵۷
۱۸	فرآوردهای نفتی	۰,۰۰۰۳	۰,۰۱۱۱	۰,۹۳۸۸	۷,۷۵۳۴
۱۹	لاستیک و پلاستیک	-۰,۰۰۰۲	۰,۰۰۹۲	-۶,۸۰۴۵	۸۷,۷۰۵۶
۲۰	ساخت محصولات فلزی	-۰,۰۰۰۳	۰,۰۱۶۴	۰,۱۴۵۴	۱,۹۶۰۱
۲۱	ماشین آلات و تجهیزات	-۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۶۷	۰,۳۱۹۴	۸,۰۹۸۴
۲۲	ماشین آلات و دستگاههای برقی	۰,۰۰۲۵	۰,۰۲۸۳	۰,۱۲۴۵	۱۲۳,۱۹۸۴
۲۳	ساخت دستگاه ها و وسایل ارتباطی	-۰,۰۰۲۳	۰,۰۱۶۷	-۰,۸۵۶۹	۶,۶۱۴۷
۲۴	محصولات غذایی و آشامیدنی به جز قند و شکر	۰,۰۰۱۱	۰,۰۱۰۴	۲,۷۸۴۷	۲۲,۲۰۹۶
۲۵	پیمانکاری صنعتی	-۰,۰۰۱۴	۰,۰۳۰۹	۱,۶۰۴۸	۱۳,۱۲۲۳
۲۶	سایر محصولات کانی غیر فلزی	-۰,۰۰۰۱	۰,۰۰۴۹	۰,۰۵۶۹	۳,۴۹۶۳
۲۷	سرمایه گذاریها	۰,۰۰۱۸	۰,۰۱۱۹	۰,۲۰۱۶	۳,۳۴۲۳
۲۸	سایر واسطه گریهای مالی	۰,۰۰۰۱	۰,۰۱۵۴	۳,۸۳۳۲	۴۰,۰۸۷۵
۲۹	حمل و نقل انبارداری و ارتباطات	-۰,۰۰۱۸	۰,۰۱۵۲	-۰,۲۲۴۵	۲۳,۶۸۵۷
۳۰	مخابرات	۰,۰۰۱۸	۰,۰۱۳۹	۰,۳۳۱	۴,۸۱۸۵

### ۲-۳- الگوریتم مورچگان

بهبودسازی کلونی مورچگان (ACO) یک روش فراابتکاری برای حل مسائل بهبودسازی ترکیبی و سخت است که به تازگی ارائه شده است. منشاء الهام این روش اثر فرومون<sup>۱۲</sup> به جای مانده از مورچه های واقعی و رفتار جمعی آنها که از فرومون برای برقراری ارتباط استفاده می کنند، است. از نظر زیست شناسی، بهبودسازی کلونی مورچگان مبتنی بر ارتباط غیر مستقیم یک کلونی از عوامل ساده

است که مورچه نامیده می‌شوند و به واسطه اثر فرومون در ارتباط اند. اثر فرومون در کلونی مورچگان (ACO) به مانند اطلاعات عددی عمل می‌کند که در فضای جواب توزیع شده اند و مورچه‌ها در هنگام اجرای الگوریتم از آن استفاده می‌کنند تا تجربیات خود را به دیگران نشان دهند. مورچه‌های مصنوعی که در کلونی مورچگان استفاده می‌شوند با استفاده از رویه‌های سازنده<sup>۱۳</sup> جواب‌های تصادفی تولید می‌کنند، بدین صورت که با اضافه کردن اجزاء یک حل به پاسخ جزئی بدست آمده، به طور متناوب پاسخ تولید می‌کنند. مورچه برای ساخت پاسخ مسأله از اطلاعات هیوریستیک داخل مسأله، اثرات فرومون مصنوعی که در طول فرایند حل تغییر می‌کند و تجارب بدست آمده توسط عامل‌های جستجو (همان مورچه‌ها) را دربر دارد.



شکل ۵-۱- نمایش روش فراابتکاری ACO بصورت شبه کد

### ۳-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم‌های ژنتیک ابزاری می‌باشند که توسط آن ماشین می‌تواند مکانیزم انتخاب طبیعی را شبیه سازی نماید. این عمل با جستجو در فضای مسئله جهت یافتن جواب برتر و نه الزاماً بهینه صورت می‌پذیرد. الگوریتم‌های ژنتیک با توجه به نظریه داروین در مورد تکامل، جان گرفتند. سپس نظریه

محاسبات تکاملی، توسط ریچنبرگ در سال ۱۹۶۰ معرفی شدند و این نظریه توسط محققان دیگر توسعه یافت تا در سال ۱۹۷۵ منجر به اختراع الگوریتم‌های ژنتیک توسط هالند<sup>۱۴</sup> و دانشجویانش شد.

#### ۴-۳- الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک

در این تحقیق به منظور استفاده از یک الگوریتم ترکیبی جهت حل مساله انتخاب پرتفوی از یک استراتژی تکرار شونده استفاده می‌گردد. هر تکرار شامل سه مرحله می‌باشد. در مرحله اول، مورچگان مصنوعی میان شبکه‌ای از  $N$  نقطه که بیانگر  $N$  دارایی موجود در بازار می‌باشد حرکت می‌نمایند کمانی که هر دو نقطه  $i, j$  را به هم متصل می‌کند می‌بایست نشان دهد که آیا این ترکیب، ترکیب مطلوبی است یا خیر؟ که این کار را می‌توان از طریق معرفی ماتریس  $[\tau_{ij}]_{N \times N}$  که بیانگر میزان فرمون ذخیره شده در مسیر  $ij$  است، انجام داد.

در صورتیکه  $P'_a$  پرتفوی تکمیل نشده مورچه  $a$  باشد بگونه‌ای که  $|P'_a| < k$  باشد و اگر  $i$  دارایی باشد که تاکنون توسط مورچه  $a$  انتخاب شده است و  $j$  دارایی باشد که تاکنون توسط مورچه  $a$  انتخاب نشده است، احتمال انتخاب دارایی  $j$  توسط مورچه  $a$  به شرح ذیل می‌باشد

$$P_{aj} = \begin{cases} \frac{\sum_{i \in P'_a} [\tau_{ij}]^\alpha}{\sum_{i \in P'_a} \sum_{h \notin P'_a} [\tau_{ih}]^\alpha} & \forall j \notin P_a \\ 0 & \forall j \in P_a \end{cases}$$

هنگامی که مورچه  $a$  دارایی خود را انتخاب نمود مرحله دوم شروع می‌شود که در این مرحله وزن بهینه هر دارایی باید طوری تعیین می‌شود که VaR کمینه گردد. در این مرحله  $k$  سهمی که توسط مورچه  $a$  انتخاب شده است به عنوان جمعیت اولیه وارد الگوریتم ژنتیک با مشخصات مذکور در ذیل شده تا وزن‌های بهینه آنها بر اساس دو قید حداقل بازده و عدم امکان فروش استقرایی تعیین شود سپس در مرحله آخر یعنی سومین مرحله، وقتی وزن‌های بهینه بر ای سبدهای دارایی همه مورچه‌ها توسط الگوریتم ژنتیک محاسبه شد ارزش در معرض ریسک پرتفوی آنها محاسبه گردید می‌بایست میزان فرمون انباشته شده در هر مسیر مورد بازنگری قرار گیرد. که بازنگری میزان فرمون انباشته به صورت زیر انجام می‌گردد.

به موازات گذشت زمان مقداری فرمون موجود بر روی هر مسیر باید تبخیر شود و تنها قسمتی از آن باقی بماند. میزان فرمون باقی مانده از تکرارهای قبل در هر مسیر برابر است با  $\rho \cdot \tau_{ij}$  بگونه‌ای که در آن  $\rho \in [0,1]$  است.

بعد از اتمام هر تکرار مقداری فرومون جدید بر روی مسیرهای انتخاب شده توسط هر مورچه ریخته می‌شود. در صورتی که مورچه  $a$  میزان فرومون ثابت  $Q$  را بر روی مسیری با ارزش در معرض ریسک  $V_a$  انباشته نماید، تغییر در میزان فرومون هر مسیر  $ij$  برابر است با:  $\Delta\tau_{ij} = \frac{Q}{V_a}$ . این معادله نشان می‌دهد که مورچه ای که پرتفویی با VaR کمتری را انتخاب نموده میزان بیشتری فرومون بر روی مسیر انباشته می‌نماید. براین اساس میزان تغییر در فرومون بصورت زیر در می‌آید:

$$\Delta_a\tau_{ij} = \begin{cases} \frac{Q}{V_a} & \forall i, j \in P_a, i \neq j \\ 0 & \forall i, j \notin P_a \end{cases}$$

با ترکیب گام‌های یک و دو، ماتریس فرومون‌ها باید بصورت زیر مورد بازنگری قرار گیرد:

$$\tau_{ij} = \rho \cdot \tau_{ij} + \sum_{a=1}^{ants} \Delta_a\tau_{ij}$$

$ants$ : تعداد مورچه در الگوریتم

لازم به توضیح است که در معادله بالا جز اول  $(\rho \cdot \tau_{ij})$  میزان فرومون باقی مانده بر روی مسیر  $ij$  را از تکرارهای قبل می‌باشد و جز دوم  $(\sum_{a=1}^{ants} \Delta_a\tau_{ij})$  تغییر در میزان فرومون مسیر  $ij$  را به دلیل حرکت مورچه‌های مختلف از این مسیر در تکرار فعلی رانشان می‌دهد.

هر چه تعداد مورچه‌های بیشتری یک مسیر خاص را برگزینند احتمال اینکه این مسیر در تکرارهای بعد توسط همین مورچه و یا سایر مورچه‌ها انتخاب گردد بیشتر است. با توجه به این امر هر مورچه از تجارب خود و سایر مورچه‌ها در تکرارهای قبل جهت انتخاب یک مسیر خاص که معرفی یک دارایی است استفاده می‌نماید (میزان فرومون انباشته شده بر روی یک مسیر نشان دهنده این تجربه می‌باشد) و به سمت دارایی‌هایی سوق پیدا می‌کند که تجارب قبلی آنها را دارایی‌های موفق‌تر نشان داده است.

### تعیین پارامترهای الگوریتم‌های مورچگان

پارامترهای استفاده شده در الگوریتم مورچگان قابل استفاده برای بهینه‌سازی سبد دارایی بر طبق آنچه در (Dorigo & Stutzle, 2004) آمده است به صورت زیر می‌باشد:

- $\alpha$  که توان اثر فرومون در معادله تعیین احتمال انتخاب سهم بعدی می‌باشد ۱ قرار داده شده است.
- $\rho$  که میزان نرخ تبخیر می‌باشد برابر ۰,۵ در نظر گرفته شده است.
- $n$  که تعداد مورچه را نشان می‌دهد برابر تعداد دارایی‌های موجود در بازار قرار داده می‌شود.

### پارامترهای الگوریتم ژنتیک

در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک باینری استفاده شده است. به عبارت دیگر عملیات ژنتیکی مستقیماً بر روی خود متغیرها صورت نگرفته و از کد گذاری در مبنای ۲ استفاده شده است. همچنین تولید نسل ابتدایی به صورت تصادفی صورت می‌گیرد. اندازه جمعیت<sup>۱۵</sup> مورد استفاده در این تحقیق ۶۰ می‌باشد. در صورت عدم تغییر در تابع هدف در ۱۰ نسل متوالی الگوریتم ژنتیک متوقف می‌شود. در صورتیکه شرط توقف اتفاق نیفتاد تعداد نسل در نظر گرفته شده برای الگوریتم ژنتیک طراحی شده ۵۰ نسل می‌باشد.

تعداد کروموزم‌های نخبه که مستقیماً وارد نسل بعدی خواهند شد سه و نیم درصد (۳,۵٪) جمعیت در نظر گرفته شده است. کروموزم‌های نخبه<sup>۱۶</sup> در هر نسل، آنهایی هستند که در نسل خود بهترین مقدار تابع برازندگی را داشته باشند.

به منظور مقیاس بندی مقدار تابع برازندگی از مقیاس رتبه‌ای استفاده شده است. در این نوع مقیاس بندی، کروموزوم‌ها ابتدا بر اساس مقدار تابع برازش مرتب می‌شوند و سپس رتبه هر کدام نسبت به دیگری مشخص می‌شود. انتخاب کروموزوم‌ها براساس رتبه‌شان نسبت به یکدیگر صورت می‌گیرد. این نوع مقیاس بندی فاصله بین مقدار تابع برازش کروموزوم‌ها را از بین می‌برد و می‌تواند سرعت همگرایی الگوریتم را کاهش داده و مانع همگرایی زود هنگام<sup>۱۷</sup> گردد.

به منظور تعیین نحوه انتخاب کروموزوم‌ها به منظور جفت‌گیری، از روش زیر استفاده شده است:

#### Tournament Selection

پارامتر این روش ۰,۶ در نظر گرفته شده است بدین معنی که در هر مرحله دو کروموزوم را به صورت تصادفی انتخاب کرده و کروموزوم بهتر را برای جفت‌گیری بر می‌گزیند. همچنین نرخ تقاطع که نشان دهنده‌ی این که چه درصدی از جمعیت تحت تاثیر اپراتور تقاطع قرار می‌گیرند، ۰,۸ در نظر گرفته شده است. این عدد با روش سعی و خطا و آزمون مقادیر مختلف نرخ تقاطع در فاصله ۰,۳ تا ۰,۹ بدست آمده است. با نرخ ۰,۸ بهترین تابع برازش حاصل می‌شد و در موارد کمتری همگرایی زود هنگام رخ می‌داد.

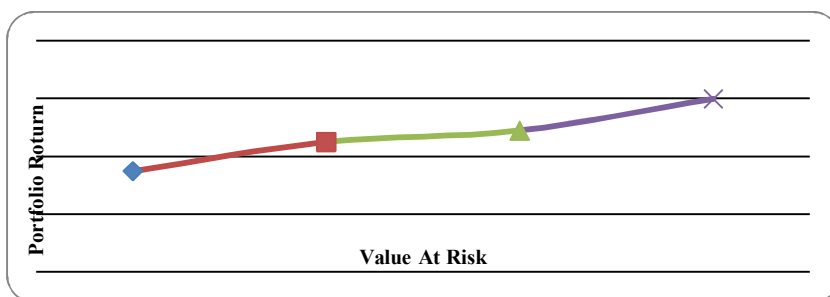
جهش در کروموزوم‌ها به روش Gaussian Function صورت می‌گیرد. در این روش یک جهت به طور تصادفی برای تغییر در مقادیر ژن‌ها انتخاب می‌شود. طول تغییر ایجاد شده در ژن به محدودیت‌های مسئله بستگی دارد. این تغییر در ژن‌ها به اندازه‌ای داده می‌شود که همچنان ژن‌ها در فضای قابل قبول<sup>۱۸</sup> باقی بمانند. نرخ جهش نشان دهنده درصد جمعیت تحت تاثیر اپراتور جهش است، ۰,۲ در نظر گرفته شده است. این نرخ بوسیله آزمون نرخ‌های جهش در فاصله ۰,۱ تا ۰,۵ انتخاب شده است.

### طراحی مدلی برای ارزیابی اعتبار الگوریتم ترکیبی طراحی شده

بدست آوردن روش دومی برای بهینه سازی پرتفوی بر مبنای VaR که بتوان به نتایج آن اعتماد نمود بسیار دشوار است زیرا اساساً چنین مسئله ای فاقد راه حل بهینه بوده و تمام روش های ارائه شده برای مساله یک راه حل ابتکاری و تقریبی است. برای ارزیابی کارایی مدل ارائه شده در این پژوهش پاسخ بدست آمده از الگوریتم طراحی شده را با پاسخ الگوریتم ژنتیک به تنهایی مقایسه می کنیم.

#### ۴- نتایج پژوهش

شکل ۸-۱- مرز کارای بدست آمده برای پرتفوی ۱۰ شاخصی را با در نظر گرفتن فاصله اطمینان ۹۵٪ برای VaR نشان می دهد که با استفاده از روش الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک بدست آمده است.



شکل ۸-۱- ترسیم مرز کارا برای پرتفوی ۱۰ شاخصی

همانطور که پیش بینی می شد این مرز غیر محدب می باشد. نقاط قرمز رنگ ۴ نقطه از مرز کار را نشان می دهد که سعی می کنیم با استفاده از الگوریتم ترکیبی آنها را محاسبه کنیم. همانطور که ملاحظه می شود ۴ نقطه مذکور به ازای ۴ سطح بازده مختلف بدست می آیند. جدول ۸-۱ تا ۸-۴ نتایج اجرای الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک و روش آزمون (الگوریتم ژنتیک) را برای بهینه سازی پرتفوی ۱۰ شاخصی فوق نشان می دهد. در جدول ها برای تخمین VaR از فاصله اطمینان ۹۵٪ استفاده شده است. در این جدول ها ۴ سطح بازده (R) مختلف برای محدودیت بازده در نظر گرفته شده است که طبیعتاً به ایجاد چهار مدل مختلف منجر می شود.



از آنجاکه در این پژوهش از VaR بعنوان معیار ریسک استفاده شده است. نمی توان از معیارهای معمول ارزیابی عملکرد برای مقایسه دو الگوریتم استفاده نمود لیکن در این پژوهش از آنجاکه بازده بعنوان یک محدودیت، ثابت در نظر گرفته شده است الگوریتمی که با توجه به مدل تخمینی VaR پرتفویی با ریسک کمتر ارائه نماید نسبت به الگوریتم دیگر برتری دارد. در جداول قابل مشاهده است در هر ۴ سطح بازده الگوریتم ترکیبی پرتفویی با VaR کمتر را نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه می دهد.

جدول ۸-۱- مقایسه نتایج بدست آمده از طریق الگوریتم های ترکیبی مورچگان و ژنتیک با

الگوریتم ژنتیک برای پرتفوی ۱۰ سهمی در سطح اطمینان ۹۵٪ در سطح بازده ۰,۰۰۵

الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک	
وزن	شاخص های منتخب	وزن	شاخص های منتخب
۰,۱۸۱۰	۸	۰,۰۲۰۸	۸
۰,۱۱۲۳	۲۴	۰,۰۲۸۶	۲۲
۰,۰۰۸۶	۲۳	۰,۱۲۸۵	۱۶
۰,۰۵۵۳	۱۹	۰,۲۲۸۲	۷
۰	۲۲	۰	۹
۰,۰۷۲۱	۴	۰,۴۰۵	۵
۰,۰۲۸۵	۲۹	۰,۰۱۱۲	۲۱
۰,۴۲۳۰	۲۶	۰,۱۵۶۴	۲۶
۰,۰۴۸۹	۱۸	۰,۰۰۵۹	۱۴
۰,۰۷۰۳	۶	۰,۰۱۵۴	۱۸
ارزش در معرض ریسک (VaR)		ارزش در معرض ریسک (VaR)	
۰,۰۰۴۰		۰,۰۰۳۵	

جدول ۸-۲- مقایسه نتایج بدست آمده از طریق الگوریتم های ترکیبی مورچگان و ژنتیک با

الگوریتم ژنتیک برای پرتفوی ۱۰ سهمی در سطح اطمینان ۹۵٪ در سطح بازده ۰,۰۱

الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک	
وزن	شاخص های منتخب	وزن	شاخص های منتخب
۰,۱۱۳۶	۲۶	۰,۰۳۳۲	۱۱
۰,۳۵۹۹	۳	۰,۰۳۶۶	۸
۰,۱۴۶۵	۶	۰,۰۸۰۳	۱۵
۰,۰۳۶۷	۲۴	۰,۰۰۱۵	۲۸

الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک	
وزن	شاخص های منتخب	وزن	شاخص های منتخب
۰,۰۰۰۶	۲۱	۰,۰۰۳۶	۳۰
۰,۰۱۰۹	۱	۰,۰۴۸۲	۱۷
۰,۰۲۷۶	۱۸	۰,۰۲۸۴	۲۹
۰,۲۰۱۰	۱۵	۰,۳۴۰۷	۵
۰,۰۶۵۴	۵	۰,۳۸۱۶	۳
۰,۰۳۷۸	۲۷	۰,۰۴۶	۴
ارزش در معرض ریسک (VaR)		ارزش در معرض ریسک (VaR)	
۰,۰۰۴۸		۰,۰۰۴۵	

جدول ۸-۳- مقایسه نتایج بدست آمده از طریق الگوریتم های ترکیبی مورچگان و ژنتیک با الگوریتم ژنتیک برای پرتفوی ۱۰ سهمی در سطح اطمینان ۹۵٪ در سطح بازده ۰,۰۱۵

الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک	
وزن	شاخص های منتخب	وزن	شاخص های منتخب
۰,۰۰۸۹	۲۴	۰,۰۱۲۷	۲۸
۰,۲۵۵۰	۱۲	۰,۰۶۹۲	۶
۰,۰۲۵۰	۶	۰,۰۳۲	۲۹
۰,۰۰۷۵	۵	۰,۰۰۱۲	۲۷
۰,۰۱۰۴	۱۱	۰,۰۵۹۱۶	۳
۰,۰۳۰۲	۷	۰,۰۱۰۹	۱۷
۰,۰۰۱۶	۲	۰,۰۲۷۳	۲۴
۰,۶۳۷۸	۲۱	۰,۰۲۳۲	۵
۰,۰۲۲۷	۲۶	۰,۰۰۰۴۶۲	۲۵
۰,۰۰۰۷	۱۸	۰,۲۳۱۴	۷
ارزش در معرض ریسک (VaR)		ارزش در معرض ریسک (VaR)	
۰,۰۰۶۱		۰,۰۰۴۹	

جدول ۸-۴- مقایسه نتایج بدست آمده از طریق الگوریتم های ترکیبی مورچگان و ژنتیک با الگوریتم ژنتیک برای پرتفوی

الگوریتم ژنتیک		الگوریتم ترکیبی مورچگان و ژنتیک	
وزن	شاخص های منتخب	وزن	شاخص های منتخب
۰,۰۲۰۷	۴	۰,۰۱۵۷	۴
۰,۰۲۵۱	۱۳	۰,۰۸۳۶۶	۳
۰,۰۸۳۵۵	۳	۰,۰۳۶۳	۱۳
۰,۰۱۲۳	۸	۰,۰۱۶۱	۱۱
۰,۰۰۸۵	۱۴	۰	۲۳
۰,۰۲۸۵	۱۷	۰,۰۰۸۱	۸
۰,۰۰۰۱	۲۲	۰,۰۱۳۲	۲۷
۰,۰۱۲۳	۹	۰,۰۲۱۱	۵
۰,۰۵۱۷	۲۶	۰,۰۰۲۷	۲۲
۰,۰۰۵۴	۲۸	۰,۰۵۰۲	۱۰
ارزش در معرض ریسک (VaR)		ارزش در معرض ریسک (VaR)	
۰,۰۰۶۶		۰,۰۰۶	

### ۵- نتیجه گیری و بحث

پژوهش مذکور به بررسی مساله بهینه سازی تابع VaR و استفاده از آن در مدل مارکویتز محدود شده بر اساس تعداد دارایی هایی که می تواند انتخاب گردد (محدودیت عدد صحیح) به عنوان ریسک پرداخته است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که الگوریتم ترکیبی برای پرتفوی متشکل از ۱۰ دارایی در سطح بازدهی مشخص پرتفوهایی با VaR کمتر را نسبت به الگوریتم ژنتیک ارائه می دهد. تحقیق حاضر نشان داد که الگوریتم ترکیبی ارائه شده عملکردی بهتری نسبت به الگوریتم ژنتیک دارد که با تحقیق «محسن رحمتی» برای بهینه سازی پرتفوی ارزی بانک تجارت بر اساس مدل Mean-VaR استفاده نموده است. از طرف دیگر از آنجاکه VaR تنها نوسانات نامطلوب را برای ارزیابی ریسک در نظر می گیرد و از این جهت نسبت به واریانس برتری دارد. می توان بیان نمود که مدل ارائه شده در این پژوهش از آنچه در بهینه سازی پرتفوی از طریق مدل میانگین-واریانس با محدودیت های کاردینال با استفاده از الگوریتم مورچگان که در تحقیق دکتر اسلامی بیدگلی بکار رفت، کارا تر می باشد.

در پایان باید توجه نمود که مدلی که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. در واقع تعدیل یافته های مدل کلاسیک بهینه‌سازی سبد سهام مارکویتز می‌باشد که در آن فرض "عقلایی بودن" سرمایه-گذاران به عنوان مدل ساده‌ای از رفتار انسان، یکی از پایه‌های اصلی است. از نظر دانش مالی رفتاری، این فرض به دلیل واقعی نبودن آن قادر به توضیح رفتار سرمایه‌گذاران نمی‌باشد. به همین دلیل مدل-های بهینه‌سازی که بر اساس این فرض بدست می‌آید نیز نمی‌تواند منعکس کننده همه شرایط موجود در دنیای واقعی باشد. از سوی دیگر نوسانات خیلی زیاد در بازار باعث می‌گردد که مدل طراحی شده برای محاسبه VaR روایی خود را از دست بدهد که در این صورت برای استفاده از مدل طراحی شده در این تحقیق در بازار های با نوسان بالا باید ابتدا با آزمون برگشت اعتبار مدل VaR طراحی شده سنجیده گردد سپس از مدل است تحقیق استفاده شود

### فهرست منابع

- \* راعی رضا، سعیدی علی؛ ۱۳۸۹؛ مبانی مهندسی مالی و مدیریت ریسک، انتشارات دانشگاه تهران
- \* عالم تبریز اکبر، زندیه مصطفی، محمد رحیمی علیرضا؛ ۱۳۸۷؛ الگوریتم های فراابتکاری در بهینه سازی ترکیبی، انتشارات صفار- اشراقی
- \* میرزایی مسعود، بشیری مهدی؛ ۱۳۸۹؛ بهینه سازی کلونی مورچگان: مفاهیم، الگوریتم ها و کدنویسی، موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی
- \* غلامرضا اسلامی بیدگلی، جلال وافی ثانی، مجید علیزاده، سعید باجلان (۱۳۸۸)؛ بهینه سازی و بررسی اثر میزان تنوع بر عملکرد پرتفوی با استفاده از الگوریتم مورچگان در داخل و به تحقیقات انجام شده؛ فصلنامه بورس اوراق بهادار
- \* محمد مهدی سپهری، عزیز اله جعفری؛ ۱۳۸۳؛ حل مسئله تامین بهنگام قطعات مورد نیاز سیستم های تولیدی با استفاده از مدل ریاضی و الگوریتم مورچگان؛ نشریه، دانشکده فنی جلد ۳۸ شماره ۱
- \* رحمتی محسن (۱۳۸۷). انتخاب سبد سهام بهینه مبتنی بر (VAR) به عنوان معیار ریسک و با استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری. دانشگاه تهران: پایان نامه کارشناسی ارشد
- \* فلاح پور سعید (۱۳۸۸). طراحی مدلی برای مدیریت فعال پرتفوی سهام با استفاده از الگوریتم ژنتیک و ارزش در معرض ریسک (VaR). دانشگاه تهران: پایان نامه دکتری
- \* نجف پور، حجت اله (۱۳۸۹). بهینه سازی پرتفوی سهام با استفاده از الگوریتم ممتیک. دانشگاه تهران: پایان نامه کارشناسی ارشد
- \* Dorigo, M., Stutzle, T., (2004). Ant Colony Optimization. MIT Press, Cambridge, MA.

- \* Elton, E.J. Gruber, M.J. (1995), *Modern Portfolio Theory and Investment Analysis*, John Wiley and Sons, New York.
- \* J. Philippe (2001), *Value at Risk: The New Benchmark for Controlling Market Risk*, Irwin Professional Publishing, Chicago,.
- \* Chang, T. J., Meade, N., Beasley, J. E., & Sharaiha, Y. M. (2000). Heuristics for cardinality constrained portfolio optimization. *Computers & Operations Research*, (27), 1271–1302.
- \* Fama Eugene.F. *The Behavior of Stock-Market Prices* (1965). *The Journal of Business*, Vol. 38, No. 1. (Jan., 1965), pp. 34-105.
- \* Farrell, Jr., J. (1997). *Portfolio Management: Theory and Application*. McGraw-Hill, New York et al., 2nd Ed.
- \* Gilli Manfred and Kellezi Evis, 2001. Threshold Accepting for Index Tracking, *Computing in Economics and Finance 2001 72*, Society for Computational Economics
- \* Gaivoronski, A.A. and G. Pflug (2000): *Value at Risk in portfolio optimization: properties and computational approach*, NTNU, Department of Industrial Economics and Technology Management, Working paper, July.
- \* Golmakani Hamid Reza, Fazel Mehrshad (2011). *Constrained portfolio selection using Particle Swarm Optimization (PSO)*. *Expert Systems with Applications* (38), 8327–8335
- \* Larsen et al, *Algorithms for Optimization of Value-at-Risk* (2002), FEES, Dept. of Mathematics,, working paper
- \* Linsmeier, J. & Pearson, N.D. (1996), *Risk Measurement: An Introduction to Value at Risk*, Working Paper 96-04, University of Illinois at Urbana-Champaign.
- \* Maringer, D. (2001). *Optimizing Portfolios with Ant Systems*, in *International ICSC Congress on Computational Intelligence. Methods and Applications (CIMA 2001)*, pp. 288–294. ICSC.
- \* Markowitz, H. (1959). *Portfolio selection: Efficient diversification of investments*. New York: Wiley.
- \* Markowitz, H. (1952), *Portfolio selection*, *Journal of Finance* (7), 77–91.
- \* Markowitz, H. (1993), *Computation of mean-semi-variance efficient sets by the critical line algorithm*, *Annals of Operational Research* (45), 307–317
- \* Pritsker Matthew 2001, *The hidden dangers of historical simulation*, *Journal of Banking & Finance*, Volume 30, Issue 2, February 2006, Pages 561–58
- \* Puelz, A. (1999): *Value-at-Risk Based Portfolio Optimization*. Working paper, Southern Methodist University, November.
- \* Morgan, J. P. (1996). *Risk metrics* (4th ed.). Technical Document, New York: J.P. Morgan & Co. Incorporated

یادداشت‌ها

- 
- <sup>1</sup> Cardinality Constraint
  - <sup>2</sup> Transaction Cost
  - <sup>3</sup> Transaction Lot
  - <sup>4</sup> E.F. Fama
  - <sup>5</sup> Smoothing
  - <sup>6</sup> Back Test
  - <sup>7</sup> Unconditional Coverage
  - <sup>8</sup> Independence test
  - <sup>9</sup> Unconditional Coverage Property
  - <sup>10</sup> Independence Property
  - <sup>11</sup> Filtered Historical Simulation
  - <sup>12</sup> Pheromone
  - <sup>13</sup> Constructive Producer
  - <sup>14</sup> Holland
  - <sup>15</sup> Population Size
  - <sup>16</sup> Elite Chromosome
  - <sup>17</sup> Premature Convergence
  - <sup>18</sup> Feasible Region