



فصلنامه علمی پژوهشی دانش سرمایه‌گذاری
سال هشتم / شماره سی‌ام / تابستان ۱۳۹۸

انتخاب سید سهام فازی با استفاده از الگوریتم هوشمند ترکیبی با در نظر گرفتن ریسک نامطلوب

حجت الله انصاری

استادیار دانشگاه الزهراء، تهران، ایران
hjtansari@gmail.com

عادل بهزادی

دانشجوی دکتری مهندسی مالی دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول)
adel_behzadi@ut.ac.ir

مصطفی امام دوست

دانشجوی دکتری مالی دانشگاه تهران
emamdoost@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۰۹ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۲۸

چکیده

مطالعات تجربی نشان می‌دهد بازده دارایی‌ها نرمال و متقارن نمی‌باشد، بنابراین واریانس نمی‌تواند به‌درستی به‌عنوان معیار ریسک مناسب مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش بازده دارایی‌ها به‌عنوان یک عدد فازی در نظر گرفته شده است و از معیار ریسک نامطلوب، نیمه واریانس و نیمه قدر مطلق انحراف از میانگین به‌عنوان معیار ریسک استفاده شده است. در ادامه به منظور حل مدل‌های مذکور از دو روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل دیفرانسیلی برای بهینه‌سازی پرتفوی استفاده شده و در انتها با استفاده از معیار عملکرد اقتصادی مورد مقایسه قرار گرفته شده است. به منظور نشان دادن کارایی مدل‌ها از داده‌های بورس اوراق بهادار تهران استفاده شد. یافته‌ها نشان دادند که فقط استفاده از معیار نیمه‌قدر مطلق انحراف از میانگین در حالت استفاده از الگوریتم تکامل دیفرانسیلی کارایی بیشتری دارد و همچنین استفاده از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی در دو مدل کارایی بالاتری نسبت به روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک دارد.

واژه‌های کلیدی: بهینه‌سازی پرتفوی فازی، معیار ریسک نامطلوب، نظریه اعتبار، الگوریتم‌های تکاملی، شاخص عملکرد اقتصادی.

۱- مقدمه

انتخاب سبد دارایی‌ها یکی از موضوعاتی است که سرمایه‌گذاران در دنیای واقعی با آن روبرو هستند. در نظریه پرتفوی مدرن، دارایی را به‌عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته می‌شود و از واریانس به‌عنوان معیار ریسک استفاده می‌شود. اما این فرضیات در نظر گرفته می‌تواند باعث به وجود آمدن فضای غیرواقعی بر مسئله می‌شود و نیاز به تعدیل فرضیات مذکور می‌باشد. بعد اول مسئله مربوط به در نظر گرفتن بازده سهم به‌عنوان یک متغیر تصادفی است که جای خالی نظرات کارشناسی و خبرگان حس شده و نیاز به این است که بازده سهم به شکل کاراتری مدل شود. یکی از رویکردهایی که در این زمینه می‌توان به کار برد استفاده از نظریه فازی می‌باشد. می‌توان با استفاده از منطق فازی، این عدم اطمینان را به شکل ساده‌تر و کاراتری مدل کنیم. نظر کارشناسان و خبرگان با استفاده از منطق فازی به‌راحتی در مدل لحاظ می‌شود. پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که نظریه احتمالات قابلیت پاسخگویی به این پیچیدگی‌ها را ندارد. در این تحقیق نیز از منطق فازی برای حل این مشکل استفاده شده است [۱].

از طرفی مطالعات تجربی نشان می‌دهد که بازده دارایی‌ها نرمال و متقارن نمی‌باشد. بنابراین معیار واریانس نمی‌تواند به‌خوبی نمایانگر ریسک پرتفوی سبد سهام باشد. بنابراین می‌بایست از معیارهای ریسک نامطلوب برای مدل کردن ریسک سبد سهام استفاده کرد. از جمله معیارهای ریسک نامطلوبی که در این زمینه می‌توان به‌جای واریانس استفاده کرد از نیمه واریانس می‌توان استفاده کرد. معیار ریسک نامطلوب دیگری که می‌توان در این زمینه مورد استفاده قرار داد استفاده از نیمه‌قدر مطلق انحراف از میانگین است.

در پژوهش پیشرو قصد داریم که فرضیات مسئله بهینه‌سازی پرتفوی را به دنیای واقعی نزدیک کنیم. بنابراین اولاً مسئله بهینه‌سازی پرتفوی در محیط فازی بررسی شده و ثانیاً معیارهای ریسک نامطلوب ذکر شده (نیمه واریانس و نیمه‌قدر مطلق انحراف از میانگین) به‌جای واریانس مورد استفاده قرار گرفته شده است. سپس به‌منظور حل این مدل از روشی خلاقانه بر مبنای دو الگوریتم ترکیبی بر اساس الگوریتم‌های ژنتیک، تکامل دیفرانسیل، شبیه‌سازی فازی و شبکه عصبی استفاده شده است.

بخش‌های ارائه شده در این مقاله به این شرح است که در بخش دوم مقاله پیشینه تحقیق راجع به موضوع مورد نظر ارائه شده است، در بخش سوم مبانی نظری در مورد منطق فازی، نظریه اعتبار و محاسبات فازی مربوط به پرتفوی ارائه شده است. در بخش بعدی مدل‌های مورد نظر انتخاب ارائه شده است. در بخش چهارم الگوریتم حل ارائه شده است. سپس یافته‌های پژوهش از طریق داده‌های بورس اوراق بهادار تهران ارائه شده است و در انتها نتیجه‌گیری و جمع‌بندی ارائه شده است.

۲- مبانی نظری و مروری بر پیشینه پژوهش

مارکوویتز مدل پرتفوی بهینه خود را مبتنی بر واریانس به‌عنوان شاخص ریسک ارائه داد [۲]. بعداً این مدل محققان مدل‌های انتخاب سبد سهام را با استفاده از معیارهای ریسک مختلف توسعه دادند. از جمله مارکوویتز در مقاله دیگری نیمه‌واریانس را برای معیار ریسک بکار گرفت [۳]. کونو و یامازاکی قدر مطلق انحراف از میانگین را

به عنوان معیار ریسک در نظر گرفتند و مدل میانگین- قدر مطلق انحراف از میانگین خود را ارائه دادند [۱]. جویریون مدل میانگین- ارزش در معرض خطر^۱ خود را در حوزه خدمات مالی ارائه کرد [۴] و روکافلر و یوراسر ریسک سرمایه‌گذاری را برای بازده از پیش تعیین شده ارائه کردند و مدل میانگین- ارزش در معرض خطر شرطی^۲ را ارائه کردند [۵].

در مقالات ذکر شده بازده دارایی‌ها به عنوان متغیر تصادفی در نظر گرفته شده است. اما در واقع مقدار بازده دارایی‌ها مبهم است. این ابهام می‌تواند ناشی از اطلاعات کیفی، ناقص و غیرقابل دسترس باشد. به همین جهت برای مدل کردن این ابهام از منطق فازی و تئوری امکان که توسط لطفی زاده ارائه گردید استفاده می‌شود [۱]. مجموعه‌های فازی و نظریه امکان از جمله ابزارهای مفید برای مدل کردن ابهام و عدم قطعیت داده‌ها می‌باشند که دارای قدرت بالا و پیچیدگی پایین برای حل مسائل سرمایه‌گذاری هستند [۱]. با ارائه این رویکرد محققان زیادی بهینه‌سازی پرتفوی را در محیط فازی مورد مطالعه قرار دادند که در ادامه به تعدادی از این تحقیقات اشاره شده است.

تاناکا و جیو از نظریه امکان برای مدل کردن عدم اطمینان بازده دارایی‌ها و شناسایی کمترین مقدار و بالاترین مقدار یک متغیر فازی با تابع توزیع امکان معلوم استفاده کردند [۶]. اینیگوچی و رامیک نحوه برنامه‌ریزی خطی ریاضی با رویکرد فازی را ارائه دادند مزایا و معایب این رویکرد را با ارائه کاربرد در مسئله انتخاب پرتفوی مطرح کردند [۷].

آرناس و همکاران مدلی در قالب برنامه‌ریزی آرمانی را با توجه به سه معیار بازده، ریسک و نقد شوندگی برای سرمایه‌گذاران خرد ارائه دادند. در مدل ارائه شده توسط آن‌ها محدودیت‌ها نیز فازی در نظر گرفته شد و در مرحله بعد با استفاده از الگوریتم ژنتیک این مسئله حل شد [۸]. هوانگ در مقاله دیگری به جای واریانس از آنتروپی^۳ به عنوان معیار ریسک - که نسبت به تقارن تابع درجه اطمینان بی تفاوت است - در مسئله پرتفوی فازی استفاده کرد و در آخر آن را به وسیله الگوریتم ترکیبی هوشمند آن را حل کرد [۹].

باتاچاریا و همکاران با استفاده از اندازه اعتبار مدل خود را مبتنی بر میانگین، آنتروپی و چولگی ارائه دادند و بازده دارایی‌ها را عدد فازی مثلثی در نظر گرفتند و در انتها به وسیله شبیه‌سازی فازی و الگوریتم ژنتیک مسئله را حل کردند [۱۹]. ژانگ و همکاران مسئله تعدیل پرتفوی برای پرتفوی موجود را مورد بحث قرار دادند که در آن بازده دارایی‌ها متغیر فازی و مدل به صورت میانگین بازده با در نظر گرفتن هزینه تراکنش بر اساس اندازه امکان ارائه گردید [۱۰].

لی و همکاران به دلیل عدم تقارن و غیرنرمال بودن توزیع بازده دارایی‌ها، علاوه بر میانگین و واریانس، چولگی را نیز در نظر گرفتند و مسئله را با در نظر گرفتن بازده به عنوان یک عدد فازی مثلثی مدل کردند و با استفاده از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی مدل خود را حل کردند [۱۱]. دستخوان و همکاران سعی کردند مدل بهینه‌سازی پرتفوی را به واقعیت نزدیک کنند. به همین دلیل آن‌ها ترجیحات سرمایه‌گذاران را که از طریق متغیرهای زبانی^۴ بیان می‌شود و هزینه‌های تراکنش را در مدل خود لحاظ کردند. در این مدل معیار ریسک را قدر مطلق انحراف از میانگین در نظر گرفته شد و در انتها مدل ارائه شده را به وسیله الگوریتم ژنتیک حل

کردند [۱۲]. کوین و همکاران اندازه اعتبار قدر مطلق انحراف از میانگین را به‌عنوان معیار ریسک بکار بردند و مدل میانگین- قدر مطلق انحراف از میانگین را ارائه دادند و به‌وسیله الگوریتم ترکیبی مبتنی بر شبیه‌سازی فازی و الگوریتم ژنتیک مدل را حل کردند [۱۳].

هوانگ دو مدل بیشینه کمینه^۵ بازدهی و کمینه بیشینه^۶ واریانس را با استفاده از اندازه اعتبار ارائه داد که در یک مدل با در نظر گرفتن بیشینه مقدار واریانس در محدودیت، بازدهی در بدترین شرایط بیشینه و در مدل دیگر با در نظر گرفتن حداقل بازدهی در محدودیت واریانس در بدترین شرایط مینیمم می‌شود و در انتها مدل ارائه‌شده را به‌وسیله الگوریتم ژنتیک حل کردند [۱۴].

گوپتا و همکاران با استفاده از اندازه اعتبار و در نظر گرفتن بازده کوتاه‌مدت، بازده بلندمدت، نیمه‌واریانس و نقدینگی در تابع هدف مسئله پرتفوی بهینه را مدل کردند و برای حل این مدل از برنامه‌ریزی آرمانی و ترکیبی از شبیه‌سازی فازی و الگوریتم ژنتیک استفاده کردند [۱۵].

شمس و دستخوان، مدل تعیین سبد بهینه‌ی سهام با سه هدف بازده کلی، ریسک سبد و نقد شوندگی سبد مورد مطالعه قرار دادند و کارایی مدل را با استفاده از داده‌های بورس اوراق بهادار تهران نشان دادند [۱۶]. یحیی-زاده و همکاران با استفاده از عدد فازی تصادفی مدل انتخاب سبد سهام را ارائه دادند. در این مدل‌ها خوش‌بینی و بدبینی سرمایه‌گذار و نظر خبرگان در نظر گرفته شد و در انتها به این نتیجه رسیدند که در حالت خوش‌بینی کامل، مرز کارایی به‌دست‌آمده بالاتر از مرز کارایی مدل مارکوویتز است ولی در حالت بدبینی کامل مرز کارایی پایین‌تر از مرز کارایی مدل مارکوویتز است [۱۷]. صباغیان طوسی و مسعودی‌مقدم در شرایط فازی مدلی بر مبنای میاگین-واریانس - چولگی ارائه دادند و به‌منظور حل مدل از الگوریتم شبیه‌سازی فازی استفاده کردند [۱۸]. همتی و همکاران با استفاده از برنامه‌ریزی خطی فازی مسئله تنظیم مجدد پرتفوی را با در نظر گرفتن سه هدف حداکثر کردن سود، حداکثر کردن نقد شوندگی و حداقل کردن ریسک حل کردند [۱۹].

۲-۱- مبانی نظری

• مروری بر مفاهیم فازی و نظریه اعتبار

تئوری فازی توسط پرفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ در مقاله‌ای بنام مجموعه‌های فازی معرفی گردید. یکی از مهم‌ترین بخش‌های نظریه فازی که برای مواجهه شدن با اکثر پدیده‌های جهان واقع که در آن‌ها عدم قطعیت وجود دارد مورد استفاده قرار می‌گیرد، تئوری امکان^۷ می‌باشد [۲۰]. این نظریه تا حدودی مشابه نظریه احتمال می‌باشد، با این تفاوت که در تئوری احتمال وقوع یک پیشامد بر اساس تعداد وقوع آن در گذشته می‌باشد در حالی که در نظریه امکان، امکان وقوع یک حادثه علاوه بر مطالعات آماری درباره آن، به امکان وقوع آن واقعه از لحاظ منطقی نیز وابسته می‌باشد. با اینکه میزان امکان یک رویداد فازی، بسیار مهم و پرکاربرد است اما به‌هر حال این فاکتور فاقد خاصیت خود-دوگانگی^۸ است.

عدم داشتن این خاصیت منجر به این خواهد شد که حداکثر امکان یک رویداد فازی (یعنی یک) نتواند وقوع قطعی این رویداد را تضمین نماید و در نتیجه نمی‌توان به این مقدار اعتماد نمود. در سال ۲۰۰۲، لیو و لیو تئوری اعتبار را

به عنوان یک گزینه رقیب برای امکان مجموعه فازی، ارائه کردند [۲۱]. امتیاز این معیار داشتن خاصیت خود-دوگانگی است. لذا نظریه اعتبار پس از ارائه بر اساس مفاهیم پایه‌ای مطرح شده به سرعت گسترش یافت [۲۲]. توجه شود که در این مقاله هرگاه نامی از اعتبار یک رویداد فازی برده شد، منظور میزان شانس وقوع یک رویداد فازی است.

برای فهم هر چه بیشتر مطالب مطرح شده در این مقاله، در ادامه مروری اجمالی بر دانستنی‌های مورد نیاز مرتبط با متغیرهای فازی و تئوری اعتبار خواهد شد.

تعریف ۱: فرض کنید ξ یک متغیر فازی با تابع عضویت μ ، و u و r اعداد حقیقی باشند، میزان امکان یک رویداد فازی با مشخصه $r \geq \xi$ برابر است با:

$$pos\{\xi \geq r\} = \sup \mu(u) . \quad u \geq r \quad (1)$$

تعریف ۲: فرض کنید ξ یک متغیر فازی با تابع عضویت μ ، و u و r اعداد حقیقی باشند، میزان الزام^۹ یک رویداد فازی با مشخصه $r \geq \xi$ برابر است با:

$$Nec\{\xi \geq r\} = 1 - pos\{\xi < r\} = 1 - \sup_{u < r} \mu(u) . \quad u \geq r \quad (2)$$

تعریف ۳: فرض کنید ξ یک متغیر فازی با تابع عضویت μ ، و u و r اعداد حقیقی باشند، میزان اعتبار یک رویداد فازی با مشخصه $r \geq \xi$ برابر است با میانگین حسابی مقدار امکان و الزام آن رویداد فازی. یعنی:

$$cr\{\xi \geq r\} = \frac{1}{2} (Pos\{\xi \geq r\} + Nec\{\xi \geq r\}) \quad (3)$$

• محاسبه پارامترهای مورد نیاز

در این بخش نحوه محاسبه پارامترهایی که در مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد توضیح داده شده است. برای این کار در

جدول ۱ تعاریف پارامترهای مورد نیاز با استفاده از نظریه اعتبار ارائه شده است. در این جدول ξ یک متغیر فازی مثلثی در نظر گرفته شده است و امید ریاضی، واریانس، نیمه واریانس و نیمه قدر مطلق انحراف از میانگین ارائه شده است.

از آنجاکه در این پژوهش از عدد فازی مثلثی استفاده می‌شود بنابراین باید پارامترهای مورد نظر برای عدد فازی مثلثی محاسبه شود. به این منظور در جدول محاسبات لازم برای عدد فازی مثلثی با پارامترهای (a, b, c) با میانگین e ارائه شده است.

جدول ۱- تعاریف پارامترها برای متغیر فازی ξ

تعریف	پژوهش	پارامتر
$E[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{\xi \geq r\}dr - \int_{-\infty}^0 Cr\{\xi \leq r\}dr$	[۲۱]	امید ریاضی
$V[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{(\xi - E[\xi])^2 \geq r\}dr$	[۲۱]	واریانس
$Sk[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{(\xi - E[\xi])^3 \geq r\}dr$	[۲۱]	چولگی
$K[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{(\xi - E[\xi])^4 \geq r\}dr$	[۲۳]	کشیدگی
$Sabs[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{(\xi - E[\xi])^- \geq r\}dr$	[۲۱]	قدر مطلق انحراف از میانگین
$SV[\xi] = \int_0^{+\infty} Cr\{((\xi - E[\xi])^-)^2 \geq r\}dr$	[۲۱]	نیمه واریانس

جدول ۲- محاسبات مربوط به عدد فازی مثلثی با پارامترهای (a, b, c) با میانگین e

مقدار	پژوهش	پارامتر
$E[\xi] = (a + 2b + c)/4$	[۲۱]	امید ریاضی
$V[\xi] = \frac{33\alpha^3 + 21\alpha^2\gamma + 11\alpha\gamma^2 - \gamma^3}{384\alpha}$ $\alpha = \max\{b - a, c - b\}, \gamma = \min\{b - a, c - b\}$	[۲۱]	واریانس
$Sk(\xi) = \frac{(c - a)^2}{32} [(c - b) - (b - a)]$	[۲۴]	چولگی
$K[\xi] = \frac{253\alpha^5 + 395\alpha^4\gamma + 17\alpha\gamma^4 + 290\alpha^3\gamma^2 + 70\alpha^3\gamma^3 - \gamma^5}{10.240\alpha}$ $\alpha = \max\{b - a, c - b\}, \gamma = \min\{b - a, c - b\}$	[۲۳]	کشیدگی
$\rho_{EAD}^-(\xi) = (3 \max(b - a, c - b) + \min(b - a, c - b))^2 / 64R$	[۲۳]	قدر مطلق انحراف از میانگین

• محاسبات پارامترها برای مسئله پرتفوی

حال اگر ξ_i متغیر فازی نشان‌دهنده بازده دارایی i ام باشد آنگاه بازده پرتفوی برای n سهم با بردار وزنی $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ پرتفوی موردنظر بر اساس اصل گسترش لطفی زاده عبارت $\xi = \sum_{j=1}^n x_j \xi_j$ ، نیز یک متغیر فازی است. پس برای به دست آوردن امید ریاضی، واریانس، نیمه واریانس و نیمه قدر مطلق انحراف از میانگین مشابه با یک متغیر فازی برخورد می‌کنیم. حال اگر فرض کنید اگر $\xi_j = (a_j, b_j, c_j)$ متغیر فازی مثلثی باشد. آنگاه پرتفوی موردنظر یعنی $\xi = \sum_{j=1}^n x_j \xi_j$ ، متغیر فازی مثلثی با پارامترهای $(\sum_{j=1}^n x_j a_j, \sum_{j=1}^n x_j b_j, \sum_{j=1}^n x_j c_j)$ می‌باشد.

۳- فرموله کردن مدل و الگوریتم حل

• ارائه مدل

جهت ارائه مدلی برای انتخاب پرتفوی، با در نظر گرفتن ξ_i به‌عنوان عدد فازی برای بازده هر یک از سهام و x_i متغیر تصمیم مرتبط با وزن (نسبت سرمایه‌گذاری) هر یک از سهام پرتفوی در نظر گرفته و عموماً بازده (ξ_i) هر سهم به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\xi_i = \frac{P'_i + d_i - P_i}{p_i} \quad (4)$$

P'_i, p_i و d_i به ترتیب برابر با قیمت سهم i در زمان حال، قیمت تخمینی در طول دوره موردنظر هستند. از آنجایی که P'_i و d_i در زمان حال برای سرمایه‌گذار نامشخص هستند، اگر آن‌ها به‌صورت متغیرهای فازی تخمین زده شوند، ξ_i نیز یک متغیر فازی است. بنابراین بازده یک پرتفوی با n سهم با بردار وزنی $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ یعنی $\xi = \sum_{i=1}^n x_i \xi_i$ ، نیز یک متغیر فازی است. حال مدل موردنظر بر مبنای نیمه واریانس عبارت است از:

$$\min SV \left[\sum_{i=1}^n x_i \xi_i \right] \quad (5)$$

St:

$$E \left[\sum_{i=1}^n x_i \xi_i \right] \geq \alpha \quad (6) \quad \text{مدل (1)}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

در مدل (1)، رابطه (5) نشان‌دهنده تابع هدف مربوط به کمینه کردن نیمه‌واریانس است. رابطه (6) نشان‌دهنده حداقل مقدار بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار است و رابطه (7) نشان‌دهنده عدم وجود فروش استقرایی است. حال اگر بخواهیم مدلی پیشنهاد دهیم که معیار ریسک نامطلوب را در نظر بگیرد، می‌توانیم از تابع هدف به‌جای واریانس از نیمه واریانس استفاده کنیم:

$$\min Sabs \left[\sum_{i=1}^n x_i \xi_i \right] \quad (۸)$$

St:

$$E[\sum_{i=1}^n x_i \xi_i] \geq \alpha \quad (۹) \quad \text{مدل (۲)}$$

$$\sum_{i=1}^n x_i = 1, x_i \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (۱۰)$$

در ساختار مدل (۳) همه ضوابط مانند مدل (۲) در نظر گرفته شده است به استثنای رابطه (۱۱) که از نیمه قدر مطلق انحراف از میانگین به عنوان معیار ریسک استفاده شده است.

• الگوریتم حل

برای حل مدل‌های ارائه شده از دو روش ترکیبی هوشمند استفاده می‌شود. روش اول از ترکیب شبیه‌سازی فازی، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک است. روش دوم مشابه به روش قبل است با این تفاوت که از الگوریتم تکامل دیفرانسیلی به عنوان الگوریتم جستجو به جای الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. در ادامه درباره کدام از مفاهیم ذکر شده توضیحاتی ارائه شده است.

۳-۱- شبیه‌سازی فازی

شبیه‌سازی فازی ابتدا توسط لیو در سال ۲۰۰۴ به طور مفصل مورد بحث قرار گرفت. در الگوریتم پیشنهادی، شبیه‌سازی فازی برای محاسبه مقدار گشتاورهای مختلف متغیر فازی بکار برده می‌شود. در ادامه نحوه محاسبه مقادیر گشتاورهای فازی از طریق این روش توضیح داده شده است.

فرض کنید $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ یک بردار تصمیم، $\xi = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n)$ بردار فازی و $\mu = (\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n)$ تابع درجه عضویت بردار فازی ξ است. $F(x, \xi)$ یک عبارت فازی است که قصد محاسبه گشتاور اول یا امید ریاضی آن (در اینجا $\sum_{i=1}^n \xi_i x_i$) را داریم. مقدار ورودی الگوریتم بردار x است و مقدار خروجی آن $E(F(x, \xi))$ است. حال برای محاسبه مقدار امید ریاضی گام‌های زیر طی می‌شود:

گام اول: $e = 0$ در نظر گرفته می‌شود.

گام دوم: مقدار u_{ij} به صورت تصادفی به طوری تولید می‌شود که برای متغیر فازی ξ_i ($i = 1, 2, 3, \dots, n$)، عبارت $\mu_j(w_{ji}) \geq \varepsilon$ برقرار باشد. در اینجا z نشان دهنده شمارنده عدد تصادفی تولید شده است که مقادیر $z = 1, 2, 3, \dots, N$ را در برمی‌گیرد توجه داشته باشید که N یک مقدار بسیار بزرگ، $u_j = (u_{1j}, u_{2j}, \dots, u_{nj})$ و $\mu(u_j) = \mu_{1j}(u_{1j}) \wedge \mu_{2j}(u_{2j}) \dots \wedge \mu_{nj}(u_{nj})$ است.

گام سوم: اعداد a و b به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$a = F(x, u_1) \wedge F(x, u_2) \wedge \dots \wedge F(x, u_N) = \min_{1 \leq j \leq N} F(x, u_j)$$

$$b = F(x, u_1) \vee F(x, u_2) \vee \dots \vee F(x, u_N) = \max_{1 \leq j \leq N} F(x, u_j)$$

گام چهارم: عدد تصادفی y را در بازه $[a, b]$ تولید می‌شود.

گام پنجم: اگر $y \geq 0$ باشد آنگاه $e \leftarrow e + Cr\{F(x, \xi) \geq y\}$ که:

$$Cr\{F(x, \xi) \geq r\} = \frac{1}{2} (\max_{1 \leq j \leq N} \{\mu(u_j) | F(x, u_j) \geq y\} + 1 - \max_{1 \leq j \leq N} \{\mu(u_j) | F(x, u_j) < y\})$$

گام ششم: اگر $y \leq 0$ باشد آنگاه $e \leftarrow e - Cr\{F(x, \xi) \leq y\}$ که:

$$Cr\{F(x, \xi) \leq y\} = \frac{1}{2} (\max_{1 \leq j \leq N} \{\mu(u_j) | F(x, u_j) \leq y\} + 1 - \max_{1 \leq j \leq N} \{\mu(u_j) | F(x, u_j) > y\})$$

گام هفتم: گام‌های ششم تا هفتم را N بار تکرار کن.

$$E(F(x, \xi)) = \max(0, a) + \min(0, b) + e \cdot (b - a) / N \quad \text{گام هشتم:}$$

حال برای به دست آوردن واریانس، کافی است که در الگوریتم بالا در گام سوم به جای مقادیر a و b ، مقادیر زیر جایگزین شود:

$$a = \min_{1 \leq j \leq N} (F(x, u_j) - E(F(x, \xi)))^2$$

$$b = \max_{1 \leq j \leq N} (F(x, u_j) - E(F(x, \xi)))^2$$

همچنین برای به دست آوردن نیمه واریانس، کافی است که در الگوریتم بالا در گام سوم به جای مقادیر a و b ، مقادیر زیر جایگزین شود:

$$a = \min_{1 \leq j \leq N} (F(x, u_j) - E(F(x, \xi)))^2$$

$$b = \max_{1 \leq j \leq N} (F(x, u_j) - E(F(x, \xi)))^2$$

همچنین برای به دست آوردن قدر مطلق انحراف از میانگین، کافی است که در الگوریتم بالا در گام سوم به جای مقادیر a و b ، مقادیر زیر جایگزین شود:

$$a = \min_{1 \leq j \leq N} (F(x, u_j) - E(F(x, \xi)))^-$$

$$b = \max_{1 \leq j \leq N} (F(x, u_j) - E(F(x, \xi)))^-$$

۲-۳- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک که روش بهینه‌سازی الهام گرفته از طبیعت جاندار (موجودات زنده) است که می‌توان در طبقه‌بندی‌ها، از آن به‌عنوان یک روش عددی، جستجوی مستقیم و تصادفی یاد کرد. این الگوریتم، الگوریتمی مبتنی بر تکرار است با تقلید از تعدادی از فرآیندهای مشاهده‌شده در تکامل طبیعی اختراع شده است و به‌طور مؤثری از خصوصیت قدیمی موجود در یک جمعیت استفاده می‌کند، تا حل‌های جدید و بهبودیافته را ایجاد کند.

این الگوریتم در مسائل متنوعی نظیر بهینه‌سازی، شناسایی و کنترل سیستم، پردازش تصویر و مسائل ترکیبی، تعیین توپولوژی و آموزش شبکه‌های عصبی مصنوعی و سیستم‌های مبتنی بر تصمیم و قاعده به کار می‌رود. این الگوریتم برای بهینه‌سازی، جستجو و یادگیری ماشین مورد استفاده قرار می‌گیرد. اساس این الگوریتم قانون تکامل داروین (بقا بهترین) است که می‌گوید: موجودات ضعیف‌تر از بین می‌روند و موجودات قوی‌تر باقی می‌مانند. در واقع تکامل فرآیندی است که روی رشته‌ها صورت می‌گیرد، نه روی موجودات زنده‌ای که معرف موجودات رشته است. در واقع، قانون انتخاب طبیعی برای بقا می‌گوید که هر چه امکان تطبیق موجود بیشتر باشد بقای موجود امکان‌پذیرتر است و احتمال تولیدمثل بیشتری، برایش وجود دارد. این قانون بر اساس پیوند بین رشته‌ها و عملکرد ساختمان‌های رمزگشایی شده آن‌ها می‌باشد. برای دریافت جزئیات بیشتر در مورد این الگوریتم پیشنهاد می‌شود که به [۲۵] مراجعه شود.

۳-۳- الگوریتم تکامل دیفرانسیلی

الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی (*DE*) اولین بار توسط استورن و پرایس در سال ۱۹۹۵ میلادی معرفی گردید [۲۶، ۲۷]. زمینه‌های استفاده از آن در حل مسائل مختلف، باعث رشد فزاینده‌ای در پذیرش آن از سوی جوامع تحقیقاتی گردیده است که این نکته گواهی بر سادگی و توانایی آن می‌باشد [۲۶]. از سال ۱۹۹۸، *DE* کاربردهای علمی بسیاری در حل مسائل علوم و زمینه‌های تحقیقاتی مختلف نظیر برازش منحنی^{۱۰}، مثلاً برازش یک تابع غیرخطی به داده‌های انتشار نور^{۱۱}، و ... داشته است. محققین مختلف، به منظور افزایش کارایی الگوریتم، گل‌ها آن را با سایر رویکردهای حل بهینه‌سازی نیز ترکیب کرده‌اند.

الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی از قابلیت بسیار زیادی برای حل مسائل بهینه‌سازی محدودیت دار برخوردار است و توانایی حل مسائل با توابع هدف غیرخطی و مشتق‌ناپذیر را داراست. از سوی دیگر متغیرهای این الگوریتم اعداد حقیقی هستند، مطالعات کاربردهای مختلف الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی در حل مسائل گوناگون و مقایسه نتایج این مطالعات نشان داده است *DE* در مسائلی که متغیرهای آن از نوع چه مقدار و چه تعداد می‌باشد عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد. مقایسه نتایج با سایر الگوریتم‌های تکاملی و حتی سایر الگوریتم‌های فرا ابتکاری نشان داده است *DE* از لحاظ سرعت در رسیدن به جواب خوب با سایر الگوریتم‌ها قابل مقایسه است [۲۶]. توصیه می‌شود برای دریافت بیشتر جزئیات به [۲۵] مراجعه شود.

۳-۴- الگوریتم هوشمند ترکیبی

ترکیبی از روش‌های فوق برای بهینه‌سازی پرتفوی مورد استفاده قرار می‌گیرد که گام‌های زیر را طی می‌کند:

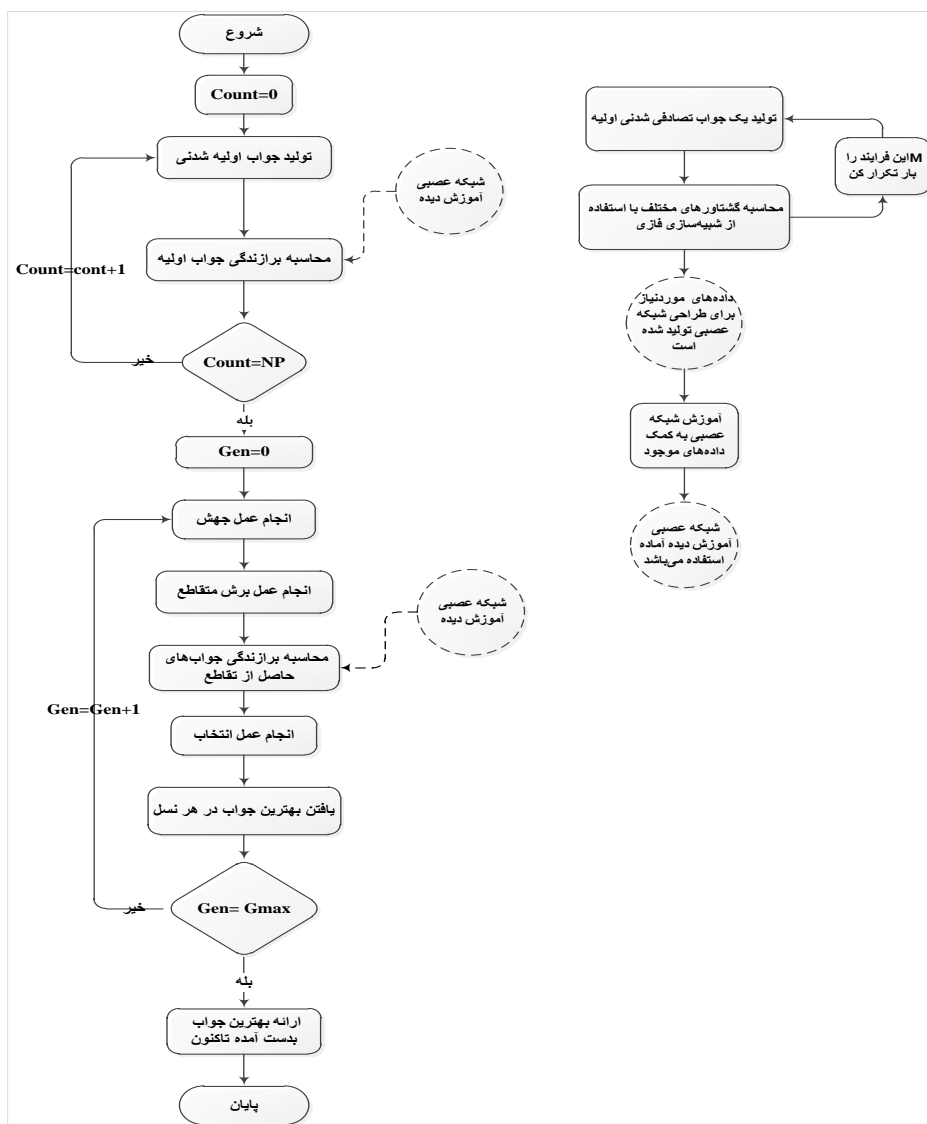
گام اول: تولید داده‌های ورودی و خروجی برای استفاده در شبکه عصبی

گام دوم: طراحی شبکه عصبی برای استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی

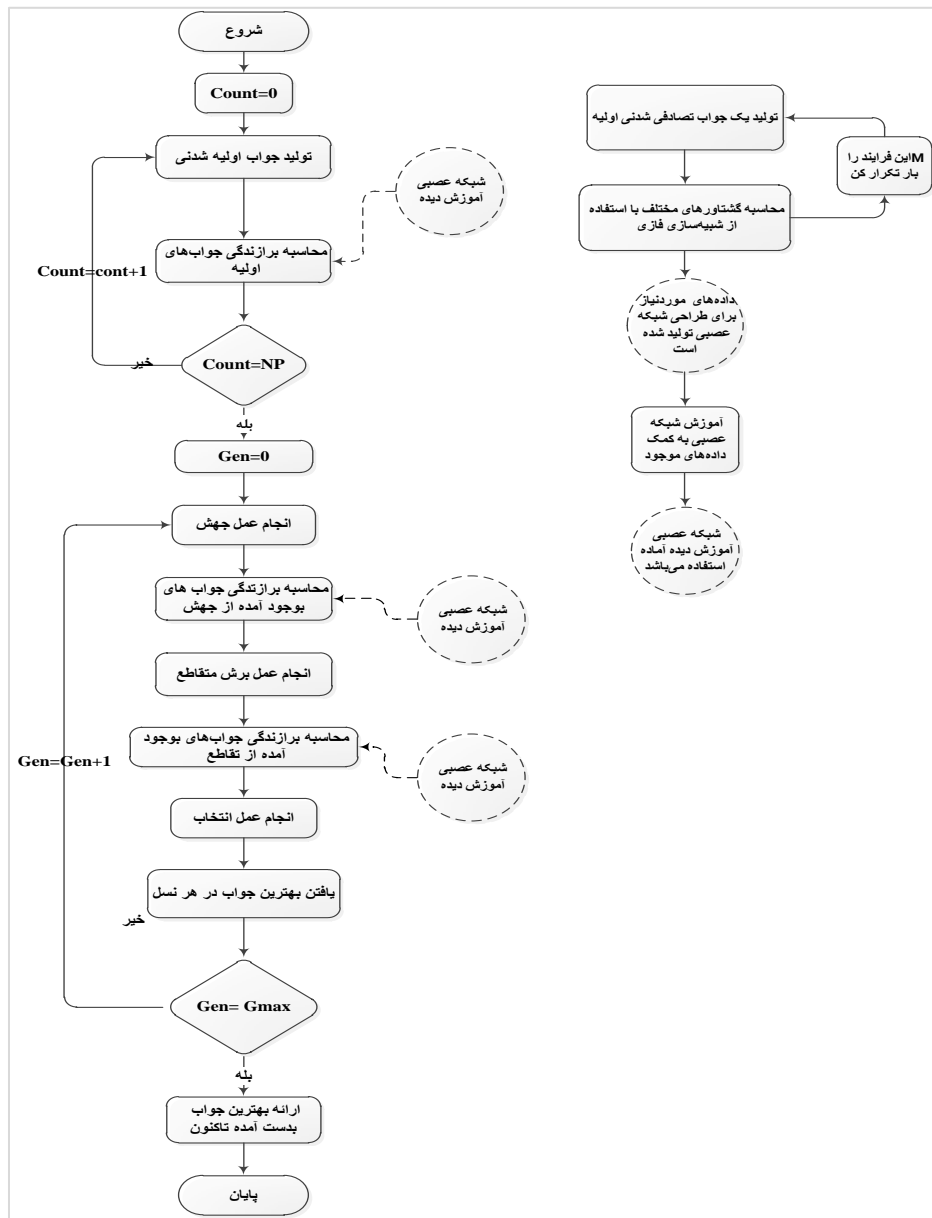
گام سوم: بهینه‌سازی توسط الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم تکامل دیفرانسیلی با استفاده از شبکه عصبی به‌عنوان

تابع برازش

شکل ۱ روش هوشمند ترکیبی بر اساس الگوریتم تکامل دیفرانسیلی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید ابتدا شبکه عصبی به وسیله داده‌های تولیدشده توسط شبیه‌سازی فازی آموزش داده می‌شود و سپس شبکه عصبی تولیدشده، برای محاسبه میزان برازش جواب‌های تولیدشده در الگوریتم تکامل دیفرانسیلی استفاده می‌شود. شکل ۲ روش هوشمند ترکیبی را بر مبنای الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. روش حل مانند روش قبل است با این تفاوت که از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده می‌شود.



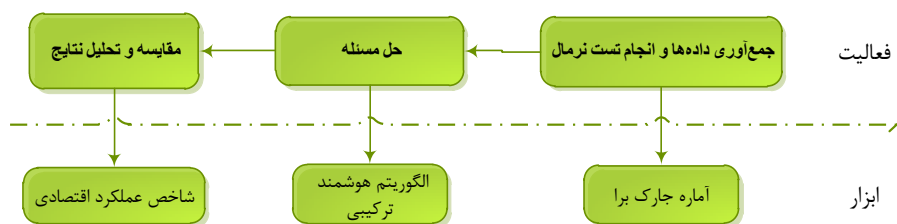
شکل ۱. فلوچارت الگوریتم بر مبنای شبیه‌سازی فازی، شبکه عصبی و الگوریتم تکامل دیفرانسیلی



شکل ۲. فلوجارت الگوریتم بر مبنای شبیه‌سازی فازی، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک

۴- یافته‌های پژوهش (مطالعه موردی)

در این بخش قصد داریم مدل‌های ارائه‌شده در بخش قبل را بر روی داده‌های بورس اوراق بهادار تهران اجرا کنیم. در شکل ۳ چارچوب انجام این کار توضیح داده شده است.



شکل ۳- چارچوب انجام پژوهش

• جمع‌آوری داده‌ها و انجام تست نرمال

در این مقاله سعی شده است که از داده‌های پنجاه سهم برتر در بورس استفاده شود. بازه زمانی به صورت ماهانه از شهریورماه ۱۳۸۸ تا شهریورماه ۱۳۹۳ به صورت بازدهی ماهانه بکار گرفته شده است. به علت عدم وجود کامل داده‌های همه این شرکت‌ها در این بازه زمانی در انتها ۵۰ شرکت انتخاب شد. در این پژوهش از عدد فازی مثلثی برای تخمین بازده دارایی‌ها استفاده شده است. همان‌طور که می‌دانیم عدد فازی مثلثی دارای سه پارامتر (a, b, c) است که برای برآورد این پارامترها از مینیمم، میانه و ماکزیمم این بازده در طول این دوره زمانی استفاده شده است. در جدول فهرست شرکت‌ها و بازده‌های فازی متناسب با هر کدام از شرکت‌ها ارائه شده است. برای اینکه نشان دهیم توزیع داده‌ها نرمال و متقارن نیست از آزمون جاک برا^{۱۲} استفاده شده است. آماره این آزمون به صورت زیر است [۲۸]:

$$JB = \frac{n}{6} \left(s^2 + \frac{(k-3)^2}{4} \right) \quad (11)$$

در این رابطه n تعداد نمونه، s چولگی و k کشیدگی داده‌ها را نشان می‌دهد. توجه داشته باشید که این آماره از توزیع مربع کای با دو درجه آزادی پیروی می‌کند. نتایج آزمون برای شرکت‌های موردنظر در جدول ۴-۴ ارائه شده است. در جدول ۴-۴، فرض صفر به معنی پذیرش نرمال بودن دارایی‌ها و فرض یک به معنی عدم پذیرش فرض نرمال بودن بازده دارایی‌ها است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید بازده دارایی‌ها همواره نرمال نیست. بنابراین برای کامل‌تر شدن مدل می‌بایست از معیارهای ریسک نامطلوب استفاده کرد.

جدول ۳- شرکت‌های مورد بررسی و مقادیر بازده به صورت عدد فازی مثلثی

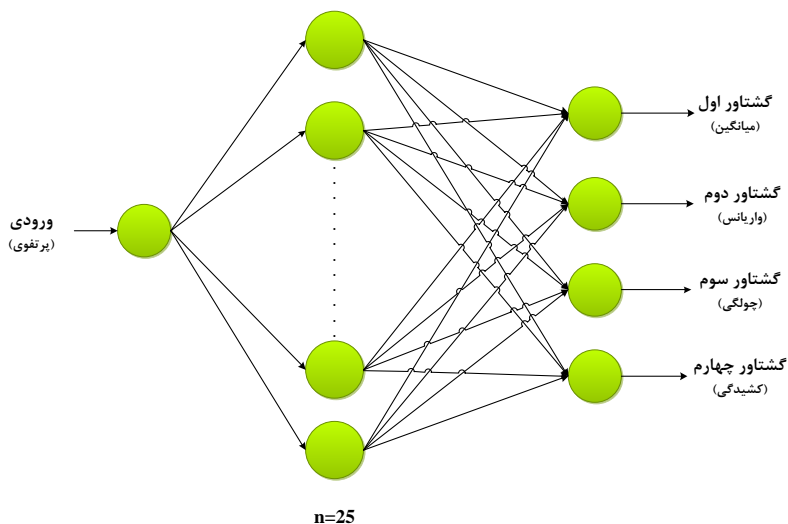
ردیف	نماد	چارک اول	میان	چارک سوم	ردیف	نماد	چارک اول	میان	چارک سوم
۱	ویانک	-۳.۶%	۲.۲%	۱۲.۹%	۲۶	شپهرن	-۶.۰%	۱.۶%	۱۲.۷%
۲	ثشاهد	-۴.۴%	۲.۱%	۶.۶%	۲۷	ونوین	-۳.۶%	۱.۷%	۹.۱%
۳	خبهمن	-۵.۳%	۰.۹%	۹.۷%	۲۸	وامید	-۱.۹%	۳.۱%	۱۱.۳%
۴	ویملت	-۲.۷%	۱.۴%	۸.۰%	۲۹	شاراک	-۴.۶%	۲.۷%	۱۳.۶%
۵	ویارس	-۲.۴%	۴.۱%	۸.۷%	۳۰	ویخش	-۰.۵%	۰.۵%	۵.۱%
۶	خگستر	-۱۰.۲%	-۱.۸%	۱۸.۳%	۳۱	شفن	-۲.۴%	۴.۷%	۱۵.۲%
۷	ورنا	-۷.۴%	-۰.۳%	۷.۸%	۳۲	شخارک	-۲.۲%	۵.۳%	۱۱.۴%
۸	سهرمز	-۰.۳%	۰.۱%	۵.۳%	۳۳	ثمسکن	-۶.۳%	-۰.۸%	۵.۲%
۹	کچاد	-۵.۱%	۰.۹%	۱۰.۸%	۳۴	وبهمن	-۴.۸%	-۰.۲%	۷.۱%
۱۰	فخاس	-۳.۹%	۰.۷%	۸.۰%	۳۵	شیراز	-۲.۱%	۴.۶%	۱۴.۹%
۱۱	فخوز	-۳.۷%	۳.۹%	۱۴.۱%	۳۶	سفارس	-۷.۰%	۰.۵%	۵.۷%
۱۲	فولاد	-۳.۷%	۲.۹%	۱۳.۰%	۳۷	ولسایا	-۶.۱%	۰.۹%	۱۰.۶%
۱۳	وغدیر	-۴.۴%	۱.۳%	۱۱.۶%	۳۸	وصندوق	-۴.۰%	۱.۸%	۱۱.۹%
۱۴	گگل	-۳.۱%	۲.۲%	۹.۹%	۳۹	غبشهر	-۲.۰%	۲.۹%	۱۱.۹%
۱۵	فایرا	-۱۲.۰%	-۰.۳%	۶.۱%	۴۰	خسایا	-۶.۵%	۰.۳%	۱۲.۴%
۱۶	خودرو	-۷.۹%	۰.۸%	۱۰.۶%	۴۱	وسایا	-۶.۴%	۱.۱%	۱۲.۳%
۱۷	ناخت	-۳.۷%	-۱.۴%	۳.۳%	۴۲	تایرا	-۶.۱%	-۲.۴%	۶.۹%
۱۸	رانفور	-۰.۸%	۴.۵%	۱۵.۵%	۴۳	بترانس	-۱۰.۴%	۴.۲%	۱۱.۶%
۱۹	وکار	-۱.۲%	۳.۲%	۶.۸%	۴۴	وبشهر	-۶.۴%	۱.۶%	۱۰.۴%
۲۰	حکشتی	-۴.۴%	-۰.۶%	۵.۴%	۴۵	وسینا	-۱.۹%	۳.۲%	۹.۱%
۲۱	ومعادن	-۱.۹%	۴.۳%	۱۳.۵%	۴۶	سمازن	-۱.۴%	۰.۶%	۷.۰%
۲۲	رمینا	-۲.۹%	۱.۷%	۱۶.۳%	۴۷	ستران	-۳.۵%	۱.۷%	۸.۱%
۲۳	اخابر	-۲.۹%	۱.۱%	۱۰.۵%	۴۸	حتاید	-۹.۰%	-۰.۵%	۲.۳%
۲۴	فملی	-۴.۷%	۴.۴%	۱۲.۴%	۴۹	وتوسم	-۲.۹%	-۰.۲%	۵.۵%
۲۵	ونفت	-۴.۶%	-۰.۱%	۷.۵%	۵۰	وسیه	-۲.۹%	۱.۵%	۷.۱%

جدول ۴- شرکت‌های مورد بررسی و بررسی نرمال بودن با استفاده از آماره جاکر برا

ردیف	نماد	مقدار بحرانی	p-value	فرض مورد قبول	ردیف	نماد	مقدار بحرانی	p-value	فرض مورد قبول
۱	ویانک	۳.۱۷۵۱۳۳۵۴۷	۰.۰۸۸۷۷	۰	۲۶	شپهرن	۱۳.۲۰۳۱۸۵۵۵	۰.۰۰۸۰۹	۱
۲	شاهد	۶.۲۳۹۳۰۰۸۷۱	۰.۰۳۱۶۴	۱	۲۷	ونوین	۳.۳۴۵۳۱۰۷۶۸	۰.۰۸۲۴۸	۰
۳	خبهمن	۱.۳۹۲۸۸۴۰۴۱	۰.۳۳۷۵۲	۰	۲۸	وامید	۱۸.۳۵۴۰۴۸۷	۰.۰۰۴۰۱	۱
۴	ویملت	۳۵.۸۴۱۸۹۳۰۵	۰.۰۰۱	۱	۲۹	شاراک	۱.۳۴۲۱۶۸۷۹۸	۰.۳۵۲۷۶	۰
۵	ویپارس	۱.۵۶۰۹۶۷۷۹۵	۰.۲۹۰۱۲	۰	۳۰	ویخش	۲۱.۲۳۸۳۴۰۸۷	۰.۰۰۲۸۸	۱
۶	خگستر	۸.۹۹۵۷۸۰۲۹۴	۰.۰۱۷۰۲	۱	۳۱	شفن	۲.۷۲۳۶۱۱۷۵۳	۰.۱۱۲۶۳	۰
۷	ورنا	۶.۶۵۸۱۰۱۲۲	۰.۰۲۸۴۹	۱	۳۲	شخارک	۲۷.۲۴۳۱۳۳۶۱	۰.۰۰۱۵۶	۱
۸	سهرمز	۱۳۹.۶۹۵۳۴۳۴	۰.۰۰۱	۱	۳۳	ثمسکن	۴.۸۲۰۱۹۸۱۰۹	۰.۰۴۷۵۵	۱
۹	کچاد	۴۶.۴۱۷۳۹۰۱۵	۰.۰۰۱	۱	۳۴	ویهمن	۱۶.۱۲۳۵۱۱۸۷	۰.۰۰۵۳۶	۱
۱۰	فخاس	۲۰.۹۳۶۰۷۵۰۵	۰.۰۰۲۹۸	۱	۳۵	شیراز	۲۲۱.۵۴۲۵۰۲۹	۰.۰۰۱	۱
۱۱	فخوز	۳.۷۸۶۱۱۰۴۶۱	۰.۰۶۸۹۶	۰	۳۶	سفارس	۵۶.۷۹۵۳۳۹۲	۰.۰۰۱	۱
۱۲	فولاد	۰.۲۴۵۲۱۶۸۰۷	۰.۵	۰	۳۷	ولساپا	۹۰.۴۲۶۲۴۵۰۷	۰.۰۱۶۸۶	۱
۱۳	وغدیر	۴.۴۴۳۵۵۶۰۹۶	۰.۰۵۳۶۵	۰	۳۸	وصندوق	۷۷.۶۳۱۴۸۸۳۲	۰.۰۰۱	۱
۱۴	کگل	۸.۴۹۲۶۴۴۵۴۲	۰.۰۱۸۸۲	۱	۳۹	غبشهر	۳۹.۰۷۲۹۳۲۶۲	۰.۰۰۱	۱
۱۵	فایرا	۱۲.۳۶۳۵۵۳۸۳	۰.۰۰۹۲۳	۱	۴۰	خساپا	۶.۱۲۳۵۱۴۴۷۷	۰.۰۳۲۶	۱
۱۶	خودرو	۱۷.۸۴۳۷۲۱۲۴	۰.۰۰۴۲۷	۱	۴۱	وساپا	۳۵.۵۶۶۲۳۰۳۶	۰.۰۰۱	۱
۱۷	ناخت	۸۴.۷۷۰۱۸۲۳۶	۰.۰۰۱	۱	۴۲	تایرا	۱۳.۱۲۷۱۱۰۷۳	۰.۰۰۸۱۸	۱
۱۸	رانفور	۰.۶۸۱۱۷۱۲۱۷	۰.۵	۰	۴۳	بترانس	۳.۴۱۱۶۹۷۱۴۲	۰.۰۸۰۲۳	۰
۱۹	وکار	۲۹.۸۹۶۲۰۴۰۷	۰.۰۰۱۲۵	۱	۴۴	وبشهر	۱.۶۳۶۷۵۷۶۶	۰.۲۶۹۷۷	۰
۲۰	حکشتی	۱۴.۹۹۱۸۵۳۱۱	۰.۰۰۶۲۵	۱	۴۵	وسینا	۰.۵۰۱۸۹۶۲۲۹	۰.۵	۰
۲۱	ومعادن	۱.۷۵۹۸۱۰۴۹۶	۰.۲۳۸۱۷	۰	۴۶	سمازن	۶.۶۸۳۷۲۰۰۰۸	۰.۰۲۸۳۱	۱
۲۲	رمپنا	۳.۰۱۸۴۱۱۹۸	۰.۰۹۵۵۶	۰	۴۷	ستران	۷.۲۵۰۸۹۱۷۰۵	۰.۰۲۴۵۷	۱
۲۳	اخابر	۰.۹۳۵۹۲۴۳۵۶	۰.۵	۰	۴۸	حتاید	۴.۶۵۲۴۲۶۸۵۱	۰.۰۵۰۱۵	۰
۲۴	فملی	۸.۰۲۲۱۶۳۳۶	۰.۰۲۰۷۱	۱	۴۹	وتوسم	۴۴.۶۷۱۲۷۲	۰.۰۰۱	۱
۲۵	ونفت	۴.۲۵۵۶۳۸۲۴۴	۰.۰۵۷۲	۰	۵۰	وسپه	۰.۴۶۵۳۷۱۴۵۱	۰.۵	۰

• اجرای الگوریتم

برای کد کردن الگوریتم حل مطرح شده در این پژوهش، از نرم افزار MATLAB نسخه ۲۰۱۳ استفاده شد و از کامپیوتر شخصی با مشخصات پردازنده Duo۲Intel Core با سرعت ۲،۵۳ GHZ و حافظه کوتاه مدت ۴ GH برای اجرای این برنامه استفاده شد. در ادامه یافته‌های مورد نظر از اجرای الگوریتم نشان داده شده است. ابتدا توسط شبیه‌سازی فازی ۱۰۰۰ خروجی و ورودی برای شبکه عصبی تولید شد. در ادامه با استفاده از شبکه عصبی تابع برازش برای تولید گشتاورها طراحی شد. برای طراحی شبکه عصبی ابتدا یک لایه‌های پنهان در نظر گرفته شد، سپس برای بدست آوردن تعداد نرون مناسب از معیار عملکرد میانگین مجذورات مربعات خطا استفاده شد و از تعداد ۵ تا ۴۰ نرون مورد آزمایش قرار گرفت و برای هر حالت ۱۰ بار شبکه عصبی اجرا گردید و سپس میانگین معیار عملکرد ۱۰ بار به عنوان مبنای مقایسه استفاده شد. در انتها حالت تعداد ۲۵ نرون به عنوان حالت بهینه مورد استفاده قرار گرفت که در شکل ۴ نمایش داده شده است. جدول ۵- مشخصات شبکه عصبی مورد استفاده نشان داده شده است و در جدول ارزیابی عملکرد شبکه عصبی نشان داده شده است. در ادامه از الگوریتم ژنتیک و شبیه‌سازی فازی برای بهینه کردن مسئله با استفاده از شبکه عصبی مورد نظر اجرا گردید. مشخصات الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی مورد استفاده در جداول زیر ارائه شده است.



شکل ۴- شبکه عصبی پیش خور مورد استفاده برای تخمین تابع برازش

جدول ۵- مشخصات شبکه عصبی مورد استفاده

ردیف	مورد	مشخصات
۱	تعداد لایه‌های پنهان	۱ لایه
۲	تعداد نرون‌های بهینه در لایه‌های پنهان	۲۵ نرون
۳	توابع انتقال در لایه پنهان و لایه خروجی	برای هر دو تابع خطی (purelin)
۴	الگوریتم بهینه‌سازی	الگوریتم لونیبرگ - مارکوارت
۵	تعداد حداکثر دوره‌های یادگیری (epoch)	۱۰۰۰ دور
۶	معیار ارزیابی	میانگین مجذورات مربعات خطا (MSE)
۷	نحوه جداسازی داده‌ها	۷۰ درصد داده آموزش ^{۱۳} ۱۵ درصد داده اعتبار سنجی ^{۱۴} ۱۵ درصد داده آزمایش ^{۱۵}

جدول ۶- ارزیابی عملکرد شبکه عصبی مورد استفاده

پارامتر	MSE	R ²
شبکه پرسپترون چندلایه	۰,۰۱۳۶	۰,۹۸

جدول ۷- پارامترهای ورودی مورد نیاز برای اجرای الگوریتم هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک

ردیف	پارامتر	مقدار
۱	حداکثر تکرار ^{۱۶} مجاز	۱۰۰۰
۲	اندازه جمعیت ^{۱۷}	۴۰۰
۳	نرخ تولیدمثل ^{۱۸}	۰,۸
۴	نرخ جهش ^{۱۹}	۰,۸

جدول ۸- پارامترهای ورودی مورد نیاز برای اجرای الگوریتم هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل

دیفرانسیلی

ردیف	پارامتر	مقدار
۱	حداکثر تکرار مجاز	۱۰۰۰
۲	اندازه جمعیت	۳۰۰
۳	نرخ تولیدمثل	۰,۶
۴	نرخ جهش	۰,۹

در مرحله بعد همان طور که مطرح شد الگوریتم هوشمند ترکیبی الگوریتم بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی با استفاده از نرم افزار متلب برای حداقل میزان بازده مورد انتظار از دو درصد تا نهونیم درصد به فاصله ۰,۲۵ اجرا گردید که نتایج مربوطه در ادامه ارائه شده است.

• مقایسه و تحلیل نتایج

برای مقایسه مدل ها از لحاظ کارایی به معیار عملکرد متفاوتی نسبت به شاخص شارپ نیازمندیم زیرا معیارهای انتخاب پرتفوی متفاوت بوده و فرض نرمال بودن و تقارن برقرار نیست. یکی از رویکردهای مورد استفاده برای به دست آوردن معیار عملکرد پرتفوی، استفاده از معیار ریسک عمومی تری نسبت به واریانس هستیم یعنی بنا به معادله زیر داریم:

$$ppm = \frac{r - r_f}{risk} \quad (12)$$

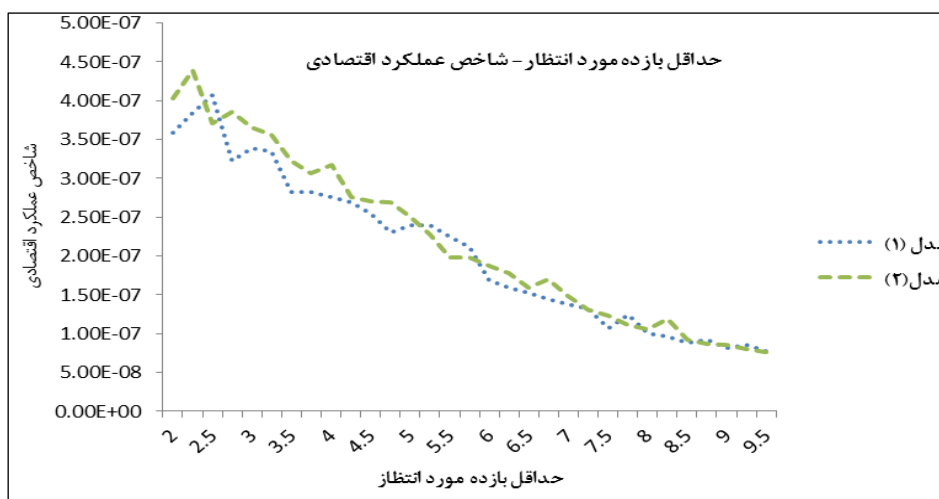
r_f مقدار بازدهی بدون ریسک می باشد. در اینجا به برای $risk$ باید معیار کارتری نسبت به واریانس در نظر گرفته شود. در این مقاله از معیار ریسک آموان-سارامون (AS) استفاده شده است [۲۹]. این شاخص را معیار عملکرد اقتصادی می نامیم که به صورت زیر تعریف می شود:

$$ppm = \frac{E(r) - r_f}{AS(r - r_f)} \quad (13)$$

حال اگر بخواهیم برحسب گشتاورهای توزیع این مقدار را به دست آوریم. شاخص عملکرد اقتصادی EPM شاخص عملکرد اقتصادی به صورت زیر به دست می آید [۳۰]:

$$EPM^{NIG}(\mu, \sigma^2, \chi, \kappa) = \frac{18\mu}{(3\kappa\mu - 4\mu\chi^2 - 6\chi\sigma + 9\sigma^2/\mu)} \quad (14)$$

که: μ ، χ ، σ^2 و κ به ترتیب میانگین، واریانس، چولگی و کشیدگی بازده اضافی دارایی ها ($r - r_f$) است که نحوه به دست آوردن هر یک از این پارامترها در بخش های قبل ارائه شده است. در این تحقیق بازدهی بدون ریسک ماهانه ۱,۷ درصد^{۲۰} در نظر گرفته شده است. به منظور محاسبه مرز کارا در دو مدل ذکر شده، مقدار حداقل بازده مورد انتظار α در بازه ۲ درصد تا ۹,۵ درصد برای ۳۱ نقطه در نظر گرفته شده است. برای نشان دادن نتایج، ابتدا شاخص عملکرد اقتصادی برای دو مدل در دو روش حل باهم مقایسه شده و در مرحله بعد روش های حل مورد بررسی و بحث قرار گرفته شده است. در نمودار ۱، دو مدل ۱ و ۲ باهم مقایسه شده است. همان طور که ذکر شد از شاخص عملکرد اقتصادی برای مقایسه دو مدل استفاده شده است. برای مقایسه معیار عملکرد دو مدل در این حالت از آزمون t زوجی بهره برده می شود.



نمودار ۱- مقایسه مدل‌ها در حالت استفاده از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک

جدول ۹- آزمون t زوجی برای مقایسه مدل‌های حاصل از الگوریتم هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک

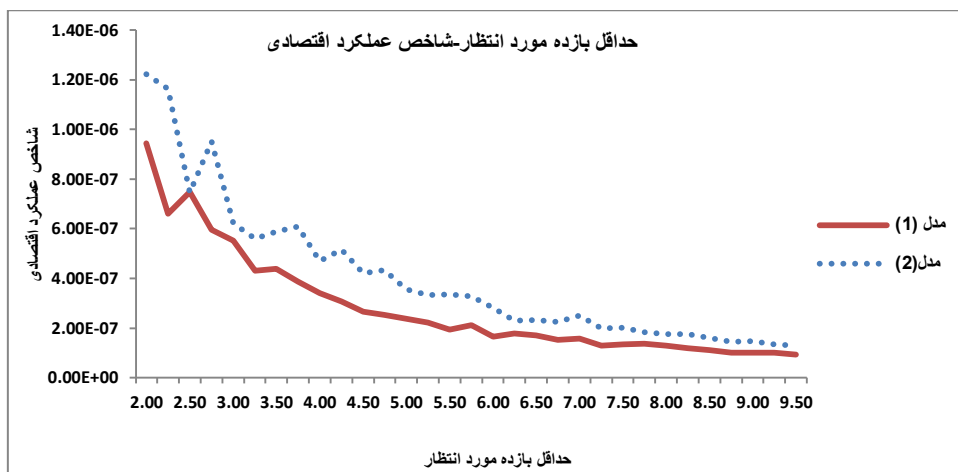
مقدار آماره	Pvalue	فرض مورد قبول
۳,۲۳۲۴	۰,۰۰۳۰	۱

جدول ۹ نتیجه آزمون t زوجی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید نتیجه تست از بالاتر بودن عملکرد اقتصادی مدل ۱ از مدل ۲ می‌باشد.

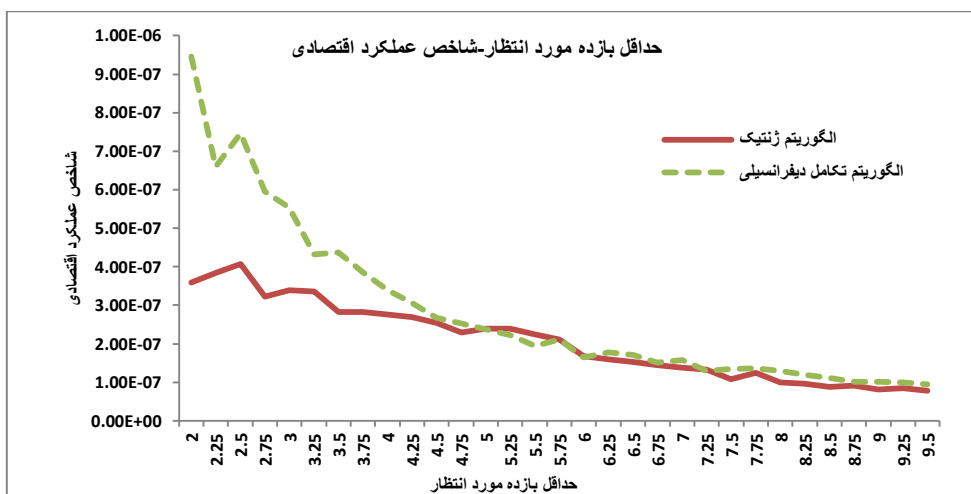
حال با استفاده از نتایج به دست آمده از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی باهم مورد مقایسه قرار می‌گیرد. نمودار ۲ نتیجه مقایسه دو مدل را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید مقدار شاخص عملکرد اقتصادی در مدل ۲ همواره بالاتر از مدل ۱ می‌باشد.

بنابراین تا این مرحله نتایج نشان دادند استفاده از گشتاورهای مرتبه بالاتر موجب کارا تر شدن جواب‌های به دست آمده از دو روش مدنظر می‌شود. در ادامه کارایی روش‌های مورد استفاده برای به دست آوردن جواب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در نمودار ۳ مقایسه روش‌های هوشمند ترکیبی (الگوریتم تکامل دیفرانسیلی و الگوریتم ژنتیک) برای مدل ۱ ارائه شده مورد مقایسه قرار گرفته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید استفاده از الگوریتم تکامل دیفرانسیلی به ویژه زمانی که حداقل بازده مورد انتظار کمتر می‌باشد دارای شاخص عملکرد اقتصادی تقریباً بالاتر نسبت به استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.

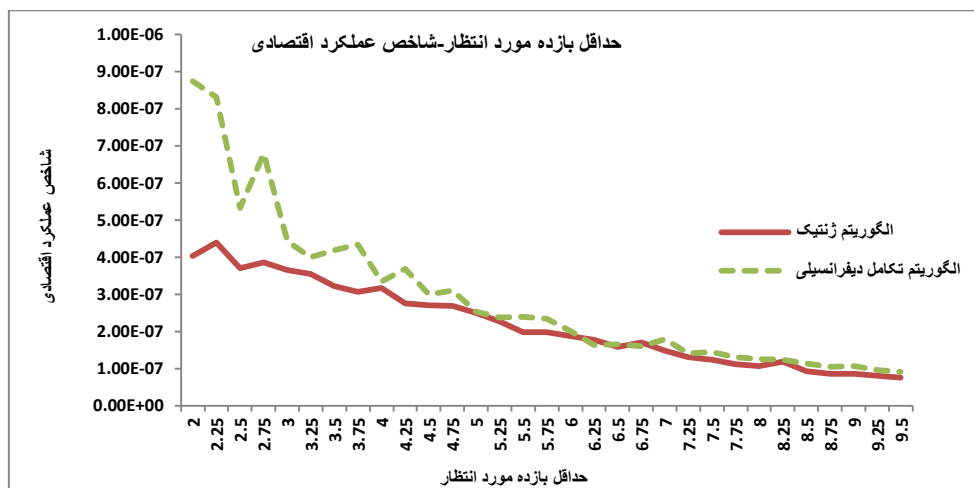


نمودار ۲- مقایسه مدل‌ها در حالت استفاده از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی



نمودار ۳- مقایسه روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل دیفرانسیلی برای مدل (۱)

در نمودار ۴ مقایسه روش‌های هوشمند ترکیبی (الگوریتم تکامل دیفرانسیلی و الگوریتم ژنتیک) برای مدل ۲ مورد مقایسه قرار گرفته شده است. همان‌طور که مشاهده می‌کنید استفاده از الگوریتم تکامل دیفرانسیلی به‌ویژه زمانی که حداقل بازده مورد انتظار کمتر می‌باشد دارای شاخص عملکرد اقتصادی تقریباً بالاتر نسبت به استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد.



نمودار ۴- مقایسه روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تکامل دیفرانسیلی برای مدل (۲)

بنابراین در دو مدل ارائه‌شده، روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی دارای کارایی بالاتری می‌باشد.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

دو عنصر مهم در مقوله سرمایه‌گذاری، ریسک و بازده می‌باشد. سرمایه‌گذاران همواره تمایل دارند در سطح معینی از ریسک، بازدهی خود را افزایش داده یا در سطح معینی از بازده، ریسک خود را کاهش دهند. مارکویتز با ارائه مدل خود در زمینه سبد سهام نشان داد که با تشکیل سبد دارایی‌های مالی این امکان به وجود می‌آید که در سطح معینی از بازده ریسک را کاهش داد. لذا سرمایه‌گذاران تمایل دارند تا با شناخت و انتخاب ترکیب بهینه دارایی‌های مالی در سبد سهام خود، بازده مورد انتظار خود را حداکثر و ریسک را حداقل نمایند. اما سرمایه‌گذاران با دو مسئله اساسی مواجه هستند. اولین مسئله مربوط به فروض زیربنایی مدل مارکویتز یعنی اینکه بازده دارایی‌ها به صورت عدد تصادفی در نظر گرفته می‌شود که در دنیای امروزی به دلیل عدم اطمینان و ابهام در اطلاعات موجود و شرایط آینده به دور از واقعیت است و مسئله دوم متقارن بودن تابع توزیع دارایی‌ها و بی‌تفاوت بودن سرمایه‌گذار نسبت به گشتاورهای مراتب بالاتر است.

با توجه به دو مشکل مطرح‌شده، تحقیق حاضر سعی نمود تا اثر در نظر گرفتن گشتاورهای بالاتر را در محیط مبهم و فازی نشان دهد. بنابراین در این مقاله از داده‌های بورس اوراق بهادار تهران برای مطالعات تجربی استفاده شد ابتدا به وسیله آماره جاک برا به این نتیجه رسیدیم که بازده دارایی‌ها نرمال و متقارن نمی‌باشد. به این منظور دو مدل ارائه گردید مدل اول که بر مبنای میانگین و واریانس بنانهاده شد و مدل دوم علاوه بر

میانگین و واریانس، چولگی و کشیدگی نیز در نظر گرفته شد. اما برای حل مسئله در این شرایط دو روش هوشمند ترکیبی در بکار برده شد. روش اول برمبنای الگوریتم ژنتیک و روش دوم بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی است.

برای نشان دادن کارایی دو مدل، از داده‌های ۵۰ شرکت بورس اوراق بهادار تهران شهریورماه ۱۳۸۸ تا شهریورماه ۱۳۹۲ استفاده شد. به منظور ایجاد مرز کارا برای هر مدل، ۳۱ پرتفوی تشکیل شد. در گام بعد برای مقایسه و تحلیل نتایج دو بعد مسئله در نظر گرفته شد. سپس در نظر گرفتن گشتاورهای مراتب بالاتر و بعد دوم روش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. برای مقایسه مدل‌ها از شاخص عملکرد اقتصادی استفاده شد و در انتها نتایج نشان داده شد.

یافته‌ها نشانگر این امر بود که هنگامی که از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی برای بهینه‌سازی پرتفوی استفاده می‌شود، استفاده از معیار ریسک نیمه قدر مطلق انحراف از میانگین نسبت به نیمه واریانس کارایی بیشتری ایجاد می‌کند. ولی هنگامی که از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی پرتفوی استفاده می‌شود، استفاده از معیار ریسک نیمه واریانس نسبت به نیمه قدر مطلق از میانگین کارایی بیشتری ایجاد می‌کند. همچنین در حالت استفاده از نیمه واریانس به عنوان معیار ریسک، روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک کارایی بیشتری ایجاد می‌کند. در حالت استفاده از نیمه قدر مطلق انحراف از میانگین به عنوان معیار ریسک نیز روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم تکامل دیفرانسیلی از روش هوشمند ترکیبی بر مبنای الگوریتم ژنتیک کارایی بیشتری ایجاد می‌کند.

در انتها برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد که با بکار بردن محدودیت‌های مانند حداقل میزان سرمایه- گذاری در هر سهم، محدودیت حداکثر تعداد سهام موجود در سبد اوراق بهادار و... مدل به فضای واقعی نزدیک تر گردد و در مرحله بعد پیشنهاد می‌شود که معیارهای دیگری مانند کمینه کردن هزینه‌های تراکنش، حداکثر کردن معیار نقد شوندگی و... به مدل پیشنهادی اضافه گردد تا کارایی مدل در این شرایط نیز نشان داده شود.

فهرست منابع

- [۱] H. Konno and H. Yamazaki, "Mean-absolute deviation portfolio optimization model and its applications to Tokyo stock market," Management science, vol. ۳۷, pp. ۵۳۱-۵۱۹, .۱۹۹۱
- [۲] H. Markowitz, "Portfolio selection*," The journal of finance, vol. ۷, pp. ۱۹۵۲, ۹۱-۷۷ .
- [۳] H. Markowitz, Portfolio selection: efficient diversification of investments: Yale university press, .۱۹۵۹
- [۴] P. Jorion, Value at risk: the new benchmark for controlling market risk vol. ۲: McGraw-Hill New York, .۱۹۹۷

- [۵] R. T. Rockafellar and S. Uryasev, "Optimization of conditional value-at-risk," *Journal of risk*, vol. ۲, pp. ۴۲-۲۱, ۲۰۰۰.
- [۶] H. Tanaka and P. Guo, "Portfolio selection based on upper and lower exponential possibility distributions," *European Journal of Operational Research*, vol. ۱۱۴, pp. ۱۲۶-۱۱۵, ۱۹۹۹.
- [۷] M. Inuiguchi and J. Ramík, "Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem," *Fuzzy sets and systems*, vol. ۱۱۱, pp. ۲۸-۳, ۲۰۰۰.
- [۸] M. Arenas Parra, A. Bilbao Terol, and M. Rodriguez Uria, "A fuzzy goal programming approach to portfolio selection," *European Journal of Operational Research*, vol. ۱۳۳, pp. ۲۸۷-۲۹۷, ۲۰۰۱.
- [۹] X. Huang, "Mean-entropy models for fuzzy portfolio selection," *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, vol. ۱۶, pp. ۱۱۰۱-۱۰۹۶, ۲۰۰۸.
- [۱۰] X. Zhang, W.-G. Zhang, and R. Cai, "Portfolio adjusting optimization under credibility measures," *Journal of computational and applied mathematics*, vol. ۲۳۴, pp. ۱۴۶۵-۱۴۵۸, ۲۰۱۰.
- [۱۱] X. Li, Z. Qin, and S. Kar, "Mean-variance-skewness model for portfolio selection with fuzzy returns," *European Journal of Operational Research*, vol. ۲۰۲, pp. ۲۴۷-۲۳۹, ۲۰۱۰.
- [۱۲] H. Dastkhan, N. S. Gharneh, and H. Golmakani, "A linguistic-based portfolio selection model using weighted max-min operator and hybrid genetic algorithm," *Expert Systems with Applications*, vol. ۳۸, pp. ۱۱۷۴۳-۱۱۷۳۵, ۲۰۱۱.
- [۱۳] Z. Qin, M. Wen, and C. Gu, "Mean-absolute deviation portfolio selection model with fuzzy returns," *Iranian Journal of Fuzzy Systems*, vol. ۸, pp. ۷۵-۶۱, ۲۰۱۱.
- [۱۴] X. Huang, "Minimax mean-variance models for fuzzy portfolio selection," *Soft Computing*, vol. ۱۵, pp. ۲۶۰-۲۵۱, ۲۰۱۱.
- [۱۵] P. Gupta, M. Inuiguchi, M. K. Mehlatat, and G. Mittal, "Multiobjective credibilistic portfolio selection model with fuzzy chance-constraints," *Information Sciences*, ۲۰۱۲.
- [۱۶] شمس و دستخوان، "به‌کارگیری برنامه‌ریزی ریاضی فازی در مسئله‌ی تعیین سبد بهینه سهام،" ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، ۱۳۹۰.
- [۱۷] یحیی‌زاده و همکاران، "مقایسه مدل‌های سبد سهام در حالت تصادفی و تصادفی فازی بودن بازده مورد انتظار،" پیشرفت‌های حسابداری، شماره اول، صفحه ۱۹۶-۱۷۱، ۱۳۹۰.
- [۱۸] صباغیان طوسی و مسعودی‌مقدم، "مدل میانگین - واریانس - چولگی برای انتخاب سبد سهام به‌وسیله‌ی منطق فازی" اولین همایش بین‌المللی اقتصادسنجی، روش‌ها و کاربردها ۱۳۹۱.

- [۱۹] همتی و همکاران، "کاربرد برنامه‌ریزی خطی فازی در تنظیم مجدد سبد سهام با پارامترهای فازی"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی تحقیق در عملیات ایران ۱۳۹۰.
- [۲۰] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility," *Fuzzy sets and systems*, vol. ۱۰۰, pp. ۳۴-۹, ۱۹۹۹.
- [۲۱] B. Liu and Y.-K. Liu, "Expected value of fuzzy variable and fuzzy expected value models," *Fuzzy Systems, IEEE Transactions on*, vol. ۱۰, pp. ۲۰۰۲, ۴۵۰-۴۴۵.
- [۲۲] B. Liu, *Uncertainty theory: an introduction to its axiomatic foundations* vol. ۱۵۴: Springer, ۲۰۰۴.
- [۲۳] L. A. Fono, J. S. Kamdem, and C. Tassak, "Moments and Semi-Moments for fuzzy portfolios selection," ۲۰۱۱.
- [۲۴] L. A. Fono, J. S. Kamdem, and C. D. Tassak, "Kurtosis and Semi-kurtosis for Portfolios Selection with Fuzzy Returns," ۲۰۱۱.
- [۲۵] بهزادی، عادل. (۱۳۹۳). بهینه‌سازی پرتفوی فازی با در نظر گرفتن گشتاور مراتب بالاتر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- [۲۶] P. K. Bergey and C. Ragsdale, "Modified differential evolution: a greedy random strategy for genetic recombination," *Omega*, vol. ۳۳, pp. ۲۰۰۵, ۲۶۵-۲۵۵.
- [۲۷] R. Storn and K. Price, "Differential evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces," *Journal of global optimization*, vol. ۱۱, pp. ۳۵۹-۳۴۱, ۱۹۹۷.
- [۲۸] C. M. Jarque and A. K. Bera, "A test for normality of observations and regression residuals," *International Statistical Review/Revue Internationale de Statistique*, pp. ۱۷۲-۱۶۳, ۱۹۸۷.
- [۲۹] R. J. Aumann and R. Serrano, "An economic index of riskiness," *Journal of Political Economy*, vol. ۱۱۶, pp. ۲۰۰۸, ۸۳۶-۸۱۰.
- [۳۰] U. Homm and C. Pigorsch, "Beyond the Sharpe ratio: An application of the Aumann–Serrano index to performance measurement," *Journal of Banking & Finance*, vol. ۳۶, pp. ۲۲۸۴-۲۲۷۴, ۲۰۱۲.

یادداشت‌ها

- ¹ Value-at-Risk (VaR)
² Conditional Value-at-Risk (CVaR)
³ Entropy
⁴ Verbal variable
⁵ Max_min
⁶ Min_max

- ⁷ Possibility theory
- ⁸ Self-Duality
- ⁹ Necessity
- ¹⁰ Curve fitting
- ¹¹ Photoemission
- ¹² Jarque and Bera
- ¹³ Train
- ¹⁴ validation
- ¹⁵ test
- ¹⁶ Iteration
- ¹⁷ Population size
- ¹⁸ Crossover
- ¹⁹ Mutation

^{۲۰} معادل ۲۲ درصد نرخ بهره سالانه