

توسعه مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای مسأله انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای

حامد داوری اردکانی*، اردشیر احمدی**

تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۴/۲۴

چکیده

در این مقاله، به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای مسأله انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای با در نظر گرفتن هزینه‌های معامله و محدودیت تعداد دارایی پرداخته می‌شود. مدل ارائه شده، ضمن تضمین دستیابی به حداقلی از بازده، ریسک را کمینه می‌کند. به منظور تولید درخت سناریوی پارامترهای تصادفی، از تبدیل جانسون و فرآیند نمونه‌گیری در چارچوب یک مدل گام تصادفی استفاده می‌شود. سپس، داده‌های تاریخی ۲۸ شاخص صنعت داخلی به منظور پیاده‌سازی روش تولید درخت سناریوی پارامترهای تصادفی مورد استفاده قرار می‌گیرند. نهایتاً مدل برنامه‌ریزی تصادفی، با استفاده از مجموعه سناریوهای تولید شده حل می‌شود. نتایج حل مدل ارائه شده نشان می‌دهند که افزایش هزینه معامله و ثروت هدف، ریسک سرمایه‌گذاری را افزایش می‌دهند. همچنین، نتایج حل مدل با مجموعه سناریوهای متفاوت، پایایی درون‌نمونه‌ای مناسبی را از منظر ریسک و بازده نشان می‌دهد. به علاوه، شبیه‌سازی پویای ارزش تجمعی دارایی‌های سرمایه‌گذار نشان می‌دهد که با افزایش حداقل بازده مورد انتظار، نوسان‌پذیری ثروت سرمایه‌گذار افزایش خواهد یافت.

واژگان کلیدی: برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو، بهینه‌سازی سبد دارایی چنددوره‌ای، درخت سناریو، مدل گام تصادفی، تبدیل جانسون

* استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران (نویسنده مسؤل)

(davari@khu.ac.ir)

** استادیار دانشکده مهندسی سیستم‌ها، دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ایران

مقدمه

نظریه مدرن انتخاب سبد دارایی توسط مارکوویتز (۱۹۵۲) و توسعه آن از جمله مهمترین مباحث رایج در ادبیات مالی در بیش از شش دهه اخیر بوده است. یکی از زمینه‌های توسعه مورد بحث، شامل ارائه مدل‌های بهینه‌سازی سبد دارایی چنددوره‌ای است. مالوی و همکاران (۲۰۰۳) به دلیل وجود هزینه‌های معامله، همبستگی زمانی بازده دارایی‌ها و امکان استقراض به منظور سرمایه‌گذاری، بر ضرورت استفاده از مدل‌های انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای تأکید می‌کنند. ویژگی‌های مذکور باعث می‌شوند که مدل‌های چنددوره‌ای انتخاب سبد دارایی نسبت به مدل‌های تک‌دوره‌ای مشابه، سازگاری بیشتری با جهان واقعی داشته باشند.

عدم قطعیت ذاتی پارامترهای مالی و اقتصادی، از جمله مسائل اساسی است که نقش آن در فرآیندهای تصمیم‌گیری مالی دارای اهمیت شایان توجهی است. مطالعات مختلف در این حوزه، از ابزارهای متنوعی برای مواجهه با این عدم قطعیت بهره برده‌اند. مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو از جمله این ابزارها هستند که در آن‌ها عدم قطعیت پارامترهای تصادفی در قالب مجموعه‌ای از سناریوهای دارای احتمال وقوع مشخص در نظر گرفته می‌شوند. به عبارت دقیق‌تر، مجموعه سناریوها، توزیع پارامترهای تصادفی در دست مطالعه را برآورد می‌کند.

مطالعه حاضر، به دنبال ارائه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای عدد صحیح مختلط جهت بررسی مسأله انتخاب سبد دارایی در شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن محدودیت تعداد دارایی و هزینه‌های معامله است.

مروری بر ادبیات مسأله انتخاب سبد دارایی نشان می‌دهد که در این حوزه، مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی مختلفی با در نظر گرفتن مفروضات گوناگون ارائه شده‌اند. دنزیگ و اینفنجر (۱۹۹۵) در یکی از مشهورترین کاربردهای برنامه‌ریزی تصادفی از برنامه‌ریزی خطی تصادفی چندمرحله‌ای به منظور مدل‌سازی مسأله انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای و از مدل‌های عاملی و فرآیندهای مارکف به منظور تولید سناریوهای بازده دارایی‌ها استفاده کردند. جی و همکاران (۲۰۰۵) از برنامه‌ریزی آرمانی خطی تصادفی چندمرحله‌ای برای

مدل‌سازی مسأله انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای و از یک مدل خطی تطبیق گشتاورها و روش خودبرگشتی برداری به منظور تولید سناریوهای بازده دارایی‌ها استفاده کردند. بارو و فرستل و ویسنستاینر (۲۰۱۰) از یک مدل برنامه‌ریزی خطی تصادفی چندمرحله‌ای برای مدیریت سبدی شامل اوراق قرضه، سهام و دارایی بدون ریسک و از مدل‌های نرخ بهره و تطبیق گشتاورها به منظور تولید سناریوهای نرخ بهره و بازده سهام استفاده کردند.

توپالوگلو و همکاران (۲۰۱۱) از پیمان‌های آتی ارز و قراردادهای اختیار معامله در چارچوب برنامه‌ریزی تصادفی به منظور متنوع‌سازی بین‌المللی بهینه سبد شاخص دارایی‌ها و کنترل ریسک بازار و ریسک نرخ ارز به طور همزمان استفاده کردند. روش تطبیق گشتاورها به منظور تولید سناریوی بازده دارایی‌ها مورد استفاده قرار گرفت. داوری اردکانی و همکاران (۲۰۱۶) از برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به منظور مدل‌سازی مسأله انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای با در نظر گرفتن سهام و قراردادهای اختیار معامله استفاده کردند.

ریسک را می‌توان به عنوان درجه عدم قطعیت در دستیابی به سطح معینی از بازده تعریف کرد (توپالوگلو، ۲۰۰۴). پس از ارائه مدل میانگین - واریانس مارکوویتز، سنج‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک توسعه داده شدند. یکی از این سنج‌های ریسک، نیم واریانس (مارکوویتز؛ ۱۹۵۹) است که در محاسبه واریانس، تنها انحرافات نامطلوب را به عنوان عامل ریسک در نظر می‌گیرد. یکی دیگر از سنج‌های ریسک، متوسط قدر مطلق انحرافات از میانگین بازده (شارپ، ۱۹۷۱) است. یکی از ویژگی‌های مهم این سنج ریسک این است که برخلاف واریانس و نیم‌واریانس، مدل دربردارنده این سنج ریسک را می‌توان به راحتی به یک مدل برنامه‌ریزی خطی تبدیل کرد. در سال‌های اخیر، ارزش در معرض ریسک به عنوان یکی از ابزارهای مهم اندازه‌گیری ریسک بانک‌ها و مؤسسات مالی مطرح گردیده‌است. با این حال به دلیل ویژگی‌هایی مانند دم کلفت توزیع بازده دارایی‌ها و غیرمحدب بودن این اندازه ریسک، استفاده از آن در مدل‌های بهینه‌سازی انتخاب سبد دارایی چندان متداول نیست. ارزش در معرض ریسک شرطی (راکافلر و یوریاسف، ۲۰۰۰) به عنوان امید شرطی زیان‌های فراتر از ارزش در معرض ریسک تعریف می‌شود. با توجه محدب بودن ارزش در معرض

ریسک شرطی و این نکته مهم که این سنجه ریسک، اطلاعات مناسبی از دم توزیع بازده سبد ارائه می‌کند، در مسائل بهینه‌سازی انتخاب سبد دارایی از آن به طور گسترده استفاده شده است. یکی دیگر از اندازه‌های مهم ریسک، تأسّف مورد انتظار است که نوسان‌های نامطلوب ثروت سرمایه‌گذار نسبت به یک مقدار هدف از پیش تعیین شده را کنترل می‌کند (داوری اردکانی و همکاران، ۲۰۱۶). تستوری و یوریاسف (۲۰۰۴) تأسّف مورد انتظار و ارزش در معرض ریسک شرطی را مقایسه می‌کنند و نشان می‌دهند که یک سبد دارایی بهینه از منظر ارزش در معرض ریسک شرطی، به ازای یک سطح ثروت هدف خاص، از منظر تأسّف مورد انتظار نیز بهینه است و بالعکس. ضمن آن که فهم تأسّف مورد انتظار و مصالحه آن با بازده مورد انتظار برای سرمایه‌گذاران امری آسان‌تر است. به علاوه، با استفاده از تأسّف مورد انتظار می‌توان ریسک را به راحتی، به جای یک دوره خاص (مثلاً دوره نهایی) در طول افق زمانی اندازه گرفت. به همین دلیل، مطالعاتی مانند جی و همکاران (۲۰۰۵)، پینار (۲۰۰۷)، داوری اردکانی و همکاران (۲۰۱۴)، داوری اردکانی و همکاران (۲۰۱۵) و داوری اردکانی و همکاران (۲۰۱۶) از تأسّف مورد انتظار برای اندازه‌گیری ریسک سبد دارایی‌ها بهره برده‌اند.

برخی ویژگی‌های مهم و مفروضات رایج در بازارهای مالی توسط مطالعات متعددی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. برخی از این موارد شامل هزینه‌های معامله، حداقل اندازه انباشته دارایی مورد معامله، محدودیت‌های تعداد دارایی و حدود بالا و پایین سرمایه‌گذاری در هر دارایی هستند (مانسینی و همکاران، ۲۰۱۴). به عنوان نمونه‌هایی از به‌کارگیری این ویژگی‌ها و مفروضات می‌توان به محدودیت تعداد دارایی و حد بالا و پایین سرمایه‌گذاری در هر دارایی (چنگ و همکاران، ۲۰۰۰)، حداقل اندازه انباشته دارایی مورد معامله، محدودیت تعداد دارایی و ارزش بازار (سلیمانی و همکاران، ۲۰۰۹) و هزینه‌های معامله، محدودیت تعداد دارایی و حداقل اندازه انباشته دارایی مورد معامله (لیو و ژانگ، ۲۰۱۵) اشاره کرد.

به طور خلاصه، مطالعه حاضر به دنبال ارائه یک مدل جدید برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به منظور مدیریت سبد دارایی چنددوره‌ای با در نظر گرفتن هزینه‌های معامله، محدودیت تعداد دارایی، حداقل اندازه انباشته دارایی مورد معامله و حد بالا و پایین سرمایه‌گذاری در هر

دارایی و تأسّف مورد انتظار به عنوان اندازه ریسک است. در بخش دوم به ارائه مدل برنامه‌ریزی تصادفی پیشنهادی پرداخته می‌شود. بخش سوم به توضیح روش تولید سناریوی مبتنی بر نمونه‌گیری اختصاص یافته است. در بخش چهارم به ارائه نتایج محاسباتی و تحلیل آن‌ها پرداخته می‌شود. نهایتاً بخش پنجم، خلاصه‌ای از نتایج حاصل از پژوهش را تشریح می‌کند.

مدل برنامه‌ریزی تصادفی پیشنهادی برای مدیریت سبد دارایی

در پژوهش حاضر، به منظور مدل‌سازی مسأله انتخاب سبد دارایی چنددوره‌ای از یک چارچوب برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای عدد صحیح مختلط استفاده می‌شود. مفروضات مدل برنامه‌ریزی تصادفی پیشنهادی به قرار زیرند:

- سرمایه‌گذار سرمایه اولیه‌ای در اختیار دارد و قصد دارد با قرار دادن حد پایینی برای بازده مورد انتظار خود، تأسّف مورد انتظار را در طول افق زمانی پیش رو کمینه کند.
- دارایی‌های در دسترس شامل تعدادی سهام و یک دارایی بدون ریسک هستند.
- خرید و فروش سهام مستلزم پرداخت درصدی مشخص از بهای دارایی یعنی هزینه معامله است.
- معامله سهام در انباشته‌هایی با اندازه معین انجام می‌شود.
- محدودیت حداکثر تعداد سهام در سبد در نظر گرفته می‌شود.
- در صورت وجود هر سهمی در سبد، حدود بالا و پایین مشخصی برای تعیین ارزش موجودی آن سهم در سبد در نظر گرفته می‌شود.
- فروش استقراضی سهام مجاز نیست.

نمادگذاری مدل برنامه‌ریزی تصادفی پیشنهادی به قرار زیر است:

نمادهای مربوط به درخت سناریوها

مجموعه گره‌های درخت سناریو	N
یک گره خاص در درخت سناریو	$n \in N$
مجموعه گره‌های برگ درخت سناریو در دوره نهایی T	$N_T \in N$
مجموعه گره‌های درخت سناریو در دوره $t = 0, 1, 2, \dots, T$	$N_t \in N$
گره پیش‌نیاز منحصر به فرد گره $n \in N \setminus \{0\}$	$p(n)$
احتمال حالت متناظر با گره $n \in N$	p_n
دوره زمانی متناظر با گره $n \in N$	$\zeta(n)$
مجموعه‌ها	
مجموعه سهام	I
اندیس هر سهم	$i \in I$
داده‌های ورودی قطعی	
ثروت اولیه سرمایه‌گذار	W_0
هزینه معامله خرید یا فروش سهم $i \in I$	τ
حداکثر تعداد سهام سبد	k
حداکثر نسبت سرمایه‌گذاری در سهم i	u_i
حداقل نسبت سرمایه‌گذاری در سهم i	l_i
نرخ بهره بدون ریسک	r
بازده هدف مورد انتظار سبد	ζ
یک عدد بسیار بزرگ	M

پارامترهای وابسته به سناریو

θ^n	ثروت هدف سرمایه‌گذار در گره $n \in N \setminus \{0\}$
μ^n	سطح ریسک‌گریزی سرمایه‌گذار در گره $n \in N \setminus \{0\}$
ub_n	حداکثر سرمایه‌گذاری مجاز در دارایی بدون ریسک در گره $n \in N$
ψ_i^n	قیمت بازار دارایی $i \in I$ در گره $n \in N$ ضربدر اندازه انباشته معامله سهام

متغیرهای تصمیم

x_i^n	مقدار سهم $i \in I$ خریداری شده در گره $n \in N$ بر حسب تعداد انباشته مورد معامله
y_i^n	مقدار سهم $i \in I$ فروخته شده در گره $n \in N$ بر حسب تعداد انباشته مورد معامله
h_i^n	مقدار موجودی سهم $i \in I$ در گره $n \in N$ بر حسب تعداد انباشته مورد معامله
f^n	میزان سرمایه‌گذاری در دارایی بدون ریسک در گره $n \in N$
ω_i^n	متغیر صفر و یک نشان‌دهنده وجود یا عدم وجود سهم $i \in I$ در سبد در گره $n \in N$
m^n	سرمایه‌گذاری در دارایی بدون ریسک در گره $n \in N$

متغیرهای کمکی

C^n	متغیر کمکی خطی‌سازی تابع هدف در گره $n \in N \setminus \{0\}$
V^n	ثروت سرمایه‌گذار در گره $n \in N$

مدل برنامه‌ریزی تصادفی ارائه شده به صورت زیر است:

$$\text{minimize} \left(\sum_t \sum_{n \in N_t \setminus \{0\}} \mu^n \frac{p_n \max(\theta^n - V^n, 0)}{(1+r)^t} \right) \quad (1)$$

$$\sum_{i \in I} x_i^0 \psi_i^0 (1+\tau) + m^0 = W_0 \quad (2)$$

$$h_i^{p(n)} + x_i^n - y_i^n = h_i^n \quad i \in I, n \in N \setminus \{N_T \cup 0\} \quad (۳)$$

$$\sum_{i \in I} y_i^n \psi_i^n (1 - \tau) + m^{p(n)} (1 + r_f) = \sum_{i \in I} x_i^n \psi_i^n (1 + \tau) + m^n \quad n \in N \setminus \{0\} \quad (۴)$$

$$\sum_{n \in N_T} p_n V^n / W_0 \geq \zeta \quad (۵)$$

$$V^n = \sum_{i \in I} h_i^n \psi_i^n + m^n \quad n \in N \quad (۶)$$

$$\frac{h_i^n}{M} \leq \omega_i^n \leq h_i^n \quad i \in I, n \in N \quad (۷)$$

$$\sum_{i \in I} \omega_i^n \leq k \quad n \in N \quad (۸)$$

$$l_i V^n - M(1 - \omega_i^n) \leq h_i^n \psi_i^n \leq u_i V^n + M(1 - \omega_i^n) \quad i \in I, n \in N \quad (۹)$$

$$x_i^n \geq 0, y_i^n \geq 0, h_i^n \geq 0, m^n \geq 0 \quad i \in I, n \in N \quad (۱۰)$$

$$\omega_i^n = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \quad i \in I, n \in N \quad (۱۱)$$

هدف مدل ارائه شده، کمینه سازی تأسّف مورد انتظار ثروت سرمایه گذار در طول افق زمانی با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول مطابق معادله (۱) است. سرمایه گذاری ثروت اولیه سرمایه گذار در سهام و دارایی بدون ریسک با در نظر گرفتن هزینه های معامله از طریق محدودیت (۲) انجام می شود. به عبارت دیگر، مجموع سرمایه گذاری در هر سهم با احتساب هزینه های معامله و سرمایه گذاری در دارایی بدون ریسک باید دقیقاً معادل سرمایه اولیه در دسترس باشد. محدودیت (۳) بالانس موجودی سهام را در طول افق زمانی نشان می دهد. به عبارت دقیق تر، موجودی هر سهم در هر گره، معادل موجودی آن سهم در گره پیش نیاز به اضافه خالص خرید آن سهم است. طبق محدودیت (۴)، اصل و بهره ناشی از سرمایه گذاری در دارایی بدون ریسک در دوره قبل و نقدینگی ناشی از فروش سهام، به منظور سرمایه گذاری در دارایی بدون

ریسک و خرید سهام جدید مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عبارت دیگر، محدودیت (۴) نشان‌دهنده نحوه برقراری تعادل بین منابع و مصارف است. محدودیت‌های (۵) و (۶) دستیابی به حداقلی از بازده مورد انتظار سبد را در طول افق زمانی تضمین می‌کنند. محدودیت‌های (۷) و (۸) تضمین می‌کنند که کل تعداد سهام موجود در سبد در هر گره از یک مقدار از پیش تعیین شده فراتر نروند. محدودیت (۹) نسبت ارزش هر سهم به ارزش کل سبد (در صورت وجود آن سهم در سبد) را بین حد بالا و پایین معینی محدود می‌کند. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) نامنفی بودن و صفر و یک بودن متغیرهای مختلف را نشان می‌دهند.

۳. روش ارائه شده برای تولید سناریوهای بازده سهام

پیش‌بینی مناسب بازده دارایی‌ها به منظور اتخاذ تصمیم‌های مناسب سرمایه‌گذاری از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. این مسأله با نظریه بازار کارا ارتباط نزدیکی دارد (شاکار و کوسالان، ۲۰۱۳). بحث کارایی بازارها و به طور خاص بازار سهام آلمان در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعاتی مانند ژاکوبسن (۱۹۹۶)، لوکس (۱۹۹۶)، وورثینگتون و هیگس (۲۰۰۴)، بورگس (۲۰۱۰) و سنسوی و تاباک (۲۰۱۵) کارایی بازار بورس آلمان را به نوعی مورد تأیید قرار می‌دهند. همسو با نتایج مطالعات مذکور، روش تولید سناریوی ارائه شده در این پژوهش، بر مبنای شرایط بازار کارا طراحی شده است. به عبارت دقیق‌تر، برای برآورد بازده بازار در آینده از یک مدل گام تصادفی استفاده می‌شود. سپس از یک مدل تک‌عاملی و بازده برآورد شده بازار، برای برآورد بازده سهام استفاده می‌شود. یکی از ویژگی‌های مهم بازده دارایی‌های مالی این است که توزیع احتمال آن‌ها معمولاً دم کلفت‌تری نسبت به توزیع نرمال دارند (داوری اردکانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ داوری اردکانی و همکاران، ۲۰۱۵ و داوری اردکانی و همکاران، ۲۰۱۶). این مسأله می‌تواند کنترل ریسک سرمایه‌گذاری را با دشواری قابل توجهی مواجه سازد. با این حال، مطالعات متعددی وجود دارند که ضمن نادیده گرفتن این مطلب، توزیع بازده دارایی‌ها را نرمال در نظر می‌گیرند. به عنوان نمونه، شاکار و کوسالان (۲۰۱۳) از یک مدل گام تصادفی بر مبنای توزیع نرمال برای تولید سناریوهای بازده شاخص بازار بورس استانبول استفاده می‌کنند. در این پژوهش، بر

اساس مطالعه فوق، رویکرد جدیدی برای تولید سناریوی بازده دارایی‌ها بر مبنای توزیع تجربی آن‌ها ایجاد می‌شود. به عبارت دقیق‌تر، فرض محدودکننده نرمال بودن توزیع بازده دارایی‌ها حذف می‌شود. برای نیل به این هدف، از تبدیل جانسون به عنوان ابزاری کارآمد برای نرمال‌سازی داده‌های غیرنرمال استفاده می‌شود. به طور کلی، سه نوع رابطه برای تبدیل جانسون وجود دارد که به سیستم کران‌دار^۱، سیستم لگ‌نرمال^۲ و سیستم بی‌کران^۳ موسومند. رابطه مناسب و پارامترهای آن باید با توجه به داده‌های مسأله برازش و انتخاب شوند. سیستم‌های تبدیل جانسون بی‌کران، کران‌دار و لگ‌نرمال به ترتیب در معادلات (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده‌اند.

$$z = \gamma + \eta \operatorname{arcsinh}\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda}\right) \quad (12)$$

که در آن z مقدار نرمال شده را نشان می‌دهد. همچنین γ و η نشان‌دهنده پارامترهای شکل^۴ و ε و λ نشان‌دهنده پارامترهای موقعیت^۵ و مقیاس^۶ هستند.

$$z = \gamma + \eta \ln\left(\frac{x - \varepsilon}{\lambda + \varepsilon - x}\right) \quad (13)$$

که در آن z مقدار نرمال شده را نشان می‌دهد. همچنین γ و η نشان‌دهنده پارامترهای شکل^۷ و ε و λ نشان‌دهنده پارامترهای موقعیت^۸ و مقیاس^۹ هستند.

$$z = \gamma + \eta \ln(x - \varepsilon) \quad (14)$$

که در آن z مقدار نرمال شده را نشان می‌دهد. همچنین γ و η نشان‌دهنده پارامترهای شکل^{۱۰} و ε نشان‌دهنده پارامتر موقعیت^۱ هستند.

-
- 1 Bounded System
 - 2 Log-normal System
 - 3 Unbounded System
 - 4 .shape parameter
 - 5 .location parameter
 - 6 .scale parameter
 - 7 .shape parameter
 - 8 .location parameter
 - 9 .scale parameter
 - 10 .shape parameter

بهترین سیستم تبدیل جانسون، سیستمی است که آزمون آماری نرمال بودن داده‌های تبدیل شده آن دارای بیشتری p - مقدار باشد. پس از برازش تبدیل جانسون بر روی داده تاریخی بازده سهام، می‌توان با معکوس‌سازی تبدیل جانسون برازش شده به ارائه مدل گام تصادفی مناسبی پرداخت که بر مبنای توزیع تجربی داده‌های تاریخی بازده کار می‌کند.

گام‌های روش ارائه شده برای تولید سناریوهای بازده سهام به شرح زیر است:

۱. قیمت‌های تاریخی سهام را به بازده سهام تبدیل کنید. این کار با استفاده از معادله (۱۵) قابل انجام است.

$$r_{it} = \frac{P_{it}}{P_{i,t-1}} - 1 \quad (15)$$

۲. از سیستم‌های مختلف تبدیل جانسون یعنی سیستم‌های بی کران، کران‌دار و لگ‌نرمال برای نرمال‌سازی داده‌های تاریخی بازده سهام مختلف استفاده کنید.

۳. پس از برازش انواع مدل‌ها بر روی هر سهم و برآورد مقادیر مناسب پارامترهای مربوط، بهترین مدل را انتخاب کنید.

۴. با توجه به نوع تبدیل جانسون برازش شده روی داده‌های تاریخی بازده شاخص بازار و پارامترهای آن و بر اساس ابعاد مورد نظر درخت سناریوها، مدل گام تصادفی مناسب را برای تولید درخت سناریوهای بازده شاخص بازار به کار ببرید. لازم به ذکر است که در صورت انتخاب سیستم جانسون بی کران، کران‌دار و لگ‌نرمال به ترتیب از معادلات (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) به عنوان مدل گام تصادفی استفاده می‌شود.

$$r_t = \varepsilon + 0.5\lambda \left(e^{\frac{z_t - \gamma}{\eta}} - e^{-\frac{z_t - \gamma}{\eta}} \right) \quad (16)$$

$$r_t = \frac{\varepsilon + e^{\frac{z_t - \gamma}{\eta}} (\lambda + \varepsilon)}{1 + e^{\frac{z_t - \gamma}{\eta}}} \quad (17)$$

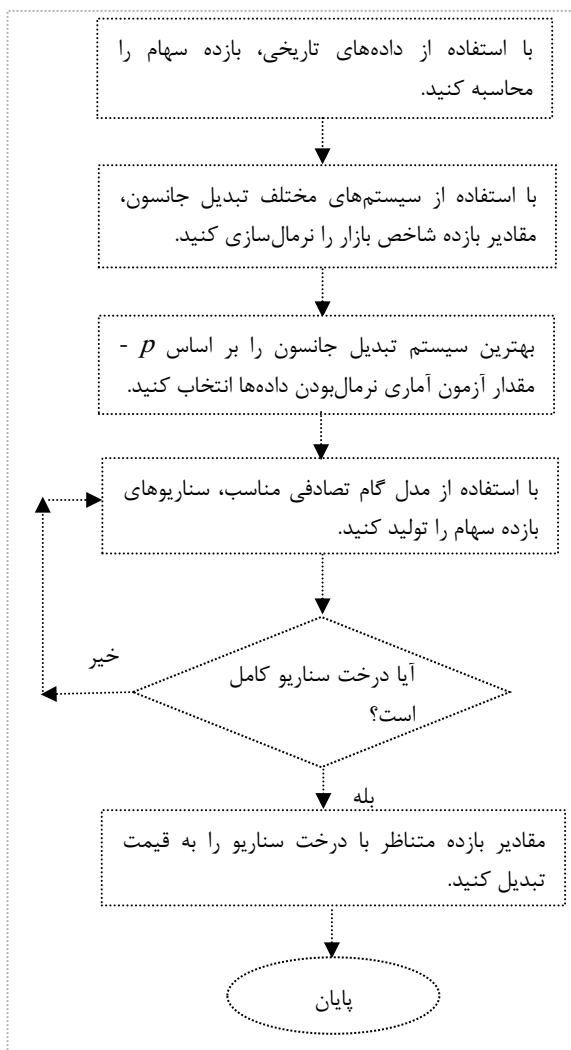
$$r_t = \varepsilon + e^{\frac{z_t - \gamma}{\eta}} \quad (18)$$

¹.location parameter

که در آن r_t بازده برآورد شده شاخص سهام را در زمان t نشان می‌دهد. همچنین z_t نشان‌دهنده یک عدد نرمال استاندارد تصادفی است که در زمان t تولید می‌شود.

۵. درخت سناریوهای بازده سهام را به درخت سناریوهای قیمت سهام تبدیل کنید.

شکل ۱ شمای کلی روش تولید درخت سناریو با استفاده از نمونه‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۱. شمای کلی روش تولید درخت سناریو با نمونه‌گیری

نتایج محاسباتی

در این بخش، به پیاده‌سازی روش پیشنهادی مبتنی بر مدل نمونه‌گیری پرداخته می‌شود. بدین منظور، ۲۸ شاخص از صنایع فعال در بازار بورس اوراق بهادار تهران^۱ انتخاب می‌شوند. داده‌های ارزش شاخص، ماهانه و مربوط به ۱ آبان ۱۳۸۸ تا ۱ اسفند ۹۴ هستند. ضمناً داده‌های مورد نیاز از نرم‌افزار تدبیرپرداز و با همکاری سازمان بورس و اوراق بهادار جمع‌آوری شده‌اند و نرم‌افزارهای MATLAB 7.9 و Minitab 16 برای تولید سناریوها روی کامپیوتری با مشخصات Core 2 Duo 2.5 GHz CPU, 2 GB RAM Intel مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به منظور تولید سناریوی بازده دارایی‌ها، در ابتدا با استفاده از معادله (۱۵) قیمت‌های شاخص‌های مختلف به بازده ماهیانه آن‌ها تبدیل شده‌اند. جدول ۱ آماره‌های توصیفی بازده تاریخی ماهیانه شاخص‌های سهام مختلف فعال در بازار بورس اوراق بهادار تهران را نشان می‌دهد.

جدول ۱. آماره‌های توصیفی بازده تاریخی ماهیانه شاخص‌های سهام مختلف فعال در بازار بورس

اوراق بهادار تهران

نام صنعت	میانگین	انحراف استاندارد	میان	کمینه	بیشینه	چولگی	کشدگی
استخراج	۰/۰۲۳۲۶۶	۰/۱۲۳۳۱۷۲۹۶	۰/۰۱۰۳۶۳	-۰/۲۵۳۸۸۶	۰/۴۳۶۰۹۳	۰/۵۲۲۹۳۶۲۸۲	۴/۰۲۷۲۰۲۸۳۷
انبوه سازی	۰/۰۱۹۸۳۱	۰/۰۹۱۰۵۸۴۶۳	۰/۰۰۵۳۶۱	-۰/۱۵۷۰۲۷	۰/۴۰۲۶۶۷	۱/۲۲۰۱۴۳۲۷۱	۶/۰۱۴۲۳۸۰۱۱
خودرو	۰/۰۳۶۵۴۲	۰/۱۴۲۵۷۲۴۷	۰/۰۱۱۳۷۲	-۰/۱۶۰۴۶۳	۰/۵۹۳۳۸	۱/۶۱۳۶۵۱۸۴۱	۵/۹۵۷۰۴۷۸۰۳
بانک	۰/۰۲۴۴۵۶	۰/۰۷۲۶۹۰۹۹۳	۰/۰۲۰۹۳۲	-۰/۱۰۳۰۰۷	۰/۲۱۱۷۵	۰/۷۲۴۶۳۹۲۵	۳/۱۲۹۹۷۷۴۶۲
برقی	۰/۰۳۷۲۴۵	۰/۱۰۶۸۸۸۶۳۲	۰/۰۳۴۸۹۷	-۰/۱۸۸۰۲۱	۰/۳۷۱۸۰۷	۰/۶۵۰۶۶۶۵۵۱	۳/۶۴۹۶۳۸۹۱۳
فلزات اساسی	۰/۰۲۲۵۵۶	۰/۰۸۹۴۵۸۷۴۷	۰/۰۰۳۴۴۳	-۰/۱۰۷۵۶۶	۰/۲۵۰۹۸	۰/۸۲۷۸۲۷۷۶۴	۲/۸۹۸۶۰۶۳۵۷
سیمان	۰/۰۲۰۶۰۱	۰/۰۸۱۸۱۴۳۶	۰/۰۰۸۶۶۴	-۰/۱۰۰۰۳۱	۰/۳۳۰۷۸۴	۱/۷۴۴۴۳۳۱۴۸	۶/۷۹۰۳۶۵۹۶۷
سرامیک	۰/۰۲۹۰۲۷	۰/۱۰۲۲۴۲۱۷۳	-۰/۰۰۲۷۴۹	-۰/۱۲۸۳۲	۰/۳۶۶۶۸۳	۱/۶۰۵۸۷۲۴۱۱	۵/۶۵۱۰۵۱۷۴۵
چاپ	۰/۰۴۰۱۵۵	۰/۱۵۹۹۴۵۵۶۴	۰	-۰/۳۹۴۰۳۳	۰/۶۰۴۰۰۱	۰/۹۰۶۷۴۰۸۱۲	۵/۰۸۳۰۱۶۳۴۳
چندرشته	۰/۰۳۳۰۴	۰/۰۸۲۲۹۲۲۰۵	۰/۰۱۳۸۷۷	-۰/۰۹۰۱۰۷	۰/۳۰۳۷۳۲	۱/۰۵۱۳۷۸۲۹۱	۴/۰۲۲۲۳۱۴۴۹
شیمیایی	۰/۰۳۵۲۲	۰/۰۷۷۰۸۵۵۴	۰/۰۲۱۳۱۱	-۰/۰۷۹۲۱۹	۰/۳۰۸۴۲۱	۰/۹۲۶۱۶۵۴۸۷	۳/۷۹۷۸۲۱۴۲۳
مهندسی	۰/۰۳۳۷۰۹	۰/۱۳۴۸۳۷۸۴	۰/۰۰۰۷۰۸	-۰/۱۹۷۹۳۶	۰/۴۸۲۷۱۴	۰/۹۱۹۶۹۷۹۸۱	۴/۰۶۱۱۷۶۴۶۲
غذایی بجز	۰/۰۳۵۷۵	۰/۱۱۹۴۵۶۰۲۹	۰/۰۱۷۰۵۵	-۰/۱۴۴۸۷۱	۰/۷۱۵۷۳	۲/۶۱۳۱۷۸۳۲۶	۱۵/۱۶۱۰۰۴۷۷

¹ Tehran Stock Exchange (TSE)

شکر							
بیمه	۰/۰۱۹۲۷۵	۰/۱۰۲۸۴۶۱۵۴	-۰/۰۰۳۵۶۶	-۰/۲۰۱۹۵	۰/۳۸۰۷۹۱	۱/۳۹۵۰۳۰۰۲۳	۵/۶۵۳۲۷۵۹۳۶
سرمایه گذاری	۰/۰۲۸۹۷۴	۰/۰۸۳۰۴۷۴۲۷	۰/۰۱۹۱	-۰/۰۸۹۴۷۷	-۰/۳۴۰۰۹۷	۱/۴۱۵۹۲۴۵۸۳	۵/۵۴۳۸۲۷۰۶۹
کاغذ	۰/۰۲۶۱۴۳	۰/۱۳۳۷۶۱۹۶۶	۰/۰۰۴۴۲۹	-۰/۲۵۴۹۲۱	۰/۵۰۱۱۹۷	۱/۵۴۰۸۸۳۱۸۳	۶/۳۰۳۰۳۷۲۹۴
کانه فلزی	۰/۰۲۶۶۶۱	۰/۱۰۶۵۲۴۴۴۶	۰/۰۰۱۱۶۵	-۰/۱۳۵۲۱۷	۰/۳۵۸۲۸۱	۱/۲۶۶۴۱۴۰۵۳	۴/۳۶۳۷۸۵۰۰۱
کانه غیر فلزی	۰/۰۳۶۵۸۷	۰/۱۰۱۴۶۴۳۴۱	۰/۰۱۱۱۰۴	-۰/۲۰۶۸۱۱	۰/۳۸۴۶۵۹	۱/۳۶۰۶۹۰۶۱۳	۵/۴۶۸۶۴۱۵۵۹
لاستیک	۰/۰۳۲۲۹۱	۰/۱۰۰۶۰۰۲۰۳	۰/۰۱۲۲۱۷	-۰/۱۴۴۹۹۴	۰/۵۸۰۷۷	۲/۲۰۳۲۷۷۶۰۸	۱۲/۹۹۰۸۷۸۲۶
ماشین آلات	۰/۰۲۶۶۱۶	۰/۰۹۶۹۴۱۴۸۸	۰/۰۰۵۴۴۵	-۰/۱۶۷۱۷۲	۰/۴۶۶۸۵۲	۱/۷۸۸۱۱۱۰۳۵	۸/۱۱۶۵۸۰۰۵
نفت	۰/۰۳۲۶۴۴	۰/۱۲۰۳۲۵۸۳۷	۰/۰۰۷۲	-۰/۴۵۰۶۸۳	۰/۳۲۸۲۴۴	-۰/۲۴۷۹۶۱۱۹	۵/۵۳۷۱۶۰۱۸۱
سایر مالی	۰/۰۲۵۰۳۴	۰/۱۱۲۹۱۸۴۲۵	۰/۰۱۰۶۷۸	-۰/۱۷۳۷۵۷	۰/۳۲۸۳۳۹	۰/۷۵۱۴۲۵۴	۳/۱۹۴۳۲۳۰۵۹
دارویی	۰/۰۳۵۹۸۴	۰/۰۸۰۷۸۳۵۱۴	۰/۰۱۴۵۷۶	-۰/۰۶۱۱۶	۰/۴۸۸۷۸۸	۲/۹۱۸۲۵۳۳۵۷	۱۴/۹۵۹۹۴۹۸۶
رادیویی	۰/۰۲۴۶۳۶	۰/۰۷۲۵۰۳۳۴۷	۰/۰۱۵۸۹	-۰/۱۰۷۰۱۲	۰/۲۸۳۲۹۹	۰/۸۱۱۷۹۴۲۷۹	۴/۰۶۴۶۹۵۶۷۸
رایانه	۰/۰۴۷۲۶	۰/۱۱۲۱۰۳۰۳۴	۰/۰۳۰۶۱۸	-۰/۱۷۷۵۷۹	۰/۴۱۰۰۶۱	۰/۷۸۸۷۰۳۶۴۲	۴/۲۰۱۶۷۳۲۳۲
شکر	۰/۰۴۱۶۲۵	۰/۱۳۰۸۵۴۸۸	۰/۰۱۵۴۸۹	-۰/۱۶۶۷۴۶	۰/۵۹۳۳۷۱	۱/۵۸۴۲۱۸۴۲۵	۷/۰۰۴۶۹۸۱۴۷
حمل و نقل	۰/۰۶۰۶۲۲	۰/۴۰۳۴۷۸۱۴۴	-۰/۰۰۳۲۴	-۰/۰۷۶۳۳۵	۲/۹۲۶۷۸	۵/۳۲۶۹۶۷۷۶۳	۳۶/۸۷۱۸۰۶۷۵
زغال سنگ	۰/۰۲۶۱۳۸	۰/۱۳۹۳۶۸۸۶۲	۰/۰۲۳۲۶۱	-۰/۳۲۲۴۳	۰/۳۸۶۸۹۳	۰/۳۱۲۶۵۳۱۷	۲/۹۴۲۵۴۰۶۸۱

آزمون انجام شده نشان می‌دهد که نرمال بودن داده‌های بازده اکثر شاخص‌های صنایع فعال در بازار بورس اوراق بهادار تهران (به جز استخراج و زغال سنگ) در سطح اطمینان ۹۵٪ رد می‌شود.

بنابراین تبدیل جانسون (سیستم بی‌کران، کران‌دار و لگ-نرمال) برای تبدیل توزیع بازده شاخص بازار به توزیع نرمال مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس تبدیل جانسونی انتخاب می‌شود که p - مقدار آزمون اندرسون - دارلینگ متناظر با آن در رابطه با آن شاخص صنعت از بقیه بیشتر باشد. روابط تبدیل جانسون برازش شده منتخب روی داده‌های ۲۸ شاخص صنعت انتخابی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

با توجه به مقادیر قابل توجه p - مقدار آزمون اندرسون - دارلینگ، فرض نرمال بودن مقادیر بازده تبدیل شده در هیچ یک از موارد قابل رد نیست.

جدول ۲ - تبدیل‌های جانسون برازش شده روی داده‌های شاخص‌های صنایع انتخابی بورس اوراق بهادار تهران

نام صنعت	معادله سیستم تبدیل جانسون	p - مقدار آزمون نرمال بودن توزیع داده‌های تبدیل شده
استخراج	$n(0/123322^2, 0/02327)$	0/354
انبوه سازی	$Z_t = -1/04452 + 1/84975 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0614593}{0/116272} \right)$	0/981
خودرو	$Z_t = -1/52306 + 1/41311 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/106596}{0/0869442} \right)$	0/910
بانک	$Z_t = 4/44242 + 2/81947 \times \ln(r_t + 0/194290)$	0/959
برقی	$Z_t = -0/796817 + 1/83283 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0395456}{0/145586} \right)$	0/356
فلزات اساسی	$Z_t = -1/04452 + 1/84975 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0614593}{0/116272} \right)$	0/659
سیمان	$Z_t = -1/07854 + 1/23206 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0462417}{0/0489357} \right)$	0/878
سرمایک	$Z_t = -0/989417 + 1/10075 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0488627}{0/0504444} \right)$	0/892
چاپ	$Z_t = -0/477812 + 1/05734 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0262406}{0/0981362} \right)$	0/312
چندرشته	$Z_t = -2/22866 + 1/99283 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0946725}{0/0811112} \right)$	0/981
شیمیایی	$Z_t = 1/86932 + 1/38733 \times \ln \left(\frac{r_t + 0/107215}{0/525131 - r_t} \right)$	0/923
مهندسی	$Z_t = -0/899294 + 1/50005 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0750605}{0/137226} \right)$	0/766
غذایی بجز شکر	$Z_t = -1/20496 + 1/65721 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0706998}{0/108978} \right)$	0/878

بیمه	$z_t = -0/838994 + 1/02828 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/477578}{0/0520101} \right)$	0/905
سرمایه گذ اری	$z_t = -1/90485 + 1/81495 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/841209}{0/0773765} \right)$	0/865
کاغذ	$z_t = -0/698538 + 1/13363 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0593592}{0/0855878} \right)$	0/863
کانه فلزی	$z_t = -1/13786 + 1/12547 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0774459}{0/0627312} \right)$	0/678
کانه غیر فلزی	$z_t = -1/16333 + 0/982704 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0466579}{0/0350369} \right)$	0/721
لاستیک	$z_t = -0/488969 + 1/04047 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0610441}{0/0564006} \right)$	0/774
ماشین آلات	$z_t = -0/749439 + 0/936489 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0331015}{0/0399843} \right)$	0/951
نفت	$z_t = -0/644137 + 1/13784 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0332576}{0/0848397} \right)$	0/539
سایر مالی	$z_t = 3/09898 + 2/74817 \times \ln(r_t + 0/320394)$	0/766
دارویی	$z_t = -0/903878 + 0/958285 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0160936}{0/0279670} \right)$	0/814
رادیویی	$z_t = -1/17609 + 1/90493 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0474651}{0/0964219} \right)$	0/552
رایانه	$z_t = -0/705944 + 1/48222 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0216038}{0/130353} \right)$	0/313
شکر	$z_t = -0/650856 + 1/20389 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_t + 0/0409248}{0/184448} \right)$	

حمل و نقل	$z_i = -0.286576 + 0.734780 \times \operatorname{arcsinh} \left(\frac{r_i + 0.159614}{0.050249} \right)$	۰/۶۷۹
زغال سنگ*	$n(0.13937^2, 0.2614)$	۰/۳۸۸

* داده‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کنند و بنابراین نیازی به اعمال سیستم جانسون بر روی داده‌های بازده وجود ندارد.

در جدول ۲، r_i و z_i نشان‌دهنده مقادیر اصلی و تبدیل شده بازده شاخص صنعت مربوطه در زمان t هستند.

به منظور تولید درخت سناریوی قیمت سهام، در ابتدا فرض می‌شود که با یک درخت ۳ مرحله‌ای با تعداد ۱۰ شاخه خروجی از هر گره مواجه هستیم. در نتیجه، درخت سناریو شامل $1 + 10^1 + 10^2 + 10^3 = 1111$ گره خواهد بود. به دلیل فرض تبعیت بازده شاخص بازار از مدل گام تصادفی، به ازای هر گره، یک عدد نرمال استاندارد تصادفی تولید می‌شود. سپس معکوس یکی از معادلات جانسون نشان داده شده در جدول ۲ برای تولید سناریوهای بازده شاخص صنعت متناظر مورد استفاده قرار می‌گیرد. این کار به ازای آن گره، برای ۲۷ صنعت دیگر تکرار می‌شود تا مقادیر بازده شاخص کلیه صنایع به ازای آن گره به دست آید. این فرآیند به ازای سایر گره‌های درخت تکرار می‌شود تا درخت سناریوی بازده شاخص صنایع تشکیل شود. البته با توجه به نرمال بودن مقادیر شاخص بازده صنایع استخراج و زغال سنگ، در مورد این دو صنعت کافی است که عدد نرمال استاندارد تصادفی تولید شده در مقدار انحراف استاندارد متناظر مندرج در جدول ۲ ضرب و با مقدار میانگین متناظر مندرج در جدول ۲ جمع شود. با این روش تولید سناریو می‌توان تضمین کرد که توزیع سناریوهای تولید شده شاخص صنایع مختلف تا حد ممکن به توزیع داده‌های تاریخی آنها نزدیک باشند. پس از تولید درخت سناریوهای بازده شاخص صنایع، از آن به عنوان ورودی مدل تصادفی ارائه شده استفاده می‌شود. در اینجا سرمایه‌گذاری با سرمایه اولیه ۱۰۰۰۰ واحد پولی با هدف کمینه‌سازی تأسّف مورد انتظار در طول افق زمانی و به طور هم‌زمان دستیابی به حداقلی از بازده در نظر گرفته می‌شود. در جدول ۳، نتایج حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی بر حسب ریسک

در جدول ۴، نتایج حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی بر حسب ارزش ثروت سرمایه‌گذار، به ازای مقادیر مختلف ثروت هدف (مربوط به تعریف تابع ریسک تأسف مورد انتظار)، هزینه‌های معامله و حداقل بازده‌های مورد انتظار نشان داده شده‌است. همان طور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، افزایش ثروت هدف باعث تغییر قابل توجهی در ارزش ثروت سرمایه‌گذار نشده‌است. این در حالی است که افزایش هزینه‌های معامله باعث کاهش ارزش ثروت سرمایه‌گذار شده‌است. همچنین، افزایش حداقل مقدار بازده مورد انتظار، در برخی موارد باعث افزایش ثروت سرمایه‌گذار شده و در سایر موارد، تأثیری بر ثروت سرمایه‌گذار نداشته‌است. البته در مورد برخی از ترکیبات این پارامترها، مدل مورد بحث، نشدنی خواهد بود.

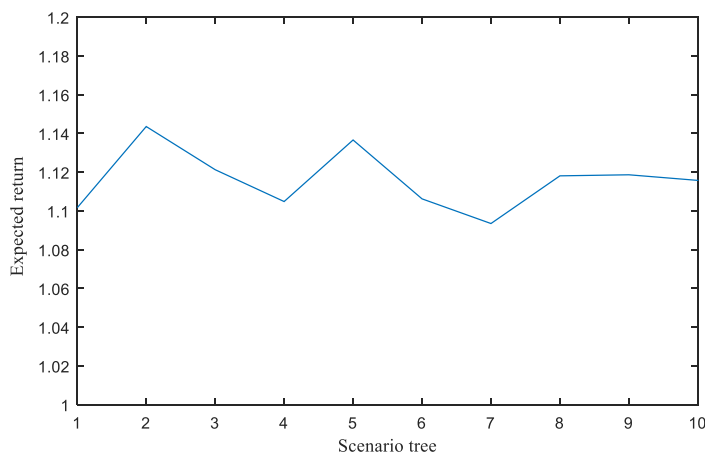
جدول ۴. ریسک (تأسف مورد انتظار) سرمایه‌گذار با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ثروت هدف، هزینه معامله و حداقل بازده مورد انتظار

ثروت هدف سرمایه‌گذار		۱۰۵۰۰			۱۱۰۰۰			۱۱۵۰۰		
		۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰	۰/۰۱	۰/۰۲
حداقل بازده مورد انتظار	۰/۹۵	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۰/۹۹	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۱	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۲	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۳	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۴	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۵	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۶	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۷	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	۱۰۷۱۳/۸	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	۱۰۷۲۱/۹	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	۱۰۷۳۲/۹
	۱/۰۸	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۸۹۷/۹	—	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۸۹۲/۲	—	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	—
	۱/۰۹	۱۱۱۹۷/۱	۱۰۹۰۰	—	۱۱۱۷۰/۷	۱۰۹۰۰	—	۱۱۱۷۷/۵	۱۰۹۰۴	—
	۱/۱	۱۱۱۹۷/۱	۱۱۰۰۰	—	۱۱۱۷۰/۷	۱۱۰۰۰	—	۱۱۱۷۷/۵	۱۱۰۰۰	—
۱/۱۱	۱۱۱۹۷/۱	—	—	۱۱۱۷۰/۷	—	—	۱۱۱۷۷/۵	—	—	
۱/۱۲	۱۱۱۹۷/۱	—	—	۱۱۲۰۰	—	—	۱۱۲۰۰	—	—	

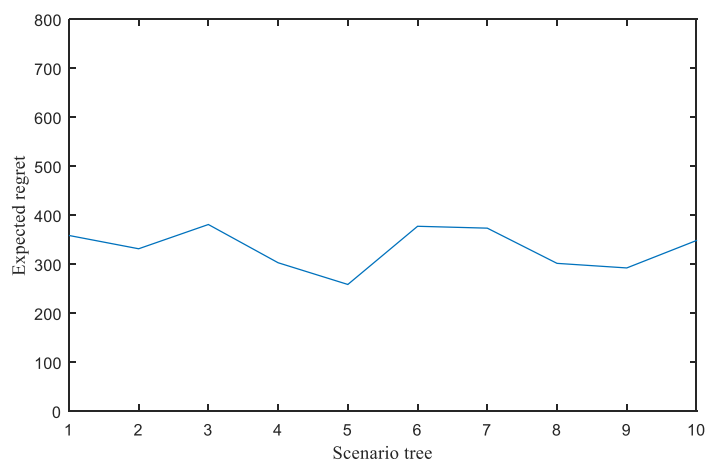
۱/۱۳	۱۱۲۹۹	-	-	۱۱۳۰۰	-	-	۱۱۳۰۰	-	-
۱/۱۴	-	-	-	-	-	-	-	-	-

به منظور ارزیابی عملکرد روش تولید سناریوها، پایایی درون‌نمونه‌ای (کات و والاس؛ ۲۰۰۳) باید ارزیابی شود. پایایی درون‌نمونه‌ای بدین معنا است که زمانی که روشی برای تولید درخت‌های سناریوی مختلف مورد استفاده قرار گیرد، مقادیر تابع هدف ناشی از حل مدل با استفاده از این درخت‌های سناریو نباید تغییرات زیادی داشته باشند. در پژوهش حاضر، روش تولید درخت سناریو ۱۰ بار اجرا شده است تا ۱۰ درخت سناریوی مختلف تولید شوند. سپس مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به ازای هر درخت سناریو به طور جداگانه حل شده است. شکل ۲ مقادیر مختلف بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار را که با حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی به ازای ۱۰ درخت مختلف سناریوی تولیدشده به دست آمده است، نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۳ مقادیر مختلف ریسک (تأسف مورد انتظار) سرمایه‌گذار را که با حل مدل برنامه‌ریزی تصادفی به ازای ۱۰ درخت مختلف سناریوی تولیدشده به دست آمده است، نشان می‌دهد.

در واقع، شکل ۲ و شکل ۳ نشان می‌دهند که مقادیر بهینه تابع هدف نسبتاً نزدیک به یکدیگرند و حول یک مقدار میانگین تغییر می‌کنند. بنابراین می‌توان استدلال کرد که روش تولید درخت سناریوها از پایایی درون‌نمونه‌ای مناسبی از منظر بازده و ریسک برخوردار است.



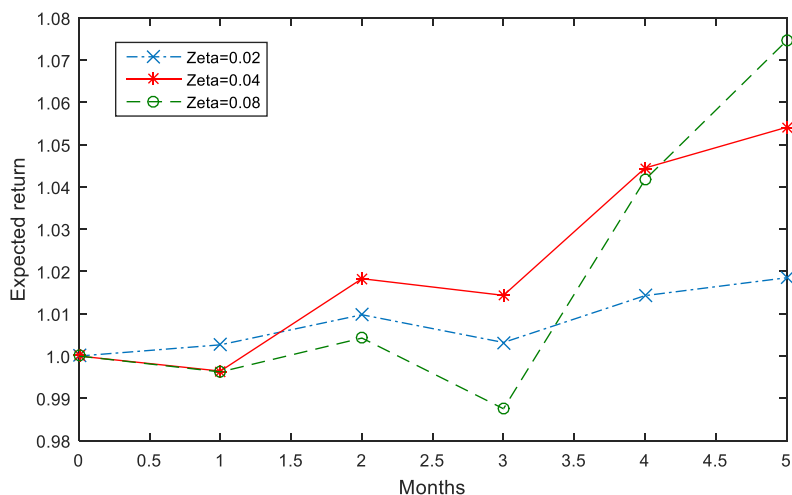
شکل ۲. مقادیر مختلف بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار به ازای حل مسأله با ۱۰ درخت سناریوی مختلف



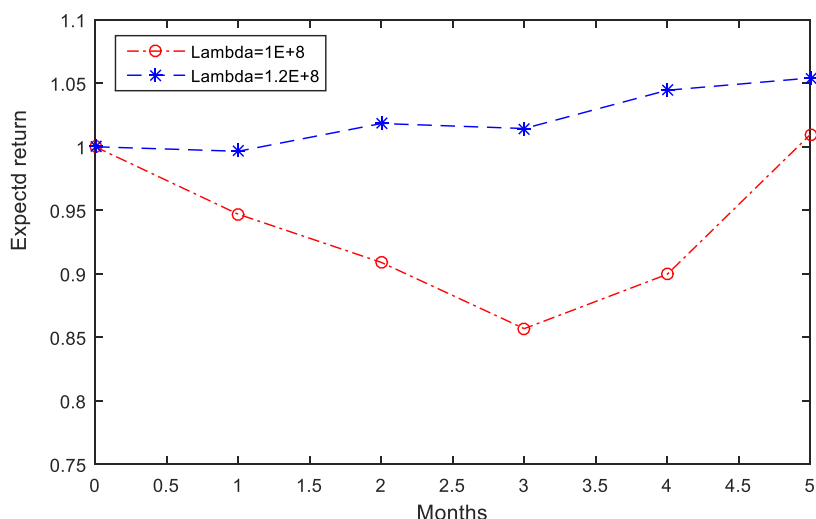
شکل ۳. مقادیر مختلف ریسک (تأسف مورد انتظار) سرمایه‌گذار به ازای حل مسأله با ۱۰ درخت سناریوی مختلف

برای نشان دادن نقش پارامتر حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار، شبیه‌سازی مسأله در طول یک افق زمانی ۵ ماهه از ۱ فروردین ۹۵ تا ۱ مرداد ۹۵ انجام گرفته‌است. بدین منظور، سرمایه‌گذاری با سرمایه اولیه ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ واحد پولی آغاز شده‌است. در ابتدا به منظور تعیین ترکیب اولیه سبد دارایی‌های سرمایه‌گذار، یک درخت سناریوی چندمرحله‌ای تولید و ضمن

حل مدل چندمرحله‌ای، ترکیب اولیه سبد دارایی‌ها تعیین شده‌است. پس از ثابت کردن تصمیم‌های مرحله اول و پیشروی یک دوره‌ای در طول افق زمانی، بازده سبد با توجه به قیمت‌های مشخص شده دارایی‌ها در طول دوره محاسبه گردیده‌است. سپس درخت سناریوی چندمرحله‌ای دیگری تولید شده و با استفاده از این سناریوها و ترکیب دارایی‌ها در سبد حاصل از مرحله قبل به عنوان نقطه شروع، به حل مجدد مدل چندمرحله‌ای پرداخته شده‌است. این فرآیند در کل طول دوره ۵ ماهه انجام شده و روند تغییرات ارزش سبد سرمایه‌گذار مورد بررسی قرار گرفته‌است. شکل ۴ به مقایسه عملکرد مدل‌های چندمرحله‌ای به ازای مقادیر مختلف حداقل بازده مورد انتظار (۰/۰۲، ۰/۰۴ و ۰/۰۸) در طول دوره ۵ ماهه با توجه به نتایج شبیه‌سازی پویا می‌پردازد. همان طور که شکل ۴ نشان می‌دهد، هر چه حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار افزایش یافته، سرمایه‌گذاری او نیز در طول دوره ۵ ماهه دارای عملکرد بهتری از منظر بازده مورد انتظار بوده‌است. همچنین، شکل ۵ به مقایسه عملکرد مدل‌های چندمرحله‌ای به ازای مقادیر مختلف ثروت هدف (1×10^8 واحد پولی و $1/2 \times 10^8$ واحد پولی) با توجه به نتایج شبیه‌سازی پویا می‌پردازد. همان طور که شکل ۵ نشان می‌دهد، با افزایش ثروت هدف (مربوط به تعریف تابع ریسک تأسف مورد انتظار) سرمایه‌گذار، سرمایه‌گذاری او نیز در طول دوره ۵ ماهه دارای عملکرد بهتری از منظر بازده مورد انتظار بوده‌است.



شکل ۴. شبیه‌سازی پویای ثروت سرمایه‌گذار در طول افق زمانی ۵ ماهه با در نظر گرفتن مقادیر مختلف حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار



شکل ۵. شبیه‌سازی پویای ثروت سرمایه‌گذار در طول افق زمانی ۵ ماهه با در نظر گرفتن مقادیر مختلف ثروت هدف سرمایه‌گذار

به علاوه، نتایج شبیه‌سازی پویای ارائه شده در شکل ۴ و شکل ۵، بر حسب اندازه‌های مناسبی از بازده محقق شده آن‌ها در طول دوره شبیه‌سازی، ارزیابی شده‌اند. این اندازه‌ها عبارتند از: انحراف استاندارد^۱، نسبت شارپ^۲ و نسبت نزول ارزش و صعود بالقوه آن^۳ (UP_{ratio}) که توسط سورتینو^۴ و همکاران (۱۹۹۹) ارائه شد.

نسبت شارپ را می‌توان با استفاده از رابطه (۱۹) محاسبه کرد.

$$SR = \frac{\bar{r} - \rho}{\sigma} \quad (19)$$

که در آن \bar{r} نشان‌دهنده متوسط بازده سبد، ρ نشان‌دهنده نرخ بهره بدون ریسک و σ نشان‌دهنده انحراف استاندارد ارزش سبد در افق شبیه‌سازی است.

همچنین، با استفاده از رابطه (۲۰) می‌توان به محاسبه UP_{ratio} پرداخت.

¹ standard deviation

² Sharpe ratio

³ upside potential and downside risk ratio

⁴ Sortino

$$UP_{ratio} = \frac{\frac{1}{k} \sum_{t=1}^k \max[0, r_t - \rho_t]}{\sqrt{\frac{1}{k} \sum_{t=1}^k (\max[0, \rho_t - r_t])^2}} \quad (20)$$

که در آن r_t نشان‌دهنده بازده سبد در دوره $t = 1, \dots, k$ و k نشان‌دهنده تعداد کل دوره‌های زمانی افق شبیه‌سازی است. به علاوه، ρ_t معادل بازده دارایی بدون ریسک در دوره $t = 1, \dots, k$ است که از آن به عنوان معیار مقایسه استفاده می‌شود.

جدول ۵ اندازه‌های محاسبه‌شده بازده محقق‌شده سبد دارایی‌ها را به ازای مقادیر مختلف حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار، در طول افق شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

جدول ۵. مقایسه عملکرد سه مقدار مختلف حداقل بازه مورد انتظار سرمایه‌گذار از منظر بازده تحقق-

یافته سبد دارایی‌ها در طول افق شبیه‌سازی

	انحراف استاندارد	نسبت شارپ	UP_{ratio}
$\zeta = 0.02$	۰/۰۰۶۶۸۱	-۰/۹۲۹۶۲	۰/۴۴۷۲۱۴
$\zeta = 0.04$	۰/۰۱۵۰۶	۰/۰۴۴۰۶۶	۰/۶۱۴۳۲۱
$\zeta = 0.08$	۰/۰۲۸۶۶۲	۰/۱۷۰۶۴۶	۰/۵۹۶۶۱۶

همان‌طور که جدول ۵ نشان می‌دهد، سبد سرمایه‌گذار با حداقل بازده مورد انتظار ۸ درصد، از منظر نسبت شارپ دارای عملکرد بهتری است. از منظر معیار UP_{ratio} ، سبد سرمایه‌گذار با حداقل بازده مورد انتظار ۴ درصد نسبت به سبد سرمایه‌گذار با حداقل بازده مورد انتظار ۸ درصد دارای عملکرد بهتری است. البته اختلاف عملکرد سبد سرمایه‌گذار با مقادیر حداقل بازده مورد انتظار ۴ درصد و ۸ درصد از منظر معیار UP_{ratio} ناچیز است که قابل چشم‌پوشی به نظر می‌رسد. در صورتی که معیار سنجش عملکرد، انحراف استاندارد مقادیر بازده تحقق-یافته باشد، سبد سرمایه‌گذار با حداقل بازده ۲ درصد دارای عملکرد بهتری است. این مطلب با نوسان‌های بازده مشاهده‌شده در شکل ۱۰ همخوانی کامل دارد.

جدول ۶ اندازه‌های محاسبه‌شده بازده محقق‌شده سبد دارایی‌ها را به ازای مقادیر مختلف ثروت هدف سرمایه‌گذار، در طول افق شبیه‌سازی نشان می‌دهد.

جدول ۶. مقایسه عملکرد دو مقدار مختلف ثروت هدف از منظر بازده تحقق‌یافته سبد دارایی‌ها در

طول افق شبیه‌سازی

	انحراف استاندارد	نسبت شارپ	UP_{ratio}
$\lambda = \sqrt{E} + 8$	۰/۰۷۹۳۳۷	-۰/۰۷۰۲۷	۰/۵۷۰۹۲۴
$\lambda = \sqrt{1/2E} + 8$	۰/۰۱۴۹۷۵	۰/۰۴۴۲۵	۰/۶۱۳۱۴۶

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد، به ازای مقدار ثروت هدف معادل $10^8 \times 1/2$ واحد پولی، سبد دارایی‌ها در طول افق زمانی به ازای هر سه معیار دارای عملکرد بهتری است. در واقع، می‌توان این طور استنباط کرد که نتایج جدول ۶ به شکل قابل قبولی نتایج حاصل از شکل ۵ را تأیید می‌کنند.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر، به بحث در مورد کاربرد برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای عدد صحیح مختلط در مسأله انتخاب سبد دارایی‌ها می‌پردازد. مدل ارائه‌شده به دنبال کمینه‌سازی تأسف مورد انتظار ثروت سرمایه‌گذار (به عنوان معیار اندازه‌گیری ریسک) در طول افق زمانی با تضمین همزمان دستیابی به حداقلی از بازده مورد انتظار است. دارایی‌های مالی مورد استفاده در سبد مورد اشاره، شامل سهام، شاخص سهام و دارایی بدون ریسک در چارچوب متنوع‌سازی داخلی هستند. مدل برنامه‌ریزی تصادفی ارائه‌شده، هزینه‌های معامله و محدودیت تعداد دارایی را در نظر می‌گیرد.

پس از مدل‌سازی مسأله در چارچوب برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای، رویکردی برای تولید سناریوی پارامترهای تصادفی (بازده دارایی‌ها) ارائه می‌شوند. این رویکرد، سناریوی پارامترهای تصادفی مسأله (بازده دارایی‌ها) را در قالب درخت سناریو تولید می‌کند.

در رویکرد تولید سناریو که در این مقاله تحت عنوان رویکرد مبتنی بر نمونه‌گیری از آن یاد شده است، از تبدیل جانسون و یک فرآیند نمونه‌گیری برای تولید درخت سناریوی بازده دارایی‌ها استفاده می‌شود. سپس با انجام یک مطالعه موردی بر مبنای داده‌های شاخص صنایع

فعال در بازار بورس اوراق بهادار تهران، رویکرد مبتنی بر نمونه‌گیری و مدل برنامه‌ریزی تصادفی ارائه‌شده پیاده‌سازی می‌شوند.

استفاده از تبدیل جانسون در رویکرد تولید سناریو دارای این مزیت مهم است که بدون نیاز به برآورد توزیع آماری داده‌های تاریخی، می‌توانیم درخت سناریوها را به نحوی تولید کنیم که توزیع آماری آن‌ها تا حد ممکن به توزیع آماری داده‌های تاریخی نزدیک باشد.

با پیاده‌سازی روش‌های تولید سناریو و مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای پیشنهادی این پژوهش، نتایج زیر به دست آمده‌اند:

- افزایش هزینه‌های معامله و حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار، ریسک سرمایه‌گذاری را بر حسب تأسّف مورد انتظار افزایش می‌دهند.
- نتایج حاصل از اجرای مدل برنامه‌ریزی تصادفی با چندین درخت سناریو، پایایی درون‌نمونه‌ای رویکرد ارائه‌شده بر حسب ریسک و بازده را نشان می‌دهند.
- شبیه‌سازی پویای ثروت سرمایه‌گذار در طول افق زمانی نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن مقادیر بزرگتر حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار، نتایج بهتری از منظر بازده تحقق‌یافته حاصل می‌شود. این نتیجه به طور قابل قبولی توسط معیارهای نسبت شارپ و UP_{ratio} تأیید می‌شود. روشن است که اگر مقدار حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار از حد مشخصی بیشتر شود، مدل بهینه‌سازی به دست آمده، غیرموجه خواهد بود.
- شبیه‌سازی پویای ثروت سرمایه‌گذار در طول افق زمانی نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن مقدار بزرگتری از ثروت هدف سرمایه‌گذار (در تعریف اندازه ریسک تأسّف مورد انتظار)، نتایج بهتری از منظر بازده تحقق‌یافته حاصل می‌شود. این نتیجه توسط معیارهای انحراف استاندارد، نسبت شارپ و UP_{ratio} نیز تأیید می‌شود.

منابع

Borges, M.R. (2010" ,Efficient market hypothesis in European stock markets ,"*European Journal of Finance* ,No. 16, PP. 711–726.

Chang, T.J., Meade, N ,Beasley, J., Sharaiha, Y. (2000" ,Heuristics for cardinality constrained portfolio optimization ,"*Computers & Operations Research* ,No ,۲۷ .PP. 1271–1302.

Dantzig, G.B., Infanger, G" ,(۱۹۹۳).Multi-stage stochastic linear programs for portfolio optimization ,"*Annals of Operations Research* , No. 45, PP. 59-76.

Davari-Ardakani, H ,Aminnayeri, M., Seifi, A. (2014" ,(A study on modeling the dynamics of statistically dependent returns ,"*Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* ,No. 405, PP. 35-51

Davari-Ardakani, H ,Aminnayeri, M., Seifi, A. (2015" ,(Hedging strategies for multi-period portfolio optimization ,"*Scientia Iranica* ,No. 22, PP.۲۶۶۳–۲۶۴۴ .

Davari-Ardakani, H ,Aminnayeri, M., Seifi, A. (2016" ,(Multistage portfolio optimization with stocks and options ,"*International Transactions in Operational Research* ,No. 23, PP. 593-622.

Ferstl, R., Weissensteiner ,A. (2010" ,(Cash management using multi-stage stochastic programming ,"*Quantitative Finance* ,No. 10, PP. 209–219.

Jacobsen, B. (1996" ,(Long term dependence in stock returns ,"*Journal of Empirical Finance* ,No. 3, PP. 393–417.

Ji, X., Zhu, Sh., Wang, Sh ,Zhang, Sh. (2005" ,(A stochastic linear

goal programming approach to multistage portfolio management based on scenario generation via linear programming,"*IIE Transactions* ,No. 37, PP. 957-969.

Liu, Y.J., Zhang, W.G" ,(۲۰۱۵).A multi-period fuzzy portfolio optimization model with minimum transaction lots,"*European Journal of Operational Research* ,No ,۲۴۲ .PP. 933-941 .

Lux, T. (1996" ,(Long term stochastic dependence in financial prices: evidence from German stock market ,"*Applied Economic Letters* ,No. 3, PP.۷۰۶-۷۰۱ .

Mansini, R., Ogryczak, W ,Speranza, M.G. (2014" ,(Twenty years of linear programming based portfolio optimization ,"*European Journal of Operational Research* ,No. 234 ,PP. 518-535.

Markowitz, H. (1952" ,(Portfolio selection ,"*Journal of Finance* ,No,۷ . PP. 77-91

Markowitz, H. (1959" ,(Portfolio Selection: Efficient Diversification of Investments ,"John Wiley & Sons, New York.

Mulvey, J.M., Pauling, W.R , Madey, R.E. (2003" ,(Advantages of multiperiod portfolio models ,"*Journal of Portfolio Management* ,No. 29, PP. 35-45.

Pınar, M.Ç. (2007" ,(Robust scenario optimization based on downside-risk measure for multi-period portfolio selection ,"*OR Spectrum* ,No. 29, PP. 295-309.

Rockafellar, R.T., Ursayev ,S. (2000" ,(Optimization of Conditional Value-at-Risk ,"*Journal of Risk* ,No. 2, PP. 21-41.

Şakar, C.T., Köksalan, M" (۲۰۱۳). A stochastic programming approach to multicriteria portfolio optimization, "*Journal of Global Optimization* ,No. 57, PP. 299-314.

Sensoy, A., Tabak, B.M" (۲۰۱۵). Time-varying long term memory in the European Union stock markets, "*Physica A: Statistical Mechanics and its Applications* ,No. 436, PP. ۱۵۸-۱۴۷ .

Sharpe, W.F. (1971" (Mean-absolute deviation characteristic lines for securities and portfolios, "*Management Science* ,No. 18, PP. B1-B13.

Soleimani, H., Golmakani ,H.R., Salimi, M.H. (2009" (Markowitz-based portfolio selection with minimum transaction lots, cardinality constraints and regarding sector capitalization using genetic algorithm, "*Expert Systems with Applications* ,No. 36, PP. 5058-5063.

Testuri, C.E., Uryasev, S" (۲۰۰۴). On relation between expected regret and conditional Value-at-Risk, "in: Z. Rachev (Ed.), *Handbook of Computational and Numerical Methods in Finance*, Birkhauser, PP. 361-373.

Topaloglou, N. (2004), "A stochastic programming framework for international portfolio management", PhD dissertation, University of Cyprus.

Topaloglou, N., Vladimirov ,H., Zenios ,S.A. (2011" (Optimizing international portfolios with options and forwards, "*Journal of Banking & Finance* ,No. 35, PP. 3188-3201.

Worthington, A.C., Higgs, H" (۲۰۰۴). Random walks and market efficiency in European equity markets, "*Global Journal of Finance and Economics* ,No. 1, PP. ۷۸-۵۹ .