Archive of SID

فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هفدهم، شماره ۵۵، زمستان ۹۸
صفحات ۳۱۵-۲۸۷

# 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 درنظرگرفتن هزینه‌های معامله و محدودیت تعداد دارایی پرداخته می‌شود. مدل ارائه‌شده، 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 تولیدشده حل می‌شود. نتایج حل مدل ارائه‌شده 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 مسؤول)
(davari@khu.ac.ir
** استادیار دانشکده مهندسی سیستم‌ها، دانشگاه جامع امام حسین، تهران، ایران

www.SID.ir

Archive of SID



## 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 بوده‌است. 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 داشته‌باشند.

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

www.SID.ir

Archive of SID



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 درنظرگرفتن 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، سنجه‌های متفاوتی برای اندازه‌گیری و ارزیابی ریسک توسعه داده‌شدند. یکی از این سنجه‌های ریسک، نیم واریانس (مارکوویتز؛ ۱۹۵۹) است که در محاسبه واریانس، تنها انحرافات نامطلوب را به عنوان عامل ریسک در نظر می‌گیرد. یکی دیگر از سنجه‌های ریسک، متوسط قدر مطلق انحرافات از میانگین بازده (شارپ، ۱۹۷۱) است. یکی از ویژگی‌های مهم این سنجه ریسک این است که برخلاف واریانس و نیم‌واریانس، مدل دربردارنده این سنجه ریسک را می‌توان به راحتی به یک مدل برناریزی 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 غیرمحدب‌بودن 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

www.SID.ir

Archive of SID



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 شده‌است. یکی دیگر از اندازه‌های مهم ریسک، تأسف مورد انتظار است که نوسان‌های نامطلوب ثروت سرمایه‌گذار نسبت به یک مقدار هدف از پیش‌تعیین‌شده را کنترل می‌کند (داوری اردکانی و همکاران، ۲۰۱۶). تستوری و یوریاسف (۲۰۰۴) تأسف 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 تأسف مورد انتظار نیز بهینه است و بالعکس. ضمن آن که فهم تأسف مورد انتظار و مصالحه آن با بازده مورد انتظار برای سرمایه‌گذاران امری آسان‌تر است.به علاوه، با استفاده از تأسف 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 تأسف 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 درنظرگرفتن هزینه‌های معامله، محدودیت تعداد دارایی، حداقل اندازه انباشته دارایی مورد معامله و حد بالا و پایین سرمایه‌گذاری در هر

www.SID.ir

Archive of SID



دارایی و تأسف 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 یافته‌است. 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، تأسف 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*

www.SID.ir

Archive of SID



| | |
|---|---|
| $N$ | مجموعه گره‌های درخت سناریو |
| $n \in N$ | یک گره خاص در درخت سناریو |
| $N_T \in N$ | مجموعه گره‌های برگ درخت سناریو در دوره نهایی $T$ |
| $N_t \in N$ | مجموعه گره‌های درخت سناریو در دوره $t =$ ۰, ۱, ۲,...,$T$ |
| $p(n)$ | گره پیش‌نیاز منحصربه‌فرد گره $n \in N \setminus \{0\}$ |
| $p_n$ | احتمال حالت متناظر با گره $n \in N$ |
| $\varsigma(n)$ | دوره زمانی متناظر با گره $n \in N$ |

*مجموعه‌ها*

| | |
|---|---|
| $I$ | مجموعه سهام |
| $i \in I$ | اندیس هر سهم |

*داده‌های ورودی قطعی*

| | |
|---|---|
| $W_0$ | ثروت اولیه سرمایه‌گذار |
| $\tau$ | هزینه معامله خرید یا فروش سهم $i \in I$ |
| $k$ | حداکثر تعداد سهام سبد |
| $u_i$ | حداکثر نسبت سرمایه‌گذاری در سهم $i$ |
| $l_i$ | حداقل نسبت سرمایه‌گذاری در سهم $i$ |
| $r$ | نرخ بهره بدون ریسک |
| $\zeta$ | بازده هدف مورد انتظار سبد |
| $M$ | یک عدد بسیار بزرگ |

www.SID.ir

Archive of SID



*پارامترهای وابسته به سناریو*

$\theta^n$ ثروت هدف سرمایه‌گذار در گره $n \in N \setminus \{0\}$

$\mu^n$ سطح ریسک‌گریزی سرمایه‌گذار در گره $n \in N \setminus \{0\}$

$ub_n$ حداکثر سرمایه‌گذاری مجاز در دارایی بدون ریسک در گره $n \in N$

$\psi_i^n$ قیمت بازار دارایی $i \in I$ در گره $n \in N$ ضربدر اندازه انباشته معامله سهام

*متغیرهای تصمیم*

$x_i^n$ مقدار سهم $i \in I$ خریداری‌شده در گره $n \in N$ بر حسب تعداد انباشته مورد معامله

$y_i^n$ مقدار سهم $i \in I$ فروخته‌شده 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 $n \in N$

$\omega_i^n$ متغیر صفر و یک نشان دهنده 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 ارائه‌شده به صورت زیر است:

$$\text{minimize}\left(\sum_{t}\sum_{n\in N_t\setminus\{0\}}\mu^n \frac{p_n \max(\theta^n - V^n, 0)}{(1+r)^t}\right) \quad (۱)$$

$$\sum_{i\in I} x_i^0 \psi_i^0 (1+\tau) + m^0 = W_0 \quad (۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID



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

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

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

$$V^n = \sum_{i \in I} h^n \psi_i^n + m^n \qquad n \in N \tag{۶}$$

$$\frac{h_i^n}{M} \leq \omega_i^n \leq h_i^n \qquad i \in I, n \in N \tag{۷}$$

$$\sum_{i \in I} \omega_i^n \leq k \qquad n \in N \tag{۸}$$

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

$$x_i^n \geq 0, y_i^n \geq 0, h_i^n \geq 0, m^n \geq 0 \qquad i \in I, n \in N \tag{۱۰}$$

$$\omega_i^n = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases} \qquad i \in I, n \in N \tag{۱۱}$$

هدف مدل ارائه‌شده، کمینه‌سازی تأسف مورد انتظار ثروت سرمایه‌گذار در طول افق زمانی با درنظرگرفتن ارزش زمانی پول مطابق معادله (۱) است. سرمایه‌گذاری ثروت اولیه سرمایه‌گذار در سهام و دارایی بدون ریسک با درنظرگرفتن هزینه‌های معامله از طریق محدودیت (۲) انجام می‌شود. به عبارت دیگر، مجموع سرمایه‌گذاری در هر سهم با احتساب هزینه‌های معامله و سرمایه‌گذاری در دارایی بدون ریسک باید دقیقاً معادل سرمایه اولیه در دسترس باشد. محدودیت (۳) بالانس موجودی سهام را در طول افق زمانی نشان می‌دهد. به عبارت دقیق‌تر، موجودی هر سهم در هر گره، معادل موجودی آن سهم در گره پیش‌نیاز به اضافه خالص خرید آن سهم است. طبق محدودیت (۴)، اصل و بهره ناشی از سرمایه‌گذاری در دارایی بدون ریسک در دوره قبل و نقدینگی ناشی از فروش سهام، به منظور سرمایه‌گذاری در دارایی بدون

www.SID.ir

Archive of SID



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 پیش‌تعیین‌شده 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 ارائه‌شده 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 کوکسالان، ۲۰۱۳). بحث کارایی بازارها و به طور خاص بازار سهام آلمان در مطالعات مختلفی مورد بررسی قرار گرفته‌است. 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 ارائه‌شده در این پژوهش، بر مبنای شرایط بازار کارا طراحی شده‌است. به عبارت دقیق‌تر، برای برآورد بازده بازار در آینده از یک مدل گام تصادفی استفاده می‌شود. سپس از یک مدل تک‌عاملی و بازده برآوردشده 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 نادیده‌گرفتن این مطلب، توزیع بازده دارایی‌ها را نرمال در نظر می‌گیرند. به عنوان نمونه، شاکار و کوکسالان (۲۰۱۳) از یک مدل گام تصادفی بر مبنای توزیع نرمال برای تولید سناریوهای بازده شاخص بازار بورس استانبول استفاده می‌کنند. در این پژوهش، بر

www.SID.ir

Archive of SID



اساس مطالعه فوق، رویکرد جدیدی برای تولید سناریوی بازده دارایی‌ها بر مبنای توزیع تجربی آن‌ها ایجاد می‌شود. به عبارت دقیق‌تر، فرض محدودکننده نرمال‌بودن 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[1]، سیستم لگ‌نرمال[2] و سیستم بی‌کران[3] موسومند. رابطه مناسب و پارامترهای آن باید با توجه به داده‌های مسأله برازش و انتخاب شوند. سیستم-های تبدیل جانسون بی‌کران، کران‌دار و لگ‌نرمال به ترتیب در معادلات (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده‌اند.

$$z = \gamma + \eta \operatorname{arcsinh}\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda}\right) \quad (۱۲)$$

که در آن $z$ مقدار نرمال‌شده را نشان می‌دهد. همچنین $\gamma$ و $\eta$ نشان‌دهنده پارامترهای شکل[4] و $\varepsilon$ و $\lambda$ نشان‌دهنده پارامترهای موقعیت[5] و مقیاس[6] هستند.

$$z = \gamma + \eta \ln\left(\frac{x-\varepsilon}{\lambda+\varepsilon-x}\right) \quad (۱۳)$$

که در آن $z$ مقدار نرمال‌شده را نشان می‌دهد. همچنین $\gamma$ و $\eta$ نشان‌دهنده پارامترهای شکل[7] و $\varepsilon$ و $\lambda$ نشان‌دهنده پارامترهای موقعیت[8] و مقیاس[9] هستند.

$$z = \gamma + \eta \ln(x-\varepsilon) \quad (۱۴)$$

که در آن $z$ مقدار نرمال‌شده را نشان می‌دهد. همچنین $\gamma$ و $\eta$ نشان‌دهنده پارامترهای شکل[10] و $\varepsilon$ نشان‌دهنده پارامتر موقعیت[1] 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

www.SID.ir

Archive of SID



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 برازش‌شده به ارائه مدل گام تصادفی مناسبی پرداخت که بر مبنای توزیع تجربی داده‌های تاریخی بازده کار می‌کند.

گام‌های روش ارائه‌شده 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.

$$r_{it} = \frac{P_{it}}{P_{i,t-1}} - 1 \qquad (۱۵)$$

۲. از سیستم‌های مختلف تبدیل جانسون یعنی سیستم‌های بی‌کران، 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 برازش‌شده 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 بی‌کران، کران‌دار و لگ‌نرمال به ترتیب از معادلات (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) به عنوان مدل گام تصادفی استفاده می‌شود.

$$r_t = \varepsilon + 0.5\lambda\left(e^{\frac{z_t-\gamma}{\eta}} - e^{-\frac{z_t-\gamma}{\eta}}\right) \qquad (۱۶)$$

$$r_t = \frac{\varepsilon + e^{\frac{z_t-\gamma}{\eta}}(\lambda+\varepsilon)}{1+e^{\frac{z_t-\gamma}{\eta}}} \qquad (۱۷)$$

$$r_t = \varepsilon + e^{\frac{z_t-\gamma}{\eta}} \qquad (۱۸)$$

[1] .location parameter

www.SID.ir

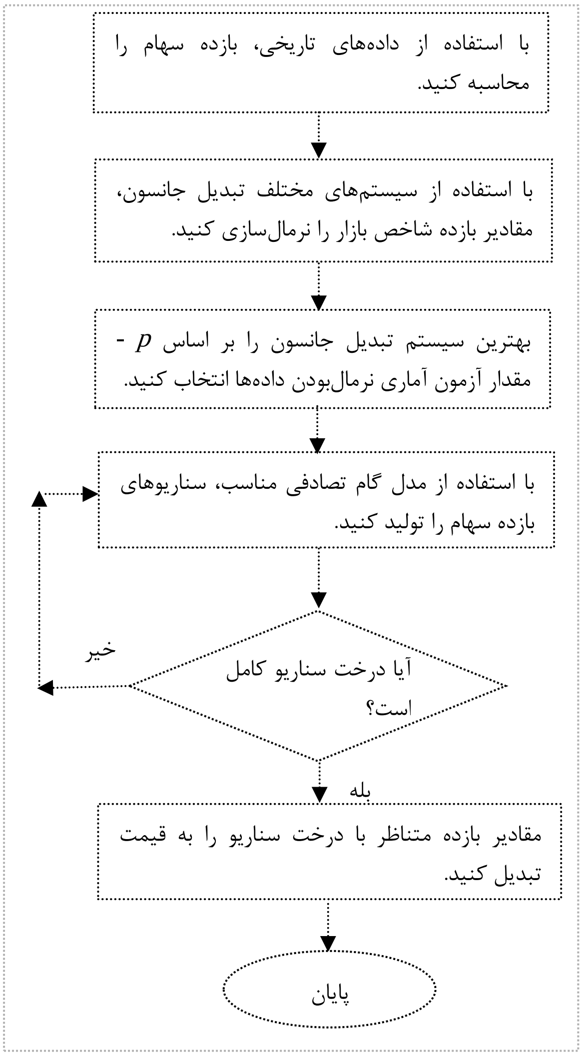
Archive of SID



که در آن $r_t$ بازده برآوردشده 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**

www.SID.ir

Archive of SID



## 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[1] 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 وMinitab 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**

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

[1] Tehran Stock Exchange (TSE(

www.SID.ir

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شکر | | | | | | | |
| بیمه | ۰/۰۱۹۲۷۵ | ۰/۱۰۲۸۴۶۱۵۴ | −۰/۰۰۳۵۶۶ | −۰/۲۰۱۹۵ | ۰/۳۸۰۷۹۱ | ۱/۳۹۵۰۳۰۰۲۳ | ۵/۶۵۳۲۷۵۹۳۶ |
| سرمایه‌گذاری | 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 غیرفلزی | 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 | −۰/۷۶۳۳۵ | ۲/۹۲۶۷۸ | ۵/۳۲۶۹۶۷۷۶۳ | ۳۶/۸۷۱۸۰۶۷۵ |
| زغال سنگ | ۰/۰۲۶۱۳۸ | ۰/۱۳۹۳۶۸۸۶۲ | ۰/۰۲۳۲۶۱ | −۰/۳۲۲۴۳ | ۰/۳۸۶۸۹۳ | ۰/۳۱۲۶۵۳۱۷ | ۲/۹۴۲۵۴۰۶۸۱ |

آزمون انجام‌شده نشان می‌دهد که نرمال‌بودن 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 لگ‌نرمال) برای تبدیل توزیع بازده شاخص بازار به توزیع نرمال مورد استفاده قرار می‌گیرد. سپس تبدیل جانسونی انتخاب می‌شود که $p$ ـ مقدار آزمون اندرسون ـ دارلینگ متناظر با آن در رابطه با آن شاخص صنعت از بقیه بیشتر باشد. روابط تبدیل جانسون برازش‌شده منتخب روی داده‌های ۲۸ شاخص صنعت انتخابی در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

با توجه به مقادیر قابل توجه $p$ - مقدار آزمون اندرسون ـ دارلینگ، فرض نرمال‌بودن مقادیر بازده تبدیل‌شده در هیچ یک از موارد قابل رد نیست.

Archive of SID

www.SID.ir

Archive of SID



جدول ۲ – تبدیل‌های جانسون برازش‌شده روی داده‌های شاخص‌های صنایع انتخابی بورس اوراق بهادار تهران

| نام صنعت | معادله سیستم تبدیل جانسون | $p$ – مقدار آزمون نرمال‌بودن توزیع داده‌های تبدیل‌شده |
|---|---|---|
| استخراج * | $n(۰/۱۲۳۳۲^{۲}, ۰/۰۲۳۲۷)$ | ۰/۳۵۴ |
| انبوه سازی | $z_t = -۱/۰۴۴۵۲ + ۱/۸۴۹۷۵ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۶۱۴۵۹۳}{۰/۱۱۶۲۷۲}\right)$ | ۰/۹۸۱ |
| خودرو | $z_t = -۱/۵۲۳۰۶ + ۱/۴۱۳۱۱ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۱۰۶۵۹۶}{۰/۰۸۶۹۴۴۲}\right)$ | ۰/۹۱۰ |
| بانک | $z_t = ۴/۴۴۲۴۲ + ۲/۸۱۹۴۷ \times \ln\left(r_t + ۰/۱۹۴۲۹۰\right)$ | ۰/۹۵۹ |
| برقی | $z_t = -۰/۷۹۶۸۱۷ + ۱/۸۳۲۸۳ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۳۹۵۴۵۶}{۰/۱۴۵۵۸۶}\right)$ | ۰/۳۵۶ |
| فلزات اساسی | $z_t = -۱/۰۴۴۵۲ + ۱/۸۴۹۷۵ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۶۱۴۵۹۳}{۰/۱۱۶۲۷۲}\right)$ | ۰/۶۵۹ |
| سیمان | $z_t = -۱/۰۷۸۵۴ + ۱/۲۳۲۰۶ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۴۶۲۴۱۷}{۰/۰۴۸۹۳۵۷}\right)$ | ۰/۸۷۸ |
| سرامیک | $z_t = -۰/۹۸۹۴۱۷ + ۱/۱۰۰۷۵ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۴۸۸۶۲۷}{۰/۰۵۰۴۴۴۴}\right)$ | ۰/۸۹۲ |
| چاپ | $z_t = -۰/۴۷۷۸۱۲ + ۱/۰۵۷۳۴ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۲۶۲۴۰۶}{۰/۰۹۸۱۳۶۲}\right)$ | ۰/۳۱۲ |
| چندرشته | $z_t = -۲/۲۲۸۶۶ + ۱/۹۹۲۸۳ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۹۴۶۷۲۵}{۰/۰۸۱۱۱۱۲}\right)$ | ۰/۹۸۱ |
| شیمیایی | $z_t = ۱/۸۶۹۳۲ + ۱/۳۸۷۳۳ \times \ln\left(\frac{r_t + ۰/۱۰۷۲۱۵}{۰/۵۲۵۱۳۱ - r_t}\right)$ | ۰/۹۲۳ |
| مهندسی | $z_t = -۰/۸۹۹۲۹۴ + ۱/۵۰۰۰۵ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۷۵۰۶۰۵}{۰/۱۳۷۲۲۶}\right)$ | ۰/۷۶۶ |
| غذایی بجز شکر | $z_t = -۱/۲۰۴۹۶ + ۱/۶۵۷۲۱ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۷۰۶۹۹۸}{۰/۱۰۸۹۷۸}\right)$ | ۰/۸۷۸ |

www.SID.ir

| | | |
|---|---|---|
| بیمه | $z_t = -۰/۸۳۸۹۹۴ + ۱/۰۲۸۲۸ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۴۷۷۵۷۸}{۰/۰۵۲۰۱۰۱}\right)$ | ۰/۹۰۵ |
| سرمایه‌گذاری | $z_t = -۱/۹۰۴۸۵ + ۱/۸۱۴۹۵ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۸۴۱۲۰۹}{۰/۰۷۷۳۷۶۵}\right)$ | ۰/۸۶۵ |
| کاغذ | $z_t = -۰/۶۹۸۵۳۸ + ۱/۱۳۳۶۳ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۵۹۳۵۹۲}{۰/۰۸۵۵۸۷۸}\right)$ | ۰/۸۶۳ |
| کانه فلزی | $z_t = -۱/۱۳۷۸۶ + ۱/۱۲۵۴۷ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۷۷۴۴۵۹}{۰/۰۶۲۷۳۱۲}\right)$ | ۰/۶۷۸ |
| کانه غیرفلزی | $z_t = -۱/۱۶۳۳۳ + ۰/۹۸۲۷۰۴ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۴۴۶۵۷۹}{۰/۰۳۵۰۳۶۹}\right)$ | ۰/۷۲۱ |
| لاستیک | $z_t = -۰/۴۸۸۹۶۹ + ۱/۰۴۰۴۷ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۰۶۱۰۴۴۱}{۰/۰۵۶۴۰۰۶}\right)$ | ۰/۷۷۴ |
| ماشین آلات | $z_t = -۰/۷۴۹۴۳۹ + ۰/۹۳۶۴۸۹ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۳۳۱۰۱۵}{۰/۰۳۹۹۸۴۳}\right)$ | ۰/۹۵۱ |
| نفت | $z_t = -۰/۶۴۴۱۳۷ + ۱/۱۳۷۸۴ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۳۳۲۵۷۶}{۰/۰۸۴۸۳۹۷}\right)$ | ۰/۵۳۹ |
| سایر مالی | $z_t = ۳/۰۹۸۹۸ + ۲/۷۴۸۱۷ \times \ln\left(r_t + ۰/۳۲۰۳۹۴\right)$ | ۰/۷۶۶ |
| دارویی | $z_t = -۰/۹۰۳۸۷۸ + ۰/۹۵۸۲۸۵ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۱۶۰۹۳۶}{۰/۰۲۷۹۶۷۰}\right)$ | ۰/۸۱۴ |
| رادیویی | $z_t = -۱/۱۷۶۰۹ + ۱/۹۰۴۹۳ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۴۷۴۶۵۱}{۰/۰۹۶۴۲۱۹}\right)$ | ۰/۵۵۲ |
| رایانه | $z_t = -۰/۷۰۵۹۴۴ + ۱/۴۸۲۲۲ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۲۱۶۰۳۸}{۰/۱۳۰۳۵۳}\right)$ | ۰/۳۱۳ |
| شکر | $z_t = -۰/۶۵۰۸۵۶ + ۱/۲۰۳۸۹ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۴۰۹۲۴۸}{۰/۱۸۹۴۵۴۴۸}\right)$ | |

Archive of SID



| | | |
|---|---|---|
| حمل و نقل | $z_t = -۰/۲۸۶۵۷۶ + ۰/۷۳۴۷۸۰ \times \operatorname{arcsinh}\left(\frac{r_t + ۰/۰۱۵۹۶۱۴}{۰/۰۵۰۲۰۴۹}\right)$ | ۰/۶۷۹ |
| زغال سنگ * | $n(۰/۱۳۹۳۷^{۲}, ۰/۰۲۶۱۴)$ | ۰/۳۸۸ |

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

در جدول ۲، $r_t$ و $z_t$ نشان‌دهنده مقادیر اصلی و تبدیل‌شده بازده شاخص صنعت مربوطه در زمان $t$ هستند.

به منظور تولید درخت سناریوی قیمت سهام، در ابتدا فرض می‌شود که با یک درخت ۳مرحله‌ای با تعداد ۱۰ شاخه خروجی از هر گره مواجه هستیم. در نتیجه، درخت سناریو شامل $۱۱۱۱ = ۱۰^{۳} + ۱۰^{۲} + ۱۰^{۱} + ۱$ گره خواهدبود. 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 داده‌شده 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 نرمال‌بودن مقادیر شاخص بازده صنایع استخراج و زغال سنگ، در مورد این دو صنعت کافی است که عدد نرمال استاندارد تصادفی تولیدشده 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 تولیدشده 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 ارائه‌شده استفاده می‌شود. در اینجا سرمایه‌گذاری با سرمایه اولیه ۱۰۰۰۰ واحد پولی با هدف کمینه‌سازی تأسف 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

www.SID.ir

Archive of SID



سرمایه‌گذاری، 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 ۳ مشاهده می‌شود، افزایش هر کدام از موارد فوق (ثروت هدف، هزینه‌های معامله و حداقل مقادیر بازده مورد انتظار) می‌تواند باعث افزایش ریسک تحمیل‌شده به سرمایه‌گذار شود. البته در مورد برخی از ترکیبات این پارامترها، مدل مورد بحث، نشدنی خواهدبود.

**جدول ۳. 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 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هزینه معامله | | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ | ۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ |
| حداقل بازده مورد انتظار | ۰/۹۵ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۶/۲ | ۸۷۴/۲ |
| | ۰/۹۹ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۱ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۲ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۳ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۴ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۵ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۶ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۷ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | ۱۹۱/۴ | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | ۴۸۰/۹ | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | ۸۷۴/۲ |
| | ۱/۰۸ | ۱۳۶/۷ | ۱۵۹/۳ | — | ۳۱۸/۲ | ۳۹۸/۳ | — | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | — |
| | ۱/۰۹ | ۱۳۶/۷ | ۱۶۱/۵ | — | ۳۱۸/۲ | ۴۰۶/۷ | — | ۶۱۹/۱ | ۷۵۲/۶ | — |
| | ۱/۱ | ۱۳۶/۷ | ۳۶۸/۵ | — | ۳۱۸/۲ | ۶۲۲/۸ | — | ۶۱۹/۱ | ۹۳۸/۳ | — |
| | ۱/۱۱ | ۱۳۶/۷ | — | — | ۳۱۸/۲ | — | — | ۶۱۹/۱ | — | — |
| | ۱/۱۲ | ۱۳۶/۷ | — | — | ۳۵۰/۲ | — | — | ۶۴۴/۱ | — | — |
| | ۱/۱۳ | ۳۱۳ | — | — | ۵۴۰/۴ | — | — | ۸۲۹/۵ | — | — |
| | ۱/۱۴ | — | — | — | — | — | — | — | — | — |

www.SID.ir

Archive of SID



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 خواهدبود.

**جدول ٤ . 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 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| هزینه معامله | | 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 | — | — |

www.SID.ir

Archive of SID



| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| — | — | ۱۱۳۰۰ | — | — | ۱۱۳۰۰ | — | — | ۱۱۲۹۹ | ۱/۱۳ | |
| — | — | — | — | — | — | — | — | — | ۱/۱۴ | |

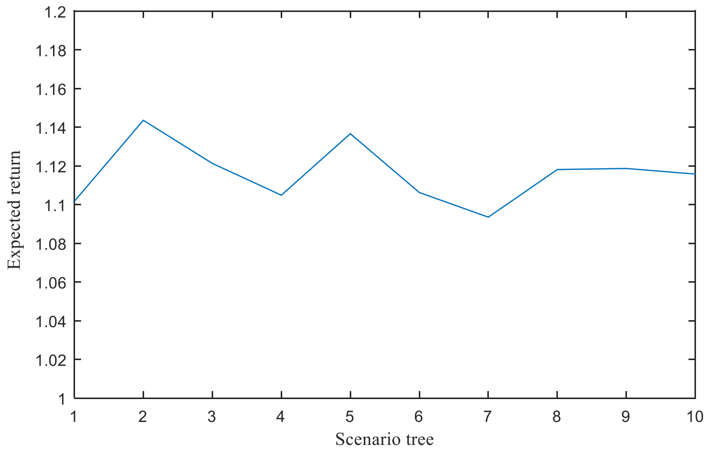
به منظور ارزیابی عملکرد روش تولید سناریوها، پایایی درون‌نمونه‌ای (کات و والاس؛ ۲۰۰۳) باید ارزیابی شود. پایایی درون‌نمونه‌ای بدین معنا است که زمانی که روشی برای تولید درخت‌های سناریوی مختلف مورد استفاده قرار گیرد، مقادیر تابع هدف ناشی از حل مدل با استفاده از این درخت‌های سناریو نباید تغییرات زیادی داشته‌باشند.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

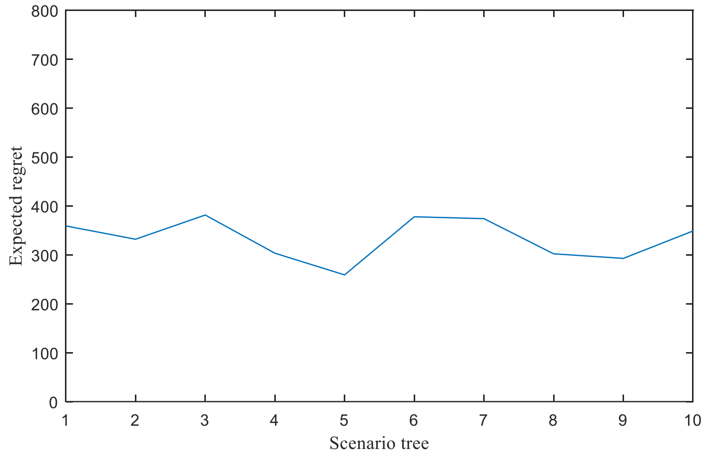
www.SID.ir

Archive of SID






**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**

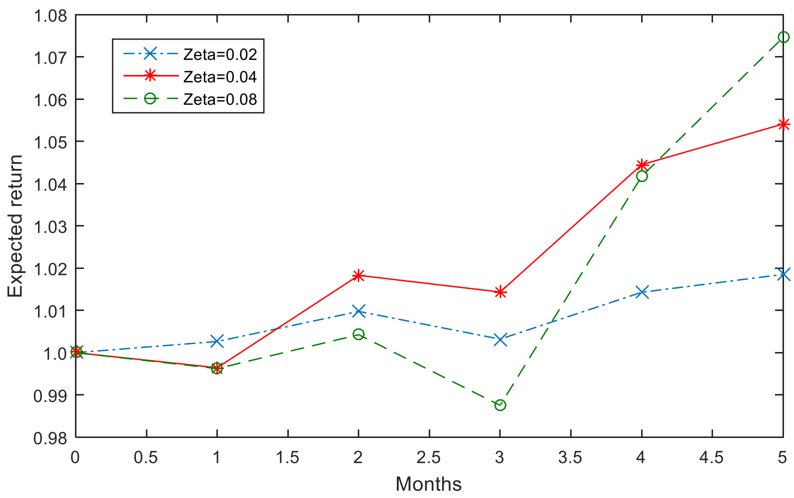
برای نشان دادن نقش پارامتر حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار، شبیه‌سازی مسأله در طول یک افق زمانی ۵ ماهه از ۱ فروردین ۹۵ تا ۱ مرداد ۹۵ انجام گرفته‌است. بدین منظور، سرمایه‌گذاری با سرمایه اولیه ۱۰۰۰۰۰۰۰۰ واحد پولی آغاز شده‌است. در ابتدا به منظور تعیین ترکیب اولیه سبد دارایی‌های سرمایه‌گذار، یک درخت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

www.SID.ir

Archive of SID

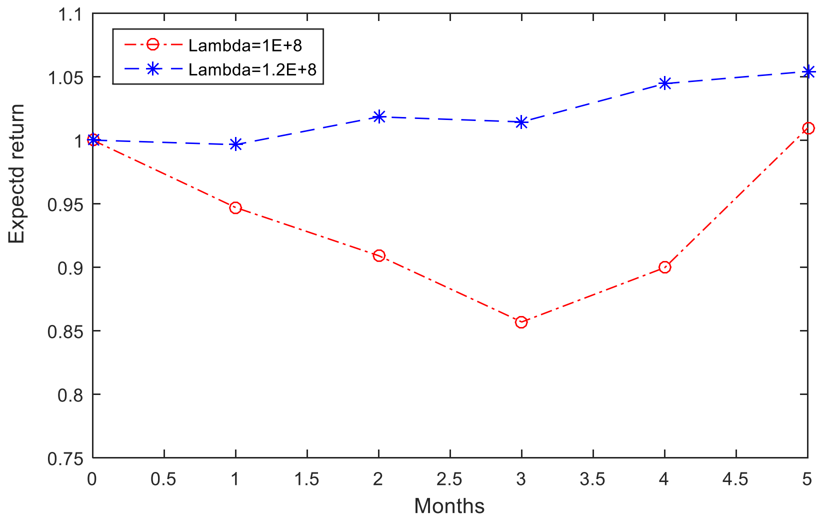


حل مدل چندمرحله‌ای، ترکیب اولیه سبد دارایی‌ها تعیین شده‌است. پس از ثابت‌کردن تصمیم‌های مرحله اول و پیشروی یک دوره‌ای در طول افق زمانی، بازده سبد با توجه به قیمت‌های مشخص‌شده دارایی‌ها در طول دوره محاسبه گردیده‌است. سپس درخت سناریوی چندمرحله‌ای دیگری تولید شده و با استفاده از این سناریوها و ترکیب دارایی‌ها در سبد حاصل از مرحله قبل به عنوان نقطه شروع، به حل مجدد مدل چندمرحله‌ای پرداخته شده‌است. این فرآیند در کل طول دوره ۵ماهه 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 ۵ماهه دارای عملکرد بهتری از منظر بازده مورد انتظار بوده‌است. همچنین، شکل ۵ به مقایسه عملکرد مدل‌های چندمرحله‌ای به ازای مقادیر مختلف ثروت هدف ($۱\times۱۰^۸$ واحد پولی و $۱/۲\times۱۰^۸$ 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 ۵ماهه دارای عملکرد بهتری از منظر بازده مورد انتظار بوده‌است.




www.SID.ir

**شکل ٤ . شبیه‌سازی پویای ثروت سرمایه‌گذار در طول افق زمانی ٥ماهه با در نظر گرفتن مقادیر مختلف حداقل بازده مورد انتظار سرمایه‌گذار**




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

به‌علاوه، نتایج شبیه‌سازی پویای ارائه‌شده در شکل ۴ و شکل ۵، بر حسب اندازه‌های مناسبی از بازده محقق‌شده آن‌ها در طول دوره شبیه‌سازی، ارزیابی شده‌اند. این اندازه‌ها عبارتند از: انحراف استاندارد[1]، نسبت شارپ[2] و نسبت نزول ارزش و صعود بالقوه آن[3] ($UP_{ratio}$) که توسط سورتینو[4] و همکاران (۱۹۹۹) ارائه‌شد.

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

$$SR = \frac{\overline{r} - \rho}{\sigma} \qquad (۱۹)$$

که در آن $\overline{r}$ نشان‌دهنده متوسط بازده سبد، $\rho$ نشان‌دهنده نرخ بهره بدون ریسک و $\sigma$ 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

Archive of SID
www.SID.ir

Archive of SID



$$UP_{ratio} = \frac{\frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k}\max[0, r_t - \rho_t]}{\sqrt{\frac{1}{k}\sum_{t=1}^{k}(\max[0, \rho_t - r_t])^2}} \quad (۲۰)$$

که در آن $r_t$ نشان‌دهنده بازده سبد در دوره $t = ۱,...,k$ و $k$ نشان‌دهنده تعداد کل دوره‌های زمانی افق شبیه‌سازی است. به علاوه، $\rho_t$ معادل بازده دارایی بدون ریسک در دوره $t = ۱,...,k$ 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**

| $UP_{ratio}$ | نسبت شارپ | انحراف استاندارد | |
|---|---|---|---|
| ۰/۴۴۷۲۱۴ | −۰/۹۲۹۶۲ | ۰/۰۰۶۶۸۱ | $\zeta = ۰/۰۲$ |
| ۰/۶۱۴۳۲۱ | ۰/۰۴۴۰۶۶ | ۰/۰۱۵۰۶ | $\zeta = ۰/۰۴$ |
| ۰/۵۹۶۶۱۶ | ۰/۱۷۰۶۴۶ | ۰/۰۲۸۶۶۲ | $\zeta = ۰/۰۸$ |

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.

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ٦ . مقایسه عملکرد دو مقدار مختلف ثروت هدف از منظر بازده تحقق‌یافته سبد دارایی‌ها در طول افق شبیه‌سازی**

| | انحراف استاندارد | نسبت شارپ | $UP_{ratio}$ |
|---|---|---|---|
| $\lambda = ۱E+۸$ | ۰/۰۷۹۳۳۷ | −۰/۰۷۰۲۷ | ۰/۵۷۰۹۲۴ |
| $\lambda = ۱/۲E+۸$ | ۰/۰۱۴۹۷۵ | ۰/۰۴۴۲۵ | ۰/۶۱۳۱۴۶ |

همان‌طور که جدول ۶ نشان می‌دهد، به ازای مقدار ثروت هدف معادل $۱/۲ \times ۱۰^{۸}$ 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 شده‌است، 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

www.SID.ir

Archive of SID



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 تأسف 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 تأسف مورد انتظار)، نتایج بهتری از منظر بازده تحقق‌یافته حاصل می‌شود. این نتیجه توسط معیارهای انحراف استاندارد، نسبت شارپ و $UP_{ratio}$ نیز تأیید می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



## 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

www.SID.ir

Archive of SID



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.

www.SID.ir

Archive of SID



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., Vladimirou ,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 .

www.SID.ir