

## **Sustainable Supplier Selection of Refined Products under Risk and Options Contract using Conditional Value at Risk**

**Ahmadreza Karamil<sup>\*</sup>, Mohammad Fatahi<sup>\*\*</sup>,  
AliAkbar Hasani<sup>\*\*\*</sup>**

### **Abstract**

Considering the importance of selecting suppliers based on the dimensions of sustainability in the supply chain, after identifying and selecting sustainability and risk criteria in accordance with Jey Oil Refining Company, by developing a multi-stage stochastic program and creating a risk constraint by the CVaR risk value criterion for quantitative criteria. Also, in terms of points calculated by FTOPSIS and FMEA methods for quality criteria, the optimal selection of suppliers, sourcing strategy and order allocation in a multi-period supply chain planning under operational risk and disruption were discussed. In order to reduce supply risk and achieve a flexible planning as a mitigation strategy, the option contract and the trading market were considered as two options to supply raw materials. The product demand, the market price of the materials, the purchase price and the apply price of the option contract, the supply quantity and the supply quantity of the option contract are random. To model uncertainty, discrete scenarios are generated through a simulation approach, and then, a scenario reduction method is used to construct a scenario tree. The application of the stochastic model, the performance of risk measurement policies, and the importance of mitigation strategies to provide some managerial insights have been investigated.

**Keywords: Sustainable Supply Chain; Risk Management; FMEA; CVaR; Multi-Stage Stochastic Programming; Option Contract.**

---

<sup>\*</sup> Master's Student, Shahrood University of Technology.

<sup>\*\*</sup> Assistant Professor, Shahrood University of Technology (Corresponding Author).

Email: mohammadfatahy@shahroodut.ac.ir

<sup>\*\*\*</sup> Associate Professor, Shahrood University of Technology.

## انتخاب تأمین‌کننده پایدار محصولات پالایشی تحت ریسک و قرارداد اختیار معامله با استفاده از ارزش در معرض ریسک شرطی

احمدرضا کرمی\*، محمد فتاحی\*\*، علی‌اکبر حسینی\*\*\*

### چکیده

هدف انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش بر اساس ابعاد پایداری و ریسک پایداری، در شرایط عدم قطعیت برخی پارامترها است؛ همچنین با محدودیت ریسک و استراتژی کاهش برای مدیریت ریسک همراه است. با انتخاب معیارهای پایداری و ریسک، امتیاز تأمین‌کنندگان توسط روش‌های تاپسیس فازی و تجزیه و تحلیل آثار شکست محاسبه شده است و سپس توسط برنامه تصادفی چندمرحله‌ای و ایجاد محدودیت ریسک توسط معیار ارزش در معرض ریسک شرطی، پیرامون استراتژی تأمین منابع و تخصیص سفارش در یک فضای چنددوره‌ای برنامه‌ریزی شده است. برای دستیابی به یک برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر از قرارداد اختیار معامله به‌عنوان استراتژی کاهش استفاده شده است. برای مدل‌سازی عدم قطعیت پارامترهای تصادفی، مجموعه سناریوها توسط رویکرد شبیه‌سازی تولید و سپس یک روش کاهش سناریو برای ساخت درخت سناریوی مناسب استفاده شده است. مدل پیشنهادی در یک مطالعه موردی شامل چندین پالایشگاه به‌عنوان تأمین‌کننده و «شرکت پالایش نفت جی» با چندین سایت تولید و ذخیره پیاده‌سازی شده است. در نهایت، عملکرد سیاست‌های اندازه‌گیری ریسک و اهمیت استراتژی کاهش برای ارائه برخی بینش‌های مدیریتی و کاربردی بررسی و جدول تخصیص بهینه ارائه شده است. نتایج نهایی حاکی از کاهش هزینه‌های خرید و کاهش ریسک پایداری است.

**کلیدواژه‌ها:** زنجیره تأمین پایدار؛ مدیریت ریسک؛ تجزیه و تحلیل حالات بالقوه  
**شکست؛ ارزش در معرض ریسک شرطی؛ برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای؛ قرارداد اختیار معامله.**

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۱۸.

\* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

\*\* استادیار، دانشگاه صنعتی شاهرود (نویسنده مسئول).

Email: mohammadfattahy@shahroodut.ac.ir

\*\*\* دانشیار، دانشگاه صنعتی شاهرود.

## ۱. مقدمه

تأمین‌کنندگان به‌عنوان یک شریک حیاتی در زنجیره تأمین بالادستی، سهم زیادی در دستیابی به پایداری صنعت دارند؛ بنابراین انتخاب تأمین‌کنندگان از نظر پایداری، یک تصمیم استراتژیک و مهم است. انتخاب تأمین‌کننده پایدار مستلزم ارزیابی عملکرد تأمین‌کننده بر اساس سه بُعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی است [24]. زنجیره‌های تأمین به دلایل مختلفی از جمله مشکلات اقتصادی، پدیده‌های طبیعی، مسائل سیاسی و غیره در معرض ریسک هستند. این مسائل عملکرد زنجیره تأمین را مختل کرده و هزینه‌های زیادی را به شرکت‌ها تحمیل می‌کند که مستلزم توجه بیشتر به مدیریت ریسک در زنجیره تأمین است [36]. خریداران و فروشندگان همیشه به دنبال راه‌هایی برای کنترل ریسک و ایجاد آرامش در بازار برای کنترل بیشتر نوسانات بازار بوده‌اند. مشتقات مالی شامل اختیار معامله یکی از استراتژی‌های مدیریت ریسک است. اختیار معامله قراردادی بین فروشنده و خریدار است که در آن خریدار اختیار، حق (نه تعهد) برای خرید یا فروش یک دارایی خاص با قیمت مشخص در آینده با پرداخت مبلغی به فروشنده به‌دست می‌آورد [21]. در این مطالعه یک زنجیره تأمین پالایش و ذخیره‌سازی در نظر گرفته شده است که در آن می‌توان مواد موردنیاز را از طریق چندین تأمین‌کننده با قرارداد اختیار یا بدون قرارداد تهیه کرد. تقاضای محصولات نهایی، قیمت بازار مواد، قیمت خرید و اعمال قرارداد اختیار معامله، میزان عرضه تأمین‌کنندگان و میزان عرضه قرارداد اختیار معامله توسط تأمین‌کنندگان تصادفی است. ابتدا برای دستیابی به دید جامع و کامل از تأمین‌کنندگان از نظر شاخص‌های پایداری، از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تاپسیس فازی و تجزیه‌وتحلیل حالات بالقوه شکست و اثرات آن به‌صورت ترکیبی استفاده شده است؛ سپس به‌منظور دستیابی به یک استراتژی خرید و لحاظ هم‌زمان نتایج به‌دست‌آمده از ارزیابی پایداری تأمین‌کننده در افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای، یک برنامه تصادفی چندمرحله‌ای ریسک‌گریز تهیه شده است. با توجه به اینکه مشتقات مالی در بازارهای مالی امروز بسیار گسترده بوده و یکی از راه‌های نوین برای مقابله با ریسک هستند، برای به‌دست آوردن یک استراتژی انعطاف‌پذیر از قرارداد اختیار معامله استفاده می‌شود. برای نشان دادن کاربرد مدل بهینه‌سازی پیشنهادی، عملکرد سیاست اندازه‌گیری ریسک و تأثیر استراتژی کاهش بر انعطاف‌پذیری برنامه‌ریزی تدارکات، یک مطالعه موردی از جهان واقعی بررسی شده است. مدل پیشنهادی این قابلیت را دارد که هم‌زمان ابعاد کمی و کیفی را در موضوع انتخاب تأمین‌کننده پایدار در نظر بگیرد و عدم قطعیت‌های موجود در آن‌ها را مدل‌سازی کند؛ همچنین انتخاب نهایی تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش در یک برنامه‌ریزی زنجیره تأمین چنددوره‌ای تحت ریسک عملیاتی و اختلال انجام می‌شود و با محدود کردن ریسک توسط معیار ارزش در معرض ریسک شرطی و به‌کارگیری قرارداد اختیار معامله به‌عنوان استراتژی کاهش به مدیریت ریسک توجه می‌شود.

## ۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین. طالع‌زاده و همکاران (۲۰۲۱) یک زنجیره تأمین تعاونی و همچنین یک قرارداد اشتراک هزینه به شکل غیرهمکاری برای کاهش تضادها و تقویت عملکرد زنجیره تأمین، به منظور یافتن متغیرهای تصمیم‌گیری بهینه و سود در قرارداد CS، از دو رویکرد نظریه بازی، یعنی نش و استاکلبرگ استفاده کردند [40]. فلاحی و همکاران (۲۰۲۱)، یک مدل کمی تولید اقتصادی پایدار با در نظر گرفتن سیاست‌های نگهداری پیشگیرانه و حمل‌ونقل چندگانه در جایی که بخشی از اقلام تولیدشده معیوب است، فرموله کردند [9]. قهرمانی نهر و همکاران (۲۰۲۰)، یک شبکه زنجیره تأمین دوهدفه، چنددوره‌ای، چندمحصولی و حلقه‌بسته تحت ملاحظات زیست‌محیطی، تخفیف‌ها و عدم قطعیت‌ها طراحی کردند [14]. فلاحی و همکاران (۲۰۲۱) همچنین یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته از فرآورده‌های خونی که تجهیزات حمل‌ونقل خون و ویژگی‌های کیفی مربوطه را در نظر می‌گیرد، فرموله کردند [10].

**انتخاب تأمین‌کننده.** انتخاب تأمین‌کننده نقش عمده‌ای در استراتژی‌های خرید زنجیره تأمین دارد. بسیاری از پژوهشگران مسئله انتخاب تأمین‌کننده را بررسی کردند [۴۳، ۲۶، ۳۴]. عیدی و بختیاری (۲۰۱۶) به موضوع ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین سبز با استفاده از روش تاپسیس فازی سلسله‌مراتبی مبتنی بر سطوح آلفا در یک مطالعه موردی پرداختند [8].

**پایداری زنجیره تأمین و تأمین‌کننده.** در مطالعات متعددی مساله ایداری زنجیره تأمین و تأمین‌کننده بررسی شده است [۳۳، ۳۲، ۲۹، ۲]. یان و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۲۰)، یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار با معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه کردند که اهداف آن کمینه‌کردن هزینه‌های کل، کمینه‌کردن میزان دی‌اکسید کربن آزادشده و بیشینه‌کردن اثرات اجتماعی بود [47].

**برنامه‌ریزی تصادفی:** مدل‌های برنامه‌نویسی تصادفی مبتنی بر سناریو را می‌توان تحت برنامه عدم‌اطمینان برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین با موفقیت استفاده کرد و برای ارائه بینش مدیریتی مناسب است. در مطالعات متعددی به بررسی مسئله انتخاب تأمین‌کننده و یا تخصیص سفارش در مدل‌های تصادفی پرداخته شده است [۴۵، ۳۷، ۳۸، ۴۱]. جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل تصادفی مستقل برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته ارائه کردند که در صورت بروز اختلال به صورت انعطاف‌پذیر عمل می‌کند. مدل قادر است حمل‌ونقل جانبی را به‌عنوان استراتژی

پاسخ برای مقابله با مخاطرات عملیاتی و اختلال در نظر بگیرد [23]. جوکار و همکاران (۲۰۲۰)، ترکیبی از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی، مدل برنامه تصادفی دومرحله‌ای سناریومحور و رویکرد بهینه‌سازی استوار را در موضوع انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش‌های از شرایط ریسک تأمین پیشنهاد کردند [25].

**استراتژی ریسک‌گریز.** بسیاری از معیارهای ریسک، مانند ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR)، انحراف معیار، واریانس و انحراف مطلق که برای نخستین بار در حوزه امور مالی و بیمه ایجاد شده است، می‌توانند برای پیشنهاد استراتژی ریسک‌گریز مبتنی بر نگرش ریسک تصمیم‌گیرنده استفاده شوند [18]. در برخی از مطالعات نیز به بررسی استراتژی ریسک‌گریزی پرداخته شده است [۱۲، ۱۴]. ساجدی و همکاران (۲۰۲۱)، به مکان‌یابی اجزای یک زنجیره تأمین سه‌هدفه، حلقه‌بسته پایدار، چندکالایی و چنددوره‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت و سناریوهای بازار با رویکرد ریسک پرداختند و ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) به عنوان معیار ریسک شناخته شده برای ارائه مدل تصادفی ریسک‌گریز استفاده شد [۳۵۳۵]. ارزش در معرض ریسک (CVaR و VaR) به عنوان دو معیار ریسک شناخته شده، توسط ساویک<sup>۲</sup> (۲۰۱۱)، برای ارائه مدل‌های تصادفی ریسک‌گریز برای انتخاب یکپارچه تأمین‌کننده و مسئله تخصیص سفارش ارائه شد [۳۷، ۳۸].

**تجزیه و تحلیل حالت‌های بالقوه شکست.** روش تجزیه و تحلیل حالت‌های بالقوه شکست برای ارزیابی اهمیت نسبی ریسک‌ها در ادبیات موضوع استفاده شده است [۴۴، ۱]. گیاناکیس و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۶)، رویکرد مدیریت ریسک را در زنجیره تأمین پایدار ارائه کردند. در این مطالعه ابتدا عوامل تعیین‌کننده ریسک مربوط به زنجیره تأمین پایدار شناسایی و سپس احتمال وقوع، شدت و تشخیص برای هر ریسک محاسبه و اقدامات و استراتژی‌ها برای کاهش تمام ریسک‌های بالقوه ارائه شد. در این مدل، روشی ترکیبی برای جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه و تحلیل حالت‌های بالقوه شکست (FMEA) برای ارزیابی اهمیت نسبی ریسک‌ها ارائه شده است [۱۵].

**قرارداد اختیار معامله.** در مطالعات متعددی در مبنای نظری موضوع از روش‌های برنامه‌نویسی تصادفی برای حل مسئله تأمین منابع با قرارداد اختیار معامله استفاده شده است [۴۵، ۴۲، ۲۸، ۲۷، ۲۲، ۱]. بر اساس یک مکانیزم قرارداد اختیار معامله در افق برنامه‌ریزی چنددوره‌ای، در ابتدای هر افق، یک زنجیره تأمین برای هر دوره بهینه به میزان R واحد اختیار با هزینه رزرو r

1. Jokar  
2. Sawik  
3. Giannakis & Papadopoulos

خریداری می‌کند؛ سپس در هر دوره، زنجیره تأمین می‌تواند اختیار را تا  $R$  واحد با قیمت مشخص شده در قرارداد اعمال کند [27۲۷]. قاچ و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۷)، با هدف استفاده از قراردادهای تقسیم ریسک برای کاهش ریسک زنجیره، کاهش عدم قطعیت تقاضا و کاهش ریسک بین خریدار و تأمین‌کننده، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح ارائه کردند [13۱۳].

**مدل‌سازی عدم قطعیت.** از فرآیند تصادفی حرکت هندسی براونی و خود رگرسیون مرتبه اول با استفاده از رانش برای مقابله با عدم اطمینان قیمت در چندین پژوهش استفاده شده است [۲۸، ۲۷، ۱۱].

جدول ۱. مرور مبانی نظری

| منبع   | معیارها |             |               |         |                |          |                                   |
|--|---------|-------------|---------------|---------|----------------|----------|-----------------------------------|
|  | اهداف   | عدم قطعیت   |               |         |                |          |                                   |
| رویکرد مدل‌سازی مسئله و سایر                                   | تخصیص   | مدیریت ریسک | استراتژی کاهش | پایداری | سناریوهای فازی | غیر قطعی |                                   |
| مدل‌سازی ریاضی   | *       | *           | *             | *       | *              | *        | یان و همکاران، (۲۰۲۰) [۴۷]        |
| مدل‌سازی ریاضی   | *       | *           | *             | *       | *              | *        | ریحانی و همکاران، (۲۰۲۰) [۳۳]     |
| برنامه‌نویسی تصادفی  | *       | *           | *             | *       | *              | *        | زو و نوزیک، (۲۰۰۹) [۴۵]           |
| برنامه عدد صحیح مختلط - CvaR                                   | *       | *           | *             | *       | *              | *        | ساویک، (۲۰۱۱) و (۲۰۱۳) [۳۸، ۳۷]   |
| برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای                                  | *       | *           | *             | *       | *              | *        | ترابی و همکاران، (۲۰۱۵) [۴۱]      |
| تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)                                       | *       | *           | *             | *       | *              | *        | دوبری و همکاران، (۲۰۱۶) [۷]       |
| برنامه‌نویسی تصادفی - CvaR                                     | *       | *           | *             | *       | *              | *        | کیوانلو، (۲۰۱۴) و (۲۰۱۵) [۲۸، ۲۷] |
| برنامه‌نویسی تصادفی Semi-deviation from a predetermined target | *       | *           | *             | *       | *              | *        | فتاحی، (۲۰۱۷) [۱۱]                |
| برنامه تصادفی - مدل‌سازی جبری - CVaR                           | *       | *           | *             | *       | *              | *        | ون دلفت و ویال، (۲۰۱۴) [۴۲]       |
| برنامه‌ریزی ریاضی  | *       | *           | *             | *       | *              | *        | ایندرفورث و کله، (۲۰۱۱) [۲۲]      |

|  |   |   |   |   |   |                                      |
|--|---|---|---|---|---|--------------------------------------|
| برنامه‌ریزی ریاضی -<br>CVaR                          | * | * | * | * | * | گودرزی و دگرودی،<br>[۱۷] (۲۰۱۵)      |
| مدل بهینه‌سازی قوی<br>تصادفی                         | * | * | * | * | * | جبارزاده و همکاران،<br>[۲۳] (۲۰۱۸)   |
| FMEA   | * | * | * | * | * | ویکو و همکاران،<br>[۴۴] (۲۰۱۹)       |
| تاپسیس فازی - برنامه‌ریزی<br>ریاضی - محدودیت اپسیلون | * | * | * | * | * | ربعی و همکاران،<br>[۳۲] (۲۰۱۹)       |
| وزن‌دهی آنتروپی فازی و<br>استنتاج فازی               | * | * | * | * | * | خان و همکاران،<br>[۲۹] (۲۰۱۸)        |
| FMEA   | * | * | * | * | * | بیاناکیس و<br>پاپادوپولوس، (۲۰۱۶)    |
| روش ترکیبی FMEA-<br>TOPSIS                           | * | * | * | * | * | احمدی و همکاران،<br>[۱] (۲۰۱۷)       |
| برنامه‌ریزی عدد صحیح                                 | * | * | * | * | * | قاچ و همکاران، (۲۰۱۷)<br>[۱۳]        |
| برنامه تصادفی دومرحله‌ای<br>RAR - VaR                | * | * | * | * | * | پونگ ساکدی و<br>همکاران، (۲۰۰۶) [۳۱] |
| مجموعه‌های فازی<br>DEA - VIKOR                       | * | * | * | * | * | علی خانی و همکاران،<br>[۲] (۲۰۱۹)    |
| تصادفی دومرحله‌ای -<br>FMEA - CVaR                   | * | * | * | * | * | پژوهش حاضر                           |
| تاپسیس فازی  | * | * | * | * | * |                                      |

با توجه به جدول ۱، می‌توان دریافت موارد زیر به صورت دقیق و هم‌زمان بررسی نشده است:

- توجه توأمان به معیارهای کیفی و کمی در تأمین‌کنندگان؛
- توجه به عدم قطعیت تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف‌شده؛
- توجه به استراتژی کاهش در مدیریت ریسک؛ بنابراین نوآوری‌های پژوهش عبارت‌اند از: در نظر گرفتن توأمان معیارهای کیفی و کمی در پایداری تأمین‌کنندگان و مدیریت ریسک؛ مدل‌سازی عدم قطعیت با تولید سناریوهای گسسته از روش مونت کارلو؛ مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها با فرآیند حرکت براونی هندسی و خودرگرسیون مرتبه اول؛ محدود کردن سطح ریسک کمی توسط CVaR و ریسک کیفی توسط FMEA؛ در نظر گرفتن قرارداد اختیار معامله به عنوان استراتژی کاهش.

### ۳. روش‌شناسی پژوهش

**تشریح مسئله.** هدف اصلی پژوهش عبارت است از: ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش بر اساس ابعاد پایداری (اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی) و ریسک پایداری.

پس از شناسایی معیارهای پایداری و ریسک منطبق بر تأمین‌کننده، امتیاز معیارهای کیفی پایداری با استفاده از روش تاپسیس فازی و امتیاز معیارهای ریسک کیفی از روش تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست (FMEA) محاسبه شد و با جایگذاری در مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به انتخاب بهینه تأمین‌کنندگان پایدار، تعیین استراتژی تأمین منابع و تخصیص سفارش در یک زنجیره تأمین چنددوره‌ای تحت ریسک عملیاتی و اختلال پرداخته شد. در مدل برنامه‌ریزی تصادفی برای دستیابی به یک برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر از قرارداد اختیار معامله به‌عنوان استراتژی کاهش استفاده شد که قرارداد اختیار معامله و بازار معاملات (خرید بدون قرارداد) به‌عنوان دو گزینه برای تأمین مواد اولیه ضروری در شرایط عدم اطمینان تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود؛ همچنین سطح ریسک زنجیره تأمین از طریق اندازه‌گیری ریسک کمی شده و با محدودیت ریسک توسط معیار ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) کنترل می‌شود. مدل ریاضی توسعه‌یافته برای چند دوره زمانی، چند محصول، یک قلم ماده اولیه، چند سایت پلاست و ذخیره و چند تأمین‌کننده با تمرکز بر تصمیمات تاکتیکی و استراتژیک ارائه شده است. دو تابع هدف حداقل‌سازی هزینه‌های تأمین و حداقل‌سازی ریسک کل تأمین‌کنندگان در رابطه با معیارهای کیفی پایداری در نظر شده است. تأمین‌کنندگان کاملاً آزاد هستند که سیاست فروش به‌وسیله مشتقات مالی را انتخاب کنند تا سیاست فروش خود را با توجه به شرایط شرکت دنبال کنند؛ به این ترتیب هر یک از تأمین‌کنندگان علاوه بر قیمت‌گذاری واحد، می‌توانند مشتقات از جمله اختیار معامله را ارائه دهند.

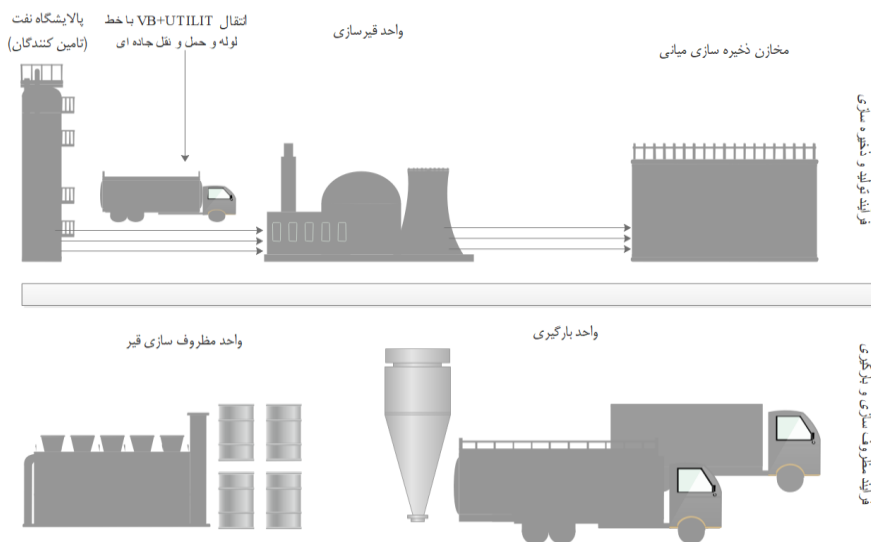
برای مدل‌سازی عدم قطعیت، سناریوهای گسسته از طریق یک رویکرد شبیه‌سازی تولید می‌شوند و سپس یک روش کاهش سناریو برای ساخت یک درخت سناریوی مناسب استفاده می‌شود. در یک مطالعه موردی با استفاده از مطالعات محاسباتی و تجزیه و تحلیل حساسیت، کاربرد مدل تصادفی، عملکرد سیاست‌های اندازه‌گیری ریسک و اهمیت استراتژی کاهش برای ارائه برخی بینش‌های مدیریتی بررسی شده است.

**مفروضات مسئله.** مفروضات مسئله عبارت‌اند از: چند دوره زمانی؛ چند محصولی؛ یک قلم ماده اولیه ضروری؛ چند تأمین‌کننده؛ چند سایت تولید و ذخیره‌سازی؛ روش‌های حمل و نقل متفاوت (مانند خط لوله و تانکر)؛ تقاضای محصولات نهایی، قیمت بازار مواد، قیمت خرید و اعمال قرارداد اختیار معامله، میزان عرضه تأمین‌کنندگان و میزان عرضه قرارداد اختیار معامله تصادفی



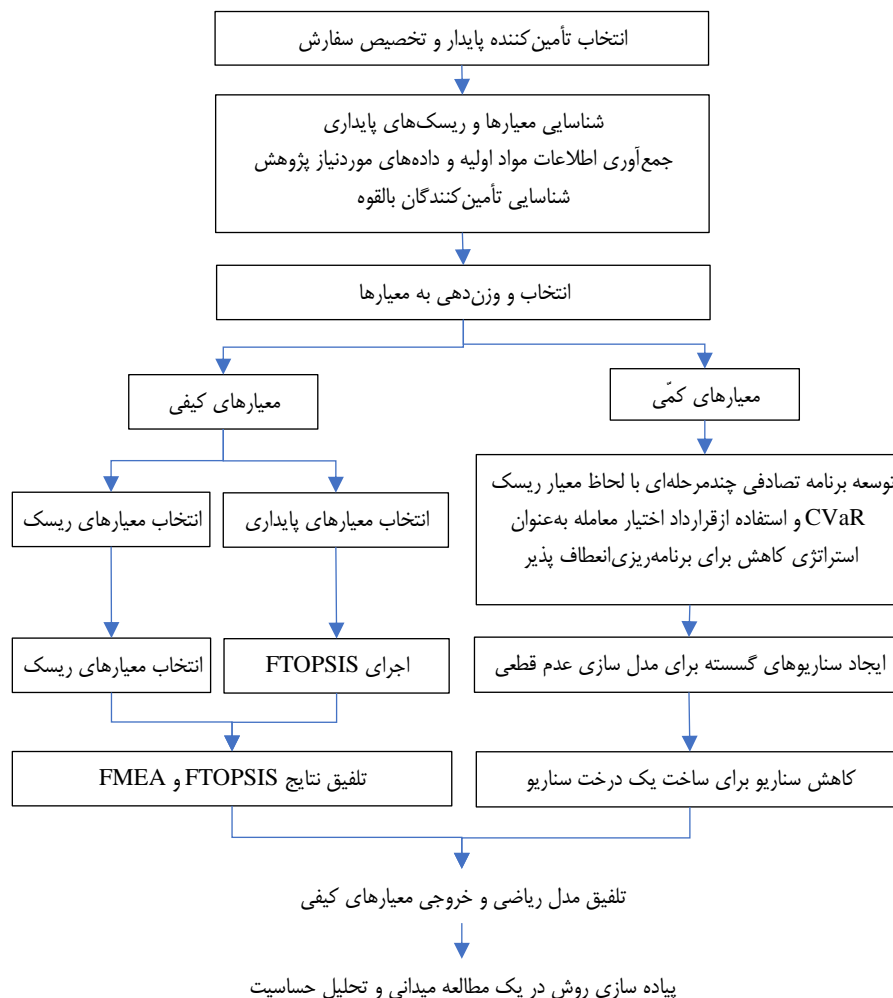
است؛ امکان انعقاد قرارداد اختیار خرید با تعدادی از تأمین‌کنندگان وجود دارد؛ مواد اولیه را می‌توان از یک یا چند تأمین‌کننده خریداری کرد؛ میزان مصرف ماده اولیه برای تولید هر محصول در سایت مشخص است؛ هر سایت بر اساس ظرفیت خود مواد اولیه و محصولات نهایی را ذخیره می‌کند؛ هزینه کمبود در نظر گرفته می‌شود.

**اهداف مسئله.** اهداف مسئله عبارت‌اند از: شناسایی معیارهای مؤثر در انتخاب تأمین‌کنندگان بر اساس ابعاد پایداری و ریسک تأمین؛ ارزیابی، رتبه‌بندی و انتخاب معیارهای مهم از مجموعه جمع‌آوری شده توسط خبرگان؛ ارزیابی و امتیازدهی تأمین‌کنندگان بالقوه از نظر معیارهای پایداری و ریسک تأمین، با استفاده از روش ترکیبی تکنیک تاپسیس فازی و تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست؛ ارائه مدل ریاضی برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش؛ برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر با استفاده از قرارداد اختیار معامله به‌عنوان استراتژی کاهش؛ کنترل سطح ریسک زنجیره تأمین از طریق اندازه‌گیری ریسک کمی شده و با ایجاد محدودیت ریسک توسط معیار CVaR؛ حداقل‌سازی هزینه خرید؛ حداقل‌سازی ریسک کل پایداری تأمین‌کنندگان؛ تعیین میزان بهینه موجودی مواد اولیه و محصول در هر دوره.



شکل ۱. نمایش گرافیکی از زنجیره‌ی تأمین موردنظر

فرآیند اجرای پژوهش. فرآیند اجرای پژوهش در شکل، نشان داده شده است.



شکل ۲. چارچوب روش پیشنهادی

### روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

غربالگری بر مبنای تکنیک دلفی. در این مرحله، معیارهای پایداری و ریسک استخراج‌شده از مبانی نظری پژوهش برای بومی‌سازی و ورود به فرآیند تحلیل از روش دلفی توسط متخصصان، امتیاز می‌گیرند. محدوده رتبه‌بندی برای تعیین اهمیت، دامنه ۱ تا ۵ لیکرت است. معیارهایی با نمره بالاتر از ۵۰ درصد در ادامه تحلیل خواهند شد. معیارهای جمع‌آوری‌شده پس از غربالگری، تحت سایر روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها با کمک نرم‌افزار PLS تأیید و وزن‌دهی می‌شوند.

**تحلیل توسعه چانگ.** روش تحلیل توسعه چانگ برای تعیین اولویت وزنی معیارها استفاده شده است. روش پیشنهادی گوگوس و بوچر<sup>۱</sup> (۱۹۹۸) برای بررسی سازگاری در قضاوت‌ها معرفی شده است [۱۶]. مشابه انجام شده توسط پژوهش صابری و همکاران (۲۰۱۶)، مرحله تحلیل توسط توسعه چانگ صورت گرفته است [۳۴].

**تاپسیس فازی.** برای ارزش‌گذاری وزن تأمین‌کنندگان از پرسشنامه و با اعداد فازی استفاده شده است. مشابه پژوهش صابری و همکاران (۲۰۱۶)، ارزیابی توسط روش تاپسیس فازی انجام شده است [۳۴].

**تجزیه و تحلیل سناریوهای بالقوه شکست و اثرات آن.** مشابه پژوهش انجام شده توسط لی و ژن (۲۰۱۶)، مرحله تجزیه و تحلیل توسط سناریوهای بالقوه شکست و اثرات آن انجام شده است [۳۰]. اهمیت همه معیارهای ریسک در محاسبه ریسک کل تأمین‌کنندگان یکسان نیست. برخی معیارها از اهمیت بیشتری برخوردار هستند و برخی دیگر اهمیت کمتری دارند. برای حل این مشکل می‌توان از یک میانگین وزنی استفاده کرد. رابطه ۱، محاسبه میانگین وزنی را نشان می‌دهد ( $w_i$  وزن معیار  $i$ ام و  $d_i$  مقدار ریسک برای تأمین معیار است).

$$Total Risk = \frac{\sum_{i=1}^{10} w_i d_i}{\sum_{i=1}^{10} w_i} \quad (1)$$

**تلفیق نتایج تاپسیس فازی و تجزیه و تحلیل سناریوهای بالقوه شکست و اثرات آن.** برای اینکه نتیجه پیاده‌سازی تمام معیارهای پایداری و ریسک در تاپسیس فازی و تجزیه و تحلیل آثار شکست در مدل ریاضی قابل استفاده باشد، باید فقط یک پارامتر ورودی به عنوان ریسک کل برای هر تأمین‌کننده وجود داشته باشد. این مقادیر به عنوان درصد ریسک کل با پارامتر  $R_{S_i}$  در تابع هدف دوم مدل استفاده می‌شوند. نتایج به دست آمده از FTOPSIS از ویژگی‌های مثبت تأمین‌کننده است؛ یعنی هرچه بالاتر باشد، تأمین‌کننده عملکرد بهتری خواهد داشت؛ اما نتایج FMEA از نوع ریسک است؛ یعنی هرچه پایین‌تر باشد، عملکرد تأمین‌کننده بهتر است؛ بنابراین واضح است که ضرب مستقیم FTOPSIS و FMEA غیرمنطقی است؛ چراکه خروجی این دو روش نرمال شده و دومین تابع هدف از نوع کمینه‌سازی است؛ بنابراین مطابق رابطه ۲، خروجی تجزیه و تحلیل آثار شکست ثابت در نظر گرفته و در وزن حاصل از تاپسیس فازی کسر شده از یک ضرب می‌شود.

$$Risk discount = risk * (1 - FTOPSIS) \quad (2)$$

**مدل‌سازی عدم قطعیت.** عدم قطعیت‌ها شامل تقاضای محصولات نهایی، قیمت بازار مواد، قیمت خرید و اعمال قرارداد اختیار معامله، میزان عرضه تأمین‌کنندگان و میزان عرضه قرارداد اختیار معامله توسط تأمین‌کنندگان است.

**عدم اطمینان در قیمت بازار، قیمت خرید قرارداد اختیار و قیمت اعمال قرارداد:** عدم اطمینان در قیمت می‌تواند نتیجه تغییرات نرخ ارز، تغییرات قیمت نفت و کمبود بازار آینده باشد. برای انطباق بیشتر با دنیای واقعی، فرض می‌شود که توزیع قیمت بازار، قیمت خرید قرارداد اختیار معامله و قیمت اعمال قرارداد در طول زمان متفاوت است. به‌منظور اعمال وابستگی زمانی این متغیرهای نامطمئن، از فرآیند حرکت براونی هندسی برای مدل‌سازی قیمت استفاده می‌شود. این نوع فرآیند تصادفی اغلب به‌عنوان مدلی برای مقادیر متنوعی مانند قیمت سهام، قیمت منابع طبیعی و محصولات یا خدمات مورد استناد قرار می‌گیرد. میانگین ماهانه قیمت ته‌ماند نسبت به سال قبل استخراج و مطابق با این داده‌ها و روابط حرکت براونی هندسی مجموعه‌ای از سناریوهای گسسته تولید می‌شود.

**عدم اطمینان تقاضا، عرضه مواد اولیه و قرارداد اختیار معامله:** به‌منظور مقابله با تقاضا و عرضه‌های تصادفی از مدل اصلاح‌شده خودرگرسیون مرتبه اول ارائه‌شده توسط سودی<sup>۱</sup> (۲۰۰۵) استفاده می‌شود [۳۹]. عدم اطمینان در عرضه ماده اولیه می‌تواند به عدم اطمینان مرتبط با سیاست‌های تولید و فروش تأمین‌کننده و یا عملکرد تصادفی تأمین‌کننده مربوط شود. مدل‌های رگرسیون مرتبه اول برای مشخص کردن فرآیندهای متغیر با زمان به کار می‌روند و این مدل اصلاح‌شده برای به‌دست‌آوردن تغییرات بالا نسبت به زمان مناسب است. داده‌های مربوط در دوره‌های یک‌ماهه در افق برنامه‌ریزی جمع شده‌اند. میانگین و واریانس اصطلاحات خطا که توزیع طبیعی دارند، برای تولید سناریوهای گسسته برآورد شده و استفاده می‌شوند.

برای تولید سناریوهای گسسته از روش شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده شد. خروجی شبیه‌سازی مونت کارلو شامل ۲۰۰ سناریوی گسسته با احتمال یکسان است؛ سپس از رویکرد درخت سناریوی ارائه‌شده هایتس و رومیش<sup>۲</sup> (۲۰۰۵ و ۲۰۰۹)، برای کاهش تعداد سناریوها و تبدیل مجموعه سناریوهای تولیدی به درخت استفاده شده است [۲۰، ۱۹]. در هر دوره زمانی با استفاده از روش کاهش سناریوی روبه‌جلو اراهی شده توسط دوپاووا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۳)، تعداد سناریوهای تولیدشده برای ایجاد درخت سناریوی مناسب کاهش می‌یابد [۵]. درخت نهایی شامل ۲۵ سناریو است. پارامتر کاهش در اجرای روش ساخت درخت سناریو با مقدار ثابت بین صفر و یک برابر با ۰/۸ تنظیم شده است.

1. Sodhi  
2. Heitsch  
3. Dupačová

**مدل‌سازی تصادفی چندمرحله‌ای.** افق برنامه‌ریزی  $T$  شامل چندین دوره تاکتیکی در نظر گرفته شده است. بردارهای مربوط به پارامترهای تصادفی از جمله تقاضای محصولات، قیمت بازار ماده اولیه، قیمت خرید و اعمال قرارداد اختیار معامله، عرضه تأمین‌کنندگان، عرضه قرارداد اختیار توسط تأمین‌کنندگان برای دوره  $t \in T$  و سناریو  $s \in S$  توسط چندمرحله‌ای، بین مراحل و دوره‌های زمانی رابطه وجود دارد و مطابق با این رابطه،

$$N = |T| + 1$$

و برای هر مرحله  $n$  داریم:

$$\xi^{n,s} = (cso_{i,t,s}, cs_{i,t,s}, ep_{t,s}, op_{t,s}, p_{t,s}, d_{t,m,k,s})$$

در برنامه‌ریزی تصادفی، تصمیمات به شش گروه طبقه‌بندی می‌شوند: ۱. انتخاب تأمین‌کنندگان پایدار؛ ۲. رزرو ظرفیت با استفاده از قراردادهای اختیار؛ ۳. تصمیمات خرید؛ ۴. تصمیمات تخصیص سفارش؛ ۵. تصمیمات تولید و ۶. تصمیمات موجودی. تصمیمات ۱ و ۲ از نوع استراتژیک و تصمیمات ۳ تا ۶ از نوع تاکتیکی و وابسته به زمان است. به‌منظور تدوین برنامه تصادفی چندمرحله‌ای، طبق نظر دوپاووا (۲۰۰۳)، تصمیمات استراتژیک قبل از مواجهه با عدم اطمینان اتخاذ می‌شوند [۵] و از این‌رو محدودیت‌های غیرقابل پیش‌بینی برای آن‌ها در نظر گرفته می‌شوند [۶]. توابع هدف عبارت‌اند از: حداقل‌سازی کل هزینه‌های موردانتظار و حداکثرسازی پایداری تأمین‌کنندگان. در مدل برنامه‌ریزی تصادفی، برای دستیابی به یک برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر، از قرارداد اختیار معامله به‌عنوان استراتژی کاهش استفاده شد که قرارداد اختیار معامله و بازار معاملات (خرید بدون قرارداد) به‌عنوان دو گزینه برای تأمین مواد اولیه ضروری در شرایط عدم اطمینان تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است؛ همچنین سطح ریسک زنجیره تأمین از طریق اندازه‌گیری ریسک کمی شده و با محدودیت ریسک توسط معیار ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) کنترل می‌شود. درنهایت مدل دوهدفه پیشنهادی با روش ارائه‌شده توسط یعقوبی و تمیز<sup>۱</sup>، حل شد [۴۶]. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مدل در جدول ۲، ارائه شده است.

جدول ۲. اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری

| اندیس‌ها              |  |
|-----------------------|--|
| T                     | مجموعه‌ای از دوره‌های تاکتیکی در یک افق برنامه‌ریزی ( $t = 1, 2, 3, \dots, T$ )  |
| T'                    | مجموعه‌ای از دوره‌ها که می‌توان تصمیمات استراتژیک از جمله انتخاب تأمین کننده و قرارداد اختیار را برای مدت‌زمان استراتژیک شامل چندین دوره تاکتیکی اتخاذ کرد. $T' \subset T$ |
| I                     | مجموعه‌ای از تأمین کنندگان ( $i = 1, 2, 3, \dots, I$ )   |
| BK                    | مجموعه‌ای از گروه محصولات ( $bk = bk_1, bk_2, \dots, BK$ )   |
| K                     | مجموعه‌ای از محصولات ( $k = k_1, k_2, k_3, \dots, K$ )   |
| M                     | مجموعه‌ای از سایت‌های پالایشگاه ( $m = m_1, m_2, \dots, M$ )   |
| TM                    | مجموعه‌ای از حالت‌های حمل‌ونقل (خط لوله، راه‌آهن، حمل‌ونقل جاده‌ای)  |
| S                     | مجموعه‌ای از سناریوها $s, s' \in S$  |
| پارامترها             |  |
| Hr                    | هزینه نگهداری هر واحد مواد اولیه برای یک دوره تاکتیکی در هر سایت   |
| $\Theta$              | ظرفیت کامیون‌ها برای حمل مواد اولیه  |
| B                     | سطح اطمینان برای محاسبه ریسک CVaR  |
| uCVaR                 | حد بالایی برای CVaR هزینه‌ها   |
| Risk <sub>i</sub>     | میزان ریسک به‌دست‌آمده از تلفیق امتیاز FTOPSIS و FMEA برای تأمین کننده i   |
| $\pi_s$               | احتمال وقوع سناریو s   |
| $\Delta_{t',t}$       | تعداد دوره تاکتیکی در مدت‌زمان استراتژیک که از دوره تاکتیکی T شروع و تا دوره T' ادامه دارد.  |
| cm <sub>m</sub>       | حداکثر ظرفیت تولید سایت‌های پالایشگاه برای محصولات مختلف   |
| sr <sub>m</sub>       | ظرفیت ذخیره مواد اولیه در سایت‌های پالایشگاه   |
| sp <sub>m</sub>       | ظرفیت ذخیره محصولات در انبار سایت‌های پالایشگاه  |
| o <sub>i</sub>        | مقدار صفر و یک، اگر سیاست تأمین کننده i فروش قرارداد اختیار باشد مقدار آن ۱؛ در غیر این صورت صفر است.  |
| mcs <sub>i</sub>      | حداکثر ظرفیت تأمین کننده i برای تولید مواد اولیه در افق برنامه‌ریزی  |
| pc <sub>k</sub>       | هزینه عملیاتی تولید هر واحد از محصول k در هر سایت  |
| hp <sub>k</sub>       | هزینه ذخیره‌سازی یک واحد محصول k در هر سایت برای یک دوره تاکتیکی   |
| soc <sub>k</sub>      | هزینه کمبود هر واحد از محصول k در هر سایت  |
| $\Psi_k$              | میزان مصرف ماده اولیه برای تولید یک واحد محصول k   |
| p <sub>t,s</sub>      | قیمت بازار یک واحد مواد اولیه از تأمین کننده نام در دوره t تحت سناریوی s   |
| op <sub>t,s</sub>     | قیمت اختیار برای خرید قرارداد اختیار خرید از تأمین کننده نام در دوره t تحت سناریوی s   |
| ep <sub>t,s</sub>     | قیمت اعمال قرارداد یک واحد مواد اولیه از تأمین کننده i در دوره t تحت سناریوی s   |
| cs <sub>i,t,s</sub>   | مقدار عرضه مواد اولیه توسط تأمین کننده نام در دوره t تحت سناریوی s   |
| cs <sub>o,i,t,s</sub> | مقدار عرضه قرارداد اختیار از سوی تأمین کننده نام در دوره t و تحت سناریوی s   |
| d <sub>t,m,k,s</sub>  | تقاضای مشتری برای محصول k در دوره t تحت سناریوی s  |
| bcm <sub>bk,m</sub>   | ظرفیت تولید پالایشگاه برای دسته‌ای از محصولات bk   |
| $\partial_{i,m}$      | فاصله بین تأمین کننده i تا سایت‌های پالایشگاه  |
| tc <sub>i,m,tm</sub>  | هزینه حمل‌ونقل وابسته به تناژ (فی / تناژ تانکر) برای حمل مواد اولیه بین تأمین کننده i تا سایت‌های  |

|   |                     |
|---|---------------------|
| پالایشگاه و با حالت حمل‌ونقل ممکن   |                     |
| حالت‌های حمل‌ونقل در دسترس  | $tma_{i,m,tm}$      |
| هزینه ثابت سفارش دهی از تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$   | $f_{i,t}$           |
| مقدار صفر و یک، اگر تأمین‌کننده $i$ جهت تخصیص سفارش در دوره $t$ برای سایت $m$ تحت سناریوی $s$ انتخاب شود مقدار آن ۱؛ در غیر این صورت صفر است. | $SS_{i,t,m,tm,s}$   |
| کل هزینه‌های تاکتیکی تحت هر سناریو  | $tcost_s$           |
| تعداد کامیون استفاده‌شده برای حمل از تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$ برای سایت $m$ تحت سناریوی $s$  | $nt_{i,t,m,tm,s}$   |
| مقدار مواد اولیه رزرو شده با استفاده از قرارداد اختیار از تأمین‌کننده $i$ در دوره $t'$ و با سررسید $t$ و تحت سناریوی $s$                      | $cr_{i,t',t,s}$     |
| مقدار مواد خریداری‌شده با استفاده از قرارداد اختیار از تأمین‌کننده $i$ که در دوره $t'$ رزرو شده برای دوره $t$ و برای سایت $m$ تحت سناریوی $s$ | $V_{i,t',t,m,tm,s}$ |
| مقدار مواد خریداری‌شده به‌صورت عادی از تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$ برای سایت $m$ تحت سناریوی $s$  | $Z_{i,t,m,tm,s}$    |
| مقدار کمبود محصول $k$ در دوره $t$ در سایت $m$ تحت سناریوی $s$   | $L_{t,m,k,s}$       |
| مقدار تولید محصول $k$ در دوره $t$ در سایت $m$ تحت سناریوی $s$   | $Q_{t,m,k,s}$       |
| مقدار ذخیره محصول $k$ در دوره $t$ در سایت $m$ تحت سناریوی $s$   | $H_{t,m,k,s}$       |
| مقدار ذخیره مواد اولیه در دوره $t$ در سایت $m$ تحت سناریوی $s$  | $R_{t,m,s}$         |
| ارزش در معرض ریسک، متغیری است که CVaR هزینه‌ها را در سطح اطمینان $\beta$ ارائه می‌دهد.  | $VaR$               |
| متغیر کمکی برای محاسبه CVaR   | $u_s$               |

دو تابع هدف مدل عبارت است از:

### ۱. تابع هدف حداقل‌سازی هزینه

$$\min OB_1 = \sum_s \pi s \left( \begin{aligned} & \sum_i \sum_{t'} \sum_t \sum_m \sum_{tm} f_{i,t} SS_{i,t,m,tm,s} + \sum_i \sum_{t'} \sum_t cr_{i,t',t,s} OP_{t',s} \Delta_{t',t} \\ & + \sum_i \sum_t \sum_m \sum_{tm} Z_{i,t,m,tm,s} P_{ts} + \sum_i \sum_{t'} \sum_t \sum_m \sum_{tm} V_{i,t',t,m,tm,s} ep_{t',s} \\ & + \sum_i \sum_t \sum_m \sum_{tm} \left( \frac{tc_{i,m,tm}}{1000} \right) Z_{i,t,m,tm,s} \\ & + \sum_i \sum_{t'} \sum_t \sum_m \sum_{tm} \left( \frac{tc_{i,m,tm}}{1000} \right) V_{i,t',t,m,tm,s} + \sum_t \sum_m \sum_k pc_k Q_{t,m,k,s} \\ & + \sum_t \sum_m \sum_k hp_k H_{t,m,k,s} + \sum_t \sum_m hr R_{t,m,s} + \sum_t \sum_m \sum_k soc_k L_{t,m,k,s} \end{aligned} \right) \quad (3)$$

هدف از توسعه تابع هزینه کل رابطه ۳، به حداقل‌رساندن کل هزینه در افق زمانی، از جمله هزینه‌های استراتژیک شامل انتخاب تأمین‌کننده و رزرو با استفاده از قرارداد اختیار، هزینه‌های خرید، اعم از خرید در بازار لحظه‌ای یا خرید با اعمال قرارداد اختیار، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه

وابسته به تناژ که به ظرفیت کامیون استفاده شده تقسیم می شود، هزینه های عملیاتی تولید محصولات، هزینه های نگهداری شامل هزینه ذخیره سازی مواد اولیه در بازه های زمانی مختلف و هزینه ذخیره سازی محصول نهایی در انبار و هزینه های کمبود است.

## ۲. تابع هدف حداقل سازی ریسک پایداری

$$\min OB_2 = \sum_i \sum_t \sum_m \sum_{tm} \sum_s Risk_i \pi_s (Z_{i,t,m,tm,s} + V_{i,t',t,m,tm,s}) \quad (۴)$$

هدف اصلی این تابع به حداقل رساندن ریسکی است که با انتخاب هر تأمین کننده به شاخص های پایداری وارد می شود. میزان ریسک به دست آمده از روش تلفیقی تاپسیس فازی و تجزیه و تحلیل حالات بالقوه شکست در کل مواد خریداری شده از تأمین کننده  $i$  شامل خرید عادی و خرید با اعمال قرارداد اختیار، ضرب می شود.

### محدودیت ها

$$cr_{i,t',t,s} = 0 \quad \forall i, t', t, s \quad : t' \geq t \quad (۵)$$

۱. محدودیت های تصمیمات استراتژیک: رابطه ۵، تضمین می کند که تصمیمات استراتژیک از جمله انتخاب تأمین کننده و رزرو ظرفیت با استفاده از قرارداد اختیار در مدت زمان استراتژیک مربوطه اتخاذ شود. مدت زمان استراتژیک  $\Delta_{t',t}$  شامل دوره های زمانی تاکتیکی است که از دوره  $t \in T'$  شروع و تا ابتدای دوره  $t \in T$  ادامه دارد. تصمیمات استراتژیک را می توان برای دوره های پیش رو اتخاذ کرد.

$$\sum_{t'} cr_{i,t',t,s} \leq cso_{i,t,s} o_i \quad \forall i, t, s \quad (۶)$$

$$\sum_m \sum_{tm} V_{i,t',t,m,tm,s} \leq cr_{i,t',t,s} \quad \forall i, t', t, s \quad (۷)$$

۲. محدودیت های قرارداد اختیار: طبق رابطه ۶، خرید قرارداد اختیار نمی تواند اتفاق بی افتد مگر اینکه تأمین کننده فروش قرارداد اختیار ارائه دهد. این محدودیت همچنین نشان می دهد که مقدار خرید قرارداد اختیار نباید بیش از مقدار ارائه شده توسط فروشنده اختیار (تأمین کننده) در هر دوره



باشد. رابطه ۷، نشان می‌دهد که کل مقدار ماده اولیه تهیه‌شده با استفاده از قرارداد اختیار خرید از یک تأمین‌کننده نباید بیش از ظرفیت ذخیره‌شده تأمین‌کننده در هر دوره و تحت هر سناریو باشد.

$$\sum_m \sum_{tm} Z_{i,t,m,tm,s} + \sum_{t'} \sum_m \sum_{tm} V_{i,t',t,m,tm,s} \leq CS_{i,t,s} \quad \forall i,t,s \quad (۸)$$

$$\sum_{k=1}^5 Q_{t,m,k,s} \leq bcm_{bk,m} \quad \forall t,m,s, bk = bk1 \quad (۹)$$

$$\sum_{k=6} Q_{t,m,k,s} \leq bcm_{bk,m} \quad \forall t,m,s, bk = bk2 \quad (۱۰)$$

$$\sum_{k=7} Q_{t,m,k,s} \leq bcm_{bk,m} \quad \forall t,m,s, bk = bk3 \quad (۱۱)$$

$$\sum_k H_{t,m,k,s} \leq sp_m \quad \forall t,m,s \quad (۱۲)$$

$$R_{t,m,s} \leq sr_m \quad \forall t,m,s \quad (۱۳)$$

۳. محدودیت‌های ظرفیت: رابطه ۸، تضمین می‌کند که مقدار کل ماده اولیه تهیه‌شده از یک منبع کمتر یا مساوی با ظرفیت آن باشد. روابط ۹، ۱۰ و ۱۱، تضمین می‌کنند که سایت‌های پالایشگاه در هر دوره و تحت هر سناریو نمی‌توانند بیش از ظرفیت خود تولید کنند. رابطه ۱۲، مربوط به میزان ذخیره‌سازی محصولات است. رابطه ۱۳، مربوط به میزان ذخیره‌سازی مواد اولیه است.

$$H_{t-1,m,k,s} + Q_{t,m,k,s} + L_{t,m,k,s} = d_{t,m,k,s} + L_{t-1,m,k,s} + H_{t,m,k,s} \quad \forall t,m,k,s \quad (۱۴)$$

$$R_{t-1,m,s} + \sum_i \sum_{t'} \sum_{tm} V_{i,t',t,m,tm,s} tma_{i,m,tm} \quad \forall t,m,s \quad (۱۵)$$

$$+ \sum_i \sum_{tm} Z_{i,t,m,tm,s} tma_{i,m,tm} = R_{t,m,s} + \sum_k \psi_k Q_{t,m,k,s}$$

۴. محدودیت‌های تعادل مواد اولیه و محصولات: رابطه ۱۴، تعادل هر محصول قابل تولید در پالایشگاه را تضمین می‌کند. در هر دوره، مقدار کمبود موجودی هر محصول در دوره بعدی قابل تأمین است. رابطه ۱۵، تعادل ماده اولیه در پالایشگاه و روش حمل‌ونقل را نشان می‌دهد.

$$\left( Z_{i,t,m,tm,s} + \sum_{t'} V_{i,t',t,m,tm,s} \right) / \theta = NT_{i,t,m,tm,s} \quad \forall i,t,m,s, tm = truckloading \quad (۱۶)$$

۵. محدودیت‌های حمل‌ونقل: رابطه ۱۶، حفظ ظرفیت بارگیری تانکر را تضمین می‌کند. محدودیت در تعداد تانکر وجود ندارد.

$$VaR + \frac{1}{(1-\beta)} \sum_{s \in S} \pi_s u_s \leq uCVaR \quad (17)$$

$$u_s \geq 0 \quad \forall s \quad (18)$$

$$u_s \geq TCost_s - VaR \quad \forall s \quad (19)$$

۶. محدودیت‌های مدیریت ریسک: برای مواجهه با عدم قطعیت‌ها، ارزش در معرض ریسک شرطی به‌عنوان یک معیار ریسک استفاده شده است. ریسک‌های تأمین مدیریت می‌شوند تا ریسک پایداری و توزیع هزینه‌های مربوطه به حداقل برسند. مدل بهینه‌سازی تصادفی تحت محدودیت‌های ارزش در معرض ریسک شرطی، ضرایب تابع هدف را بهینه می‌کند و هزینه‌های موردانتظار را با محدود کردن تعداد سناریوهای تحقق که هزینه زیاد یا هزینه بیش از حداکثر مقدار تعیین شده برای محدودیت ارزش در معرض ریسک را به دست می‌دهد، به حداقل می‌رساند. روابط ۱۷، ۱۸ و ۱۹، محدودیت‌های ارزش در معرض ریسک در تأمین مواد اولیه را در سطح اطمینان  $\beta$  (%) مدل می‌کنند. متغیر ارزش در معرض ریسک شرطی هزینه‌های تاکتیکی را فراهم می‌کنند؛ درحالی‌که پارامتر  $uCVaR$  حد بالاتر  $CVaR$  هزینه‌های تاکتیکی است (مقداری که تصمیم‌گیرنده تعیین می‌کند) و عبارت  $TCost_s$  هزینه‌های تاکتیکی هر سناریو است.

$$Z_{i,t,m,tm,s} + \sum_{t'} V_{i,t',t,m,tm,s} \leq MM \times SS_{i,t,m,tm,s} \quad \forall i, t, m, tm, s \quad (20)$$

۷. محدودیت هزینه ثابت سفارش‌دهی: طبق رابطه ۲۰، سفارش از تأمین‌کننده‌ای انجام نمی‌شود؛ مگر اینکه هزینه ثابت سفارش‌دهی در تابع هدف در نظر گرفته شود.  $MM$  یک عدد بزرگ مثبت است.

$$cr_{i,t',t,s} = cr_{i,t',t,s'} \quad \forall i, t', t, s, s' \quad (21)$$

$$NT \geq 0 \text{ and integer} \quad (22)$$

$$cr, V, Z, L, Q, H, R, u_s \geq 0 \quad (23)$$

۸. محدودیت‌های غیرقابل پیش‌بینی: محدودیت‌های غیرقابل پیش‌بینی مربوط به برنامه تصادفی چندمرحله‌ای توسط رابطه ۲۱، نشان داده می‌شوند. تصمیم استراتژیک  $(CR_{i,t',t,s})$  باید قبل از مواجهه با عدم اطمینان در هر دوره  $t \in T'$  گرفته شود. به تصمیمات استراتژیک تصمیمات قابل اجرا نیز گفته می‌شوند و محدودیت‌های غیر پیش‌بینی فقط برای این تصمیمات در نظر گرفته می‌شوند. مطابق با این محدودیت، در دوره تاکتیکی  $t \in T$ ، اگر دو سناریو  $s, s' : s, s' \in S$ ، از ابتدای افق برنامه‌ریزی تا دوره  $t-1$  بر اساس اطلاعات موجود در ابتدای دوره  $t$  یکسان باشند، پس تصمیمات استراتژیک در دوره  $t$  برای هر دو سناریو باید یکسان باشد. روابط ۲۲ و ۲۳، ماهیت متغیرها را تعریف می‌کنند.

#### ۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

**مطالعه موردی:** «شرکت پالایش نفت جی» از طریق فرآیندهایی، ته‌ماند برج تقطیر واحدهای پالایشی بالادست را به محصولات قیر تبدیل می‌کند. ۱۰ پالایشگاه بالادستی که به‌طور گسترده در ایران گسترش یافته‌اند، اند برج تقطیر را به‌عنوان ماده اولیه اصلی موردنیاز تأمین می‌کنند. این مطالعه قسمتی از زنجیره تأمین پالایشگاه شامل مکان‌های تأمین ته‌ماند برج تقطیر و تقاضای محصول و سیستم تدارکات مرتبط با آن‌ها را شامل می‌شود. جدول ۳، ابعاد مطالعه موردی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. تعداد اندیس‌ها

| اندیس | محصول | تأمین‌کننده | قلم کالا | دوره زمانی | دوره استراتژیک |
|-------|-------|-------------|----------|------------|----------------|
| تعداد | ۷     | ۱۰          | ۱        | ۱۲         | ۱۱             |

شبکه لجستیک شامل ۱۰ تأمین‌کننده، سه سایت ذخیره و تولید است که به‌وسیله خط لوله و شیوه‌های حمل‌ونقل جاده‌ای به یکدیگر متصل شده‌اند. پارامترهای مربوط به پالایشگاه‌ها (تأمین‌کننده) مطابق با گزارش‌های پایگاه اطلاع‌رسانی وزارت نفت، گزارش‌ها و صورت‌های مالی ارائه شده در «بورس اوراق بهادار تهران» و نظرهای خبرگان تعیین شده است.

جدول ۴، هزینه‌های عملیاتی، هزینه نگهداری، هزینه کمبود و ضرایب تولید محصولات از مواد اولیه و ظرفیت تولید را نشان می‌دهد. هزینه عملیاتی شامل هزینه تولید (غیر از هزینه مواد خام و انبارش)، دستمزد، تعمیرات جزئی، هزینه فروش، بیمه و مالیات اموال، هزینه محیط‌زیست برای آلاینده‌ها، هزینه‌های عمومی و اداری و تحقیق و توسعه است.

جدول ۵، ظرفیت و سیاست هر تأمین‌کننده برای فروش ته‌مانده برج تقطیر را نشان می‌دهد.

جدول ۶ هزینه‌های حمل‌ونقل بر اساس نوع حمل‌ونقل را به‌ازای هر تُن نشان می‌دهد. هزینه حمل‌ونقل با خط لوله به‌ازای هر تُن ۷۰ هزار ریال برای نگهداری و تعمیرات است و

ظرفیت انتقال خط لوله به‌اندازه کل ظرفیت سایت است. هزینه نگهداری ته‌مانده برج تقطیر ۱۳۰ هزار ریال برای هر تن است. ظرفیت ذخیره‌سازی مواد اولیه و محصولات در جدول ۷، آمده است. «پالایشگاه نفت جی» دارای مخازن ذخیره و امکانات ذخیره‌سازی به‌صورت مظروف با ظرفیت اسمی ماهیانه است.

**غربالگری بر مبنای تکنیک دلفی.** معیارهای مشخص‌شده از مبانی نظری پژوهش با روش غربالگری دلفی به‌منظور دستیابی به اثربخش‌ترین معیارها برای انتخاب تأمین‌کننده، غربالگری شده است. در این راستا ابتدا ۲۸ نفر خبره، میزان اهمیت زیرمعیارها را بر اساس طیف پنج‌گانه لیکرت تعیین کردند. هدف از این بخش تعیین بار عاملی برای شاخص‌ها بود (حذف شاخص‌ها با بار عاملی کمتر از ۰/۴) [۳۳]. معیارهای استخراج‌شده از مبانی نظری پژوهش ۷۱ زیرمعیار برای ابعاد اجتماعی، اقتصادی، زیست‌محیطی و ریسک است که پس از غربالگری، برای بُعد اجتماعی ۴، بُعد اقتصادی ۵ و بعد زیست‌محیطی ۴ زیرمعیار انتخاب شده است. این معیارها برای اجرای مدل عاملی تأییدی در نظر گرفته شده‌اند. با توجه به اینکه مقادیر استاندارد بارهای عاملی در تحلیل عاملی تأییدی باید بزرگ‌تر از ۰/۷ باشند، برای اصلاح مدل و دستیابی به اثربخش‌ترین معیارها، مقادیر با بار عاملی کمتر از مدل حذف شدند (جدول ۳).

جدول ۴. اطلاعات محصولات و ظرفیت تولید

| ظرفیت تولید در سایت آبادان (میلیون واحد) | ظرفیت تولید در سایت بندرعباس (میلیون واحد) | ظرفیت تولید در سایت اصفهان (میلیون واحد) | مواد اولیه موردنیاز | هزینه کمبود | هزینه نگهداری | هزینه عملیاتی | محصولات           |   |
|--|--|--|---------------------|-------------|---------------|---------------|-------------------|---|
|  |  |  | ۰/۹۸                | ۳۰۰۰۰       | ۱۵۰           | ۹۰۰           | قیر ۶۰۷۰          | ۱ |
|  |  |  | ۰/۹۸                | ۳۰۰۰۰       | ۱۵۰           | ۹۰۰           | قیر ۸۵۱۰۰         | ۲ |
|  |  |  | ۱/۱۴                | ۳۴۷۸۰       | ۱۷۰           | ۱۰۴۰          | قیر PG5822        | ۳ |
| ۲۵۰                                      | ۴۸۰  | ۱,۴۵۰                                    | ۰/۹۶                | ۲۹۲۵۰       | ۱۵۰           | ۸۸۰           | قیر PG6422        | ۴ |
|  |  |  | ۱                   | ۳۰۴۵۰       | ۱۵۰           | ۹۱۰           | قیر PG7010        | ۵ |
| ۰  | ۰  | ۵۰                                       | ۰/۸۷                | ۲۶۵۰۰       | ۱۳۰           | ۸۰۰           | قیر امولسیون CRS1 | ۶ |
| ۱۰۰                                      | ۱۲۰  | ۳۰۰                                      | ۱/۲۷                | ۳۹۰۰۰       | ۲۰۰           | ۱۱۷۰          | قیر MC250         | ۷ |

جدول ۵. اطلاعات تأمین‌کنندگان

| اختصار          | حداکثر ظرفیت (تن) | فروش بر اساس قیمت لحظه‌ای بازار | فروش بر اساس معامله |
|-----------------|-------------------|---------------------------------|---------------------|
| i <sub>1</sub>  | ۱,۵۵۰,۰۰۰         | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>2</sub>  | ۲۶۱,۱۳۰           | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>3</sub>  | ۵۱۰,۰۰۰           | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>4</sub>  | ۵۰۱,۰۰۰           | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>5</sub>  | ۱,۸۶۰,۰۰۰         | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>6</sub>  | ۱,۱۰۰,۰۰۰         | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>7</sub>  | ۳۵۰,۰۰۰           | ۱                               | ۱                   |
| i <sub>8</sub>  | ۷۰۰,۰۰۰           | ۱                               | ۰                   |
| i <sub>9</sub>  | ۴۰۰,۰۰۰           | ۱                               | ۰                   |
| i <sub>10</sub> | ۵۰۰,۰۰۰           | ۱                               | ۰                   |

جدول ۶. هزینه حمل‌ونقل به ازای هر تن

| مبدأ تأمین‌کنندگان    | مقصد سایت اصفهان | مقصد سایت بندرعباس | مقصد سایت آبادان |
|-----------------------|------------------|--------------------|------------------|
| پالایش نفت اصفهان     | خط لوله          | ۲۸۱۰۰۰             | ۲۲۰۰۰۰           |
| پالایش نفت آبادان     | ۲۲۲۰۰۰           | ۲۷۰۰۰۰             | خط لوله          |
| پالایش نفت تبریز      | ۱۸۵۰۰۰           | ۴۲۰۰۰۰             | ۲۹۰۰۰۰           |
| پالایش نفت سازند اراک | ۱۴۸۰۰۰           | ۳۸۰۰۰۰             | ۲۰۰۰۰۰           |
| پالایش نفت بندرعباس   | ۲۸۱۰۰۰           | خط لوله            | ۲۷۰۰۰۰           |
| پالایش نفت تهران      | ۱۶۳۰۰۰           | ۳۶۰۰۰۰             | ۱۹۰۰۰۰           |
| پالایش نفت شیراز      | ۱۳۳۰۰۰           | ۲۸۴۰۰۰             | ۱۸۰۰۰۰           |
| پالایش نفت هرمز       | ۲۹۶۰۰۰           | ۱۷۰۰۰۰             | ۳۲۰۰۰۰           |
| پالایش نفت آناهیتا    | ۱۷۴۰۰۰           | ۳۴۰۰۰۰             | ۲۳۰۰۰۰           |
| پالایش نفت خوزستان    | ۲۳۰۰۰۰           | ۲۹۰۰۰۰             | ۱۴۰۰۰۰           |

جدول ۷. ظرفیت ذخیره‌سازی مواد اولیه و محصولات

| مواد اولیه و محصولات                  | سایت اصفهان | سایت بندرعباس | سایت آبادان |
|---------------------------------------|-------------|---------------|-------------|
| ظرفیت مخازن ذخیره مواد اولیه          | ۳۵,۰۰۰,۰۰۰  | ۱۲,۰۰۰,۰۰۰    | ۷,۰۰۰,۰۰۰   |
| ظرفیت مخازن ذخیره محصولات             | ۷۵,۰۰۰,۰۰۰  | ۵۲۴,۰۰۰,۰۰۰   | ۳۶۰,۰۰۰,۰۰۰ |
| ظرفیت مظروف‌سازی محصولات (مظروف بشکه) | ۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰ | ۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰   |             |

جدول ۸. معیارهای انتخاب شده توسط خبرگان

| بار عاملی | میانگین امتیازات | معیارها                   | نماد  | شاخص های پایداری |
|-----------|------------------|---------------------------|-------|------------------|
| ۰/۸۴۱     | ۲/۸۲۱            | کیفیت                     | ECO1  | اقتصادی          |
| ۰/۸۱۹     | ۳/۲۵۰            | قیمت محصول                | ECO2  |                  |
| ۰/۸۳۸     | ۳/۱۷۹            | اختلال در فرآیند تولید    | ECO5  |                  |
| ۰/۸۲۴     | ۳/۳۲۱            | هزینه کل لجستیک           | ECO11 |                  |
| ۰/۷۶۱     | ۳/۰۰۰            | نوسان عرضه محصول          | ECO26 |                  |
| ۰/۷۹۸     | ۲/۸۹۳            | سیستم مدیریت زیست محیطی   | ENV3  | زیست محیطی       |
| ۰/۷۹۳     | ۳/۱۷۹            | انتشار سایر آلاینده ها    | ENV7  |                  |
| ۰/۷۲۷     | ۳/۱۰۷            | قابلیت تحقیق و توسعه      | ENV9  |                  |
| ۰/۷۹۲     | ۳/۰۷۱            | مصرف انرژی                | ENV23 |                  |
| ۰/۸۰۴     | ۳/۳۲۱            | بهداشت و ایمنی کار        | SOC1  |                  |
| ۰/۷۸۰     | ۲/۹۲۹            | توجه به سیاست های اجتماعی | SOC2  | اجتماعی          |
| ۰/۸۳۲     | ۳/۲۸۶            | رضایت کارکنان             | SOC10 |                  |
| ۰/۷۳۷     | ۲/۹۶۴            | برابری فرصت های شغلی      | SOC13 |                  |

**تحلیل توسعه چانگ.** از روش تحلیل توسعه چانگ برای تعیین وزن معیارها استفاده شده است (جدول ۸). برای این کار پرسشنامه ای تدوین و در میان ۱۰ نفر از خبرگان توزیع شد. نتایج، محاسبه و وزن مربوط به شاخص ها در

جدول ۹، نشان داده شده است. ناسازگاری مقایسه ها کمتر از ۰/۱ است؛ بنابراین مقایسات قابل اعتماد هستند.

**تاپسیس فازی.** بر اساس نظر پژوهشگر و کارشناسان، ۱۰ مورد از ۱۳ معیار ارائه شده در جدول برای ارزیابی تأمین کنندگان با استفاده از روش تاپسیس فازی انتخاب شده اند. این معیارها عبارتند از: کیفیت؛ اختلال در فرآیند تولید؛ سیستم مدیریت زیست محیطی؛ انتشار سایر آلاینده ها؛ قابلیت تحقیق و توسعه؛ مصرف انرژی؛ بهداشت و ایمنی کار؛ توجه به سیاست های اجتماعی؛ رضایت کارکنان و برابری فرصت های شغلی. در جدول ۱۰، فاصله ایده آل فازی و ضدایده آل فازی از هر یک از تأمین کنندگان محاسبه شده و بر این اساس، شاخص شباهت و رتبه بندی برای هر یک از آنها ارائه شده است.

جدول ۹. تعیین اولویت نهایی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده

| شاخص‌های پایداری | وزن خوشه | معیارها                   | نماد  | وزن محلی | وزن نهایی | اهمیت معیارها |
|------------------|----------|---------------------------|-------|----------|-----------|---------------|
| اقتصادی          | ۰.۵۷۰    | کیفیت                     | ECO1  | ۰/۱۰۷    | ۰/۰۶۱     | ۷             |
|                  |          | قیمت محصول                | ECO2  | ۰/۱۷۸    | ۰/۱۰۲     | ۴             |
|                  |          | اختلال در فرآیند تولید    | ECO5  | ۰/۰۵۲    | ۰/۰۲۹     | ۹             |
|                  |          | لجستیک                    | ECO11 | ۰/۳۷۶    | ۰/۲۱۴     | ۱             |
|                  |          | نوسان در عرضه محصول       | ECO26 | ۰/۲۸۷    | ۰/۱۶۳     | ۲             |
| زیست‌محیطی       | ۰.۲۷۱    | سیستم مدیریت زیست‌محیطی   | ENV3  | ۰/۴۲۷    | ۰/۱۱۶     | ۳             |
|                  |          | انتشار سایر آلاینده‌ها    | ENV7  | ۰/۳۶۲    | ۰/۰۹۸     | ۵             |
|                  |          | قابلیت تحقیق و توسعه      | ENV9  | ۰/۱۸۶    | ۰/۰۵      | ۸             |
|                  |          | مصرف انرژی                | ENV23 | ۰/۰۳۶    | ۰/۰۰۷     | ۱۳            |
| اجتماعی          | ۰.۱۵۹    | بهداشت و ایمنی کارگر      | SOC1  | ۰/۵۶۷    | ۰/۰۹      | ۶             |
|                  |          | توجه به سیاست‌های اجتماعی | SOC2  | ۰/۱۶۴    | ۰/۰۲۶     | ۱۰            |
|                  |          | رضایت کارکنان             | SOC10 | ۰/۱۶۰    | ۰/۰۲۵     | ۱۱            |
|                  |          | برابری فرصت‌های شغلی      | SOC13 | ۰/۱۰۹    | ۰/۰۱۷     | ۱۲            |

جدول ۱۰. راه‌حل ایده‌آل و ضدایده‌آل فازی، شاخص شباهت و رتبه‌بندی

| رتبه‌بندی | وزن نرمالایز | شاخص شباهت | s <sup>-</sup> | s <sup>+</sup> | تأمین‌کنندگان                        |
|-----------|--------------|------------|----------------|----------------|--------------------------------------|
| ۱         | ۰/۱۰۵۸       | ۰/۵۸۰      | ۰/۲۴۱          | ۰/۱۷۴          | I <sub>1</sub> پالایش نفت اصفهان     |
| ۹         | ۰/۰۹۰۵       | ۰/۴۹۶      | ۰/۱۹۹          | ۰/۲۰۲          | I <sub>2</sub> پالایش نفت آبادان     |
| ۳         | ۰/۱۰۴۹       | ۰/۵۷۵      | ۰/۲۳۹          | ۰/۱۷۶          | I <sub>3</sub> پالایش نفت تبریز      |
| ۲         | ۰/۱۰۵۵       | ۰/۵۷۸      | ۰/۲۴۱          | ۰/۱۷۶          | I <sub>4</sub> پالایش نفت شازند اراک |
| ۸         | ۰/۰۹۷۶       | ۰/۵۳۵      | ۰/۲۳۲          | ۰/۲۰۲          | I <sub>5</sub> پالایش نفت بندرعباس   |
| ۴         | ۰/۱۰۴۹       | ۰/۵۷۵      | ۰/۲۳۹          | ۰/۱۷۶          | I <sub>6</sub> پالایش نفت تهران      |
| ۱۰        | ۰/۰۸۷۲       | ۰/۴۷۸      | ۰/۱۹۱          | ۰/۲۰۹          | I <sub>7</sub> پالایش نفت شیراز      |
| ۶         | ۰/۱۰۱۴       | ۰/۵۵۶      | ۰/۲۳۵          | ۰/۱۸۷          | I <sub>8</sub> پالایش نفت هرمز       |
| ۷         | ۰/۱۰۰۶       | ۰/۵۵۲      | ۰/۲۳۳          | ۰/۱۹۰          | I <sub>9</sub> پالایش نفت آن‌اهیتا   |
| ۵         | ۰/۱۰۱۸       | ۰/۵۵۸      | ۰/۲۳۷          | ۰/۱۸۸          | I <sub>10</sub> پالایش نفت خوزستان   |

شاخص شباهت بیشترین مقدار را برای «پالایش نفت اصفهان» و کمترین مقدار را برای «پالایش نفت شیراز» دارد؛ بنابراین با توجه به ۱۰ معیار در نظر گرفته شده و با توجه به روش

تأسیس فازی و بدون لحاظ ریسک تأمین‌کنندگان، «پالایش نفت شیراز» دارای آخرین اولویت و «پالایش نفت اصفهان» دارای بالاترین اولویت در زنجیره تأمین است.

**تجزیه و تحلیل سناریوهای بالقوه شکست و اثرات آن (FMEA).** با توزیع پرسشنامه مربوط به شناسایی ریسک‌ها و نظرسنجی از خبرگان، تعدادی از ریسک‌های انتخاب‌شده از پیشینه پژوهش، حذف و برخی از آن‌ها ادغام شدند. معیارهای ریسک در مطالعه موردی فعلی عبارت‌اند از: کیفیت؛ قیمت محصول؛ اختلال در فرآیند تولید؛ نوسان در عرضه محصول؛ انتشار سایر آلاینده‌ها؛ بهداشت و ایمنی کار. چهار معیار شامل کیفیت، اختلال، انتشار آلاینده‌ها و بهداشت کار و ایمنی کارگر به‌عنوان ریسک‌های کیفی با روش FMEA ارزیابی شدند. مقادیر ریسک برای این معیارها در جدول ۱۱، آورده شد.

جدول ۱۱. مقادیر ریسک تأمین‌کنندگان بدون در نظر گرفتن وزن معیارها

| تأمین‌کننده                          | کیفیت | اختلال در فرآیند تولید | انتشار سایر آلاینده‌ها | بهداشت و ایمنی کار |
|--------------------------------------|-------|------------------------|------------------------|--------------------|
| i <sub>1</sub> پالایش نفت اصفهان     | ۰/۰۱  | ۰/۲۶۴                  | ۰/۱۱۲                  | ۰/۱۴۱              |
| i <sub>2</sub> پالایش نفت آبادان     | ۰/۰۱۱ | ۰/۱۲۶                  | ۰/۱۶۲                  | ۰/۱۸۹              |
| i <sub>3</sub> پالایش نفت تبریز      | ۰/۰۱۲ | ۰/۰۹۳                  | ۰/۲۲۵                  | ۰/۱۷۸              |
| i <sub>4</sub> پالایش نفت شازند اراک | ۰/۰۱۲ | ۰/۱۰۶                  | ۰/۱۵۸                  | ۰/۲۴۴              |
| i <sub>5</sub> پالایش نفت بندرعباس   | ۰/۰۰۸ | ۰/۱۱۸                  | ۰/۱۶۴                  | ۰/۱۶۸              |
| i <sub>6</sub> پالایش نفت تهران      | ۰/۰۱  | ۰/۱۰۸                  | ۰/۱۵۴                  | ۰/۱۶۹              |
| i <sub>7</sub> پالایش نفت شیراز      | ۰/۰۱۳ | ۰/۱۱۵                  | ۰/۱۶                   | ۰/۱۵۵              |
| i <sub>8</sub> پالایش نفت هرمز       | ۰/۰۱۵ | ۰/۶۶۶                  | ۰/۲۵۸                  | ۰/۵۰۶              |
| i <sub>9</sub> پالایش نفت آناهیتا    | ۰/۰۰۹ | ۰/۶۸۱                  | ۰/۶۴۶                  | ۰/۱۹۶              |
| i <sub>10</sub> پالایش نفت اصفهان    | ۰/۰۰۵ | ۰/۱                    | ۰/۱۲۳                  | ۰/۱۵۶              |

مقادیر ریسک نرمال‌شده حاصل از محاسبات FMEA برای هر تأمین‌کننده در جدول ۱۲، مشاهده می‌شود.

جدول ۱۲. مقادیر ریسک کل برای هر تأمین‌کننده

| تأمین‌کننده | i <sub>1</sub> | i <sub>2</sub> | i <sub>3</sub> | i <sub>4</sub> | i <sub>5</sub> | i <sub>6</sub> | i <sub>7</sub> | i <sub>8</sub> | i <sub>9</sub> | i <sub>10</sub> |
|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|
| ریسک کل     | ۰/۰۴           | ۰/۰۵۱          | ۰/۰۵۵          | ۰/۰۵۹          | ۰/۰۴۷          | ۰/۰۴۶          | ۰/۰۴۵          | ۰/۱۲           | ۰/۱۰۸          | ۰/۰۴۹           |

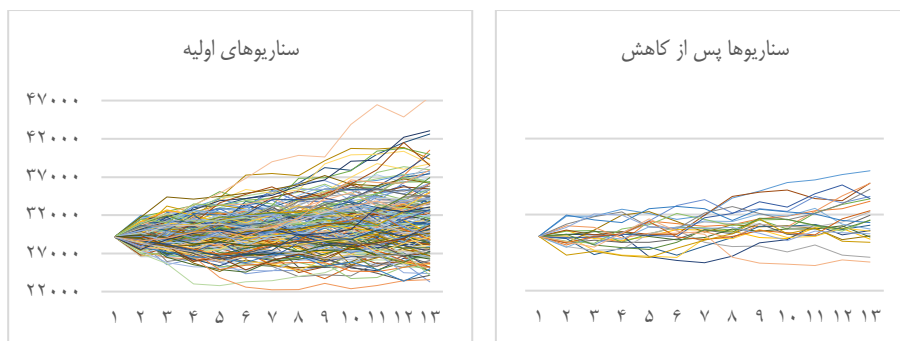


تلفیق نتایج تاپسیس فازی و تجزیه و تحلیل سناریوهای بالقوه شکست و اثرات آن. مقادیر درصد ریسک کل در جدول ۱۳، آمده است.

جدول ۱۳. درصد ریسک

| $i_{10}$ | $i_9$ | $i_8$ | $i_7$ | $i_6$ | $i_5$ | $i_4$ | $i_3$ | $i_2$ | $i_1$ | تأمین کننده                  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------------------|
| ۰/۱۰۲    | ۰/۱۰۱ | ۰/۱۰۱ | ۰/۰۸۷ | ۰/۱۰۵ | ۰/۰۹۸ | ۰/۱۰۵ | ۰/۱۰۵ | ۰/۰۹۰ | ۰/۱۰۶ | امتیاز FTOPSIS               |
| ۰/۰۴۹    | ۰/۱۰۸ | ۰/۱۲  | ۰/۰۴۵ | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۴۷ | ۰/۰۵۹ | ۰/۰۵۵ | ۰/۰۵۱ | ۰/۰۴  | ریسک<br>تأمین کنندگان        |
| ۰/۰۴۴    | ۰/۰۹۷ | ۰/۱۰۸ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۴۲ | ۰/۰۵۳ | ۰/۰۴۹ | ۰/۰۴۶ | ۰/۰۳۵ | مقادیر ریسک کل ( $R_{s_i}$ ) |

**مدل سازی عدم قطعیت.** عدم اطمینان در قیمت بازار، قیمت خرید قرارداد اختیار و قیمت اعمال قرارداد؛ افق برنامه ریزی شامل ۱۲ دوره است. سناریوهای قیمت بر اساس حرکت براونی هندسی، با نوسانات و رانش ماهانه تولید می‌شوند. سناریوهای اولیه و سناریوهای پس از کاهش برای قیمت در نمودار ۱ نمایان است.



نمودار ۱. سناریوهای قیمت بازار و کیوم باتوم

**عدم اطمینان تقاضا، عرضه مواد اولیه و قرارداد اختیار معامله:** برای برآورد تقاضای محصولات، عرضه مواد اولیه و قرارداد اختیار معامله بازارهای بالقوه داخلی و صادراتی، شناسایی و سپس بر اساس مدل اصلاح شده خودرگرسیون مرتبه اول، سناریوهای ماهیانه در افق برنامه ریزی معرفی شده است.

**حل مدل تصادفی چندمرحله‌ای با استفاده از حل‌کننده تجاری:** برنامه تصادفی توسعه‌یافته برای یک مطالعه موردی با استفاده از نرم‌افزار تجاری GAMS توسط حل‌کننده CPLEX حل شده است. مسئله مربوطه تحلیل شده و بینش مدیریتی بر اساس نتایج عددی استخراج شده است. یادآوری می‌شود که از یک رایانه شخصی با پردازنده Intel(R) Core(TM) i3 CPU M 370 @ 2.40GHz 2.40 GHz و رم ۴ گیگابایت برای کلیه موارد اجرا در این بخش استفاده می‌شود.

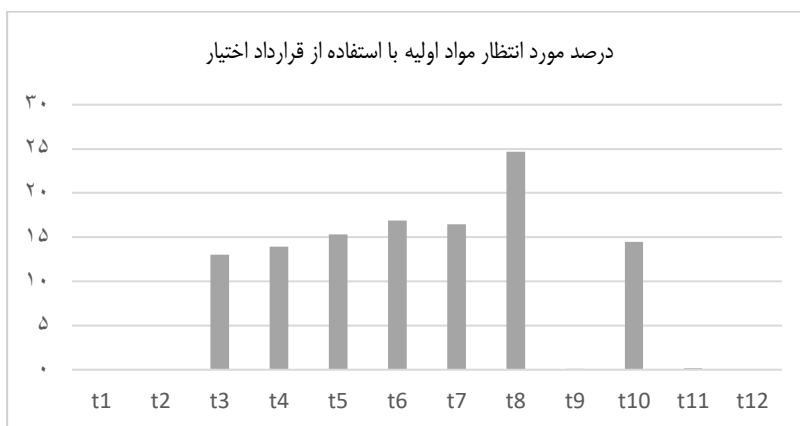
ابتدا یک درخت سناریو در نظر گرفته شده و برنامه تصادفی ریسک خنثی حل شده است. برای حل مدل به روش یعقوبی و تمیز (۲۰۰۷)، تعیین سطح آرمان و حداکثر انحراف برای هر یک از توابع هدف ضروری است [۴۶]. برای تعیین سطح آرمان در توابع هدف، هر یک از این توابع به‌طور جداگانه اجرا و مقدار به‌دست‌آمده از حل هر یک به‌عنوان سطح ایده‌آل لحاظ شده است. سطح ایده‌آل برای تابع هدف اول  $3.62534E+14$  تعیین شده است. برای تعیین سطح ایده‌آل تابع هدف دوم، روش بالا مناسب نیست؛ زیرا تابع هدف دوم برای به‌حداقل‌رساندن درصد ریسک انتخاب تأمین‌کننده است و اگر به‌طور جداگانه و تک‌هدفی اجرا شود، مقدار تابع هدف صفر می‌شود. برای تعیین مقدار مناسب سطح ایده‌آل تابع هدف دوم، مقادیر متغیر تصمیم تولید به‌دست‌آمده از اجرای تابع هدف اول به‌عنوان یک پارامتر ثابت در تابع هدف دوم لحاظ می‌شود. مدل خواستار این است که باید این مقدار مواد اولیه تأمین شود؛ بنابراین بهترین تأمین‌کنندگان که با انتخاب آن‌ها درصد ریسک به‌حداقل می‌رسد، تعیین می‌شوند. مقدار سطح ایده‌آل تابع هدف دوم  $7.677896E+7$  تعیین شده است. تعیین حداکثر انحراف قابل‌قبول برای توابع هدف پارامتری است که به انتظارات مدیریت ارشد وابسته است.  $0/2$  درصد از مبلغ هزینه کل در ازای بهبود ۲۰ درصد پایداری تأمین‌کنندگان قابل‌قبول است؛ بنابراین برای تابع هدف اول  $\Delta^U$  برابر با  $7.25068E+11$  و برای تابع هدف دوم  $\Delta^U$  برابر با  $1.535579E+7$  است. مقدار عینی مطلوب تابع هدف اول مسئله برابر با  $3.63255E+14$  است که در آن میانگین هزینه‌های استراتژیک شامل قرارداد اختیار معامله برابر  $1.95401E+11$  و هزینه بهبود پایداری برابر با  $7.20984E+11$  و هزینه‌های تاکتیکی  $3.63060E+14$  است؛ همچنین مقدار عینی مطلوب تابع هدف دوم مسئله برابر با  $8.158196E+7$  است. راه‌حل برنامه تصادفی را می‌توان به‌عنوان تقریبی برای واقعیت در نظر گرفت. در استراتژی خرید بهینه، نمودار ۲، درصد موردانتظار مواد اولیه (ته‌ماند برج تقطیر) را که با استفاده از قرارداد اختیار خرید در هر دوره تاکتیکی خریداری شده است، نشان می‌دهد. نتایج تخصیص سفارش در

جدول ۱، نشان داده شده است. هزینه حمل‌ونقل نیز تأثیر عمده‌ای در تصمیمات خرید و هزینه‌های زنجیره تأمین دارد. هزینه حمل‌ونقل به فاصله، ظرفیت وسیله، شرایط جاده و ترافیک بستگی دارد که «شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی» با توجه به تمامی پارامترها، هزینه

حمل‌ونقل را بر حسب تناژ تعیین کرده است. تأمین‌کنندگان ۱ و ۲ و ۵ نقش اصلی را در تأمین «شرکت پالایش نفت جی»، به‌دلیل خط لوله دارند (جدول ۴)

جدول). برنامه‌ریزی تولید محصول در سایت‌های شرکت بر حسب تناژ در جدول ۵، آورده شده است. شبیه‌سازی با مقادیر مختلف uCVaR و  $\beta$  صورت گرفت؛ درحالی‌که uCVaR نشان‌دهنده حد بالاتر CVaR هزینه‌های قابل‌پذیرش است،  $\beta$  هزینه موردانتظار مشروط در سبد خرید را نشان می‌دهد. هرچه مقادیر uCVaR بیشتر و  $\beta$  کمتر باشد، ریسک پذیرفته‌شده بیشتر است. نمودار ۳، تغییرات در هزینه‌های خرید موردانتظار (تابع هدف) با توجه به تغییر در سطح ریسک را نشان می‌دهد. چهار منحنی با سطوح اطمینان مختلف رسم شده است ( $\beta = 95\%$ ،  $92\%$ ،  $90\%$ ،  $80\%$ ) که مرزهای کارآمد سبد خرید را با استفاده از CVaR برای مدل نشان می‌دهند. نقاط موجود در نمودار ۳، نشان‌دهنده یک نتیجه مطلوب برای هر ترکیب uCVaR و  $\beta$  در مدل است. تغییرات در مقدار موردانتظار تابع هدف با کاهش ریسک افزایش می‌یابد. هرچه مقدار uCVaR (حد بالا) کمتر باشد، هزینه‌ها در سناریوهای بدتر بیشتر است (کاهش ریسک). نقطه A نشان‌دهنده بالاترین ریسک و کمترین هزینه موردانتظار است؛ درحالی‌که نقاط B، C، D و E نشان‌دهنده کمترین ریسک با توجه به سطح اطمینان هستند. در نقطه A، مقدار uCVaR برابر با نتیجه بدترین حالت در شرایط بدون محدودیت ریسک است؛ بنابراین راه‌حل در نقطه A همان راه‌حل با ریسک محدود نشده است. تصمیم‌گیرندگان سطح ریسکی را که مایل به مواجهه با آن هستند، انتخاب می‌کنند. هرچه مقدار سطوح اطمینان کمتر باشد، تغییر در هزینه برای همان مقدار CVaR پایین‌تر خواهد بود. در نظر گرفتن محدودیت‌های ریسک در مدل بهینه‌سازی به افزایش مقدار مطلوب بهینه و هزینه‌های استراتژیک مربوط به انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از قرارداد اختیار معامله منجر می‌شود (جدول ۶). در محدود کردن ریسک زنجیره تأمین، افزایش مقدار مطلوب بهینه را می‌توان به‌عنوان هزینه کاهش ریسک در زنجیره تأمین تفسیر کرد. نمودار ۳، نشان‌دهنده تغییر مقدار موردانتظار هزینه‌های استراتژیک و تاکتیکی و مقدار تابع هدف در سطوح مختلف CVaR و  $\beta = 95\%$  است. کاهش پارامتر CVaR، سطح بالاتری از وضعیت ریسک‌گریزی را نشان می‌دهد. برای یک سطح اطمینان ثابت ( $\beta$ )، انتظار می‌رود که هزینه‌های استراتژیک و مقدار هدف بهینه با افزایش سطح ریسک‌گریزی، افزایش یابد و مقدار موردانتظار هزینه‌های تاکتیکی کاهش یابد. برای یک مقدار ثابت از پارامتر CVaR و مقادیر بزرگ‌تر برای سطح اطمینان ( $\beta$ )، انتظار از هزینه‌های استراتژیک و مقدار بهینه هدف افزایش می‌یابد؛ اما انتظار از هزینه‌های تاکتیکی کاهشی است. با استفاده از معیار ارزش در معرض ریسک، می‌توان بر اساس سطح اطمینان ( $\beta$ ) و CVaR برای کل هزینه‌های تاکتیکی و نگرش ریسک تصمیم‌گیرنده برنامه‌ریزی کرد. سیاست با سطح بالاتری از ریسک‌گریزی به سطح بالاتر خرید اختیار منجر می‌شود. استراتژی کاهش با استفاده از قرارداد اختیار برای کاهش ریسک مربوط به

عدم اطمینان قیمت و عرضه تأمین کنندگان تنظیم شده است. برای بررسی تأثیر استراتژی قرارداد اختیار، برنامه تصادفی چندمرحله‌ای که در آن  $CF_{i,t',t,s}$  برای هر تأمین کننده صفر تنظیم شده، حل می‌شود و در جدول ۶ نتایج حل مسئله تصادفی ریسک خنثی گزارش شده است. با لحاظ ریسک پایداری، مقدار تابع هدف و انتظار از هزینه‌های تاکتیکی افزایش می‌یابد؛ همچنین بدون استراتژی کاهش، مقدار تابع هدف و انتظار از هزینه‌های تاکتیکی افزایش می‌یابد؛ با این حال تأثیرات این استراتژی بر یک زنجیره تأمین می‌تواند با در نظر گرفتن سطوح مختلف عدم اطمینان مربوط به قیمت و عرضه ایجاد شود. به طور کلی افزایش رزرو با استفاده از قرارداد اختیار به برنامه‌ریزی خرید انعطاف‌پذیرتری منجر می‌شود.



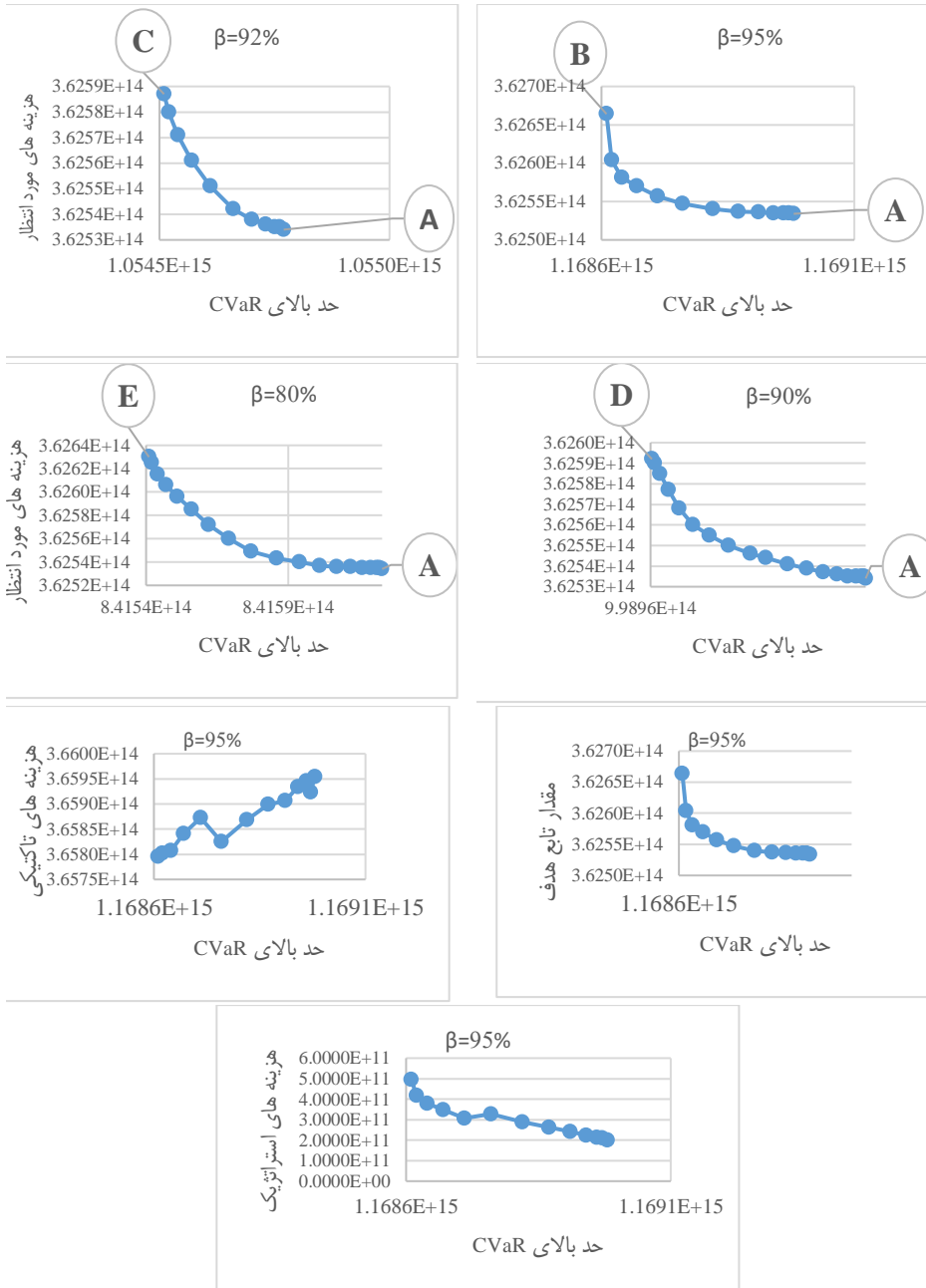
نمودار ۲. میانگین درصد ماده اولیه که با استفاده از قرارداد اختیار در هر دوره تهیه می‌شود.

جدول ۱۴. درصد متوسط مواد اولیه تهیه شده از تأمین کنندگان مختلف

| تأمین کننده     | دوره |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |      |
|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|------|
|                 | t12  | t11  | t10  | t9   | t8   | t7   | t6   | t5   | t4   | t3   | t2  | t1   |      |
| i <sub>1</sub>  | ۶۵/۴ | ۷۱/۷ | ۶۶/۳ | ۶۶/۸ | ۶۴/۵ | ۶۸/۴ | ۶۴/۷ | ۶۵/۸ | ۶۳/۷ | ۶۴/۶ | ۶۳  | ۶۳/۵ | ۶۱/۴ |
| i <sub>2</sub>  | ۴/۶  | ۲/۸  | ۲/۱  | ۲/۵  | ۳/۳  | ۲/۸  | ۳/۶  | ۵/۵  | ۵/۱  | ۵/۶  | ۶/۹ | ۷/۱  | ۸/۳  |
| i <sub>3</sub>  | ۰/۷  | ۰    | ۱/۳  | ۱/۳  | ۱/۱  | ۰/۱  | ۰/۴  | ۰/۵  | ۱/۵  | ۰/۳  | ۰/۶ | ۰    | ۰/۷  |
| i <sub>4</sub>  | ۱/۱  | ۰/۳  | ۱/۷  | ۲/۱  | ۱/۳  | ۱/۱  | ۰/۷  | ۰/۵  | ۱/۵  | ۰/۶  | ۰/۴ | ۱/۵  | ۰/۹  |
| i <sub>5</sub>  | ۲۰/۴ | ۲۴/۶ | ۱۸/۵ | ۱۹/۵ | ۱۹/۹ | ۱۷/۹ | ۱۹/۱ | ۲۰/۴ | ۲۱/۷ | ۲۰/۹ | ۲۰  | ۲۰/۹ | ۲۰/۶ |
| i <sub>6</sub>  | ۱/۹  | ۰/۶  | ۱/۴  | ۱/۸  | ۲/۳  | ۱/۲  | ۴/۱  | ۳/۵  | ۱/۴  | ۰/۳  | ۳/۳ | ۱/۷  | ۱/۱  |
| i <sub>7</sub>  | ۱/۸  | ۰    | ۱/۵  | ۰/۵  | ۲/۸  | ۳/۳  | ۱/۶  | ۱/۲  | ۲/۴  | ۲/۹  | ۱/۶ | ۱/۸  | ۱/۹  |
| i <sub>8</sub>  | ۰/۹  | ۰    | ۲/۲  | ۱/۵  | ۰/۷  | ۰/۴  | ۱/۴  | ۰/۷  | ۰/۵  | ۱    | ۱/۸ | ۰    | ۰/۶  |
| i <sub>9</sub>  | ۱    | ۰    | ۰    | ۱/۵  | ۱/۶  | ۱/۳  | ۲/۴  | ۰/۱  | ۰/۹  | ۱    | ۰/۸ | ۰/۴  | ۲/۲  |
| i <sub>10</sub> | ۲/۳  | ۰    | ۵    | ۲/۳  | ۲/۴  | ۳/۴  | ۲    | ۱/۹  | ۱/۲  | ۲/۸  | ۱/۲ | ۲/۹  | ۲/۲  |

جدول ۱۵. برنامه‌ریزی تولید محصول در سایت‌های «شرکت پالایش نفت جی» بر حسب تناژ

|      | t12  | t11  | t10  | t9   | t8   | t7   | t6   | t5   | t4   | t3   | t2   | t1 |                                |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|--------------------------------|
| ۲۷۷۹ | ۱۸۱۹ | ۱۵۹۱ | ۲۳۶۷ | ۲۸۲۸ | ۳۵۰۰ | ۴۵۴۳ | ۴۳۸۰ | ۴۲۵۳ | ۴۹۸۱ | ۴۹۶۵ | ۵۳۵۹ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>1</sub> |
|      | ۹    | ۸    | ۲    | ۲    | ۳    | ۸    | ۸    | ۶    | ۵    | ۹    | ۱    |    |                                |
| ۴۴۴۷ | ۵۵۵۰ | ۶۵۲۸ | ۷۸۱۲ | ۸۷۴۵ | ۶۷۷۵ | ۴۲۰۴ | ۸۴۲۴ | ۱۰۶۰ | ۱۰۲۲ | ۷۱۶۸ | ۵۰۳۸ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>2</sub> |
|      |      |      |      |      |      |      |      | ۳    | ۵    |      |      |    |                                |
| ۲۵۷۰ | ۵۵۹۰ | ۷۲۲۸ | ۷۸۰۳ | ۵۷۰۲ | ۸۳۸۵ | ۸۰۸۰ | ۶۹۲۸ | ۸۵۷۱ | ۸۳۶۶ | ۶۹۹۵ | ۷۲۲۴ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>3</sub> |
| ۱۲۹۳ | ۲۸۵۲ | ۴۱۲۸ | ۴۲۵۸ | ۳۴۷۱ | ۴۴۸۸ | ۳۰۶۲ | ۲۵۸۴ | ۳۰۸۱ | ۲۶۸۹ | ۳۷۷۹ | ۴۰۹۳ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>4</sub> |
| .    | .    | ۲    | ۶    | ۹    | ۸    | ۱    | ۷    | ۳    | ۱    | ۴    | .    |    |                                |
| ۱۰۸۷ | ۳۱۷۳ | ۹۳۳۷ | ۴۲۳۵ | ۸۷۳۳ | ۴۶۷۱ | ۵۵۲۱ | ۸۹۵۲ | ۱۲۶۹ | ۶۹۱۷ | ۱۰۲۸ | ۸۲۴۱ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>5</sub> |
|      |      |      |      |      |      |      |      | ۷    |      | .    |      |    |                                |
| ۶۹۹  | ۲۶۴۰ | ۲۸۳۵ | ۲۸۵۹ | ۲۹۴۵ | ۳۱۲۵ | ۳۱۵۸ | ۳۲۷۱ | ۳۱۵۶ | ۲۵۷۲ | ۳۹۹۰ | ۴۰۵۲ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>6</sub> |
| ۴۳۱۴ | ۱۲۶۰ | ۱۴۴۵ | ۱۵۶۱ | ۱۳۹۵ | ۱۵۷۸ | ۱۴۷۲ | ۱۶۹۳ | ۱۹۱۹ | ۲۰۱۵ | ۲۰۳۷ | ۲۲۷۳ |    | m <sub>1</sub> .k <sub>7</sub> |
|      | ۷    | ۶    | ۴    | ۷    | ۳    | ۹    | ۵    | ۳    | ۹    | ۲    | ۴    |    |                                |
| ۱۹۸۵ | ۵۹۱۸ | ۹۴۱۳ | ۹۴۶۹ | ۹۵۸۳ | ۱۱۶۷ | ۱۱۷۶ | ۱۷۵۴ | ۱۶۰۶ | ۱۸۹۱ | ۱۸۳۹ | ۱۷۹۴ |    | m <sub>2</sub> .k <sub>1</sub> |
|      |      |      |      |      | ۱    | ۴    | .    | ۷    | ۶    | ۹    | ۲    |    |                                |
| ۱۴۱۳ | ۳۳۹۲ | ۱۶۸۹ | ۳۰۶۴ | ۴۰۶۳ | ۲۴۱۰ | ۱۰۵۸ | ۱۳۳۵ | ۵۲۳۷ | ۲۲۵۶ | ۲۱۷۱ | ۱۷۵۴ |    | m <sub>2</sub> .k <sub>2</sub> |
| ۸۷۲  | ۱۹۳۸ | ۲۶۶۹ | ۲۰۹۳ | ۱۶۸۹ | ۲۶۲۴ | ۲۴۵۵ | ۳۳۵۰ | ۲۵۳۴ | ۲۰۳۰ | ۲۴۸۰ | ۲۶۴۶ |    | m <sub>2</sub> .k <sub>3</sub> |
| ۲۹۵۲ | ۱۱۷۴ | ۱۰۲۰ | ۱۲۶۵ | ۹۸۳۵ | ۱۲۲۹ | ۱۴۰۹ | ۹۲۰۱ | ۹۱۹۳ | ۱۰۸۹ | ۱۱۱۹ | ۱۲۴۲ |    | m <sub>2</sub> .k <sub>4</sub> |
|      | ۵    | .    | ۴    |      | ۹    | .    |      |      | ۴    | ۳    | ۹    |    |                                |
| ۲۸۵  | ۱۳۲۳ | ۲۴۱۹ | ۱۵۹۸ | ۱۲۴۱ | ۳۶۸۱ | ۲۲۹۱ | ۴۱۸۹ | ۲۳۷۲ | ۱۹۰۳ | ۳۲۵۴ | ۳۰۹۱ |    | m <sub>2</sub> .k <sub>5</sub> |
| .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    |    | m <sub>2</sub> .k <sub>6</sub> |
| ۱۷۳۱ | ۵۱۸۰ | ۵۴۰۳ | ۵۸۹۲ | ۶۲۴۸ | ۶۰۸۱ | ۵۷۴۹ | ۶۶۵۵ | ۷۸۳۰ | ۸۱۴۴ | ۸۱۵۸ | ۹۱۰۵ |    | m <sub>2</sub> .k <sub>7</sub> |
| ۵۶   | ۲۷۷۴ | ۲۳۰۵ | ۴۳۹۵ | ۴۰۴۹ | ۷۸۵۴ | ۶۸۵۸ | ۷۷۶۵ | ۹۵۰۵ | ۹۷۷۰ | ۱۰۲۸ | ۸۹۹۶ |    | m <sub>3</sub> .k <sub>1</sub> |
|      |      |      |      |      |      |      |      |      | ۳    |      |      |    |                                |
| ۴۳۰  | ۱۰۵۸ | ۸۴۸  | ۱۶۷۵ | ۲۱۵۴ | ۱۳۷۹ | ۸۷۵  | ۸۸۲  | ۱۹۵۳ | ۱۵۹۰ | ۱۴۰۱ | ۸۵۸  |    | m <sub>3</sub> .k <sub>2</sub> |
| ۴۶   | ۹۹۱  | ۹۹۷  | ۱۳۹۳ | ۹۳۶  | ۱۴۳۰ | ۱۰۷۲ | ۲۰۲۱ | ۸۸۹  | ۱۱۸۱ | ۱۰۳۴ | ۱۹۰۵ |    | m <sub>3</sub> .k <sub>3</sub> |
| ۴۱۰  | ۶۶۲۰ | ۸۰۶۹ | ۶۷۳۱ | ۵۸۵۷ | ۵۷۰۸ | ۶۰۸۵ | ۵۷۲۰ | ۴۸۸۳ | ۵۰۰۹ | ۵۴۹۸ | ۶۴۸۸ |    | m <sub>3</sub> .k <sub>4</sub> |
| ۳۰۷  | ۶۸۳  | ۹۶۶  | ۶۶۴  | ۱۰۶۱ | ۹۴۷  | ۱۳۶۷ | ۲۲۶۵ | ۱۲۹۴ | ۱۲۵۵ | ۱۵۵۶ | ۱۸۹۹ |    | m <sub>3</sub> .k <sub>5</sub> |
| .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    | .    |    | m <sub>3</sub> .k <sub>6</sub> |
| ۴۳۴  | ۴۱۶۱ | ۴۴۶۵ | ۵۲۳۹ | ۴۵۶۷ | ۵۲۸۵ | ۵۱۵۸ | ۵۳۴۵ | ۶۳۲۷ | ۶۷۰۴ | ۷۱۲۴ | ۷۵۸۶ |    | m <sub>3</sub> .k <sub>7</sub> |

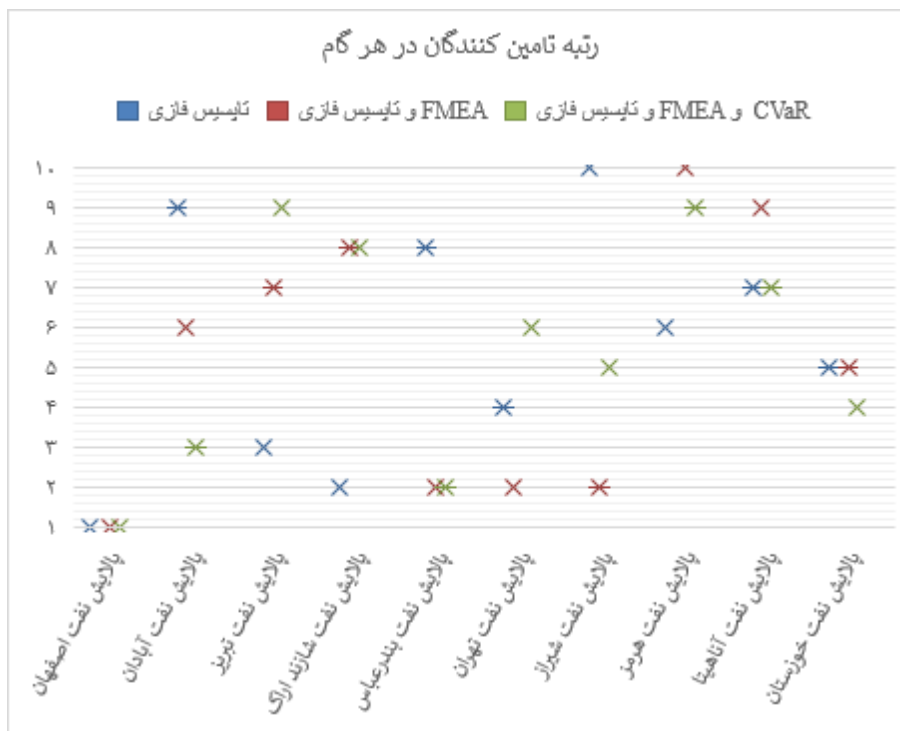


نمودار ۳. هزینه‌های استراتژیک، هزینه‌های تاکتیکی و مقدار تابع هدف در سطوح مختلف CVaR و  $\beta$

جدول ۱۲. مقادیر اهداف بهینه در شرایط ریسک‌پذیر، ریسک‌گریز، استراتژی کاهش، ریسک‌پایداری

| هزینه مورد انتظار   | هزینه مورد انتظار     | هزینه مورد انتظار | هزینه مورد انتظار   | تابع هدف دوم (ریسک پایداری) | هزینه مورد انتظار | هدف اول                           |
|---------------------|-----------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------|-----------------------------------|
| مورد انتظار تاکتیکی | مورد انتظار استراتژیک | انتخاب پایدار     | انتظار تابع هدف کلی |                             |                   |                                   |
| 3.65961E+14         | 1.96038E+11           |                   | 3.66157E+14         | 8.196967E+7                 | 3.62534E+14       | خنثی در برابر ریسک                |
| 3.65873E+14         | 3.07720E+11           |                   | 3.66181E+14         | 8.175985E+7                 | 3.62557E+14       | CVaR=1.16872E+15 و $\beta=95\%$   |
| 3.63060E+14         | 1.95401E+11           | 7.20984E+11       | 3.63278E+14         | 8.149077E+7                 |                   | مسئله اصلی                        |
| 3.63278E+14         | 0.000                 | 6.78864E+11       | 3.63278E+14         | 8.128268E+7                 |                   | بدون لحاظ رزرو اختیار معامله      |
| 3.62339E+14         | 1.95401E+11           | 0.000             | 3.63255E+14         | 8.022860E+7                 |                   | بدون لحاظ پایداری تأمین‌کنندگان   |
| 3.62600E+14         | 0.000                 | 0.000             | 3.62600E+14         | 8.028623E+7                 |                   | بدون لحاظ اختیار معامله و پایداری |

**تحلیل ریسک:** ملاک برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان تاپسیس فازی، FMEA، معیار ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) و همچنین قرارداد اختیار معامله است. به این صورت که یک بار بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده از روش تاپسیس فازی تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند. در گام دوم بر اساس تلفیق نتایج تاپسیس فازی و FMEA تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند که تأثیر در نظر گرفتن ریسک معیارهای کیفی با استفاده از FMEA مشخص می‌شود. در گام سوم بر اساس تلفیق نتایج تاپسیس فازی و FMEA و معیار ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR) تأمین‌کنندگان رتبه‌بندی می‌شوند که تأثیر در نظر گرفتن ریسک معیارهای کمی با استفاده از CVaR مشخص می‌شود. نمودار ۴، تأثیر ریسک بر کارایی تأمین‌کنندگان را نشان می‌دهد.



نمودار ۴. رتبه تأمین‌کنندگان قبل و بعد از در نظر گرفتن ریسک

##### ۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یکی از مهم‌ترین فعالیت‌ها برای موفقیت زنجیره تأمین، خرید مؤثر و کارآمد است. مهم‌ترین فعالیت عملیات خرید، انتخاب تأمین‌کننده مناسب است؛ زیرا برای سازمان صرفه‌جویی زیادی را به همراه دارد و می‌تواند یک مزیت رقابتی برای شرکت نسبت به سایر رقبا ایجاد کند؛ با این حال اگر تأمین‌کننده به‌درستی انتخاب نشود، شرکت‌ها با تهدید بزرگی مواجه می‌شوند. نتایج تحلیل حاکی از آن است که هر تصمیم‌گیرنده باید در کنار پایداری تأمین‌کننده دو رویکرد کلی برای کاهش ریسک داشته باشد: نخست اینکه تا حد امکان از قرار گرفتن در معرض ریسک خودداری کند و راهبردهایی مناسب برای مواجهه با ریسک مورد انتظار یا غیرمنتظره داشته باشد تا کمترین ضرر را متحمل شود. در این پژوهش با ترکیب تاپسیس فازی، FMEA و مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای و ارزش در معرض ریسک شرطی، تأثیر عوامل کمی و کیفی پایداری و ریسک در مدل به‌منظور انتخاب بهترین تأمین‌کننده و تخصیص بهینه سفارش بررسی شد. ریسک‌های کمی تحت سناریوهای مختلف حاصل از مدل‌سازی عدم قطعیت با روش‌های براونی هندسی و خودرگرسیون مرتبه نخست به‌عنوان عامل عدم قطعیت در نظر گرفته شد. قرارداد اختیار معامله به‌عنوان استراتژی کاهش در برابر عدم قطعیت‌ها استفاده شده است. رویکرد پیشنهادی در



یک زنجیره تأمین شامل چندین پالایشگاه به‌عنوان تأمین‌کننده و «شرکت پالایش نفت جی» که تولیدکننده قیر است با سه سایت پالایشی و ذخیره‌سازی به‌منظور انتخاب تأمین‌کننده، ارائه می‌شود. معیارهای کیفی پایداری در مرحله نخست ارزیابی و سپس مدل چندمحصولی، چنددوره‌ای و دوهدفه تدوین و تحلیل شد. کاهش هزینه‌های خرید و به‌حداقل‌رساندن ریسک پایداری از اهداف این پژوهش است.

افزایش تعداد تأمین‌کنندگان و میزان رزرو شده با استفاده از قرارداد اختیار، انعطاف‌پذیری برنامه‌ریزی تأمین را تحت عدم قطعیت‌های قیمت، عرضه و تقاضا بهبود می‌بخشد. بدون استفاده از قرارداد اختیار، هزینه‌های زنجیره تأمین افزایش می‌یابد. میزان رزرو ظرفیت با استفاده از قرارداد اختیار به هزینه قرارداد، قیمت اعمال اختیار و درصد رانش و نوسانات مقادیر قیمت در افق زمانی بستگی دارد. در یک زنجیره تأمین با برنامه‌ریزی خرید انعطاف‌پذیر، تحت اختلال و شرایط نامطلوب، تأمین‌کنندگان بیشتری برای تهیه مواد و منابع در دسترس هستند. با قراردادهای اختیار معامله و کمی‌سازی و محدودیت ریسک با بهره‌گیری از CVaR در برابر عدم اطمینان قیمت، تقاضا و عرضه تأمین‌کنندگان می‌توان تعادل بین انتظار و انحراف کل هزینه‌های زنجیره تأمین را بر اساس نگرش ریسک و هدف تصمیم‌گیرندگان تعیین کرد. در سیاستی برای برنامه‌ریزی خرید با سطح بالاتری از ریسک‌گریزی، سرمایه‌گذاری شرکت در تصمیمات استراتژیک افزایش می‌یابد. با افزایش ریسک‌گریزی، انتظار از هزینه‌های استراتژیک و مقدار هدف بهینه افزایش یافته و انتظار از هزینه‌های تاکتیکی کاهش می‌یابد. با افزایش سطح اطمینان، هزینه موردانتظار نیز افزایش می‌یابد.

### پیشنهادها برای پژوهش‌های آتی

- ادغام سایر تصمیمات زنجیره تأمین مربوط به سطوح برنامه‌ریزی استراتژیک/ تاکتیکی/ عملیاتی می‌تواند به الگوی جامع‌تری برای برنامه‌ریزی خرید تحت پایداری تأمین‌کنندگان و عدم اطمینان منجر شود؛
- فرصت‌های زیادی برای در نظر گرفتن سایر گزینه‌های تأمین منابع و استراتژی‌های کاهش از جمله عمده‌فروشی، انعطاف‌پذیری کمیّت و قرارداد تقسیم درآمد برای مقابله با عدم قطعیت به‌عنوان مباحث پژوهشی آینده وجود دارد؛
- دولت به‌عنوان یک نهاد تصمیم‌گیر نیز می‌تواند مدنظر قرار گیرد.

## منابع

1. Ahmadi, M., Molana, S. M. H., & Sajadi, S. M. (2017). A hybrid FMEA-TOPSIS method for risk management, case study: Esfahan Mobarakeh Steel Company. *International Journal of Process Management and Benchmarking*, 7(3), 397-408.
2. Alikhani, R., Torabi, S.A., & Altay, N. (2019). Strategic supplier selection under sustain-ability and risk criteria. *International Journal of Production Economics*, 208, 69-82.
3. Azar, Adel; Gholamzadeh, Rasool; Qanavati, Mehdi (2012). "Structural-structural modeling in management-application of SmartPLS software" Negah Danesh Publications, first edition.
4. Cheng, L., Wan, Z., & Wang, G. (2009). Bilevel newsvendor models considering retailer with CVaR objective. *Computers & Industrial Engineering*, 57(1), 310-318.
5. Dupačová, J., Gröwe-Kuska, N., & Römis, W. (2003). Scenario reduction in stochastic programming. *Mathematical programming*, 95(3), 493-511.
6. Dupačová, J. (1995). Multistage stochastic programs: The state-of-the-art and selected bibliography. *Kybernetika*, 31(2), 151-174.
7. Dweiri, F., Kumar, S., Khan, S. A., & Jain, V. (2016). Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. *Expert Systems with Applications*, 62, 273-283.
8. Eydi, A., & Bakhtiari, M. (2016). Evaluating and Selecting Two-Layers of Suppliers in Green Supply Chain using Hierarchical Fuzzy Topsis based on Alpha Levels. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 6(2), 91-121. (In Persian)
9. Fallahi, A., Azimi-Dastgerdi, M., & Mokhtari, H. (2021). A sustainable production-inventory model joint with preventive maintenance and multiple shipments for imperfect quality items. *Scientia Iranica*.
10. Fallahi, A., Mokhtari, H., & Niaki, S. T. A. (2021). Designing a closed-loop blood supply chain network considering transportation flow and quality aspects. *Sustainable Operations and Computers*, 2, 170-189.
11. Fattahi, M. (2017). Resilient procurement planning for supply chains: A case study for sourcing a critical mineral material. *Resources Policy*, 101093.
12. Feng-ge, Y. A. O., & Ping, Z. H. A. N. G. (2012). The measurement of operational risk based on CVaR: a decision engineering technique. *Systems Engineering Procedia*, 4, 438-447.
13. Ghadge, A., Dani, S., Ojha, R., & Caldwell, N. (2017). Using risk sharing contracts for supply chain risk mitigation: A buyer-supplier power and dependence perspective. *Computers & Industrial Engineering*, 103, 262-270.
14. Ghahremani Nahr, J., Pasandideh, S. H. R., & Niaki, S. T. A. (2020). A robust optimization approach for multi-objective, multi-product, multi-period, closed-loop green supply chain network designs under uncertainty and discount. *Journal of industrial and production engineering*, 37(1), 1-22.
15. Giannakis, M., & Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International Journal of Production Economics*, 171, 455-470
16. Gogus, O., & Boucher, T. O. (1998). Strong transitivity, rationality and weak monotonicity in fuzzy pairwise comparisons. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(1), 133-144
17. Hassani Goodarzi, Asefeh and Seyed Hesamuddin Zogardi, 2015, Modeling Uncertainty in the Car Supply Chain Using Value at Risk, National Conference on

- Organizational Risk Management, Tehran, Narkish Information Institute. (In Persian)
18. Heckmann, I., Comes, T., & Nickel, S. (2015). A critical review on supply chain risk—Definition, measure and modeling. *Omega*, 52, 119-132.
  19. Heitsch, H., & Romisch, W. (2005, June). Generation of multivariate scenario trees to model stochasticity in power management. In 2005 IEEE Russia Power Tech (pp. 1-7). IEEE.
  20. Heitsch, H., & Römisch, W. (2009). Scenario tree reduction for multistage stochastic programs. *Computational Management Science*, 6(2), 117-133.
  21. Hudson, A. (2017). The law on financial derivatives (No. 6). Sweet and Maxwell Ltd
  22. Inderfurth, K., & Kelle, P. (2011). Capacity reservation under spot market price uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 133(1), 272-279.
  23. Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Khosrojerdi, A. (2018). Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers & industrial engineering*, 116, 178-191.
  24. Jain, N., & Singh, A. R. (2020). Sustainable supplier selection under must-be criteria through Fuzzy inference system. *Journal of Cleaner Production*, 248, 119275.
  25. Jokar, Mustafa, Mozaffari, Marzieh, Akbari, Ali. (2020). A Weighted Robust Two-Stage Stochastic Optimization Model for Supplier Selection and Order Allocation under Uncertainty. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 38, 111-135. (In Persian)
  26. Karsak, E. E., & Dursun, M. (2016). Taxonomy and review of non-deterministic analytical methods for supplier selection. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 29(3), 263-286.
  27. Keyvanloo, M., Kimiagari, A. M., & Esfahanipour, A. (2014). Risk analysis of sourcing problem using stochastic programming. *Scientia Iranica*, 21(3), 1034-1043.
  28. Keyvanloo, M., Kimiagari, A. M., & Esfahanipour, A. (2015). A hybrid approach to select the best sourcing policy using stochastic programming. *Journal of Manufacturing Systems*, 36, 115-127.
  29. Khan, S. A., Kusi-Sarpong, S., Arhin, F. K., & Kusi-Sarpong, H. (2018). Supplier sustainability performance evaluation and selection: A framework and methodology. *Journal of Cleaner Production*, 205, 964-979.
  30. Li, S., & Zeng, W. (2016). Risk analysis for the supplier selection problem using failure modes and effects analysis (FMEA). *Journal of Intelligent Manufacturing*, 27(6), 1309-1321.
  31. Pongsakdi, A., Rangsunvigit, P., Siemanond, K., & Bagajewicz, M. J. (2006). Financial risk management in the planning of refinery operations. *International Journal of Production Economics*, 103(1), 64-86.
  32. Rabieh, M., Fadaei Rafsanjani, A., Babaei, L., & Esmaeili, M. (2019). Sustainable supplier selection and order allocation: An integrated delphi method, fuzzy TOPSIS and multi-objective programming model. *Scientia Iranica*, 26(4), 2524-2540.
  33. Reyhani Yamchi, H., Jabbarzadeh, Y., Ghaffarinasab, N., Kumar, V., & Garza-Reyes, J. A. (2020). A multi-objective linear optimization model for designing sustainable closed-loop agricultural supply chain.
  34. Saberi Rabar, Maryam and Forghani, Mohammad Ali and Kazemi, Mehdi, 2014, Evaluation and selection of suppliers in the supply chain using a combined model of fuzzy hierarchical analysis and fuzzy TOPSIS, *International Management Conference*, Tehran, <https://civilica.com/doc/343584>. (In Persian)

35. Sajedi, S., Sarfaraz, A. H., Bamdad, Sh., Khalili Damghani, K. (2021). Mathematical Model of Location, Multi-Commodity and Multi-Period in Sustainable Closed-Loop Supply Chain Considering Risk and Demand and Quality Uncertainty (A case Study). *The Journal of Industrial Management Perspective*, 42, 271-304. (In Persian)
36. Salimi, F., & Vahdani, B. (2018). Designing a bio-fuel network considering links reliability and risk-pooling effect in bio-refineries. *Reliability Engineering & System Safety*, 174, 96-107.
37. Sawik, T. (2011). Selection of supply portfolio under disruption risks. *Omega*, 39(2), 194-208.
38. Sawik, T. (2013). Selection of resilient supply portfolio under disruption risks. *Omega*, 41(2), 259-269.
39. Sodhi, M. S. (2005). Managing demand risk in tactical supply chain planning for a global consumer electronics company. *Production and Operations management*, 14(1), 69-79.
40. Taleizadeh, A. A., Niaki, S. T. A., & Alizadeh-Basban, N. (2021). Cost-sharing contract in a closed-loop supply chain considering carbon abatement, quality improvement effort, and pricing strategy. *RAIRO-Operations Research*, 55, S2181-S2219.
41. Torabi, S. A., Baghersad, M., & Mansouri, S. A. (2015). Resilient supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, 22-48.
42. Van Delft, C., & Vial, J. P. (2004). A practical implementation of stochastic programming: an application to the evaluation of option contracts in supply chains. *Automatica*, 40(5), 743-756.
43. Verma, R., & Pullman, M. E. (1998). An analysis of the supplier selection process. *Omega*, 26(6), 739-750.
44. Vilko, J., Ritala, P., & Hallikas, J. (2019). Risk management abilities in multimodal maritime supply chains: Visibility and control perspectives. *Accident Analysis & Prevention*, 123, 469-481.
45. Xu, N., & Nozick, L. (2009). Modeling supplier selection and the use of option contracts for global supply chain design. *Computers & Operations Research*, 36(10), 2786-2800.
46. Yaghoobi, M. A., & Tamiz, M. (2007). A method for solving fuzzy goal programming problems based on MINMAX approach. *European journal of operational research*, 177(3), 1580-1590.
47. Yun, Y., Chuluunsukh, A., & Gen, M. (2020). Sustainable closed-loop supply chain design problem: A hybrid genetic algorithm approach. *Mathematics*, 8(1), 84.