مهندسی صنایع و مدیریت شریف (تابستان ۱۴۰۳)
دوره‌ی ۴۰، شماره‌ی ۱، ص. ۳-۱۳، (پژوهشی)

Original Article

مدل انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظرگرفتن ریسک اختلال و تخفیف حجمی ـ خنثی یا حساس به ریسک

الهه ملکی (کارشناس‌ارشد)
سید حسام‌الدین دگردی* (استاد)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس

در این تحقیق، یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط تصادفی سناریو محور چند محصولی و تک دوره‌ای جهت مدل‌سازی مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با لحاظ ریسک اختلال و تخفیف حجمی در یک زنجیره تامین متمرکز دوسطحی شامل یک تولیدکننده و چندین تامین‌کننده با لحاظ سیاست‌های حفاظتی تامین پشتیبان، کمک گرفتن از تامین‌کنندگان اصلی مختل نشده و همین‌طور لحاظ ذخیره اطمینان در شرایط نرمال ارائه شده است. همچنین با حل مدل C-VaR با برنامه گمز آنالیز حساسیت روی متغیر تعیین‌کننده وضعیت ریسک انجام گرفت و به‌جهت بررسی کارایی مدل، مطالعه موردی در شرکت ساپکو صورت گرفت. نتیجه به این‌صورت شد که افزایش حساسیت تصمیم‌گیرنده نسبت به ریسک سبب افزایش هزینه کل می‌گردد چون محافظه‌کاری بیشتر تصمیم‌گیرنده تمایل او به استفاده از سیاست‌های حفاظتی را می‌افزاید. ضمن این‌که این افزایش هزینه هم برای تامین‌کنندگان و هم تولیدکننده است.

واژگان کلیدی: انتخاب تامین‌کننده، تخصیص سفارش، ریسک اختلال، تخفیف حجم تجارت، وضعیت ریسک.

elh.maleki@gmail.com
zegordi@modares.ac.ir

۱. مقدمه

در دهه ۶۹ و ۷۰ میلادی سازمان‌ها جهت افزایش توان رقابتی خود تلاش می‌کردند با استانداردسازی و بهبود فرایندهای داخلی، محصولی با کیفیت بهتر و هزینه‌ی کمتر تولید کنند. در دهه‌ی ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای موردانتظار مشتریان، سازمان‌ها علاقه‌مند به افزایش انعطاف در خطوط تولید و توسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان شدند. در دهه ۹۰ میلادی به‌همراه بهبود در فرایندهای تولید و به‌کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف‌پذیری شرکت کافی نیست؛ بلکه تأمین‌کنندگان قطعات و مواد باید موادی با هزینه و کیفیت بهینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه‌ی بازار تولیدکننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره‌ی تأمین و مدیریت آن پا به عرصه‌ی وجود نهاد. البته انتخاب تأمین‌کننده مساله جدیدی نیست و تحقیقات زیادی درباره مدل‌سازی و مباحث مفهومی آن صورت پذیرفته است. در حقیقت، قبل از اینکه عبارت «مدیریت زنجیره تامین» به‌وجود بیاید، تحقیقات زیادی با موضوع انتخاب فروشنده انجام گرفته است.

بیل در سال ۲۰۱۰ تخمین زد که بیش از نیمی از درآمد شرکت‌های ایالات متحده آمریکا صرف خرید مواد اولیه و خدمات می‌شوند.[۱] بورتون در سال ۱۹۸۸ فهمید که در صنعت خودرو بیش از ۵۰ درصد درآمد فروش با خرید قطعات خودرو مصرف می‌شود. بنابراین، به حداقل رساندن هزینه تامین‌کنندگان برای سازمان‌ها بسیار مهم است.[۲]

در بازارهای رقابتی امروز شرکت‌ها به‌طور افزایشی به تامین‌کنندگان متعددی برای پاسخ کارآمد به نیازهای مشتری وابسته هستند. هر چه این وابستگی‌ها افزایش می‌یابد عدم قطعیت‌ها هم افزایش می‌یابد و در نتیجه طراحی زنجیره تامین پیچیده‌تر می‌شود. عدم‌قطعیت‌های زیادی در زنجیره تامین وجود دارد اما اهمیت دو دسته در حال رشد است: قطعیت تقاضا و عدم قطعیت تامین، اختلال تامین یکی از عدم قطعیت‌های تامین است که اثر زیادی روی عملیات زنجیره تامین دارد. نتایج یک تحقیق انجام شده در انگلستان نشان داد که ۲۰/۴ میلیون پوند به‌دلیل عدم

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۱/۱/۲۸، اصلاحیه ۱۴۰۱/۹/۲۶، پذیرش ۱۴۰۱/۱۰/۵.

استناد به این مقاله:
ملکی، الهه و دگردی، سید حسام‌الدین، ۱۴۰۳. مدل انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظرگرفتن ریسک اختلال و تخفیف حجمی ـ خنثی یا حساس به ریسک. مهندسی صنایع و مدیریت شریف، ۴۰(۱)، صص.۳-۱۳. DOI:10.24200/J65.2022.58512.2239

ارائه تامین‌کننده جهت تحویل محصولات با کیفیت مورد انتظار و ۱۷/۲ میلیون پوند برای عدم ارائه تامین‌کننده برای تحویل محصولات در زمان به‌موقع تخمین زده شد. در طول سال ۲۰۱۶، از دست دادن بهره‌وری، افزایش هزینه کار و آسیب به اعتبار برند بخشی از مهم‌ترین تأثیرات منفی است که از اختلالات تامین به‌وجود آمده‌است. توسعه یک سیستم زنجیره تامین انعطاف‌پذیر یک رویکرد برای مقابله با اختلالات است.[۳] از این‌رو، سطح ریسک زنجیره تامین برای شرکت‌هایی که قادر به مدیریت آسیب‌های آن به‌دلیل پیش‌بینی نادقیق، کیفیت کمتر محصول، کاهش گردش معاملات و قیمت‌های موجودی انبار، کاهش اعتبار، ارتباطات ضعیف با دیگر اعضای زنجیره تامین و کشاکش بین ذی نفعان نیستند تبدیل به یک مسئله حیاتی شده است. برای حذف یا کاهش این اثرات شرکت‌ها باید استراتژی‌هایی برای مدیریت ریسک زنجیره تامین اتخاذ کنند.

شروع تحقیق در مدیریت ریسک زنجیره تامین به تاریخ سال‌های اولیه قرن ۲۱ برمی‌گردد. عدم قطعیت‌های مربوط به تقاضا، تامین، هزینه، زمان تحویل[۱] و بلایای فاجعه‌بار مکرر منجر به زیان‌های شدید اقتصادی، خدمات ضعیف مشتری و از دست‌دادن اعتبار تجارت است.[۴] مثلا زلزله تایوان منجر به از دست رفتن بسیاری از سفارشات شرکت اپل در سال ۱۹۹۹ شد.[۵]

از این‌رو این موضوع یعنی انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با درنظر گرفتن ریسک اختلال در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت و اثر وضعیت ریسک تصمیم‌گیرنده به‌معنای میزان ریسک‌پذیری یا ریسک‌گریزی در این مساله بررسی شد.

۲. مرور پیشینه تحقیق

همان‌طور که قبلا اشاره شد مطالعه روی موضوع انتخاب تامین‌کننده بسیار انجام گرفته‌است ولی با توجه به جدید بودن بحث ریسک زنجیره تامین، نیاز به مطالعه تلفیق این دو موضوع هم‌چنان احساس می‌شود. با این وجود مطالعاتی انجام گرفته است که این موضوع یعنی انتخاب تامین‌کننده را با در نظر گرفتن ریسک اختلال به‌روش‌های مختلفی بررسی کرده‌اند. برای مثال پراساناونکاتاسان و همکاران در سال ۲۰۱۶ انتخاب تامین‌کننده را با ریسک اختلال در نظر گرفته و یک مدل چند هدفه برنامه ریزی عددصحیح خطی ارائه داده است.[۶] همین‌طور حسینی و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز این موضوع را با ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط تصادفی دوهدفه بررسی کرده است[۷] ولی مختار و همکاران در سال ۲۰۱۹ این موضوع را با ارائه یک مدل بهینه‌سازی پویا بررسی کرده است.[۸] هر سه این مقالات مدل‌های خود را به‌صورت تک‌محصولی ارائه داده‌اند ولی مقالاتی نیز در مرور پیشینه تحقیق بررسی شده‌اند که موضوع انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش را با لحاظ چندمحصولی بودن بررسی کرده‌اند که از جمله آنها می‌توان کار و همکاران در سال ۲۰۲۰ را برشمرد که یک مدل ترکیبی چندمرحله‌ای را ارائه داده است و از طریق مطالعه موردی اعتبارسنجی کرده است.[۹]

در مسائل مربوط به ریسک، گاهی سیاست‌های حفاظتی به‌جهت پیش‌گیری و انعطاف‌پذیری زنجیره تامین در نظر گرفته می‌شود که قاعدتا لحاظ کردن این سیاست‌ها بر مدل ارائه شده تأثیرگذار خواهدبود. در ادامه با بررسی ادبیات چندین سیاست در نظرگرفته شده را معرفی می‌کنیم. برای مثال اسماعیلی و همکاران در سال ۲۰۱۸ ضمن بررسی مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با لحاظ ریسک اختلال و همین‌طور در نظر گرفتن چندمحصولی بودن و دیدگاه متمرکز دو سیاست حفاظتی حفاظت از تامین‌کننده و موجودی اضطراری نزد تامین‌کننده حفاظت شده را در نظرگرفته است و با لحاظ موارد گفته شده یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی ارائه داده است و با مثال عددی، اعتبارسنجی کرده است.[۱۰] همین‌طور مقالات دیگری هم هستند که لحاظ سیاست‌های حفاظتی در کارشان دیده شده است مانند ترابی و همکاران در سال ۲۰۱۵ که سیاست تامین پشتیبان را لحاظ کرده است.[۱۱] البته این مقاله، علاوه بر ریسک اختلال ریسک عملیاتی را هم در مدل لحاظ کرده‌است. مدل این‌کار از نوع برنامه‌ریزی تصادفی دوهدفه احتمالاتی ترکیباتی دومرحله‌ای است. علاوه بر این مقاله، وحیدی و همکاران در سال ۲۰۱۸، نیز این سیاست یعنی سیاست تامین پشتیبان را به‌همراه سیاست کمک گرفتن از تامین‌کنندگان اصلی مختل نشده لحاظ کرده است و یک مدل برنامه‌ریزی دو هدفه مختلط احتمالی ـ تصادفی دو مرحله‌ای ارائه داده است.[۱۲]

از میان مطالعات انجام شده روی مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش مقالاتی هستند که قطعی نبودن قیمت خرید را لحاظ کرده‌اند و آن را با در نظر گرفتن تخفیفات مختلف در نظرگرفته‌اند. یکی از این انواع تخفیفات، تخفیف کمی است که لی و همکاران در سال ۲۰۱۸ آن را بدون لحاظ ریسک اختلال و در یک محیط تک محصولی در نظر گرفته است[۱۳] و یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح غیرخطی ارائه داده‌است. همین‌طور مونربا و همکاران در سال ۲۰۱۸ این نوع تخفیف را در مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش در محیط چندمحصولی با ارائه یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای در نظر گرفته است.[۱۴] همچنین بکتور در سال ۲۰۲۰[۱۵] نیز با لحاظ شرایطی نسبتا مشابه مونربا و همکاران در سال ۲۰۱۸[۱۴] و البته لحاظ پایداری یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه فازی ارائه داده است.

همان‌طور که گفته شد در مقالات ذکر شده، ریسک از هیچ نوعی در نظر گرفته نشده است. از جمله مقالاتی که مساله انتخاب تامین‌کننده با ریسک اختلال را با لحاظ تخفیف بررسی کرده است چراغعلی پور و همکاران در سال ۲۰۱۸[۱۶] است که تخفیف از نوع کمی در محیط چندمحصولی درنظرگرفته و با لحاظ پایداری یک مدل چند معیاره ارائه داده است.

نوع دیگری از تخفیف نیز وجود دارد که تخفیف حجم تجارت نام دارد و به‌این معناست که به‌ازای ارزش کل خرید، تخفیف پیشنهاد می‌گردد و در واقع به‌نوع کالا بستگی ندارد. تنها مقاله‌ای که این نوع تخفیف را البته همراه تخفیف کمی در مساله انتخاب تامین‌کننده در نظرگرفته‌است، باهنر و همکاران در سال ۲۰۱۶ است که یک نوع ریسک به‌نام ریسک شکست را در نظرگرفته است و به این معنی است که تنها یک حالت که تمام تامین‌کنندگان هم‌زمان با هم مختل شوند را لحاظ کرده‌است و ریسک اختلال به ـ شکل کامل که می‌تواند دارای سناریوهای مختلفی باشد را لحاظ نکرده‌است.[۱۷] لذا در این کار این شکاف تحقیقاتی لحاظ گردیده است به این معنی که یک مسئله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با لحاظ تخفیف حجمی، چند محصولی بودن و دیدگاه متمرکز در نظرگرفته شده است و به‌جهت انعطاف‌پذیری سیاست‌های حفاظتی تامین پشتیبان، کمک گرفتن از تامین‌کنندگان مختل نشده و همین‌طور استفاده از ذخیره اطمینان لحاظ شده است و نهایتا یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح خطی تصادفی سناریو محوفر ارائه شده است. لازم به‌ذکر است که تمامی مفروضات در نظرگرفته شده از جمله نوع تخفیف، نوع سیاست‌های حفاظتی وغیره با مشورت و تایید شرکت ساپکو که شرکت مورد مطالعه این تحقیق است تعیین و اصلاح شده است و همین‌طور با دریافت اطلاعات از این شرکت اعتبارسنجی مدل، صورت پذیرفته است.

عطف به توضیحات بالا نوآوری‌های این‌کار به‌شرح زیر می‌باشد:

۱. تطابق مفروضات مساله با شرایط شرکت ساپکو؛

۲. افزودن تخفیف حجم تجارت به مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظرگرفتن ریسک اختلال؛

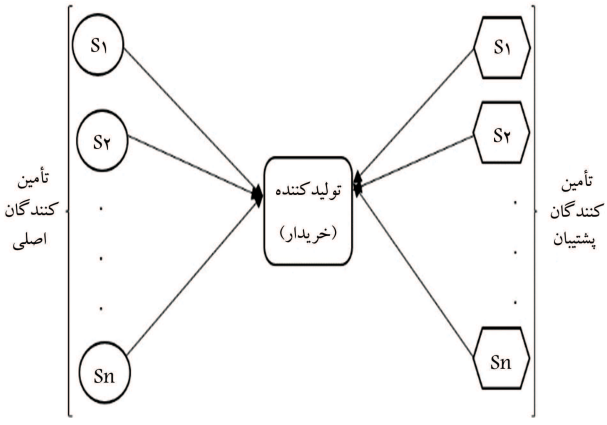
۳. بررسی تأثیر وضعیت ریسک تصمیم گیرنده در مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظرگرفتن ریسک اختلال.

۳. تعریف مساله و مدل‌سازی

۱.۳. تعریف مساله

در این مدل، مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با درنظرگرفتن ریسک اختلال با هدف کاهش هزینه‌های هر دوطرف یعنی تامین‌کنندگان و تولیدکننده با در نظرگرفتن سیاست تخفیف حجمی و محدودیت‌های موجود مدل‌سازی شده است و از آن‌جایی که شرایط در نظرگرفته شده (از نظر ۱- تقاضای مستقل و قطعی ۲- قیمت خرید غیرثابت ۳- تخفیف حجم تجارت و سایر مواردی که به تفصیل در ادامه توضیح داده شده) ممکن است برای تمام قطعات صدق نکند از در نظرگرفتن درآمد طرفین چشم پوشی شده است و همین‌طور به‌علت پیچیده بودن هزینه کمبود در واقعیت به در نظرگرفتن آن همانند مدل‌های پایه موجودی بسنده شده است. از دیگر هزینه‌های تامین‌کنندگان هزینه مربوط به مواد یا قطعات اولیه است ولی از آن‌جایی‌که رکن اصلی مدل ما در نظرگرفتن اختلال تامین‌کنندگان و ریسک منتج از آن است زمانی این اختلال در هزینه قطعات اولیه آن تأثیر می‌گذارد که منتج از تامین‌کنندگان آن باشد که در مدل ما که دیدگاه متمرکز دارد به‌معنای اضافه شدن یک لایه یعنی تامین‌کنندگان تامین‌کننده است باعث پیچیدگی مدل می‌شود. بنابراین، اختلال تامین مواد یا قطعات اولیه تامین‌کننده لحاظ نگردید و در نتیجه لحاظ کردن این هزینه هم منطقی نمی‌شد. همین‌طور سیاست‌های حفاظتی تامین پشتیبان، کمک گرفتن از تامین‌کنندگان اصلی مختل نشده و همین‌طور درنظرگرفتن ذخیره اطمینان در شرایط نرمال به‌صورتی که منطبق بر واقعیت و مورد تایید کارشناس مربوطه شرکت باشد در نظرگرفته شده است و نهایتا یک مدل برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط تصادفی سناریو محور در زنجیره تامینی شامل یک تولیدکننده (ایرانخودرو) و دوگروه تامین‌کننده (سازنده قطعات) اصلی و پشتیبان مطابق شکل ۱ ارائه شده است:

مراحل انجام پژوهش حاضر به‌صورت زیر انجام گرفته است:



شکل ۱. زنجیره تامین در نظرگرفته شده.

۱. بررسی مبانی نظری و پیشینه موضوع مورد تحقیق با مراجعه به منابع موجود در این زمینه و همین‌طور استخراج مواردی که در ادبیات به‌صورت متفاوت انجام شده بود به این معنا که برای مثال هزینه سفارش در بعضی مقالات به‌صورت هزینه سفارش در تعداد سفارش و در بعضی مقالات به‌صورت هزینه ثابت قرارداد درنظرگرفته شده بود یا هزینه حمل در مقالات محدودی از طریق مصرف سوخت یا مسافت در نظرگرفته می‌شد و اکثرا به‌صورت عرف که هزینه حمل واحد در تعداد قطعات باشد درنظرگرفته شده بود؛ (روش کتابخانه‌ای)

۲. بررسی روش‌ها و ساختار فعلی انتخاب منبع در شرکت مورد مطالعه با استفاده از مستندات سازمانی و مصاحبه غیرساختاریافته با مدیران و کارشناسان مربوطه و مطرح کردن موارد متفاوتی که در مرحله قبل توضیح داده‌شد و به‌صورت مورد تایید کارشناس مربوطه در مدل در نظرگرفته شد؛

۳. همین‌طور بررسی شرایط و سیاست‌های مسئله با مشورت و تایید شرکت ساپکو از جمله ۱. بررسی سیاست‌های حفاظتی در نظرگرفته شده در شرکت و همین‌طور توضیح درباره سیاست‌های در نظرگرفته شده در ادبیات که در قسمت قبل توضیح داده شد ۲. بررسی نوع تخفیفات پیشنهادی تامین‌کنندگان که در نتیجه مصاحبه با کارشناسان قرارشد که تخفیفات از سمت تامین‌کنندگان یا بر طبق درصد سهم تامین‌کننده از تقاضای هر قطعه باشد یا بر طبق درصد استفاده از ظرفیت کل تامین‌کننده که مورد اول که در واقع همان تخفیف کمی مطرح شده در ادبیات است با موضوع مساله تحقیق حاضر یعنی مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظرگرفتن ریسک اختلال در ادبیات وجود داشت (مقاله چراغعلی پور و همکاران در سال ۲۰۱۸). مورد دوم که همان تخفیف حجمی ادبیات است در نظرگرفته شد و مطالعه موردی هم روی تامین‌کنندگانی که چندین قطعه (چندین نوع لوله ترمز) داشتند انجام گرفت که درنظرگرفتن این نوع تخفیف برایشان منطقی است.

این اطلاعات طی ده تماس تلفنی و دو جلسه حضوری که مجموعا دو ساعت زمان برد از کارشناس مربوطه گرفته‌شد و بعد از آن اطلاعات ورودی مربوط به انجام مطالعه موردی از شرکت گرفته شد و نتایج و خروجی‌های اجرای مدل در برنامه گمز به‌صورت جدول‌ها و نمودارهایی در بخش‌های بعدی قرار گرفت. (روش میدانی)

۴. مدل‌سازی ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش در شرکت ساپکو با مراجعه به پیشینه تحقیق، مستندات سازمانی و نظر خبرگان؛

۵. تعیین سناریوها و پارامترهای مدل ریاضی با رجوع به مستندات سازمانی حل مدل ریاضی با برنامه گمز[۲]؛

۶. بررسی اعتبار مدل و تحلیل حساسیت؛

۷. ارائه نتایج و پیشنهاد تحقیقات آتی.

۲.۳. مدل کاهش هزینه

در این بخش، مدل‌سازی ریاضی مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش تحت ریسک اختلال، در زنجیره تأمین ایران‌خودرو ارائه می‌شود. مدل پیشنهادی به لحاظ درنظرگرفتن سناریو برای ریسک‌های اختلال، از نوع برنامه‌ریزی عددصحیح تصادفی است، که تصمیمات به دو گروه تقسیم می‌شوند. قبل از وقوع اختلال و

بعد از آن مدل ارائه شده نیز تک‌دوره‌ای و چندمحصولی است و هدف آن انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و تخصیص سفارش بین آنها در شرکت مورد مطالعه است، به‌طوری‌که کل هزینه‌های مورد انتظار حداقل گردد.

۱.۲.۳. مفروضات مساله

مدل انتخاب تامین‌کننده (ss) و تخصیص سفارش (OA) ارائه شده در این مطالعه براساس مفروضات زیر است که با مشاوره و تایید شرکت ساپکو که شرکت مورد مطالعه این تحقیق است تنظیم گردیده است:

۱. چندین قطعه با تقاضاهای مستقل و قطعی وجود دارد؛

۲. قیمت خرید ثابت نیست و تخفیف حجم تجارت در نظرگرفته شده است. به‌این معنا که بر طبق ارزش کل خرید تخفیف‌های متفاوتی در نظر گرفته می‌شود. در مقاله باهنر و همکاران در سال ۲۰۱۶ این نوع تخفیف فقط یک حالت که شکست تمامی تامین‌کنندگان به‌صورت کامل است در نظرگرفته شده است و در واقع ریسک اختلال به‌صورت دقیق که می‌تواند حالات مختلفی داشته باشد بررسی نشده است بنابراین، در این‌کار سعی شده است که این نوع تخفیف با در نظر گرفتن ریسک اختلال در مساله انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش مدل‌سازی شود و برای انجام این‌کار تایید شرکت ساپکو مبنی بر وجود این تخفیف گرفته شده است. لازم به‌ذکر است که تخفیف فقط به‌ازای میزان خرید در شرایط نرمال ارائه می‌شود و به‌ازای مقادیر خرید اضافه از تامین‌کنندگان مختل نشده اعم از اصلی یا پشتیبان در شرایط اختلال تخفیفی پیشنهاد نمی‌گردد؛

۳. زمان تحویل نوسان ندارد؛

۴. نرخ تقاضا شناخته شده و ثابت است؛

۵. اختلالات تامین‌کننده تصادفی و مستقل است؛

۶. انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص کمیت سفارش در یک افق برنامه‌ریزی میان‌مدت در نظر گرفته شده است؛

۷. سیاست‌های حفاظتی در نظرگرفته شده سیاست تامین‌کننده پشتیبان (با این تفاوت نسبت به ادبیات که شرط تامین‌کننده پشتیبان، سفارش حداقلی در شرایط نرمال باشد)، کمک گرفتن از تامین‌کنندگان مختل نشده‌ای است که جز تامین‌کنندگان اصلی‌اند و ذخیره اطمینان در شرایط نرمال (به این‌معنا که میزان خرید در شرایط نرمال لزوما برابر با تقاضا نیست و می‌توان مقادیری را خرید و در شرایط اختلال به‌کار برد) است. تامین‌کنندگان اصلی مختل شده ممکن است مقداری کوچکتر یا مساوی مقادیر خرید در شرایط نرمال را بر طبق میزان ظرفیت در دسترسشان تحویل دهند ولی تامین‌کنندگان پشتیبان مختل شده درصورت اختلال هیچ مقداری را تحویل نمی‌دهند.

۸. فرض براین است که میزان تولید تامین‌کنندگان منطبق بر میزان خرید از آنها باشد؛

۹. کمبود فقط در شرایط اختلال مجاز در نظرگرفته شده است؛

۱۰. زنجیره تامین، متمرکز در نظرگرفته شده‌است به این معنا که هدف کمینه کردن هزینه‌های تمام اعضای زنجیره است که در مساله ماف شامل یک تولیدکننده و تامین‌کنندگانش می‌باشد.

- **مجموعه‌ها**

i: مجموعه تامین‌کنندگان؛

j: مجموعه محصولات؛

S: مجموعه سناریوها؛

b: سطوح تخفیف حجم تجارت؛

I_s: مجموعه‌ای از تامین‌کنندگان که در سناریوی s مختل نشدند.

- **پارامترها (ورودی‌های مساله)**

v_i: هزینه ثابت قرارداد با تامین‌کننده i به‌عنوان تامین‌کننده اصلی؛

v'_i: هزینه ثابت قرارداد با تامین‌کننده i به عنوان تامین‌کننده پشتیبان؛

a_{ij}: هزینه تولید محصول j برای تامین‌کننده اصلی i درگام پیش‌اختلال؛

a^b_{ij}: هزینه تولید محصول j برای تامین‌کننده پشتیبان i درگام پیش‌اختلال؛

a'_{ij}: هزینه تولید محصول j برای تامین‌کننده اصلی آسیب ندیده i درگام پس‌اختلال؛

a'^b_{ij}: هزینه تولید محصول j برای تامین‌کننده پشتیبان i درگام پس‌اختلال؛

D_j: تقاضای محصول j؛

c_{ij}: قیمت واحد خرید محصول j از تامین‌کننده اصلی i درگام پیش‌اختلال؛

c^b_{ij}: قیمت واحد خرید محصول j از تامین‌کننده پشتیبان i درگام پیش‌اختلال؛

c'_{ij}: قیمت واحد خرید محصول j از تامین‌کننده اصلی آسیب‌ندیده i درگام پس‌اختلال؛

c'^b_{ij}: قیمت واحد خرید محصول j از تامین‌کننده پشتیبان i درگام پس‌اختلال؛

P_i: احتمال اختلال تامین‌کننده i؛

P_s: احتمال اختلال سناریوی s؛

T_{ij}: هزینه واحد حمل محصول j از تامین‌کننده اصلی i درگام پیش‌اختلال؛

T^b_{ij}: هزینه واحد حمل محصول j از تامین‌کننده پشتیبان i درگام پیش‌اختلال؛

T'_{ij}: هزینه واحد حمل محصول j از تامین‌کننده اصلی آسیب‌ندیده i درگام پس‌اختلال؛

T'^b_{ij}: هزینه واحد حمل محصول j از تامین‌کننده پشتیبان i درگام پس‌اختلال؛

cap_i: ظرفیت تامین‌کننده i؛

R_{ij}: درصدی از ظرفیت تامین‌کننده i که به محصول j اختصاص داده شده است؛

b_j: هزینه واحد کمبود محصول j؛

L_{ij}: هزینه واحد جریمه عدم تامین محصول j برای تامین‌کننده i؛

r_{is}: درصدی از ظرفیت تامین‌کننده i که در سناریوی S در دسترس باشد؛

n_j: تعداد حداکثر تامین‌کنندگان اصلی در شرایط نرمال؛

h_j: هزینه واحد نگهداری محصول j؛

e_j: ظرفیت انبار برای محصول j؛

$q^{\min}_{ij}$: حداقل مقدار خرید محصول j از تامین‌کننده i؛

Q_{ib}: حجم شکست قیمت در تامین‌کننده i برای سطح تخفیف حجم تجارت b؛

d_{ib}: تخفیف حجم تجارت نسبی در حجم شکست Q_{ib}.

- **روابط منطقی**

$$c_{ij} < c^b_{ij} \le c'_{ij} < c'^b_{ij}$$
$$a_{ij} < a^b_{ij} \le a'_{ij} < a'^b_{ij}$$
$$T_{ij} < T^b_{ij} \le T'_{ij} < T'^b_{ij}$$
$$v_i < v'_i$$

- **متغیرهای تصمیم (خروجی‌های مساله)**

z_i: متغیر باینری (۱: اگر سفارش برای تامین‌کننده اصلی i قرار داده شود ۰: در غیر این‌صورت)؛

z_{ij}: متغیر باینری (۱: اگر سفارش برای محصول j تامین‌کننده اصلی i قرارداده شود ۰: در غیر این‌صورت)؛

z'_i: متغیر باینری (۱: اگر سفارش برای تامین‌کننده پشتیبان i قرارداده شود ۰: در غیر این‌صورت)؛

z'_{ij}: متغیر باینری (۱: اگر سفارش برای محصول j تامین‌کننده پشتیبان i قرار داده شود ۰: در غیر این‌صورت)؛

w_{ib}: متغیر باینری (۱: اگر سطح حجم تجارت b برای تامین‌کننده i انتخاب شود ۰: در غیر این‌صورت)؛

w_{ibs}: متغیر باینری (۱: اگر سطح حجم تجارت b برای تامین‌کننده آسیب‌دیده i در سناریوی s انتخاب شود ۰: در غیر این صورت)؛

X_{ij}: مقدار محصول خریداری شده از تامین‌کننده اصلی i درگام پیش‌اختلال؛

X_{ijb}: مقدار محصول خریداری شده از تامین‌کننده اصلی i درگام پیش‌اختلال در سطح تخفیف b؛

X_{ijs}: مقدار محصول خریداری شده از تامین‌کننده اصلی آسیب دیده i تحت سناریوی s؛

X_{ijbs}: مقدار محصول خریداری شده از تامین‌کننده اصلی آسیب‌دیده i درگام پس‌اختلال در سطح تخفیف b؛

y_{ijs}: مقدار محصول خریداری شده از تامین‌کننده پشتیبان i تحت سناریوی s؛

z_{ijs}: مقدار اضافی محصول خریداری شده از تامین‌کننده اصلی آسیب ندیده i تحت سناریوی s؛

B_{js}: مقدارکمبود محصول تحت سناریوی s؛

s_j: مقدار ذخیره اطمینان محصول j؛

$$
\begin{aligned}
&ModelSS\&OA:\\
&Min\\
&\sum_i (v_i\, z_i + v'_i\, z'_i) + \sum_i \sum_j (x_{ij}(a_{ij} + T_{ij}))+\\
&\sum_i \sum_j \sum_b (c_{ij}\, x_{ijb}(1 - d_{ib}))+\\
&\sum_i \sum_j ((a^b_{ij} + c^b_{ij} + T^b_{ij})\, q^{\min}_{ij}\, z'_{ij}) + \sum_j s_j\, h_j +\\
&\sum_s p_s [\sum_{i\in I_s} \sum_j (c'^b_{ij} + a'^b_{ij} + T'^b_{ij})\, y_{ijs} +\\
&\sum_{i\in I_s} \sum_j (c'_{ij} + a'_{ij} + T'_{ij})\, z_{ijs} -\\
&\sum_{i\notin I_s} \sum_j (a_{ij} + T_{ij})(x_{ij} - x_{ijs})\\
&- \sum_{i\notin I_s} \sum_j ((a^b_{ij} + c^b_{ij} + T^b_{ij})\, q^{\min}_{ij}\, z'_{ij}) -\\
&\sum_{i\notin I_s} \sum_j \sum_b (c_{ij}(x_{ijb} - x_{ijbs})(1 - d_{ib})) + \sum_j b_j\, B_{js} +\\
&\sum_{i\notin I_s} \sum_j L_{ij}(x_{ij} - x_{ijs} + q^{\min}_{ij}\, z'_{ij})]
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

$\sum_i (v_i z_i + v'_i z'_i)$ در تابع هدف به‌ترتیب جهت محاسبه هزینه ثابت قرارداد تامین‌کنندگان اصلی و پشتیبان است. عبارت $\sum_i \sum_j (x_{ij}(a_{ij} + T_{ij}))$ به‌ترتیب هزینه‌های تولید تامین‌کنندگان اصلی و هزینه حمل خریدار برای مقادیر خرید در شرایط نرمال است. عبارت $\sum_i \sum_j \sum_b (c_{ij} x_{ijb}(1 - d_{ib}))$ مشخص‌کننده هزینه خرید با درنظرگرفتن تخفیف حجم تجارت است. عبارت $\sum_i \sum_j ((a^b_{ij} + c^b_{ij} + T^b_{ij})\, q^{\min}_{ij}\, z'_{ij})$ به ترتیب هزینه‌های تولید تامین‌کنندگان، هزینه خرید و حمل خریدار برای خرید حداقل مقدار از تامین‌کنندگان پشتیبان در صورت انتخاب آنها است (بر طبق گفته ساپکو هیچ تامین‌کننده‌ای نمی‌پذیرد که قرارداد ببندد و تنها در شرایط اختلال نقش تامین کننده پشتیبان را بپذیرد و در صورتی می‌پذیرد که حداقل مقدار خواسته شده توسط تامین‌کننده در شرایط نرمال پذیرفته شود). عبارت $\sum_j s_j h_j$ هزینه نگهداری مقدار ذخیره اطمینان (مقدار خرید بیشتر از تقاضا) در شرایط نرمال را محاسبه می‌کند.

ادامه تابع هزینه، مشخص‌کننده هزینه‌ها در شرایط اختلال است که تحت سناریوهای مختلف بررسی می‌شود. عبارت $\sum_{i\in I_s} \sum_j (c'^b_{ij} + a'^b_{ij} + T'^b_{ij})\, y_{ijs}$ به‌ترتیب هزینه‌های خرید (برطبق گفته ساپکو، پیشنهادات مربوط به تخفیف فقط در شرایط نرمال توسط تامین‌کنندگان ارائه می‌گردد)، هزینه تولید تامین‌کنندگان پشتیبان و هزینه حمل خریدار برای مقادیر خرید اضافه از تامین‌کنندگان پشتیبان مختل نشده را مشخص می‌کند. همین‌طور عبارت $\sum_{i\in I_s} \sum_j (c'_{ij} + a'_{ij} + T'_{ij})\, z_{ijs}$ به‌ترتیب هزینه‌های خرید، هزینه تولید تامین‌کنندگان اصلی و هزینه حمل خریدار برای مقادیر خرید اضافه از تامین‌کنندگان اصلی مختل نشده را مشخص می‌کند. عبارت $\sum_{i\notin I_s} \sum_j (a_{ij} + T_{ij})(x_{ij} - x_{ijs})$ مربوط به کاهش هزینه تامین‌کنندگان اصلی مختل شده است که مقادیر خرید تعیین شده در شرایط نرمال را تامین نمی‌کنند. همین‌طور $\sum_{i\notin I_s} \sum_j ((a^b_{ij} + c^b_{ij} + T^b_{ij})\, q^{\min}_{ij}\, z'_{ij})$ کاهش هزینه تامین‌کنندگان پشتیبان مختل شده برای حداقل مقدار تعیین شده است. عبارت $\sum_{i\notin I_s} \sum_j \sum_b (c_{ij}(x_{ijb} - x_{ijbs})(1 - d_{ib}))$ مشخص‌کننده کاهش هزینه خرید از تامین‌کنندگان اصلی مختل شده با درنظر گرفتن شرایط تخفیف حجمی از قبل تعیین شده (در شرایط نرمال) است. عبارت $\sum_j b_j B_{js}$ مشخص‌کننده هزینه کمبود در شرایط اختلال است. در واقعیت محاسبه هزینه کمبود بسیار پیچیده است زیرا در شرایط مختلف می‌تواند اثرات مختلف و در نتیجه هزینه‌های مختلفی داشته باشد. به این‌معنا که گاهی می‌تواند باعث تولید از دست رفته گردد و گاهی فقط خط تولید را برای زمانی متوقف می‌کند که هر کدام این‌ها هزینه‌های مختلفی دارند. ضمن این‌که نمی‌توان رابطه مشخصی بین زمان توقف خط یا میزان تولید از دست رفته به‌ازای مقدار کمبود ایجاد شده در شرایط اختلال در نظر گرفت. لذا در این مدل به‌حالتی که در مدل‌های پایه موجودی ارائه می‌گردد یعنی درنظر گرفتن هزینه کمبود به‌صورت هزینه واحد کمبود در میزان کمبود ایجاد شده در شرایط اختلال اکتفا شده است. در نهایت، عبارت $\sum_{i\notin I_s} \sum_j L_{ij}(x_{ij} - x_{ijs} + q^{\min}_{ij}\, z'_{ij})$ مشخص‌کننده هزینه جریمه تامین‌کنندگان است که برای تامین‌کنندگان اصلی به‌ازای اختلاف مقادیر خرید در شرایط نرمال و اختلال و برای تامین‌کنندگان پشتیبان به‌ازای حداقل مقادیر خریدشان است.

از دیگر هزینه‌های تامین‌کنندگان هزینه مربوط به مواد یا قطعات اولیه است ولی از آن‌جایی که اساس مدل ما لحاظ اختلال تامین‌کنندگان و ریسک حاصل از آن است زمانی این اختلال در هزینه قطعات اولیه آن موثر است که منتج از تامین‌کنندگان آن باشد که در مدل ما که دیدگاه متمرکز دارد به‌معنای اضافه شدن یک لایه یعنی تامین‌کنندگان تامین‌کننده است و مدل را بسیار پیچیده می‌کند بنابراین، اختلال مواد یا قطعات اولیه تامین‌کننده درنظرگرفته نشد و در نتیجه لحاظ کردن این هزینه هم غیرمنطقی می‌شد.

همچنین از آن‌جایی که ممکن است شرایط و سیاست‌های در نظرگرفته شده برای تمام قطعات مورد نیاز ایران خودرو یا هر تولیدکننده صدق نکند درآمد اعضای زنجیره تامین هم لحاظ نشده و به حداقل‌سازی هزینه‌های آنها اکتفا شده است.

$Subjectto:$

$$\sum_{i\in I_s}(z_{ijs}+y_{ijs}+x_{ij}+q_{ij}^{\min}z'_{ij})+\sum_{i\notin I_s}x_{ijs}\le D_j \qquad \forall s,j \quad (۲)$$

$$\sum_{i}(x_{ij}+q_{ij}^{\min}z'_{ij})\ge D_j \qquad \forall j \quad (۳)$$

$$x_{ij}+z_{ijs}+y_{ijs}+q_{ij}^{\min}z'_{ij}\le R_{ij}\,cap_i \qquad \forall i\in I_s,s,j \quad (۴)$$

$$x_{ijs}\le cap_i\,R_{ij}\,r_{is} \qquad \forall i\notin I_s,s,j \quad (۵)$$

$$x_{ij}=x_{ijs} \qquad \forall i\in I_s,s,j \quad (۶)$$

$$x_{ij}\ge x_{ijs} \qquad \forall i\notin I_s,s,j \quad (۷)$$

$$x_{ij}+z_{ijs}\le M\,z_{ij} \qquad \forall i\in I_s,s,j \quad (۸)$$

$$x_{ijs}\le M\,z_{ij}\,d \qquad \forall i\notin I_s,s,j \quad (۹)$$

$$x_{ijs}\ge x_{ij}\,r_{is}\,d \qquad \forall i\notin I_s,s,j \quad (۱۰)$$

$$y_{ijs}\le M\,z'_{ij} \qquad \forall i\in I_s,s,j \quad (۱۱)$$

$$x_{ij}\ge q_{ij}^{min}z_{ij} \qquad \forall i,j \quad (۱۲)$$

$$B_{js}=D_j-\left(\sum_{i\in I_s}\left(x_{ij}+z_{ijs}+y_{ijs}+q_{ij}^{min}z'_{ij}\right)+\sum_{i\notin I_s}x_{ijs}\right) \qquad \forall s,j \quad (۱۳)$$

$$s_j=\left(\sum_i\left(x_{ij}+q_{ij}^{min}z'_{ij}\right)\right)-D_j \qquad \forall j \quad (۱۴)$$

$$s_j\le e_j \qquad \forall j \quad (۱۵)$$

$$y_{ijs}=۰ \qquad \forall \mathrm{i}\notin I_s,\mathrm{s},\mathrm{j} \quad (۱۶)$$

$$z_{ijs}\le Mx_{ij} \qquad \forall i\in I_s,s,j \quad (۱۷)$$

$$\sum_i z_{ij}\le n_j \qquad \forall j \quad (۱۸)$$

$$Q_{ib}w_{ib}\le\sum_j c_{ij}x_{ijb}<Q_{i,b+۱}w_{ib} \qquad \forall i,b \quad (۱۹)$$

$$Q_{ib}w_{ibs}\le\sum_j c_{ij}x_{ijbs}<Q_{i,b+۱}w_{ibs} \qquad \forall i\notin I_s,b,s \quad (۲۰)$$

$$\sum_b x_{ijb}=x_{ij} \qquad \forall i,j \quad (۲۱)$$

$$\sum_b x_{ijbs}=x_{ijs} \qquad \forall i\notin I_s,j,s \quad (۲۲)$$

$$z_{ij}\le z_i \qquad \forall i,j \quad (۲۳)$$

$$z'_{ij}\le z'_i \qquad \forall i,j \quad (۲۴)$$

$$z_{ij}+z'_{ij}\le ۱ \qquad \forall i,j \quad (۲۵)$$

$$\sum_b w_{ib}=z_i \qquad \forall i \quad (۲۶)$$

$$\sum_b w_{ibs}=z_i \qquad \forall i\notin I_s,s \quad (۲۷)$$

$$x_{ij},x_{ijs},y_{ijs},z_{ijs},x_{ijb},x_{ijbs}\ge ۰ \qquad \forall i,j,s \quad (۲۸)$$

$$z_{ij},z'_{ij},z_i,z'_i,w_{ib},w_{ibs}=\{۰,۱\} \qquad \forall i,j,s \quad (۲۹)$$

محدودیت ۲ بیانگر این است که جمع میزان خرید در شرایط اختلال کوچکتر یا مساوی میزان تقاضا باشد (کمبود در شرایط اختلال مجاز درنظرگرفته شده است)

محدودیت ۳ تضمین‌کننده تقاضای تولیدکننده برای هر مورد در مرحله قبل از اختلال است. کمبود در شرایط نرمال مجاز نیست و ذخیره اطمینان در شرایط نرمال مجاز در نظرگرفته شده است.

محدودیت ۴ تضمین می‌کند که کل مقدار سفارش داده شده به هر تأمین‌کننده مختل نشده، از ظرفیت تأمین‌کننده تجاوز نمی‌کند.

محدودیت ۵ مقدار خرید از تامین‌کننده اصلی مختل شده را به ظرفیت تولید در دسترس تامین‌کننده پس از اختلال محدود می‌کند؛

محدودیت ۶ نشان می‌دهد که تولیدکننده مقادیر سفارش داده شده در شرایط عادی را از تأمین‌کنندگان مختل نشده در هر سناریوی اختلال دریافت می‌کند.

محدودیت ۷ تضمین می‌کند که مقدار هر محصول ارسالی از یک تامین‌کننده مختل از کالاهای خریداری شده از تأمین‌کننده در شرایط عادی فراتر نرود.

محدودیت ۸ و ۹ به ترتیب تضمین می‌کنند که در صورت عدم عقد قرارداد با تأمین‌کننده به عنوان تأمین‌کننده اصلی، مقدار هرکالای خریداری شده از تأمین‌کننده اصلی مختل نشده و مختل برابر با صفر خواهد بود.

محدودیت ۱۰ تضمین می‌کند که مقدار اقلام ارسال شده از هر تأمین‌کننده مختل تحت هر سناریویی باید بیشتر یا برابر اقلام خریداری شده از تامین‌کننده در شرایط عادی ضرب در درصد ظرفیت تأمین‌کننده باقیمانده پس از اختلال است.

محدودیت ۱۱ تضمین می‌کند که در صورت عدم تنظیم قرارداد با تامین‌کننده به‌عنوان تامین‌کننده پشتیبان، مبلغ خرید از آن تأمین‌کننده (به‌عنوان تأمین‌کننده پشتیبان) صفر است.

محدودیت ۱۲ تضمین می‌کند که در صورت انتخاب هر تامین‌کننده به میزان حداقل مقدار تعیین شده خریداری شود.

محدودیت ۱۳ میزان کمبود هر محصول تحت هر سناریو را محاسبه می‌کند.

محدودیت ۱۴ میزان ذخیره اطمینان در شرایط نرمال را نشان می‌دهد.

محدودیت ۱۵ تضمین می‌کند که میزان ذخیره اطمینان از فضای انبارش بیشتر نباشد.

محدودیت ۱۶ تضمین می‌کنند که تأمین‌کنندگان مختل هر سناریو نمی‌توانند به‌عنوان تأمین‌کننده پشتیبان آن سناریو استفاده شوند.

محدودیت ۱۷ بیانگر این واقعیت است که تامین‌کننده اصلی مختل نشده، زمانی سفارش جهت مقدار اضافه محصول را می‌پذیرد که سفارش در شرایط نرمال انجام گرفته باشد.

محدودیت ۱۸ بیان می‌کند که کل تعداد تأمین‌کنندگان اصلی در وضعیت عادی مطابق با اصول زنجیره تامین ناب نباید از حداکثر تعداد تجاوز کند.

محدودیت ۱۹ و ۲۰ جهت تعیین بازه‌های تخفیف در شرایط نرمال و مختل شده تامین‌کنندگان اصلی است.

محدودیت ۲۱ و ۲۲ تضمین می‌کند که مجموع خرید در سطوح مختلف خرید به‌ازای هر تامین کننده و هر محصول برابر با مقدار خرید است.

محدودیت ۲۳ و ۲۴ تضمین می‌کند که زمانی تامین‌کننده (اصلی و پشتیبان) برای محصولی انتخاب می‌شود که تامین‌کننده انتخاب شده باشد.

محدودیت ۲۵ بیان می‌کندکه هر تامین‌کننده برای یک کالای خاص فقط می‌تواند یک تامین‌کننده اصلی یا تامین‌کننده پشتیبان باشد.

محدودیت و ۲۶ تضمین می‌کند که در صورتی که تامین‌کننده انتخاب شود فقط یک سطح تخفیف حجمی آن انتخاب می‌شود.

سرانجام محدودیت‌های ۲۸ و ۲۹ نوع متغیرهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

احتمال وقوع هر سناریو می‌تواند به‌صورت زیر محاسبه شود.

$$p_s = \prod_{i \notin I_s} p_i \prod_{i \in I_s} (1 - p_i) \qquad (30)$$

۳.۳. مدل با درنظرگرفتن وضعیت ریسک خریدار

CVaR براساس معیار بنام ارزش در معرض ریسک (VaR) ساخته شده است. VaR یک روش محبوب است برای اندازه گیری ریسک در یک نمونه کار.[۱۷] درواقع VaR یک توزیع پیش بینی سود/زیان در افق هدف است که نشان دهنده بیشینه ضرر در افق هدف می‌باشد[۱۸] و از نظر آماری به معنی یافتن مقدار بحرانی برای سطح اطمینان موردنظر است.[۱۹] VaR بر تمام نتایج زیر یک سطح خاص تمرکز دارد. از این‌رو، با توجه به احتمال $\propto$، Var به این سؤال پاسخ می‌دهد: «حداکثر تلفات با احتمال $\propto$ ۱۰۰٪ در یک افق هدف چیست؟» با وجود محبوبیت VaR در امور مالی و مدیریت ریسک، این تکنیک دارای چند ویژگی نامطلوب مهم است. آرتسنر و همکاران در سال ۱۹۹۹ خاطرنشان کردند که VaR معیار منسجمی از خطر نیست، زیرا نتوانسته است خاصیت زیرجمع پذیری را نگه دارد. بنابراین، VaR یک نمونه کار می‌تواند بالاتر از جمع VaRs در ابعاد تکی در نمونه کارها باشد[۱۷] (یعنی $f(x+y) \leq f(x) + f(y)$ جایی‌که $f(o)$ معیار ریسک است). از همین روی در سال‌های اخیر، ارزش در معرض ریسک شرطی در جهت تکامل ارزش در معرض ریسک معرفی شده است.[۱۹] علاوه‌بر این، هنگامی‌که با استفاده از رویکرد مبتنی بر سناریو محاسبه شود، بهینه سازی VaR دشوار است (راکافلار و یوراسو در سال (۲۰۰۰).[۱۷] این دلایل باعث شده است که از روش جایگزین ارزش در معرض ریسک شرطی $CVaR$ استفاده شود. ارزش در معرض ریسک شرطی به‌عنوان یک معیار ریسک منسجم مورد استقبال قرارگرفته است و به‌عنوان ابزار مفیدی برای اندازه‌گیری ریسک و مدیریت آن مطرح گردید که آن‌را با نماد $CVaR$ نمایش می‌دهند. به‌عبارت دیگر این معیار، زیان مورد انتظار را برابر و یا بالاتر از ارزش در معرض ریسک، در سطح اطمینان مشخص، برآورد می‌کند. از این رو این دیدگاه نسبت به معیار ارزش در معرض ریسک محافظه کارانه‌تر است.[۱۹]

با توجه به مباحث قبل می‌توان گفت $CVaR$ معیار منسجم‌تری برای اندازه‌گیری ریسک است و از خصوصیات بارز آن می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱. $CVaR$ نسبت به آنالیز میانگین ـ واریانس درمواجه با توزیع نامتقارن بازدهی سرمایه، بهتر عمل می‌کند؛

۲. حداقل‌سازی $CVaR$ معمولا در نتیجه حل یک مسئله برنامه ریزی همگرا (محدب) مانند مسائل برنامه‌ریزی خطی است که به تصمیم‌گیرنده اجازه می‌دهد به‌صورت کاراتر و بهتری از عهده یک مسئله با مقیاس بزرگ برآید.[۱۹]

اندازه گیری $CVaR$ باعث به حداقل رساندن VaR می‌شود زیرا $CVaR$ بیشتر یا مساوی VaR است. (معادله زیر را مشاهده کنید) اندازه گیری $CVaR$ آن دسته از نتایج را درنظر می‌گیرد که تلفات طی یک دوره زمانی خاص از VaR بیشتر است. به‌عبارت دیگر به $\%100(1-\alpha)$ از نتایج اجازه داده می‌شود که از VaR تجاوز کند و مقدار متوسط این نتایج توسط $CVaR$ نشان داده شده است. به‌طورکلی، $\propto$ سطح محافظه‌کاری را که یک تصمیم‌گیرنده مایل به اتخاذ آن است نشان می‌دهد. تعریف رسمی VaR و $CVaR$ در معادله زیر ارائه شده است. به‌عنوان مثال، یک متغیر تصادفی x که نشان‌دهنده ضرر ناشی از یک نتیجه است را درنظر بگیرید. با سطح خطر داده شده $\alpha(\alpha \in (0,1))$ از متغیر تصادفی x به‌صورت زیر داده شده است:

$$VaR_\alpha[\tilde{x}] := \min\{\eta : \Pr(\tilde{x} \geq \eta) \leq 1 - \alpha\} \qquad (31)$$

با توجه به معادله زیر، $CVaR$ در سطح خطر $\propto$ توسط ت راکافلار و یوراسو در سال ۲۰۰۰ تعریف شده است:

$$CVaR_\alpha[\tilde{x}] = E\{\tilde{x} | \tilde{x} \geq VaR_\alpha(\tilde{x})\} \qquad (32)$$

آنها ثابت کردند که برای یک مسئله min سازی، $CVaR$ را می‌توان به‌عنوان ارزش هدف مطلوب محاسبه کرد:

$$CVaR_\alpha(\tilde{x}) = \min\left\{\eta + \frac{1}{1-\alpha}\max(\tilde{x} - \eta, 0)\right\} \qquad (33)$$

آنها همچنین ثابت کردند که برای مجموعه‌ای از سناریوهای از پیش تعریف شده با احتمالات مربوطه، معادله زیر را می‌توان با معرفی متغیرهای کمکی $\tau_i (i = 1, \ldots, N)$ و برای $\alpha \in (0,1)$ به یک برنامه‌نویسی خطی تبدیل کرد:

$$\min \eta + \frac{1}{1-\alpha}\sum_{i=1}^{N} \rho_i \tau_i \qquad (34)$$

$$subjectto: \tau_i \geq L_i - \eta \forall i \qquad (35)$$

$$\tau_i \geq 0 \forall i \qquad (36)$$

جایی که L_i تحقق ضرر موردانتظار مربوط به سناریوی i است. η: متغیر تصمیم نشان‌دهنده مقدار مطلوب؛

τ_i: دنباله ضرر بر سناریوی (i به‌عنوان مقداری که در سناریوی i از η تجاوز می‌کند)؛

α: سطح محافظه‌کاری که تصمیم‌گیرنده می‌پذیرد. (با نزدیک شدن به ۱، دامنه قابل قبول بدترین موارد باریک‌تر می‌شود).

$$ModelSS\&OA_CVaR:$$

$$\min \eta + \frac{1}{1-\alpha}\sum_{s} p_s T_s$$

$$Subjectto: (2-29) \qquad (37)$$

$$\begin{aligned}
&T_s \geq \sum_i (v_i z_i + v_i' z_i') + \sum_i \sum_j (x_{ij}(a_{ij} + T_{ij}))+ \\
&\sum_i \sum_j \sum_b (c_{ij}\, x_{ijb}(1 - d_{ib}))+ \\
&\sum_i \sum_j ((a_{ij}^b + c_{ij}^b + T_{ij}^b)\, q_{ij}^{\min} z_{ij}') + \sum_j s_j\, h_j + \\
&\sum_{i \in I_s} \sum_j (c_{ij}^{'b} + a_{ij}^{'b} + T_{ij}^{'b})\, y_{ijs} + \\
&\sum_{i \in I_s} \sum_j (c_{ij}' + a_{ij}' + T_{ij}')\, z_{ijs} - \\
&\sum_{i \notin I_s} \sum_j (a_{ij} + T_{ij})(x_{ij} - x_{ijs}) \\
&- \sum_{i \notin I_s} \sum_j ((a_{ij}^b + c_{ij}^b + T_{ij}^b)\, q_{ij}^{\min} z_{ij}')- \\
&\sum_{i \notin I_s} \sum_j \sum_b (c_{ij}(x_{ijb} - x_{ijbs})(1 - d_{ib})) + \sum_j b_j\, B_{js} + \\
&\sum_{i \notin I_s} \sum_j L_{ij}(x_{ij} - x_{ijs} + q_{ij}^{\min} z_{ij}') - \eta \qquad \forall s
\end{aligned} \qquad (38)$$

$$T_s \geq 0 \forall s \qquad (39)$$

اگر M تعداد تامین‌کنندگان اصلی و B تعداد تامین‌کنندگان پشتیبان درنظر گرفته شود تعداد سناریوهای اختلال می‌تواند به‌صورت محاسبه شود.

۴.۳. روش کاهش سناریو

با توجه به رابطه فوق می‌توان دریافت که تعداد سناریوها به‌خصوص زمانی‌که تعداد تامین‌کنندگان پنج به بالا باشد بسیار زیاد می‌شود. در چنین مواردی، باید یک روش کاهش سناریو برای انتخاب محتمل‌ترین سناریوها و کاهش پیچیدگی محاسبات اعمال شود.

در این کار از نمونه گیری ساده با حداکثر احتمال [۳] برای این منظور استفاده شده است که شامل مراحل زیر است:[۱۰]

گام۱. (N): (تعداد سناریوهای مورد نظر) را انتخاب کنید؛

گام۲. با توجه به تعداد تأمین‌کنندگان واجد شرایط، همه سناریوهای ممکن را ایجاد کنید؛

گام۳. با توجه به رابطه ذکر شده احتمال هر سناریو را محاسبه کنید؛

گام۴. گام چهارم: مرتب‌سازی سناریوها بر طبق احتمال آنها؛

گام۵. N: سناریوی اولی که بیشترین احتمال را دارند انتخاب کنید.

۵.۳. مطالعه موردی

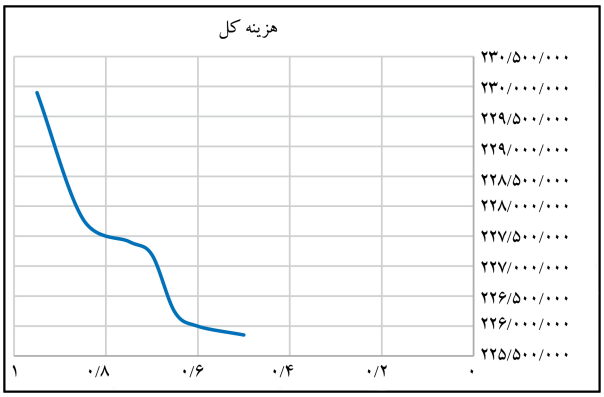
مطالعه موردی انتخاب شده در شرکت ساپکو، شرکت طراحی مهندسی و تأمین قطعات ایران خودرو انجام گرفته‌است و مربوط به تامین هشت نوع لوله ترمز است. برای این هشت قطعه، پنج تامین‌کننده با نام‌های پارس نورد، صنایع شریف، آذین تنه، شمیم پژوهش و ایمن صنعت سدید وجود دارد. پارس نورد که واقع در تاکستان است تامین‌کننده پشتیبان و چهار تامین‌کننده دیگر که واقع در تهران‌اند تامین‌کنندگان اصلی این قطعات هستند.

در این مطالعه موردی با توجه به‌اینکه تعداد سناریو ها ۳۱ می‌شود و خیلی زیاد نیست تنها ۶ سناریو که احتمالاتش خیلی کم بود حذف گردید و سایر سناریوها بررسی شد.

تمام خروجی‌های ذکر شده در نمودارهای زیر با استفاده از حل مدل توسط نرم افزار گمز ارائه شده‌اند.

ابتدا تأثیروضعیت ریسک تصمیم‌گیرنده بر هزینه‌های کل مورد بررسی قرارمی‌گیرد. نمودارهای زیر به‌جهت بررسی این هدف محاسبه و تعبیه شده‌اند. شکل ۲ مشخص‌کننده ارتباط بین وضعیت ریسک تصمیم‌گیرنده و هزینه کل است.

این نمودار تأثیر α افزایش از ۰/۵ تا ۰/۹۵ را برکل هزینه‌ها یعنی هم هزینه‌های



شکل ۲. شرح ارتباط بین وضعیت ریسک و هزینه کل.

تامین‌کنندگان اعم از اصلی یا پشتیبان و هم خریدار را در مدل $cVaR$ نشان می‌دهد که همان‌طورکه مشخص است روند کاملا صعودی است.

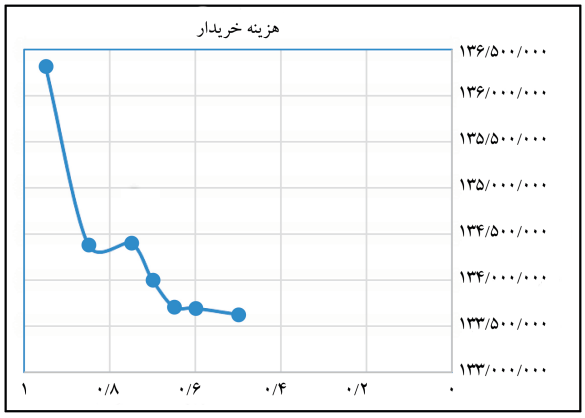
شکل ۳ نمودار دیگری است که تأثیر وضعیت ریسک بر هزینه خریدار را بررسی می‌کند:

همان‌طورکه گفته شد نمودار فوق مشخص‌کننده تأثیر افزایش α از ۰/۵ تا ۰/۹۵ بر هزینه خریدار را مشخص می‌کند که همان‌طورکه می‌بینید به‌صورت کلی روند صعودی با نوسانات جزئی دارند.

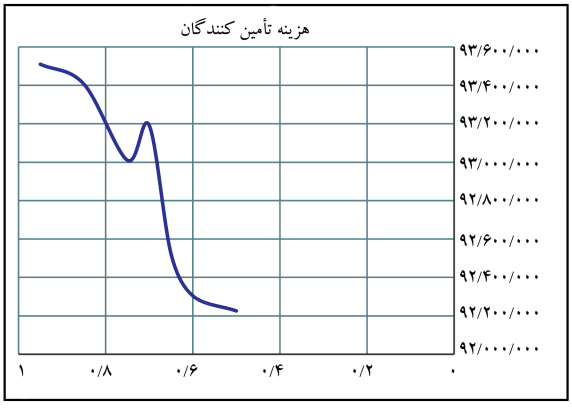
شکل ۴ به‌همان ترتیب تأثیروضعیت ریسک را بر هزینه تامین‌کنندگان را مشخص می‌کند که روندی مشابه هزینه خریدار دارد:

برای بررسی علت این تغییرات، تأثیر وضعیت ریسک تصمیم‌گیرنده بر سایر متغیرهای مسئله مورد بررسی قرارمی‌گیرد.

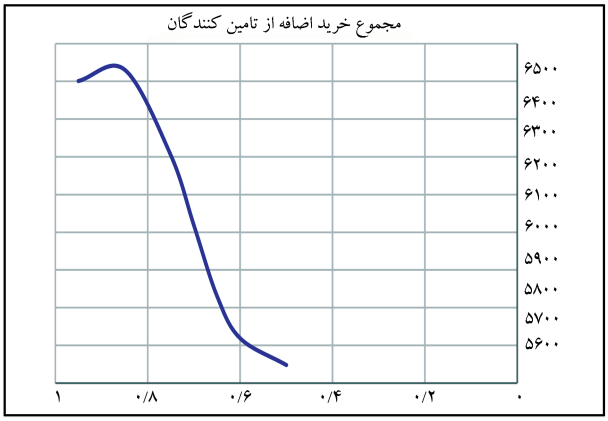
در این مطالعه موردی، وضعیت ریسک روی انتخاب تامین‌کنندگان تأثیری نداشته و در همه موارد به این‌صورت بود که تامین‌کنندگان اصلی برای تمام قطعات و تامین‌کننده پشتیبان برای دو قطعه برگزیده شده بود. هم‌چنین از نظر انتخاب سطح تخفیف نیز در همه موارد مشابه بود. علت این اتفاق این است که احتمال اختلال تامین‌کنندگان و درصد افزایش هزینه آنها در شرایط اختلال که توسط شرکت ساپکو در اختیار قرار داده شده بسیار پایین بوده نتیجه به این‌صورت بود که در هیچ مورد، مدل به‌سمت ذخیره اطمینان نرفت. زیرا در تمام موارد هزینه نگهداری از افزایش هزینه‌ها در شرایط اختلال بالاتر بوده است و همواره خرید اضافه در شرایط اختلال به‌صرفه‌تر شده است. پس مقدار خرید از تامین‌کنندگان



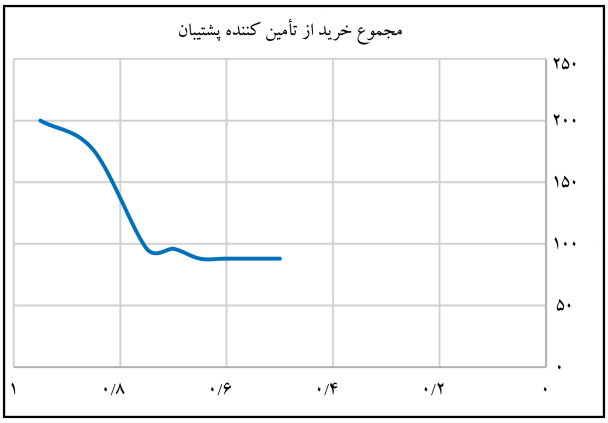
شکل ۳. شرح ارتباط بین وضعیت ریسک و هزینه خریدار.



شکل ۴. شرح ارتباط بین وضعیت ریسک و هزینه تامین‌کنندگان.



شکل ۵. ارتباط وضعیت ریسک با مجموع خرید اضافه از تامین‌کنندگان اصلی.



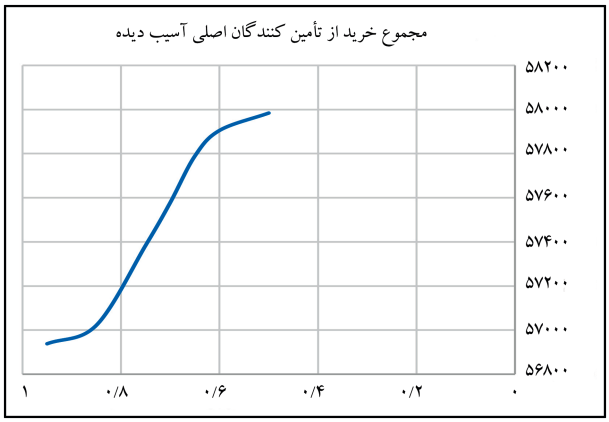
شکل ۶. ارتباط وضعیت ریسک با مجموع خرید اضافه از تامین‌کنندگان پشتیبان.

در شرایط نرمال نیز در تمام حالات ثابت مانده لذا، انتخاب سطح تخفیف که بر طبق مطالعه موردی فقط برای شرایط نرمال در نظرگرفته شده بود هم، نتایج مشابه به هم داشتند و در همه موارد برای سه تامین‌کننده اول سطح یک تخفیف و برای تامین‌کننده چهارم سطح دو برگزیده شده است ولی مقادیر خرید اضافه از تامین‌کنندگان در شرایط اختلال اعم از اصلی یا پشتیبان با افزایش α افزایش می‌یابد.

شکل ۵ و ۶ به‌ترتیب روند صعودی مجموع خرید از تامین‌کنندگان اصلی و پشتیبان را مشخص می‌کند:

و همین‌طور تأثیر دیگر وضعیت ریسک بر متغیرها، روی مقدار خرید از تامین‌کنندگان آسیب‌دیده است که روند نزولی دارد و در شکل ۷ قابل مشاهده است:

با توجه به موارد گفته شده می‌توان دریافت با افزایش α که در واقع به‌معنای کاهش پذیرش ریسک توسط تصمیم‌گیرنده یا افزایش حساسیت نسبت به ریسک است موجب افزایش هزینه کل می‌شود همین‌طور هزینه تامین‌کنندگان و هزینه خریدار هر دو دارای روند صعودی با نوسانات جزئی است یعنی رابطه مستقیم افزایش حساسیت به ریسک به افزایش کلیه هزینه‌ها. همین‌طور از آن‌جایی که تصمیم‌گیرنده در واقع نسبت به ریسک و مواجهه با کمبود حساس‌تر می‌شود میل تصمیم‌گیرنده به استفاده از سیاست‌های حفاظتی بیشتر می‌شود که تصمیم‌گیرنده بر طبق بهینگی از این سیاست‌ها استفاده می‌کند بنابراین، همانطورکه در شکل‌های ۴ و ۵ قابل مشاهده است مجموع خرید از تامین‌کننده اصلی آسیب ندیده و تامین‌کننده پشتیبان افزایش و مجموع خرید از تامین‌کنندگان اصلی آسیب‌دیده (مشاهده شده در شکل ۷) کاهش



شکل ۷. ارتباط وضعیت ریسک با مجموع خرید اضافه از تامین‌کنندگان اصلی آسیب دیده.

می‌یابد با این وجود، در نهایت، با کاهش پذیرش ریسک هزینه کل زنجیره تامین افزایش پیدا می‌کند.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت موضوع انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش به‌علت تأثیر زیاد هزینه خرید مواد اولیه بر هزینه کل محصول این موضوع انتخاب شده است. هم چنین به‌علت تأثیر بسیار ریسک‌های اختلال برروی صنایع حتی قدرتمند مانند اپل[۴] نیاز به انعطاف زنجیره تامین و درنظرگرفتن اختلال و عدم قطعیت برکسی پوشیده نیست. لذا، در این تحقیق سعی شده در جهت تکمیل‌تر شدن ادبیات این موضوع یعنی انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش با درنظرگرفتن ریسک اختلال کار شود و لذا تخفیف حجم تجارت که در این مساله بررسی نشده بود در نظرگرفته شد و به‌جهت افزایش انعطاف‌پذیری سیاست‌های حفاظتی تامین پشتیبان و کمک گرفتن از تامین‌کنندگان اصلی مختل نشده و همین‌طور ذخیره اطمینان درنظرگرفته شد و تصمیم بر آن شد که این مساله را در یک زنجیره متمرکز دو سطحی شامل تامین‌کنندگان و تولیدکننده که هزینه خریدار و تامین‌کنندگان را کمینه سازد درنظر گرفته‌شود و تأثیر وضعیت ریسک تصمیم‌گیرنده در این مسئله مورد بررسی قرار داده شود.

نوآوری اصلی این‌کار لحاظ هم‌زمان تخیف حجمی و ریسک اختلال در یک مدل انتخاب تامین‌کننده و تخصیص سفارش است. همین‌طور تا حد امکان سعی شده که مفروضات درنظرگرفته شده با شرکت موردمطالعه، منطبق باشد ضمن این‌که مواردی که در ادبیات با شرایط شرکت ساپکو مطابقت نداشت نیز اصلاح گردید.

نتیجه حاصل شده از این تحقیق به این صورت بود که وضعیت ریسک روی متغیرهای تصمیم مربوط به انتخاب تامین‌کنندگان تأثیری نداشت. همچنین، از نظر انتخاب سطح تخفیف نیز در همه موارد مشابه بود. علت این اتفاق را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که چون احتمال اختلال تامین‌کنندگان و همین‌طور درصد افزایش هزینه آنها در شرایط اختلال که توسط شرکت ساپکو در اختیار قرار داده شده بسیار پایین بوده نتیجه به این‌صورت بود که در هیچ مورد، مدل به‌سمت ذخیره اطمینان نرفت. پس مقادیر خرید از تامین‌کنندگان در شرایط نرمال نیز در تمام حالات ثابت مانده و انتخاب سطح تخفیف هم نتایج مشابه به‌هم داشتند ولی مقادیر خرید اضافه از تامین‌کنندگان در شرایط اختلال اعم از اصلی یا پشتیبان با افزایش α افزایش می‌یابد.

همچنین با افزایش α میل تصمیم‌گیرنده به استفاده از سیاست‌های حفاظتی بیشتر می‌شود که بر طبق بهینگی از این سیاست‌ها استفاده می‌کند با این‌وجود نهایتا با کاهش پذیرش ریسک هزینه‌های کل زنجیره تامین به‌صورت کامل و هزینه اعضای زنجیره تامین به‌صورت کلی افزایش می‌یابد و عملا حساسیت نسبت به ریسک توصیه نمی‌شود.

از محدودیت‌های انجام این تحقیق می‌توان همکاری کم صنعت با موضوع به‌ویژه در زمان شیوع کرونا و همین‌طور زمان‌های اوج کرونا و نیز محدود بودن زمان لازم جهت تحقیقات گسترده تر را برشمرد.

لذا، تحقیق حاضر شامل محدودیت‌هایی نظیر قطعی در نظرگرفتن پارامتر هایی نظیر تقاضا که در واقعیت غیر قطعی اند، تک معیاره (درنظرگرفتن معیار هزینه) و تک دوره‌ای بودن است.

با توجه به موارد ذکرشده، برای تحقیقات آینده در نظر گرفتن عدم‌قطعیت پارامترهایی نظیر تقاضا پیشنهاد می‌شود. به‌علاوه با توجه به این‌که امکان انجام مدل به‌صورت چند معیاره در یک مدل $C-VaR$ وجود نداشت و هدف اصلی این‌کار بررسی وضعیت ریسک تصمیم‌گیرنده بود لحاظ معیارهای مهم مانند پایداری بر پایه مدل اولیه این‌کار می‌تواند در نظرگرفته شود. همین‌طور به‌جهت بررسی دقیق‌تر مسائل کنترل موجودی و انبارداری، توسعه مدل با در نظرگرفتن مدل به‌صورت چنددوره‌ای نیز پیشنهاد می‌گردد.

پانوشت‌ها

1. Lead Time
2. Gams
3. Maximum Likelihood Sampling (MLS)
4. Apple

منابع (References)

1. Beil, D.R., 2010. *Supplier Selection*. wiley Encyclopedia of operations Research and management science. https://doi.org/10.1002/9780470400531.eorms0852.
2. Burton, T.T. ,1988. JIT/repetitive sourcing strategies : 'Tying the Knot' with Y. *Production and Inventory Management Journal*, *29*(38), https://www.proquest.com/scholarly-journals/jit-repetitive-sourcing-strategies-t ying-knot/docview/199938402/se-2.
3. Hajian Heidary, M. and Aghaie, A., 2019. Risk averse sourcing in a stochastic supply chain: A simulation-optimization approach. *Computers & Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.02.023.
4. Rajagopal, V., Prasanna Venkatesan, S. and Goh, M., 2017. Decision-making models for supply chain risk mitigation: A review. *Computers & Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.09.043.
5. Yao, Z., Xu, X. and Luan, J., 2017. Impact of the downside risk of retailer on the supply chain coordination. *Computers & Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.07.009
6. PrasannaVenkatesan, S. and Goh, M., 2016. Multi-objective supplier selection and order allocation under disruption risk. *Transportation Research Part E*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.018.
7. Hosseini, S.M., Morshedlou, N., Ivanov, D., Sarder, M.D., Barker, K. and Al Khaled, A., 2019. Resilient supplier selection and optimal order allocation under disruption risks. *International Journal of Production Economics*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.03.018.
8. Mokhtar, S., Bahria, P., Moayer, S. and James, A., 2019. Supplier portfolio selection based on the monitoring of supply risk indicators. *Simulation Modelling Practice and Theory*. https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.101955.
9. Kaur, H. and Prakash Singh, S., 2020. Multi-stage hybrid model for supplier selection and order allocation considering disruption risks and disruptive technologies. *International Journal of Production Economics*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107830.
10. Esmaeili-Najafabadi, E. and Fallah Nezhad, M.S., Pourmohammadi, H., Honarvar, M. and Vahdatzad, M.A., 2018. A Joint Supplier Selection and Order Allocation Model with Disruption Risks in Centralized Supply Chain. *Computers & Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.11.017.
11. Torabi, A., Baghersad, M., Mansouri, A., 2015. *Resilient supplier Selection and Order Allocation Under Operational and Disruption Risks*. Transportation Research Part E. https://doi.org/10.1016/j.tre.2015.03.005.
12. Vahidi, F., Torabi, A. and Ramezankhani, M.J., 2018. Sustainable supplier selection and order allocation under operational and disruption risks. *Journal of Cleaner Production*. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.012.
13. Li, X., Ventura, J., Venegasb, B., Jin Kweon, S. and Wook Hwang, S., 2018. An integrated acquisition policy for supplier selection and lot sizing considering total quantity discounts and a quality constraint. *Transportation Research Part E*. https://doi.org/10.1016/j.tre.2018.09.003.
14. Manerba, D., Mansini, R. and Perboli, G., 2018. The capacitated supplier selection problem with total quantity discount policy and activation costs under uncertainty. *International Journal of Production Economics*. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.01.035.
15. Bektur, G., 2020. An integrated methodology for the selection of sustainable suppliers and order allocation problem with quantity discounts, lost sales and varying supplier availabilities. Sustainable Production and Consumption. https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.05.006.

16. Cheraghalipour, A. and Farsad, S., 2018. A bi-objective sustainable supplier selection and order allocation considering quantity discounts under disruption risks: A case study in plastic industry. *Computers & Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.02.041Hajian.

17. Bohner, C. and Minner, S., 2016. Supplier selection under failure risk, quantity and business Volume Discounts. *Computers & Industrial Engineering*. https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.11.028.

18. Taheri, M. and Javid, Y., 2021. Risk based modeling for evaluation of insurance companies' investment in public-private parnership in road construction. *Sharif Journal*, September 2021, Pages 83-92. [in persian]. 10.24200/J65.2021.55187.2090.

19. Hasani Moghadam, R., 2022. computing the CVaR of Islamic Securities (Sukuk) (Case study of Murabahah, Ijarah and Musharakah Securities). *Bi-quarterly Journal of Islamic Economics Studies*, spring& summer 2022, pp.465-496. [in persion]. 10.30497/IES.2022.240701.1953.