چشم انداز مدیریت صنعتی
شماره ۱- بهار ۱۳۹۰
ص‌ص ۷۷- ۵۷

طراحی مدل ریاضی منبع‌یابی استوار چندهدفه: رویکردی در کاهش ریسک زنجیره تأمین (مورد مطالعه: زنجیره تأمین ایران خودرو)

مسعود ربیعه*، عادل آذر، محمد مدرس یزدی*** ،**
محمد فطانت فرد حقیقی***

چکیده

منبع‌یابی و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان مناسب، هزینه‌های تأمین را به شکل قابل ملاحظه‌ای کاهش و قابلیت رقابت‌پذیری سازمان را افزایش می‌دهد. از طرفی در محیط پررقابت امروزی، سرعت بالای تغییرات، بر عدم اطمینان حاکم بر تصمیم‌گیری‌ها افزوده است. با توجه به این دو مهم، به منظور افزایش اطمینان در این تحقیق، از رویکرد بهینه‌سازی استوار در برنامه‌ریزی تأمین قطعات دو محصول شرکت ایران خودرو استفاده می‌شود. با توجه به تعداد بالای قطعات هر خودرو، قطعات ارزشمند برای بررسی انتخاب گردید و مدل تأمین این قطعات، در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه چنددوره‌ای طراحی شد. با توجه به عدم اطمینان حاکم بر برخی پارامترهای مدل، این نوع پارامترها به صورت متغیری تصادفی در نظر گرفته شدند. برای رفع نگرانی در مورد این نوع پارامترها، به کمک تکنیک‌های موجود، مدل ما به مدلی استوار تبدیل شد تا پاسخ‌های آن قابل‌اتکا باشد. در پایان، برای ارزیابی صحت عملکرد مدل و بررسی کیفیت جواب‌ها از تکنیک شبیه‌سازی استفاده شد.

کلید واژه‌ها: منبع‌یابی و انتخاب تأمین‌کننده، ریسک ، عدم اطمینان، زنجیره تأمین صنعت خودرو، مدل ریاضی استوار، شبیه‌سازی.

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۲/۷، تاریخ پذیرش مقاله: ۸۹/۷/۵.

* دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس ،دانشکده مدیریت و اقتصاد- گروه مدیریت.(نویسنده مسئول)
E-mail: Masood.rabieh @gmail.com
** استاد دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده مدیریت و اقتصاد -گروه مدیریت.
*** استاد دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی صنایع -گروه مهندسی صنایع.
**** استادیار دانشگاه امام صادق.

مقدمه

با افزایش اهمیت فعالیت خرید و تدارکات، تصمیمات خرید مهم‌تر شده است و از آنجا که امروزه سازمان‌ها وابستگی بیشتری به تأمین‌کنندگان پیدا کرده‌اند، پیامدهای مستقیم و غیرمستقیم تصمیم‌گیری ضعیف، وخیم‌تر خودنمایی می‌کند[۷]. در بیشتر صنایع، هزینه مواد خام و اجزای تشکیل‌دهنده محصول، بخش بزرگی از بهای تمام شده محصول را در برمی‌گیرد [۹]. در چنین شرایطی، بخش تدارکات می‌تواند نقشی کلیدی در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا نماید و تأثیر مستقیمی بر کاهش هزینه‌ها، افزایش سودآوری و انعطاف‌پذیری یک شرکت داشته باشد[۱۰].

در حقیقت، انتخاب مجموعه مناسبی از تأمین‌کنندگان برای کار با آن‌ها، امری بسیار مهم و حیاتی برای موفقیت یک شرکت است[۲۰]. اخیراً با ظهور مفهوم مدیریت زنجیره تأمین، بیشتر محققین، دانشمندان و مدیران پی برده‌اند که انتخاب تأمین‌کننده مناسب و مدیریت آن، ابزاری است که از آن می‌توان برای افزایش رقابت‌پذیری زنجیره تأمین استفاده کرد[۱۵]. لذا انتخاب تأمین‌کننده، تصمیمی مهم و استراتژیک در زنجیره تأمین می‌باشد[۱۶]. اساساً مسائل مربوط به انتخاب تأمین‌کننده، از دو نوع می‌باشند: ۱) منبع‌یابی منفرد، ۲) منبع‌یابی چندگانه. در مورد اول، تأمین‌کننده می‌تواند تمام نیاز خریدار را برآورده سازد، درحالی‌که در مورد دوم، هیچ یک از تأمین‌کنندگان قادر نیستند که این کار را به تنهایی انجام دهند. در این حالت، مدیریت باید دو تصمیم بگیرد: اول اینکه کدام تأمین‌کنندگان، بهترین هستند؟ و چه مقدار خرید از هر کدام از تأمین‌کنندگان انتخابی باید داشت؟[۹] اکثر مدلهای ارائه شده در بحث منبع‌یابی چندگانه، در فضای قطعیت و اطمینان و برخی از آنها در فضای عدم قطعیت از نوع فازی صورت گرفته است. عدم قطعیت از نوع احتمالی و تصادفی، خصوصا به شکل استوار، بسیار اندک مد نظر قرار گرفته است.

به‌طور کلی، در ادبیات زنجیره تأمین، اهمیت و تأثیر عدم اطمینان، به‌طور وسیعی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است[۱۷]. با توجه به این مهم، منابع عدم اطمینان در زنجیره تأمین باید به‌گونه‌ای اثربخش مدیریت شوند. لذا برای مدیریت عدم اطمینان حاکم بر زنجیره تامین و داشتن اعتماد کافی به نتایج، برنامه‌ریزی قابل اتکا و استوار باید انجام شود تا مدیران بتوانند به نتایج آن اطمینان داشته باشند و ریسک تصمیم‌گیری آنها کاهش یابد. یکی از رویکردهای جدید و قابل‌اتکا، برنامه‌ریزی استوار است. در این تحقیق، برای کاهش ریسک در تصمیم‌گیری، از برنامه‌ریزی ریاضی استوار استفاده می‌شود. به‌طور خلاصه، بحث مقاله حاضر، مدل‌سازی استوار منبع‌یابی چندگانه با در نظر گرفتن شاخص‌های متعدد است.

پیشینه ارزیابی، انتخاب و تخصیص سفارش به تأمین‌کننده

اولین تحقیق در حوزه انتخاب تأمین‌کننده را دیکسون انجام داد که منجر به شناسایی و رتبه‌بندی۲۳ معیار شد[۸]. وبر و همکارانش در مروری جامع، ۷۴ مقاله را بررسی و آنها را بر حسب معیارهای دیکسون دسته‌بندی کردند[۱۹]. ادبیات نظری فراوانی در حوزه انتخاب تأمین‌کننده و مدل‌های تصمیم‌گیری در مورد آن وجود دارد. مدل‌های تصمیم‌گیری موجود اساساً در صدد پاسخگویی به این سوالات هستند: چه تعداد تأمین‌کننده، مناسب است؟ خط مشی سفارش‌دهی بهینه چیست؟ برای پاسخ به این سوالات، مدل‌های قطعی بسیاری ارائه شده‌اند. از جمله محققینی که چنین مدل‌هایی را ارائه کرده‌اند، می‌توان به بنتون[۳]، هانگ و هایا[۱۳]، قدسی‌پور و اُبرایان[۹]، داهل[۶]، هانگ‌هونگ و همکاران[۱۱]، و باسنت و لونگ[۱۴] اشاره کرد. عیب اصلی مدل‌های قطعی آن است که قادر نیستند در قبال ماهیت تصادفی سیستم‌های دنیای واقعی پاسخگو باشند. اما محققینی هستند که در باره مدل‌های احتمالی صحبت نموده‌اند، بر اهمیت تصادفی‌بودن و عدم قطعیت در مدل‌های انتخاب تأمین‌کننده تأکید داشته‌اند، و مدل‌هایی را ارائه نموده‌اند که از جمله می‌توان به گوتیرز و کولیز، کاسیلینگام و لی[۱۶]، ورالد و لاگونا[۱۸]، برگر و زنگ[۴]، رویزتورس و محمودی[۱۶]، لی و زلدا[۱۶]. لی و زلدا از جمله کارهای تحقیقاتی جدید در حوزه انتخاب تأمین‌کننده استوار است. آنها در تحقیقشان، دو منبع نامطمئن تقاضا و ظرفیت را لحاظ نموده و بیان داشته‌اند که بیشتر تحقیقات صورت گرفته در فضای احتمالی، بر تصادفی بودن و عدم اطمینان تقاضا تأکید داشته‌اند. به عبارتی، به عدم اطمینان پارامترهای دیگری نیز باید توجه گردد. آنها همچنین بر لزوم ارائه مدل‌های چندمعیاره احتمالی در این حوزه تأکید نموده‌اند. در تحقیق حاضر سعی شده است که در بحث تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان، علاوه بر در نظر گرفتن عدم قطعیت و استواری مدل، شاخص‌های متنوعی نیز لحاظ گردد.

مبانی نظری استواری و بهینه‌سازی استوار

مسائل مربوط به تصمیم، اغلب به دلیل عدم دقت، تغییرپذیری مستمر و ناتوانی در پیش‌بینی وقایع آینده، با عدم اطمینان‌هایی مواجه هستند. نویسندگان چندی استواری را مورد بررسی قرار داده‌اند که کار آنها منجر به حوزه تحقیقاتی وسیعی شده است[۱۲].استواری مدل، یکی از مباحث بسیار مهمی است که در اخلاق، مدل‌سازی و تحقیق در عملیات مطرح می‌باشد. در حقیقت، اگر مدل‌ها استوار باشند، خطر به‌کارگیری اشتباه یا استفاده غلط از آنها بسیارکمتر خواهد شد. استواری به این معنی است که خروجی مدل نباید حساسیت بالا به مقادیر دقیق پارامترها و ورودی‌های مدل داشته باشد[۱۴]. بهینه‌سازی استوار به مدل‌سازی مسائل مربوط به بهینه‌سازی

در شرایطی اطلاق می گردد که عدم اطمینان داده‌ها مطرح باشد و به جوابی برسیم که در مورد همه یا اکثر پارامترهای نامطمئن، خوب باشد. بهینه‌سازی استوار می‌تواند به عنوان یک گزینه مکمل برای تحلیل حساسیت و برنامه‌ریزی احتمالی مطرح باشد.

در پارادایم‌های کلاسیک برنامه‌ریزی ریاضی، داده‌های ورودی مدل (پارامترها) معین (قطعی) و معادل با مقادیر اسمی در نظر گرفته می‌شوند. این نگرش، تأثیر عدم اطمینان بر کیفیت و موجه‌بودن مدل را مد نظر قرار نمی‌دهد. در حقیقت، داده‌هایی که مقادیر متفاوتی از مقادیر اسمی خود را اختیار می‌کنند را ممکن است منجر به این شوند که تعدادی از محدودیت‌ها نقض گردند، جواب بهینه، در طولانی مدت بهینه نماند، یا حتی موجه بودن آن از بین برود. این بحث، این خواسته طبیعی را به ذهن متبادر می‌سازد که روش‌های حلی (مدل‌هایی) طراحی شوند که در مقابل عدم اطمینان داده‌ها ایمنی و حفاظت ایجاد کنند. این روشهای حل، "استوار" نامیده می‌شوند[۵]. اولین گام در این راه را "سویستر" در قالب یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تولید جوابی بود که برای همه داده‌های متعلق به یک مجموعه محدب، موجه باشد. مدل مذکور، جواب‌هایی را ارائه می‌کند که در قبال بهینگی مسأله اسمی به منظور در اطمینان از استواری، به شدت محافظه‌کارانه است[۵ و۲]. در حقیقت، این مساله، یکی از اولین مسائل بهینه‌سازی استوار است. پس از این، گام‌های مهم دیگری به‌طور مستقل برای توسعه تئوری بهینه‌سازی استوار برداشته شد که از جمله می‌توان به بن تال و نمیروسکی، ال‌قاووی و لبرنت، ال‌قاووی و همکاران، وبرتسمس و سیم اشاره کرد. با توجه به اینکه بهینه‌سازی این تحقیق از نوع عدد صحیح مختلط است و استوارسازی مدل با رویکرد مدل "برتسیمس و سیم" همخوانی دارد، در ادامه، توضیحی در این خصوص ارائه می‌گردد. مساله برنامه‌ریزی از نوع عدد صحیح مختلط اسمی زیر را با مجموعه n متغیر که k تای اول آن، متغیرهای عدد صحیح هستند در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} &Minimize && cx \\ &subject\ \ to && Ax \le b \\ & && l \le x \le u \\ &x_i \in z, i = 1,\ldots,k \end{aligned} \qquad (۱)$$

بدون از دست دادن کلیت مساله، فرض می‌شود ماتریس A و c، شامل داده‌های غیر قطعی و بردارb، شامل اعداد قطعی باشد. با فرض اینکه هر یک از ضرایب $a_{ij}, j \in N$ به صورت یک متغیر تصادفی مستقل، با توزیع متقارن و کراندار $\tilde{a}_{ij}, j \in N$ مدل می‌شود که در بازه $[a_{ij} - \hat{a}_{ij},\ a_{ij} + \hat{a}_{ij}]$ مقدار می‌گیرد. هر کدام از $c_j, j \in N$ در بازه $[c_j, c_j + d_j]$ مقدار می‌گیرد به‌طوریکه d_j بیانگر انحراف از ضریب هزینه اسمی c_j می‌باشد. همچنین تنها فرض برای توزیع ضرایب a_{ij}، متقارن بودن آن است. در راستای تحقق هدف استواری جواب، اعداد $\Gamma_i, i = 0,1,\cdots,m$ تعریف می‌شوند که در فاصله (بازه) $[0,|J_i|]$ مقدار می‌گیرند، به‌طوری که $|J_i|$ برابر با تعداد داده‌های غیر قطعی در محدودیت i ام است. نقش پارامتر Γ_i در محدودیت‌ها، تنظیم میزان استواری در مقابل سطح محافظه‌کاری جواب است. پارامتر Γ_0، سطح استوار بودن را برای تابع هدف کنترل می‌کند. اگر $\Gamma_0 = 0$ باشد، اثر تغییرات در ضرایب هزینه به طور کامل لحاظ می‌شود. اما اگر $\Gamma_0 = |J_0|$ باشد، همه تغییرات ممکن لحاظ می‌شود که محافظه‌کارانه‌ترین حالت است. همتای استوار "برتسیمس و سیم" برای مساله (۱) به شکل زیر است[۵]:

$$
\begin{aligned}
& Minz = c'x + z_0\Gamma_0 + \sum_{j\in j_0} p_{0j} && \\
& S.t: \sum_j a_{ij}x_j + z_i\Gamma_i + \sum_{j\in j_i} p_{ij} \le b_i && \forall i \\
& z_0 + p_{0j} \ge d_j y_j && \forall j \in J_0 \\
& z_i + p_{ij} \ge \hat{a}_{ij} y_j && \forall i \ne 0,\ j \in J_i \\
& p_{ij} \ge 0 && \forall i, j \in J_i \\
& y_{ij} \ge 0 && \forall j \\
& z_i \ge 0 && \forall i \\
& -y_j \le x_j \le y_j && \forall j \\
& l_j \le x_j \le u_j && \forall j \\
& x_i \in z && i = 1,\ldots\ldots k
\end{aligned}
\qquad (۲)
$$

در بهینه‌سازی استوار، به ازای هر مسأله اسمی (مسأله دارای پارامترهـای نـامطمئن) یـک مـدل استوار ارائه می‌گردد که همتای استوار نامیده می‌شود.

مورد مطالعه: زنجیره تأمین ایران خودرو

خودروسازی، یکی از اجزای مهم و لاینفک تجارت و صنعت در دنیا می‌باشد. زنجیره تـأمین این صنعت، از پویاترین زنجیره‌هاست. با توجه به این مهم، زنجیره تأمین ایران خودرو، به عنوان بزرگترین زنجیره فعال در این حوزه در ایران، انتخاب گردید.

در این زنجیره، هر خودرو، شامل هزاران قطعه است. صرف‌نظـر از تـک منبـع بـودن برخـی قطعات، بسیاری از قطعات از چند منبع تأمین می‌شوند. به عبـارتی، برنامـه‌ریـزی درسـت بـرای تأمین قطعات با در نظر گرفتن معیارهای مختلف و نیز بالا بودن عدم اطمینان برخی شاخص‌هـا، بر اهمیت برنامه‌ریزی استوار در این زنجیره افزوده است. در این تحقیق، برنامه‌ریزی استوار برای تأمین قطعات دو نوع خودرو (پژو ۴۰۵ و پارس) مدنظر قرار گرفته است. این قطعات، بـیش از ۷۰ درصد ارزش کل هر خودرو را به خود اختصاص داده‌اند. برنامه‌ریزی برای تأمین این قطعـات، بـر مبنای برنامه تولید کارخانه تهران است، اما مدل‌سازی به شکل کلی توسـعه داده شـده اسـت تـا قابل اجرا برای چند کارخانه باشد. بیشتر داده‌های تحقیق، از شرکت‌های سـاپکو و ایـران خـودرو گرفته شده است.

رویه کلی تحقیق (مراحل تحقیق)

قبل از ورود به بحث مدل‌سازی در این تحقیق، رویه کلی یا گام‌های انجام تحقیق در قالب نمودار ذیل ارائه می‌گردد:

شکل۱. رویه کلی تحقیق

فرموله‌کردن مدل

با توجه به حجم بالای قطعات مورد استفاده، تهیه قطعات از تأمین‌کنندگان مناسب و در عین حال، دارای ویژگی‌های متفاوت، از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در خرید از این تأمین‌کنندگان، ویژگی‌های آنها و همچنین محدودیت‌های شرکت در خرید از آنها باید لحاظ شود. مدل‌سازی در این تحقیق، پس از مصاحبه‌های مکرر با مدیران و خبرگان در حوزه زنجیره تأمین مورد مطالعه انجام گرفته و از روایی و اعتبار بالایی برخوردار است. قبل از تشریح مدل‌سازی، مفروضات، اندیسها، متغیرها و پارامترهای مدل در جدول ذیل آورده شده است:

جدول ۱. ویژگی‌های مدل، تعریف اندیس‌ها، متغیرها و پارامترهای مدل

مفروضات	محدود نبودن فضای انبار، ثبات قیمت در طول سال، مجاز نبودن کمبود قطعه، تصادفی بودن ماهیت داده‌های نامطمئن، تبعیت تغییرپذیری (نوسان) داده‌های نامطمئن از توزیع متقارن
اندیس‌ها	i : محصول (خودرو)، j : کارخانه (سایت تولید)، m : قطعه، n : تامین‌کننده، t : دوره زمانی برنامه‌ریزی، r : تابع هدف
متغیرها	Smt = میزان تامین قطعه m ام در دوره زمانی t ام Smjt = میزان تامین قطعه m ام در دوره زمانی t ام برای کارخانه (سایت)j ام Smnjt = میزان تامین قطعه m ام از تامین کننده n ام در دوره زمانی t ام برای کارخانه j ام ISmt = میزان موجودی قطعه m ام در دوره زمانی t ام ISmjt = میزان موجودی قطعه m ام در دوره زمانی t ام درکارخانه (سایت)j ام ISmnjt = میزان موجودی قطعه m ام تامین کننده n ام در دوره زمانی t ام درکارخانه j ام d_i^+ = متغیر انحراف از آرمان (انحراف مثبت) d_i^- = متغیر انحراف از آرمان (انحراف منفی)
پارامترهای قطعی	Pit = میزان تولید خودرو i ام در دوره زمانی t ام Pijt = میزان تولید خودرو i ام درکارخانه j ام در دوره زمانی t ام CS_{mn} = هزینه خرید هر قطعه Ch_{mnj} = هزینه نگهداری هر قطعه در سایت تولید $STOP_{mn}$ = میزان توقف خط تولید اثر عملکرد تامین‌کنندگان $COMP_{mn}$ = میزان شکایت خط تولید از قطعات تامین‌کنندگان PPM_{mn} = شاخص قطعات برگشتی(PPM) به تامین‌کنندگان VC_{im} = ضریب مصرف قطعه m ام در محصول i ام DP_{mn} = عدم تحویل به موقع قطعه m ام از سوی تأمین‌کننده n ام W_r = ضریب اهمیت تابع هدف r ام G_r = مقدار آرمان r ام LT_m = زمان تأمین قطعه m ام α = ضریب اطمینان تعیین‌کننده سطوح مجاز موجودی β = ضریب تعیین‌کننده حداقل خرید از هر تأمین‌کننده Γ = ضریب سطح حفاظت مدل استوار
پارامترهای غیرقطعی	$\tilde{C}t_{mnj}$ = هزینه حمل و نقل قطعه m ام از تأمین‌کننده n ام تا سایت تولید $\tilde{C}_{mn}$ = ظرفیت تأمین‌کننده n ام برای تأمین قطعه m ام

مدل‌سازی توابع هدف

با توجه به نظر مدیران و کارشناسان زنجیره تأمین مورد مطالعه، پنج تابع هدف (آرمان) برای مدل شناسایی شد که در اینجا به تشریح آنها و مدل‌سازی آنها می‌پردازیم:

کمینه‌کردن توقف خط تولید در اثر عملکرد تأمین‌کنندگان(آرمان اول)

از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار در تخصیص سفارش، عملکرد تأمین‌کنندگان در میزان خوابیدگی خط تولید است. این بدان معنی است که در مواقعی، نرسیدن به موقع محصول یا وجود عیب (عیوب) در قطعه منجر به توقف خط تولید یا اصطلاحاً خوابیدگی آن می‌شود. در حقیقت، خوابیدگی خط تولید می‌تواند هزینه‌های نامشهودی را بر شرکت تحمیل کند و لذا داریم:

$$Min\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} STOP_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}}$$

کمینه کردن شکایت خط تولید از قطعات تامین‌کنندگان (آرمان دوم)

حوزه لجستیک شرکت ساپکو همواره با شکایت خط تولید از قطعات تأمین‌کنندگان مواجه است که عاملی تاثیرگذار در تخصیص سفارش است. مدل‌سازی این عامل به این شکل است که هر تأمین‌کننده‌ای که عملکرد بهتری در قیاس با سایر تأمین‌کنندگان داشته باشد، سفارش بیشتری را به خود اختصاص می‌دهد. لذا داریم:

$$Min\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} COMP_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}}$$

کمینه کردن قطعات معیوب تأمین کنندگان (PPM) (آرمان سوم)

PPM[1] از جمله شاخص‌های مهم در ارزیابی و تخصیص سفارش است. به‌طور خلاصه، اهمیت این شاخص، تنها در لحاظ کردن تعداد قطعات معیوب نیست، بلکه نکته اصلی آن است که این شاخص، تعداد عیوب را نسبت به حجم محموله ارسالی توسط تأمین‌کننده محاسبه می‌کند. لذا تأمین‌کننده‌ای که PPM کمتری دارد میزان بیشتری از خرید محصول را به خود تخصیص می‌دهد. لذا مدل‌سازی این بحث عبارتست از:

$$Min\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} PPM_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}}$$

بیشینه‌کردن تحویل به موقع (آرمان چهارم)

تحویل به موقع، از جمله شاخص‌هایی است که در ادبیات انتخاب تأمین‌کننده و در نزد خبرگان صنعت مورد، مطالعه بسیار مورد تاکید قرار گرفته است. مدلسازی تابع هدف این شاخص به این شکل انجام می‌شود که به تأمین‌کننده‌ای که دارای ضریب بالاتری در این شاخص است، تخصیص بیشتری صورت می‌گیرد و لذا داریم:

$$Max\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} DP_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}}$$

هزینه کل تأمین قطعات (آرمان پنجم)

در حوزه زنجیره تأمین مورد مطالعه، هزینه کل تأمین، شامل سه نوع هزینه است: هزینه خرید قطعات، هزینه حمل و نقل قطعات تا سایت تولید، و هزینه نگهداری موجودی قطعات در هر سایت تولید. با توجه به تعاریف پارامترها و متغیرهای مدل‌سازی ریاضی تابع، هزینه کل تأمین قطعات برای تمام دوره‌ها عبارتست از:

$$Min\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{\mathrm{J}}\sum_{t=1}^{T}\mathrm{CS}_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mntj}}+\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}\sum_{\mathrm{t}=1}^{T}\tilde{\mathrm{C}}\mathrm{t}_{\mathrm{mnj}}\mathrm{S}_{\mathrm{mntj}}+\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}\sum_{\mathrm{t}=1}^{T}\mathrm{Ch}_{\mathrm{mn}}\mathrm{IS}_{\mathrm{mntj}}$$

1. Parts Per Million

محدودیت‌های مدل

در حالت کلی، محدودیت‌های این مدل را می‌توان به چند دسته طبقه‌بندی نمود:

جدول۲. طبقه‌بندی کلی محدودیت‌های مدل

محدودیت‌های اصلی	محدودیت تقاضا، محدودیت حداقل مجاز موجودی، محدودیت سقف مجاز موجودی، محدودیت ظرفیت، محدودیت حداقل میزان خرید از هر تأمین‌کننده.
محدودیت‌های آرمانی	محدودیت‌هایی که در حقیقت، هدف هستند و با توجه به آرمان لحاظ شده برای هر هدف، به محدودیت تبدیل شده‌اند.
محدودیت‌های علامتی و عدد صحیح	محدودیت‌هایی که در خصوص علامت و ماهیت گسسته و پیوسته بودن متغیرها اعمال شده‌اند.
محدودیت‌های استواری	محدودیت‌هایی که در هنگام تبدیل مدل اصلی به مدل استوار (همتای استوار) به مدل اضافه شده‌اند.

مدل‌سازی محدودیت‌های اصلی عبارتند از:

محدودیت تقاضا

میزان تقاضا در هر دوره زمانی به سه عامل بستگی دارد: میزان (برنامه) تولید خودرو در آن دوره، ضریب مصرف قطعه در هر خودرو، موجودی اول دوره و موجودی مورد نیاز در پایان دوره. لذا تقاضا برای قطعه m ام در دوره t ام در سایت تولید j ام از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$S_{mtj} = \sum_{n=1}^{n} S_{mntj} = \sum_{i=1}^{i} VC_{im} P_{ijt} - \sum_{n=1}^{n} IS_{mjt-1} + \sum_{n=1}^{i} IS_{mjt} \qquad \forall j,m,t$$

سقف موجودی و حداقل موجودی

بنا بر نظر کارشناسان، میزان موجودی در طی دوره فرمول است. این فرمول، ضریبی از میزان تولید محصول در آن دوره، ضریب مصرف قطعه، زمان تأمین قطعه و ضریب اطمینانی است که با α نمایش داده می شود. لذا حداقل و حداکثر (سقف) مجاز موجودی را از رابطه ذیل به‌دست می‌آوریم:

$$\sum_{i=1}^{n} IS_{mtj} \geq VC_{im} \times X_{ijt} \times \alpha \times LT_m \forall j,m,t$$

$$\sum_{i=1}^{n} IS_{mtj} \leq VC_{im} \times X_{ijt} \times (1+\alpha) \times LT_m \forall j,m,t$$

ظرفیت تأمین‌کنندگان

این محدودیت به این شکل قابل اعمال است که تـأمین‌کننـده i ام مـی‌توانـد تنهـا مقـدار محدودی از تقاضا برای قطعه m ام را برآورده کند. در واقع، ظرفیـت تولیـد سـالانه یـا حـداکثر ظرفیت سالانه‌ای که عرضه‌کننده i ام به خریدار تخصیص می‌دهد، در طول سال بایـد کمتـر یـا مساوی Ci باشد. لذا داریم:

$$\sum_{j=1}^{J} S_{mntj} \le \tilde{C}_{mn} \forall m,n,t$$

حداقل میزان خرید از هر تأمین‌کننده

با توجه به سیاست‌های شرکت برای خرید از تمام تأمین‌کنندگان یک قطعه و با لحاظ کردن ضریبی به عنوان حداقل خرید از هر تأمین‌کننده داریم:

$$\sum_{j=1}^{J} S_{mnjt} \ge \beta \times \sum_{n=1}^{n} \sum_{j=1}^{J} S_{mnjt} \qquad \forall m,n,t$$

مدل آرمانی

با توجه به توضـیحات داده شـده در بخـش قبـل در خصـوص مـدل‌سـازی توابـع هـدف و محدودیت‌ها، مدل در شکل آرمانی آن عبارتست از:

$$MinZ = \sum_{r=1}^{r} w_r (d_r^+, d_r^-) = w_1 d_1^+ + w_2 d_2^+ + w_3 d_3^+ + w_4 d_4^+ + w_5 d_5^- \quad (۳)$$

$$S.t:$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} STOP_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}} + d_1^- - d_1^+ = G_1$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} COMP_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}} + d_2^- - d_2^+ = G_2$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} PPM_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}} + d_3^- - d_3^+ = G_3$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{t}=1}^{\mathrm{T}} DP_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mnt}} + d_4^- - d_4^+ = G_4$$

$$\sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{\mathrm{J}}\sum_{t=1}^{T} \mathrm{CS}_{\mathrm{mn}}\mathrm{S}_{\mathrm{mntj}} + \sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}\sum_{\mathrm{t}=1}^{T} \tilde{\mathrm{C}}\mathrm{t}_{\mathrm{mnj}}\mathrm{S}_{\mathrm{mntj}} + \sum_{\mathrm{m}=1}^{\mathrm{M}}\sum_{n=1}^{N}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}}\sum_{\mathrm{t}=1}^{T} \mathrm{Ch}_{\mathrm{mn}}\mathrm{IS}_{\mathrm{mntj}} +$$

$$d_5^- - d_5^+ = G_5$$

$$\mathrm{S}_{\mathrm{mtj}} = \sum_{\mathrm{n}=1}^{\mathrm{n}} \mathrm{S}_{\mathrm{mntj}} = \sum_{i=1}^{i} VC_{\mathrm{im}} P_{ijt} - \sum_{n=1}^{n} IS_{mnjt-1} + \sum_{n=1}^{i} IS_{mnjt} \quad \forall j,m,t$$

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{IS}_{\mathrm{mtj}} \geq VC_{\mathrm{im}} \times p_{ijt} \times \alpha \times \mathrm{LT}_{\mathrm{m}} \quad \forall j,m,t$$

$$\sum_{i=1}^{n} \mathrm{IS}_{\mathrm{mtj}} \leq VC_{\mathrm{im}} \times p_{ijt} \times (1+\alpha) \times \mathrm{LT}_{\mathrm{m}} \quad \forall j,m,t$$

$$\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}} \mathrm{S}_{\mathrm{mntj}} \leq \tilde{\mathrm{C}}_{\mathrm{mn}} \quad \forall m,n,t$$

$$\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}} \mathrm{S}_{\mathrm{mnjt}} \geq \beta \times \sum_{n=1}^{n}\sum_{\mathrm{j}=1}^{\mathrm{J}} \mathrm{S}_{\mathrm{mnjt}} \quad \forall m,n,t$$

$$\mathrm{S}_{\mathrm{mnjt}}, \mathrm{IS}_{\mathrm{mtj}} \geq 0, \text{integer} \qquad \forall m,n,j,t$$

مدل همتای استوار

با توجه به اینکه در مدل طراحی شده در بخش قبل، متغیرهای عدد صحیح وجود دارد، برای تبدیل مدل به همتای استوار، از مدل "برتسیمس و سیم" استفاده شد. لذا داریم:

(۴)

$$MinZ = \sum_{r=1}^{r} w_r (d_r^+, d_r^-) = w_1 d_1^+ + w_2 d_2^+ + w_3 d_3^+ + w_4 d_4^+ + w_5 d_5^-$$

$$S.t:$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} STOP_{mn} S_{mnt} + d_1^- - d_1^+ = G_1$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} PPM_{mn} S_{mnt} + d_3^- - d_3^+ = G_3$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} DP_{mn} S_{mnt} + d_4^- - d_4^+ = G_4$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} CS_{mn} S_{mntj} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} \tilde{C}t_{mnj} S_{mntj} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} Ch_{mn} IS_{mntj} +$$

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} PP_{mnjt} + Z \times \Gamma_1 - d_5^+ \le G_5$$

$$S_{mtj} = \sum_{n=1}^{n} S_{mntj} = \sum_{i=1}^{i} VC_{im} P_{ijt} - \sum_{n=1}^{n} IS_{mnjt-1} + \sum_{n=1}^{i} IS_{mnjt} \forall j, m, t$$

$$\sum_{i=1}^{n} IS_{mtj} \ge VC_{im} \times X_{ijt} \times \alpha \times LT_m \forall j, m, t$$

$$\sum_{i=1}^{n} IS_{mtj} \le VC_{im} \times X_{ijt} \times (1+\alpha) \times LT_m \forall j, m, t$$

$$\sum_{j=1}^{J} S_{mntj} + ZZ_{mnt}\Gamma_2 + ppp_{mnt} \le \tilde{C}_{mn} \forall m, n, t$$

$$\sum_{j=1}^{J} S_{mnjt} \ge \beta \times \sum_{n=1}^{n}\sum_{j=1}^{J} S_{mnjt} \forall m, n, t$$

$$PP_{mnjt} + ZZ \ge \hat{C}t \; S_{mntj} \forall m, n, j, t$$

$$ZZ_{mnt} + ppp_{mnt} \ge \hat{C}_{mn} \forall m, n, t$$

$$S_{mnjt}, IS_{mtj} \ge 0, \text{integer} \qquad \forall m, n, j, t$$

تعیین ضرایب اهمیت آرمان‌ها

در تحقیق حاضر، از تکنیک AHP برای تعیین اولویت آرمان‌ها (اهداف) استفاده شد. بدین منظور، به کمک پرسشنامه AHP، از ۱۰ مدیر وکارشناس شرکت نظرخواهی شد. و سپس داده‌های مندرج در پرسشنامه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Excel و Expert Choice تجزیه و تحلیل شد که در نتیجه، نرخ ناسازگاری ۰/۰۴ به‌دست آمد. با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری، کمتر از ۰/۱ است، اوزان به‌دست آمده، قابل اعتماد هستند. ضرایب اهمیت آرمان‌ها عبارتند از:

ضریب اهمیت آرمان اول: ۰/۲۶۷
ضریب اهمیت آرمان دوم: ۰/۲۶۱
ضریب اهمیت آرمان سوم: ۰/۲۱۴
ضریب اهمیت آرمان چهارم: ۰/۱۵۶
ضریب اهمیت آرمان پنجم: ۰/۱۰۲

پارامترهای مدل

در حالت کلی، پارامترهای مدل را می‌توان به چند دسته تقسیم کرد:

– پارامترهای عمومی و قطعی : قیمت، عدم تحویل به موقع و....

– پارامترهای مربوط به مقادیر آرمان‌ها و ضرایب اهمیت آنها

– پارامترهای غیر قطعی: اعداد اسمی (اعداد وسط بازه) پارامترهایی چون ظرفیت و هزینه حمل و نقل، اعداد مربوط به دامنه نوسان بازه (طول بازه) پارامترهایی چون ظرفیت، هزینه حمل و نقل و پارامترهای سطوح حفاظت. با توجه به اینکه بحث اصلی این تحقیق، تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان مناسب است، از بین قطعات انتخابی بر مبنای روشABC، قطعات تک منبع حذف شدند. در مجموع، ۱۲۹تأمین‌کننده ارزیابی شدند. ضمناً مدل استوار، بر اساس برنامه تولید دو خودروی مورد مطالعه در سایت تهران برای برنامه‌ریزی ۳ دوره‌ای (ماهانه) در سطح تاکتیکی و با داده‌های واقعی شرکت‌های ساپکو و ایران‌خودرو اجرا گردید. به دلیل حجم زیاد داده‌ها، از ارائه اعداد پارامترها (داده‌های ورودی) خودداری می‌گردد.

حل مدل، شبیه‌سازی و نتایج

به دلیل پیچیدگی بالای مدل از نظر تعداد متغیرها، محدودیت‌ها و داده‌ها، مدل در فضای مجموعه‌ها در نرم‌افزار لینگو (لینک شده با اکسل) برنامه‌نویسی شد تا داده‌های ورودی مدل از اکسل فراخوانی شود و بدین ترتیب، کارایی محاسباتی مدل افزایش یابد. در حین برنامه‌نویسی همواره سعی شد از تکنیک‌های ابتکاری برنامه‌نویسی استفاده شود تا از حجیم شدن بیهوده مدل خودداری شود. پس از اتمام برنامه‌نویسی، مدل استوار ۱۱ بار به ازای ۱۱ حالت سطح حفاظت

حل گردید. پس از هر بار حل، مقادیر متغیرهای به‌دست آمده، ثابت در نظر گرفته شدند و پارامترهای نامطمئن در بازه در نظر گرفته شده، به‌طور تصادفی، در قالب تابع توزیع متقارن برای ۱۰۰۰۰ بار تولید و شبیه‌سازی شدند. در هر بار شبیه‌سازی مشخص شد چه تعداد از محدودیت‌ها نقض شده‌اند. به عبارتی، با مشخص شدن نسبت تعداد کل محدودیت‌های نقض شده به تعداد کل محدودیت‌های دارای پارامترهای نامطمئن، ریسک هر سطح حفاظت تعیین شد. خلاصه نتایج در جداول ذیل آمده است:

جدول۳. مقادیر تابع هدف برای هر یک از آرمان‌ها

حالت	Γ_1	Γ_2	تابع هدف
۱	۰	۰	۸۱۹۱۲۲
۲	۳۹	۰/۱	۱۰۵۷۳۰۵
۳	۷۸	۰/۲	۱۲۸۸۷۸۸
۴	۱۱۷	۰/۳	۱۵۱۸۴۲۸
۵	۱۵۶	۰/۴	۱۷۴۴۶۳۰
۶	۱۹۵	۰/۵	۱۹۷۹۳۴۷

حالت	Γ_1	Γ_2	تابع هدف
۷	۲۳۴	۰/۶	۲۲۰۴۱۱۶
۸	۲۷۳	۰/۷	۲۴۳۰۹۰۸
۹	۳۱۲	۰/۸	۲۶۶۲۵۶۲
۱۰	۳۵۱	۰/۹	۲۸۸۹۸۸۸
۱۱	۳۸۷	۱	۳۱۶۴۱۳۳

جدول۴. درصد مقادیر انحراف از هر آرمان نسبت به مقدار هر آرمان در هر حالت

حالت	Γ_1	Γ_2	الف	ب	ج	د	ه
۱	۰	۰	۰/۰۵۷	۴۷/۱۹۶	۲۲/۶۸۴	۵۳۲/۷۶۸	۱/۷۴۰
۲	۳۹	۰/۱	۰/۲۶۰	۴۷/۳۸۳	۲۲/۷۰۸	۵۴۰/۰۷۳	۱/۸۶۰
۳	۷۸	۰/۲	۰/۴۶۶	۴۷/۵۹۱	۲۲/۷۳۴	۵۴۷/۵۰۱	۱/۸۸۸
۴	۱۱۷	۰/۳	۰/۶۷۰	۴۷/۱۴۰	۲۲/۷۶۵	۵۵۴/۹۷۳	۱/۹۰۵
۵	۱۵۶	۰/۴	۰/۸۷۲	۴۸/۰۳۵	۲۲/۷۹۴	۵۶۲/۴۳۹	۱/۹۱۷
۶	۱۹۵	۰/۵	۱/۰۵۷	۴۸/۲۶۲	۲۲/۸۲۸	۵۷۰/۰۱۰	۱/۹۲۷
۷	۲۳۴	۰/۶	۱/۲۸۳	۴۸/۴۸۱	۲۲/۸۵۷	۵۷۷/۴۱۰	۱/۹۳۴
۸	۲۷۳	۰/۷	۱/۴۸۳	۴۸/۶۹۹	۲۲/۸۸۶	۵۸۴/۸۷۵	۱/۹۴۰
۹	۳۱۲	۰/۸	۱/۶۹۶	۴۸/۹۲۲	۲۲/۹۲۲	۵۹۲/۳۷۵	۱/۹۱۹
۱۰	۳۵۱	۰/۹	۱/۸۹۷	۴۹/۱۴۶	۲۲/۹۵۵	۵۹۹/۸۳۸	۱/۹۵۰
۱۱	۳۸۷	۱۱	۲/۱۴۳	۴۹/۴۹۱	۲۲/۹۹۹	۶۰۷/۳۵۵	۱/۹۵۴

تذکر: ستون‌های الف تا هـ در جدول فوق، به ترتیب، بیانگر درصد مقادیر انحراف از آرمان‌های اول تا پنجم به مقدار هر آرمان هستند.

جدول۵. احتمال نقض محدودیت‌ها در حالت‌های مختلف و براساس شاخص‌های مختلف

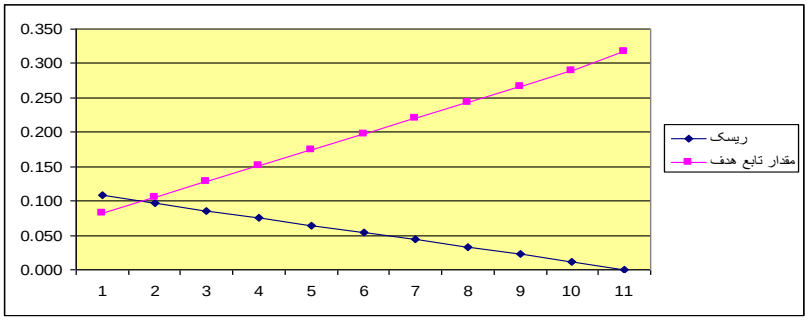
حالت	Γ_1	Γ_2	الف	ب	ج	د	ه	ی
۱	۰	۰	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۱۰۷	۰/۵۲۳	۰/۸۹۳	۰/۴۷۷
۲	۳۹	۰/۱	۰	۰	۰/۰۹۷	۰/۴۳۶	۰/۹۰۳	۰/۵۶۴
۳	۷۸	۰/۲	۰	۰	۰/۰۸۶	۰/۳۸۸	۰/۹۱۴	۰/۶۱۲
۴	۱۱۷	۰/۳	۰	۰	۰/۰۷۵	۰/۳۳۹	۰/۹۲۵	۰/۶۶۱
۵	۱۵۶	۰/۴	۰	۰	۰/۰۶۵	۰/۲۹۱	۰/۹۳۵	۰/۷۰۹
۶	۱۹۵	۰/۵	۰	۰	۰/۰۵۵	۰/۲۴۶	۰/۹۴۵	۰/۷۵۴
۷	۲۳۴	۰/۶	۰	۰	۰/۰۴۴	۰/۱۹۶	۰/۹۵۶	۰/۸۰۴
۸	۲۷۳	۰/۷	۰	۰	۰/۰۳۳	۰/۱۴۹	۰/۹۶۷	۰/۸۵۱
۹	۳۱۲	۰/۸	۰	۰	۰/۰۲۳	۰/۰۹۹	۰/۹۷۷	۰/۹۰۱
۱۰	۳۵۱	۰/۹	۰	۰	۰/۰۱۱	۰/۰۴۹	۰/۹۸۹	۰/۹۵۱
۱۱	۳۸۷	۱۱	۰	۰	۰	۰	۱	۱

جدول ۵، میزان ریسک (احتمال نقض محدودیت‌ها) را نشان می‌دهد. محدودیت آرمانی پنجم، ۳۸۷ پارامتر نامطمئن دارد و دارای سطح حفاظت Γ_1 است. سایر محدودیت‌های دارای پارامترهای نوسان پذیر (نامطمئن)، ۳۸۷ محدودیت‌های ظرفیت می باشند که در خود پارامتر ظرفیت نوسان‌پذیر را دارند و دارای سطح حفاظت Γ_2 می‌باشند. نتایج شبیه‌سازی مشخص کرد که تنها تعدادی از محدودیت‌های ظرفیت (۸۶ مورد) امکان نقض‌پذیری دارند، زیرا برخی از ظرفیت‌ها بیشتر از نیاز وجود دارند یا مدل، تخصیصی کمتر از ظرفیت را برای آنها لحاظ کرده است و لذا نوسان در بازه لحاظ شده، اثری بر آنها ندارد. با توجه به این توضیحات، در مجموع، دو شاخص برای محاسبه سطوح ریسک لحاظ گردید:

شاخص ۱: تقسیم تعداد کل حالت‌های نقض شده بر تعداد کل حالت‌های ممکن

شاخص ۲: تقسیم تعداد کل حالت‌های نقض شده بر تعداد کل حالت‌های وابسته به محدودیت‌هایی که امکان نقض شدن دارند.

شاخص ۲، سختگیرانه‌تر است و در حالت کلی، شاخص ۱، منطقی‌تر است. در جدول ۵، حالت‌های ۱ و۱۱، به ترتیب، خوشبینانه‌ترین و بدبینانه‌ترین حالت‌ها هستند. ستونهای الف و ب، به ترتیب، احتمال نقض محدودیت آرمانی پنجم (بر مبنای شاخص‌های ۱و۲)، ستونهای ج و د، به ترتیب، احتمال نقض محدودیت‌های ظرفیت (بر مبنای شاخص‌های ۱و۲) و ستونهای ه و ی، به ترتیب، درصد اطمینان کل (بر مبنای شاخص‌های ۱و۲) را نشان می‌دهند.



شکل۲. مقایسه نمودارهای روند تابع هدف و روند ریسک

نمودار ۲ که خطی است و روند صعودی دارد، هم مقدار تابع هدف در هر حالت و هم ریسک یا احتمال نقض محدودیت را نشان می‌دهد. به منظور همخوانی اعداد تابع هدف و ریسک از حیث اندازه، نمودار تابع هدف را در مقیاس میلیون رسم کرده‌ایم. نمودار نشان می‌دهد که هر چه به طرف حالت ۱۱ حرکت کنیم، سطح ریسک، کمتر و تابع هدف، بدتر می‌شود.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به حل مدل، شبیه‌سازی و نمودارها، نتایجی به شرح ذیل قابل استنباط است:

۱- از جدول ۳ و نمودار ۲ قابل استنباط است که با کاهش ریسک پذیری (افزایش سطوح حفاظت)، تابع هدف (از نوع کمینه سازی) بدتر شده است. در واقع، هرچه سطح حفاظت افزایش یافته است، مدل، مقادیر متغیرها را به نحو سختگیرانه‌تری در بازه مجاز انتخاب کرده است، به نحوی که احتمال نقض محدودیت‌ها کمتر شده و نهایتا جواب تابع هدف، بدتر شده است. این خود می‌تواند دلیلی بر صحت مدل‌سازی استوار و صحت عملکرد مدل باشد.

۲- از جدول ۴ و شیب نمودارهای مرتبط قابل استنباط است که تغییر سطح ریسک یا سطح محافظه‌کاری، تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر افزایش شیب خط مقادیر تابع هدف داشته است. به عبارتی، استوارسازی مدل در راستای کاهش ریسک تصمیم‌گیری، بسیار ضروری و اثرگذار است.

۳- با توجه به جدول ۴، انحراف از آرمان اول که دارای بالاترین ضریب اهمیت است، توانسته است بسیار زیاد به صفر نزدیک شود. از طرفی، این آرمان در قیاس با سایر آرمان‌ها کمترین درصد انحراف را دارد که نشان‌دهنده عملکرد درست مدل در حضور آرمان‌های متعدد و گاه متناقض است.

۴- با توجه به جدول ۴ و ضرایب اهمیت آرمان‌ها، گرچه آرمان‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵، به ترتیب، دارای بالاترین ضریب اهمیت هستند، اما مدل توانسته است که به ترتیب، انحراف از آرمان‌های ۱، ۵، ۳، ۲ و ۴ را کاهش دهد. از طرفی، درصد کاهش انحراف از آرمان‌های ۱، ۵ و ۳ نسبت به مقدار هر آرمان، قابل توجه است.

۵- اعداد جدول ۵، حاصل شبیه‌سازی هستند و نشان می‌دهند که با افزایش سطح حفاظت، این اعداد کاهش می‌یابد. این روند، نشان‌دهنده عملکرد درست مدل استوار و شبیه‌سازی انجام شده است.

۶- در جدول ۵، در حالت بدبینانه، اعداد سطح حفاظت، بیشترین مقدار را دارند و صفر شدن عدد احتمال نقض محدودیت‌ها در این حالت بدین معنی است که هیچ محدودیتی نقض نمی‌گردد و در ازای آن، بدترین مقدار تابع هدف وجود دارد. در صورتی که این حالت عملاً اتفاق نیفتد (تمام نوسانها اتفاق نیفتند)، انتخاب این گزینه می‌تواند زیان فرصت از دست رفته را برای تصمیم‌گیرنده جبران کند. در مقابل، در حالت خوشبینانه نیز خوشبینی بیش از حد می‌تواند منجر به وارد شدن هزینه و زیان گردد. بنابراین، بهترین حالت آن است که تصمیم گیرنده، میزان ریسکی را بپذیرد و بر اساس آن، مقادیر متغیرهای انتخابی از سوی مدل را در عمل به‌کار گیرد. برای مثال، اگر تصمیم‌گیرنده، پذیرای ریسک حدود ۵ درصد باشد، با توجه به جدول ۵ و بر مبنای شاخص۱، جوابهای به‌دست آمده از حالت ۷ می‌تواند متضمن اطمینان ۹۵ درصدی برای وی باشد و به عبارتی بین ریسک و عایدی توازن ایجاد نماید.

۷- در بخش حل مدل بیان شد که ۳۸۷ محدودیت حاوی پارامترهای نامطمئن وجود دارد و تنها تعدادی از این محدودیت‌ها امکان نقض‌پذیری دارند. لذا با مشاهده اعداد عملا می‌توان گفت ۸۶ محدودیتی که امکان نقض‌پذیری داشته‌اند، از نوع محدودیت‌های فعال هستند. ارائه الگوریتمی برای کاهش این محدودیت‌ها قبل از حل مدل می‌تواند موضوع تحقیقات آتی باشد.

۸- در این تحقیق، علاوه بر مباحث مدل‌سازی و حل مدل، از حیث مفهوم انتخاب تأمین‌کننده نیز شاخص‌های جدیدی چون توقف خط تولید در اثر عملکرد تأمین‌کنندگان و شکایت خط تولید از قطعات تأمین‌کنندگان ارائه شده است که در ادبیات نظری، حداقل به این صراحت نام، وجود ندارند.

۹- به‌طور کلی، با توجه به بحث استواری جواب‌ها، مدل‌سازی مصاحبه ــ محور و لحاظ شاخص‌های مختلف و مهم مطابق با نظر تصمیم‌گیرنده، می‌توان ادعا کرد که مدل از قابلیت اتکای بالایی برخوردار است.

منابع

1. .Basnet, ch. and leang ,J. M.Y.(2005). Inventory lot- sizing with supplier selection. *computers & operations research*, 32, 1-14.
2. 2.Benton, W.C. Quantity discount decision under conditions oF multiple items, multiple suppliers and resource limitation, *I. J oF Production Economics*,. 27, 1953-1961, 199
3. 3.Ben-Tal,A,Nemirovski.A.(2000).Robust solutions of linear programming problems contaminated with uncertain data, *Mathematical Programming*.88,411-424;
4. 4.Berger, P.D., Zeng,A.Z.(2006). Single versus Multiple Sourcing in the Presence of Risk, *j of Operational Research* Society, 57, 250-261.
5. 5.Bertsimas, J.B., Sim,M.(2004). The Price of Robustness. *Operations Research*. 52(1), 35–53.
6. 6.Dahel,N.E.(2003).Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments. *Supply Chain Management: An International Journal*, 8, 335-342
7. 7.DeBoer, L., Labro, E., Morlacchi, P.(2001).A review of methods supporting supplier selection.*European Journal of Purchasing & Supply Management*,7, 75-86.
8. 8. Dickson G.W., (1966).An Analysis of Vendor Selection Systems and Management. *Journal of Purchasing*, 2,5-17.
9. 9.Ghodsypour,S.H.and O'Brien,C.(1998). A decision support system for suppleir selection using integrated analytic hierarchy process and linear programing.*I.J. of Production Economics*,56-57,199-212.
10. Ghodsypour , S. H. and O'Brien,C. (2001). The Total cost oF logistics in supplier selection, under conditions oF multiple souring, multiple criteria and capacity constraint, *International Journal oF Production Economics*,.73, 15-27.
11. HangHong,G.,Chanpark,S.,Sikjang,D.,MinRho,H.,(2005).An effective supplier selection method For constructing a competitive supply-relationship.*Expert system with applications*, 1-11
12. Hites, R., De Smet, H.,Risse, N., Salazar-Neumsnn, M., Vincke, P.(2006) About the applicationability of MCDA to some obustness problems", *E. J of Operational Research* ,174, 322–332.
13. Hong, J.D and Hayya, Jc .(1992). Just- in time purchasing single or multiple sourcing? *I. J of Production Economics*, 27, 175-181
14. Kleijnen J.P.C.(2001).Ethical issues in modeling: Some reflections. *E. J. of Operational Research.* 130: 223–230.
15. Lee,E.K., Ha,S. and Kim, S. K.(2001).Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management, *IEEE transactions on Engineering Management*, 48, 307-318.
16. Li,L.,Zabinsky,Z.B.(2010).Incorporating uncertainty in to a supplier selection problem. *I.J.of Production Economics*.Article in press
17. Van Landeghem., H., Vanmaele, H. (2002). Robust planning:a new paradigm for demand chain planning. J *of Operations Management*, 20, 769-783.

18. Velarde , J.L.G. , Laguna, M.,(2004). A Benders-based heuristic for the robust capacitated international sourcing problem. *IIETransactions*, 36, 1125–1133
19. Weber C.A, Current J.R, Benton W.E.(1991).Vendor Selection Criteria and Methods. *E. J. of Operation Research*,50.2-18.
20. Zhang, Z.,Lei, J.,Cao, N., To, K. and Ng. K.,(2004). "Evolution oF supplier selection criteria and methods",(*www.google.com*), 1-19.