ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها
۱۹ و ۲۰ شهریور ۱۳۹۹ • دانشگاه فردوسی مشهد
6th International Conference on Industrial and Systems Engineering
• 9 & 10 Sep. 2020 • Ferdowsi University of Mashhad

ارائه یک مدل ترکیبی بهینه‌سازی استوار و تصمیم‌گیری چندمعیاره به منظور مکان‌یابی تسهیلات در شبکه زنجیره تامین تاب‌آور

مریم سرغانی [۱]، مصطفی کاظمی [۲]

[۱]کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه فردوسی مشهد؛ maryam.sarghani@mail.um.ac.ir

[۲]استاد گروه مدیریت، دانشگاه فردوسی مشهد؛ kazemi@um.ac.ir

نویسنده مسئول: مریم سرغانی

چکیده

در این مقاله مکان‌یابی بهینه تسهیلات در شبکه زنجیره تامین تاب‌آور مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی این مقوله با در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت ترکیبی در طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد. به این منظور یک مدل بهینه‌سازی استوار با در نظر گرفتن دو نوع عدم‌قطعیت تصادفی و شناختی ارائه شده است. همچنین، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره سلسله‌مراتبی فازی جهت بررسی وضعیت تاب‌آوری زنجیره تامین و سپس از نتایج حاصل از آن در مدل بهینه‌سازی استوار(مدل ترکیبی) استفاده شده است. در رویکرد بهینه‌سازی فازی استوار برنامه‌ریزی با محدودیت شانسی مبتنی بر اعتبار یکی از روش‌های متداول برنامه‌ریزی فازی است. اشکال اساسی سنجش اعتبار این است که تصمیم‌گیرنده فقط می‌تواند از نقطه میانی طیف خوشبینانه و بدبینانه استفاده کند. جهت غلبه بر این اشکال در این پژوهش سنجش فازی جدید، به نام سنجش Me که در آن تصمیم‌گیرنده ترکیبی محدب از طیف خوش بینانه یا بدبینانه را با استفاده از پارامتر خوش بینانه- بدبینانه (λ) در اختیار دارد، ارائه شده است. در واقع این سنجش موجب بررسی نگرش ترکیبی تصمیم گیرنده می‌شود.

کلمات کلیدی: زنجیره‌تامین تاب‌آور، بهینه‌سازی استوار، بهینه‌سازی فازی و تصادفی، ظرفیت‌سنجی، مکان‌یابی

Provide A hybrid model of robust optimization and multi-criteria decision making in order to location facilities in a resilient supply chain network

Maryam sarghani[1], mostafa kazemi[2]

[1] Master of Industrial Management, ferdowsi university

[۲]Professor of Management Departmen, ferdowsi university

* Corresponding author: Maryam sarghani

ABSTRACT

In this paper, the optimal location of facilities in the resilient supply chain network is investigated. This problem is considering under hybrid uncertainty condition along the planning horizon. For this purpose, a robust optimization model is developed by regarding two types of random and cognitive uncertainty. Also, the fuzzy hierarchical multi-criteria decision making method has been used to investigate the supply chain resilience status and then the results have been used in the robust optimization model. In the robust fuzzy optimization approach, validation-based programming with a chance limitations is one of the common methods of fuzzy programming. The main drawback of credibility measurement is that the decision maker can only use the mid point of the optimistic and pessimistic spectrum. In order to overcome these problems, in this research, a new fuzzy measurement called Me measurement is presented, in which the decision maker has a convex combination of the optimistic or pessimistic spectrum using the optimistic-pessimistic parameter (λ). In fact, this measurement examines the combined attitude of the decision maker.

Keywords: Resilient supply chain, robust optimization, fuzzy and random optimization, locating.

۱- مقدمه

مرور تحقیقات انجام شده در حوزه‌ی مکان‌یابی بهینه تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین تحت هر دو نوع از شرایط عدم قطعیت فازی و تصادفی و سنجش میزان تاب‌آوری این تسهیلات بیان‌گر این است که مقالات متعددی جهت بررسی هر یک از این دو موضوع انجام پذیرفته است. حال آنکه، تعداد مقالاتی که به طور همزمان به بررسی مسئله مکان‌یابی تحت هر دو شرایط عدم قطعیت شامل فازی و تصادفی و همچنین سنجش تاب‌آوری تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بپردازد، بسیار محدود می‌باشد. بطور مشخص هدف از تصمیم‌گیری جهت مکان‌یابی تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین تحت شرایط عدم قطعیت، جلوگیری از سرمایه‌گذاری های اضافی و متعاقبا بهبود جایگاه رقابتی سازمان‌ها می‌باشد. در حالیکه، اتخاذ راه‌کارهای تاب‌آوری باعث افزایش آمادگی و اتخاذ استراتژی های متعدد در برابر انواع حوادث و رویدادهای ناشی از عدم قطعیت می‌شود. مروری بر مدل‌های مکان‌یابی تسهیلات در شبکه زنجیره تامین موید این مطلب است که سنجش تاب‌آوری تسهیلات در عمده‌ی مدل‌ها در نظر گرفته نمی‌شود، علاوه بر آن تنها یک نوع عدم قطعیت در نظر گرفته می‌شود. درحالیکه، در عمل در نظر گرفتن یک نوع عدم قطعیت و عدم در نظرگیری تاب‌آوری موجب عدم کارایی و اثربخشی مدل و نتایج حاصل از آن در دنیای واقعی می‌شود. در نتیجه یک شرکت با اجرای چنین مدلی برای زنجیره تامین خود به مزیت رقابتی و سودآوری بلندمدت دست پیدا نخواهد کرد. بنابراین، ارائه مدلی که به طور همزمان به بررسی مسئله مکان‌یابی تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی (فازی و تصادفی) بپردازد و از نتایج سنجش تاب‌آوری تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره بهره بگیرد، به نزدیک شدن نتایج حاصل از مدل به دنیای واقعی و متعاقبا سودآوری بیشتر کمک می‌کند. بدین منظور بکارگیری رویکردهایی از مدلسازی ریاضی که تصمیمات اتخاذ شده در آن بر مبنای واقعیت باشد؛ به دلیل اثر بخشی و اعتبار قابل قبول نتایج حاصل از این رویکردها در دنیای واقعی لازم به نظر می‌رسد. رویکرد ریاضی که اخیرا برای مقابله با عدم قطعیت پارامترها مطرح شده است، رویکردی ضدریسک بنام مدل‌های استوار می‌باشد. از طرفی دو دسته مهم از انواع عدم قطعیت‌ها در فعالیت‌های زنجیره تامین از جمله مکان‌یابی، عدم قطعیت تصادفی و شناختی می‌باشد. برای برنامه‌ریزی تحت هر کدام از این عدم قطعیت‌ها یک روش مدل‌سازی متناسب با آن بکار گرفته می‌شود. به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت تصادفی از برنامه‌ریزی تصادفی و عدم قطعیت شناختی از برنامه ریزی فازی استفاده می‌شود. به این ترتیب، رویکرد استوار با تنظیم سطح محافظه‌کاری با توجه به پارامترهای نامشخص نیز انحرافات توابع هدف و محدودیت‌ها را کنترل می‌کند. مروری بر تحقیقات انجام شده در حوزه‌ی مکان‌یابی بهینه تسهیلات در شبکه زنجیره‌تامین بیانگر روند رو به رشد تعداد مقالات در این حوزه می‌باشد. از جمله این نوع مدل‌ها می‌توان به تحقیقات [۱ تا ۵] اشاره کرد. در بیشتر این تحقیقات اغلب یک نوع عدم قطعیت در نظر گرفته شده است. اما از طرف دیگر مقالاتی که سنجش تاب‌آوری را در مدل خود در نظر بگیرند، محدود است. به عنوان مثال آذر و همکاران [۱] یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی فازی استوار را با استفاده از مفاهیم برنامه‌ریزی با محدودیت‌های اعتبار و میانگین انحراف مطلق برای طراحی شبکه زنجیره‌تامین حلقه بسته(مکان‌یابی یکی از تصمیمات آن می‌باشد) تک محصولی و تک‌دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی توسعه داده است. احمد محمد و همکاران[۶] مدل برنامه‌ریزی چند هدفه فازی را جهت طراحی تاب‌آور -سبز شبکه زنجیره تامین جهت تعیین مکان و تعداد بهینه تسهیلاتی که باید تاسیس شود، توسعه داده است.

مرور ادبیات این بخش نشان‌دهنده‌ی این موضوع بود که تمامی مقالات به بررسی مسئله مکان‌یابی در شبکه زنجیره‌تامین تنها تحت یک نوع شرایط عدم‌قطعیت و یا بررسی آن تحت هر دو نوع شرایط و عدم در نظرگیری تاب‌آوری تسهیلات پرداخته‌اند.

در این مقاله یک مدل جدید برنامه‌ریزی تصادفی و فازی استوار برای مکان‌یابی بهینه تسهیلات در شبکه زنجیره تامین (چندمرحله‌ای، چند محصولی و چند دوره‌ای) تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی توسعه داده شده است. علاوه بر آن، یک روش فازی همراه یک روش سلسله مراتب فازی جهت سنجش میزان تاب‌آوری تسهیلات موجود بکار رفته است. سپس نتایج آن در مدل استوار به کار گرفته شده است. در ادامه ساختار مقاله بصورت زیر ارایه می‌شود: در بخش بعد مدل ریاضی قطعی مسئله مکان‌یابی ارایه می‌شود. سپس در بخش ۳ مدل ترکیبی بهینه فازی و تصادفی توسعه داده می‌شود. در بخش ۵ تحلیل استواری، بخش ۶ نتایج و در بخش پایانی نیز جمع‌بندی و نتیجه‌گیری تشریح می‌گردد. لازم به ذکر است که به دلیل پرهیز از طولانی شدن متن مقاله از آوردن مراحل روش فازی و سلسله‌مراتبی اجتناب شده است.

۲.مدل پیشنهادی قطعی ریاضی مسئله مکان‌یابی

1 جهت مدل‌سازی مسئله مکان‌یابی مورد مطالعه دو مرکز تولید موجود و دو مکان جهت احداث مراکز تولید جدید در نظر گرفته شده است.

2 همچنین، دو انبار و دو مرکز مشتری موجود می‌باشد.

3 $$CF = \sum_{j=1}^{J} FCM_{j,q}.Y_j$$

$$CM = \sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} CM_{jS}\,.Q_{pjkts} + \sum_{e=1}^{E}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}\sum_{S=1}^{S} CM_{es}\,.Q_{pekts} \quad (4)$$

$$CO = \sum_{e=1}^{E} C_e^O Y_e + \sum_{k=1}^{K} C_k^O Y_k \quad (5)$$

$$RE = \sum_{e\in E} Wd_e^R\ (\sum_{e\in E} W_e^R\, y_e) + \sum_{k\in K} Wd_k^R\ (\sum_{k\in K} W_k^R\, y_k) + \sum_{e\in E} Wd_e^A\ (\sum_{e\in E} W_e^A\, y_e) + \quad (6)$$
$$\sum_{k\in K} Wd_k^A\ (\sum_{k\in K} W_k^A\, y_k) + \sum_{e\in E} Wd_e^L\ (\sum_{e\in E} W_e^L\, y_e) + \sum_{k\in K} Wd_k^L\ (\sum_{k\ \in K} W_k^L\, y_k) + \sum_{e\in E} Wd_e^F\ (\sum_{e\in E} W_e^F\, y_e) + \quad (7)$$
$$\sum_{k\in K} Wd_k^F\ (\sum_{k\in K} W_k^F\, y_k) \quad (8)$$

$$Min\ CF + CM + \boldsymbol{CO} \qquad (۱)$$

$$Max\ \boldsymbol{RE} \qquad (۲)$$

s.t:

$$\sum_{p=1}^{2} Q_{\text{pjkts}} \le ca_j\,.Y_j \qquad \forall\ p \qquad p = 1,2 \qquad (۳)$$

$$\sum_{p=1}^{2} Q_{\text{pekts}} \le ca_e.Y_e \qquad \forall\ p \qquad p = 1,2 \qquad (۴)$$

$$\sum_{p=1}^{2} Q'_{\text{pkhts}} \le ca_k\,.Y_k \qquad \forall\ p \qquad p = 1,2 \qquad (۵)$$

$$\sum_{K=1}^{P}\sum_{p=1}^{K} Q'_{\text{pkhts}} \ge ds \qquad \forall\ p \qquad p = 1,2 \qquad (۶)$$

$$Q_{pjkts}, Q_{pekts}\,, Q_{\text{pkhts}} \ge 0 \qquad (۷)$$

$$Y_e\,, Y_k\,, Y_j \in \{0,1\} \qquad (۸)$$

معادله شماره (۱) هزینه کلی زنجیره‌تامین را شامل هزینه ثابت احداث مراکز تولید بالقوه، هزینه ثابت عملیاتی و هزینه تولید حداقل می‌کند. معادله شماره (۲) ارزش تاب‌آوری شبکه زنجیره‌تامین را با استفاده از ارکان آن شامل انعطاف‌پذیری، چابکی، ناب‌بودن و استواری[۷] حداکثر می‌کند. محدودیت شماره (۳) تضمین می‌کند، میزان کل محصول ارسالی از مرکز تولید **j** (در حال افتتاح) به انبار **k** باید مساوی یا کمتر از ظرفیت مرکز تولید **j** باشد. محدودیت شماره(۴) بیان‌گر این است که میزان کل محصول ارسالی از مرکز تولید **e** به انبار **k** باید مساوی یا کمتر از ظرفیت مرکز تولید **e** باشد. محدودیت شماره (۵) تضمین می‌کند، میزان کل محصول ارسالی از انبار **k** به مرکز مشتری **h** مساوی یا کمتر از ظرفیت انبار **k** باشد. محدودیت شماره (۶) اطمینان می‌دهد، تمام تقاضای مشتریان برآورده می‌شود. معادله شماره (۷) و (۸) نمایانگر غیرمنفی بودن متغیرهای پیوسته و متغیرهای صفر و یک می‌باشد.

۳.مدل پیشنهادی فازی – تصادفی استوار مسئله مکان‌یابی پژوهش

مدل حاضـــر به دلیل چند هدفه بودن با به کارگیری روش تبدیل تابع هدف به محدودیت حل گردید. در مدل اســـتوار نیز تابع هدف دوم (حداکثر ســـازی ارزش ارکان تاب آوری) به عنوان یکی از محدودیت‌های آرمانی در نظر گرفته می‌شـــوند. به این ترتیب مدل اســـتوار پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد.

$$Min\ E[CF + CO + CM] + \gamma(Z_{max} - Z_{min}) + \omega \sum_S P_S\,.\{(E[CF + CO\ + CM] - E[CF + CO\ + CM_S]) + 2\theta_S\} +$$
$$\delta_1 \sum_S P_S \left[d_{4s} - \frac{(a_s - \lambda)d_{4s} + (1-a_s)d_{3s}}{1-\lambda}\right] + \delta_2 \sum_S P_S \left[\frac{(V_s - \lambda)N_{1S} + (y - V_s)N_{2S}}{1-\lambda} - N_{1S}\,.y\right] \qquad (۹)$$

$$AX_S \ge \frac{(a_s - \lambda)d_{4S} + (1-a_s)d_{3S}}{1-\lambda} \qquad (۱۰)$$

$$RE + d_1^- - d_1^+ = 1.8 \quad (۱۱)$$

$$d_1^+ + d_2^- - d_2^+ = 3.2 \quad (۱۲)$$

$$SX_S \leq \left[\frac{(V_s - \lambda)N_{1s} - (y - V_s)N_{2s}}{1-\lambda}\right] \quad (۱۳)$$

$$V_s \geq M.(y-1) + \beta_s \quad (۱۴)$$

$$V_s \leq \beta_s \quad (۱۵)$$

$$y \in \{0,1\},\ X \geq 0 \quad (۱۶)$$

$$Z_{max} = f_4 . y + \sum_s P_s . C_{4s} . y_s \quad (۱۷)$$

$$Z_{min} = f_1 . y + \sum_s P_s . C_{1s} . y_s \quad (۱۸)$$

عبارت اول معادله (۹) بیانگر ارزش مورد انتظار تابع هزینه‌کلی می‌باشد. عبارت دوم معادله (۹)، استواری بهینگی تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی را نشان می‌دهد که با استفاده از حداقل‌سازی تفاوت حداکثر ارزش احتمالی و حداقل ارزش احتمالی می‌تواند کنترل شود. به عبارت دیگر، قسمت دوم بطور دقیق‌تر انحراف احتمالی محور از ارزش بهینه تابع هدف می‌باشد و با معادله (۱۸) و (۱۹) نشان داده می‌شود.γ وزن(اهمیت) انحرافات احتمالی را نسبت به سایر اجزای تابع هدف نشان می‌دهد. عبارت سوم معادله (۹) بیانگر عدم قطعیت‌های تصادفی همان انحراف سناریویی از ارزش بهینه تابع هدف می‌باشد. به بیان بهتر، این عبارت میزان انحراف ارزش مورد انتظار تابع هدف را از ارزش مورد انتظار تابع هدف سناریویی نشان می‌دهد. عبارت چهارم و پنجم در معادله (۹)، استواری شدنی را با به کارگیری δ_1 وδ_2 (نرخ جریمه برای انحراف از اعداد سمت راست محدودیت‌های تصادفی) تعیین می‌کند. عبارت سوم در تابع هدف عبارتی غیرخطی است که با استفاده از روش ارائه شده توسط یو و لی (۲۰۰۰) که همان مدل توسعه داده شده مالوی (۱۹۹۵) می‌باشد، با استفاده از متغیر اضافی θ_S خطی می‌شود[۸, ۹]. علاوه بر این چون N (بیانگر پارامترهای فازی احتمالی است) یک پارامتر غیرقطعی می‌باشد، مدل برنامه‌ریزی تصادفی– احتمالی استوار یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی غیرخطی می‌باشد. بنابراین متغیر اضافی $V_S = \beta_S . y$ برای فرمولسازی معادل قطعی مدل تعریف شده است. همچنین پارامتر M عددی بزرگ است. در آخر سه محدودیت برای کنترل بردار V به مدل اضافه شده است. λ در معادله ۹،۱۰ و ۱۳ بیانگر پارامتر خوش بینانه- بدبینانه می‌باشد که ترکیبی محدب از طیف خوش بینانه یا بدبینانه را برای تصمیم‌گیرنده فراهم می‌کند.

۴.نتایج (مورد مطالعاتی)

مدل تشریح شده در قسمت ۲ و ۳ برای شرکت لاماالکترونیک به عنوان مورد مطالعه پژوهش با استفاده از نرم افزار گمز اجرا شد و نتایج حاصل از آن به شرح زیر می‌باشد. همچنین، برای محاسبه وزن ارکان تاب‌آوری از نرم‌افزار اکسل استفاده شده است.جهت اعتبارسنجی مدل نتایج حاصل از حل مدل به تایید خبرگان شرکت رسیده است. لازم به ذکر است در این مدل هزینه ثابت احداث مراکز تولید پیشنهادی و هزینه ثابت عملیاتی مراکز تولید موجود و انبارها به عنوان پارامترهای دارای عدم‌قطعیت فازی و هزینه تولید یک واحد کالا در مراکز تولیدی در حال افتتاح و موجود و همچنین تقاضای مشتریان به عنوان پارامترهای دارای عدم قطعیت تصادفی(تحت سناریو) در نظرگرفته شده است. همچنین سه سناریو وضعیت اقتصادی عالی، متوسط و رکود در نظر گرفته شده است.

جدول(۱): وزن ارکان تاب آوری بوسیله روش سلسله مراتب فازی

	ارکان تاب‌آوری			
تصمیم گیرنده	استواری	چابکی	انعطاف پذیری	ناب بودن
تصمیم‌گیرنده بخش فروش و انبار	۰.۵۷۳۹۴۵	۰.۲۱۷۴۱۶	۰.۱۵۳۴۸۱	۰.۰۵۵۱۵۸
تصمیم گیرندگان تولید	۰.۵۴۸۳۹۱	۰.۱۹۸۹۰۵	۰.۱۷۵۴۸۲	۰.۰۷۷۲۷۶

جدول (۲): وزن مراکز تولید و انبارها مبتنی بر ارکان تاب آوری با استفاده از تکنیک فازی

ارکان تاب‌آوری						
مکان	استواری	چابکی	انعطاف پذیری	ناب بودن	وزن کلی	رتبه
مرکز تولید ۱	۰.۶۴۵۳۸	۰.۲۴۱۵۱	۰.۱۸۲۶۳	۰.۰۵۳۴۰۷	۰.۲۸۰۷۳۲	۲
مرکز تولید ۲	۰.۶۳۷۹۴	۰.۲۴۱۵۱	۰.۱۸۸۶۸	۰.۰۶۰۵۰۰	۰.۲۸۲۱۵۸	۱
انبار ۱	۰.۴۰۹۲۷	۰.۱۵۱۸۷۷	۰.۱۱۲۷۱۱	۰.۰۸۹۴۹۱	۰.۱۹۰۸۳۷	۱
انبار۲	۰.۳۹۴۲۵	۰.۱۴۱۲۸۳	۰.۱۱۲۷۱۱	۰.۰۸۹۰۶۴	۰.۱۸۴۳۲۷	۲

جدول(۳): نتایج حاصل از حل مدل قطعی و استوار در حالت اولیه سیستم

تابع هدف	هزینه	ارزش ارکان تاب‌آوری	مراکزی که باید باز باشند.		مرکزتولید پیشنهادی که باید افتتاح شود.	سطح‌ظرفیت-موثرهردوره‌مرکز تولیدی‌که باید افتتاح شود
			انبار	مراکز تولید		
قطعی	۱.۳۸۲,۹۳۰,۹۴۲	۲.۲۸۵	۱ ۰	۰ ۱	۱ ۱	۱۰۰۰۰۰
استوار $\alpha = \beta = \lambda = 0.5$	۱.۹۴۰.۸۲۱.۲۷۰	۱.۹۹۵	۱ ۱	۱ ۱	۱ ۱	۱۶۵۰۰۰

۵.تحلیل استواری

بعد از اجرای مدل پیشنهادی لازم است که عملکرد آن با تغییر مقادیر پارامترهای مربوط به استوارشدنی و بهینگی مورد سنجش واقع شود. به این منظور جدول (۴) نشان می‌دهد، هنگامی‌که ضریب انحراف احتمالی افزایش می‌یابد، ارزش بهینه مورد انتظار افزایش و انحراف احتمالی از ارزش بهینه تابع هدف کاهش می‌یابد. بر اساس جدول اگر $\gamma=0$ مدل بالاترین میزان انحراف احتمالی را دارا می‌باشد. به بیان دیگر تصمیم‌گیرندگان با ریسک بالایی در ارتباط با تصمیم‌گیری در مورد متغیرهای فازی مواجه هستند.

جدول(۴): . اثر تغییر گاماγ بر میانگین هزینه‌ها و انحراف احتمالی

وزن انحراف احتمالی	۰	۱	۲	۳	۴	۵
میانگین هزینه	۱.۷۹۲.۰۰۰	۱.۸۵۰.۰۰۰	۱.۹۲۰.۰۰۰	۱.۹۳۶.۰۰۰	۲.۰۴۰.۰۰۰	۲.۱۶۱.۰۰۰
انحراف احتمالی	۷.۶۲۲	۷.۵۶۱	۷.۴۸۳	۷.۴۵۰	۷.۳۹۲	۷.۳۰۹

جدول (۵) نشان می‌دهد هنگامی‌که ضریب انحراف شانسی یا همان تصادفی افزایش می‌یابد، ارزش بهینه مورد انتظار افزایش و انحراف احتمالی از ارزش بهینه تابع هدف کاهش می‌یابد. بر اساس جدول اگر $\omega = 0$ مدل بالاترین انحراف سناریویی را دارا می‌باشد. به بیان دیگر تصمیم‌گیرندگان با ریسک بالایی در تصمیم گیری در مورد متغیرهای سناریویی مواجه هستند. علاوه بر آن بر روی پارامتر خوش‌بینانه – بدبینانه(λ) و سطوح اطمینان (α , β) تحلیل حساسیت صورت گرفته است و نتایج آن در جدول (۶)آورده شده است. ۱.فرض می‌شود α , β مقدارشان یکی و ثابت است و مقدار پارامتر خوش‌بینانه – بدبینانه را تغییر می‌دهیم. ۲.فرض می‌شود، مقدار پارامتر خوش‌بینانه – بدبینانه ثابت و مقدار α , β تغییر می‌کند. بر اساس جدول (۶) زمانیکه α , β مقدار یکسانی داشته باشند، با افزایش مقدار λ مقدار تابع هدف کمتر می‌شود و برعکس. بطور کلی می‌توان گفت اگر تابع هدف حداکثرسازی باشد، λ یک پارامتر بدبینانه و اگر تابع هدف حداقل

سازی باشد، λ پارامتر خوش بینانه است . علاوه بر آن در جدول (۶) زمانیکه β و α افزایش یابد، میزان بهینه تابع هدف افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش β و α و ثابت بودن ارزش λ منطقه موجه کاهش می‌یابد. بر عکس هنگامیکه β و α کاهش یابد، ناحیه موجه افزایش و جواب‌های حاصله بهبود می‌یابد.

جدول(۵): اثر تغییر امگا بر میانگین هزینه‌ها و انحراف تصادفی (داده‌ها بر حسب ۱۰۰۰ می‌باشد)

وزن انحراف احتمالی	۰	۱	۲	۳	۴	۵
میانگین هزینه	۱.۳۸۵.۰۰۰	۱.۳۹۷.۰۰۰	۱.۴۲۰.۰۰۰	۱,۴۹۰,۰۰۰	۱.۵۳۰.۰۰۰	۱,۵۸۱,۰۰۰
انحراف تصادفی	۴,۸۳۷	۴.۲۰۰	۳.۸۴۲	۳.۷۵۰	۳.۴۵۲	۳.۱۱۱

جدول (۶): تحلیل حساسیت بر پارامترهای خوش‌بینانه – بدبینانه(λ) و سطوح اطمینان (α , β)

λ	α , β	۰.۶	۰.۷	۰.۸	۰.۹	۱
۰	مقادیر آلفا و بتا مساوی هم و اعداد مقابل سلول آن از جمله ۰.۶ تا ۱ می‌	۱.۸۸۳.۷۶۰	۱.۸۹۵.۵۶۱	۱.۹۱۴.۷۸۰	۱.۹۵۶.۳۶۰	۱.۹۶۸.۷۸۰
۰.۱		۱.۸۷۹.۳۴۰	۱.۸۸۳,۷۰۴	۱.۹۱۰.۵۸۰	۱.۹۵۲.۶۸۰	۱.۹۶۸.۷۸۰
۰.۲		۱.۸۷۳.۲۰۰	۱.۸۸۳.۷۶۰	۱.۹۰۷.۴۸۰	۱.۹۴۴.۸۷۰	۱.۹۶۸.۷۸۰
۰.۴		۱.۸۴۵.۷۸۰	۱.۸۷۰.۹۵۰	۱.۸۹۹.۰۷۰	۱.۹۲۸.۹۶۰	۱.۹۶۸.۷۸۰
۰.۶		۱.۸۰۹.۵۶۰	۱.۸۶۸.۰۸۰	۱.۸۹۲.۱۰۰	۱.۸۹۶.۸۰۰	۱.۹۶۸.۷۸۰
۰.۹		۱.۶۹۳.۹۶۰	۱.۷۷۱.۷۴۰	۱.۸۶۴.۰۲۹	۱.۸۸۷.۸۰۰	۱.۹۶۸.۷۸۰

۶.نتیجه و جمع‌بندی

در نظر گرفتن همزمان دو نوع عدم قطعیت فازی و تصادفی و سنجش تاب‌آوری تسهیلات در مسئله مکان‌یابی با هدف حداقل‌کردن هزینه‌ها ضمن کنترل دقیق انحرافات می‌تواند منجر به بهبود کیفیت تصمیم‌گیری در شبکه زنجیره تامین شود. در این مقاله مدل مکان‌یابی تسهیلات در شبکه زنجیره تامین تاب‌آور تحت شرایط عدم قطعیت ترکیبی توسعه داده شده است. بدین منظور شبکه نجیره‌تامین چندمرحله‌ای، چند دوره‌ای و چندمحصولی فرض شد. علاوه بر آن از روش سلسله مراتبی فازی و یک روش فازی جهت سنجش میزان تاب‌آوری تسهیلات موجود استفاده گردید. سپس مدل توسعه داده شده در یک مورد واقعی در صنعت اجرا گردید. پس از اجرای مدل در نرم افزار بهینه‌سازی گمز مشخص گردید که جواب‌های حاصل از مدل استوار دارای برتری نسبت به روش قطعی می‌باشد. همچنین، با افزایش مقدار امگا و گاما، میانگین هزینه‌ها که نمایانگر استواری جواب است، افزایش می‌یابند. همچنین انحرافات احتمالی و تصادفی که بیانگر استواری مدل می‌باشد کاهش یافته‌اند. تفسیر این دو روند به این صورت است که افزایش مقدار امگا و گاما، باعث نزدیکتر شدن جواب‌های حاصل از مدل استوار به شدنی بودن می‌شود. علاوه بر آن، در مدل استوار به دلیل کاهش میزان انحرافات و افزایش سطح اطمینان، تعداد انبارها و مراکز تولید موجود که بایستی جهت استفاده از آن‌ها باز باشند، افزایش یافته است. هر چند نتایج حاصل از طراحی آزمایشات جهت ارزیابی مدل در حالات سه‌گانه سناریوها در این مقاله آورده نشده است، اما مدل بهینه‌سازی استوار قابلیت ایجاد جواب‌های استوار را هنگامی‌که سناریوها بشکل معناداری با یکدیگر تفاوت دارند دارا می‌باشد. از طرفی هزینه کلی و واریانس جواب‌ها در حالات خوشبینانه و بدبینانه نشاندهنده‌ی کارایی بیشتر مدل استوار نسبت به مدل قطعی می باشد.

مراجع

[1] آذر، عادل؛ فرخ، م و جندقی، غ.(۱۳۹۵). توسعه یک رویکرد برنامه ریزی فازی‌استوار برای طراحی‌زنجیره‌تأمین حلقه بسته، چشم انداز مدیریت صنعتی،۲۲، ۴۳-۹.

[2] Jabbarzadeh, A., Haughton, M., Khosrojerdi, A .(2017).Closed-loop Supply Chain Network Design under Disruption Risks: A Robust Approach with Real World, Journal of Application, Computers & Industrial Engineering,116,178-191 .

[3] Jabbarzadeh, A., Haughton, M., Pourmehdi ,F .(2018).A robust optimization model for efficient and green supply chain planning with postponement strategy, International Journal of Production Economics, Journal of Industrial and Systems Engineering,1 (11), 113-126

[4] Kim, J., Do Chung, B., Kang, Y.and Jeong, B.(2018). Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and demand uncertainty, Journal of Cleaner Production,20(196),1314-1328.

[5] Zhen, L., Huang, L. and Wang ,W(2019).Green and sustainable closed-loop supply chain network design under uncertainty, Journal of Cleaner Production,1195-1209.

[6]Mohammed, A., Harris, I., soroka, A., Nujiim, R.(2019). A hybrid MCDM-fuzzy multi-objective programming approach for a G-resilient supply chain network design, 127,297-312. Journal of Computers & Industrial Engineering,127,297-312.

[7]Purvis, L., Spall, S., Naim, M., & Spiegler, V. (2016). Developing a resilient supply chain strategy during ‘boom’ and ‘bust’. Journal of Production Planning & Control, 27(7–8), 579–590.

[8] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., Zenios, S. A.(1995).Robust optimization of largescale systems, Operations Research 2(43), 264–281.

[9] Yu, C. S., & Li, H. L. (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems.International Journalof Production Economics,64(1-3), 385-396.

پارامترها و متغیرها

پارامترها	
d_s: مقدارتقاضای مشتری h در هر دوره زمانی تحت سناریو s	Ca_e : حداکثر ظرفیت مرکز تولید E در هر دوره ی زمانی
$Fcm_{j,q}$: هزینه ثابت احداث مرکز تولیدی j با سطح ظرفیت q	Ca_k : حداکثر ظرفیت انبار K در هر دوره ی زمانی
C_e^o: هزینه ثابت عملیاتی مراکز تولید موجود	P_s: احتمال سناریو
C_k^o: هزینه ثابت عملیاتی انبارها	Wd_e^L : وزن معیار استواری بر اساس FAHP در مرکز تولید e
$Ca_{j,q}$: حداکثر ظرفیت مرکز تولید j با سطح ظرفیت q در هر دوره ی زمانی	$Wd^A{}_e$:وزن معیار چابکی بر اساس FAHP در مرکز تولید e
CM_{js} : هزینه تولید هر واحد محصول P در مرکز تولید j دربازه زمانی t تحت سناریو s	Wd_e^L:وزن معیار ناب بودن بر اساس FAHP در مرکز تولید e
CM_{es}: هزینه تولید هر واحد محصول P در مرکز تولید e در بازه زمانی t تحت سناریو s	Wd_F^L:وزن معیار انعطاف پذیری بر اساس FAHP در مرکز تولید e
Wd_K^R : وزن معیار استواری بر اساس FAHP درانبار K	Wd^F : وزن معیار انعطاف پذیری بر اساس FAHP در انبار K
Wd_K^A : وزن معیار چابکی بر اساس FAHP درانبار K	W_e^R : وزن مرکز تولید e با توجه به معیاراستواری
Wd_K^L : وزن معیار ناب بودن بر اساس FAHP درانبار	W_e^A : وزن مرکز تولید e با توجه به معیار چابکی
Qpjkts : میزان محصول p تولید شده ارسالی از مرکز تولید j به انبار k در دوره زمانی t تحت سناریو s	W_e^L:وزن مرکز تولید e با توجه به معیار ناب بودن
متغیرها	W_e^F : وزن مرکز تولید e با توجه به معیار انعطاف پذیری
QpeKts : میزان محصول p تولید شده ارسالی از مرکز تولید e به انبار k در دوره زمانی t تحت سناریو s	W_K^R: وزن انبار K با توجه به معیار استواری
Q'PKhts: میزان محصول ارسالی p از انبار k به مرکز مشتری h در دوره زمانی t تحت سناریو s	W_K^A: وزن انبار K با توجه به معیار چابکی
	W_K^L : وزن انبار K با توجه به معیار ناب بودن
	W_K^F : وزن انبار K با توجه به معیار انعطاف پذیری
	Yj : در صورت بازشدن مرکز تولید **j 1** در غیر این صورت ۰
	Ye : در صورت باز بودن مرکز تولید **e 1** در غیر این صورت ۰
	Yk : در صورت باز بودن انبار **k 1** در غیر این صورت ۰