برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای طراحی زنجیره تامین مواد فسادپذیر

فرزانه آقا احمدی[۱][i]، مسعود ماهوتچی[۲]

[۱] استادیار و عضو هیئت علمی ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ mmahootchi@aut.ac.ir

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- گرایش لجستیک و زنجیره تامین ، دانشگاه صنعتی امیرکبیر ؛ f_ahmadi۸@aut.ac.ir

چکیده

هدف اصلی این نوشتار طراحی یک زنجیره تامین برای مواد فسادپذیر در شرایط عدم قطعیت تقاضا است. مسئله شامل تعیین تعداد و مکان مراکزتوزیع، تخصیص خرده فروشان به مراکزتوزیع و تعیین سیاست کنترل موجودی مراکز توزیع راه‌اندازی شده است به نحوی که کل هزینه‌های زنجیره حداقل گردد. عدم قطعیت از طریق سناریوهای گسسته در مدل اعمال شده و برای تولید سناریو از روش‌های تولید و کاهش سناریو بهره گرفته شده است. مسئله به روش برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای و در غالب یک مدل غیرخطی عدد صحیح آمیخته فرمول‌بندی شده است. برای حل این مدل از الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی تبرید استفاده گردیده است.

کلمات کلیدی

مکان‌یابی، تخصیص، موجودی، عدم قطعیت تقاضا، برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای.

A two-stage stochastic supply chain design for perishable items

F. Agha Ahmadi, M. mahootchi

Department of Industrial Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

In this paper, we present a supply chain design for perishable items under uncertainty. The problem includes determining the location of distribution centers (DCs), the allocation of retailers to the opened DCs and the inventory policy of each opened DCs in order to minimizing the total cost of supply chain. Uncertainty described by discrete scenarios. We use scenario generation and reduction methodologies for describing the uncertainty with suitable scenarios. The problem is formulated as two-stage stochastic model. We solve this mixed integer nonlinear model using combined simulated annealing (CSA) algorithm.

KEYWORDS

Facility location, allocation, inventory policy, uncertainty, two-stage stochastic programming.

[i] فرزانه آقا احمدی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده صنایع و سیستم‌های مدیریت، ۰۹۱۱۳۹۵۱۲۹۰.

۱- مقدمه

با توجه به محیط رقابتی در تجارت دنیای امروز، طراحی زنجیره‌ی تامین به طوری که منطبق با نیازهای بازار مصرف باشد، بسیار اهمیت دارد. در این میان تصمیمات مکان‌یابی به دلیل تاثیر دراز مدتی که بر عملکرد شرکت دارد، از مهم‌ترین مباحث مدیریت و طراحی زنجیره تامین است[۱]. از طرف دیگر هزینه‌های موجودی تاثیر قابل توجهی روی توازن هزینه و موقعیت‌دهی تسهیلات دارد[۲]، بنابراین مکان‌یابی و کنترل موجودی یکپارچه می‌تواند هزینه‌ها را به شدت کاهش دهد.

نوزیک و تورنکوئیست [۳] به مکان یابی مراکز توزیع و اعمال سیاست کنترل موجودی یک برای یک در مراکز توزیع احداث شده پرداختند. نوزیک و تورنکوئیست [۴] کارقبلی خود را با درنظرگیری موجودی در دو سطح توسعه دادند. در مدلی که شن [۵] ارائه می‌کند الزامی در تامین تقاضای همه‌ی مشتری‌ها وجود ندارد و هدف حداکثر کردن سود در زنجیره است. ونگ و همکارانش [۶] مسئله‌ی مکان‌یابی و موجودی را به صورت دو سطحی و در حالتی که برگشت محصولات مجاز باشد، مدل سازی کرده‌اند.آستر و همکاران [۷] مسئله مکان‌یابی- موجودی را برای یک سیستم مدیریت موجودی فروشنده (VMI) و برای حالتی که انبار یک بارانداز متقاطع باشد، مورد بررسی قرار دادند. تنکرز و همکاران [۲] مدل مکان‌یابی موجودی را برای زنجیره تامین سه سطحی ارائه کرده‌اند. در این مدل حمل‌ونقل با محدودیت ظرفیت اعمال شده است. تساو و لو [۸] این مسئله را با درنظرگیری شرایط تخفیف در هزینه‌های حمل‌ونقل را مورد مطالعه قرار دادند. ویلا و همکاران [۹] به طراحی شبکه‌ی تولید- توزیع در حالت چند پریودی و چند کالایی پرداختند.

میراندا و گاریدو [۱۰] مدل یکپارچه‌ی مکان یابی- موجودی را در شرایطی که تقاضای مشتری‌ها دارای تابع توزیع نرمال باشد، ارائه کردند. آقای شن وکی [۱۱] هزینه‌های موجودی و مسیریابی را در مدل مکان‌یابی درنظرگرفتند. رومین و همکارانش [۱۲] تعداد سطوحی را که در مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی توزیع دارای سیاست کنترل موجودی هستند، به دو سطح افزایش داد. یو و گراسمن [۱۳] در سال ۲۰۰۹ یک زنجیره تامین سه سطحی با عدم قطعیت در تقاضا را طراحی کردند. جین و همکاران [۱۴] مسئله را برای زنجیره تامین چند کالایی درنظرگرفته‌اند. در این مدل تقاضا با توزیع نرمال فرض شده و برای حل مدل غیرخطی عددصحیح آمیخته از روش شبیه سازی تبرید ترکیبی (CSA) استفاده شده است. آقای جاوید و آزاد [۱۵] در سال ۲۰۱۰ به مسئله مشابهی پرداخته اند. آن‌ها علاوه برموارد فوق، هزینه‌ی تاخیر در تحویل را در مدل‌سازی اعمال کرده نمودند. در مقاله‌ی یاوو و همکاران [۱۶] کارخانه‌ها دارای محدودیت ظرفیت و انبارها فاقد محدودیت ظرفیت اند. بشیری و تبریزی [۱۷] مسئله را در حالتی که فاصله اقلیدسی باشد، توسعه دادند. مدل غیرخطی ارائه شده از طریق الگوریتم بهینه‌سازی اجتماع ذرات (PSO) حل شده است. در مدل پارک و همکاران [۱۸] علاوه بر مکان‌یابی مراکز توزیع، به مکان‌یابی تامین‌کنندگان نیز پرداخته می‌شود. تخصیص خرده‌فروشان به مراکز توزیع و تخصیص مراکز توزیع به تامین‌کنندگان دیگر به صورت تک منبعی مدل‌سازی شده است. کنگ و کیم [۱۹] هزینه‌ی حمل‌ونقل در طراحی زنجیره تامین را به صورت ترکیبی از هزینه‌ی ثابت و متغیر که وابسته به مقدار و فاصله است، درنظرگرفته‌اند.

در مدل اشنایدر و همکاران [۲۰] پارامترهای تصادفی از طریق سناریوهای گسسته اعمال شده‌است. شو و همکاران [۲۱] نیز یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای ارائه کردند. در این مدل ظرفیت انبارها نامحدود و تخصیص به صورت تک منبعی درنظرگرفته شده است. خلاصه‌ی مرور ادبیات صورت گرفته بر اساس نحوه‌ی درنظرگرفتن پارامتر تقاضا و تک کالایی یا چند کالایی بودن زنجیره تامین مورد نظر در جدول (۱) آورده شده است.

در ادامه‌ی متن تعریف مسئله و نحوه‌ی مدل سازی آن با استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای در بخش (۲) تشریح شده است. برای حل مدل نیز از الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی تبرید که شرح آن در بخش (۳) آورده شده، استفاده شده است. در بخش (۴) مطالعات و تحلیل‌های عددی مورد نیاز برای بررسی مدل صورت گرفته است. در نهایت نتایج مطالعات صورت گرفته در این مقاله در بخش (۵) مورد بحث قرار گرفته است.

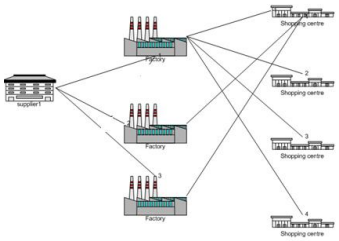
جدول (۱): نحوه‌ی درنظرگیری پارامتر تقاضا در مرور ادبیات زنجیره‌های تامین تک /چند کالایی

پارامترها	قطعی	غیر قطعی	
		مبتنی بر میانگین	مبتنی بر سناریوهای گسسته
تک کالایی	[۲]،[۵]، [۷]	[۳]،[۱۰]،[۱۱]،[۱۲]، [۱۳]،[۱۷]،[۱۸]، [۱۹]،[۶]،[۸]	[۲۰]،[۲۱]
چندکالایی	[۹]	[۴]،[۱۴]،[۱۶]	

۲- مدل تصادفی دومرحله‌ای

مسئله‌ی مورد نظر شامل طراحی یک زنجیره تامین برای مواد فسادپذیر است. زنجیره تامین متشکل از یک تامین‌کننده، چند مرکزتوزیع داوطلب و چند خرده‌فروش است. تقاضای خرده فروشان غیرقطعی بوده و از طریق سناریوهای گسسته در مدل اعمال می‌شود. تخصیص به صورت چند منبعی است، یعنی هر خرده‌فروش می‌تواند از بیش از یک مرکزتوزیع در رده‌ی بالاتر خدمت بگیرد.

این مسئله به‌دنبال تعیین مکان مراکزتوزیع از بین مراکزتوزیع داوطلب و تخصیص خرده‌فوش‌ها به مراکزتوزیع انتخاب شده و مشخص کردن سیاست کنترل موجودی برای هر مرکزتوزیع راه‌اندازی شده است، به نحوی که هزینه‌های حمل و نقل، نگه‌داری موجودی، سفارش‌دهی و هزینه‌های ثابت راه‌اندازی مراکزتوزیع حداقل شود. در این زنجیره هر یک از مراکزتوزیع دارای سیاست کنترل موجودی EOQ هستند. شکل (۱) نمایی از مسئله مورد بررسی در این مقاله را نشان می‌دهد.



شکل (۲): نمایی از مسئله مورد بررسی

موادفسادپذیر نیاز به درنظرگیری شرایط ویژه‌ای دارند که سبب پیچیدگی معادلات کنترل موجودی آن‌ها می‌شود. ولی برخی از مواد فسادپذیر به نحوی هستند که تسهیلات نگهداری آن‌ها دارای امکانات و شرایطی می‌باشند که می‌توانند آن‌ها را برای طولانی مدت نگهداری کنند و تنها مدت زمان نگهداری آنها در حین جابه جایی (با توجه به آن که ایجاد شرایط نگهداری در وسایل حمل‌ونقل دشوار یا غیر ممکن است) دارای اهمیت است. در این مقاله با لحاظ کردن شعاع پوشش در تخصیص خرده‌فروشان به مراکزتوزیع محدودیت زمانی برای جابه جایی مواد فسادپذیر درنظرگرفته شده است. به طوری که خرده فروشان تنها می‌توانند به مراکز توزیعی که در فاصله‌ای کمتر از مقدار خاصی هستند تخصیص داده شوند.

قبل از ارائه مدل اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای به‌کار رفته در مدل معرفی می‌شود.

مجموعه اندیس‌ها

I: مجموعه‌ی خرده‌فروش‌ها

J: مجموعه‌ی ماکزتوزیع داوطلب

S: مجموعه‌ی سناریوهای ممکن

پارامترها

F_j: هزینه‌ی ثابت راه‌اندازی مرکزتوزیع jام

S_j: هزینه‌ی ارسال از تامین‌کننده به مرکزتوزیع jام

r_{ij}: هزینه‌ی ارسال از مرکزتوزیع jام به خرده‌فروش iام

A_j: هزینه‌ی سفارش‌دهی مرکزتوزیع jام

h_j: هزینه‌ی نگه‌داری مرکزتوزیع jام

C_j: ظرفیت مرکزتوزیع jام

a_{ij}: اگر مرکزتوزیع j در شعاع پوشش خرده‌فروش i باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

D_i^s مقدار تقاضای خرده‌فروش i تحت سناریوی s

P_s: احتمال وقوع سناریوی s

متغیرهای تصمیم

X_j : اگر مرکزتوزیع jام راه‌اندازی شود مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

y_{ij}^s : کسری از تقاضای محقق شده مشتری i تحت سناریوی s که از طریق مرکز توزیع j تامین می‌شود.

T_j^s: دوره زمانی بین دو سفارش مرکز توزیع j به تامین‌کننده تحت سناریوی s

مسئله‌ی مکان‌یابی- موجودی تشریح شده از طریق برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای مدل‌سازی شده است. متغیر تصمیم مرحله اول، یک تصمیم استراتژیک است که باید قبل از مشاهده (تحقق) تقاضای مشتریان تعیین گردد. در این مسئله متغیر مکان‌یابی مراکز توزیع (x_j)، متغیر مرحله اول در نظر گرفته می‌شود. متغیرهای تصمیم مرحله دوم تصمیمات عملیاتی هستند که پس از مشاهده (تحقق) پارامترتصادفی (تقاضای مشتریان) و با توجه به تصمیمات اتخاذ شده در مرحله‌ی اول تعیین می‌شوند. بنابراین این متغیرها به میزان تقاضای مشتریان در سناریوهای مختلف وابسته هستند. در این مسئله دوره‌ی زمانی بین دو سفارش برای مراکز توزیع احداث شده و تخصیص خرده‌فروشان به مراکز توزیع احداث شده متغیر مرحله‌ی دوم هستند.

$$\text{Min} \sum_{j\in J} F_j x_j +$$
$$\sum_{s\in S} P_s[\sum_{j\in J} \frac{A_j}{T_j^s}.x_j + \frac{1}{2}\sum_{j\in J}\sum_{i\in I} D_i^s.h_j.T_j^s.y_{ij}^s$$

$$+\sum_{j\in J}\sum_{i\in I} D_i^s.(r_{ij}+S_j).y_{ij}^s] \quad (۱)$$

s.t.

$$\sum_{i\in I} D_i^s.y_{ij}^s \le C_j \qquad \forall j\in J, s\in S \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in J} a_{ij}.y_{ij}^s = ۱ \qquad \forall i\in I, s\in S \quad (۳)$$

$$y_{ij}^s \le x_j \qquad \forall i\in I, j\in J, s\in S \quad (۴)$$

$$x_j\in\{۰,۱\}, \qquad T_j^s \ge ۰, \qquad ۰\le y_{ij}^s \le ۱ \quad (۵)$$

عبارت اول در تابع هدف (۱) مجموع هزینه مکانیابی مراکزتوزیع در مرحله اول می‌باشد وعبارت دوم امید ریاضی مجموع هزینه‌های سفارش‌دهی، نگهداری موجودی و حمل‌ونقل تحت سناریوهای مختلف در مرحله دوم است. محدودیت (۲) نشان می‌دهد که مجموع سفارشات خرده فروشان به یک مرکزتوزیع نباید از حداکثر ظرفیت آن بیشتر باشد. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که کل تقاضای هر خرده‌فروش باید از طریق مراکزتوزیعی که آن خرده فروش در شعاع پوشش آنها قرار دارد تامین گردد و کمبود مجاز نمی‌باشد. محدودیت (۴) تاکید دارد که اگر مراکزتوزیع j راه‌اندازی نشده باشد، از آن محصولی ارسال نمی‌شود و در نهایت محدودیت (۵) حدود متغیرها را مشخص می‌نماید. همانطور که مشاهده می‌شود مدل فوق یک مدل برنامه‌ریزی MINLP می‌باشد. سیاست موجودی مراکزتوزیع سیاست EOQ و مدت زمان تحویل برابر صفر در نظر گرفته شده است. در نهایت مقدار سفارش برای هر خرده فروش تحت سناریوی s (Q_j^s) از رابطه (۶) قابل محاسبه است.

$$Q_j^s = T_j^s * \sum_{i\in I} D_i^s.y_{ij}^s \quad (۶)$$

۳- روش حل

به منظور حل مسئله، مدل برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای، در نرم‌افزار GAMS کد شده است. با توجه به اینکه مدل دومرحله‌ای یک مدل غیرخطی عددصحیح آمیخته (MINLP) است و متغیر T_j^s در مخرج تابع هدف ظاهر شده است، solverهای موجود در GAMS قادر به حل بهینه مسئله در زمان منطقی نیستند. در واقع مسائل مکان‌یابی تسهیلات با محدودیت ظرفیت بعنوان مسائل NP-hard شناخته شده‌اند [۲۲]. بنابراین برای حل این مسئله از ترکیب الگوریتم فرابتکاری شبیه‌سازی تبرید و حل دقیق مدل NLP مسئله مرحله دوم استفاده می‌شود.

برای نمایش هر جواب در الگوریتم SA، هر جواب به صورت یک آرایه‌ی باینری nتایی (n تعداد مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکزتوزیع است) در نظر گرفته می‌شود.

از لینک نرم‌افزار GAMS و MATLAB استفاده شده است به طوریکه در هرتکرار الگوریتم SA بردار X مقداردهی شده و به عنوان پارامتر ورودی به نرم‌افزار GAMS داده می‌شود. مدل حاصل یک مدل برنامه ریزی غیرخطی پیوسته خواهد بود که با توجه به محدب بودن فضای مسئله و تابع هدف مسئله مرحله دوم، solverهای موجود در نرم‌افزار GAMS قادر هستند جواب بهینه عمومی مسئله را به دست آورند. پس از حل مدل غیرخطی در GAMS مقدار تابع هدف و متغیرهای مرحله دوم یعنی T_j^s و y_{ij}^s به نرم‌افزار MATLAB بازگردانده می‌شود و الگوریتم SA آنقدر تکرار می‌شود تا بردار X بهینه گردد (یک جواب خوب نزدیک به بهینه حاصل شود).

دمای اولیه و دمای پایانی به نحوی تعیین می‌گردد که احتمال پذیرش جواب‌های بدتر در دمای‌های اولیه بیشتر (exploration) و در دماهای پایانی کمتر (exploitation) باشد. در اینجا مقدار دمای اولیه $۱۰.n$ و مقدار دمای نهایی برابر با ۲ در نظر گرفته شده است.

برای ایجاد جواب اولیه می‌توان یک جواب به صورت تصادفی ایجاد کرد و یا جواب بهینه مسئله غیرعددصحیح (مسئله‌ای که قید عدد صحیح متغیر x آزاد شده است) را در نظر گرفت.

دو نوع همسایگی برای جواب در نظر گرفته شده است. در همسایگی نوع اول که با احتمال برابر با β انتخاب می‌شود. یک عدد تصادفی r بین ۱ تا n انتخاب می‌گردد و مقدار درآیه rام بردار X برابر با $1-X(r)$ قرار داده می‌شود. همسایگی نوع دوم به صورت Opt-۲ در نظر گرفته شده است و با احتمال برابر با $1-\beta$ انتخاب می‌شود (در اینجا $\beta = ۰.۵$) که در آن دو نقطه متفاوت از بردار جواب X به صورت تصادفی انتخاب و در صورتی که مقدار آنها متفاوت باشد، جای آن دو با هم تعویض می‌گردد. در این مرحله ابتدا یک جابجایی در همسایگی جواب فعلی صورت می‌گیرد، در صورتی‌که این جابجایی جواب بهتری حاصل کند جواب پذیرفته می‌شود و در غیر این احتمال پذیرش جواب‌های بد از رابطه (۷) بدست می‌آید:

$$Pr = \exp\left(-\alpha.\frac{\Delta f}{temp}\right), \alpha = ۱۰^{-۵} \quad (۷)$$

جواب جدید جایگزین جواب فعلی می‌شود تا زمانی که تعداد تکرارها به t_{max} (ماکزیمم تعداد تکرار در هر دما)برسد. حداکثر

تعداد تکرار در هر دما به صورت رابطه (۸) در نظر گرفته شده است:

$$t_{max} = \frac{max\ _temp}{current_temp} \quad (۸)$$

به طوریکه max_temp دمای اولیه و current_temp دمای فعلی است. برای کاهش دما از روش هندسی و مطابق با رابطه‌ی (۹) استفاده شده است.

$$temp(k+۱) = \lambda.temp(k) \quad (۹)$$

که $temp(k)$ نشان‌دهنده دما در تکرار kام الگوریتم است. رسیدن به دمای نهایی به عنوان معیار توقف الگوریتم در نظر گرفته شده است. در اینجا بهترین مقدار برای λ برابر با ۰,۹ به دست آمده است.

۴- نتایج محاسباتی

زنجیره تامینی شامل یک تامین‌کننده، ۱۰ مرکزتوزیع بالقوه و ۵ خرده فروش در نظر گرفته شده است. فرض می‌شود خرده‌فروش‌ها دارای تقاضایی با توزیع احتمال نرمال و به شرح جدول (۲) می‌باشند.

جدول (۲): تابع توزیع احتمال تقاضای خرده‌فروش‌ها

خرده‌فروشان	
خرده فروش ۱	$N\sim(۵۸.۳۴, ۲۴.۷۴^۲)$
خرده فروش ۲	$N\sim(۴۳.۶۵, ۲۲.۱۸^۲)$
خرده فروش ۳	$N\sim(۴۰.۳۸, ۲۳.۴۵^۲)$
خرده فروش ۴	$N\sim(۵۱.۳۷, ۲۵.۰۲^۲)$
خرده فروش ۵	$N\sim(۵۵.۴۳, ۳۰.۸۴^۲)$

به منظور تولید سناریوها، ابتدا ۱۰۰ سناریو به روش LHS در نرم افزار MATLAB تولید شده و احتمالی برابر ۰,۰۱ به هر سناریو اختصاص داده می‌شود، سپس با استفاده از روش کاهش سناریو رو به عقب تعداد سناریوها به ۲۰ سناریو ($|S| = ۲۰$) با احتمال P_s کاهش می‌یابد.

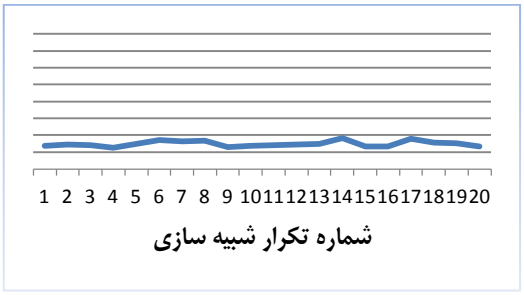
برای به دست آوردن هزینه‌های ارسال (S_j و r_{ij}) تعداد ۵ خرده‌فروش، ۱۰ مرکزتوزیع و یک تامین کننده به صورت تصادفی در یک منطقه جغرافیایی با ابعاد ۱۰۰*۱۰۰ متر مربع پراکنده می‌شود و سپس هزینه ارسال کالا بین هر دو نقطه برابر با فاصله اقلیدسی آن دو نقطه در نظر گرفته می‌شود. سایر پارامترهای هزینه دارای تابع توزیع یکنواخت بوده و به صورت $h_j\sim U(۰,۱۰۰)$، $A_j\sim U(۰,۱۰۰)$، $C_j\sim U(۲۰۰,۳۰۰)$ و $F_j\sim U(۹۰۰۰۰۰,۲۰۰۰۰۰۰)$ مقداردهی می‌شوند. شعاع پوشش برابر با ۸۰ متر می‌باشد؛ یعنی در صورتی که مرکزتوزیع j در شعاع ۸۰ متری خرده فروش i قرار داشته باشد، $a_{ij} = ۱$ و درغیراین‌صورت $a_{ij} = ۰$ است. نتایج حاصل از حل مدل تصادفی دو مرحله‌ای مثال تشریح شده در جدول (۳) آورده شده است.

جدول (۳): نتایج مدل تصادفی دو مرحله‌ای

عنوان	مقادیر بهینه
تابع هدف	۱۹۰۸۴۷۷,۶۰۴
سیاست‌های مکان‌یابی	$x_j = ۱$ for $j = ۱,۴$

شبیه سازی سیستم

نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل تصادفی دو مرحله‌ای برای مثال مطرح شده در شکل (۲) آورده شده است. شبیه‌سازی ۲۰ بار تکرار شده و هر بار شبیه‌سازی شامل ۱۰۰ بار تکرار به ازای سیاست بهینه‌ی بدست آمده از مدل دومرحله‌ای است.



شکل (۲): نتایج حاصل از شبیه سازی مدل دو مرحله‌ای

همان‌طور که در شکل (۲) و جدول (۴) قابل مشاهده است، در تکرارهای مختلف شبیه‌سازی جواب‌ها نوسان اندکی نسبت به یکدیگر دارند. یعنی جواب‌ها تقریبا مستقل از سناریوهای مختلف تولیدشده در تکرارهای مختلف هستند و میانگین آنها درصد اختلاف اندکی با جواب مسئله اصلی دارد.

جدول (۴): میزان درصد اختلاف نتایج شبیه‌سازی و مسئله اصلی

عنوان	مقدار
میانگین مقادیر تابع هدف در ۲۰ تکرار شبیه‌سازی	۱۹۰۸۷۸۲,۴۸
مقدار تابع هدف مدل تصادفی دومرحله‌ای	۱۹۰۸۴۷۷,۶۰۴
درصد اختلاف	٪۰,۰۱

ارزش جواب تصادفی

زمانی که از برنامه‌ریزی تصادفی در بهینه‌سازی مسائل در شرایط عدم قطعیت استفاده می‌شود، بررسی ارزش بهره‌گیری از این روش دربرابر روش‌های ساده‌شده‌تر از اهمیت خاصی برخوردار است. در واقع استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای پیچیده‌تر، وقت‌گیرتر و نیازمند گرداوری اطلاعات کامل‌تر است و اهمیت جواب‌های تصادفی بدست‌آمده باید بررسی شود. برای این منظور از شاخص VSS استفاده می‌شود. برای محاسبه شاخص VSS می توان از میانگین تقاضای مشتریان در ۲۰ سناریو مختلف استفاده کرد و یک مساله بهینه سازی قطعی ساخت.این جواب را EV (Expected value solution) می نامند. سپس از جواب بدست آمده استفاده می‌شود و متغیرهای مرحله‌ی اول (x_j) در برنامه‌ریزی دو مرحله‌ای مقداردهی و مدل دومرحله‌ای حاصل مجددا حل می‌شود. جواب حاصل را EEV (The result of using expected value solution) می‌نامند. با توجه به این که در این جواب از یک سری اطلاعات مربوط به تصادفی بودن استفاده نمی‌شود قطعا این جواب بهتر از جواب برنامه ریزی تصادفی نخواهد بود و اختلاف جواب برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای (RP) و EEV همان VSS است.

در این مثال جواب EV برای مسئله دو مرحله‌ای غیرشدنی محسوب می‌شود. بنابراین محاسبه VSS غیرممکن است. این غیرموجه بودن خود نشانه بارز اهمیت بالای در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضاها از طریق سناریوهای گسسته در مدل است.

در این گونه مسائل می‌توان ارزش داشتن اطلاعات کامل را محاسبه کرد. برای این منظور از شاخص EVPI (Expected value of perfect information) استفاده می‌شود. برای این منظور مسئله برنامه‌ریزی قطعی برای هر سناریو به طور جداگانه حل می‌شود و سپس امیدریاضی مقادیر توابع هدف، با استفاده از مجموع حاصلضرب احتمال هر سناریو در مقدار تابع هدف مسئله قطعی برای تمام سناریوها بدست می‌آید این جواب با WS (Wait-and-See) نشان داده‌می‌شود. در نهایت EVPI از طریق رابطه (۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$E = RP - WS \qquad (۱۰)$$
$$= ۱۹۰۸۴۷۷.۶۰۴ - ۱۷۶۰۰۵۱.۲۰۹ = ۱۴۸۴۲۶.۴$$

نتایج حاصل از تحلیل‌های صورت گرفته روی مدل تصادفی دو مرحله‌ای به صورت خلاصه در جدول (۵) آورده شده است.

جدول (۵): نتایج حاصل از حل مدل‌های ارائه شده

عنوان مدل/شاخص	مقدار تابع هدف مدل/مقدار شاخص
مدل RP	۱۹۰۸۴۷۷,۶۰۴
مدل WS	۱۷۶۰۰۵۱,۲۰۹
شاخص EVPI	۱۴۸۴۲۶,۴
مدل EEV	ناموجه
شاخص VSS	غیرممکن

۵- نتیجه و جمع‌بندی

هدف اصلی این نوشتار طراحی یک زنجیره تامین برای مواد فسادپذیر در شرایط عدم قطعیت تقاضا است. مسئله اصلی شامل تعیین تعداد و مکان مراکز توزیع از بین مراکز توزیع داوطلب، تخصیص خرده فروشان به مراکز راه‌اندازی شده و تعیین سیاست کنترل موجودی برای آن‌ها است به نحوی که کل هزینه‌های زنجیره حداقل گردد. هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت راه‌اندازی مراکز توزیع، هزینه‌های حمل‌ونقل، هزینه‌های سفارش‌دهی و هزینه‌های نگهداری موجودی است.

عدم قطعیت تقاضا از طریق سناریوهای گسسته در مدل اعمال شده است. برای مدل‌سازی مسئله از برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای استفاده شده است. در مدل دو مرحله‌ای ارائه شده، مکان‌یابی مراکز توزیع متغیر تصمیم مرحله‌ی اول بوده که قبل از تحقق تقاضا تعیین می‌شود. تخصیص خرده‌فروشان و سیاست کنترل موجودی متغیرهای تصمیم مرحله دوم و وابسته به سناریو هستند که با توجه به تصمیمات مرحله‌ی اول و تقاضای تحقق یافته مقداردهی می‌شوند. برای حل مدل غیرخطی عددصحیح آمیخته‌ی حاصل از الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی تبرید استفاده شده است.

در بخش نتایج محاسباتی یک نمونه مسئله ارائه شده است. در این نمونه مسئله برای تولید سناریو از روش‌های تولید و کاهش سناریو بهره گرفته شده است. دو شاخص EVPI و VSS برای مسئله نمونه محاسبه و نتایج آن با جواب مدل تصادفی دو مرحله‌ای مقایسه شده است. مقایسه‌ها نشان می‌دهد داشتن اطلاعات کامل در این مسئله بسیار ارزشمند است و همچنین در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضاها از طریق سناریوهای گسسته در طراحی زنجیره بسیار ضروری و پراهمیت است. در صورت استفاده از امیدریاضی نتایج گمراه کننده‌ای حاصل خواهد شد. در واقع استفاده از امید ریاضی ممکن است منجر به طراحی زنجیره تامینی شود که قادر به برطرف کردن تقاضا با توجه به محدودیت‌های موجود نباشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی سیاست بهینه نیز نشان می‌دهد که در

تکرارهای مختلف شبیه‌سازی جواب‌ها نوسان اندکی نسبت به یکدیگر دارند. بنابراین جواب‌ها تقریبا مستقل از سناریوهای مختلف تولیدشده در تکرارهای مختلف هستند و میانگین آنها درصد اختلاف اندکی با جواب مسئله اصلی دارد.

توسعه‌ی مسئله مکان‌یابی- موجودی به حالت چندپریودی و استفاده از برنامه‌ریزی تصادفی چند مرحله‌ای برای مدل‌سازی آن می‌تواند در آینده منجر به بهبودهای بیشتری در زمینه‌ی طراحی زنجیره تامین شود.

۶- مراجع

[۱] M. Albareda-Sambola, E. Fernández, Y. Hinojosa *et al.*, "The multi-period incremental service facility location problem," *Computers & Operations Research*, vol. ۳۶, no. ۵, pp. ۱۳۵۶-۱۳۷۵, ۲۰۰۹.

[۲] J.-S. Tancrez, J.-C. Lange, and P. Semal, "A location-inventory model for large three-level supply chains," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ٤٨, no. ۲, pp. ٤٨٥-٥٠٢, ۲۰۱۲.

[۱] L. K. Nozick, and M. A. Turnquist, "Integrating inventory impacts into a fixed-charge model for locating distribution centers," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ۳٤, no. ۳, pp. ۱۷۳-۱۸٦, ۱۹۹۸.

[۴] L. K. Nozick, and M. A. Turnquist, "A two-echelon inventory allocation and distribution center location analysis," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ۳۷, no. ٦, pp. ٤۲٥-٤٤١, ۲۰۰۱.

[۵] Z.-J. M. Shen, "A profit-maximizing supply chain network design model with demand choice flexibility," *Operations Research Letters*, vol. ۳٤, no. ٦, pp. ٦۷۳-٦۸۲, ۲۰۰٦.

[۶] Z. Wang, D.-Q. Yao, and P. Huang, "A new location-inventory policy with reverse logistics applied to B۲C e-markets of China," *International Journal of Production Economics*, vol. ۱۰۷, no. ۲, pp. ۳٥۰-۳٦۳, ۲۰۰۷.

[۷] H. ÜSter, B. B. Keskin, and S. ÇEtinkaya, "Integrated warehouse location and inventory decisions in a three-tier distribution system," *IIE Transactions*, vol. ٤۰, no. ۸, pp. ۷۱۸-۷۳۲, ۲۰۰۸/۰٦/۱۲, ۲۰۰۸.

[۸] Y.-C. Tsao, and J.-C. Lu, "A supply chain network design considering transportation cost discounts," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ٤۸, no. ۲, pp. ٤۰۱-٤۱٤, ۲۰۱۲.

[۹] D. Vila, A. Martel, and R. Beauregard, "Designing logistics networks in divergent process industries: A methodology and its application to the lumber industry," *International Journal of Production Economics*, vol. ۱۰۲, no. ۲, pp. ۳٥۸-۳۷۸, ۲۰۰٦.

[۱۰] P. A. Miranda, and R. A. Garrido, "Incorporating inventory control decisions into a strategic distribution network design model with stochastic demand," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ٤۰, no. ۳, pp. ۱۸۳-۲۰۷, ۲۰۰٤.

[۱۱] Z.-J. Max Shen, and L. Qi, "Incorporating inventory and routing costs in strategic location models," *European Journal of Operational Research*, vol. ۱۷۹, no. ۲, pp. ۳۷۲-۳۸۹, ۲۰۰۷.

[۱۲] H. E. Romeijn, J. Shu, and C.-P. Teo, "Designing two-echelon supply networks," *European Journal of Operational Research*, vol. ۱۷۸, no. ۲, pp. ٤٤۹-٤٦۲, ۲۰۰۷.

[۱۳] F. You, and I. E. Grossmann, "Optimal Design of Large-Scale Supply Chain with Multi-Echelon Inventory and Risk Pooling under Demand Uncertainty," *Computer Aided Chemical Engineering*, J. Jacek and T. Jan, eds., pp. ۹۹۱-۹۹٦: Elsevier, ۲۰۰۹.

[۱۴] J. Qin, F. Shi, L.-x. Miao *et al.*, "Optimal Model and Algorithm for Multi-Commodity Logistics Network Design Considering Stochastic Demand and Inventory Control," *Systems Engineering - Theory & Practice*, vol. ۲۹, no. ٤, pp. ۱۷٦-۱۸۳, ۲۰۰۹.

[۱۵] Ahmadi Javid, and N. Azad, "A location-inventory model including delivery delay cost and capacity constraints in a stochastic distribution network, " *South African Journal of Industrial Engineering*, vol. ۲۱(۲), no. ۲, pp. ٥۱-٦۱, ۲۰۱۱.

[۱۶] Z. Yao, L. H. Lee, W. Jaruphongsa *et al.*, "Multi-source facility location–allocation and inventory problem," *European Journal of Operational Research*, vol. ۲۰۷, no. ۲, pp. ۷٥۰-۷٦۲, ۲۰۱۰.

[۱۷] M. Bashiri, and M. M. Tabrizi, "Supply chain design: A holistic approach," *Expert Systems with Applications*, vol. ۳۷, no. ۱, pp. ٦۸۸-٦۹۳, ۲۰۱۰.

[۱۸] S. Park, T.-E. Lee, and C. S. Sung, "A three-level supply chain network design model with risk-pooling and lead times," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. ٤٦, no. ٥, pp. ٥٦۳-٥۸۱, ۲۰۱۰.

[۱۹] J.-H. Kang, and Y.-D. Kim, "Inventory control in a two-level supply chain with risk pooling effect," *International Journal of Production Economics*, vol. ۱۳٥, no. ۱, pp. ۱۱٦-۱۲٤, ۲۰۱۲.

[۲۰] L. V. Snyder, M. S. Daskin, and C.-P. Teo, "The stochastic location model with risk pooling," *European Journal of Operational Research*, vol. ۱۷۹, no. ۳, pp. ۱۲۲۱-۱۲۳۸, ۲۰۰۷.

[۲۱] J. Shu, Q. Ma, and S. Li, "Integrated location and two-echelon inventory network design under uncertainty," *Annals of Operations Research*, vol. ۱۸۱, no. ۱, pp. ۲۳۳-۲٤۷, ۲۰۱۰/۱۲/۰۱, ۲۰۱۰.

[۲۲] H. Badri, M. Bashiri, and T. H. Hejazi, "Integrated strategic and tactical planning in a supply chain network design with a heuristic solution method," *Computers & Operations Research*, vol. ٤۰, no. ٤, pp. ۱۱٤۳-۱۱٥٤, ۲۰۱۳.