ارایه یک مدل طراحی زنجیره‌تامین چندکالایی منعطف تحت شرایط عدم‌قطعیت تقاضا و زمان حمل محصول

نوید اصلانی راد[a]، حسین نقابی[b]

[a] دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی‌صنایع ، دانشگاه فردوسی مشهد

[b] استادیار، گروه مهندسی‌صنایع، دانشگاه فردوسی مشهد

نویسنده مسئول: نوید اصلانی راد(boy.navid@yahoo.com)

چکیده

در این پژوهش برای مسئله طراحی شبکه زنجیره‌تامین چندمحصولی و چندسطحی شامل کارخانه، مراکز توزیع، منطقه مشتریان تحت عدم‌قطعیت فرمول‌نویسی ریاضی ارایه شده است. مسئله با عدم‌قطعیت تقاضا و زمان حمل مواجه است که در قالب سناریوهای مختلف در طی دوره‌های زمانی شبکه بیان گردیده است. مراکز توزیع کاندید با استفاده از مکان‌یابی مشخص می‌شوند. عدم‌قطعیت‌های تقاضا و زمان حمل‌ونقل برای مدل‌سازی در نظر گرفته شده است. همچنین از رویکرد مونتاژ فوری در مراکز توزیع برای منعطف نمودن زنجیره‌تامین بهره برده شده است.

کلمات کلیدی: زنجیره‌تامین؛ عدم‌قطعیت؛ سناریو؛ مونتاژ فوری؛ مکان‌یابی؛ زنجیره‌تامین منعطف

A multi commodity model for design flexible supply chain under uncertainty demand and product transportation time condition

Navid Aslanirad, Hossein Neghabi

M.S student industrial engineering, Ferdowsi University of Mashhad, boy.navid@yahoo.com

Assistant professor, industrial engineering group, Ferdowsi University of Mashhad, h.neghabi64@gmail.com

Abstract

In this research, a multi-product and multi-level supply chain network including a factory, distribution centers, customer areas under the mathematical formulation uncertainty has been presented. The problem is facing uncertainties in demand and shipping time, Uncertainty has been expressed in different scenarios during time horizon. Candidate distribution centers are identified by location. Demand uncertainties and transportation times are considered for modeling. Also, the immediate assembly approach in distribution centers has been used to flexibility the supply chain**.**

Keywords

Supply Chain, Uncertainty, Scenario, Assembly, Location, Flexible supply chain

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره‌تامین رویکردهای متنوعی است که تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان را در تبدیل موادخام به محصولات نیمه‌ساخته و محصولات نهایی و سپس توزیع این محصولات به مشتریان در مقدار صحیح تقاضا شده، مکان‌های بهینه و بموقع، به‌منظور رضایت سطح‌خدمت مشتری با کمترین هزینه یکپارچه می‌کند[۱]. صبری و بیمن[1]معتقدند که عدم‌قطعیت یکی از چالش‌انگیزترین و مهم‌ترین مسائل در طراحی و مدیریت زنجیره‌تامین است[۲]. بهاتناگار و سوهال[2] بیان‌دارند که عدم‌قطعیت در سیستم می‌تواند از تامین‌کنندگان به مشتریان انتشار یابد و کل زنجیره را با عدم‌قطعیت مواجه نماید[۳].

زنجیره‌تامین مورد مطالعه در این مقاله شامل یک زنجیره‌تامین چندمحصولی و چندسطحی می‌باشد که در طی چنددوره بررسی و تحلیل می‌شود. شبکه زنجیره‌تامین سه‌سطحی شامل تولیدکننده و مراکز توزیع منتخب و منطقه مشتریان می‌باشد که مراکز توزیع نقش انبار را نیز برعهده دارند. تقاضا مشتریان و زمان حمل‌ونقل محصول از انبار به مشتریان عدم‌قطعیت دارد. کارخانه می‌تواند چند نوع محصول را تولیدکند. تولیدکننده قادر است علاوه بر محصول نهایی(آماده‌تحویل)، محصولات نیمه‌آماده را نیز به مراکز توزیع ارسال نماید. تقاضای مشتریان باتوجه به تقاضای آنها از دوره‌های قبل، پیش‌بینی می‌شوند. هر سناریو با احتمال مشخص، بیان‌کننده تقاضا و زمان حمل‌ونقل می‌باشد. عدم‌قطعیت زمان حمل‌ونقل چنین تعبیر می‌گردد که زمان‌های تحویل محصول به مشتریان با توجه به ترافیک موجود، هزینه‌های حمل متفاوتی دارند. برای حمل محصول از تولیدکننده به انبارها از حمل توسط کانتینر برای صرفه اقتصادی بهره‌برده شده است. برای منعطف نمودن زنجیره‌تامین از مونتاژ فوری در مراکز توزیع استفاده شده‌است. بدین ترتیب مراکز انبار نیز می‌توانند با مونتاژ قطعات مختلف، اقدام به تحویل محصول به مشتری نمایند ولی هزینه محصولات مونتاژ شده در انبارها به طور معمول بیشتر از هزینه تولید محصول نهایی توسط کارخانه می‌باشد. کمبود تقاضا مشتریان در مسئله لحاظ شده است. هدف این پژوهش این است که بتوان با توجه به عدم‌قطعیت‌های موجود، زنجیره‌تامین به نحوی مدل‌سازی شود تا کمترین هزینه و کمبود ایجاد شود.

۲. مرورادبیات

جذابیت‌های عملی و نظری بحث زنجیره‌تامین باعث ایجاد علاقه‌مندی زیادی در محققین و پژوهشگران این حوزه گردیده است و در این زمینه ادبیات بسیار غنی موجود است که برای مطالعه می‌توان به گاویندن و همکاران[۳][۴] و اسکندرپور و همکاران[۴] [۵] مراجعه نمود. در ادامه مروری بسیار اجمالی بر برخی از این مقالات پرداخته شده است. تیان و یو[۵] زنجیره‌تامینی با تقاضا غیرقطعی و سناریوهای هزینه را بررسی نمودند و چارچوب جدیدی برای بدست‌آوردن حدپشیمانی مرتبط در طراحی زنجیره‌تامین مقاوم ایجاد نمودند[۶]. فلاح و همکاران[۶] رقابت بین دو زنجیره‌تامین حلقه‌بسته از جمله تولیدکنندگان، خرده‌فروشان و بازیافت‌کنندگان را مورد بررسی قرار دادند. هدف اصلی آنها بررسی تاثیر رقابت‌های همزمان بین دو زنجیره‌تامین حلقه‌بسته بر سود، تقاضا و بازگشت‌ها با در نظرگرفتن عوامل‌رقابتی، قیمت‌های خرده‌فروشی محصولات و مشوق‌های جدید مصرف‌کنندگان بود[۷]. کیوانشکوه و همکاران[۷] یک مدل حداکثرسازی سود جدید را برای طراحی زنجیره‌تامین با استفاده از یک برنامه‌خطی عددصحیح مختلط توسعه دادند که در آن انعطاف‌پذیری در پوشش‌دادن نسبت‌های مورد تقاضا و بازده‌های مبتنی بر سیاست‌های کارخانه‌ها وجود داشت[۸]. بابازاده و همکاران[۸] یک مدل برنامه‌ریزی چندمنظوره را برای طراحی یک شبکه زنجیره‌تامین سوخت در معرض خطر ارایه‌کردند. مدل پیشنهادی آنها دارای دو هدف شامل حداقل‌سازی هزینه‌های کلی زنجیره‌تامین سوخت از مراکزتامین موادخام به مراکزمشتری و حداقل رساندن اثرات‌محیطی بود[۹]. گاویندان و فتاحی[۹] یک مساله طراحی شبکه زنجیره‌عرضه چندمرحله‌ای و چنددوره‌ای را مورد بررسی قرار دادند که در آن چندین نوع محصول باید از طریق سطوح مختلف فرآیند تولید، تولید شوند[۱۰].

---

[1] Sabri and Beamon
[2] Bhatnagar and Sohal
[3] Govindan and et al
[4] Eskandarpour and et al
[5] Tian and Yue
[6] Fallah and et al
[7] Keyvanshokooh and et al
[8] Babazadeh and et al
[9] Govindan and Fattahi

۳. مدل‌سازی ریاضی

در این قسمت تمامی اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم مساله برای مدل‌سازی ریاضی بیان می‌گردد.

جدول ۱- اندیس‌ها

$t \in \{1.2 \dots . T\}$	اندیس دوره‌زمانی (T تعداد دوره‌های زمانی)
$s \in \{1.2 \dots . ns\}$	اندیس سناریوها (ns تعداد سناریوهای موجود)
$m.b \in \{1.2. \dots . M\}$	اندیس انبارهای بالقوه برای احداث (M تعداد انبارهای بالقوه برای احداث)
$l \in \{1.2 \dots . L\}$	اندیس منطقه‌مشتریان (L تعداد مشتریان)
$i \in \{1.2 \dots . I\}$	اندیس محصولات مختلف تولیدی (I انواع محصولات تولیدی)

جدول۲- پارامترها

$\mathbf{O_i}$	ضریب اشغال حجم محصول i	$\mathbf{\Delta T_t}$	طول دوره‌زمانی t (ماه)
$\mathbf{E}$	حجم کل فضای هر کانتینر	$\mathbf{Q''_m}$	حداقل ظرفیت‌انبار m (واحد کالا)
$\mathbf{R}$	هزینه هر واحد کمبود (واحدپولی)	$\mathbf{Q'_m}$	ظرفیت‌انبار m (واحد کالا)
$\mathbf{U_m}$	هزینه حمل کانتینر به انبار m (واحدپولی)	$\mathbf{D^s_{ilt}}$	تقاضا از محصول i در منطقه‌مشتری l در دوره‌زمانی t تحت سناریو s (واحد کالا)
$\mathbf{F}$	هزینه ارسال قطعات پیش‌ساخته از کاخانه به انبار (واحدپولی)	$\mathbf{C^W_m}$	هزینه ثابت احداث انبار در نقطه m (واحدپولی)
$\mathbf{H}$	هزینه مونتاژفوری هر محصول در انبار از قطعات پیش‌ساخته (واحدپولی)	$\mathbf{C^{TR.s}_{iml}}$	هزینه هر واحد محصول i منتقل شده از انبار m به منطقه‌مشتری l تحت سناریو s (واحدپولی)
$\mathbf{J}$	هزینه نگهداری قطعات پیش‌ساخته در انبار (واحدپولی)	$\mathbf{C^{TR}_{im}}$	هزینه هر واحد محصول i منتقل شده از کارخانه به انبار m (کانتینری) (واحدپولی)
$\mathbf{\Psi_s}$	احتمال سناریو s	$\mathbf{C^I_{imt}}$	هزینه هر واحد نگهداری موجودی از محصول i در انبار m در طی دوره‌زمانی t (واحدپولی)

جدول۳- متغیرهای تصمیم

$\mathbf{B_{itml}}$	امیدریاضی مقادیر ارسال شده از انبار m به مشتری l از محصول i در دوره t
$\mathbf{V_{its}}$	کمبود از محصول i در دوره t تحت سناریو s
$\mathbf{qsub_{imts}}$	مقدار محصول پیش‌ساخته ارسال شده از کارخانه به انبار از محصول i در انبار m در دوره t تحت سناریو s
$\mathbf{Tsub_{imts}}$	مقدار مونتاژفوری(مونتاژ در انبار) از محصول i در انبار m دردوره t تحت سناریو s
$\mathbf{w_{mt}}$	تعداد کانتینر ارسالی به انبار m در دوره t
$\mathbf{Wt}$	تعداد کل کانتینرهای ارسال
$\mathbf{I^{min}_{imt}}$	حداقل موجودی که از محصول i در انبار m در دوره t نگه‌داری می‌شود (موجودی‌اطمینان)
$\mathbf{Q^s_{imlt}}$	مقدار جریان محصول i منتقل‌شده از انبار m به مشتری l در دوره زمانی t تحت سناریو s
$\mathbf{Q^s_{imt}}$	مقدار محصول i آماده تحویل(نهایی) ارسالی(از کارخانه) به انبار m در دوره t تحت سناریو s
$\mathbf{I^s_{imt}}$	سطح موجودی از محصول i در انبار m در دوره t تحت سناریو s
$\mathbf{p^s_{it}}$	نرخ‌تولید محصول i در کارخانه در دوره t تحت سناریو s

جدول۴- متغیرهای تصمیم گسسته (صفر و یک)

A_m	اگر تعداد m انبار احداث شود ۱ می‌باشد در غیر اینصورت برابر صفر است
Y_m	اگر انبار m احداث شود ۱ می‌باشد در غیر اینصورت برابر صفر است
X_{ml}	اگر از انبار m به مشتری l جریان تخصیص یابد ۱ است در غیر اینصورت برابر صفر است

قصد داریم در این مدل ضمن دستیابی به یک برنامه ایده‌آل تحت شرایط عدم‌قطعیت، هزینه‌های کل زنجیره را کاهش دهیم، مدل ارائه شده به منظور کم‌کردن هزینه‌ها تعیین می‌کند که چه محصولی در چه زمان به چه مقدار به کدام انبارها ارسال گردد. همچنین، از محصول نیمه‌آماده در هر دوره چه مقدار مستقیماً به انبارها ارسال شود و چنددوره درانبار بماند. علاوه بر این، در هر دوره چه محصولی و به چه مقدار به مشتری فرستاده شود.

در ادامه تابع هدف مسئله ومحدودیت‌ها مدل در نظر گرفته شده معرفی می‌شوند.

۳-۱. تابع هدف مدل

$$Min\ Z = \sum_t \Delta T_t\ (z_1 + z_2) + \sum_{s=1}^{NS} \Psi_s\ (\sum_t \Delta T_t\ (z_3 + z_4 + z_5 + z_6 + z_7 + z_8 + z_9)) \quad (۱)$$

$$z_1 = \sum_m C_m^W * Y_m \quad (۲)$$

$$z_2 = \sum_i \sum_m U_m * w_{mt} \quad (۳)$$

$$z_3 = \sum_i \sum_m \sum_l C_{iml}^{s.TR} * Q_{imlt}^s \quad (۴)$$

$$z_4 = \sum_i \sum_m C_{im}^{TR} * Q_{imt}^s \quad (۵)$$

$$z_5 = \sum_i \sum_m C_{imt}^I * I_{imt}^S \quad (۶)$$

$$z_6 = \sum_i V_{its} * R \quad (۷)$$

$$z_7 = \sum_i \sum_m qsub_{imts} * F \quad (۸)$$

$$z_8 = \sum_i \sum_m Tsub_{imts} * H \quad (۹)$$

$$z_9 = \sum_i \sum_m (qsub_{imts} - Tsub_{imts}) * J \quad (۱۰)$$

رابطه (۱) تابع هدف مدل‌ریاضی برای کمینه‌سازی هزینه‌ها و کمبودها می‌باشد که در افق دوره‌های زمانی بیان شده و تشریح جزئیات آن در ادامه آمده است. رابطه (۲) بیانگر اینست که اگر انباری احداث شود، هزینه ثابت احداث آن در نظر گرفته می‌شود، رابطه (۳) بیانگر هزینه حمل به ازای هر تعداد کانتینر ارسالی را محاسبه می‌کند، رابطه (۴) هزینه حمل هر واحد محصول از انبار به مشتریان را نشان می‌دهد، رابطه (۵) هزینه حمل هر واحد محصول از تولیدکننده به انبار را نشان‌می‌دهد، رابطه (۶) هزینه هر واحد نگهداری محصول در انبار را نشان می‌دهد، رابطه (۷) هزینه کمبود به ازای هر واحد کمبود را نشان می‌دهد، رابطه (۸) هزینه هر واحد حمل محصول پیش‌ساخته از تولیدکننده به انبار را نشان می‌دهد، رابطه (۹) هزینه هر واحد محصول مونتاژ شده در هر انبار را نشان می‌دهد، رابطه (۱۰) هزینه نگهداری هر واحد محصول پیش‌ساخته در انبار را نشان می‌دهد زیرا تمام محصولات پیش‌ساخته مونتاژ نمی‌شوند و ممکن است تعدادی از آنها در انبار نگهداری شده و در دوره بعد استفاده شوند.

۳-۲. محدودیت‌ها:

$$V_{ilt}^s \geq \sum_l D_{ilt}^s - \sum_m \sum_l B_{itml} \qquad \forall i.t.s \quad (۱۱)$$

$$B_{itml} = \sum_s Q_{imlt}^s * \Psi_s \qquad \forall i.t.m.l \quad (۱۲)$$

$$\sum_m Y_m = \sum_m m * A_b \quad (۱۳)$$

$$I_{imt}^{min} \geq \frac{V_{its}}{b} - M \times (1 - A_b) \qquad \forall m.i.t.b.s \quad (۱۴)$$

$$Tsub_{imts} = qsub_{imts}/number * \qquad \forall i.m.t.s \quad (۱۵)$$

$$\sum_m \sum_t W_{mt} = WT \quad (۱۶)$$

$$\sum_s \sum_i \Psi_s * Q_{imt}^s * O_i \leq E * W_{mt} \qquad \forall m.t \quad (۱۷)$$

$$X_{ml} \le Y_m \qquad \forall\, m.l \qquad (۱۸)$$

$$Q^s_{imlt} \le Q'_m * X_{ml} \qquad \forall\, i.m.l.t.s \qquad (۱۹)$$

$$Q^s_{imt} \le Q'_m * Y_m \qquad \forall\, i.m.t.s \qquad (۲۰)$$

$$V_{its} \le qsub_{imts} \qquad \forall\, i.t.m.s \qquad (۲۱)$$

$$\sum_i Q^s_{imlt} \ge Q''_m * X_{ml} \qquad \forall\, m.l.t.s \qquad (۲۲)$$

$$p^s_{it} = \sum_m Q^s_{imt} \qquad \forall\, i.t.s \qquad (۲۳)$$

$$I^s_{imt} = (Q^s_{imt} - \sum_l Q^s_{imlt}) \qquad \forall\, m.i.s.t = 1 \qquad (۲۴)$$

$$I^s_{imt} = I^s_{im.t-1} + (Q^s_{imt} - \sum_l Q^s_{imlt}) \qquad \forall\, m.i.s.t \ge 2 \qquad (۲۵)$$

$$\sum_i I^s_{imt} \le Q'_m \qquad \forall\, m.t.s \qquad (۲۶)$$

$$\sum_i I^s_{imt} \ge Q''_m \qquad \forall\, m.t.s \qquad (۲۷)$$

$$\sum_m Q^s_{imlt} \ge D^s_{ilt} \qquad \forall\, i.l.t.s \qquad (۲۸)$$

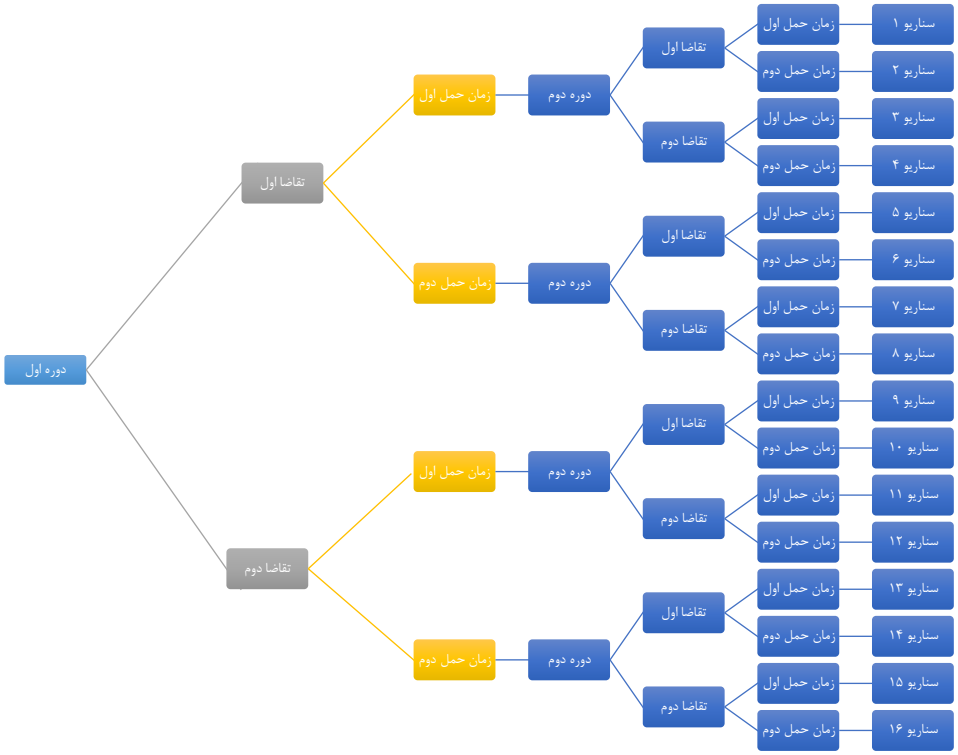
$$I^s_{imt} \ge I^{s.min}_{imt} \qquad \forall\, i.m.t.s \qquad (۲۹)$$

$$V_{its}, qsub_{imts}, Tsub_{imts}, w_{mt}, Wt, I^{min}_{imt}, Q^s_{imlt}, Q^s_{imt}, I^s_{imt}, p^s_{it} \ge 0.\ int.\ B_{itml\ge}0 \qquad (۳۰)$$

محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد که مقدار کمبود حداقل به اندازه‌ی اختلاف بین تقاضا و امیدریاضی مقدار کالا ارسالی از انبار به منطقه مشتری می‌باشد. محدودیت (۱۲) امیدریاضی مقدار کالا ارسال شده از انبار به مشتریان را نشان می‌دهد، رابطه (۱۳) و (۱۴) مرتبط با یکدیگر بوده که سمت چپ رابطه (۱۳) بیانگر مجموع تعداد انبارهای احداث شده می‌باشد و سمت راست عبارت تنها یکی از متغیرها یک می‌شود و بقیه صفر می‌شوند یعنی اگر به عنوان مثال سه انبار احداث شده باشد تنها A_3 مقدار یک می‌گیرد و باقی A_b ها صفر می‌شوند و رابطه (۱۴) بیانگر اینست که موجودی‌اطمینان حداقل به اندازه، مقدارکمبود تقسیم به مجموع تعداد انبارهای احداث شده در نظر گرفته شده است. محدودیت (۱۵) فرض است که هریک از محصولات‌نهایی از تعدادی محصول پیش‌ساخته تشکیل می‌گردد که تحت عنوان مونتاژ فوری بیان می‌گردد (number نشان‌دهنده تعداد زیرمونتاژ مورد نیاز جهت تشکیل محصول‌نهایی است). سمت راست رابطه (۱۶) تعداد کل کانتینرهای استفاده شده را محاسبه می‌کند. رابطه (۱۷) نشان می‌دهد که ضریبی از مقدار محصول iام برای حمل در نظر گرفته می‌شود تا تعداد کانتینرها عددصحیح شوند. محدودیت (۱۸) نشان می‌دهد برای تخصیص انبار به مشتری باید ابتدا انبار احداث شود. رابطه (۱۹) نشان می‌دهد که مقدار کالا فرستاده‌شده از انبار به مشتری می‌تواند حداکثر به اندازه ظرفیت انبار باشد تنها در صورتی که تخصیصی بین انبار و مشتری شکل گرفته باشد. رابطه (۲۰) نشان می‌دهد مقدار کالایی که از کارخانه به انبار فرستاده می‌شود حداکثر به اندازه ظرفیت انبار است تنها در صورتی که انبار احداث شود. محدودیت (۲۱) نشان می‌دهد که مقدار کمبود حداکثر به اندازه قطعات پیش‌ساخته اتفاق می‌افتد. محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد مقدار کالایی که از انبار به مشتری ارسال می‌گردد حداقل به اندازه‌ی، حداقل ظرفیت انبار است تنها در صورتی که تخصیصی بین انبار و مشتری باشد. رابطه (۲۳) بیانگر نرخ‌تولید است که به اندازه‌ی مقدار کالای ارسالی از کارخانه به انبار می‌باشد. محدودیت (۲۴) بیانگر این است که در دوره اول سطح‌موجودی انبار به اندازه اختلاف بین مقدار کالا فرستاده شده از کارخانه به انبار و مقدار کالایی که از انبار به مشتری رفته است می‌باشد. محدودیت (۲۵) نشان می‌دهد که از دوره‌دوم به بعد سطح موجودی انبار برابر با سطح‌موجودی باقیمانده از دوره قبل به اضافه اختلاف بین مقدار کالا فرستاده شده از کارخانه به انبار و مقدار کالایی که از انبار به مشتری رفته است می‌باشد. محدودیت (۲۶) نشان می‌دهد که سطح‌موجودی در انبار حداکثر به اندازه ظرفیت انبار می‌باشد. محدودیت (۲۷) نشان می‌دهد که سطح موجودی در انبار حداقل به اندازه، حداقل ظرفیت انبار می‌باشد. محدودیت (۲۸) نشان می‌دهد مقدار کالایی که از انبار به مشتریان فرستاده می‌شود حداقل به اندازه سطح تقاضا می‌باشد. محدودیت (۲۹) نشان می‌دهد که سطح‌موجودی انبار حداقل به اندازه موجودی‌اطمینان انبار می‌باشد. رابطه (۳۰) تمام متغیرهای تصمیم مسئله عددصحیح می‌باشند بجز متغیر امیدریاضی تعداد محصولات که پیوسته می‌باشد.

۴. نتایج

در این قسمت نمونه‌ای از شبکه زنجیره‌تامین مفروض بررسی شده است. برای مثال زنجیره‌تامینی با یک تولیدکننده و سه انبار و پنج منطقه‌مشتری را در حالی که مشتریان عدم‌قطعیت تقاضا محصول و زمان حمل‌ونقل را دارند، فرض شده است. تولیدکننده دو نوع محصول را تولید می‌کند. افق برنامه‌ریزی زمانی شبکه زنجیره‌تامین مورد بررسی در طی ۲ دوره زمانی می‌باشد که هر دوره شامل ۲ ماه می‌شود. در هر دوره زمانی دو تقاضا مختلف و دو زمان حمل‌ونقل متفاوت داریم که چهار ترکیب مختلف را برای هر دوره تشکیل می‌دهند. تقاضا دوره‌ها از دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه از هر محصول در نظر گرفته شده است. در دوره اول چهار حالت پدید آمده و برای دوره دوم نیز چهار حالت اتفاق می‌افتد و در نهایت تشکیل۱۶ = ۴ * ۴ سناریو را می‌دهد که احتمال هرکدام ۰/۰۶۲۵ در نظر گرفته شده. مجموع احتمال سناریوها برابر یک می‌باشد. زمان حمل‌ونقل در حالت اول بدون ترافیک می‌باشد و برای زمان حمل‌ونقل در حالت دوم با ترافیک فرض شده است. با توجه به حمل‌ونقل در حالت ترافیک هزینه حمل بیشتر از حالت بدون ترافیک می‌باشد. نحوه تشکیل هر کدام از این سناریوها در قالب شکل زیر بیان شده است و مشهود است که هرکدام از سناریوها بیانگر کدام حالت اتفاق افتاده در شبکه زنجیره‌تامین می‌باشد. به عنوان مثال سناریو اول بیانگر اتفاق افتادن تقاضا و زمان حمل حالت اول در دوره اول و تقاضا و زمان حمل اول در دوره دوم در طی افق زمانی می‌باشد.



شکل ۱: تمامی سناریوهای مختلف مساله مورد بررسی

هزینه ثابت احداث هر انبار به ترتیب ۷۰۰۰ و ۵۰۰۰ و ۳۰۰۰ واحدپولی می‌باشد. ضریب‌اشغال حجم محصولات به ترتیب ۰.۱۵ و ۰.۰۸ می‌باشد. حجم کل فضای هر کانتینر ۱۰می‌باشد. حداقل ظرفیت برای هر انبار یک واحد محصول در نظر گرفته شده است. ظرفیت موجودی برای هر انبار ۱۰۰۰ واحد محصول است. هزینه هر واحد کمبود یک واحدپولی می‌باشد. هزینه ارسال قطعات پیش‌ساخته از کاخانه به انبار ۵ واحدپولی است. هزینه مونتاژ فوری هر محصول در انبار از قطعات پیش‌ساخته ۸ واحدپولی است. هزینه نگهداری قطعات پیش‌ساخته در انبار ۵ واحدپولی است. هزینه حمل کانتینر به انبار به ترتیب ۱۰۰ و ۱۱۰ و ۱۰۰ واحدپولی می‌باشد. از هر سه محصول نیمه‌ساخته یک محصول نهایی تولید می‌شود.

دسته سناریوهای زیر برای راحتی ارائه داده‌های مدل تعریف می‌گردند. در هریک از دسته سناریوهای زیر به علت وجود برخی اشتراکات بسیاری از پارامترها ثابت می‌باشند.

$$S1 = \{s1 - s8\} \quad S2 = \{s9 - s16\} \quad S3 = \{s1.s2.s5.s6.s9.s10.s13.s14\} \quad S4 = \{s3.s4.s7.s8.s11.s12.s15.s16\}$$

جدول۵- هزینه نگهداری

انبار		۱	۲	۳
محصول۱	دوره اول	۲	۲	۲
	دوره دوم	۲	۲	۲
محصول ۲	دوره اول	۳	۳	۳
	دوره دوم	۳	۳	۳

جدول۶- تقاضا مشتریان

		تقاضای محصول ۱					تقاضای محصول ۲				
شماره مشتری		۱	۲	۳	۴	۵	۱	۲	۳	۴	۵
دوره اول	S۱	۲۵	۴۰	۴۰	۸۰	۲۵	۲۵	۴۰	۴۰	۸۰	۲۵
	S۲	۵۰	۶۰	۶۵	۱۱۰	۵۰	۵۰	۶۰	۶۵	۱۱۰	۵۰
دوره دوم	S۳	۷۵	۱۰۰	۳۰	۵۰	۷۵	۷۵	۱۰۰	۳۰	۵۰	۷۵
	S۴	۹۰	۱۲۰	۵۰	۹۰	۱۰۰	۹۰	۱۲۰	۵۰	۹۰	۱۰۰

همچنین با تعریف مجموعه سناریوهای زیر سایر پارامترها تعیین می‌شوند.

$$S_1' = \{s1.s3.s9.s11\} \quad S_2' = \{s2.s4.s5.s7.s10.s12.s13.s15\} \quad S_3' = \{s6.s8.s14.s16\}$$

جدول۷- هزینه حمل و نقل محصولات از انبارها به مشتریان

		مشتری ۱			مشتری ۲			مشتری ۳			مشتری۴			مشتری ۵		
		S_1'	S_2'	S_3'	S_1'	S_2'	S_3'	S_1'	S_2'	S_3'	S_1'	S_2'	S_3'	S_1'	S_2'	S_3'
محصول ۱	انبار ۱	۱۰	۱۲	۱۴	۹	۱۱	۱۳	۱۱	۱۳	۱۵	۱۲	۱۴	۱۶	۱۱	۱۳	۱۵
	انبار ۲	۱۱	۱۳	۱۵	۱۰	۱۲	۱۴	۱۲	۱۴	۱۶	۱۳	۱۵	۱۷	۱۲	۱۴	۱۶
	انبار ۳	۹	۱۱	۱۳	۸	۱۰	۱۲	۱۰	۱۲	۱۴	۱۱	۱۳	۱۵	۱۰	۱۲	۱۴
محصول ۲	انبار ۱	۱۵	۱۷	۱۹	۱۴	۱۶	۱۸	۱۶	۱۸	۲۰	۱۷	۱۹	۲۱	۱۶	۱۸	۲۰
	انبار ۲	۱۶	۱۸	۲۰	۱۵	۱۷	۱۹	۱۷	۱۹	۲۱	۱۸	۲۰	۲۲	۱۷	۱۹	۲۱
	انبار ۳	۱۴	۱۶	۱۸	۱۳	۱۵	۱۷	۱۵	۱۷	۱۹	۱۶	۱۸	۲۰	۱۵	۱۷	۱۹

مدل‌ریاضی فوق توسط نرم‌افزار CPLEX نسخه ۱۲.۶ کدنویسی و بر روی یک کامپیوتر قابل‌حمل با مشخصات Core i7 با پردازنده ۲.۳ گیگاهرتز و حافظه ۶ گیگابایت RAM اجرا گردید. همچنین یک مثال با در نظرگرفتن یک کارخانه تولیدی، ۳ مکان بالقوه انبار و ۵ منطقه مشتری حل گردید. حل مساله ۹ ثانیه به طول انجامید و مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم مشخص گردیدند. با توجه به مقادیر احتمالات سناریوها و مقادیر بهینه محصول و زیرمونتاژ ارسالی در هر سناریو، امیدریاضی محصولات نهایی و زیرمونتاژ ارسالی از کارخانه به انبارها و همچنین مقدار امیدریاضی محصولات ارسالی از انبارها به مناطق مشتریان بدست آمد.

جدول۸- امید ریاضی تعداد محصول نهایی از کارخانه به انبارها

کارخانه \ انبار		۱	۲	۳
محصول ۱	دوره اول	۶۸	۶۶	۲۲۲
	دوره دوم	۰	۰	۴۴۸
محصول ۲	دوره اول	۱	۱	۳۳۳
	دوره دوم	۰	۰	۷۰۰

جدول۱۱- امید ریاضی تعداد محصول اول انتقال یافته از انبار به مشتری

انبار \ مشتری		۱	۲	۳	۴	۵
انبار ۱	دوره اول	۲۴	۱۰	۲۱	–	۹
	دوره دوم	۱	۱	۱	–	۱
انبار ۲	دوره اول	۱	۶۳	–	–	–
	دوره دوم	۱	۱	–	–	–
انبار۳	دوره اول	۱۳	۳۸	۳۲	۹۵	۲۹
	دوره دوم	۸۱	۱۶۸	۳۹	۷۰	۸۷

جدول۱۲- امید ریاضی تعداد محصول دوم انتقال یافته از انبار به مشتری

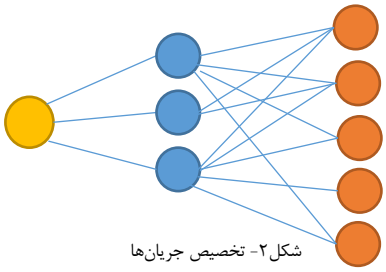
انبار \ مشتری		۱	۲	۳	۴	۵
انبار ۱	دوره اول	-	-	-	-	-
	دوره دوم	-	-	-	-	-
انبار ۲	دوره اول	-	-	-	-	-
	دوره دوم	-	-	-	-	-
انبار ۳	دوره اول	۳۸	۱۱۰	۵۳	۹۵	۳۸
	دوره دوم	۸۳	۱۶۷	۴۰	۷۰	۸۸

جدول۱۰- مقادیر امید ریاضی سطح موجودی انبارها

انبار		۱	۲	۳
محصول۱	دوره اول	۴	۲	۱۵.۷۵
	دوره دوم	–	–	–
محصول۲	دوره اول	۱	۱	۱
	دوره دوم	۱	۱	۱

جدول۹- مقادیر امیدریاضی مونتاژ در انبارهای مختلف

انبار		۱	۲	۳
محصول۱	دوره اول	۰.۵	۰.۵	۰.۵
	دوره دوم	–	–	–
محصول۲	دوره اول	۰.۵	۰.۵	۰.۵
	دوره دوم	۰.۵	۰.۵	۰.۵



شکل۲- تخصیص جریان‌ها

مقدار ۱۵.۷۵ واحد (موجودی محصول یک در دوره اول در انبار سوم) به خاطر این است که در یکی از سناریو ها (سناریو ۸) قسمتی از تقاضا برای محصول یک در دوره دوم از طریق موجودی ذخیره شده در انبار سوم به دلیل کم بودن هزینه نگهداری این انبار برطرف گردیده است.

از ۱۸ کامیونت جهت حمل محصول استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان‌دهنده کارایی مدل پیشنهادی در حل نسبتا سریع مساله پیشنهادی بود. امید ریاضی مقادیر کمبود از محصول اول در دوره اول۱.۵ واحد و از محصول دوم در دوره اول و دوم ۱.۵ بدست آمد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل‌ریاضی برای یک زنجیره‌تامین سه سطحی شامل تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتریان با در نظرگرفتن عدم‌قطعیت‌های تقاضای مشتریان و زمان حمل و نقل کالا مورد بررسی قرارگرفت. عدم‌قطعیت‌های درنظر گرفته شده در مدل پیشنهادی در قالب سناریوهای مختلف با احتمالات متفاوت می‌توانند ارائه گردند. حداقل‌سازی مجموع هزینه‌ها شامل هزینه حمل‌ونقل محصولات و مونتاژها، احداث انبارها، نگهداری موجودی انبارها و کمبود موجودی به عنوان تابع هدف مساله مورد بررسی قرار گرفتند. جهت انعطاف پذیری و واقعی‌تر کردن مساله برخی نوآوری‌ها شامل مونتاژ فوری محصولات در انبارها و درنظرگرفتن موجودی اطمینان جهت جلوگیری از کمبود، استفاده از حمل توسط کانتینر برای صرفه اقتصادی در مدل لحاظ گردیدند. در پایان مدل بیان شده برای یک مساله شامل یک تولیدکننده، ۳ مکان کاندید انبار و ۵ منطقه مشتری حل گردید و جواب‌های منطقی در زمان مناسب بدست آمد که نشان‌دهنده صحت و کارایی مدل پیشنهادی بودند.

۶. منابع

1- Chandra, C., Grabis, J., (2007), Supply Chain Configuration: Concepts, Solutions, and Applications, Springer, 10.1007/978-0-387-68155-9.

2- Sabri, E.H., Beamon, B.M., (2000), A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design, Omega, 28: 581–598.

3- Bhatnagar, R., Sohal, A.S., (2005), Supply chain competitiveness: measuring the impact of location factors, uncertainty and manufacturing practices, Technovation.

4- Govindan, k., Fattahi, M., Keyvanshokooh, E., (2017), Supply chain network design under uncertainty: A comprehensive review and future research directions, European Journal of Operational Research, 263, 108-141
5- Eskandarpour, M. , Dejax, P. , Miemczyk, J. , & Péton, O. (2015). Sustainable supply chain network design: an optimization-oriented review. Omega, 54 , 11–32 .
6- Tian, J., & Yue, J. (2014). Bounds of relative regret limit in p-robust supply chain network design. Production and Operations Management, 23 (10), 1811–1831.
7- Fallah, H., Eskandari, H., & Pishvaee, M. S. (2015). Competitive closed-loop supply chain network design under uncertainty. Journal of Manufacturing Systems, 37 (3), 649–661.
8- Keyvanshokooh, E., Ryan, S. M., & Kabir, E. (2016). Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. European Journal of Operational Research, 249 (1), 76–92. http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2015.08.028.
9- Babazadeh, R., Razmi, J., Pishvaee, M. S., & Rabbani, M. (2017). A sustainable second–generation biodiesel supply chain network design problem under risk. Omega, 66 (Part B), 258–277.
10- Govindan, K., & Fattahi, M. (2017). Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: a case study of glass supply chain. International Journal of Production Economics, 183 (Part C), 680–699.