

بررسی مساله موجودی - مکان یابی - مسیریابی چندهدفه برای کالاهای فاسدشدنی و در شرایط وجود چند تامین کننده، با استفاده از رویکرد سناریو محور

زهرا رفیعی مجد*، سیدحمیدرضا پسندیده**

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۶

تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۲۵

چکیده

در این مقاله یک زنجیره تامین سه سطحی متشکل از چند تامین کننده، چند انبار (توزیع کننده) و چندین خرده فروش (مشتریان)، به صورت یک مساله جدید موجودی- مکان یابی- مسیریابی دو هدفه به گونه ای مدل شده است که کالاهای فاسدشدنی در یک افق زمانی محدود و متشکل از چند دوره زمانی از طریق مراکز توزیع به مشتریان ارسال می شوند. تقاضای خرده فروشان غیرقطعی است و به صورت سناریوهای گسسته با احتمال رخداد مشخص در مدل ریاضی اعمال شده است. ناوگان حمل و نقل ناهمگن است و مراکز توزیع، از یک جدول زمانی استفاده می کنند که از تداخل کار ماشینها و تخصیص اشتباه یک ماشین به بیش از یک مرکز توزیع در هر دوره جلوگیری خواهد کرد. سه روش مبتنی بر محاسبه فاصله تا نقطه آرمان، جهت حل مدل بررسی و تحلیل شده اند. در انتها نیز ضمن نتیجه گیری، پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه شده است. واژگان کلیدی: مساله یکپارچه موجودی- مکان یابی- مسیریابی، کالاهای فاسدشدنی، سناریو، بهینه سازی چندهدفه.

* دانشجوی دکترای مهندسی صنایع - دانشگاه خوارزمی تهران (تربیت معلم سابق)

** دانشیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه خوارزمی تهران (تربیت معلم سابق)، (نویسنده مسئول)

مقدمه

در محیط رقابتی امروز، مدیریت زنجیره تامین به منظور کاهش هزینه‌ها، افزایش سطح خدمت به مشتریان و دستیابی به تعادلی میان هزینه‌ها و خدمات و در نتیجه ارتقای مزیت رقابتی سازمان، ضروری است. به طور مشخص، تعداد و مکان تسهیلات، فاکتوری بحرانی و استراتژیک در موفقیت هر زنجیره به شمار می‌رود و متخصصین اظهار داشته‌اند که ۸۰٪ هزینه‌های زنجیره تامین، منحصر به هزینه‌های مربوط به مکان یابی تسهیلات و تعیین جریان بهینه کالاها و محصولات میان این مراکز است. بدیهی است که پس از تاسیس یک تسهیل در مکان خاص، تغییر آن غیرممکن یا بسیار مشکل می‌باشد و از این رو تصمیمات مربوط به مکان یابی، از جمله تصمیمات استراتژیکی محسوب می‌شوند (حاجی آقابزرگی امیری، رساله دکترا، ۱۳۹۰ و آقابزرگی و همکاران، ۱۳۹۴).

به طور کلی، تصمیمات مورد توجه در یک زنجیره تامین را می‌توان عبارت دانست از تصمیم در خصوص: تعیین تعداد تجهیزات، تعیین مکان تجهیزات، تعیین ظرفیت تجهیزات، تخصیص محصول به تجهیزات و تعیین جریان محصولات مابین تجهیزات. (Olivares-Benitez et al., 2012)

در این مقاله نیز، بهینه سازی یکپارچه تصمیمات مکان یابی، مسیریابی و نیز مدیریت موجودی در یک زنجیره تامین محصولات فاسدشدنی و در شرایط وجود عدم قطعیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. ادغام و بررسی همزمان سه عنصر کلیدی در زنجیره تامین (مکان یابی، مسیریابی، مدیریت موجودی)، از یک طرف منجر به ایجاد یک دیدگاه سیستمی کل نگر و در نظر گرفتن زنجیره تامین به صورت یک واحد پیوسته می‌شود و از طرف دیگر با بهینه سازی همزمان تصمیمات مکان یابی، مسیریابی و موجودی، کاهش قابل توجهی در هزینه‌ها رخ خواهد داد و سطح خدمت به مشتری افزایش می‌یابد. بدیهی است که حل کردن جداگانه این مسائل منجر به تولید یک جواب "زیربینه" خواهد شد. از طرفی دیگر، یک زنجیره تامین واقعی، در یک محیط غیرقطعی عمل می‌کند. مدیریت عدم قطعیت، یکی از

چالش‌های اصلی مدیریت زنجیره تامین است. عدم قطعیت در زنجیره تامین را می‌توان به صورت وضعیتی در زنجیره تامین که در آن تصمیم گیرنده به طور قطع نمی‌داند چه تصمیمی بگیرد، تعریف کرد. سطوح مختلف عدم قطعیت در زنجیره‌های تامین، چالش‌های گوناگونی برای سازمانهای مختلف ایجاد می‌کند (Momin et al., 2015). منابع مختلفی برای عدم قطعیت در یک زنجیره تامین وجود دارند که شامل تامین کنندگان، فرآیندهای تولید، مشتریان هستند. در ادبیات موضوع، اغلب بر چگونگی مواجهه با عدم قطعیت موجود در تقاضای مشتری، تمرکز شده است (Petrovic, 2001)، (Petrovic et al., 1999).

اولین مساله در برخورد با عدم قطعیت در مدلسازی و بهینه سازی زنجیره تامین، تعیین چگونگی نمایش پارامترهای غیرقطعی است. سه روش مجزای پرکاربرد به این منظور معرفی شده اند: (C.-L. Chen & Lee, 2004)

۱. "رویکرد مبتنی بر توزیع"^۱، که در آن توزیع نرمال با میانگین و انحراف معیار مشخص، به صورت گسترده برای مدلسازی تقاضاها و یا پارامترهای غیرقطعی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۲. "رویکرد فازی محور"^۲، در این رویکرد پارامترها به صورت اعداد فازی به همراه توابع عضویت در نظر گرفته می‌شوند.
۳. "رویکرد سناریو محور"^۳، که در آن چند سناریوی گسسته با سطوح احتمال مرتبط، به منظور توصیف "وقوع مورد انتظار"^۴ نتایج خاص، مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سوی دیگر، از میان رویکردهای مختلف بهینه سازی در شرایط عدم قطعیت، می‌توان به چهار دسته زیر اشاره نمود: (علی نژاد و همکاران، ۱۳۹۱ و ایزدپناهی، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۹۱ و محمدی پور، پایان نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۹):
۴. برنامه ریزی تصادفی: در این رویکرد پارامترهای مدل به عنوان متغیرهای تصادفی

-
- 1 . Distribution-based approach
 - 2 . Fuzzy-based approach
 - 3 . Scenario-based approach
 - 4 . Expected occurrence

در نظر گرفته می‌شوند. تابع توزیع پارامترها باید مشخص باشد.

۵. برنامه ریزی فازی: در این رویکرد بعضی از اجزای مدل به صورت اعداد فازی در نظر گرفته می‌شوند.

۶. برنامه ریزی پویای تصادفی: این رویکرد، کاربرد متغیرهای تصادفی در برنامه ریزی پویا را شامل می‌شود.

۷. "بهینه سازی استوار": در این رویکرد، احتمالات نامعین بوده و پارامترها از طریق سناریوهای گسسته یا فواصل بازه ای تخمین زده می‌شوند.

از طرفی دیگر، از آنجا که امروزه بسیاری از کالاها در معرض زوال^۲ (خرابی) قرار دارند، مطالعه کنترل موجودی کالاهای فسادپذیر نیز جایگاهی ویژه دارد. در پژوهش جامعی (Bakker et al., 2012) و در ادامه تحقیقات گویال و گیری (Goyal & Giri, 2001)، تحقیقات انجام شده در خصوص کالاهای زوال پذیر در بازه زمانی ده ساله و از سال ۲۰۰۱، بررسی شده اند. در این پژوهش، بر اساس ویژگی‌های مربوط به عمر قفسه ای محصولات، سه دسته بندی در خصوص نرخ زوال کالاها ارائه شده است:

- "طول عمر"^۳ ثابت: طول عمر معین از پیش مشخصی مثلاً دو روز یا یک فصل.
- نرخ زوال وابسته به سن: طولی عمری که از یک توزیع احتمال مانند توزیع ویبول^۴ تبعیت می‌کند.
- نرخ زوال وابسته به زمان و موجودی (و نه سن): مدلهایی با یک نرخ زوال ثابت به ازاء اقلام موجودی، به این دسته تعلق دارند.

همانگونه که پیشتر بیان شد و با توجه به مطالب مطرح شده، در مقاله حاضر به بررسی یک زنجیره تامین سه سطحی شامل چندین تامین کننده، چند مرکز توزیع بالقوه و نیز چند مشتری می‌پردازیم، به طوریکه تامین کنندگان در صدد ارسال چند نوع کالای فاسدشدنی به مشتریان

-
1. Robust optimization
 2. Deterioration
 3. Lifetime
 4. Weibull distribution

از طریق مراکز توزیع می‌باشند. عدم قطعیت مربوط به تقاضای مشتریان بوسیله مفهوم سناریو در مدل اعمال می‌شود و مساله حاصل پس از در نظر گرفتن فرضیات و شرایط جدید و نزدیک به دنیای واقعی، به صورت یک مساله چند هدفه مدل می‌شود و با استفاده از روش‌های مبتنی بر فاصله تا نقطه آرمان حل می‌شود. با استناد به مطالعات انجام شده توسط نویسندگان مقاله، موضوع مورد بررسی در این پژوهش، در ادبیات موضوع یافت نشد و بنابراین می‌تواند گپ موجود در پیشینه پژوهش‌های مرتبط با مسائل زنجیره تامین را پوشش دهد.

ادامه مقاله به این ترتیب است: در بخش دو، پژوهش‌های انجام شده در حیطه مساله موجودی - مکان یابی - مسیریابی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. بخش ۳ به تعریف مساله و ارائه مدل ریاضی مربوطه، اختصاص یافته است. در بخش ۴ روش حل مدل، معرفی شده و مسائل نمونه ای جهت بررسی بیشتر، حل و تحلیل شده اند. بخش آخر نیز به نتیجه گیری و ارائه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی پرداخته است.

مرور ادبیات

با بررسی پژوهش‌های مختلف می‌توان دریافت که پژوهشگران، مسائل بهینه سازی را بر اساس دیدگاه‌های گوناگون به دسته‌های مختلفی طبقه بندی کرده اند که از آن جمله می‌توان به مسائل خطی و غیر خطی (بر اساس خطی یا غیر خطی بودن تابع هدف و محدودیت‌ها)، مسائل پیوسته و گسسته (بر اساس نوع متغیرها)، مسائل محدب^۱ و غیر محدب^۲، مسائل مقید^۳ و نامقید^۴، مسائل تک هدفه و چند هدفه و ... اشاره نمود. به طور کلی، فرآیند بهینه سازی سیستماتیک و همزمان یک مجموعه از توابع هدف، "بهینه سازی چند هدفه"^۵، "بهینه سازی چند معیاره"^۶ یا "بهینه سازی برداری"^۷ نامیده می‌شود. در پژوهش انجام شده توسط مارلر و

- 1 . Convex optimization problem
- 2 . Non-convex optimization problem
- 3 . Constrained optimization problem
- 4 . Unconstrained optimization problem
- 5 . Multi-objective optimization (MOO)
- 6 . Multi-criteria optimization
- 7 . Vector optimization

آرورا (Marler & Arora, 2004) بررسی جامعی روی مفهوم بهینه سازی چندهدفه و روشهای برخورد با اینگونه مسائل انجام شده است. درخصوص مسائل چند هدفه، نکته مهم توجه به این موضوع است که در اینگونه مسائل برخلاف مسائل تک هدفه، یک پاسخ سراسری یکتا وجود ندارد و تعیین یک مجموعه از نقاط بهینه که اصطلاحاً جوابهای بهینه پارتو^۱ نامیده می شوند، مورد توجه است. مفهوم دیگر مورد توجه در مسائل چند هدفه، مفهوم "غلبه"^۲ است. به طور کلی، جواب ۱ بر جواب ۲ غالب است اگر هر دو شرط زیر برقرار باشند: (Deb, 2014)

- جواب ۱ در هیچ کدام از توابع هدف، بدتر از جواب ۲ نباشد.

- جواب ۱ حداقل در یکی از اهداف بهتر از جواب ۲ باشد.

بررسی مفهوم غلبه میان دو جواب فرضی ۱ و ۲، در نهایت به یکی از این سه نتیجه منتهی خواهد شد:

- جواب ۱، جواب ۲ را مغلوب می کند.

- جواب ۲، جواب ۱ را مغلوب می کند.

- هیچ کدام از دو جواب، دیگری را مغلوب نمی کنند.

بدیهی است که هر مساله بهینه سازی را می توان بسته به نوع آن با روشهای مناسب (دقیق، ابتکاری و فراابتکاری) بررسی و تحلیل نمود. از طرف دیگر و با نگاهی به مقالات مختلف می توان دریافت که با توجه به طبیعت مسائل مسیریابی، مکان یابی و... نیز استفاده از روشهای ابتکاری و فراابتکاری جهت حل مساله های زنجیره تامین مرتبط با این مفاهیم، بسیار متداول است. اما با اینحال روشها و الگوریتمهای حل دقیق هم مورد توجه محققان بوده اند. پیش از بررسی پیشینه پژوهشهای مربوط به مسائل یاد شده و به منظور شفافیت بیشتر مفاهیم مورد توجه در حوزه مسائل زنجیره تامین، در جدول ۱ تعاریف این مشخصه ها که در تحقیقات مختلف مورد اشاره بوده اند، ذکر شده است.

1 . Pareto optimality (Pareto 1906)

2 . Dominance

جدول ۱. تعاریف مشخصه‌های گوناگون موجود در مسائل مکان یابی، مسیریابی، موجودی

مشخصه	تعریف
زمان (افق برنامه ریزی)	محدود: تقاضا تنها برای یک مدت ثابت (مثلا T سال) ادامه دارد.
	نامحدود: تقاضا همواره ادامه خواهد داشت.
وضعیت دوره‌ها	یک دوره ای: در این حالت برنامه ریزی تنها برای یک دوره انجام می‌گیرد.
	چند دوره ای: در این حالت برنامه ریزی برای چندین دوره انجام می‌گیرد.
تقاضا	قطعی: میزان تقاضای مورد نیاز قطعی و مشخص است. تقاضای قطعی به دو دسته ساکن و پویا تقسیم می‌شود.
	تصادفی: میزان تقاضای مورد نیاز قطعی و مشخص نیست. تقاضای تصادفی به دو دسته ساکن و پویا تقسیم می‌شود.
مسیریابی	مستقیم: نوعی از مسیریابی است که در آن یک وسیله نقلیه کالاها را از انبار مرکزی تحویل گرفته و پیش از بازگشت به انبار، تمام آنها را به یک مشتری تحویل می‌دهد.
	چندگانه: در این حالت، وسیله نقلیه امکان خدمت دهی به بیش از یک مشتری در هر دور (ما بین حرکت از انبار و بازگشت به انبار) را دارد.
	پیوسته: در چنین حالتی، فرآیند تحویل گرفتن کالا و تحویل دادن کالا می‌تواند پیوسته و بدون شروع یا پایان فرض شود.
موجودی	ثابت: در این حالت اجازه منفی شدن سطح موجودی وجود ندارد و کمینه سطح مجاز موجودی (که می‌تواند صفر یا یک عدد مثبت باشد) ثابت است.
	اتمام موجودی: وقتی که موجودی یک قلم کالا تمام می‌شود و هنوز جایگزین برای آن فراهم نشده باشد.
	فروش از دست رفته: نوعی از کمبود است که در آن به تقاضایی که به کمبود تبدیل شده است دیگر پاسخ داده نمی‌شود.
وضعیت انبار	پس‌افت: نوعی از کمبود است که در آن پاسخ به تقاضایی که با کمبود مواجه شده است با تاخیر صورت می‌پذیرد.
	با ظرفیت محدود: گنجایش انبار محدود به میزان مشخصی است.
ترکیب ناوگان حمل و نقل	با ظرفیت نامحدود: انبار محدودیتی در گنجایش کالاها ندارد.
	همگن: در این ترکیب، تمام وسائل نقلیه مشخصات (سرعت، هزینه ثابت، هزینه متغیر، اندازه، تجهیزات و ...) یکسانی دارند

مشخصه	تعریف
	ناهمگن: در این ترکیب، برخی یا تمامی مشخصات وسایل نقلیه متفاوت هستند.
اندازه ناوگان حمل و نقل	یگانه: ناوگان حمل و نقل از یک وسیله نقلیه تشکیل شده است.
	چندگانه: ناوگان حمل و نقل از تعدادی وسیله نقلیه تشکیل شده است.
	نامحدود: امکان توسعه ناوگان حمل و نقل وجود دارد و بدین ترتیب همواره وسایل نقلیه کافی در دسترس است.
ظرفیت ناوگان حمل و نقل	محدود: میزان محموله قابل حمل توسط ناوگان حمل و نقل محدود و مشخص است.
	نامحدود: میزان محموله قابل حمل توسط ناوگان حمل و نقل نامحدود است.

جدول ۲، مهمترین و پراستنادترین مقالات موجود در زمینه مساله مورد توجه در این مقاله را به تفکیک مشخصه‌های حائز اهمیت مساله، نشان می‌دهد.

جدول ۲. مروری بر تحقیقات پیشین

سال / محقق	نوع تصمیمات:			MP ⁴	H ₁ ⁵	عدم قطعیت		E ₃	E ₆	توپولوژی شبکه (Topology) ¹⁰	MO ¹⁰	روش حل / مدل
	I ¹	L ²	R ³			ND ⁶	SB ⁷					
(Liu & Lee, 2003)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	One-to-many	-	MIP/Heuristic
(Liu & Lin, 2005)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	One-to-many	-	MIP/Heuristic
(Shen & Qi, 2007)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	One-to-many	-	NIP/Heuristic
(Lopes et al., 2008)	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	One-to-many	-	MIP/Heuristic
(Ahmadi Javid & Azad, 2010)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	One-to-many	-	MIP / heuristic
(Yang et al., 2010)	✓	✓	✓	- p ⁵	-	-	-	-	-	One-to-many	✓	MIP / Meta-heuristic
(Liao et al., 2011)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	One-to-many	✓	MIP / Meta-heuristic
(Reza Tavakkoli-Moghaddam et al., 2013)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	✓	-	Many-to-many	✓	MIP /LINGO
(Guerrero et al., 2013)	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	One-to-many	-	MIP/Heuristic
(Nekooghadirli et al., 2014)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	One-to-many	✓	MIP / Meta-heuristic
(Zhang et al., 2014)	✓	✓	✓	-	✓	-	-	-	-	One-to-many	-	MIP / Meta-heuristic

سال / محقق	نوع تصمیمات:			MP ⁴	چند دوره	عدم قطعیت		FC ⁸	EC ⁹	توپولوژی شبکه (Topology) ¹⁰	MO ¹¹	روش حل / مدل
	I ¹	L ²	R ³			ND ⁶	SB ⁷					
(D. Chen et al., 2014)	✓	✓	✓	-	-	✓	-	-	-	One-to-many	-	MIP/Heuristic
(Seyedhosseini et al., 2014)	✓	✓	✓	-	-	✓	✓	-	-	One-to-many	-	MIP /Meta-heuristic
(Soysal et al., 2015)	✓	-	✓	- p	✓	✓	-	-	✓	One-to-many	-	MIP /CPLEX
(Bertazzi et al., 2015)	✓	-	✓	-	✓	✓	-	-	-	One-to-many	-	MIP /Meta-heuristic
(Puga & Tancrez, 2016)	✓	✓	-	-	-	✓	-	✓	-	One-to-many	-	NLP/Heuristic
(Ross et al., 2016)	✓	✓	-	✓	-	✓	-	-	-	One-to-many	-	MIP/Heuristic
(Soysal et al., 2016)	✓	-	✓	✓ p	✓	✓	-	-	✓	Many-to-many	-	MIP /CPLEX
(Goodarzi & Zegordi, 2016)	-	✓	✓	-	-	-	-	-	-	Many-to-many	-	MIP/Heuristic
(Zhalechian et al., 2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	-	Many-to-many	✓	MIP /Meta-heuristic
(Ghorbani & Jokar, 2016)	✓	✓	✓	✓	✓	-	-	-	-	Many-to-many	-	MIP /Hybrid meta-heuristic
(R Tavakkoli-Moghaddam & Razi, 2016)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	-	✓	✓	Many-to-many	✓	MIP /CPLEX
(Hiassat et al., 2017)	✓	✓	✓	- p	✓	-	-	-	-	One-to-many	-	MIP /Meta-heuristic
Current study	✓	✓	✓	✓ p	✓	✓	✓	✓	✓	Many-to-many	✓	MINLP/Exact-based heuristic

1- Inventory / 2- Location / 3- Routing / 4- MP: Multi-product / 5- P: perishable product / 6-ND: Non-Deterministic demand / 7-SB: Scenario -Based approach / 8-Fleet composition: Heterogeneous / 9- EC: Environmental Considerations / 10- Topology: "number of suppliers"- to "number of customers" / 11- MO: Multi-objective

علاوه بر موارد مطرح شده در بالا، تحقیقات دیگری نیز در خصوص مساله موجودی - مکان یابی - مسیریابی انجام شده است که از آن جمله می توان به پژوهش انجام شده توسط مت و زابینسکی (Mete & Zabinsky, 2010) در سال ۲۰۱۰ اشاره کرد که مساله مورد نظر را در حالت تصادفی بودن تقاضا بررسی نموده و مدل غیرخطی حاصل را با کمک نرم افزار گمز حل کرده اند. دیگر تحقیق انجام شده مربوط به سجادی و چراغی (Sajjadi & ...)

Cheraghi, 2011) است که در آن یکپارچگی یک زنجیره تامین سه سطحی چند محصولی با تقاضای تصادفی و سیاست بازپرسازی FOI^۱ مورد بررسی قرار گرفته است. مدل ریاضی ارائه شده توسط سجادی و چراغی از نوع غیر خطی بوده و با کمک یک الگوریتم شبیه سازی تبرید حل شده است. همچنین گوئرو (Guerrero et al., 2015) در یکی از مقالات مستخرج از رساله دکترا، مساله مذکور را در زنجیره تامينی دو سطحی و در حالت وجود تقاضای قطعی غیر ثابت، محدودیت ظرفیت انبار و وسایل نقلیه و نیز همگن بودن ناوگان حمل و نقل بررسی و سپس مدل عدد صحیح آمیخته حاصل را با الگوریتمی ابتکاری حل نموده اند. در پژوهش دیگری (صفری و پسندیده، ۱۳۹۳) زنجیره تامین چند دوره ای و تک محصولی با ترکیب ناوگان ناهمگن بررسی شده است.

همانگونه که مشاهده می شود، موضوع مقاله حاضر، علاوه بر پوشش تمامی موارد مورد توجه در پژوهش های مرتبط پیشین، با در نظر گرفتن فرضیاتی نزدیک به دنیای واقعی، مساله جدیدی را به ادبیات موضوع معرفی می کند.

مساله

در این مساله، زنجیره تامينی سه سطحی متشکل از چندین تامین کننده، مراکز توزیع بالقوه و مشتریان نهایی در نظر گرفته شده است که در آن، مشتریان تقاضاهای غیرقطعی خود از چندین نوع کالای فاسدشدنی را به اطلاع مراکز توزیعی که به آن تخصیص یافته اند می رسانند، سپس ناوگان حمل و نقل ناهمگن با حرکت از مراکز توزیع و جمع آوری سفارشات مشتریان از تامین کنندگان، آنها را به مشتریان تحویل داده و در نهایت به نقطه شروع (مراکز توزیع) باز می گردد. در این مساله، تقاضاهای غیرقطعی مشتریان مستقل از یکدیگر بوده و از طریق سناریوهای گسسته با احتمال رخداد مشخص، در مدل اعمال

1. Fixed-order-interval (FOI)

می‌شوند.^۱ اهداف مورد توجه در این مساله، کمینه سازی هزینه کل زنجیره (شامل هزینه‌های مکان یابی و تخصیص (انتخاب تعداد و مکان مناسب مراکز توزیع و تخصیص مشتریان به آنها)، مسیریابی (انتخاب بهترین مسیر ارسال کالا به مشتریان) و مدیریت موجودی (شامل هزینه‌های نگهداری موجودی در محل مشتریان و نیز هزینه هدررفتگی موجودی)) و حداقل کردن بیشینه زمان تحویل سفارشات (با توجه به ماهیت فسادپذیری این محصولات) به مشتریان است. شکل زیر شمایی کلی از مساله مورد بحث را نشان می‌دهد:



شکل ۱. شمای کلی از مساله مورد بحث

فرضیات و نمادهای مورد استفاده در این پژوهش

پیش از ارائه مدل ریاضی مساله مورد بحث، ابتدا نمادها و فرضیات اساسی مورد توجه در این مقاله به شرح زیر مطرح می‌شوند:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
 رتال جامع علوم انسانی

۱- به طور مشخص، یک سناریو، توصیفی از یک حالت آینده است که احتمال مشخصی که نمایانگر اهمیت آن سناریو در محیط غیرقطعی است به آن تخصیص یافته است. در رویکرد سناریو محور از مفهوم "برنامه ریزی دو مرحله ای"^۱ استفاده می‌شود و متغیرهای تصمیم به متغیرهای مرحله اول و دوم تقسیم می‌شوند. (جهت مطالعه بیشتر لطفاً به (Klibi & Martel, 2012)، (Barbarosoğlu & Arda, 2004)، (Khor et al., 2008)، (Hamta et al., 2017) مراجعه شود.)

جدول ۳. نمادهای مورد استفاده

نوع	نماد	مفهوم
مجموعه	K, L $K = \{1, 2, \dots, K \}$	مجموعه مشتریان (تعداد مشتریان: $ K = B$)
	J, J' $J = \{1, 2, \dots, J \}$	مجموعه مراکز توزیع بالقوه
	W $W = \{1, 2, \dots, W \}$	مجموعه تامین کنندگان
	$N_j, (j \in J)$	مجموعه سطوح تعهد در دسترس هر مرکز توزیع
	$V = \{1, 2, \dots, V \}$	مجموعه وسایل نقلیه
	$P = \{1, 2, \dots, P \}$	مجموعه محصولات (کالاهای فاسدشدنی)
	$T = \{1, 2, \dots, T \}$	مجموعه دوره‌های زمانی (در طول افق برنامه ریزی، $ T $)
	$S = \{1, 2, \dots, S \}$	مجموعه سناریوها
	$M = K \cup J \cup W$	مجموعه شامل تامین کنندگان، مشتریان و مراکز توزیع بالقوه (مجموعه تمام نودها/گره‌ها)
	پارامتر	$\alpha, \alpha > 0.5$
$p(Z \leq Z_\alpha) = \alpha$		
$m_p, m_p \geq 2$		پیشینه عمر قفسه ای محصول نوع p ، (واحد: دوره زمانی)
$d_{k,p,t}^s$		تقاضای مشتری $k \in K$ از محصول $p \in P$ در دوره زمانی $t \in T$ ، در سناریوی $s \in S$ (واحد: کیلوگرم)
$V_{j,v,t}^1$		جدول تخصیص ماشینها به مراکز توزیع در هر دوره زمانی (این پارامتر مشخص می‌کند که در هر دوره زمانی $t \in T$ ماشین $v \in V$ در کدام مرکز توزیع ($j \in J$) به کار گرفته شده است. عدد صفر به منزله عدم بکارگیری و عدد یک نمایانگر بکارگیری هر ماشین تحت شرایط یاد شده است).
VC_v		پیشینه ظرفیت وسیله نقلیه $v \in V$ (واحد: کیلوگرم)
$a_{k,l}$		فاصله میان دو گره k و l و $k, l \in M, k \neq l$ (واحد: متر)
f		سرعت وسیله نقلیه (واحد: متر بر ثانیه)
$\lambda, \gamma, \beta, s$		پارامترهای فنی (جهت محاسبه سوخت مصرفی ناوگان حمل و نقل)
π		وزن وسیله حمل و نقل (واحد: کیلوگرم)
l		قیمت هر لیتر سوخت (واحد: واحد پول/لیتر)

۱. این مفهوم توسط نویسندگان این پژوهش و با توجه به شرایط مساله ارائه شده، معرفی شده است.

نوع	نماد	مفهوم		
	r_p	هزینه جریمه برای هدر رفتن محصول $p \in P$ (واحد: واحد پول / کیلوگرم)		
	w^+	نرخ دستمزد راننده وسیله نقلیه (واحد: واحد پول / ثانیه)		
	$h_{k,p}$	هزینه نگهداری هر واحد محصول $p \in P$ در مشتری $k \in K$ در هر دوره زمانی (واحد: واحد پول / کیلوگرم)		
	b_j^n	سطح تعهد $n \in N_j$ برای مرکز توزیع $j \in J$ (DC_j)، در افق برنامه ریزی		
	f_j^n	هزینه تاسیس مرکز توزیع $j \in J$ (DC_j)، با سطح تعهد $n \in N_j$ در افق برنامه ریزی		
	$q_{w,p,t}$	مقدار محصول $p \in P$ ، موجود در تامین کننده $w \in W$ در دوره زمانی $t \in T$ (واحد: کیلوگرم)		
	$E(t_{k,l})$	متوسط زمان سفر از گره k به گره l $k, l \in M, k \neq l$		
	P^s	احتمال رخداد سناریوی $s \in S$		
	$ M' $	عددی به اندازه کافی بزرگ است. در این پژوهش و با الهام از (Soysal et al., 2016) و (Jepsen et al., 2013)، مقدار آن برابر است با: تعداد تامین کنندگان + تعداد مشتریان + ۱.		
	Cp	ضریب تغییرات		
	$E[]$	عملگر امید ریاضی		
	متغیر تصمیم	مرحله اول	U_j^n	متغیر صفر و یک، در صورتیکه مرکز توزیع $j \in J$ با سطح تعهد $n \in N_j$ بازگشایی شود، یک و در غیر اینصورت صفر است.
			مرحله دوم	$I_{k,p,t}^s$
$I_{k,p,t}^{+s}$		سطح موجودی مثبت (متغیر تصمیم مشتق از $I_{k,p,t}^s$) (واحد: کیلوگرم)		
$Q_{k,v,p,t}^s$		مقدار محصول $p \in P$ تحویلی توسط وسیله نقلیه $v \in V$ به مشتری $k \in K$ در ابتدای دوره $t \in T$ ، در سناریوی $s \in S$ (واحد: کیلوگرم)		
$X_{k,l,v,t}^s$		متغیر صفر و یک، در صورتیکه وسیله نقلیه $v \in V$ در دوره $t \in T$ ، در سناریوی $s \in S$ ، از گره $k \in M$ به گره $l \in M$ برود، یک و در غیر اینصورت صفر است.		
$F_{k,l,v,p,t}^s$		مقدار بار (محموله) از محصول $p \in P$ که توسط وسیله نقلیه $v \in V$ در		

نوع	نماد	مفهوم
		دوره زمانی $t \in T$ و در سناریوی $s \in S$ ، از گره $k \in M$ به گره $l \in M$ حمل می‌شود. (واحد: کیلوگرم)
	$B_{w,v,p,t}^s$	مقدار محصول $p \in P$ که در ابتدای دوره زمانی $t \in T$ توسط وسیله نقلیه $v \in V$ از تامین کننده $w \in W$ بارگیری می‌شود. (واحد: کیلوگرم)
	$W_{k,p,t}^s$	مقدار هدررفتگی محصول $p \in P$ در مشتری $k \in K$ در انتهای دوره زمانی $t \in T$ ، در سناریوی $s \in S$ (واحد: کیلوگرم)
	T_{max}^s	بیشینه زمان برای تحویل سفارشات به مشتریان در سناریوی $s \in S$
	$G_{k,v,t}^s$	متغیر حذف زیرتور مربوط به گره $k \in M$ در مسیر وسیله نقلیه $v \in V$ در دوره زمانی $t \in T$ در سناریوی $s \in S$.
	$y_{j,k}^s$	متغیر صفر و یک، در صورتیکه مشتری $k \in K$ در سناریوی $s \in S$ به مرکز توزیع $j \in J$ ، تخصیص یابد یک و در غیر اینصورت صفر است.

فرضیات اساسی مورد توجه در خصوص مساله مذکور، به شرح زیر هستند:

- یک زنجیره تامین سه سطحی (شامل چند تامین کننده، چند مکان بالقوه برای تاسیس مراکز توزیع و نیز چند مشتری (یا خرده فروش)) در نظر گرفته شده است. همچنین مساله در یک افق برنامه ریزی محدود و متشکل از چندین دوره زمانی بررسی می‌شود.
- مراکز توزیع نقش واسطه برای دریافت اطلاعات تقاضا و تهیه سفارشات مشتریان از تامین کننده‌ها را برعهده دارند. همچنین، ناوگان حمل و نقل در این مراکز استقرار یافته اند.
- تقاضای مشتریان غیرقطعی بوده، از توزیع نرمال پیروی می‌کند و از طریق سناریوهای گسسته با احتمال رخداد مشخص، در مدل اعمال می‌شود.
- ناوگان حمل و نقل چندگانه و متشکل از وسائل نقلیه (ماشین‌ها) با ظرفیت‌های حمل مختص به هر وسیله است و بنابراین ناوگانی ناهمگن خواهد بود. وسائل نقلیه در مراکز توزیع مستقر هستند و بنابراین آغاز حرکتشان از یک مرکز توزیع خواهد بود

- و پس از انجام ماموریت باز هم به همان مرکز توزیع بازخواهند گشت. در هر دوره زمانی هر وسیله نقلیه حداکثر توسط یک مرکز توزیع مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- در هر مسیر، یک و تنها یک مرکز توزیع وجود خواهد داشت. مسیرهای بدون مرکز توزیع زیر تور نامیده می‌شوند و مجاز نیستند. هر وسیله حمل و نقل در هر دوره زمانی حداکثر در یک مسیر قرار خواهد داشت. به عبارت دیگر در هر دوره هر مسیر برای عبور و مرور تنها یک وسیله نقلیه است.
 - هر مشتری می‌تواند در هر دوره توسط بیش از یک وسیله نقلیه خدمت دریافت کند. این به این معناست که محموله مختص به هر مشتری در هر دوره، می‌تواند میان دو یا چند ماشین تقسیم گردد.
 - برآورده شدن تقاضای هر مشتری در طول افق برنامه ریزی به تنها یک مرکز توزیع محول می‌شود (به عبارت دیگر، تخصیص، تک منبعی خواهد بود) و در هر دوره زمانی نیز، تنها ماشینهای مختص به آن مرکز توزیع خاص در آن دوره زمانی، می‌توانند به مشتریان مختص به آن مرکز توزیع، کالا تحویل دهند.
 - هر مرکز توزیع دارای چندین سطح تعهد با هزینه مرتبط، است و هر مرکز توزیع در صورت بازبودن می‌تواند تنها از یکی از سطوح خود استفاده نماید. هر یک از این سطوح با هزینه مختص به خود، تعهد مرکز توزیع برای خدمت رسانی به میزان مشخصی تقاضا را نشان می‌دهند.
 - هر کالا (محصول) عمر قفسه ای ثابت، مختص به خود و مشخصی دارد. اگر کالایی بیش از این مدت به صورت موجودی باقی بماند هدر رفته محسوب شده و هزینه هدر رفتگی به سیستم تحمیل خواهد شد.
 - فرض می‌شود که شرایط نگهداری محصولات در تامین کننده، مراکز توزیع و نیز در حین حمل و نقل از تامین کننده به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مشتریان به گونه ای است که فساد اتفاق نمی‌افتد. به بیانی دیگر، امکان رخدادن هدررفتگی، تنها پس از تحویل کالا به مشتریان بررسی خواهد شد.

- از مراکز توزیع به مشتریان، همچنین، میان مراکز توزیع مسیر تعریف نمی شود.
- تصمیمات مکان یابی و تخصیص استراتژیک هستند و بنابراین با دوره‌های زمانی مرتبط نخواهند بود.
- هر ماشین توانایی حمل هر نوع کالایی را دارد و هر تامین کننده توانایی ارائه تمام انواع محصولات را دارد.
- تصمیم گیری در خصوص احداث مراکز توزیع با سطح تعهد مشخص، متغیری استراتژیک است و باید پیش از پدیدار گشتن عدم قطعیت تقاضا، در طراحی زنجیره تامین در نظر گرفته شود، بنابراین متغیر مرحله اول به شمار می رود. سایر متغیرها به دلیل وابستگی به میزان تقاضای مشتریان در سناریوهای مختلف، متغیر مرحله دوم هستند و با توجه به تصمیمات اتخاذ شده در مرحله اول، تعیین می شوند.

مدل ریاضی مساله

$$\begin{aligned}
 \min Z_1 = & \left(\sum_{j \in J} \sum_{n \in N_j} f_j^n \cdot U_j^n \right) \\
 & + \sum_{s \in S} P^s \left[\left(\sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in T} I_{k,p,t}^{+s} \cdot h_{k,p} \right) \right. \\
 & + \left(\sum_{k \in K} \sum_{p \in P} \sum_{t \in \{T | t \geq m_p\}} E[W_{k,p,t}^s] \cdot r_p \right) \\
 & + \left(\sum_{k \in M} \sum_{l \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \lambda \left(y \left(\frac{a_{k,l}}{f} \right) X_{k,l,v,t}^s + \gamma \beta a_{k,l} f^2 X_{k,l,v,t}^s \right. \right. \\
 & \left. \left. + \gamma S \left(\pi X_{k,l,v,t}^s + \sum_{p \in P} F_{k,l,v,p,t}^s \right) a_{k,l} \right) l \right. \\
 & \left. + \sum_{k \in M} \sum_{l \in M} \sum_{v \in V} \sum_{t \in T} \left(\frac{a_{k,l}}{f} \right) X_{k,l,v,t}^s \cdot w^+ \right] \quad (1-i)
 \end{aligned}$$

$$\min Z_2 = \sum_{s \in S} P^s [T_{max}^s] \quad (1-ii)$$

s. t:

$$E[I_{k,p,t}^S] = \sum_{\tau=1}^t \sum_{v \in V} Q_{k,v,p,\tau}^S - \sum_{\tau=1}^t (d_{k,p,\tau}^S + E[W_{k,p,\tau}^S]) \quad , \forall k \in K, t \in T, p \in P, s \in S \quad (2)$$

$$I_{k,p,t}^{+S} \geq E[I_{k,p,t}^S] \quad , \forall k \in K, t \in T, p \in P, s \in S \quad (3)$$

$$E[W_{k,p,t}^S] \geq E[I_{k,p,t-m_p+1}^S] - \sum_{a=t-m_p+2}^t d_{k,p,a}^S - \sum_{a=t-m_p+2}^{t-1} E[W_{k,p,a}^S] \quad , \forall k \in K, p \in P, t \in \{T | t \geq m_p\}, s \in S \quad (4)$$

$$E[W_{k,p,t}^S] = 0 \quad , \forall k \in K, p \in P, t \in \{T | t < m_p\}, s \in S \quad (5)$$

$$\sum_{\tau=1}^t \sum_{v \in V} Q_{k,v,p,\tau}^S - \sum_{\tau=1}^{t-1} E[W_{k,p,\tau}^S] \geq \sum_{\tau=1}^t \mu_{k,p,\tau}^S + Cp \cdot Z_{\alpha} \sqrt{\sum_{\tau=1}^t (\mu_{k,p,\tau}^S)^2}$$

$$, \forall k \in K, t \in T, p \in P, s \in S \quad (6)$$

$$\sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} X_{k,l,v,t}^S \leq 1 \quad , \forall k \in M, v \in V, t \in T, s \in S \quad (7)$$

$$\sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} X_{k,l,v,t}^S = \sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} X_{l,k,v,t}^S \quad , \forall k, l \in M, v \in V, t \in T, s \in S \quad (8)$$

$$\sum_{v \in V} \sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} X_{k,l,v,t}^S \geq 1 \quad , \forall t \in T, k \in K, s \in S \quad (9)$$

$$X_{j,j,v,t}^S = 0 \quad , \forall t \in T, v \in V, j \in J, s \in S \quad (10)$$

$$X_{w,j,v,t}^S = 0 \quad , \forall t \in T, v \in V, j \in J, w \in W, s \in S \quad (11)$$

$$X_{j,k,v,t}^S = 0 \quad , \forall t \in T, v \in V, j \in J, k \in K, s \in S \quad (12)$$

$$X_{k,w,v,t}^S = 0 \quad , \forall t \in T, v \in V, w \in W, k \in K, s \in S \quad (13)$$

$$\sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} X_{k,l,v,t}^S + \sum_{w \in W} X_{j,w,v,t}^S - y_{j,k}^S \leq 1 \quad , \forall t \in T, j \in J, k \in K, v \in V, s \in S \quad (14)$$

$$X_{k,l,v,t}^S \leq \sum_{j \in J} (y_{j,k}^S \cdot y_{j,l}^S) \quad , \forall k, l \in K (k \neq l), t \in T, v \in V, s \in S \quad (15)$$

$$X_{k,l,v,t}^S \leq \sum_{j \in J} (y_{j,k}^S \cdot V_{j,v,t}) \quad , \forall k \in K, l \in M (k \neq l), t \in T, v \in V, s \in S \quad (16)$$

$$\sum_{p \in P} F_{k,l,v,p,t}^S \leq VC_v \cdot X_{k,l,v,t}^S \quad , \forall k, l \in M (k \neq l), v \in V, t \in T, s \in S \quad (17)$$

$$\sum_{\substack{l \in M \\ w \neq l}} F_{w,l,v,p,t}^S = \sum_{\substack{l \in M \\ w \neq l}} F_{l,w,v,p,t}^S + B_{w,v,p,t}^S \quad , \forall w \in W, t \in T, p \in P, v \in V, s \in S \quad (18)$$

$$\sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} F^s_{k,l,v,p,t} = \sum_{\substack{l \in M \\ k \neq l}} F^s_{l,k,v,p,t} - Q^s_{k,v,p,t}, \forall k \in K, t \in T, p \in P, v \in V, s \in S \quad (19)$$

$$\sum_{v \in V} B^s_{w,v,p,t} \leq q_{w,p,t}, \forall w \in W, t \in T, p \in P, s \in S \quad (20)$$

$$F^s_{j,w,v,p,t} = 0, \forall t \in T, v \in V, j \in J, w \in W, p \in P, s \in S \quad (21)$$

$$\sum_{n \in N_j} U_j^n \leq 1, \forall j \in J \quad (22)$$

$$\sum_{j \in J} y^s_{j,k} = 1, \forall k \in K, s \in S \quad (23)$$

$$\sum_{p \in P} \sum_{k \in K} d^s_{k,p,t} \cdot y^s_{j,k} \leq \sum_{n \in N_j} b_j^n \cdot U_j^n, \forall t \in T, \forall j \in J, s \in S \quad (24)$$

$$\sum_{k \in M} \sum_{l \in k} E(t_{k,l}) \cdot X^s_{k,l,v,t} \leq T^s_{max}, v \in V, t \in T, s \in S \quad (25)$$

$$G^s_{k,v,t} + 1 \leq G^s_{l,v,t} + |M'| (1 - X^s_{k,l,v,t}), \forall k, l \in M \setminus \{j \in J\} (k \neq l), v \in V, t \in T, s \in S \quad (26)$$

$$I^s_{k,p,t} \geq 0, \forall k \in K, t \in T, p \in P, s \in S \quad (27)$$

$$I^{+s}_{k,p,t} \geq 0, \forall k \in K, t \in T, p \in P, s \in S \quad (28)$$

$$Q^s_{k,v,p,t} \geq 0, \forall k \in K, v \in V, t \in T, p \in P, s \in S \quad (29)$$

$$F^s_{k,l,v,p,t} \geq 0, \forall k, l \in M, v \in V, p \in P, t \in T, s \in S \quad (30)$$

$$B^s_{w,v,p,t} \geq 0, \forall w \in W, v \in V, p \in P, t \in T, s \in S \quad (31)$$

$$W^s_{k,p,t} \geq 0, \forall k \in K, t \in T, p \in P, s \in S \quad (32)$$

$$X^s_{k,l,v,t} \in \{0,1\}, \forall k, l \in M, v \in V, t \in T, s \in S \quad (33)$$

$$U_j^n \in \{0,1\}, \forall j \in J, n \in N_j \quad (34)$$

$$y^s_{j,k} \in \{0,1\}, \forall j \in J, k \in K, s \in S \quad (35)$$

$$G^s_{k,v,t} \geq 0, \forall k \in M \setminus \{j \in J\}, v \in V, t \in T, s \in S \quad (36)$$

$$T^s_{max} > 0, \forall s \in S \quad (37)$$

در مدل MINLP معرفی شده، تابع هدف اول به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه‌ها شامل هزینه‌های مکان یابی مراکز توزیع در مرحله اول و امید ریاضی مجموع هزینه‌های نگهداری موجودی توسط مشتریان، هدر رفتگی مورد انتظار، مصرف سوخت^۱ و دستمزد راننده وسیله نقلیه تحت سناریوهای متفاوت، در مرحله دوم است. تابع هدف دوم نیز، امید ریاضی بیشینه زمان برای تحویل سفارشات به مشتریان را کمینه می‌کند. محدودیتهای (۲) و (۳) سطح موجودی مورد انتظار هر مشتری از هر محصول در هر دوره زمانی را محاسبه می‌کنند.

۱. برای توضیحات بیشتر لطفاً رجوع شود به: (Soysal et al., 2015), (Soysal et al., 2016)

معادلات (۴) و (۵) جهت برآورد هدر رفتگی مورد انتظار برای هر مشتری از هر محصول و در هر دوره زمانی، استفاده می‌شوند. محدودیت‌های مربوط به سطح خدمت نیز در نامعادلات (۶)^۱ مورد بررسی قرار می‌گیرند.

روابط (۷) تضمین می‌کنند که هر وسیله نقلیه در هر دوره زمانی حداکثر در یک مسیر قرار دارد. محدودیت‌های حفظ جریان نیز در روابط (۸) مورد توجه قرار گرفته‌اند. محدودیت‌های (۹) نیز بیان می‌کنند که به هر مشتری حداقل یک مسیر وارد می‌شود. به عبارت دیگر، هیچ مشتری ای نخواهد بود که خدمت دریافت نکند. بر طبق روابط (۱۰) میان مراکز توزیع مسیر تعریف نمی‌شود. محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) نیز تضمین می‌کنند که (به ترتیب) جریان مستقیمی از تامین کنندگان به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مشتریان و از مشتریان به تامین کنندگان وجود ندارد. در روابط (۱۳) وجود جریان از مشتریان به تامین کنندگان غیرمجاز اعلام شده است. محدودیت‌های (۱۴) نیز بیان می‌کنند که هر مشتری در هر دوره تنها زمانی می‌تواند به یک مرکز توزیع تخصیص یابد که مسیری وجود داشته باشد که از آن مشتری بگذرد و از مرکز توزیع مورد نظر آغاز شده باشد. دسته محدودیت‌های (۱۵) تضمین می‌کنند که تنها مابین مشتریان مختص به یک مرکز توزیع یکسان، مسیر تعریف خواهد شد. با استفاده از محدودیت‌های (۱۶) نیز مطمئن خواهیم بود که تمام مسیرهای ساخته شده با ماشین‌های غیرمجاز حذف می‌شوند. محدودیت‌های مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه نیز توسط نامساوی‌های (۱۷) مورد توجه قرار گرفته‌اند. روابط (۱۸) و (۱۹) به ترتیب، میزان کالای بارگیری شده از هر تامین کننده و تحویلی به هر مشتری را محاسبه می‌کنند. همچنین، محدودیت‌های (۲۰) نشان می‌دهند که در صورتی که کالایی در تامین کننده ای موجود نباشد،

۱. توجه شود که محدودیت (۶) در اصل به صورت:

$$\Pr(I_{k,p,t} \geq 0) \geq \alpha, \forall k \in K, t \in T, p \in P$$

بوده است و با توجه به تبعیت تقاضاهای غیرقطعی مشتریان از توزیع نرمال و نیز ناهبسته بودن دو به دو آنها از یکدیگر، بوسیله انجام محاسباتی به شکل فعلی درآمده است. برای توضیحات بیشتر، مقاله (Soysal et al., 2015) را ببینید.

امکان بارگیری آن نیز وجود ندارد. روابط (۲۱) این واقعیت را که وسایل نقلیه در هنگام حرکت از مراکز توزیع به سمت تامین کنندگان خالی هستند را مورد تاکید قرار می دهند. با توجه به محدودیت‌های (۲۲) هر مرکز توزیع در صورت بازگشایی تنها می تواند از یکی از سطوح تعهد خود استفاده نماید. بر اساس محدودیت‌های (۲۳) هر مشتری در طول افق برنامه ریزی به تنها یک مرکز توزیع تخصیص می یابد. محدودیت‌های مربوط به سطح تعهد هر مرکز توزیع در نامعادلات (۲۴) مورد توجه قرار گرفته اند. روابط (۲۵) مربوط به تابع هدف دوم مساله هستند و روابط (۲۶) نیز حذف زیر تورها (مسیرهایی که در آنها مرکز توزیع وجود ندارد) را تضمین می کنند. همچنین، محدودیت‌های مربوط به متغیرهای تصمیم مساله در روابط (۲۷) تا (۳۷) آورده شده اند.

اعتبارسنجی مدل ارائه شده

به منظور اطمینان از صحت و اعتبار مدل معرفی شده در بخش پیشین، با استفاده از نرم افزار گمز^۱ نسخه ۲۰۱۳ و انتخاب سالور^۲ SCIP و با کمک یک رایانه Core(TM)2 Duo P7350 2.00GHz تحت سیستم عامل ویستا، مساله ای به شرح زیر (جداول ۴ و ۵) و به صورت دو مساله تک هدفه جداگانه، در مدت زمان هزار ثانیه (شرط توقف نرم افزار به صورت پیشفرض) حل شده است و جواب‌های شدنی حاصله که صحت مدل را تایید می کند در شکل‌های ۲ و ۳ آورده شده اند.

جدول ۴. مجموعه‌های مساله نمونه

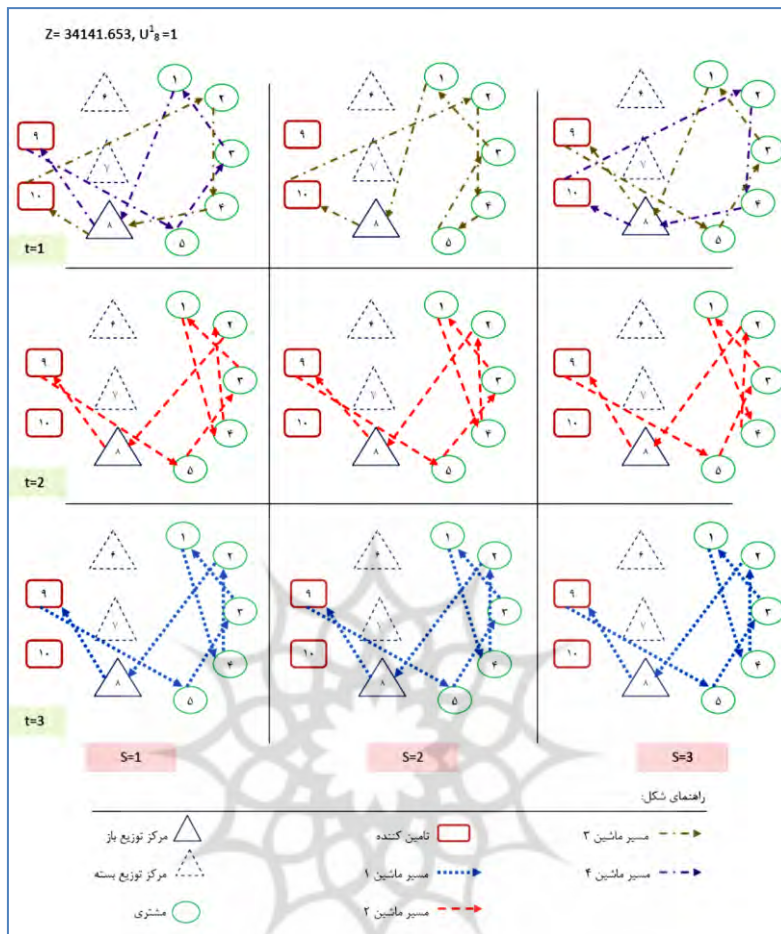
مجموعه	شرح
K	{1,2,3,4,5}
J	{6,7,8}
W	{9,10}
N_j	{1,2,3}
V	{1,2,3,4}
P	{1,2}
T	{1,2,3}
S	{1,2,3}, $P^s = 0.33, \forall s \in S$

1. GAMS

2. Solver

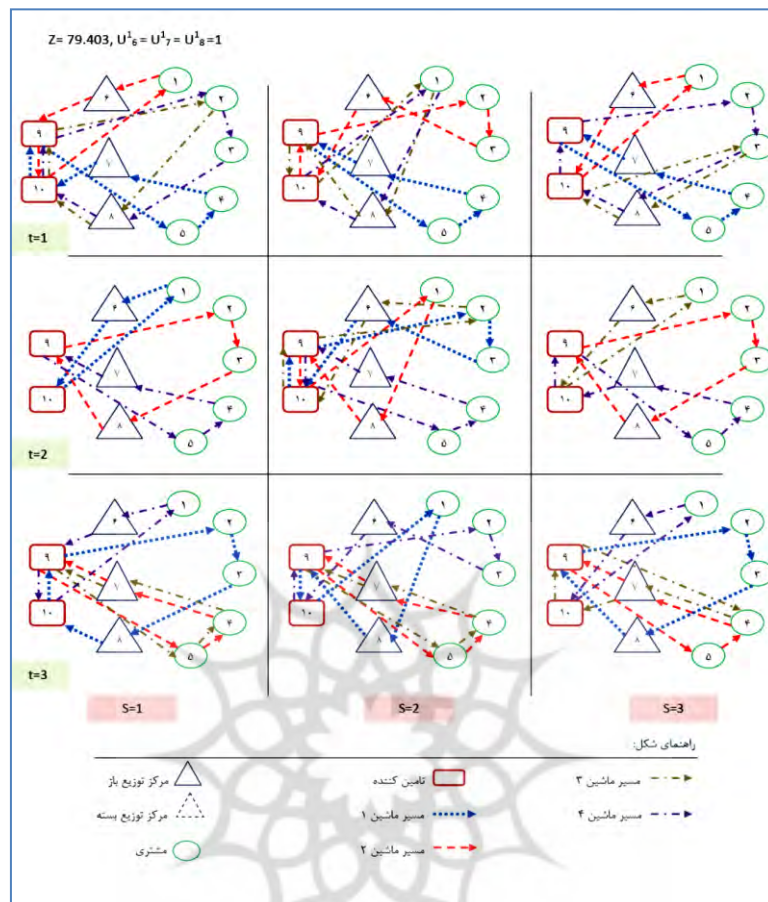
جدول ۵. زمانبندی تخصیص ماشینها به مراکز توزیع

t j		۱	۲	۳
		۶	ماشین ۱	۰
ماشین ۲	۱		۰	۰
ماشین ۳	۰		۱	۰
ماشین ۴	۰		۰	۱
۷	ماشین ۱	۱	۰	۰
	ماشین ۲	۰	۰	۱
	ماشین ۳	۰	۰	۱
	ماشین ۴	۰	۱	۰
۸	ماشین ۱	۰	۰	۱
	ماشین ۲	۰	۱	۰
	ماشین ۳	۱	۰	۰
	ماشین ۴	۱	۰	۰



شکل ۲. یک پاسخ شدنی برای مساله مورد نظر - تابع هدف اول

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳. یک پاسخ شدنی برای مساله مورد نظر - تابع هدف دوم

همانگونه که در شکل های ۲ و ۳ مشاهده می شود، نتایج نشانگر وجود تناقض میان دو تابع هدف می باشند. از طرف دیگر از آنجا که تابع هدف اول به دنبال کمینه سازی "هزینه" کل زنجیره و تابع هدف دوم در پی کمینه سازی حداکثر "زمان" لازم برای خدمت دهی به مشتریان است. بدیهی است که با کاهش زمان، هزینه بیشتری به مدل تحمیل می شود و بالعکس. این موضوع نیز بر وجود تضاد و تناقض میان توابع هدف صحنه می گذارد.

متدولوژی

به صورت کلی، روش‌های حل مسائل چند هدفه را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد. روش‌هایی که شامل فرمولهای منحصر بفرد هستند و مساله را به صورت یک مساله تک هدفه حل می‌کنند. از جمله این روشها می‌توان به روش "جمع وزن دار"، روش "محدودیت اسیلون"، روش‌های مبتنی بر آرمان و ... اشاره کرد. دسته دوم روش‌هایی هستند که مساله چندهدفه را مستقیماً حل می‌کنند. (Marler & Arora, 2004), (Kim & de Weck, 2005), (Ruzika & Wiecek, 2005), (Deb, 2001). یک مساله تصمیم‌گیری چند هدفه را می‌توان با معین کردن یک نقطه مبنا^۳ (نقطه ایده آل^۴، آرمان، هدف^۵) و سپس از طریق پیدا کردن گزینه‌هایی که نسبت به سایر گزینه‌ها (تصمیمات)، به این نقطه مبنا نزدیکترند، حل کرد. بنابراین، موضوع مهم در اینجا چگونگی پیدا کردن فاصله میان نقاط گوناگون (Z) از نقطه ایده آل (Z^*) است. مینکووسکی^۶ این فاصله را (در فضای k بعدی یا به عبارتی در شرایط وجود k تابع هدف) به صورت زیر تعریف کرده است: (Abo-Sinna, 1994), (& Amer, 2005)

$$L_p = \left(\sum_{i=1}^k W_i (Z_i^* - Z_i)^p \right)^{\frac{1}{p}}, p \geq 1 \quad (38)$$

به طوریکه W_i اهمیت نسبی (وزن) توابع هدف را نشان می‌دهد. در این معادله^۷، با افزایش p فاصله d_p کاهش پیدا می‌کند. فواصل ساخته شده با مقادیر $p = 1$ (فاصله منهتن^۸ یا

1. Weighted-sum method

2. Epsilon-constraint (ϵ -constraint) method

3. Reference point

4. Ideal point

5. Goal

6. Minkowski's L_p metric

۷. این رابطه را می‌توان به صورت $\|Z - Z^*\|_p^W$ نیز نوشت و اصلاحاً به آن ال-پی متریک وزندار (Weighted

L_p -metric) اطلاق می‌شود. واژه متریک، به معنای اندازه ریاضی فاصله میان نقاط است. (W. Chen et al., 1998)

8. Manhattan distance or Manhattan metric

شهری)، $p = 2$ (فاصله اقلیدسی^۱) و $p = \infty$ (فاصله چیشف^۲) از نظر عملیاتی اهمیت بیشتری دارند.

با قرار دادن $p = 1$ خواهیم داشت:

$$L_1 = \sum_{i=1}^K W_i |Z_i^* - Z_i| \quad (39)$$

با قرار دادن $p = 2$ به عبارت زیر می‌رسیم:

$$L_2 = \left(\sum_{i=1}^k W_i (Z_i^* - Z_i)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (40)$$

و در حالت $p = \infty$ ، نتیجه عبارت خواهد بود از:

$$\max_i (W_i (Z_i^* - Z_i)) \quad (41)$$

اغلب به دلیل سنجش ناپذیری^۴ و به عبارت دیگر، عدم تناسب میان مقیاس^۵ های توابع هدف، استفاده مستقیم از معادله بالا ناممکن است و نیاز به نرمالیزه کردن این فاصله، به منظور حذف تاثیرات سنجش ناپذیری توابع هدف گوناگون، خواهد بود. نتیجه حاصل به صورت معادله زیر است: (Lai et al., 1994)

$$L_p = \left(\sum_{i=1}^k W_i \left(\frac{Z_i^* - Z_i}{Z_i^*} \right)^p \right)^{\frac{1}{p}}, p \geq 1 \quad (42)$$

استفاده از معادله بالا، از جمله تکنیکهای بهینه سازی است که چند تابع هدف را به یک تابع هدف تبدیل می‌کند. (Noorossana & Ardakani, 2009). در ادامه با استفاده از

1. Euclidean distance or Euclidean metric

2. Tchebycheff distance or Tchebycheff metric

۳. بدیهی است که، مدل زیر، معادل عبارت (۴۱) است (در حالتی که توابع هدف چندگانه از نوع کمینه سازی

باشند): (Noorossana & Ardakani, 2009)

min d

s. t: $W_i \left(\frac{Z_i^* - Z_i}{Z_i^*} \right) \leq d \quad \forall i = 1, \dots, k$

4. Incommensurability

5. Scale

تکنیک معرفی شده در بالا و برای هر سه حالت یاد شده، دو تابع هدف مدل به یک تابع هدف تبدیل شده و سپس مساله‌های ساخته شده^۱ با نرم افزار گمز (سالور scip) حل می‌شوند و تحلیل‌های لازم انجام می‌گیرد.

تجزیه و تحلیل

در این بخش و به منظور ارزیابی روش‌های حل، ۳ دسته مساله نمونه^۲، به شرح جدول زیر ساخته شده اند.

جدول ۶. مشخصات مسائل نمونه

مساله نمونه	مشخصات مساله														
	T	P	V	تعداد گره‌های شبکه				S	P _S , ∇S ∈ S	تعداد متغیرها			تعداد محدودیت‌ها		
				M	k	DC	W			P=1	P=2	P=∞	P=1	P=2	P=∞
SP1	4	2	3	5	2	2	1	5	0.2	5,314	5,314	5,315	6,815	6,815	6,817
SP2	3	2	4	8	3	3	2	3	0.33	7,656	7,656	7,657	9,321	9,321	9,323
SP3	3	2	4	10	5	3	2	2	0.5	7,928	7,928	7,929	10,552	10,552	10,554

فرض می‌کنیم مشتریان دارای تقاضایی با توزیع احتمال نرمال هستند (به عبارت دیگر، نمونه برداری بر حسب توزیع نرمال انجام شده است). جدول زیر توزیع تقاضای سناریوها (که می‌تواند بر اساس عواملی چون نظر کارفرما، تجارب تصمیم گیرنده، پیشینه تحقیقات انجام شده و... تعیین شود) به همراه احتمال رخداد سناریوها را نشان می‌دهد.

جدول ۷- تابع توزیع و احتمال رخداد سناریوها

۱. برای مقدار دهی به پارامترها به منظور ساخت مسائل نمونه، از مقاله نکو قدیرلی و همکاران (۲۰۱۴) استفاده شده است.

۲. به دلایلی چون NP-HARD بودن مساله ارائه شده، قدرت کامپیوتر مورد استفاده جهت انجام محاسبات، محدودیت‌های ذاتی سالور مورد استفاده و نیز توانایی‌های محدود نرم افزار گمز سعی شده است تا مسائل با سایز کوچک و متوسط مورد توجه قرار گیرند.

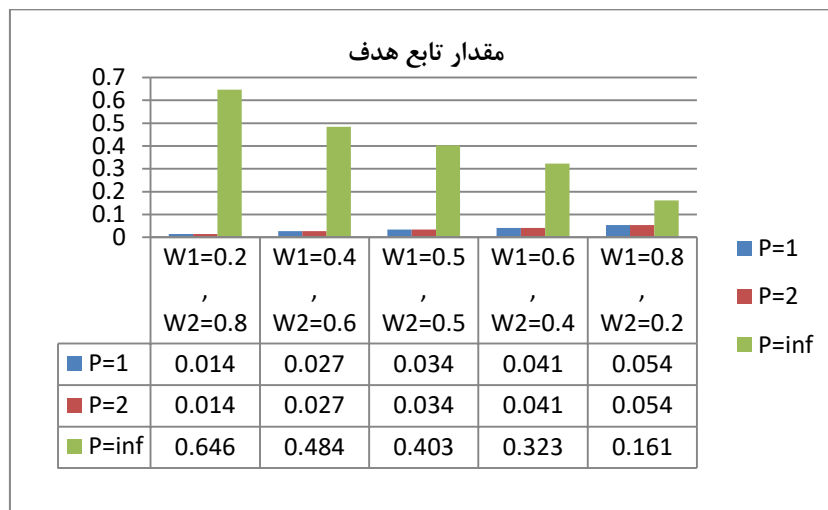
تعداد سناریو	تقاضای مربوط به سناریو	توزیع احتمال سناریو $N \sim (\mu, \sigma^2)$	P_s
S = 2	کم	$\mu \sim \text{uniform}(400,700)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(15,17)$	0.5
	زیاد	$\mu \sim \text{uniform}(1200,1400)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(20,25)$	0.5
S = 3	کم	$\mu \sim \text{uniform}(400,700)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(15,17)$	0.33
	متوسط	$\mu \sim \text{uniform}(900,1200)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(17,20)$	0.33
	زیاد	$\mu \sim \text{uniform}(1200,1400)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(20,25)$	0.33
S = 5	خیلی کم	$\mu \sim \text{uniform}(300,400)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(10,15)$	0.2
	کم	$\mu \sim \text{uniform}(400,700)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(15,17)$	0.2
	متوسط	$\mu \sim \text{uniform}(900,1200)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(17,20)$	0.2
	زیاد	$\mu \sim \text{uniform}(1200,1400)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(20,25)$	0.2
	خیلی زیاد	$\mu \sim \text{uniform}(1400,1500)$ $\sigma^2 \sim \text{uniform}(25,30)$	0.2

این مسائل با نرم افزار گمز و سالور *scip* (که نسبت به سایر سالورهای مطرح برای مدل‌های *MINLP*، نتایج بهتری برای مدل پژوهش ارائه داده است) حل شده اند و نتایج حاصل، در جدول ۸ وارد شده اند.

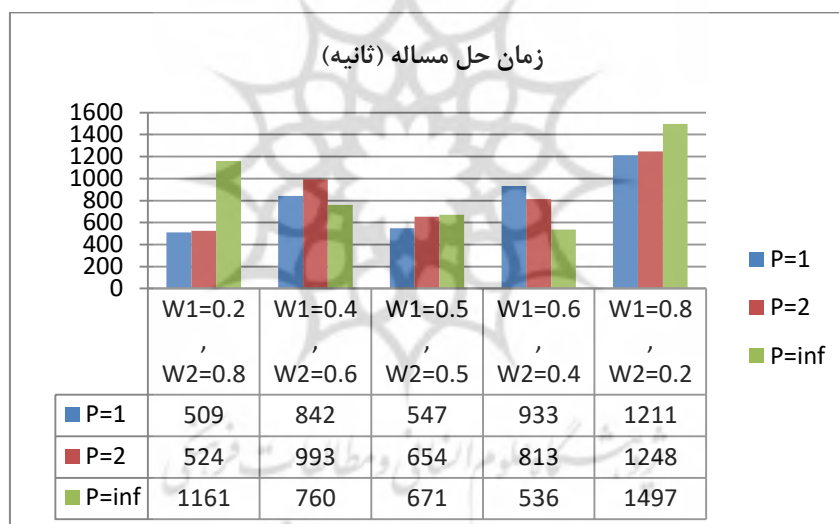
جدول ۸. نتایج حاصل از حل مسائل نمونه

مساله نمونه	W ₁	W ₂	P=1		P=2		P=∞	
			مقدار تابع هدف (L _p)	مدت زمان حل (min)	مقدار تابع هدف (L _p)	مدت زمان حل (min)	مقدار تابع هدف (L _p)	مدت زمان حل (min)
Sp1-1	0.2	0.8	0.010	00:28	0.010	00:18	0.011	01:03
Sp1-2	0.4	0.6	0.021	00:31	0.021	00:31	0.019	00:57
Sp1-3	0.5	0.5	0.026	00:46	0.026	00:41	0.023	01:23
Sp1-4	0.6	0.4	0.033	00:22	0.033	00:21	0.025	00:59
Sp1-5	0.8	0.2	0.040	01:18	0.040	01:19	0.025	01:40
Sp2-1	0.2	0.8	0.007	01:27	0.007	01:22	0.007	01:59
Sp2-2	0.4	0.6	0.014	01:17	0.014	01:24	0.014	02:09
Sp2-3	0.5	0.5	0.018	01:25	0.018	01:27	0.018	01:50
Sp2-4	0.6	0.4	0.021	02:18	0.021	02:21	0.021	01:40
Sp2-5	0.8	0.2	0.028	01:19	0.028	01:20	0.023	01:27
Sp3-1	0.2	0.8	0.014	08:29	0.014	08:44	0.646	19:21
Sp3-2	0.4	0.6	0.027	14:02	0.027	16:33	0.484	12:40
Sp3-3	0.5	0.5	0.034	09:07	0.034	10:54	0.403	11:11
Sp3-4	0.6	0.4	0.041	15:33	0.041	13:33	0.323	08:56
Sp3-5	0.8	0.2	0.054	20:11	0.054	20:48	0.161	24:57

به منظور بررسی بهتر نتایج حاصل از روش‌های مختلف محاسبه فاصله تا نقطه آرمان، یکی از مسائل (برای مثال: دسته مساله نمونه سوم) انتخاب شده و سپس مقایسه میان زمان‌های حل و مقدار تابع هدف بدست آمده در هر سه حالت یاد شده در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده اند.



شکل ۴. مقایسه جوابهای حاصل از حل مسائل در حالت‌های مختلف



شکل ۵. مقایسه زمان‌های حل در حالت‌های گوناگون

همانگونه که ملاحظه می‌شود علی‌رغم اینکه از نظر زمان دستیابی به جواب مساله ارائه شده در این مقاله، میان سه روش معرفی شده تفاوت چندانی وجود ندارد ولی استفاده از $p = \infty$ به وضوح مقدار تابع هدف بیشتر و به عبارتی نتیجه بدتری نسبت به دو حالت دیگر خواهد داد. حال، به منظور تحلیل دقیقتر و بررسی تاثیر تغییر پارامترهای مساله بر میزان تابع هدف

هزینه کل زنجیره)، دو پارامتری که به نظر بیشترین تاثیر بر کل هزینه زنجیره تامین دارند (تعداد مکان‌های بالقوه برای احداث انبار و نیز تعداد سناریوها) را در نظر می‌گیریم. به منظور بررسی تاثیر هر کدام از این عوامل، با یک "طراحی عاملی کامل" از پارامترهای ذکر شده، تعداد ۴ حالت (اجرا) وجود خواهد داشت. حالت‌های مختلف آزمایش، ۵ بار تکرار شده است و نتایج حاصله که میزان تابع هدف مدل را نشان می‌دهند، در جدول زیر آورده شده اند.

جدول ۹. محاسبه تاثیر عوامل بر مقدار تابع هدف

شماره آزمایش	فاکتورها		AB	متوسط
	تعداد مکانهای بالقوه احداث انبار (A)	تعداد سناریوها (B)		
۱	-	-	+	0.00001
۲	-	+	-	0.083
۳	+	-	-	0.309
۴	+	+	+	0.578
+	0.4435	0.3305	0.289005	
-	0.041505	0.154505	0.196	
Δ	0.401995	0.175995	0.093005	

همانگونه که مشاهده می‌شود تاثیر تعداد مکانهای بالقوه برای احداث مراکز توزیع (0.401995) بر مقدار تابع هدف، بسیار بیشتر از تاثیر تعداد سناریوهای در دسترس (0.175995) و نیز تاثیر متقابل تعداد مکانهای بالقوه برای احداث انبارها و نیز تعداد سناریوها (0.093005) می‌باشد. چنین نتیجه‌ای استراتژیک بودن تصمیم‌گیری در خصوص تاسیس انبار در زنجیره تامین را یادآوری می‌کند.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، یک زنجیره تامین سه سطحی متشکل از چند تامین‌کننده، چند توزیع‌کننده و چندین خرده‌فروش، به صورت یک مساله یکپارچه موجودی-مکان‌یابی-

1. Complete Factorial Design

مسیریابی کالاهای فاسدشدنی در یک افق زمانی محدود و متشکل از چند دوره زمانی مدل شده است. تقاضای خرده فروشان به صورت سناریوهای گسسته در مدل اعمال می شود و ناوگان حمل و نقل نیز ناهمگن فرض شده است. همچنین در این پژوهش از یک "برنامه زمانی استفاده از ماشینها" $(V_{j,v,t})$ استفاده شده است که از تداخل کار ماشینها و تخصیص اشتباه یک ماشین به بیش از یک مرکز توزیع در هر دوره جلوگیری خواهد کرد. مدل $MINLP$ دو هدفه حاصل، با کمک روش های مبتنی بر اندازه گیری فاصله تا نقطه آرمان و با استفاده از نرم افزار گمز، حل شده و سپس مورد تحلیل قرار گرفته است. با توجه به گستردگی مفهوم یکپارچگی در زنجیره تامین و جدید بودن ترکیب مساله معرفی شده در این مقاله، امکان توسعه مساله مورد بحث در این مقاله، از جنبه های زیر وجود دارد:

- ✓ تغییر در چگونگی نمایش عدم قطعیت تقاضا (برای مثال با کمک مفهوم فازی و ...)
- ✓ استفاده از روش های مختلف تولید سناریو (مانند روش نمونه برداری فوق مکعب لاتین و ...)
- ✓ استفاده از تکنیکهای کاهش سناریو
- ✓ استفاده از الگوریتم های مبتنی بر حل دقیق از جمله الگوریتم آزادسازی لاگرانژ^۱ برای حل مساله (با توجه به ناتوانی نرم افزار گمز در حل مسائل با سایز بزرگ)
- ✓ استفاده از الگوریتم های فراابتکاری حل مسائل چندهدفه مانند الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب و ...
- ✓ ترکیب الگوریتم های فراابتکاری با الگوریتم آزادسازی لاگرانژ
- ✓ استفاده از رویکرد تجزیه مساله به زیرمساله های ساده تر و حل آنها با الگوریتم های ابتکاری و فراابتکاری

۱- از جمله الگوریتم های مبتنی بر روش های ریاضی می توان به روش آزاد سازی لاگرانژ اشاره کرد که بر مبنای قضیه لاگرانژ توسعه پیدا کرده است و یکی از مفیدترین ایده های مطرح شده در دهه ۱۹۷۰ میلادی است که با کمک آن مسائل پیچیده راحت تر حل می شوند. (فخرزاد و نورمحمد زاده، ۱۳۹۴)

منابع

آقابزرگی نفیسه، سجادی سید مجتبی، علینقیان مهدی، "ارائه مدلی پایدار جهت مکان یابی - موجودی زنجیره تامین سه سطحی تک دوره ای شرکتهای کوچک و متوسط با تقاضای غیرقطعی"، فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی - سال سیزدهم، شماره ۳۸، پاییز ۹۴، صفحات ۹۹-۱۳۲.

ایزد پناهی احسان، "توسعه مدل برنامه ریزی چند هدفه، چند محصولی، چند دوره ای در زنجیره تامین با رویکرد بهبود هزینه مصرف انرژی تحت شرایط عدم قطعیت"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه یزد، ۱۳۹۱.

حاجی آقا بزرگی امیری علی، "طراحی شبکه لجستیک امداد در شرایط بحران تحت عدم قطعیت"، رساله دکترا، دانشگاه علم و صنعت ایران، سال ۱۳۹۰.

صفری سمیه، پسندیده سیدحمیدرضا، "ارائه مدل احتمالی مکان یابی مسیریابی موجودی زنجیره تامین با در نظر گرفتن ناوگان حمل و نقل ناهمگن"، همایش ملی پژوهش های مهندسی صنایع، شهریور ۹۳.

علی نژاد علیرضا، سالاری سامرند، سیف آزاده، "توسعه مدل مکان یابی شبکه ای در حالت عدم قطعیت (حالت استوار)"، فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال دهم، شماره ۲۶، پاییز ۱۳۹۱، ۱۱۵-۱۳۸.

فخرزاد محمد باقر، نور محمدزاده زهره، "یکپارچه سازی مسائل زمانبندی تولید و تحویل با رویکرد مسیریابی وسیله نقلیه با ناوگان ناهمگن"، فصلنامه علمی - پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، دوره ۱۳، شماره ۳۸، پاییز ۱۳۹۴، صفحات ۱۶۳-۱۸۲.

محمدی پور هیرش، "مدلسازی عدم قطعیت در زنجیره تامین دو سطحی با پارامترهای فازی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۹.

Abo-Sinna, M. A., & Amer, A. H. (2005). Extensions of TOPSIS for multi-objective large-scale nonlinear programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, 162(1), 243-256. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.amc.2003.12.087>

Ahmadi Javid, A., & Azad, N. (۲۰۱۰). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5), 582-597. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2009.06.005>

Bakker, M., Riezebos, J & Teunter, R. H. (2012). Review of inventory systems with deterioration since 2001. *European Journal of Operational Research*, 221(2), 275-284. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.03.004>

Barbarosoğlu, G., & Arda, Y. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 55(1), 43-53 .

Bertazzi, L., Bosco, A., & Laganà, D. (2015). Managing stochastic demand in an Inventory Routing Problem with transportation procurement. *Omega*, 56, 112-121 .

Chen, C.-L., & Lee, W.-C. (2004). Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices. *Computers & Chemical Engineering*, 28(6-7), 1131-1144. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2003.09.014>

Chen, D., Chen, D., Sun, G., & Liu, G. (2014). Combined location routing and inventory problem of E-Commerce distribution system with fuzzy random demand .

Chen, W., Wiecek, M. M., & Zhang, J. (1998). Quality utility :a compromise programming approach to robust design. *ASME DETC98/DAC5601* .

Deb, K. (2001). Nonlinear goal programming using multi-objective genetic algorithms. *Journal of the Operational Research Society*, 291-302 .

Deb, K. (2014). Multi-objective Optimization. In E. K. Burke & G. Kendall (Eds.), *Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques* (pp. 403-449). Boston, MA: Springer US.

Ghorbani, A., & Jokar, M. R. A. (2016). A hybrid imperialist competitive-simulated annealing algorithm for a multisource multi-

product location-routing-inventory problem. *Computers & Industrial Engineering*, 101, 116-127 .

Goodarzi, A. H., & Zegordi, S. H. (2016). A location-routing problem for cross-docking networks: A biogeography-based optimization algorithm. *Computers & Industrial Engineering*, 102, 132-146 .

Goyal, S. K., & Giri, B. C. (2001). Recent trends in modeling of deteriorating inventory. *European Journal of Operational Research*, 134(1), 1-16. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00248-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00248-4)

Guerrero, W. J., Prodhon, C., Velasco, N., & Amaya, C. A. (2013). Hybrid heuristic for the inventory location-routing problem with deterministic demand. *International Journal of Production Economics*, 146(1), 359-370. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2013.07.025>

Hamta, N., Akbarpour Shirazi, M., Behdad, S., & Ehsanifar, M. (2017). A novel bi-level stochastic programming model for supply chain network design with assembly line balancing under demand uncertainty. *Journal of Industrial and Systems Engineering*, 10(2), 87-112 .

Hiassat, A., Diabat, A., & Rahwan, I. (2017). A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products. *Journal of Manufacturing Systems*, 42, 93-103 .

Jepsen, M., Spoorendonk, S., & Ropke, S. (2013). A branch-and-cut algorithm for the symmetric two-echelon capacitated vehicle routing problem. *Transportation Science*, 47(1), 23-37 .

Khor, C. S., Elkamel, A., Ponnambalam, K., & Douglas, P. L. (2008). Two-stage stochastic programming with fixed recourse via scenario planning with economic and operational risk management for petroleum refinery planning under uncertainty. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 47(9), 1744-1764 .

Kim, I. Y., & de Weck, O. L. (2005). Adaptive weighted-sum method for bi-objective optimization: Pareto front generation. *Structural and multidisciplinary optimization*, 29(2), 149-158 .

Klibi, W., & Martel, A. (2012). Scenario-based Supply Chain Network risk modeling. *European Journal of Operational Research*, 223(3), 644-658. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2012.06.027>

Lai, Y.-J., Liu, T.-Y., & Hwang, C.-L. (1994). TOPSIS for MODM. *European Journal of Operational Research*, 76(3), 486-500. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2288-92282\(44\)77](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2288-92282(44)77)

Liu, S. C., & Lee, S. B. (2003). A two-phase heuristic method for the multi-depot location routing problem taking inventory control decisions into consideration. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 22(11-12), 941-949. doi: 10.1007/s00170-003-1639-5

Liu, S. C., & Lin, C. C. (2005). A heuristic method for the combined location routing and inventory problem. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 26(4), 372-381. doi: 10.1007/s00170-003-2005-3

Lopes, R. B., Barreto, S., Ferreira, C., & Santos, B. S. (2008). A decision-support tool for a capacitated location-routing problem. *Decision Support Systems*, 46(1), 366-375 .

Marler, R. T., & Arora, J. S. (2004). Survey of multi-objective optimization methods for engineering. *Structural and multidisciplinary optimization*, 26(6), 369-395 .

Momin, M., Mulgund, G., & Kanade, G. (2015). Uncertainty In Supply Chain In Construction Projects—A Case Study. *International Journal of New Technologies in Science and Engineering*, 2(2), 201-206.

Nekooghadirli, N., Tavakkoli-Moghaddam, R., Ghezavati, V. R., & Javanmard, S. (2014). Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 76, 204-221. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2014.08.004>

Noorossana, R., & Ardakani, M. K. (2009). A weighted metric method to optimize multi-response robust problems. *Journal of Industrial Engineering International*, 5, 10-19 .

Olivares-Benitez, E., González-Velarde, J. L., & Ríos-Mercado, R. Z. (2012). A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices. *Top*, 20(3), 729-753 .

Petrovic, D. (2001). Simulation of supply chain behaviour and performance in an uncertain environment. *International Journal of*

Production Economics, 71(1-3), 429-438. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00140-7](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00140-7)

Petrovic, D., Roy, R., & Petrovic, R. (1999). Supply chain modelling using fuzzy sets. *International Journal of Production Economics*, 59(1-3), 443-453. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273\(98\)00109-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0925-5273(98)00109-1)

Puga, M. S., & Tancrez, J.-S. (2016). A heuristic algorithm for solving large location-inventory problems with demand uncertainty. *European Journal of Operational Research*.

Ruzika, S., & Wiecek, M. M. (2005). Approximation methods in multiobjective programming. *Journal of optimization theory and applications*, 126(3), 473-501.

Seyedhosseini, S. M., Bozorgi-Amiri, A., & Daraei, S. (2014). An Integrated Location-Routing-Inventory Problem by Considering Supply Disruption. *iBusiness*, 2014.

Shen, Z.-J. M., & Qi, L. (2007). Incorporating inventory and routing costs in strategic location models. *European Journal of Operational Research*, 179(2), 372-389.

Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. A. J. (2015). Modeling an Inventory Routing Problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty. *International Journal of Production Economics*, 164, 118-133. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2015.03.008>

Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Haijema, R., & van der Vorst, J. G. A. J. (2016). Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration. *Computers & Operations Research*. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cor.2016.02.003>

Tavakkoli-Moghaddam, R., Forouzanfar, F., & Ebrahimnejad, S. (2013). Incorporating location, routing, and inventory decisions in a bi-objective supply chain design problem with risk-pooling. *Journal of Industrial Engineering International*, 9(1), 1-6.

Tavakkoli-Moghaddam, R., & Raziei, Z. (2016). A New Bi-Objective Location-Routing-Inventory Problem with Fuzzy Demands. *IFAC-PapersOnLine*, 49(12), 1116-1121.

Yang, X., Ma, H., & Zhang, D. (2010). (Research into ILRIP for Logistics Distribution Network of Deteriorating Item Based on JITD. In R. Zhu, Y. Zhang, B. Liu, & C. Liu (Eds.), *Information Computing and Applications* (Vol. 105, pp. 152-160): Springer Berlin Heidelberg.

Zhalechian, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., Zahiri, B., & Mohammadi, M. (2016). Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 89, 182-214. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2016.02.011>

Zhang, Y., Qi, M., Miao, L., & Liu, E. (2014). Hybrid metaheuristic solutions to inventory location routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 70, 305-323. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tre.2014.07.010>

