علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره۴، بهار۱۳۹۶

طراحی یک شبکه زنجیره تأمین با در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چند هدفه (MODE)

محمد مهدی صفار [۱*]

m.saffar@ut.ac.ir

حامد شکوری گنجوی [۲]

جعفر رزمی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش:۱۳۹۳/۰۶/۲۶

چکیده

زمینه و هدف: در دنیای امروز گسترش و طراحی زنجیره‌های تأمین با رویکرد بهینه سازی اقتصادی و زیست محیطی مورد توجه مدیران سیاست گذاران صنایع و محققان قرار گرفته است. به عبارتی دیگر با افزایش حجم گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌ها، مدیران سازمان‌ها و محققان در پی طراحی و راه اندازی شبکه‌هایی برآمدند که علاوه بر بهینه‌سازی اقتصادی تمرکز ویژه‌ای بر عوامل زیست‌محیطی و کاهش آلاینده‌ها در تمامی بخش‌ها داشته باشد.

روش بررسی: در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه فازی برای طراحی یک سیستم زنجیره تأمین، تحت شرایط عدم قطعیت با رویکرد فازی ارایه شده است. هم‌چنین تصمیم گیری در مورد انتخاب فن‌آوری‌های مناسب در قسمت‌های تولید و تعمیر، به‌گونه‌ای است که بتواند یک توازن مناسب بین هزینه‌ها و انتشار گازهای آلاینده به وجود آورد. در این مدل، هدف، تشخیص بهینه تکنولوژی تولید، تعمیر و میزان خریداری آن‌ها، مکان یابی تسهیلات، تخصیص بهینه تولید محصولات به ماشین‌ها است، تا تعادل مناسبی بین هزینه و میزان انتشار گازهای آلاینده برقرار شود. مدل فازی با استفاده از روش خیمنز به مدل قطعی کمکی تبدیل شده و برای حل مسأله، از روش‌های اپسیلون محدودیت در اندازه‌های کوچک و الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چندهدفه برای اندازه‌های بزرگ استفاده شده است.

یافته ها: در نظر گرفتن عوامل زیست محیطی در کنار عوامل اقتصادی در این مدل، نشان می‌دهد با این کار نه تنها سود اقتصادی حاصل از بازیافت و تعمیر کالاها عاید صنایع می‌شود، بلکه آلودگی محیط زیست از طریق کاهش مقدار زباله‌های صنعتی و استفاده مجدد از آن‌ها کاهش می‌یابد.

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاصل از حل مدل ارایه شده، با استفاده از نرم افزار GAMS و الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چندهدفه، نشان دهنده کارکرد بهینه و مطلوب مدل پیشنهادی در تمامی ابعاد است. به منظور اطمینان از کارکرد صحیح مدل ارایه شده و روش حل به کارگرفته شده، نتایج با مدل پایه مقایسه شد و نتایج نشان‌دهنده کارکرد مطلوب مدل ارایه شده بود.

واژه‌های کلیدی: زنجیره تأمین بازگشتی، انتشار گاز CO_2، عدم قطعیت، روش خیمنز و الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چند هدفه.

۱*- (مسوول مکاتبات): کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

۳- استاد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.4, Spring 2017

Design of a supply chain network considering environmental factors under uncertainty and solving the model by multi-objective differential evolutionary algorithm (MODE)

Mohammad Mahdi Saffar [1]*
m.saffar@ut.ac.ir
Hamed Shakouri Ganjavi [2]
Jafar Razmi [3]

Abstract

Background and Objective: Today, design of a supply chain network which balances economic and environmental issues is attractive not only for researchers and practitioners, but also for managers and industrial decision makers.
Method: This study introduces a bi-objective supply chain network which uses a fuzzy approach in order to include uncertainty in parameters of the model and apply it to a real case. Moreover, this model takes environmental and economic issues into account simultaneously. This consideration occurs in production and recovery technologies. Furthermore, the aim of the represented model is to choose the optimal production technology at all centers, the optimal production planning, facilities and location and the optimal number of those technologies which must be purchased. The fuzzy model is converted to an auxiliary crisp model by Jimenez approach and then solved with ϵ-constraint. For the large sized problems, the Multi Objective Differential Evolutionary algorithm (MODE) is applied.
Findings: It was shown that the cost objective functions and CO_2 emission objective function are in conflict with each other, implying that any increase in one of them leads to decrease of another one and vice versa. Totally, it can be concluded that the ε-constraint method and the MODE method are appropriate and qualified methods for solving the auxiliary crisp model of supply chain network design problems.

Keywords: Reverse Supply Chain, CO_2 Emission, Uncertainty, Jimenez Method, Multi Objective Differential Evolutionary Algorithm.

1- MSc of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.* *(Corresponding Author)*
2- Associate Professor of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
3- Professor of Industrial Engineering, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین، مدیریت همه فرآیندهای ساخت و تأمین از مواد اولیه تا مشتری نهایی است که کل زنجیره ارزش از استخراج مواد تا پایان عمر مفید محصول را در برمی‌گیرد. بسیاری تأمین و تولید مواد اولیه را نیز در محدوده مدیریت زنجیره تأمین می‌دانند، هم‌چنین فرآیندهای تأمین منابع، ساخت، حمل و نقل و فروش محصولات فیزیکی را نیز شامل می‌شود. زنجیره تأمین تنها شامل جریان‌های یک طرفه و رو به جلو نیست. در طراحی زنجیره نمی‌توان جریان رو به عقب مانند محصولات مرجوعی، تخفیف‌ها و پرداخت‌های تشویقی، جریان اطلاعات و مانند آن‌ها را نادیده گرفت. بنابراین در زنجیره تأمین بیش‌تر جریان‌ها دو طرفه است.

از جمله مهم‌ترین تصمیمات در زنجیره تأمین، تصمیمات مربوط به سطوح راهبردی آن است. مهم‌ترین موضوع در طراحی راهبردی زنجیره تأمین یا همان طراحی شبکه، مکان‌یابی تسهیلات و سپس تخصیص جریان بین تسهیلات انتخاب شده است. Melkote & Daskin (۲) در سال ۲۰۰۱ یک مدل طراحی شبکه- مکان‌یابی تسهیلات تک دوره‌ای را با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت ارایه کرده‌اند. Nga Thanh et al. (۳) نیز در سال ۲۰۰۸ یک مدل پویا تحت شرایط قطعیت ارایه کردند. در این مدل، پارامترهایی مانند تقاضا، قیمت فروش و هزینه راه‌اندازی تسهیلات در دوره‌های زمانی مختلف، متفاوت در نظر گرفته شده‌اند. مقاله‌ای که توسط Drezner & Wesolowsky (۴) در سال ۲۰۰۳ ارایه شد، در دسته مدل‌های مکان‌یابی تک لایه‌ای و مربوط به یک دوره زمانی قرار می‌گیرد. Ambrosino & Acutella (۵) در سال ۲۰۰۵ یک مدل پویا برای یک شبکه چند لایه‌ای با در نظر گرفتن جریان محصولات ارایه کردند. مدل مذکور شامل لایه‌های کارخانه، مراکز توزیع مرکزی، مراکز توزیع محلی و مشتریان یا نقاط تقاضا می‌باشد. در مقاله Ozdemir et al. (۶) در سال ۲۰۰۶ یک مدل دو لایه‌ای با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای جابه‌جایی کالاها در شبکه ارایه شده است که هدف آن، پیدا نمودن تخصیص بهینه برای کمینه‌سازی هزینه کل است. در مقاله Pirkul & Jyaraman (۷) در سال ۱۹۹۸ چند نوع کالا در شبکه در جریان هستند. از این رو، این مدل یک مدل طراحی شبکه چند محصولی است. در مقاله Hinojosa et al. (۸) در سال ۲۰۰۳ یک مدل طراحی شبکه پویا، چند لایه‌ای و چند محصولی ارایه شد. در مقاله Lu & Bostel (۹) در سال ۲۰۰۷ یک مدل طراحی شبکه سه لایه‌ای ارایه شده است که به دنبال مکان‌یابی تسهیلات در شبکه لجستیک معکوس است. پیشوایی و همکاران (۱۰) در سال ۲۰۱۰ یک مدل خطی به‌منظور کمینه نمودن هزینه حمل و نقل عرضه کردند. هم‌چنین پیشوایی و همکاران (۱۱) در سال ۲۰۱۰ مدلی ارایه دادند که هم جریان رو به جلو و هم جریان برگشتی را به طور هم‌زمان در نظر گرفته است. یکی دیگر از توسعه‌های مهم در مدل‌های پایه، در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی[1] در مدل‌های طراحی شبکه است. Shen & Qi (۱۲) در سال ۲۰۰۷ یک مدل غیر خطی ارایه کرده‌اند که در آن به بررسی تأثیر تصمیمات راهبردی (مکان‌یابی تسهیلات) بر تصمیمات تاکتیکی از قبیل تصمیمات مربوط به موجودی و حمل و نقل در شبکه ارایه شده است. در مقاله Sayed et al. (۱۳) در سال ۲۰۰۸ یک مدل طراحی شبکه یکپارچه با رویکرد احتمالی ارایه شده که به دنبال تعیین مراکز توزیع، تأمین‌کنندگان، مونتاژ مجدد و مراکز توزیع مجدد است. هم چنین در مقاله Qin & Ji (۱۴) در سال ۲۰۰۹ نیز میزان محصولات برگشتی و سطح کیفیت آن‌ها برای استفاده مجدد یا از رده خارج نمودن به صورت غیرقطعی در نظر گرفته شده است. در مقاله Jabal Ameli et al. (۱۵) در سال ۲۰۰۹ از روش جستجوی ممنوع[2] برای حل مدل استفاده شده است. برای حل مدل بالا از روش متاهیوریستیک جستجوی ممنوع دو مرحله‌ای بهره گرفته شده است. در مرحله اول از روش جستجوی ممنوع استاندارد استفاده شده است. در مرحله دوم جواب‌های به دست آمده در مرحله اول، از طریق ۴ حرکت بهبود داده می‌شوند.در مقاله Syam (۱۶) در سال ۲۰۰۳،

1-Uncertainty parameters
2-Tabu Search

الگوریتم عملیات حرارتی شبیه‌سازی شده برای یک مدل طراحی شبکه با در نظر گرفتن هزینه‌های لجستیکی در زنجیره ارایه شده است.

جدول (۱)- خلاصه مرور ادبیات و شکاف تحقیقاتی موجود در مقالات ارایه شده

Table (1) - Literature Review

محقق	تابع هدف		ویژگی‌های مدل ریاضی			زنجیره تأمین سبز		طراحی شبکه				جریان شبکه	
	تک هدفه	چندهدفه	عدم قطعیت	چند محصولی	چند دوره‌ای	تولید	بازگشتی	مکان یابی انبار	مکان یابی مراکز جمع آوری	مکان یابی مراکز تعمیر	انتخاب فن‌آوری تولید و تعمیر	روبه جلو	بازگشتی
زنجیرانی فراهانی ۲۰۱۳ (۱۷)	*		*	*	*			*				*	
پیشوایی و رزمی ۲۰۱۲ (۱۸)		*	*			*	*		*		*	*	*
پیشوایی و همکاران ۲۰۱۰ (۱۱)	*							*	*	*		*	*
پیشوایی و ترابی ۲۰۱۰ (۱۹)	*		*		*		*	*	*	*		*	*
Sawik ۲۰۱۱ (۲۰)	*		*		*							*	
Shaw et al.۲۰۱۲ (۲۱)		*	*			*						*	
این تحقیق		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

همان‌طور که ملاحظه می‌شود با بررسی مقالات مرتبط با این موضوع، تا به حال تحقیقی مشاهده نشده است که به طور همزمان، هم مسایل زیست محیطی (در قالب فن‌آوری تعمیر و تولید و شبکه بازگشتی) و هم هزینه را در مسأله طراحی زنجیره تأمین با فروض واقع‌گرایانه و وسعت پارامترهای دارای عدم قطعیت در نظر گرفته باشد.

روش بررسی

-تعریف مسأله

در ادامه برای روشن شدن موضوع، مسأله مورد بررسی و فروض مرتبط با آن به طور مفصل بیان شده است. شکل (۱) شبکه مورد بررسی را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شده است، محصولات تولید شده توسط کارخانه از طریق مراکز توزیع مستقیماً به مشتریان انتقال داده می‌شوند. در ادامه محصولات پس از خراب شدن دوباره به شبکه زنجیره تأمین

برگشته و پس از عملیات بازرسی اجناس قابل تعمیر به قسمت تعمیر و اجناس غیر قابل تعمیر برای مشتریان مواد اسقاطی فرستاده می‌شوند. در مرکز تعمیر، محصولات پس از تعمیر برای استفاده مجدد، دوباره از طریق مراکز توزیع به مراکز مشتری فرستاده می‌شوند. در مدل هزینه‌های مربوط به احداث تسهیلات، حمل ونقل، عملیات تعمیر و تولید ، ضرایب پخش CO_2 مربوط به عملیات تعمیر و تولید، زمان در دسترس ماشین آلات، مقدار بازگشت محصولات و درصد تعمیرپذیر، به دلیل ذات عدم قطعیت در دنیای واقعی به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. پارامترهای فازی با علامت " ~ " روی آن‌ها قابل تشخیص هستند.

-فرضیات مدل

- ظرفیت تسهیلات (مرکز تولید، مراکز توزیع، مراکز تعمیر) محدود است.
- مکان مشتریان و مکان مشتریان مواد اسقاطی و نیز مکان مرکز تولید، ثابت و از پیش تعیین شده است.
- تمام تقاضاها باید برآورده شود.
- مکان‌های بالقوه برای تاسیس مراکز توزیع و جمع-آوری و تعمیر معلوم و گسسته فرض می‌شوند.
- مدل چند محصولی و چند دوره‌ای است.
- مقدار گاز CO_2 منتشر شده ناشی از تولید و تعمیر غیرقطعی در نظر گرفته شده است.
- در هر لایه شبکه، امکان تهیه منابع مورد نیاز از چندین یا تمام مراکز لایه قبلی آن امکان‌پذیر است.
- احتمال رسیدن جنس خراب به دست مشتری وجود دارد که این جنس خراب دوباره از طریق مراکز جمع‌آوری و بازرسی به زنجیره برمی‌گردد.

-خروجی مدل

- مدل به دنبال یافتن مکان بهینه استقرار مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و بازرسی و مراکز تعمیر است.
- مقدار جریان بهینه را بین تمام تسهیلاتی که در کل شبکه با هم مرتبط هستند، تعیین می‌نماید.
- مدل تعیین می‌کند چه تعداد ماشین آلات از کدام فن‌آوری برای کدام مرکز تولید و تعمیر خریداری شود و نیز چه تعداد از کدام محصول توسط کدام‌یک از ماشین آلات تولید و تعمیر شوند.
- مدل تعیین می‌کند چه مقدار از مواد اسقاطی به کدام مشتری مواد اسقاطی فروخته شود.

به منظور آسان سازی درک مدل ریاضی پیشنهادی، با توجه به تعریف مسأله و فرضیات، مدل به صورت تشریحی زیر ارایه می‌گردد:

-اندیس ها و مجموعه‌ها

-پارامترها

$\tilde{H}_r^z$	هزینه ثابت راه اندازی مرکز توزیع r با سطح ظرفیت z
$\tilde{h}_q$	هزینه ثابت راه اندازی مرکز جمع‌آوری q
$\tilde{r}_m$	هزینه ثابت راه اندازی مرکز تعمیر m
Cs^l	هزینه خرید یک ماشین با فن‌آوری l در کارخانه
Cs_m^o	هزینه خرید یک ماشین با فن‌آوری o در مرکز تعمیر m
$\tilde{h}_j^l$	هزینه تولید یک واحد از محصول j با فن-آوری l در کارخانه
$\tilde{\rho}_{jm}^o$	هزینه تعمیر یک واحد از محصول j با فن-آوری o در مرکز تعمیر m
$\tilde{c}_{jr}$	هزینه حمل یک واحد از محصول j از کارخانه به مرکز توزیع r
$\tilde{a}_{jrk}$	هزینه حمل یک واحد از محصول j از مرکز توزیع r به مرکز مشتری k
$\tilde{b}_{jkq}$	هزینه حمل یک واحد از محصول j از مرکز مشتری k به مرکز جمع‌آوری و بازرسی q
$\tilde{v}_{jqm}$	هزینه حمل یک واحد از محصول j از مرکز جمع‌آوری و بازرسی q به مرکز تعمیر m
$\tilde{s}_{jmr}$	هزینه حمل یک واحد از محصول j از مرکز تعمیر m به مراکز توزیع r

$\tilde{V}_{jqv}$ هزینه حمل یک واحد از محصول j از مرکز جمع‌آوری و بازرسی q به مشتری مواد اسقاطی v

$\tilde{Ti}^{l}$ زمان در دسترس یک ماشین با فن‌آوری l در کارخانه

$\tilde{Pt}_{j}^{l}$ زمان لازم برای تولید یک واحد از محصول j با فن‌آوری l در کارخانه

$\tilde{TM}^{o}$ زمان در دسترس یک ماشین با فن‌آوری o در مرکز تعمیر

$\tilde{PTM}_{j}^{o}$ زمان لازم برای تعمیر یک واحد از محصول j با فن‌آوری o در مرکز تعمیر

VoR_{r}^{z} حجم قابل استفاده مرکز توزیع در محل r با ظرفیت z

$\tilde{L}_{j}^{l}$ ضریب پخش CO_2 به ازای تولید یک واحد از محصول j با فن‌آوری l

$\tilde{\varepsilon}_{j}^{o}$ ضریب پخش CO_2 به ازای تعمیر یک واحد از محصول j با فن‌آوری o

$\tilde{\omega}_{jkt}$ میزان بازگشت محصول نوع j از مرکز مشتری k در دوره t

$\tilde{r}_{jkt}$ مقدار محصول بازگشتی نوع j از مرکز مشتری k در دوره t

$\tilde{\wp}_{j}$ درصد قابل تعمیر محصول نوع j در مرکز جمع‌آوری و بازرسی

$\tilde{Co}_{jv}$ قیمت فروش یک واحد از جنس اسقاطی نوع j به مشتری مواد اسقاطی v

$\tilde{d}_{jkt}$ تقاضای محصول j در مرکز مشتری k در دوره t

Vo_{j} حجم اشغال شده توسط یک واحد از محصول j

-متغیرهای تصمیم

y_{jrt} به t که از کارخانه در دوره jمقداری از محصول منتقل می‌شودrمرکز توزیع

χ_{jrkt} در دوره t که از مرکز توزیع jمقداری از محصول منتقل می‌شودkبه مرکز مشتری

δ_{jkqt} در دوره k که از مرکز مشتری jمقداری از محصول منتقل می‌شودq به مرکز جمع‌آوری و بازرسی t

M_{jqmt} که از مرکز جمع‌آوری و jمقداری از محصول منتقل m به مرکز تعمیر t در دوره qبازرسی می‌شود

ζ_{jmrt} مقداری از محصول j که از مرکز تعمیر m در دوره t به مرکز توزیع r منتقل می‌شود

U_{jqvt} که از مرکز جمع-jمقداری از ماده اسقاطی از نوع به مشتری مواد t در دروه qآوری و بازرسی منتقل می‌شود vاسقاطی

z_{jt}^{l} توسط t که در دوره jمقداری از محصول نوع در کارخانه تولید می‌شودlماشینی با فن‌آوری

NM^{l} در lتعداد ماشین خریداری شده با فن‌آوری کارخانه

m_{jmt}^{o} توسط t که در دوره jمقداری از محصول نوع تعمیر m در مرکز تعمیر oماشینی با فن‌آوری می‌شود

NoM_{m}^{o} در مرکز oتعداد ماشین خریداری شده با فن‌آوری تعمیرm

β_{r}^{z} =۱ اگر مراکز توزیع در محل r با سطح ظرفیت z تاسیس شود؛ در غیر این‌صورت=۰

z_{q} =۱ اگر مرکز جمع‌آوری و بازرسی در محل q تاسیس شود؛ در غیر این‌صورت=۰

ϖ_{m} =۱ اگر مرکز تعمیر در محل m تاسیس شود؛ در غیر این‌صورت=۰

-مدل فازی پیشنهادی

A هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات

$$\sum_{r}\sum_{z}\tilde{H}_{r}^{z}.\beta_{r}^{z}+\sum_{q}\tilde{h}_{q}.z_{q}+\sum_{m}\tilde{r}_{m}.\varpi_{m}$$

B هزینه‌های خرید ماشین آلات تولیدی و تعمیری

$$\sum_{l}NM^{l}.Cs^{l}+\sum_{m}\sum_{o}Cs_{m}^{o}.NoM_{m}^{o}$$

C هزینه‌های تولید و تعمیر

$$\sum_{l}\sum_{j}\sum_{t}z_{jt}^{l}.\tilde{h}_{j}^{l}+\sum_{m}\sum_{o}\sum_{j}\sum_{t}m_{jmt}^{o}.\tilde{\rho}_{jm}^{o}$$

D هزینه‌های حمل و نقل بین تسهیلات

$$\sum_r\sum_j\sum_t y_{jrt}.\tilde{c}_{jr}+\sum_r\sum_k\sum_j\sum_t \chi_{jrkt}.\tilde{a}_{jrk}$$
$$+\sum_k\sum_q\sum_j\sum_t \delta_{jkqt}.\tilde{b}_{jkq}+\sum_q\sum_m\sum_j\sum_t M_{jqmt}.\tilde{v}_{jqm}$$
$$+\sum_m\sum_r\sum_j\sum_t \zeta_{jmrt}.\tilde{s}_{jmr}+\sum_q\sum_v\sum_j\sum_t U_{jqvt}.\tilde{V}_{jqv}$$

E درآمد ناشی از فروش مواد اسقاطی

$$\sum_q\sum_v\sum_j\sum_t U_{jqvt}.\tilde{Co}_{jv}$$

(۱) تابع هدف اول: کل هزینه‌ها

$$Min \quad A+B+C+D-E$$

(۲) تابع هدف دوم: انتشار گاز CO_2

$$Min \quad \sum_l\sum_j\sum_t z^l_{jt}.\tilde{L}^l_j+\sum_m\sum_o\sum_j\sum_t m^o_{jmt}.\tilde{\varepsilon}^o_j$$

-محدودیت‌ها

(۳) محدودیت تأمین تقاضا

$$\sum_r \chi_{jrkt} \geq \tilde{d}_{jkt} \qquad \forall j,t,k$$

(۴) محدودیت ظرفیت تولید

$$\sum_j Z^l_{jt}.\tilde{Pt}^l_j \leq NM^l.\tilde{Ti}^l \qquad \forall l,t$$

(۵) محدودیت تعادل کارخانه

$$\sum_l z^l_{jt}=\sum_r y_{jrt} \qquad \forall j,t$$

(۶) محدودیت تعادل مرکز توزیع

$$\forall r,j,t$$
$$y_{jrt}+\sum_m \zeta_{jmrt}=\sum_k \chi_{jrkt}$$

(۷) محدودیت تعادل مرکز مشتری

$$\forall k,j,t$$
$$\sum_q \delta_{jkqt} \geq \tilde{r}_{jkt}\left(=\tilde{\omega}_{jkt}.\tilde{d}_{jk(t-1)}\right)$$

(۸) محدودیت تعادل مرکز جمع‌آوری

$$\forall q,j,t$$
$$\sum_k \delta_{jkqt}=\sum_m M_{jqmt}+\sum_v U_{jqvt}$$

(۹) محدودیت میزان اجناس قابل تعمیر

$$\forall q,j,t$$
$$\tilde{\wp}_j.\sum_k \delta_{jkqt}=\sum_m M_{jqmt}$$

(۱۰) محدودیت تعادل مرکز تعمیر

$$\forall m,j,t$$
$$\sum_q M_{jqmt}=\sum_r \zeta_{jmrt}$$

(۱۱) محدودیت تعمیر توسط یک فن‌آوری

$$\sum_o m^o_{jmt}=\sum_q M_{jqmt} \qquad \forall j,m,t$$

(۱۲) محدودیت حجم در مرکز توزیع

$$\sum_j\left[\left(\sum_k \chi_{jrkt}\right).Vo_j\right] \leq \sum_z VoR^z_r.\beta^z_r \qquad \forall r,t$$

(۱۳) محدودیت الزام خرید فن‌آوری تعمیر

$$\sum_j m^o_{jmt}.P\tilde{T}M^o_j \leq T\tilde{M}^o.NoM^o_m \qquad \forall m,o,t$$

محدودیت ایجاد مرکز توزیع با یک

(۱۴) ظرفیت

$$\sum_z \beta^z_r \leq 1 \qquad \forall r$$

(۱۵) محدویت الزام احداث مرکز جمع‌آوری

$$\sum_k\sum_j\sum_t \delta_{jkqt} \leq M.z_q \qquad \forall q$$

(۱۶) محدویت الزام احداث مرکز تعمیر

$$\sum_q\sum_j\sum_t M_{jqmt}+\sum_o NoM^o_m \leq M.\varpi_m \qquad \forall m$$

(۱۷)

$$\beta^z_r, z_q, \varpi_m \in \{0,1\} \qquad \forall r,z,q,m$$

(۱۸)

$$\forall \quad r,z,q,m,j,l,o,t,k,v$$
$$\tilde{H}^z_r,\tilde{h}_q,\tilde{r}_m,Cs^l,Cs^o_m,\tilde{h}^l_j,\tilde{\rho}^o_{jm},\tilde{c}_{jr},\tilde{a}_{jrk},\tilde{b}_{jkq} \geq 0$$
$$\tilde{v}_{jqm},\tilde{s}_{jmr},\tilde{V}_{jqv},\tilde{Ti}^l,\tilde{Pt}^l_j,T\tilde{M}^o,P\tilde{T}M^o_j \geq 0$$
$$VoR^z_r,\tilde{L}^l_j,\tilde{\varepsilon}^o_j,\tilde{\omega}_{jkt},\tilde{r}_{jkt},\tilde{\wp}_j,\tilde{Co}_{jv},Vo_j \geq 0$$

(۱۹)

$$\forall \quad r,q,m,j,$$
$$l,o,t,k,v$$
$$\tilde{d}_{jkt}, y_{jrt}, \chi_{jrkt}, \delta_{jkqt}, M_{jqmt}, \zeta_{jmrt}$$
$$, U_{jqvt}, z^{l}_{jt}, NM^{l}, \mathrm{m}^{o}_{jmt}, NoM^{o}_{m} \in Z^{+}$$

تابع هدف اول، (۱)، به دنبال کمینه کردن کل هزینه‌ها و تابع هدف دوم، (۲)، به دنبال حداقل کردن انتشار گاز CO_2 است. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که نیاز مشتری در هر مکان، برای هر محصول کاملا ارضا شود. با توجه به محدودیت‌های تولیدی در کارخانه و زمان در دسترس فن‌آوری‌های مختلف محدودیت (۴) تضمین می‌کند که میزان تولید کارخانه بیش‌تر از ظرفیت تولید کارخانه نباشد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که میزان تولید و خروجی از کارخانه با هم برابر باشد. محدودیت (۶) بیان کننده برابری میزان ورودی به مراکز توزیع و خروجی از آن‌ها است. محدودیت (۷) نشان می‌دهد که میزان ورودی به مرکز مشتری و خروجی از مرکز مشتری (با احتساب میزان بازگشت و تقاضای سال گذشته) با هم برابر باشد. محدودیت (۸) تضمین می‌کند که میزان ورودی به مرکز جمع-آوری و بازرسی و خروجی از آن با هم برابر باشد (محدودیت تعادل در مرکز جمع‌آوری و بازرسی). با احتساب مقدار تعمیر پذیری محدودیت (۹) مسؤولیت تقسیم کالاهای بازگشتی به قابل تعمیرها و اسقاطی‌ها را بر عهده دارد. محدودیت (۱۰) بیان کننده برابری میزان ورودی به مرکز تعمیر و خروجی از آن است(محدودیت تعادل در مرکز تعمیر). محدودیت (۱۱) تضمین می‌کند همه محصولات لزوماً توسط یکی از فن‌آوری‌ها تعمیر می‌شوند. محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که حجم مواد ذخیره شده در مراکز توزیع کمتر از حجم در دسترس آن مراکز باشد. با توجه به زمان در دسترس فن‌آوری‌ها در مرکز تعمیر محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند تا فن‌آوری خریداری نشود و محصولی با آن تعمیر نشود. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که در یک محل کاندید اگر مراکز توزیعی تأسیس شود فقط با یک سطح ظرفیت تأسیس گردد. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند تا مرکز جمع‌آوری و بازرسی‌ای احداث نشود محصولی به آن فرستاده نشود. محدودیت (۱۶) نشان می‌دهد که تا مرکز تعمیری تأسیس نشود نه محصولی برای تعمیر به آن مرکز فرستاده شود و نه فن‌آوریی برای آن مرکز خریداری شود.

-روش حل پیشنهادی

مدل ریاضی پیشنهادی برای مسأله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند هدفه با رویکرد فازی است. برای حل این مسأله یک رویکرد دو مرحله‌ای پیشنهاد می‌شود. در مرحله اول مدل اصلی به کمک روش ارایه شده توسط Jimenez et al. (۲۲) در سال ۲۰۰۷ به یک مدل کمکی قطعی چند هدفه تبدیل می‌شود. سپس در مرحله دوم با اعمال روش اپسیلون محدودیت مجموعه جواب‌های نهایی برای تصمیم گیری نهایی در اختیار تصمیم گیرنده قرار داده می‌شود.

مرحله اول: تعیین مدل کمکی قطعی برای مدل فازی اصلی

این روش از کارایی محاسباتی مناسبی در حل مسایل خطی فازی برخوردار است، زیرا ضمن حفظ خطی بودن مدل، تعداد توابع هدف و محدودیت‌های مسأله (از جنس نامساوی) را افزایش نمی‌دهد این روش بر مبنای روش عمومی رتبه‌بندی پیشنهادی توسط خود Jimenez (۲۳) در سال ۱۹۹۶ طراحی شده است و قابلیت اعمال بر روی پارامترهای غیرقطعی با توابع عضویت فازی مختلفی از قبیل مثلثی، ذوزنقه‌ای و توابع عضویت غیر خطی، هم در حالت متقارن و هم در حالت نامتقارن را دارد. مفاهیم ریاضی قوی از قبیل «فواصل مورد انتظار» و «امید ریاضی» اعداد فازی، مبانی این روش هستند. بنابراین این روش از پشتوانه‌ی ریاضی مستحکمی برخوردار است. همان‌طور که ذکر شد، روش خیمنز بر مبنای مفاهیم «فاصله مورد انتظار» و «امید ریاضی» پایه‌ریزی شده است که اولین بار توسط Yager (۲۴) در سال۱۹۸۱ معرفی شد. بنابراین تغییرات لازم در معادلات مدل فازی پیشنهادی رخ می‌دهد و مدل را غیرفازی یا قطعی می‌کند.

لازم به توضیح است از بازنویسی معادلاتی که نیاز به تغییر نداشته‌اند، چشم‌پوشی شده است و آن‌ها در مدل کمکی قطعی نیز به همان شکل اولیه باقی می‌مانند.

-مرحله دوم: رویکرد فازی پیشنهادی برای حل مدل قطعی چندهدفه

در این مرحله پس از آماده کردن مدل قطعی شده به وسیله روش خیمنز، اقدام به حل این مدل چند هدفه می‌کنیم.

روش محدودیت اپسیلون

با توجه به چند هدفه بودن مسأله، روش‌های متفاوتی نظیر روش اولویت‌دهی، روش‌های وزنی و تعاملی وجود دارد (Hwang & Masud (۲۵)). در این مقاله از روش محدودیت اپسیلون استفاده می‌شود. در روش محدودیت اپسیلون، مسأله مورد نظر به این صورت تبدیل می‌شود که یکی از اهداف در قسمت تابع هدف قرار می‌گیرد و باقی اهداف به صورت محدودیت در نظر گرفته می‌شوند.

یافته‌ها

به منظور اعتبار سنجی مدل، از نرم افزار GAMS توسط پردازشگر3.4 Cori 13 GHz و با حافظه داخلی 4 GB استفاده می‌شود. داده‌های مدل مورد مطالعه با اقتباس از داده های مقاله های موجود در مرور ادبیات (پیشوایی، شکوری (۲۶) و پیشوایی و همکاران (۱۱)) شبیه سازی و تولید شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود. مسأله برای آلفای ۰,۷، ۰,۸ و ۰,۹ حل شده و تعداد جواب‌های پارتو، هزینه‌های اقتصادی، میزان انتشار گاز CO_2 (به تفکیک تولید، تعمیر)، تعداد مراکز احداث شده در بخش انبار، جمع‌آوری، تعمیر و نیز زمان حل به ثانیه در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود. دو تابع هدف با یکدیگر در تضاد هستند که این مطلب نشان دهنده کارکرد درست مدل توسط نرم افزار GAMS است.

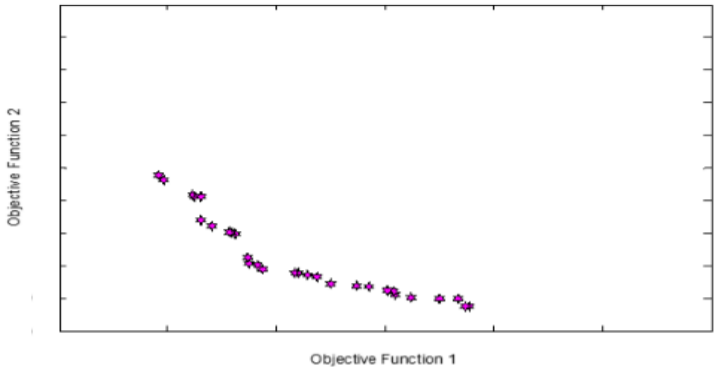
جدول ۲- نتایج محاسباتی حاصل از نرم افزار GAMS

Table 2– Results from GAMS

آلفا	جواب پارتو	مقدار تابع هدف			درجه رضایت‌مندی		زمان حل (ثانیه)	تعداد تسهیلات احداث شده		
		هزینه	CO_2 انتشار (Kg)		هزینه	CO_2 انتشار		توزیع	جمع آوری	تعمیر
			تولید	تعمیر						
۰/۷	۱	۰/۷ E+۹/۷۹	۰/۸E+۱,۱۳	۰/۸E+۵/۲۴	۱/۰	۰/۰	۱۲	۲	۱	۱
	۲	۰/۷ E+۹/۹۳	۰/۸E+۱/۰۷	۰/۸E+۴/۸۱	۰/۹	۰/۳	۲۰	۲	۱	۱
	۳	۰/۸ E+۱/۰۱	۰/۸E+۱/۰۲	۰/۸E+۴/۶۰	۰/۹	۰/۵	۲۰	۲	۲	۲
	۴	۰/۸ E+۱/۰۸	۰/۹E+۱/۰۱	۰/۸E+۴/۳۲	۰/۵	۰/۷	۱۴	۳	۳	۳
	۵	۰/۸ E+۱/۱۵	۰/۸E+۹/۸۵	۰/۸E+۴/۲۱	۰/۲	۰/۹	۱۵	۳	۳	۳
	۶	۰/۸ E+۱/۲۰	۰/۸E+۹/۳۸	۰/۸E+۴/۰۸	۰/۰	۱/۰	۱۸	۳	۴	۳
۰/۸	۱	۰/۷E+۸/۵۷	۰/۸E+۹/۷۹	۰/۸E+۴/۵۶	۱/۰	۰/۰	۲۰	۲	۱	۱
	۲	۰/۷E+ ۸/۵۹	۰/۸E+۹/۵۵	۰/۸E+۴/۲۹	۰/۹	۰/۳	۱۴	۲	۱	۱
	۳	۰/۷E+۹/۵۹	۰/۸E+۹/۳۱	۰/۸E+۴/۱۸	۰/۸	۰/۵	۱۱	۳	۲	۲
	۴	۰/۷E+۹/۹۹	۰/۸E+۹/۲۹	۰/۸E+۳/۹۶	۰/۴	۰/۷	۱۸	۳	۳	۲
	۵	۰/۷E+۶/۱۱	۰/۸E+۹/۲	۰/۸E+۳/۹۳	۰/۲	۰/۸	۱۵	۳	۴	۳
	۶	۰/۷E+۱/۱۶	۰/۸E+۹/۰۲	۰/۸E+۳/۹۲	۰/۰	۱/۰	۱۸	۳	۴	۳
۰/۹	۱	۰/۷ E+۷/۷۴	۰/۸ E+۸/۹۱	۰/۸ E+۴/۱۴	۱/۰	۰/۰	۳۰	۲	۱	۱
	۲	۰/۷ E+۷/۹۵	۰/۸ E+۸/۵۹	۰/۸ E+۳/۸۶	۰/۹	۰/۲	۳۸	۲	۱	۱
	۳	۰/۷ E+۸/۰۵	۰/۸ E+۸/۱۰	۰/۸ E+۳/۶۳	۰/۸	۰/۴	۳۲	۲	۲	۱
	۴	۰/۷ E+۸/۶۹	۰/۸ E+۸/۰۷	۰/۸ E+۳/۴۴	۰/۴	۰/۴	۳۸	۲	۳	۲

الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چندهدفه

الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی از قابلیت بسیار زیادی برای حل مسایل بهینه سازی محدودیت دار برخوردار است و توانایی حل مسایل با توابع هدف غیر خطی و مشتق ناپذیر را دارد. از سوی دیگر متغیرهای این الگوریتم اعداد حقیقی هستند. الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی همانند سایر الگوریتم‌های تکاملی با جمعیتی از افراد سروکار دارد که این افراد در فضای ژنتیک همان کروموزوم‌ها و در فضای حل مسأله مقادیر برداری جواب هستند. این الگوریتم جز آن دسته از الگوریتم‌هایی است که با متغیرهای حقیقی کار می‌کنند که این یکی از نقاط قوت این الگوریتم به شمار می‌رود. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، نمودار جواب بهینه پارتو نشان دهنده کارکرد مطلوب الگوریتم به کار رفته برای حل مسأله پیشنهادی است.



شکل ۱ - نمودار بهینه پارتو مدل حل شده توسط الگوریتم MODE

Figure 1– Optimized Pareto Chart Solved By MODE

در جدول (۴) به عنوان نمونه نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل در اندازه بزرگ با الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چند هدفه نمایش داده شده است.

جدول ۳- جواب بهینه پارتو با الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی

Table 3 - Optimized Pareto Solved By MODE

آلفا	پارامترهای الگوریتم			جواب پارتو	مقدار تابع هدف		زمان حل (ثانیه)
	CR	F	NP		هزینه	$(Kg)CO_2$ انتشار	
۰/۷	۰/۸	۰/۳	۱۰۰	۱	۸۰۰۴۹/۵۸۶۹۲	۱۵۸۶۲۲۳	۴۸۴
				۲	۸۱۴۵۸/۵۱۳۸۹	۱۵۰۸۴۰۹	
				۳	۸۲۰۰۱/۹۶۸۲۵	۱۴۳۷۰۴۳	
				۴	۹۰۶۰۱/۷۲۵۱۳	۱۳۹۹۰۰۳	
				۵	۹۷۰۶۶/۲۸۵۳	۱۳۴۷۸۵۵	
				۶	۱۰۰۸۶۲/۴۱۳۴	۱۳۲۵۲۴۴	
				۷	۱۰۹۸۳۲/۸۳۸۹	۱۳۰۹۸۳۲	
				۸	۵۷۱۴۷۹/۶۹۸	۱۴۵۸۵۰۴	
				۹	۱۰۰۵۹۰۱/۸۴۵	۱۲۴۹۷۱۰	
				۱۰	۳۸۲۷۵۴/۴۸۹	۱۳۴۸۷۳۰	

۰/۸	۰/۸	۰/۳	۱۰۰	۱	۲۹۸۱۷۷/۸۱۴	۱۲۲۹۶۱۸	۵۴۰
				۲	۷۲۲۶۴۸/۹۹۳	۱۲۸۴۶۸۹	
				۳	۳۱۸۲۲۱/۲۱۹	۱۵۳۸۲۰۱	
				۴	۱۵۳۵۰۸/۶۴۴	۱۳۵۲۱۹۰	
				۵	۳۶۶۳۶۸/۱۹۱	۱۳۳۲۸۸۷	
				۶	۵۴۱۶۴۸/۲۵۹	۱۳۶۹۶۶۰	
				۷	۱۸۸۸۰۰/۴۱۴	۱۴۵۳۸۰۰	
				۸	۱۸۸۵۵۹/۸۰۰	۱۲۱۳۶۵۷	
				۹	۴۰۰۶۲۷/۴۷۶	۱۵۷۳۵۷۰	
				۱۰	۹۵۲۱۲۴/۵۸۰	۱۲۶۴۶۴۹	

برای پاسخ به این سؤال که آیا مدل ارایه شده و روش حل به کار گرفته شده به نتایج صحیح منجر می‌شود یا خیر، این نتایج با مدل پیشنهادی ارایه شده توسط پیشوایی و ترابی (۱۹) در سال ۲۰۱۰ مقایسه شد. با حل مسایل مختلف، مشاهده شد در مدل پیشنهادی این پژوهش به صورت میانگین حدود ۱۳ ٪ هزینه‌ها بیش‌تر از مدل پیشوایی و ترابی (۲۰۱۰) بوده است که این اختلاف به دلیل فروض ساده سازی است که پیشوایی و ترابی در مقاله خود لحاظ نموده‌اند. برخی از تفاوت‌های اصلی دو مدل که منشأ اختلاف در مقدار تابع هدف هستند در ادامه فهرست شده‌اند. مهم‌ترین تفاوت دو مدل که منجر به اختلاف در هزینه ها شده این است که مدل توسعه یافته در این پژوهش عوامل زیست محیطی را در قسمت‌های تولید و تعمیر لحاظ کرده و این امر موجب ایجاد تعادل بین هزینه‌های مالی و هزینه‌های ناشی از انتشار گاز CO_2 شده به نحوی که کاهش در دومی باعث افزایش اولی است. دراین پژوهش، مدل تعیین می‌کند چه تعداد ماشین‌آلات در قسمت تولید و تعمیر خریداری شود و در واقع هزینه خرید ماشین‌آلات نیز لحاظ شده در صورتی که پیشوایی و ترابی از آن صرف‌نظر کرده‌اند. هر چند در مدل این تحقیق درآمد ناشی از فروش مواد اسقاطی در نظر گرفته شده است، ولی این افزایش درآمد به قدری نیست که بتواند باعث جلوگیری از افزایش هزینه‌های مدل مورد بررسی نسبت به مدل ارایه شده توسط پیشوایی و ترابی شود. از طرفی با مقایسه جواب حاصل از نرم افزار GAMS و جواب به دست آمده از الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چند هدفه در مسایل با اندازه کوچک، مشاهده شد که جواب حاصل از الگوریتم فراابتکاری در مقایسه با نرم افزار GAMS اختلاف ناچیزی دارد. این امر نشان‌دهنده کارکرد مطلوب الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی چند هدفه است.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با ارایه یک شبکه زنجیره تأمین یکپارچه نه تنها جریان کالا و خدمات را در قسمت تولید، حمل و توزیع برنامه ریزی می‌کنیم، بلکه با نگاه به جریانات برگشتی و درنظرگرفتن احتمال خرابی محصولات، قسمت لجستیک معکوس (و تعمیر) را نیز مد نظر قرار می‌دهیم. با این کار نه تنها سود اقتصادی حاصل از بازیافت و تعمیر کالاها عاید صنایع می‌شود، بلکه آلودگی محیط زیست از طریق کاهش مقدار زباله‌های صنعتی و استفاده مجدد از آن‌ها کاهش می‌یابد. آن‌چه اهمیت این تحقیق را افزون می‌کند، بهینه‌سازی زیست محیطی شبکه و در نظر گرفتن عدم قطعیت به صورت فازی است. به منظور جلوگیری از زیربهینگی ناشی از برنامه‌ریزی مجزا، در این پژوهش علاوه بر در نظر گرفتن شبکه زنجیره تأمین روبه‌جلو و بازگشتی به صورت هم‌زمان، تصمیمات در سطوح راهبردی و تاکتیکی نیز در قالب یک مدل یکپارچه آورده شده است. نتایج حاصل از حل مدل با استفاده از نرم افزار GAMS و MODE نشان دهنده کارکرد بهینه و مطلوب مدل پیشنهادی در تمامی ابعاد است. به منظور اطمینان از کارکرد صحیح مدل ارایه شده و روش حل به کارگرفته شده، نتایج با مدل پایه مقایسه شد و نتایج نشان-دهنده کارکرد مطلوب مدل ارایه شده بود. مدل معرفی شده در

صنایع خودرو و صنایع برق دارای استفاده فراوان است. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران و اهمیت و خطر عواملی هم‌چون سیل و زلزله که منجر به مختل شدن عملکرد و از کار افتادن زنجیره تأمین می‌گردد، بسیار ضروری به نظر می‌رسد که پژوهش‌گران علاقه‌مند در مدل‌های آتی این عوامل را نیز در نظر گرفته و به پایداری و کشسانی زنجیره‌های تامین کمک کنند. در کنار عوامل زیست محیطی پیشنهاد می‌شود به عوامل اجتماعی هم‌چون ایجاد فرصت‌های شغلی و غیره نیز در قالب یک مدل یکپارچه پرداخته شود.

منابع

۱- رزمی. جعفر و پیشوایی. میر سامان، ۱۳۸۹، روش‌های کمی برای مدیریت لجستیک معکوس، انتشارات موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی.

2- Melkote, S., Daskin, M.S., 2001. Capacitated facility location/network design problem. European Journal of Operation Research, Vol 129, pp. 481-495.

3- Nga Thanh, P., Bostel, N., Peton, O., 2008. A dynamic model for facility location in the design of complex supply chains. International Journal of Production Economics, Vol 113, pp. 678-693.

4- Drezner, Z., wesolowsky, G.O., 2003. Network design: selection and design of links and facility location. Transportation Research, Vol 37, pp. 241-256.

5- Ambrosino, D., Scutella, M.G., 2005. Distribution Network Design: New Problems and Related Models. European Journal of Operational Research, Vol 165, pp. 610-624.

6- Ozdemir, D., Yucesan, E., Herer, Y.T., 2006. Multi-location transshipment problem with capacitated transportation. European Journal of Operational Research, Vol 175, pp. 602-621.

7- Pirkul, H., Jayaraman, V., 1998. A multi-commodity, Multi-Plant, Capacitated Facility Location Problem: Formulation and Efficient Heuristic Solution. Computers and Operational Research, Vol 25, pp. 869-878.

8- Hinojosa, Y., Kalcsics, J., Nickel, S., Puerto, J., Velten, S., 2008. Dynamic supply chain design with inventory. Computers & Operations Research, Vol 35, pp. 373-391.

9- Lu, Z., Bostel, N., 2007. A facility location model for logistics systems including reverse flows: the case of remanufacturing activities. Computers & Operations Research, Vol 34, pp. 299–323.

10- Pishvaee, M.S., Zanjirani Farahani, R., Dullaert, W., 2010. A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design. Computers & Operations Research, Vol 37, pp. 1100-1112.

11- Pishvaee, M.S., Rabbani, M., Torabi, S.A., 2010. A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. Applied Mathematical Modelling, Vol 35, pp. 637-649.

12- Lian Qi., Zuo-Jun Max Shen., 2007. A supply chain design model with unreliable supply. Naval Research Logistics, Vol 54, pp. 829-844.

13- Sayed, M., Afia, N., Kharbotly, A., 2008. A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. Computers & Industrial Engineering, Vol 58, pp. 423-431.

14- Qin, Y., Jin, M., 2009. Optimal Model and Algorithm for Multi-Commodity Logistics Network Design Considering Stochastic Demand and Inventory Control Original Research Article. Systems Engineering-Theory & Practice, Vol 29, pp. 176-183.

15- Jabal Ameli, M.S., Azad, N., Rastpour, A., 2009. Designing a Supply Chain Network Model with Uncertain Demand and Lead Times. Journal of Uncertain Systems, Vol 3, pp. 123-130.

16- Syam, S.S., 2002. A model and methodologies for the location problem with logistical components. Computers and Operations Research, Vol 29, pp. 1173-1193.

17- Baghalian, A., Rezapour, Sh., Zanjirani Farahani, R., 2013. Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand uncertainties: A real-life case. European Journal of Operational Research, Vol 227, pp. 199-215.

18- Pishvaee, M.S., Razmi, J., 2012. Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. Applied Mathematical Modelling, Vol 36, pp. 3433-3446.

19- Pishvaee, M.S., Torabi, S.A., 2010. A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty. Fuzzy Sets and Systems, Vol 161, pp. 2668-2683.

20- Sawik,T., 2011. Supplier selection in make-to-order environment with risks. Mathematical and Computer Modelling, Vol 53, pp. 1670-1679.

21- Shaw, K., Shankar, R., Yadav, S.S., Thakur, L.S., 2012. Supplier selection using fuzzy AHP and fuzzy multi-objective linear programming for developing low carbon supply chain. Expert Systems with Applications, Vol 39,pp. 8182-8192.

22- Jiménez, M., 2007. Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution. European Journal ofOperational Research, Vol 177, pp. 1599-1609.

23- Jiménez, M., 1996. Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, Vol 4, pp. 379-388.

24- Yager, R. R., 1981. A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. Information Sciences, Vol 24, pp. 143-161.

25- Hwang, C. L., Masud, A. S. M., 1979. Multiple objective decision making-methodsand applications. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol 164, Springer-Verlag, Berlin.

26- Pishvaee, M.S., Shakouri, H., 2009. A System Dynamics Approach for Capacity Planning and Price Adjustment in a Closed-Loop Supply Chain. IEEE, Computer Modeling and Simulation EMS` 09, pp. 435-439.