ارایه‌ی یک مدل مکان‌یابی دوهدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز

محمد طلایی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، پرند، ایران.
بابک فرهنگ مقدم، استادیار، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران، ایران.
میر سامان پیشوایی، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.
علی بزرگی امیری، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: alibozorgi@ut.ac.ir
دریافت: ۹۵/۰۷/۲۰- پذیرش: ۹۵/۱۱/۰۵
صفحه ۳۲-۲۰

چکیده

با جهانی شدن و رشد گسترده در مصرف در سرتاسر جهان، شبکه‌های زنجیره تأمین به شبکه‌های بسیار بزرگی تغییر کرده‌اند و اجزای مربوط به این شبکه‌های عظیم باعث ایجاد مشکلات جدی محیط‌زیستی شده‌اند. در طراحی شبکه‌های زنجیره تأمین سنتی، مدل‌های بهینه‌سازی اکثرا تک هدفه بوده و هدف به حداقل رساندن هزینه‌ها در شبکه می‌باشد. در این تحقیق، یک مدل دو هدفه عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته مورد بررسی قرار گرفته است به طوریکه هر دو جریان رو به جلو و بازگشتی برای اجتناب از زیر بهینگی در هم ادغام شده اند. همچنین تمامی جنبه‌هایی که امکان انتشار گاز دی اکسید کربن در کل شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی وجود دارد را در نظر می‌گیرد و یک تعادل منصفانه و معقول بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی برقرار می‌نماید. برای نشان دادن موازنه بین اهداف از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است. این تحقیق براساس یک مطالعه موردی و داده‌های به دست آمده از یک شبکه زنجیره تأمین متعلق به تولید، توزیع و نیز جمع‌آوری و بازیافت کالاهای مربوط به صنعت تولید دستگاه‌های کپی انجام شده است. این مقاله می‌تواند کمک کند تا مدیران از لجستیک سبز و بهبود عملکرد محیط زیستی در کل زنجیره تأمین به عنوان یک استراتژی مکمل، جهت کسب مزیت رقابتی پایدار سود ببرند.

واژه‌های کلیدی: مدیریت زنجیره تأمین، شبکه حلقه بسته، انتشار دی اکسید کربن، بهینه‌سازی چند هدفه

۱- مقدمه

توسعه روز افزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات موجب شده است که سازمان‌ها در جهت بقای خود، تلاش‌های چشمگیری را در راستای تامین، تولید و توزیع و همچنین جمع‌آوری و مدیریت چرخه عمر کالای تولیدی شرکت خود بکار گیرند تا توان پاسخ گویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه و با در نظر داشتن مسائل پیرامونی مختلفی چون اثرات محیط زیستی را داشته باشند. در سالیان اخیر و با تشدید فضای رقابتی این موضوع، بیش از پیش

به عنوان یک مساله بسیار مهم مورد توجه قرار گرفته است. در این میان مدیریت زنجیره تامین به عنوان یکی از شاخه‌های مهم تحقیقاتی، مورد توجه دانشگاهیان و نیز مدیران ارشد سازمان‌های تولیدی و بنگاه‌های تجاری مدنظر قرار گرفته است. به طور کلی دو نوع زنجیره تامین وجود دارد: زنجیره تامین مستقیم و زنجیره تامین معکوس. زنجیره تامین مستقیم شامل تمام فعالیت‌هایی است که بواسطه آن‌ها مواد اولیه به محصولات نهایی تبدیل می‌شوند و مدیران سعی دارند تا عملکرد زنجیره‌های تامین مستقیم را در زمینه‌هایی چون مدیریت تقاضا[۱]، تدارک[۲] و تهیه و تکمیل سفارش[۳] بهبود دهند (کوپر[۴] و همکاران، ۱۹۹۷؛ عبدالله[۵] و همکاران، ۲۰۱۲).

زنجیره تامین معکوس به فعالیت‌هایی چون جمع‌آوری و بازیافت محصولات برگشت داده شده اطلاق می‌شود. جنبه‌های اقتصادی، قوانین دولتی و فشارهای مصرف‌کننده‌ها سه بعد مهم لجستیک معکوس به شمار می‌آیند (ملو[۶] و همکاران، ۲۰۰۹). ترکیب یک زنجیره تامین مستقیم و یک زنجیره تامین معکوس منجر به شکل‌گیری یک زنجیره تامین حلقه بسته (*CLSC*)[۷] می‌شود (گاید[۸] و وان واسنهف[۹]، ۲۰۰۹). به عبارت دیگر در یک شبکه *CLSC* یک سیکلی از هر دو مسیر مستقیم و معکوس وجود دارد. از جمله مهم‌ترین تصمیمات در شبکه‌های زنجیره تأمین، تصمیمات مربوط به سطح استراتژیک می‌باشد. مکان‌یابی تسهیلات و سپس تخصیص جریان بین تسهیلات انتخاب شده، تعیین ظرفیت تولید، تعیین نوع وسایل حمل و نقل و نوع سیستم اطلاعاتی از مهمترین تصمیمات مطرح در این سطح می‌باشند.

در قرن اخیر، محیط‌گرایی[۱۰] به یکی از موضوعات مهم اقتصادی و اجتماعی تبدیل شده است. در واقع با افزایش آگاهی نسبت به حفاظت از محیط زیست و گرم شدن زمین در جهان، روند سبز برای حمایت از منابع زمین و محیط زیست، به یکی از مباحث بسیار مهم در دهه اخیر تبدیل شده است. زنجیره تأمین نیز به عنوان ستون فقرات فعالیت هر سازمانی از این امر مستثنا نمی‌باشد. امروزه فعالیت‌های صنعتی و نیز حمل و نقل مربوط به شبکه‌های زنجیره تأمین، یکی از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به خصوص گاز دی اکسید کربن (CO_2) هستند. باید در نظر داشت که تنها هدف تمرکز بر موضوع زنجیره تأمین سبز، مسائل محیط‌زیستی نیست. در واقع توجه به جنبه‌های سبز در شبکه‌های زنجیره تأمین و مدیریت شبکه با در نظر گرفتن عوامل محیط‌زیستی مثل کاهش اثرات انتشار گازهای گلخانه‌ای، برای توسعه رقابت شرکت‌ها است. امروزه شرکت‌ها اگر از مدیریت زنجیره تأمین سبز استفاده نمایند، علاوه بر حل مشکلات محیط‌زیستی به پیروزی نسبی در مزیت رقابتی نیز دست می‌یابند (ویلکرسون[۱۱]، ۲۰۰۵).

امروزه مقالات متعددی در مورد طراحی شبکه زنجیره تأمین با محوریت مسائل محیط‌زیستی به چاپ رسیده است. لو[۱۲] و همکاران (۲۰۰۱) از نخستین کسانی بودند که با استفاده از مدل‌سازی ریاضی، به جنبه‌های محیط‌زیستی برای بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین در کنار به حداقل رساندن انتشار گاز CO_2 و مصرف انرژی پرداختند. سپس دوتولی[۱۳] و همکاران (۲۰۰۶) دو مدل بهینه‌سازی تک هدفه و چند هدفه برای مساله ارائه شده در مقاله لو و همکاران (۲۰۰۱) معرفی کردند. نتایج آنها بیانگر این بود که مدل تک هدفه می‌تواند راه حل بهتری را در مقایسه با مدل چند هدفه با استفاده از روش بهینه‌سازی فازی، برای مساله لو و همکاران ارائه دهد. فروتا نیتو[۱۴] و همکاران (۲۰۰۸)، با ایجاد توازن بین هزینه و اثرات محیط‌زیستی، مدلی جدید از طراحی شبکه را ارائه نمودند. گاز CO_2 و No_x و زباله‌های جامد، از جمله اثرات محیط‌زیستی هستند که محققان در مدل ریاضی معرفی شده اقدام به کمینه‌سازی آن‌ها نموده‌اند.

رامودین[۱۵] و همکاران (۲۰۰۸)، یک مدل ریاضی عدد صحیح دو هدفه را در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز ارائه دادند. آن‌ها در این مقاله بر اثرات حمل و نقل در طراحی شبکه و ایجاد توازن بین کاهش هزینه‌ها و کاهش گازهای گلخانه‌ای حاصل از حمل و نقل شبکه متمرکز شده، پرداختند. سپس مدل معرفی شده را با استفاده از یک مثال واقعی ارزیابی نمودند. مکان‌یابی و تخصیص تأمین کنندگان و پیکربندی حمل و نقل از تصمیمات استراتژیک مدل پیشنهادی می‌باشد. همچنین له[۱۶] و لی[۱۷] (۲۰۱۱)، یک مدل ریاضی چند هدفه را در طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز برای یک مثال واقعی ارایه دادند. از جمله تصمیمات استراتژیک این مدل می‌توان به مکان‌یابی و چگونگی جریان مواد بین تسهیلات

و آنالیز وسایل نقلیه و تعیین مسیرهای حمل و نقل و سطح بهینه‌ی موجودی و کالاها در حمل و نقل اشاره کرد. کاهش هزینه‌های شبکه (هزینه حمل و نقل و هزینه مواد خام) و کاهش انتشار گاز CO_2 از اهداف مورد توجه در این مقاله می‌باشد. همچنین برای حل مدل پیشنهادی از روش وزن‌دهی استفاده شده است.

در تحقیقی دیگر بوزمبارک[18] و همکاران (۲۰۱۱)، یک مدل چند هدفه خطی عدد صحیح مختلط را با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی برای تأمین نیازهای مشتریان توسعه دادند. آن‌ها در هدف اول به حداقل رساندن هزینه‌های ثابت راه‌اندازی، میزان سرمایه‌گذاری در راستای حفاظت از محیط زیست، هزینه حمل و نقل، هزینه مصرف انرژی، هزینه‌های لجستیک، هزینه بازیافت و دفن ایمن را در نظر گرفتند و در هدف دوم انتشار گاز CO_2 کل شبکه را به حداقل رساندند. آن‌ها همچنین برخی از اهداف استراتژیک طراحی مانند مکان انبارها و مراکز توزیع و انتخاب بهترین فن‌آوری ساختمان سازی را مد نظر قرار دادند.

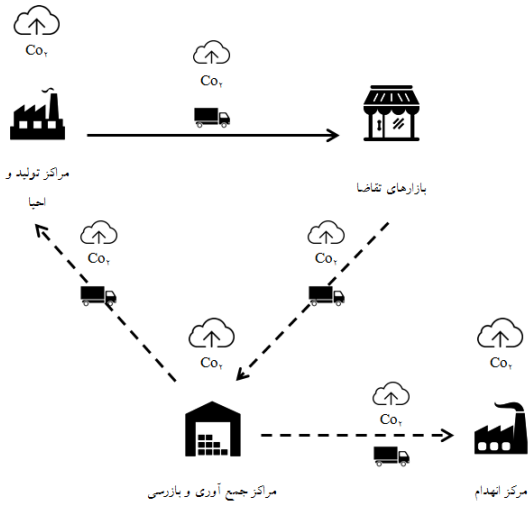
به منظور غلبه بر شکاف ادبیات، این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دو هدفه عدد صحیح مختلط برای مساله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پیشنهاد می‌کند که قادر است تا (۱) هر دو هدف اقتصادی و محیط زیستی را در طراحی شبکه زنجیره تأمین مورد ملاحظه قرار دهد، (۲) به منظور پرهیز از زیر-بهینگی ناشی از طراحی جدا از هم شبکه‌های زنجیره تأمین رو به جلو و بازگشتی، یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته مورد ملاحظه قرار دهد، (۳) در هدف محیط زیستی تمامی جنبه‌هایی که امکان انتشار گاز دی اکسید کربن در کل شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی وجود دارد را در نظر بگیرد. به‌عبارت دقیق‌تر، میزان کل گاز دی اکسید کربنی که بواسطه احداث هر یک از تسهیلات شبکه، حمل و نقل وسایل نقلیه در بین گره‌های مختلف شبکه و انجام فرآیندهای مختلف بر روی هر یک از محصولات در هر یک از تسهیلات شبکه در محیط انتشار می‌یابد، لحاظ شده است.

در بخش بعد، مساله تشریح شده و مدل‌سازی ریاضی آن در بخش سوم آورده شده است و در بخش چهار یک مدل جدید برای در نظر گرفتن یک هدف محیط زیستی توسعه داده شده است. روش حل پیشنهادی در بخش پنج تشریح شده است و در بخش آخر، جمع‌بندی و پیشنهادات آتی ارائه شده است.

۲- تشریح مسأله

در این بخش شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پیشنهادی توصیف می‌شود. شکل ۱ نمایه شماتیک مدل را که شبکه‌ای شامل مجموعه‌ای از مراکز تولید و احیا، مراکز جمع‌آوری و بازرسی، بازارهای تقاضا و مرکز انهدام است را نشان می‌دهد. مراکز تولید و احیا می‌توانند هم محصولات جدید را تولید کنند و هم محصولات بازگشت داده شده را بازسازی و احیا نمایند. محصولات توسط مراکز تولید و احیا به طور مستقیم به بازارهای تقاضا فرستاده می‌شوند همچنین محصولات بازگشت داده شده به مراکز جمع‌آوری و بازرسی فرستاده می‌شوند و مراکز جمع‌آوری وظایف زیر را بر عهده دارند:

- جمع‌آوری محصولات مصرف شده از بازارهای تقاضا
- تعیین شرایط محصولات بازگشت داده شده به وسیله بازدید و دسته‌بندی آن‌ها به منظور پی بردن به اینکه آیا آن‌ها قابل بازیافت هستند یا نه
- فرستادن محصولات بازگشت داده شده قابل بازیافت به مراکز تولید و احیا
- فرستادن محصولات بازگشت داده شده غیر قابل بازیافت به مرکز انهدام (به دلایل محیط زیستی و یا فنی).



شکل ۱. شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز پیشنهادی

این مدل دارای مشخصه‌ها و فرض‌های زیر می‌باشد:

۱) مدل طراحی شده، یک مدل تک دوره‌ای است.

۲) مدل چند محصولی است.

۳) در مدل معرفی شده، میزان تقاضای بازارها برای هر محصول و همچنین میزان بازگشت هر محصول از بازار تقاضا مشخص و قطعی است.

۴) ظرفیت تسهیلات در مدل مفروض محدود است.

۵) محصول تولید شده در جریان مستقیم، در یک سیستم کششی بر اساس تقاضای بازارها بین مشتریان توزیع می‌شود؛ در جریان معکوس نیز محصولات مصرف شده در یک سیستم فشاری جمع‌آوری و به مراکز مدیریت پایان عمر ارسال می‌شوند.

۶) میزان مشخصی از محصولات ارسال شده به هر بازار به عنوان مقدار محصولات برگشتی از همان بازار در نظر گرفته می‌شود.

۷) هزینه حمل و نقل کالاهای بازگشت داده شده از بازارها، از مراکز جمع‌آوری و بازرسی به مراکز تولید و احیا کمتر از میزان هزینه کاهش یافته از هزینه تولید همان کالاها می‌باشد.

۸) تمام تقاضای بازار در جریان مستقیم می‌بایست برآورد شود؛ در جریان معکوس هم می‌بایست تمام کالاهای برگشتی از بازارها جمع‌آوری شوند.

۳- مدل‌سازی ریاضی

این بخش به معرفی مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم که در مدل‌سازی مساله، مورد استفاده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد.

۳-۱- مجموعه‌ها

I: مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید و احیا $(i = ۱, \dots, I)$

J: مجموعه انواع محصولات قابل عرضه به بازارهای تقاضا $(j = ۱, \dots, J)$

K: مجموعه مکان‌های ثابت بازارهای تقاضا $(k = ۱, \dots, K)$

L: مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری و بازرسی $(l = ۱, \dots, L)$

۳-۲- پارامترها

A_j: هزینه تولید محصول j ام

B_j: هزینه حمل و نقل محصول j ام (در هر کیلومتر) ما بین مراکز تولید و بازارهای تقاضا

C_j: هزینه حمل و نقل محصول j ام (در هر کیلومتر) ما بین بازارهای تقاضا و مراکز جمع‌آوری و بازرسی

D_j: هزینه حمل و نقل محصول j ام (در هر کیلومتر) ما بین مراکز جمع‌آوری و بازرسی و مراکز تولید

O_j: هزینه حمل و نقل محصول j ام (در هر کیلومتر) ما بین مراکز جمع‌آوری و بازرسی و مرکز انهدام

E_i: هزینه ثابت احداث مرکز تولید i ام

F_l: هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری و بازرسی l ام

G_j: هزینه کاهش یافته از هزینه تولید محصول j ام (به علت استفاده از محصولات بازیافت شده)

H_j: هزینه انهدام محصول j ام

CP_{ij}: ظرفیت تولیدی مرکز تولید و احیا i ام برای محصول j ام

CR_{ij}: ظرفیت احیای مرکز تولید و احیا i ام برای محصول j ام

Q_{lj}: ظرفیت مرکز جمع‌آوری و بازرسی l ام برای محصول j ام

t_{ik}: فاصله بین مکان i ام و k ام (براساس روش اقلیدسی)

(t_{kl} و t_{li} نیز براساس همان روش تعریف می‌شوند.)

t_l: فاصله بین مرکز جمع‌آوری و بازرسی l ام و مرکز انهدام

d_{kj}: تقاضای بازار k ام برای محصول j ام

r_{kj}: میزان برگشتی بازار k ام برای محصول j ام

α_j: متوسط نرخ انهدام محصول j ام

β: یک عدد به اندازه کافی بزرگ ($\beta \geq \alpha_j \times \sum_k r_{kj} \quad ;\forall j$)

۳-۳- متغیرهای تصمیم

- متغیرهای تصمیم پیوسته

X_{ikj}: مقدار محصول j ام ارسالی از مرکز تولید i ام به بازار تقاضای k ام.

Y_{klj}: مقدار محصول j ام برگشت داده شده از بازار تقاضای k ام به مرکز جمع‌آوری و بازرسی l ام.

S_{lij}: مقدار محصول قابل احیای j ام برگشت داده شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی l ام به مرکز تولید i ام.

V_{lj}: مقدار محصول j ام برگشت داده شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی l ام به مرکز انهدام.

- متغیرهای تصمیم گسسته

$Z_i = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$ اگر یک مرکز تولید و احیا در مکان بالقوه i احداث و راه‌اندازی شود. در غیر اینصورت.

$W_l = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$ اگر یک مرکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان بالقوه l احداث و راه‌اندازی شود. در غیر اینصورت.

۳-۴- تابع هدف

هزینه کل طراحی شبکه زنجیره تأمین شامل هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات و هزینه‌های متغیر فرآیندی و حمل و نقل جریانات بین تسهیلات شبکه، می‌باشد. بنابراین تابع هدف می‌تواند بصورت زیر فرموله گردد.

$$Min\ Z_۱ = \sum_i E_i Z_i + \sum_l F_l W_l + \sum_i \sum_k \sum_j \left(A_j + B_j t_{ik}\right) X_{ikj} + \sum_k \sum_l \sum_j \left(C_j t_{kl} Y_{klj}\right) + \sum_l \sum_i \sum_j \left(D_j t_{li} - G_j\right) S_{lij} + \sum_l \sum_j \left(H_j + O_j t_l\right) V_{lj} \quad (۱)$$

در معادله (۱) عبارت اول به مجموع هزینه‌های ثابت احداث مرکز تولید و احیا در مکان بالقوه i و عبارت دوم به مجموع هزینه‌های ثابت احداث مرکز جمع‌آوری و بازرسی در مکان بالقوه l و عبارت سوم به مجموع هزینه‌های تولید و حمل و نقل محصول j از مرکز تولید i به بازار تقاضای k و عبارت چهارم به مجموع هزینه‌های حمل و نقل محصول j از بازار تقاضای k به مرکز جمع‌آوری و بازرسی l و عبارت پنجم به مجموع هزینه‌های بازیافت و حمل و نقل محصول j از مرکز جمع‌آوری و بازرسی l به مرکز تولید و احیا i و در نهایت عبارت ششم به مجموع هزینه‌های انهدام و حمل و نقل محصول j از مرکز جمع‌آوری و بازرسی l به مرکز انهدام اشاره دارند.

۳-۵- محدودیت‌ها

در ادامه محدودیت‌های مدل ریاضی شبکه مفروض به طور کامل تشریح می‌شود:

$$\sum_i X_{ikj} \geq d_{kj} \qquad \forall k, j, \qquad (۲)$$

$$\sum_l Y_{klj} = r_{kj} \qquad \forall k, j, \qquad (۳)$$

$$V_{lj} = \alpha_j \sum_k Y_{klj} \qquad \forall l, j, \qquad (۴)$$

$$\sum_i S_{lij} = (1-\alpha_j)\sum_k Y_{klj} \qquad \forall l,j, \qquad (5)$$

$$\sum_k X_{ikj} \le Z_i \sum_j CP_{ij} \qquad \forall i,j, \qquad (6)$$

$$\sum_l S_{lij} \le Z_i \sum_j CR_{ij} \qquad \forall i,j, \qquad (7)$$

$$\sum_k Y_{klj} \le W_l \sum_j Q_{lj} \qquad \forall l,j, \qquad (8)$$

$$\sum_l S_{lij} \le \beta \sum_k X_{ikj} \qquad \forall i,j, \qquad (9)$$

$$\sum_l Y_{klj} \le \sum_i X_{ikj} \qquad \forall k,j, \qquad (10)$$

$$Z_i, W_l \in \{0,1\} \qquad \forall i,l, \qquad (11)$$

$$X_{ikj}, Y_{klj}, S_{lij}, V_{lj} \ge 0 \qquad \forall i,k,l,j, \qquad (12)$$

محدودیت (۲) محدودیتی است که بیان می‌دارد تقاضای بازارها بایستی به طور کامل ارضا شوند. محدودیت (۳) محدودیتی است که بیان می‌کند محصولات بازگشت داده شده از بازارهای تقاضا باید به طور کامل جمع‌آوری گردند.

محدودیت‌های (۴) و (۵) در ارتباط با تعادل جریان محصولات در بین تسهیلات شبکه مورد نظر هستند. محدودیت‌های (۶) و (۷) بیان می‌کنند که ظرفیت مراکز تولید و احیا به ترتیب برای تولید و احیا محدودند. محدودیت (۸) نشان دهنده ظرفیت مراکز جمع-آوری و بازرسی است. محدودیت (۹) نشان دهنده این است که حتی اگر محصولات خروجی مراکز تولید و احیا کم باشد، محدودیتی برای ورود محصولات ارسالی از مراکز جمع‌آوری و بازرسی اعمال نکند. محدودیت (۱۰) محدودیتی است که نشان می‌دهد جریان رو به جلوی محصولات بیشتر از جریان بازگشتی آنها است و در نهایت دو محدودیت آخر متغیرهای صفر و یک و غیر منفی را معرفی می‌کنند.

۴- توسعه مدل

یکی از حیاتی‌ترین چالش‌ها در سازمان‌ها، کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر شبکه است. با این حال، در مسائل زنجیره تأمین سبز با توجه به پیچیدگی که این مسائل دارند، ارایه یک مدل که قابلیت حل داشته باشد، بسیار حایز اهمیت است. در این تحقیق برای اینکه مدل ریاضی مسأله مورد نظر ساده و قابل فهم باشد فقط میزان انتشار گاز دی اکسید کربن در شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین فرض بر این است که هر یک از تسهیلات، بسته به میزان تقاضایی که تأمین می‌کنند، میزان مشخصی آلایندگی دارند و در مورد وسایل حمل و نقل، میزان آلایندگی به میزان فاصله توسط وسیله نقلیه وابسته است. در ادامه، پارامترهایی که در مدل‌سازی شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی برای در نظر گرفتن جنبه محیط‌زیستی مدل استفاده شده‌اند، معرفی می‌گردند.

Z_2: میزان کل گاز CO_2 منتشر شده در محیط

γ: میزان گاز CO_2 منتشر شده در هر کیلومتر توسط وسیله نقلیه مورد نظر (کامیون).

θ_1: میزان گاز CO_2 منتشر شده برای ساخت و احداث هر یک از مراکز تولید و احیا.

θ_2: میزان گاز CO_2 منتشر شده در اثر فرآیندهای انجام شده در هر یک از مراکز تولید و احیا برای هر یک از محصولات خروجی

ϑ_1: میزان گاز CO_2 منتشر شده برای ساخت و احداث هر یک از مراکز جمع‌آوری و بازرسی.

ϑ_2: میزان گاز CO_2 منتشر شده در اثر فرآیندهای انجام شده در هر یک از مراکز جمع‌آوری و بازرسی برای هر یک از محصولات خروجی.

δ: میزان گاز CO_2 منتشر شده در اثر فرآیندهای انجام شده در مرکز انهدام برای امحای هر یک از محصولات ورودی.

تابع هدف دوم می‌تواند بفرم معادله (۱۳) فرموله شود:

$$\begin{aligned} Min\ Z_2 = {} & \gamma\Big(\sum_i\sum_k\sum_j (t_{ik}\left(X_{ikj}/100\right)) + \\ & \sum_k\sum_l\sum_j (t_{kl}\left(Y_{klj}/100\right)) + \\ & \sum_l\sum_i\sum_j (t_{li}\left(S_{lij}/100\right)) + \end{aligned} \qquad (13)$$

$$\sum_{l}\sum_{j}(t_l\left(V_{lj}/۱۰۰\right))) + \theta_۱\sum_{i}Z_i + \theta_۲\sum_{i}\sum_{k}\sum_{j}X_{ikj} + \vartheta_۱\sum_{l}W_l + \vartheta_۲(\sum_{l}\sum_{i}\sum_{j}S_{lij} + \sum_{l}\sum_{j}V_{lj}) + \delta\sum_{l}\sum_{j}V_{lj}$$

معادله (۱۳) از سه بخش اصلی تشکیل شده است. در بخش اول میزان کل گاز دی اکسید کربنی که به واسطه حمل و نقل وسایل نقلیه در بین گره‌های مختلف شبکه در محیط منتشر می‌شود، محاسبه می‌گردد. در بخش دوم میزان کل گاز دی اکسید کربنی که در نتیجه احداث هر یک از تسهیلات شبکه، در محیط انتشار می‌یابد در نظر گرفته شده است و در بخش سوم آن میزان گاز دی اکسید کربنی که بواسطه انجام فرآیندهای مختلف بر روی هر یک از محصولات در هر یک از تسهیلات شبکه در محیط انتشار می‌یابد، لحاظ شده است.

۵- روش حل پیشنهادی

مساله بهینه‌سازی چندهدفه زیر شاخه‌ای از مجموعه روشهای تصمیم‌گیری چند معیاره است که در میان مجموعه‌ای از جواب‌های محتمل صورت می‌گیرد. هدف از بهینه‌سازی چندهدفه یافتن مجموعه جواب‌های پارتو[۱۹] (نامغلوب) مساله مورد نظر است. بسیاری از مسائل و تصمیم گیری‌های دنیای واقعی شامل بهینه سازی همزمان چندین هدف است که در برخی موارد ممکن است با یکدیگر در تضاد نیز باشند. در مسائل تک هدفه به دنبال یافتن "بهترین" جواب یا تصمیم هستیم، در حالیکه در مسائل چندهدفه ممکن است جوابی که از لحاظ تمامی اهداف بهینه باشد اصلاً وجود نداشته باشد. در اینگونه مسائل برخلاف مدل‌های تک هدفه و به خاطر وجود چند هدف متعارض به جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود. برای حل مسائل بهینه سازی چندهدفه روشهای مختلفی بکار گرفته شده است که ما در اینجا برای حل مساله چندهدفه پیشنهادی خود، از روش محدودیت اپسیلون استفاده کرده‌ایم. از نقاط قوت این روش می‌توان به مواردی که در زیر آمده است اشاره کرد:

۱) با تغییر اپسیلون می‌توان جواب‌های بهینه مختلفی به دست آورد.
۲) تفاوت در مقیاس توابع هدف مشکلی ایجاد نمی‌کند.
۳) برای حل مسائل غیر محدب[۲۰] مناسب است.

۵-۱- روش محدودیت اپسیلون

در این روش مساله بهینه سازی چندهدفه با محدودیت‌های اضافه شده به مساله بهینه‌سازی تک هدفه تبدیل می‌شود. تابع هدف با اولویت بالاتر (هزینه کل) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و بقیه توابع (میزان انتشار دی اکسید کربن) به عنوان محدودیت با بکارگیری یک محدودیت ε محور نوشته می‌شوند (کولت[۲۱] و سیاری[۲۲]، ۲۰۰۳). مسأله تغییر شکل یافته در معادله زیر نوشته شده است:

$$\begin{aligned} &Min\ Z = Z_۱ \\ &s.t. \\ &Z_۲ \le \varepsilon \\ &Eqs.(۲) - (۱۲) \end{aligned} \qquad (۱۴)$$

۵-۲- تشریح مطالعه موردی

تولیدکنندگان مشهور (مانند Canon) دستگاه‌های فتوکپی مصرف شده توسط مشتریان شرکت خود را جمع‌آوری کرده و بازیافت می‌کنند. در طی بازدید اولیه در مراکز جمع‌آوری، استانداردهای کیفی دستگاه‌های بازگشتی برای اینکه مطمئن شوند محصولات بازگشت داده شده استانداردهای کیفی لازم را دارند، کنترل می‌شوند. بازیافت اغلب در کارخانه‌های اصلی تولید با بکارگیری تجهیزات یکسان برای تولید محصولات جدید انجام می شود. دستگاه‌هایی که نمی‌توانند دوباره مورد استفاده قرار گیرند معمولا به عنوان یک منبع برای لوازم یدکی قابل استفاده مجدد را فراهم می‌نمایند. بقیه نیز معمولا به مرکز انهدام فرستاده می‌شوند. هدف این بخش نشان دادن کاربرد ریاضی مدل با نمونه‌های عددی است. برای این منظور یک مطالعه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. داده‌های مورد نیاز از مقاله فلیسچمن[۲۳] و

همکاران (۲۰۰۱) اتخاذ شده است. جداول ۱ و ۲ به ترتیب اندازه و مقادیر پارامترهای مساله مورد مطالعه را با جزئیات نشان می‌دهند.

جدول ۱. اندازه مساله مورد مطالعه

تعداد مراکز بالقوه تولید و احیا	تعداد بازارهای تقاضا	تعداد مراکز بالقوه جمع آوری و بازرسی	تعداد مراکز انهدام	تعداد تنوع محصولات
۴	۵	۴	۱	۳

از آنجایی که تخمین پارامترها در دنیای واقعی سخت است، بنابراین فرض شده است که پارامترها (به غیر از میزان تقاضا و برگشتی) از توزیع یکنواخت پیروی می‌کنند.

جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مطالعه موردی برای تابع هدف اول

پارامتر	مقدار	دامنه تغییر
A_j	۱۵	$\sim U$ (۱۳/۵ , ۱۶/۵)
B_j	۰/۰۱۴۵۵	$\sim U$ (۰/۰۱۳۱ ,۰/۰۰۱۶۰)
C_j	۰/۰۰۵	$\sim U$ (۰/۰۰۴۵ , ۰/۰۰۵۵)
D_j	۰/۰۰۳	$\sim U$ (۰/۰۰۲۷ , ۰/۰۰۳۳)
O_j	۰/۰۰۱۵۵	$\sim U$ (۰/۰۰۱۴ , ۰/۰۰۱۷)
E_i	۵۰۰۰۰۰۰	$\sim U$ (۴۵۰۰۰۰۰ , ۵۵۰۰۰۰۰)
F_i	۵۰۰۰۰۰	$\sim U$ (۴۵۰۰۰۰ , ۵۵۰۰۰۰)
G_j	۷	$\sim U$ (۶/۳ , ۷/۷)
H_j	۲/۵	$\sim U$ (۲/۲۵ , ۲/۷۵)
CP_{ij}	۶۴۰۰۰	$\sim U$ (۵۷۶۰۰ , ۷۰۴۰۰)
CR_{ij}	۲۰۰۰۰	$\sim U$ (۱۸۰۰۰ , ۲۲۰۰۰)
Q_{ij}	۳۴۰۰۰	$\sim U$ (۳۰۶۰۰ , ۳۷۴۰۰)
d_{kj}	۲۹۰۰۰	۲۹۰۰۰
r_{kj}	۸۰۰۰	۸۰۰۰
α_j	۰/۴	$\sim U$ (۰/۳۳ , ۰/۴۷)

مکان‌های بالقوه برای مراکز تولید و احیا، بازارهای تقاضا، مراکز جمع‌آوری و بازرسی و مرکز انهدام از توزیع یکنواخت بین صفر و ۱۰۰ روی محورهای x و y (برحسب واحد مسافت) حاصل شده‌اند و فواصل بین گره‌های شبکه به روش اقلیدسی به دست آمده‌اند.

در جدول ۳ مقادیر پارامترهای مورد نیاز در مساله مورد مطالعه برای تابع هدف دوم به صورت تصادفی و با استفاده از توزیع یکنواخت به دست آمده‌اند. حتی‌المقدور سعی شده است براساس مطالعات کتابخانه‌ای مقادیری نزدیک به حالت واقعی گردآوری شوند.

جدول۳. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مطالعه موردی برای تابع هدف دوم

پارامتر	مقدار	دامنه تغییر
γ	۵۵۰	$\sim U$ (۵۴۵ , ۵۵۵)
θ_1	۲۳۵۰۰۰۰	$\sim U$ (۲۳۰۰۰۰۰ , ۲۴۰۰۰۰۰)
θ_2	۳۴۰	$\sim U$ (۳۳۰ , ۳۵۰)
ϑ_1	۸۳۵۰۰۰	$\sim U$ (۸۲۰۰۰۰ , ۸۵۰۰۰۰)
ϑ_2	۹۷/۵	$\sim U$ (۸۵ , ۱۱۰)
δ	۳۷۵	$\sim U$ (۳۵۰ , ۴۰۰)

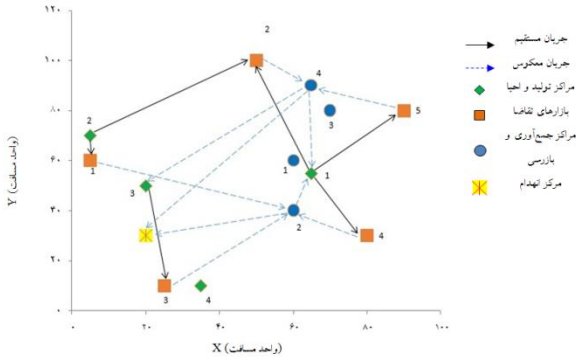
۵-۳- نتایج محاسباتی

در این تحقیق، مساله به وسیله نرم افزار *GAMS 24.1.2* که نرم افزار بهینه‌سازی مناسبی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط است، حل شده است. کلیه کارهای محاسباتی بر روی یک کامپیوتر شخصی (دارای سیستم عامل ۳۲ بیتی، ریزپردازنده ۱/۶۷ گیگاهرتزی و حافظه داخلی ۲ گیگا بایتی) انجام شده‌اند.

۵-۳-۱- حالت بهینه تابع هدف اول (هزینه کل)

مقدار تابع هدف اول (هزینه کل) در مطالعه موردی ۲۱۸۸۹۴۳۴ می‌باشد که در مدت زمان ۱۱ صدم ثانیه حل شده است. آماره‌های مدل شامل ۱۱۱۰ عنصر غیر صفر، ۱۱۹ معادله ساده، ۱۹۰ متغیر ساده، ۸ متغیر گسسته می‌باشند. شکل ۲، شبکه بهینه برای مطالعه موردی را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل

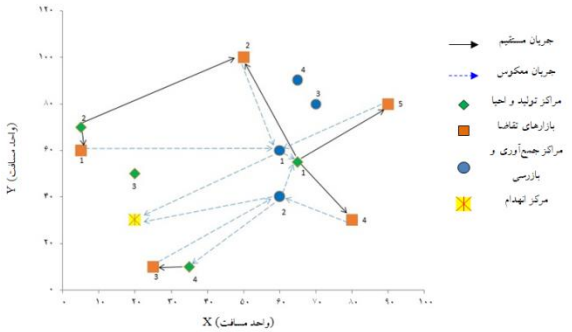
نیز می‌بینید در مطالعه موردی مورد نظر، مراکز تولید و احیای ۱، ۲ و ۳ و مراکز جمع‌آوری و بازرسی ۲ و ۴ احداث شده‌اند.



شکل ۲. شبکه زنجیره تامین حلقه بسته بهینه برای تابع هدف اول (مطالعه موردی)

۵-۳-۲- حالت بهینه تابع هدف دوم (میزان انتشار دی اکسید کربن)

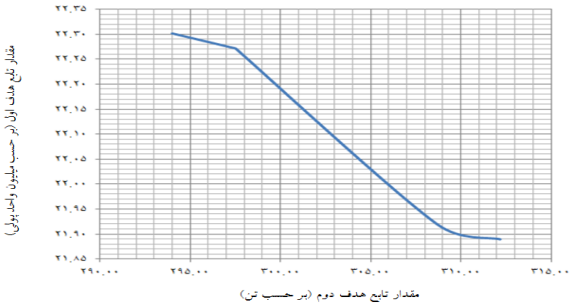
مقدار تابع هدف دوم (میزان انتشار CO_2) در مطالعه موردی ۲۹۳۹۹۳۶۵۲ می‌باشد که در مدت زمان ۳ صدم ثانیه حل شده است. آماره‌های مدل شامل ۱۱۱۱۰ عنصر غیر صفر، ۱۱۹ معادله ساده، ۱۹۰ متغیر ساده، ۸ متغیر گسسته می‌باشند. شکل ۳، شبکه بهینه برای مطالعه موردی را نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل نیز می‌بینید در مطالعه موردی مورد نظر، مراکز تولید و احیای ۱، ۲ و۴ و مراکز جمع‌آوری و بازرسی ۱ و ۲ احداث شده‌اند.



شکل ۳. شبکه زنجیره تامین حلقه بسته بهینه برای تابع هدف دوم (مطالعه موردی)

۵-۳-۳- سطح موازنه[۲۴]

هدف مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه پیدا کردن مجموعه جواب‌های پارتو (نامغلوب) مساله مورد نظر است. در واقع در این گونه مسائل برخلاف مدل‌های بهینه‌سازی تک هدفه و به خاطر وجود چند هدف متعارض به جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود. ویژگی که این مجموعه جواب‌ها دارند این است که این امکان وجود ندارد که مقدار یک تابع هدف بدون ضایع کردن[۲۵] مقدار تابع هدف دیگر بهبود یابد. تعداد کمی از جواب‌های موثر و کارآمد سطح موازنه را تولید می‌کنند (وادهوا[۲۶] و رادویندران[۲۷]، ۲۰۰۷؛ کولت و سیاری، ۲۰۰۳). در این بخش، برای حل مدل دو هدفه عدد صحیح مختلط از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است و سطح موازنه در شکل ۴ نشان داده شده است. به این ترتیب که، با تغییر مقدار اپسیلون مقادیر مختلفی برای توابع هدف بدست آمده است.



شکل ۴. سطح موازنه برای مطالعه موردی

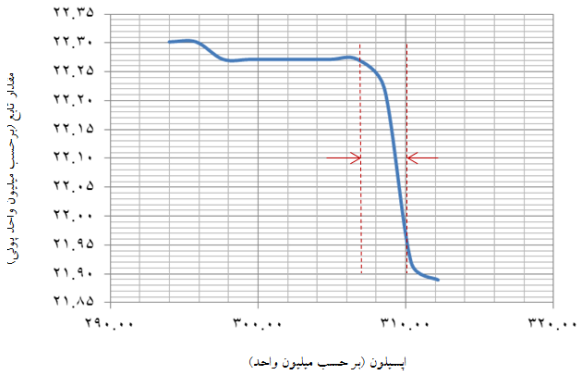
با این حال، این روش به انتخاب پارامتر اپسیلون خیلی حساس است. همانطور که در شکل ۵ نیز نشان داده شده است به ازای تغییر اپسیلون در بازه ۳۰۸۵۳۹۳۶۵ تا ۳۱۰۳۵۷۵۷۹ تغییر قابل توجهی در مقدار تابع هدف ایجاد می‌گردد و این یکی از نقاط ضعف این روش محسوب می‌شود و تصمیم گیرنده را در شرایط ریسک قرار می‌دهد.

مقادیر توابع هدف براساس این روش در جدول ۴ آمده است. همچنین مکان‌های تسهیلات احداث و راه‌اندازی شده (مراکز تولید و احیا و مراکز جمع‌آوری و بازرسی) نیز در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

جدول ۴. نتایج روش محدودیت اپسیلون

مراکز جمع‌آوری و بازرسی احداث شده	مراکز تولید و احیای احداث شده	مقدار تابع هدف دوم (گرم) (×۱۰^۷)	مقدار تابع هدف اول (واحد پول) (×۱۰^۶)	مقدار اپسیلون (×۱۰^۷)
۱،۲	۱،۲،۴	۲۹/۳۹	۲۲/۳۰	۲۹/۳۹
۱،۲	۱،۲،۴	۲۹/۳۹	۲۲/۳۰	۲۹/۵۸
۲،۴	۱،۲،۴	۲۹/۷۵	۲۲/۲۷	۲۹/۷۶
۲،۴	۱،۲،۴	۲۹/۷۵	۲۲/۲۷	۲۹/۹۴
۲،۴	۱،۲،۴	۲۹/۷۵	۲۲/۲۷	۳۰/۱۲
۲،۴	۱،۲،۴	۲۹/۷۵	۲۲/۲۷	۳۰/۳۰
۲،۴	۱،۲،۴	۲۹/۷۵	۲۲/۲۷	۳۰/۴۹
۲،۴	۱،۲،۴	۲۹/۷۵	۲۲/۲۷	۳۰/۶۷
۱،۲	۱،۲،۳	۳۰/۸۵	۲۲/۲۷	۳۰/۸۵
۱،۲	۱،۲،۳	۳۰/۸۶	۲۱/۹۱	۳۱/۰۳
۲،۴	۱،۲،۳	۳۱/۲۱	۲۱/۸۸	۳۱/۲۱

همانگونه که جدول ۴ نیز موید آن است برخی نتایج متفاوت از حالت‌های بهینه هر کدام از توابع هدف که در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده‌اند، می‌باشند. برای مثال، حالتی که به ازای آن، اپسیلون مقدار ۳۱۰۳۵۷۵۷۹ را اختیار می‌کند مراکز تولید و احیای ۱، ۲ و ۳ و مراکز جمع‌آوری و بازرسی ۱ و ۲ را به عنوان مکان تسهیلات مدل بهینه انتخاب کرده که متفاوت از حالت بهینه تک تک توابع هدف می‌باشد.



شکل ۵. تحلیل حساسیت اپسیلون

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل دو هدفه عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته مورد بررسی قرار گرفته است. مدل شامل مجموعه‌ای از مراکز تولید و احیا، مراکز جمع‌آوری و بازرسی، مرکز انهدام، بازارهای تقاضا و چندین نوع محصول می‌باشد. علی رغم کارهای پژوهشی گذشته، این مدل برای طراحی شبکه زنجیره تأمین هر دو جریان رو به جلو و بازگشتی را در هم ادغام کرده و همچنین تمام جنبه‌های امکان انتشار گاز دی اکسید کربن را در کل شبکه زنجیره تأمین در نظرگرفته است. روش محدودیت اپسیلون برای حل مدل برنامه-ریزی چند هدفه به کار گرفته شده است. این روش قادر است یک موازنه متعادل بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی ایجاد کند. نتایج نشان می‌دهند که افزایش تعداد تسهیلات و یا تغییر چیدمان تسهیلات نسبت به حالت بهینه (از دید اقتصادی) می‌تواند به بالا بردن سود شبکه کمک نماید. این امکان بواسطه کاهش میزان انتشار کل گاز دی اکسید کربنی که بواسطه احداث هر یک از تسهیلات شبکه، حمل و نقل وسایل نقلیه در بین گره‌های مختلف شبکه و انجام فرآیندهای مختلف بر روی هر یک از محصولات در هر یک از تسهیلات شبکه در محیط، محقق می‌شود و یک تعادل و موازنه بشر دوستانه بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی ایجاد می‌نماید. موثر بودن مدل بهینه‌سازی توسعه داده شده و همچنین مفید بودن روش حل محدودیت اپسیلون به وسیله یک مطالعه موردی مرتبط با صنعت تولید دستگاه‌های کپی بررسی شده است.

در نظر گرفتن اثرات عدم قطعیت پارامترها بر روی مدل به وسیله روش‌هایی چون بهینه‌سازی فازی یا استوار می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جذابی برای تحقیقات آتی باشد. همچنین، برای سوق شبکه مطرح شده به سمت پایداری، نیاز است تا جنبه اجتماعی در کنار ابعاد محیط زیستی و اقتصادی در نظر گرفته شود. بنابراین، در آمیختن ملاحظات اجتماعی مثل میزان بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا در مساله طراحی شبکه می‌تواند کار پژوهشی آتی با ارزشی باشد.

۷- پی‌نوشت‌ها

1. Demand Management
2. Procurement
3. Order Fulfillment
4. Cooper
5. Abdallah
6. Melo
7. Closed-loop Supply Chain
8. Guide
9. Van Wassenhove
10. Environmentalism
11. Wilkerson
12. Luo
13. Dotoli
14. Frota Neto
15. Ramudhin
16. Le
17. Lee
18. Bouzembrak
19. Pareto solutions
20. Non-convex
21. Collette
22. Siarry
23. Fleischmann
24. Trade-off surface
25. Sacrificing
26. Wadhwa
27. Ravindran

۸- مراجع

- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A., & Kennedy, S., (2012), "Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment". Applied Mathematical Modeling, 36(9), pp. 4271-4285.

- Amin, S. H., & Zhang, G., (2013), "A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return". Applied Mathematical Modeling, 37(6), pp. 4165-4176.

- Bouzembrak, Y., Allaoui, H., Goncalves, G., & Bouchriha, H., (2011, May), "A multi-objective green supply chain network design". In Logistics (LOGISTIQUA), 2011 4th International Conference on pp. 357-361. IEEE.

- Collette, Y., & Siarry, P., (2003), "Multiobjective optimization: principles and case studies". Springer Science & Business Media.

- Cooper, M. C., Lambert, D. M., & Pagh, J. D., (1997), "Supply chain management: more than a new name for logistics". International Journal of Logistics Management, 8(1), pp. 1-14.

- Dotoli, M., Fanti, M. P., Meloni, C., & Zhou, M., (2006), "Design and optimization of integrated e-supply chain for agile and environmentally conscious manufacturing". Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 36(1), pp. 62-75.

- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J. M., & Wassenhove, L. N., (2001), "The impact of product recovery on logistics network design". Production and operations management, 10(2), pp. 156-173.

- Frota Neto, J. Q., Bloemhof-Ruwaard, J. M., Van Nunen, J. A. E. E., & Van Heck, E., (2008), "Designing and evaluating

supply chain management–A review". European Journal of Operational Research, 196(2), pp. 401-412.

- Ramudhin, A., Chaabane, A., Kharoune, M., & Paquet, M., (2008, December), "Carbon market sensitive green supply chain network design". In Industrial Engineering and Engineering Management, 2008. IEEM 2008. IEEE International Conference on pp. 1093-1097. IEEE.

- Wadhwa, V., & Ravindran, A. R. (2007). Vendor selection in outsourcing. Computers & operations research, 34(12), pp.3725-3737.

- Wilkerson, T., (2005), "Can one green deliver another" Harvard Business School Publishing Corporation. Retrieved January, 10, 2012.

sustainable logistics networks". International Journal of Production Economics, 111(2), pp. 195-208.

- Guide Jr, V. D. R., & Van Wassenhove, L. N., (2009), "OR FORUM-the evolution of closed-loop supply chain research". Operations Research, 57(1), pp. 10-18.

- Le, T. P. N., & Lee, T. R., (2013), "Model selection with considering the CO2 emission alone the global supply chain". Journal of Intelligent Manufacturing, 24(4), pp. 653-672.

- Luo, Y., Zhou, M., & Caudill, R. J., (2001), "An integrated e-supply chain model for agile and environmentally conscious manufacturing". Mechatronics, IEEE/ASME Transactions on, 6(4), pp. 377-386.

- Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F., (2009), "Facility location and

Transportation Research, Volume 13, Issue 4 - Serial Number 49, January 2017, Pages 20-32

A Bi-Objective Facility Location Model for A Green Closed-Loop Supply Chain Network Design

M. Talaei, M.Sc. Grad., Department of Industrial Engineering, Parand branch, Islamic Azad University, Parand, Iran.
B. Farhang Moghaddam, Assistant Professor, Institute for Management and Planning Studies (IMPS), Tehran, Iran.
M. S. Pishvaee, Assistant Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
A. Bozorgi-Amiri, Assistant Professor, School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: alibozorgi@ut.ac.ir

Received: October 2016-Accepted: January. 2017

ABSTRACT
With globalization and the massive growth in consumption worldwide, supply chain networks have changed to very large networks and the components of these large networks caused serious environmental problems. In traditional supply chain network design, optimization models are mostly single-objective and the aim is to minimize the cost of the network. In this paper, a new two-objective mixed integer linear model for closed-loop supply chain network design has been proposed that consider both forward and reverse flow to avoid sub- optimality. The proposed model takes all aspects of possible carbon dioxide emissions in the proposed supply chain network and considers a fair and reasonable balance between economic and environmental objectives are established. To illustrate the trade-off between the goals, epsilon constraint method has been used. To demonstrate the effectiveness and applicability of the proposed model, this study utilizes data owned from a case study of a copying industry closed loop supply chain. This paper can help managers improve the environmental performance of green logistics in the supply chain as a supplement strategy for the benefit of sustainable competitive advantage.

Keywords: Supply Chain Management, Closed-Loop Network, Carbon Dioxide Emissions, Multi-Objective Optimization