Archive of SID



# ارائهٔ یک مدل مکان‌یابی دوهدفه برای طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ سبز

محمد طلایی، دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، پرند، ایران
بابک فرهنگ مقدم، استادیار، مؤسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه ریزی، تهران، ایران
میر سامان پیشوایی، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران
علی بزرگی امیری*، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: alibozorgi@ut.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۸/۳۰- پذیرش: ۱۳۹٤/۰۱/۲۰

**چکیده**

***با جهانی شدن و رشد گستردهٔ مصرف در سرتاسر جهان، شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین به شبکه‌های بسیار بزرگی تغییر کرده‌اند و اجزای مربوط به این شبکه‌های عظیم سبب ایجاد مشکلات جدی محیط‌زیستی شده‌اند. در طراحی شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین سنتی، مدل‌های بهینه‌سازی اغلب تک‌هدفه‌اند و هدف، به حداقل رساندن هزینه‌ها در شبکه است. در این تحقیق، یک مدل دوهدفهٔ عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته بررسی شده است، به‌طوری که هر دو جریان رو به جلو و بازگشتی برای اجتناب از زیربهینگی در هم ادغام شده‌اند. همچنین تمامی جنبه‌هایی که امکان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در کل شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پیشنهادی وجود دارد در نظر گرفته می‌شود و تعادلی منصفانه و معقول بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی برقرار می‌کند. برای نشان دادن موازنه بین اهداف از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است. این تحقیق براساس یک مطالعهٔ موردی و داده‌های به‌دست‌آمده از یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین متعلق به تولید، توزیع و نیز جمع‌آوری و بازیافت کالاهای مربوط به صنعت تولید دستگاه‌های کپی انجام گرفته است. این مقاله کمک می‌کند که مدیران از لجستیک سبز و بهبود عملکرد محیط زیستی در کل زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان یک استراتژی مکمل، به‌منظور کسب مزیت رقابتی پایدار سود ببرند.***

**واژه‌های کلیدی:** مدیریت زنجیرهٔ تأمین، شبکهٔ حلقهٔ بسته، انتشار دی اکسید کربن، بهینه‌سازی چندهدفه

## ۱- مقدمه

توسعهٔ روزافزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات موجب شده است سازمان‌ها در جهت بقای خود، و به‌منظور تأمین، تولید و توزیع و همچنین جمع‌آوری و مدیریت چرخهٔ عمر کالای تولیدی شرکت خود تلاش کنند تا توان پاسخگویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه و با درنظر داشتن مسائل پیرامونی مختلفی چون تأثیرات محیط زیستی داشته باشند. در سالیان اخیر و با تشدید فضای رقابتی، این موضوع، بیش از پیش به‌عنوان یک مسئلهٔ بسیار مهم مورد توجه قرار گرفته است. در این میان مدیریت زنجیرهٔ تأمین $(SCM)$[1] به‌عنوان یکی از شاخه‌های مهم تحقیقاتی، مورد توجه دانشگاهیان و نیز مدیران ارشد سازمان‌های تولیدی و بنگاه‌های تجاری قرار گرفته است. به‌طور کلی دو نوع زنجیرهٔ تأمین وجود دارد: زنجیرهٔ تأمین مستقیم و زنجیرهٔ تأمین معکوس. زنجیرهٔ تأمین مستقیم شامل تمام فعالیت‌هایی است که به‌واسطهٔ آنها مواد اولیه به محصولات نهایی تبدیل می‌شوند. مدیران سعی دارند عملکرد زنجیره‌های تأمین مستقیم را در زمینه‌هایی چون مدیریت تقاضا[2]، تدارک[3] و تهیه و تکمیل سفارش[4] بهبود دهند

* - نویسنده مسئول

www.SID.ir

Archive of SID



(Abdallah *et al*., 2012 ؛ Cooper et al., 1997). زنجیرهٔ تأمین معکوس به فعالیت‌هایی چون جمع‌آوری و بازیافت محصولات برگشت‌داده‌شده اطلاق می‌شود. جنبه‌های اقتصادی، قوانین دولتی و فشارهای مصرف‌کنندگان سه بُعد مهم لجستیک معکوس به‌شمار می‌آیند (Melo et al., 2009). ترکیب یک زنجیرهٔ تأمین مستقیم[۵] (*FSC*) و یک زنجیرهٔ تأمین معکوس[۶] (*RSC*) به شکل‌گیری یک زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته[۷] (*CLSC*) منجر می‌شود (Guide and Van Wassenhove, 2009). به‌عبارت دیگر در یک شبکهٔ *CLSC* یک‌سیکلی از هر دو مسیر مستقیم و معکوس وجود دارد. از جمله مهم‌ترین تصمیمات در شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین، تصمیمات مربوط به سطح استراتژیک است. مکان‌یابی تسهیلات و سپس تخصیص جریان بین تسهیلات انتخاب‌شده، تعیین ظرفیت تولید، تعیین نوع وسایل حمل‌ونقل و نوع سیستم اطلاعاتی از مهم‌ترین تصمیمات مطرح در این سطح‌اند.

در سدهٔ اخیر، محیط‌گرایی[۸] 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، از مباحث بسیار مهم دههٔ اخیر به‌شمار می‌آید. زنجیرهٔ تأمین نیز به‌عنوان ستون فقرات فعالیت هر سازمان از این امر مستثنا نیست. امروزه فعالیت‌های صنعتی و نیز حمل‌ونقل مربوط به شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین، از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای به‌خصوص دی‌اکسید کربن به‌شمار می‌روند. باید در نظر داشت که تنها هدف تمرکز بر موضوع زنجیرهٔ تأمین سبز، مسائل محیط‌زیستی نیست. در واقع توجه به جنبه‌های سبز در شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین و مدیریت شبکه با در نظر گرفتن عوامل محیط‌زیستی مثل کاهش اثرهای انتشار گازهای گلخانه‌ای، برای توسعهٔ رقابت شرکت‌هاست. امروزه شرکت‌ها اگر از مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز استفاده کنند، علاوه‌بر حل مشکلات محیط‌زیستی به پیروزی نسبی در مزیت رقابتی نیز دست می‌یابند (Wilkerson, 2005).

امروزه مقالات متعددی در مورد طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین با محوریت مسائل محیط‌زیستی به چاپ رسیده است. Luo *et al*. (2001) از نخستین کسانی بودند که با استفاده از مدلسازی ریاضی، به جنبه‌های محیط‌زیستی برای بهینه‌سازی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین در کنار به حداقل رساندن انتشار گاز دی‌اکسید کربن و مصرف انرژی پرداختند. سپس Dotoli et al. (2006) دو مدل بهینه‌سازی تک‌هدفه و چندهدفه برای مسئلهٔ ارایه‌شده در مقالهٔ Luo *et al*. (2001) معرفی کردند. نتایج آنها بیانگر این بود که مدل تک‌هدفه می‌تواند راه حل بهتری را در مقایسه با مدل چندهدفه با استفاده از روش بهینه‌سازی فازی، برای مسئلهٔ لو و همکاران ارایه دهد.

Quariguasi Frota Neto *et al*. (2008) ، با ایجاد توازن بین هزینه و اثرهای محیط‌زیستی، مدلی جدید از طراحی شبکه را ارایه کردند. $Co_2$ و $No_x$ و زباله‌های جامد، از جمله اثرهای محیط‌زیستی هستند که محققان در مدل ریاضی معرفی‌شده به کمینه‌سازی آنها اقدام کرده‌اند. Ramudhin et al. (2008) ، یک مدل ریاضی عدد صحیح دوهدفه (MIP) را در حوزهٔ طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین سبز ارایه دادند. آنها در این مقاله بر تأثیرات حمل‌ونقل در طراحی شبکه و ایجاد توازن بین کاهش هزینه‌ها و کاهش گازهای گلخانه‌ای حاصل از حمل‌ونقل شبکهٔ متمرکزشده پرداختند. سپس مدل معرفی‌شده را با استفاده از یک مثال واقعی ارزیابی کردند. مکان‌یابی و تخصیص تأمین‌کنندگان و پیکربندی حمل‌ونقل از تصمیمات استراتژیک مدل پیشنهادی است. Le and Lee (2011)، یک مدل ریاضی چندهدفه را در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ 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 حمل‌ونقل و سطح بهینهٔ موجودی و کالاها در حمل‌ونقل اشاره کرد. کاهش هزینه‌های شبکه (هزینهٔ حمل‌ونقل و هزینهٔ مواد خام) و کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن از اهداف این مقاله است. همچنین برای حل مدل پیشنهادی از روش وزن‌دهی استفاده شده است. Bouzembrak *et al*. (2011)، یک مدل چندهدفهٔ 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، هزینهٔ حمل‌ونقل، هزینهٔ مصرف انرژی، هزینه‌های لجستیک، هزینهٔ بازیافت و دفن ایمن را در نظر گرفتند و در هدف دوم انتشار گاز دی‌اکسید کربن کل شبکه را به حداقل رساندند. آنها همچنین برخی از اهداف استراتژیک طراحی مانند مکان انبارها و مراکز توزیع و انتخاب بهترین

www.SID.ir

Archive of SID



فناوری ساختمان‌سازی را مدنظر قرار دادند.

به‌منظور غلبه بر شکاف ادبیات، این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی دوهدفهٔ عدد صحیح مختلط برای مسئلهٔ طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته پیشنهاد می‌کند که قادر است: ۱- هر دو هدف اقتصادی و محیط زیستی را در طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین لحاظ کند؛ ۲- به‌منظور پرهیز از زیربهینگی ناشی از طراحی جدا از هم شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین رو به جلو و بازگشتی، یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته را درنظر بگیرد؛ ۳- در هدف محیط زیستی تمامی جنبه‌هایی را که امکان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در کل شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پیشنهادی وجود دارد در نظر بگیرد. به‌عبارت دقیق‌تر، مقدار کل گاز دی‌اکسید کربنی که به‌واسطهٔ احداث هر یک از تسهیلات شبکه، حمل‌ونقل وسایل نقلیه در بین گره‌های مختلف شبکه و انجام دادن فرایندهای مختلف بر روی هر یک از محصولات در هر یک از تسهیلات شبکه در محیط انتشار می‌یابد، لحاظ شده است.

در ادامه مقاله به‌صورت زیر سازماندهی شده است: در بخش دوم، مسئلهٔ تحقیق، تشریح شده است. در بخش سوم مدلسازی ریاضی پیشنهادی با در نظر گرفتن ملاحظات محیط زیستی توسعه داده شده است. در بخش چهارم روش حل پیشنهادی و در بخش پنجم نتایج محاسباتی آمده است. در بخش آخر، جمع‌بندی و پیشنهادهای آتی ارایه شده است.

## ۲- تشریح مسئله

در این بخش شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته پیشنهادی توصیف می‌شود. شکل ۱ نمایهٔ شماتیک مدل را که شبکه‌ای شامل مجموعه‌ای از مراکز تولید و احیا، مراکز جمع‌آوری و بازرسی، بازارهای تقاضا و مرکز انهدام است نشان می‌دهد. مراکز تولید و احیا می‌توانند هم محصولات جدید را تولید کنند و هم محصولات بازگشت‌داده‌شده را بازسازی و احیا کنند. محصولات توسط مراکز تولید و احیا به‌طور مستقیم به بازارهای تقاضا فرستاده می‌شوند؛ محصولات بازگشت‌داده‌شده نیز به مراکز جمع‌آوری و بازرسی فرستاده می‌شوند و مراکز جمع‌آوری وظایف زیر را بر عهده دارند:

۱- جمع‌آوری محصولات مصرف‌شده از بازارهای تقاضا؛

۲- تعیین شرایط محصولات بازگشت‌داده‌شده از راه بازدید و دسته‌بندی آنها به‌منظور پی بردن به اینکه آیا آنها قابل بازیافت هستند یا نه؛

۳- فرستادن محصولات بازگشت‌داده‌شدهٔ قابل بازیافت به مراکز تولید و احیا؛

٤- فرستادن محصولات بازگشت‌داده‌شده بازیافت به مرکز انهدام (به دلایل محیط زیستی یا فنی).

فرض‌های مدل پیشنهادی شامل موارد زیر است:

۱- مدل طراحی‌شده، یک مدل تک‌دوره‌ای است؛

۲- مدل چندمحصولی است؛

۳- در مدل معرفی‌شده، میزان تقاضای بازارها برای هر محصول و همچنین میزان بازگشت هر محصول از بازار تقاضا مشخص و قطعی است؛

٤- ظرفیت تسهیلات در مدل مفروض محدود است؛

۵- محصول تولیدشده در جریان مستقیم، در یک سیستم کششی براساس تقاضای بازارها بین مشتریان توزیع می‌شود؛ در جریان معکوس نیز محصولات مصرف‌شده در یک سیستم فشاری جمع‌آوری و به مراکز مدیریت پایان عمر ارسال می‌شوند؛

٦- میزان مشخصی از محصولات ارسال‌شده به هر بازار به‌عنوان مقدار محصولات برگشتی از همان بازار درنظر گرفته می‌شود؛

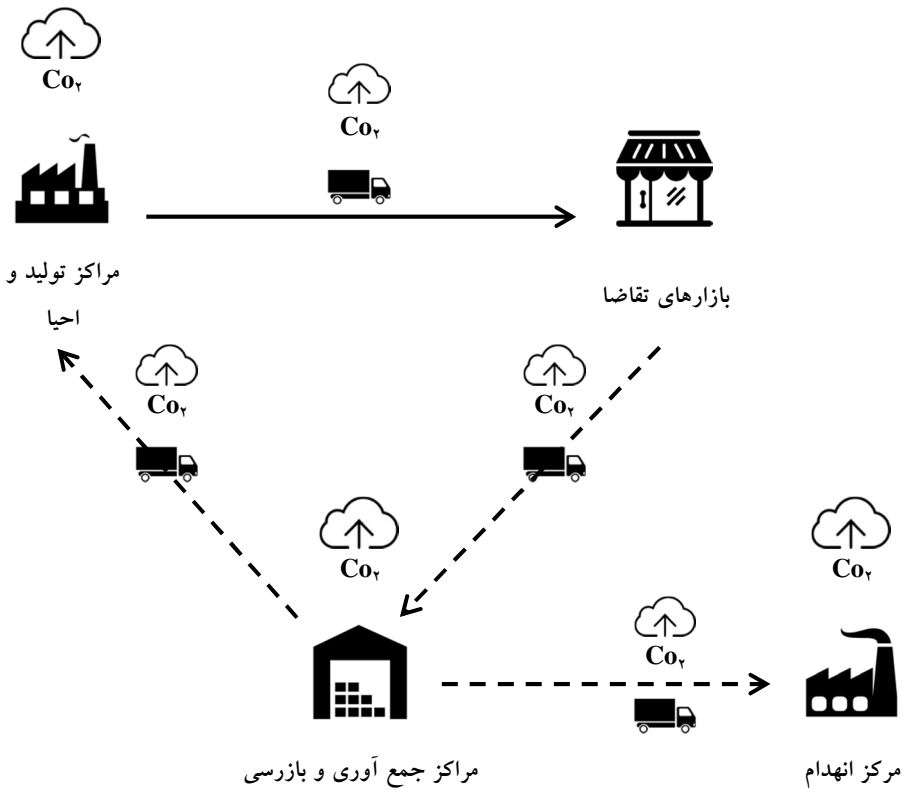
۷- هزینهٔ حمل‌ونقل کالاهای بازگشت‌داده‌شده از بازارها، از مراکز جمع‌آوری و بازرسی به مراکز تولید و احیا کمتر از میزان هزینهٔ کاهش‌یافته از هزینهٔ تولید همان کالاهاست؛

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

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۱. شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ سبز پیشنهادی**

## ۳- مدلسازی ریاضی

این بخش به معرفی مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم که در مدلسازی مسئله استفاده شده‌اند، می‌پردازد.

### ۳-۱- مجموعه‌ها

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

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

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

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

### ۳-۲- پارامترها

$A_j$: هزینهٔ تولید محصول $j$ ام؛

$B_j$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول $j$ ام (در هر کیلومتر) بین مراکز تولید و بازارهای تقاضا؛

$C_j$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول $j$ ام (در هر کیلومتر) بین بازارهای تقاضا و مراکز جمع‌آوری و بازرسی؛

$D_j$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول $j$ ام (در هر کیلومتر) بین مراکز جمع‌آوری و بازرسی و مراکز تولید؛

$O_j$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول $j$ ام (در هر کیلومتر) بین مراکز جمع‌آوری و بازرسی و مرکز انهدام؛

$E_i$: هزینهٔ ثابت احداث مرکز تولید $i$ ام؛

$F_l$: هزینهٔ ثابت احداث مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ ام؛

$G_j$: هزینهٔ کاهش‌یافته از هزینهٔ تولید محصول $j$ ام (به‌علت استفاده از محصولات بازیافت‌شده)؛

$H_j$: هزینهٔ انهدام محصول $j$ ام؛

$CP_{ij}$: ظرفیت تولیدی مرکز تولید و احیای $i$ ام برای محصول $j$ ام؛

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

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

www.SID.ir

Archive of SID



$t_{ik}$: فاصلهٔ بین مکان $i$ ام و $k$ ام (براساس روش اقلیدسی)؛
($t_{kl}$ و $t_{li}$ نیز براساس همان روش تعریف می‌شوند)؛
$t_l$: فاصلهٔ 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؛
$\alpha_j$: متوسط نرخ انهدام محصول $j$ ام؛
$\beta$: یک عدد به‌اندازهٔ کافی بزرگ ($\beta \geq \alpha_j * \sum_k r_{kj} \;\; ; \forall j$).

### ۳-۳- متغیرهای تصمیم

$X_{ikj}$: مقدار محصول $j$ ام ارسالی از مرکز تولید $i$ ام به بازار تقاضای $k$ ام؛
$Y_{klj}$: مقدار محصول $j$ ام برگشت‌داده‌شده از بازار تقاضای $k$ ام به مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ ام؛
$S_{lij}$: مقدار محصول قابل احیای $j$ ام برگشت‌داده‌شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ ام به مرکز تولید $i$ ام؛
$V_{lj}$: مقدار محصول $j$ ام برگشت‌داده‌شده از مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ ام به مرکز انهدام.

$$Z_i = \begin{cases} ۱ & \text{اگر یک مرکز تولید و احیا در مکان بالقوهٔ } i \text{ احداث و راه‌اندازی شود.} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$W_l = \begin{cases} ۱ & \text{اگر یک مرکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان بالقوهٔ } l \text{ احداث و راه‌اندازی شود.} \\ ۰ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

### ۳-٤- محدودیت ها

در ادامه محدودیت‌های مدل ریاضی شبکهٔ مفروض به‌طور کامل تشریح می‌شود:

| | | |
|---|---|---|
| $\sum_i X_{ikj} \geq d_{kj}$ | $\forall k, j,$ | (۱) |
| $\sum_l Y_{klj} = r_{kj}$ | $\forall k, j,$ | (۲) |
| $V_{lj} = \alpha_j \sum_k Y_{klj}$ | $\forall l, j,$ | (۳) |
| $\sum_i S_{lij} = (۱ - \alpha_j) \sum_k Y_{klj}$ | $\forall l, j,$ | (٤) |
| $\sum_k X_{ikj} \leq Z_i \sum_j CP_{ij}$ | $\forall i, j,$ | (۵) |
| $\sum_l S_{lij} \leq Z_i \sum_j CR_{ij}$ | $\forall i, j,$ | (٦) |
| $\sum_k Y_{klj} \leq W_l \sum_j Q_{lj}$ | $\forall l, j,$ | (۷) |
| $\sum_l S_{lij} \leq \beta \sum_k X_{ikj}$ | $\forall i, j,$ | (۸) |
| $\sum_l Y_{klj} \leq \sum_i X_{ikj}$ | $\forall k, j,$ | (۹) |
| $Z_i, W_l \in \{۰,۱\}$ | $\forall i, l,$ | (۱۰) |
| $X_{ikj}, Y_{klj}, S_{lij}, V_{lj} \geq ۰$ | $\forall i, k, l, j,$ | (۱۱) |

محدودیت ۱ بیان می‌دارد که تقاضای بازارها باید به‌طور کامل ارضا شوند. محدودیت ۲ بیان می‌کند محصولات بازگشت داده‌شده از بازارهای تقاضا باید به‌طور کامل جمع-آوری شوند. محدودیت‌های ۳ و ٤ در ارتباط با تعادل جریان محصولات در بین تسهیلات شبکهٔ مورد نظرند. محدودیت‌های ۵ و ٦ بیان می‌کنند که ظرفیت مراکز تولید و احیا به‌ترتیب برای تولید و احیا محدودند. محدودیت ۷ نشان‌دهندهٔ ظرفیت مراکز جمع‌آوری و بازرسی است. محدودیت ۸ نشان‌دهندهٔ 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 ۹ نشان می‌دهد که جریان رو به جلوِ محصولات بیشتر از جریان بازگشتی آنهاست و در نهایت دو محدودیت آخر متغیرهای صفر و یک و غیرمنفی را معرفی می‌کنند.

### ۳-۵- توابع هدف

هزینهٔ کل طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین شامل هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات و هزینه‌های متغیر فرایندی و حمل‌ونقل جریان‌ها بین تسهیلات شبکه است؛ بنابراین تابع هدف می‌تواند به‌صورت معادله (۱۲) مرتب شود.

www.SID.ir

Archive of SID



$$Min\ Z_۱ = \sum_i E_i Z_i + \sum_l F_l W_l + \sum_i \sum_k \sum_j (A_j + B_j t_{ik}) X_{ikj} + \sum_k \sum_l \sum_j (C_j t_{kl} Y_{klj}) + \sum_l \sum_i \sum_j (D_j t_{li} - G_j) S_{lij} + \sum_l \sum_j (H_j + O_j t_l) V_{lj} \quad (۱۲)$$

در معادلهٔ ۱۲ عبارت اول به مجموع هزینه‌های ثابت احداث مرکز تولید و احیا در مکان بالقوهٔ $i$ ، و عبارت دوم به مجموع هزینه‌های ثابت احداث مرکز جمع‌آوری و بازرسی در مکان بالقوهٔ $l$ ، و عبارت سوم به مجموع هزینه‌های تولید و حمل‌ونقل محصول $j$ از مرکز تولید $i$ به بازار تقاضای $k$ ، و عبارت چهارم به مجموع هزینه‌های حمل‌ونقل محصول $j$ از بازار تقاضای $k$ به مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ ، و عبارت پنجم به مجموع هزینه‌های بازیافت و حمل‌ونقل محصول $j$ از مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ به مرکز تولید و احیای $i$ ، و در نهایت عبارت ششم به مجموع هزینه‌های انهدام و حمل‌ونقل محصول $j$ از مرکز جمع‌آوری و بازرسی $l$ به مرکز انهدام اشاره دارند.

یکی از حیاتی‌ترین چالش‌ها در سازمان‌ها، کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای در سرتاسر شبکه است. با این‌حال، در مسائل زنجیرهٔ تأمین سبز با توجه به پیچیدگی این مسائل، ارایهٔ یک مدل که قابلیت حل داشته باشد، بسیار حایز اهمیت است. در این تحقیق برای اینکه مدل ریاضی مسئلهٔ مورد نظر ساده و قابل فهم باشد، فقط میزان انتشار گاز دی‌اکسید کربن در شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پیشنهادی مورد توجه قرار گرفته است. همچنین فرض بر این است که هر یک از تسهیلات، بسته به میزان تقاضایی که تأمین می‌کنند، مقدار مشخصی آلایندگی دارند و در مورد وسایل حمل‌ونقل، مقدار آلایندگی به میزان فاصله توسط وسیلهٔ نقلیه وابسته است. در ادامه، پارامترهایی که در مدلسازی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پیشنهادی برای در نظر گرفتن جنبهٔ محیط‌زیستی مدل استفاده شده‌اند، معرفی می‌شوند.

$Z_۲$: میزان کل گاز $co_۲$ منتشرشده در محیط؛

$\gamma$: میزان گاز $co_۲$ منتشرشده در هر کیلومتر توسط وسیلهٔ نقلیهٔ مورد نظر (کامیون)؛

$\theta_۱$: میزان گاز $co_۲$ منتشرشده برای ساخت و احداث هر یک از مراکز تولید و احیا؛

$\theta_۲$: میزان گاز $co_۲$ منتشرشده در اثر فرایندهای انجام‌گرفته در هر یک از مراکز تولید و احیا برای هر یک از محصولات خروجی؛

$\vartheta_۱$: میزان گاز $co_۲$ منتشرشده برای ساخت و احداث هر یک از مراکز جمع‌آوری و بازرسی؛

$\vartheta_۲$: میزان گاز $co_۲$ منتشرشده در اثر فرایندهای انجام‌گرفته در هر یک از مراکز جمع‌آوری و بازرسی برای هر یک از محصولات خروجی؛

$\delta$: میزان گاز $co_۲$ منتشرشده در اثر فرایندهای انجام‌گرفته در مرکز انهدام برای امحای هر یک از محصولات ورودی.

تابع هدف دوم به‌صورت معادلهٔ ۱۳ فرموله می‌شود:

$$Min\ Z_۲ = \gamma \Big( \sum_i \sum_k \sum_j (t_{ik} * \left(X_{ikj}/۱۰۰\right)) + \sum_k \sum_l \sum_j (t_{kl} * \left(Y_{klj}/۱۰۰\right)) + \sum_l \sum_i \sum_j (t_{li} * \left(S_{lij}/۱۰۰\right)) + \sum_l \sum_j (t_l * \left(V_{lj}/۱۰۰\right)) \Big) + \theta_۱ \sum_i Z_i + \theta_۲ \sum_i \sum_k \sum_j X_{ikj} + \vartheta_۱ \sum_l W_l + \vartheta_۲ \Big( \sum_l \sum_i \sum_j S_{lij} + \sum_l \sum_j V_{lj} \Big) + \delta \sum_l \sum_j V_{lj} \quad (۱۳)$$

معادلهٔ ۱۳ از سه بخش اصلی تشکیل شده است. در بخش اول، مقدار کل گاز دی‌اکسید کربنی که به‌واسطهٔ حمل‌ونقل

www.SID.ir

Archive of SID



وسایل نقلیه در بین گره‌های مختلف شبکه در محیط انتشار می‌یابد، محاسبه می‌شود. در بخش دوم، مقدار کل گاز دی‌اکسید کربنی که در نتیجهٔ احداث هر یک از تسهیلات شبکه، در محیط انتشار می‌یابد در نظر گرفته شده است و در بخش سوم، مقدار گاز دی‌اکسید کربنی که به‌واسطهٔ اجرای فرایندهای مختلف بر روی هر یک از محصولات در هر یک از تسهیلات شبکه در محیط انتشار می‌یابد، لحاظ شده است.

## ٤- روش حل پیشنهادی

مسئلهٔ بهینه‌سازی چندهدفه[۹] (MODM) زیرشاخه‌ای از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره[۱۰] (MCDM) است که در میان مجموعه‌ای از جواب‌های محتمل صورت می‌گیرد. هدف از بهینه‌سازی چندهدفه یافتن مجموعه جواب‌های پارتو (نامغلوب) مسئلهٔ مورد نظر است. بسیاری از مسائل و تصمیم‌گیری‌های دنیای واقعی شامل بهینه‌سازی همزمان چندین هدف است که در برخی موارد ممکن است با یکدیگر در تضاد نیز باشند. در مسائل تک‌هدفه در پی یافتن "بهترین" جواب یا تصمیم هستیم، درحالی که در مسائل چندهدفه ممکن است جوابی که از لحاظ تمامی اهداف بهینه باشد اصلاً وجود نداشته باشد. در این‌گونه مسائل برخلاف مدل‌های تک‌هدفه و به‌دلیل وجود چند هدف متعارض به‌جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود. برای حل مسائل بهینه‌سازی چندهدفه روش‌های مختلفی به‌کار گرفته شده است که در اینجا برای حل مسئلهٔ چندهدفه پیشنهادی خود، از روش محدودیت اپسیلون استفاده کرده‌ایم. از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- با تغییر اپسیلون می‌توان جواب‌های بهینهٔ مختلفی به‌دست آورد؛

۲- تفاوت در مقیاس توابع هدف مشکلی ایجاد نمی‌کند؛

۳- برای حل مسائل غیر محدب[۱۱] مناسب است.

در روش محدودیت اپسیلون مسئلهٔ بهینه‌سازی چندهدفه با محدودیت‌های اضافه‌شده به مسئلهٔ بهینه‌سازی تک‌هدفه تبدیل می‌شود. تابع هدف با اولویت بالاتر (هزینهٔ کل)، تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و بقیهٔ توابع (مقدار انتشار دی‌اکسید کربن) به‌عنوان محدودیت با به‌کارگیری یک محدودیت $\varepsilon$ محور نوشته می‌شوند (Collette and Siarry, 2003). مسئلهٔ تغییرشکل‌یافته در معادلهٔ زیر نوشته شده است:

$$Min\ Z = Z_1$$
$$s.t. \qquad (14)$$
$$Z_2 \le \varepsilon$$
$$Eqs.(1)-(12)$$

## ٥- نتایج محاسباتی

در ادامه برای اعتبارسنجی و نشان دادن کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مطالعهٔ موردی به‌همراه نتایج محاسباتی و تجزیه و تحلیل حساسیت مدل ارایه شده است.

### ٥-١- تشریح مطالعهٔ موردی

تولیدکنندگان مشهور مانند Canon دستگاه‌های فتوکپی مصرف‌شده توسط مشتریان شرکت خود را جمع‌آوری و بازیافت می‌کنند. در طی بازدید اولیه در مراکز جمع‌آوری، دستگاه‌های بازگشتی برای اطمینان از اینکه محصولات بازگشت‌داده‌شده استانداردهای کیفی لازم را دارند، کنترل می شوند. بازیافت اغلب در کارخانه‌های اصلی تولید با به‌کارگیری تجهیزات یکسان برای تولید محصولات جدید انجام می‌گیرد. دستگاه‌هایی که نمی‌توانند دوباره مورد استفاده قرار گیرند به‌طور معمول به‌عنوان یک منبع برای لوازم یدکی قابلیت استفادهٔ مجدد را فراهم می‌کنند. بقیه نیز به‌طور معمول به مرکز انهدام فرستاده می‌شوند. هدف این بخش نشان دادن کاربرد ریاضی مدل با نمونه‌های عددی است. برای این منظور یک مسئلهٔ آزمایشی بررسی شده است. داده‌های مورد نیاز از مقالهٔ Fleischmann *et al.* (2001) اتخاذ شده است. جدول‌های ۱ و ۲ به‌ترتیب اندازه و مقادیر پارامترهای مسئلهٔ مورد مطالعه را با جزئیات نشان می‌دهند.

**جدول ۱. اندازهٔ مسئلهٔ آزمایشی**

| تعداد مراکز بالقوهٔ تولید و احیا | تعداد بازارهای تقاضا | تعداد مراکز بالقوهٔ جمع‌آوری بازرسی | تعداد مراکز انهدام | تعداد تنوع محصولات |
|---|---|---|---|---|
| ٤ | ٥ | ٤ | ١ | ٣ |

www.SID.ir

Archive of SID



ازآنجا که تخمین پارامترها در دنیای واقعی سخت است، فرض شده است که پارامترها (به‌غیر از میزان تقاضا و برگشتی) از توزیع یکنواخت پیروی می‌کنند. 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 به‌روش اقلیدسی به‌دست آمده‌اند.

**جدول ۲. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مسئلهٔ آزمایشی برای تابع هدف اول**

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

در جدول ۳ مقادیر پارامترهای مورد نیاز در مسئلهٔ مورد مطالعه برای تابع هدف دوم به‌صورت تصادفی و با استفاده از توزیع یکنواخت به‌دست آمده‌اند. نا حد امکان سعی شده است براساس مطالعات کتابخانه‌ای مقادیری نزدیک به حالت واقعی گردآوری شوند.

**جدول ۳. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در مسئلهٔ آزمایشی برای تابع هدف دوم**

| پارامتر | مقدار | دامنه تغییر |
|---|---|---|
| $\Gamma$ | ۵۵۰ | $\sim \boldsymbol{U}$(۵۴۵ , ۵۵۵) |
| $\theta_1$ | ۲۳۵۰۰۰۰ | $\sim \boldsymbol{U}$(۲۳۰۰۰۰۰ , ۲۴۰۰۰۰۰) |
| $\theta_2$ | ۳۴۰ | $\sim \boldsymbol{U}$(۳۳۰ , ۳۵۰) |
| $\vartheta_1$ | ۸۳۵۰۰۰ | $\sim \boldsymbol{U}$(۸۲۰۰۰۰ , ۸۵۰۰۰۰) |
| $\vartheta_2$ | ۹۷/۵ | $\sim \boldsymbol{U}$(۸۵ , ۱۱۰) |
| $\delta$ | ۳۷۵ | $\sim \boldsymbol{U}$(۳۵۰ , ۴۰۰) |

## ۵-۲- نتایج

در این تحقیق، مسئله به‌وسیلهٔ نرم‌افزار *GAMS 24.1.2* که نرم‌افزار بهینه‌سازی مناسبی برای حل مسائل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط است، حل شده است. همهٔ محاسبات بر روی یک کامپیوتر شخصی (دارای سیستم عامل ۳۲ بیتی، ریزپردازندهٔ ۱/۶۷ گیگاهرتزی و حافظهٔ داخلی ۲ گیگابایتی) انجام گرفته است.

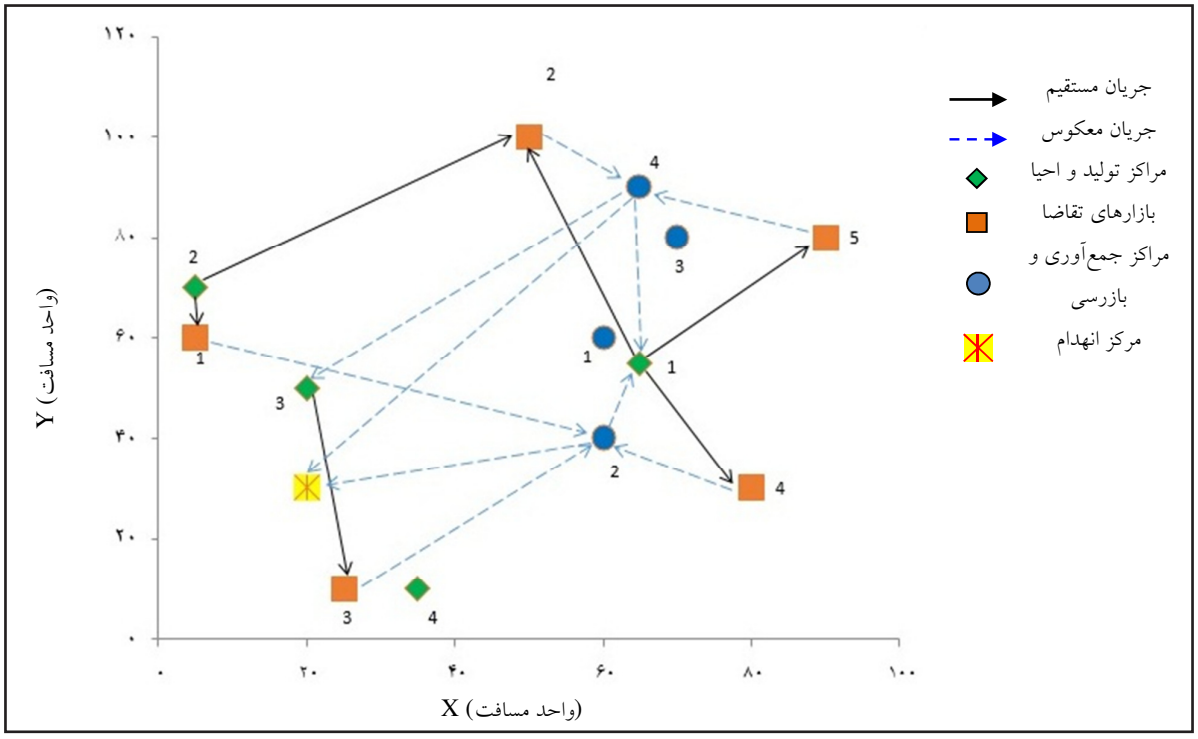
### ۵-۲-۱- حالت بهینهٔ تابع هدف اول (هزینهٔ کل)

مقدار تابع هدف اول (هزینهٔ کل) در مسئلهٔ آزمایشی ۲۱۸۸۹۴۳۴ است که در مدت زمان ۱۱ صدم ثانیه حل شده است. آماره‌های مدل شامل ۱۱۱۰ عنصر غیر صفر، ۱۱۹ معادلهٔ ساده، ۱۹۰ متغیر ساده و ۸ متغیر گسسته است. شکل ۲ شبکهٔ بهینه برای مسئلهٔ آزمایشی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نیز می‌بینید در مسئلهٔ آزمایشی مورد نظر، مراکز تولید و احیای ۱، ۲ و ۳ و مراکز جمع‌آوری و بازرسی ۲ و ۴ احداث شده‌اند

www.SID.ir

Archive of SID

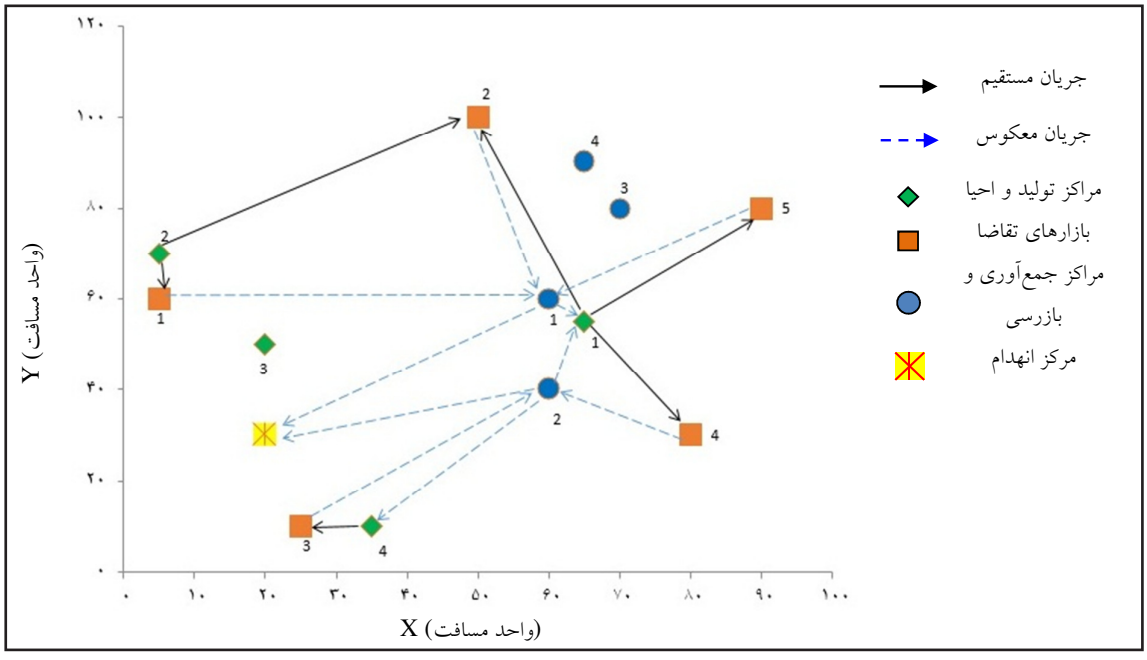





**شکل ۲. شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ بهینه برای تابع هدف اول (مطالعهٔ موردی)**

### ۵-۲-۲- حالت بهینهٔ تابع هدف دوم (مقدار انتشار دی‌اکسید کربن)

مقدار تابع هدف دوم (مقدار انتشار $CO_2$) در مسئلهٔ آزمایشی ۲۹۳۹۹۳۶۵۲ است که در مدت زمان ۳ صدم ثانیه حل شده است. آماره‌های مدل شامل ۱۱۱۰ عنصر غیر صفر، ۱۱۹ معادلهٔ ساده، ۱۹۰ متغیر ساده و ۸ متغیر گسسته است. شکل ۳ شبکهٔ بهینه برای مسئلهٔ آزمایشی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل نیز می‌بینید در مسئلهٔ آزمایشی مورد نظر، مراکز تولید و احیای ۱، ۲ و ٤ و مراکز جمع‌آوری و بازرسی ۱ و ۲ احداث شده‌اند.




**شکل ۳. شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ بهینه برای تابع هدف دوم (مطالعهٔ موردی)**

www.SID.ir

Archive of SID

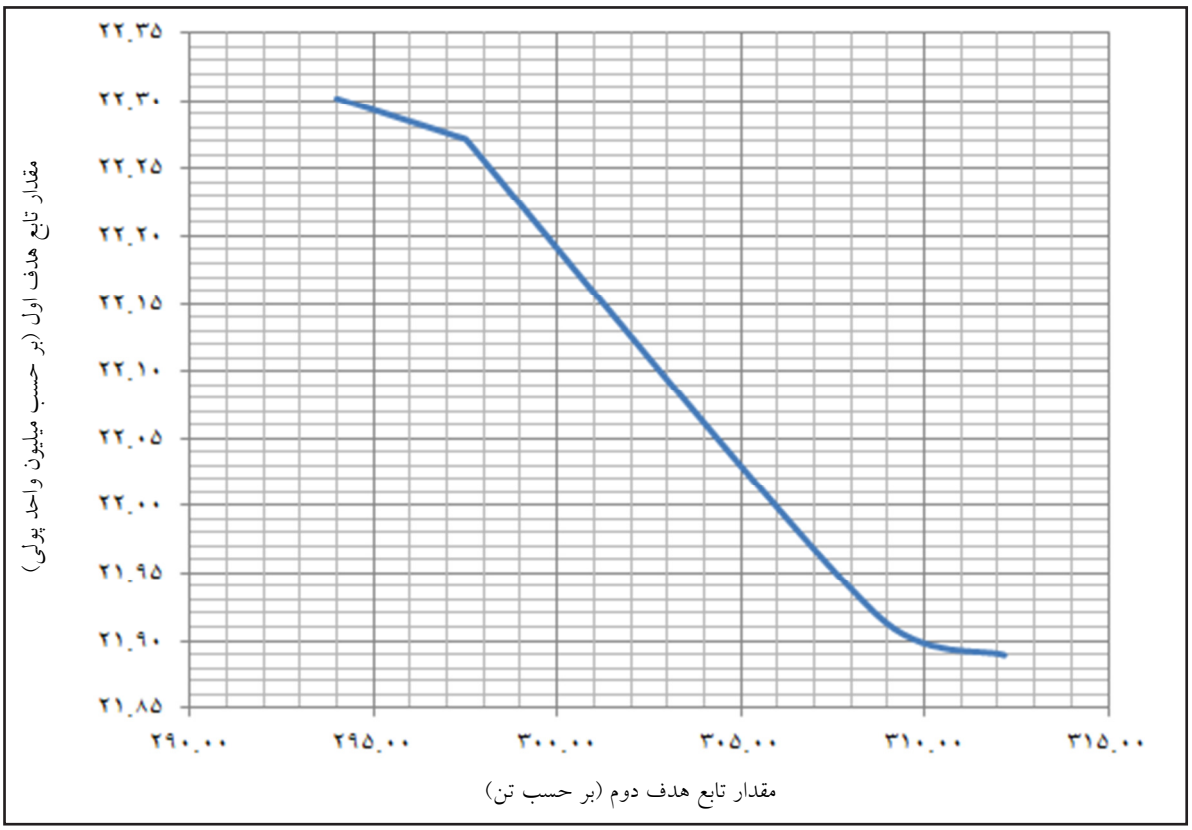


### ۵-۲-۳- سطح موازنه[۱۲]

هدف مدل‌های برنامه‌ریزی چندهدفه پیدا کردن مجموعه جواب‌های پارتو[۱۳] (نامغلوب) مسئلهٔ مورد نظر است. در واقع در این‌گونه مسائل برخلاف مدل‌های بهینه‌سازی تک‌هدفه و به‌دلیل وجود چند هدف متعارض به‌جای تنها یک جواب، مجموعه‌ای از جواب‌ها حاصل می‌شود. ویژگی این مجموعه جواب‌ها این است که ممکن نیست مقدار یک تابع هدف بدون ضایع کردن[۱۴] مقدار تابع هدف دیگر بهبود یابد. تعداد کمی از جواب‌های مؤثر و کارامد سطح موازنه را تولید می‌کنند (Wadhwa and Ravindran, 2007; Collette and Siarry, 2003). در این بخش، برای حل مدل دوهدفهٔ عدد صحیح مختلط از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است و سطح موازنه در شکل ٤ نشان داده شده است. به این ترتیب که با تغییر مقدار اپسیلون مقادیر مختلفی برای توابع هدف به‌دست آمده است.

با این‌حال، این روش به انتخاب پارامتر اپسیلون خیلی حساس است. همان‌طور که در شکل ٥ نیز نشان داده شده است به‌ازای تغییر اپسیلون در بازهٔ ۳۰۸۵۳۹۳٦٥ تا ۳۱۰۳٥۷٥۷۹ تغییر زیادی در مقدار تابع هدف ایجاد می‌شود و این یکی از ضعف‌های این روش محسوب می‌شود و تصمیم‌گیرنده را در شرایط ریسک قرار می‌دهد. مقادیر توابع هدف براساس این روش در جدول ٤ آمده است. همچنین مکان‌های تسهیلات احداث و راه‌اندازی‌شده (مراکز تولید و احیا و مراکز جمع‌آوری و بازرسی) نیز در جدول ٤ نشان داده شده‌اند.

همان‌گونه که جدول ٤ نیز مؤید آن است که برخی نتایج متفاوت با حالت‌های بهینه هر کدام از توابع هدف که در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده‌اند، است. برای مثال، حالتی که به‌ازای آن، اپسیلون مقدار ۳۱۰۳٥۷٥۷۹ را اختیار می‌کند مراکز تولید و احیای ۱، ۲ و ۳ و مراکز جمع‌آوری و بازرسی ۱ و ۲ را به‌عنوان مکان تسهیلات مدل بهینه انتخاب می‌کند که متفاوت با حالت بهینهٔ تک‌تک توابع هدف است.




**شکل ٤. سطح موازنهٔ برای مسئلهٔ آزمایشی**

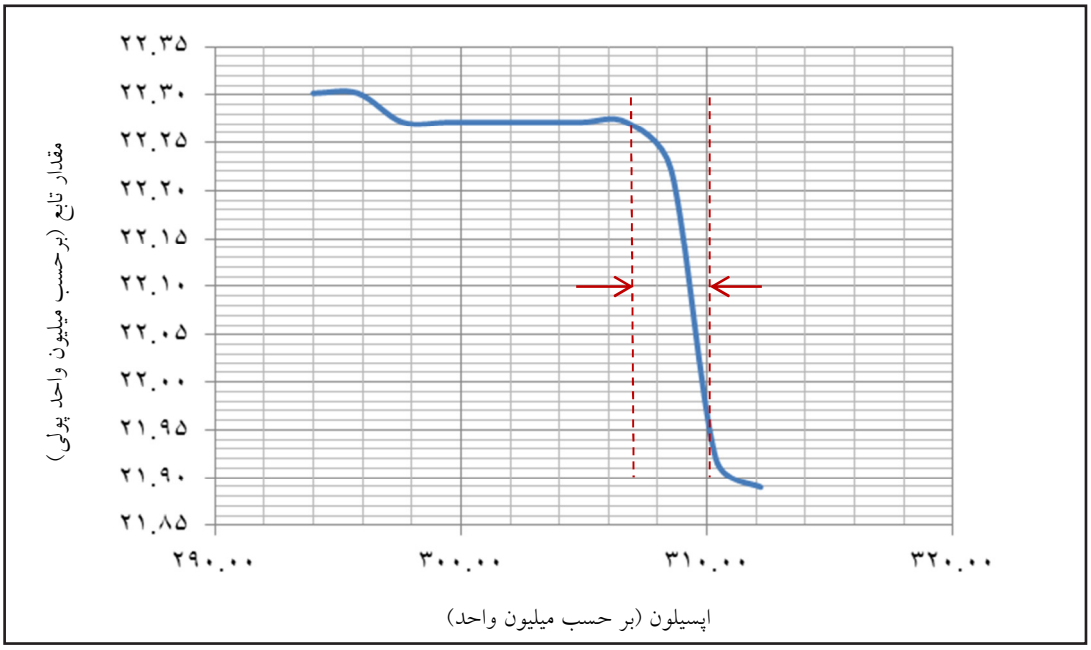
www.SID.ir

Archive of SID



جدول ٤.-نتایج روش محدودیت اپسیلون

| مراکز جمع‌آوری و بازرسی احداث‌شده | مراکز تولید و احیای احداث‌شده | مقدار تابع هدف دوم (گرم ۱۰^۷*) | مقدار تابع هدف اول (واحد پول ۱۰^۶*) | مقدار اپسیلون (۱۰^۷*) |
|---|---|---|---|---|
| ۱,۲ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۳۹ | ۲۲/۳۰ | ۲۹/۳۹ |
| ۱,۲ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۳۹ | ۲۲/۳۰ | ۲۹/۵۸ |
| ۲,٤ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۷۵ | ۲۲/۲۷ | ۲۹/۷٦ |
| ۲,٤ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۷۵ | ۲۲/۲۷ | ۲۹/۹٤ |
| ۲,٤ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۷۵ | ۲۲/۲۷ | ۳۰/۱۲ |
| ۲,٤ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۷۵ | ۲۲/۲۷ | ۳۰/۳۰ |
| ۲,٤ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۷۵ | ۲۲/۲۷ | ۳۰/٤۹ |
| ۲,٤ | ۱,۲,٤ | ۲۹/۷۵ | ۲۲/۲۷ | ۳۰/٦۷ |
| ۱,۲ | ۱,۲,۳ | ۳۰/۸۵ | ۲۲/۲۷ | ۳۰/۸۵ |
| ۱,۲ | ۱,۲,۳ | ۳۰/۸٦ | ۲۱/۹۱ | ۳۱/۰۳ |
| ۲,٤ | ۱,۲,۳ | ۳۱/۲۱ | ۲۱/۸۸ | ۳۱/۲۱ |




شکل ۵ . تحلیل حساسیت اپسیلون

## ٦- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یک مدل دوهدفهٔ عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی تسهیلات یک شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته بررسی شده است. مدل شامل مجموعه‌ای از مراکز تولید و احیا، مراکز جمع‌آوری و بازرسی، مرکز انهدام، بازارهای تقاضا و چندین نوع محصول است. با وجود کارهای پژوهشی گذشته، این مدل برای طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین هر دو جریان رو به جلو و بازگشتی را در هم ادغام کرده و همچنین تمام جنبه‌های امکان انتشار گاز دی‌اکسید کربن را در کل شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین درنظر گرفته است. روش محدودیت اپسیلون برای حل مدل برنامه‌ریزی چند هدفه به‌کار گرفته شده است. این روش قادر است بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی موازنه ایجاد کند. نتایج نشان می‌دهند که افزایش تعداد تسهیلات یا تغییر چیدمان تسهیلات نسبت به حالت بهینه (از دید اقتصادی) می‌تواند به افزایش سود شبکه کمک کند. این امکان به‌واسطهٔ کاهش انتشار

www.SID.ir

Archive of SID



کل گاز دی‌اکسید کربن در پی احداث هر یک از تسهیلات شبکه، حمل‌ونقل وسایل نقلیه در بین گره‌های مختلف شبکه و اجرای فرایندهای مختلف بر روی هر یک از محصولات در هر یک از تسهیلات شبکه در محیط، محقق می‌شود و تعادل و موازنه‌ای بشردوستانه بین اهداف اقتصادی و محیط زیستی ایجاد می‌کند. مؤثر بودن مدل بهینه‌سازی توسعه‌داده‌شده و نیز مفید بودن روش حل محدودیت اپسیلون به‌وسیلهٔ یک مطالعهٔ موردی مرتبط با صنعت تولید دستگاه‌های کپی بررسی شده است. درنظر گرفتن اثرهای عدم قطعیت پارامترها بر روی مدل به‌وسیلهٔ روش‌هایی چون بهینه‌سازی فازی یا استوار می‌تواند زمینه‌های پژوهشی جذابی برای تحقیقات آتی باشد. همچنین، برای سوق یافتن شبکهٔ مطرح‌شده به‌سمت پایداری، باید جنبهٔ اجتماعی در کنار ابعاد محیط زیستی و اقتصادی درنظر گرفته شود. بنابراین، درآمیختن ملاحظات اجتماعی مثل میزان بیماری‌های ناشی از آلودگی هوا در مسئلهٔ طراحی شبکه می‌تواند کار پژوهشی باارزشی برای آینده باشد.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1 .Supply Chain Management
2 .Demand Management
3 .Procurement
4 .Order Fulfillment
5 .Forward Supply Chain
6 .Reverse Supply Chain
7 .Closed-loop Supply Chain
8 . Environmentalism
9 .Multiple Objective Decision Making
10 .Multiple Criteria Decision Making
11 .Non-convex
12 .Trade-off surface
13 .Pareto solutions
14 .Sacrificing

## ۸- منابع


- Abdallah, T., Farhat, A., Diabat, A., Kennedy, S. (2012) "Green supply chains with carbon trading and environmental sourcing: Formulation and life cycle assessment", Applied Mathematic Modelling, Vol. 36, No. 9, pp. 4271–4285.
- Bouzembrak, Y., Allaoui, H., Goncalves, G., Bouchriha, H.A. (2011) "Multi-objective green supply chain network design", The 4th International conference on logistics (LOGISTIQUA 2011), Hammamet, pp. 357–361.
- Collette, Y., and Siarry, P. (2003) "Multi Objective Optimization: Principles and Case Studies", Springer-Verlag, New York.
- Cooper, M.C., Lambert, D.M., Pagh, J.D. (1997) "Supply chain management: more than a new name for logistics", International Journal Logistics Management, Vol. 8, No. 1, pp. 1–9.
- Dotoli, M., Fanti, M.P., Meloni, C., et al. (2006) "Design and optimization of integrated E-supply chain for agile and environmentally conscious manufacturing", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans, Vol. 36, No. 1, pp. 62-75.
- Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Van Wassenhove, L.N. (2001) "The impact of product recovery on logistics network design", Prod. Oper. Manage., Vol. 10, No. 2, pp. 156–173.
- Guide Jr., V.D.R., Van Wassenhove, L.N. (2009) "The evolution of closed-loop supply chain research", Oper. Res., Vol. 57, No. 1, pp. 10–18.
- Le, T.P.N., Lee, T.R. (2011) "Model selection with considering the co2 emission alone the global supply chain", Journal of Intelligent Manufacturing, Vol. 24, No. 4, pp. 653-672.
- Li, F., Liu, T., Zhang, H., Cao, R., Ding, W., Fasano, J.P. (2008) "Distribution center location for green supply chain", IEEE International Conference on Service Operations and Logistics, and Informatics, Beijing, pp. 2951–2956.
- Luo, Y., Zhou, M., Caudill, R.J., et al. (2001) "An integrated E-supply chain model for agile and environmentally conscious manufacturing", IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 6, No. 4, pp. 377-386.
- Melo, M.T., Nickel, S., Saladanha, F.(2009) "Facility location and supply chain management - A review", European Journal of Operational Research, Vol. 196, pp. 401-


www.SID.ir

Archive of SID



design", Proc. IEEE Int. Conf. Ind. Eng. Eng. Manage., pp.1093 -1097.

- Wadhwa, V., and Ravindran, A.R. (2007) "Vendor selection in outsourcing", Comput. Oper. Res.Vol. 34, No. 12, pp. 3725–3737.
- Wilkeron, T. (2005) "Can one green deliver another", Harvard Business School Publishing Corporation. See http://www. Supplychainstrategy.org
- Quariguasi Frota Neto, J., Bloemhof-Ruwaard, J.M., van Nunen JAEE, van Heck HGWM, (2008) "Designing and evaluating sustainable logistic networks", International Journal of Production Economics, Vol. 111, No. 2, pp. 195–208.
- Ramudhin, A., Chaabane, A., Kharoune, M., Paquet, M. (2008) "Carbon market sensitive green supply chain network

412.

www.SID.ir