

# مدل بهینه‌سازی دو هدفه هزینه و کربن‌دی‌اکسید در زنجیره تأمین حلقه‌بسته

مهدی سلطانی تهرانی<sup>۱\*</sup>، حسینعلی حسن‌پور<sup>۲</sup>، سعید رضانی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، گرایش مهندسی لجستیک و زنجیره تأمین، دانشکده فنی و مهندسی،

دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

۳. مربی گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۱

پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۲۱

## چکیده

در سال‌های اخیر توجه به لجستیک معکوس و خصوصاً یکپارچگی آن با لجستیک مستقیم امری مهم در کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین به حساب آمده است. در این مقاله یک زنجیره تأمین بسته طراحی شده است که به صورت چندهدفه، چندمحصولی و چنددوره‌ای می‌باشد. توابع هدف شامل حداقل‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز و هزینه پردازش داخل مراکز و مراکز ساخته شده و همچنین حداقل‌سازی کربن‌دی‌اکسید منتشر شده در داخل مراکز و کربن‌دی‌اکسید منتشر شده در اثر حمل‌ونقل بین مراکز می‌باشد. برای این منظور از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده شده است و مسأله جزء مسائل NP Hard می‌باشد. برتری این مدل نسبت به مدل‌های گذشته در نظر گرفتن چند محصول و چند دوره در دو هدف مربوطه می‌باشد همچنین مدل مربوطه محدودیت تولید کربن‌دی‌اکسید را در بین مراکز و داخل مراکز در نظر می‌گیرد. در راستای یکپارچه‌سازی مدل ابتدا دو هدف هم‌فاز شده و با استفاده از روش برنامه‌ریزی چندهدفه به یک هدف تبدیل می‌شوند. در راستای اعتبارسنجی مدلو تأثیر اوزان توابع هدف چند مسأله طراحی شده و با CPLEX 12.3 حل شده است و در پایان، نتایج مورد تحلیل قرار گرفته است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره‌تأمین حلقه‌بسته، بهینه‌سازی دو هدفه، زنجیره‌تأمین سبز.



## ۱- مقدمه

طراحی شبکه زنجیره‌تأمین<sup>۱</sup> (SCND) یکی از مهم‌ترین تصمیمات راهبردی است که به‌تازگی مطرح شده است و توجه محققان به سمت آن جلب شده است. مسأله SCND شامل مجموعه‌ای از امکانات سازمان برای به دست آوردن و انتقال مواد خام به محصولات پایانی، توزیع این محصولات و ارائه خدمات پس از فروش برای تکمیل نیازهای مشتری می‌باشد. این مسأله تعداد، محل، سطح ظرفیت و فن‌آوری تجهیزات در نظر گرفته شده را تعیین می‌کند. همچنین کانال‌های حمل‌ونقل و مقدار مورد خرید، مصرف، تولید، توزیع و ارسال را مشخص می‌کند.

ادبیات اختصاص داده شده به SCND را می‌توان به دو بخش، یعنی لجستیک مستقیم و لجستیک معکوس تقسیم نمود. مورد اول تنها به شبکه مستقیم پرداخته است. لجستیک معکوس خود شامل مسائلی است که به‌طور کامل روی شبکه برگشت تمرکز دارد و به‌عنوان شبکه بازیافت شناخته شده است و اگر شبکه معکوس با شبکه مستقیم یکپارچه شود، به‌عنوان شبکه حلقه‌بسته شناخته می‌شود. به‌طور کلی، در لجستیک مستقیم، به‌عنوان یک لجستیک معمولی، پس از خرید از تأمین‌کنندگان، مواد خام به محصولات تمام شده در کارخانه‌های تولیدی تبدیل شده و سپس این محصولات از طریق مراکز توزیع به مشتریان برای برآوردن خواسته‌های آن‌ها انتقال داده می‌شود. در لجستیک معکوس، جریان محصولات بازگشتی از مشتریان به مراکز جمع‌آوری برای تعمیر، بازسازی و یا دفع پردازش می‌شود [۱، صص ۷۹-۸۳]، [۲، صص ۱۰۳۳-۱۰۵۰]. با توجه به این واقعیت که طراحی لجستیک مستقیم و لجستیک معکوس به‌طور جداگانه، باعث نتایج طرح‌های زیر بهینه با توجه به اهداف زنجیره‌تأمین می‌شود، طراحی لجستیک مستقیم و لجستیک معکوس باید یکپارچه شود [۳، صص ۱۵۶-۱۷۳]، [۴، صص ۴۵۵-۴۷۴]، [۵، صص ۳۰۱-۳۱۶]. این نوع از یکپارچه‌سازی می‌تواند به‌صورت یکپارچگی افقی و یا عمودی در زنجیره‌تأمین در نظر گرفته شود [۶، صص ۱۱۰۰-۱۱۱۲]. نوع اول شامل یکپارچگی فعالیت‌ها در سطح برنامه‌ریزی مشابه (تاکتیکی، عملیاتی و یا استراتژیک) می‌باشد. به‌عنوان مثال، می‌توان یکپارچه‌سازی انتخاب تأمین‌کننده با طراحی شبکه را نام برد و یکپارچه‌سازی طراحی مستقیم و معکوس زنجیره‌تأمین دو نمونه از یکپارچگی افقی در سطح استراتژیک می‌باشد. نوع دوم شامل یکپارچه‌سازی فرایندهای تصمیم‌گیری در سراسر سطوح برنامه‌ریزی است. به‌عنوان مثال، محل تجهیزات در سطح استراتژیک و مقدار حمل‌ونقل بین تجهیزات در سطح تاکتیکی/

عملیاتی می‌تواند به‌طور همزمان در نظر گرفته شود [۷].

در ناحیه لجستیکی معکوس، در نظر گرفتن تجهیزات پردازش ترکیبی به‌عنوان متغیر تصمیم‌گیری، به جای فقط تجهیزات پردازش مستقیم (به‌عنوان مثال، مراکز توزیع) و تجهیزات پردازش معکوس (به‌عنوان مثال، مراکز جمع‌آوری) به‌طور جداگانه مزیت بیشتری دارد. هم محصولات لجستیک مستقیم و هم معکوس می‌توانند با امکانات پردازش ترکیبی حمل شوند. منفعت استفاده از چنین امکانات پردازش ترکیبی به صرفه‌جویی در هزینه و کاهش آلودگی به‌عنوان یک نتیجه‌ای از به اشتراک‌گذاری مواد حمل شده بین تجهیزات و زیرساخت‌هایی باشد [۸، صص ۶۱-۷۱].

در ادامه این مقاله به مرور ادبیات موضوع، تعریف مسأله، مدل‌سازی ریاضی و نتایج محاسباتی پرداخته می‌شود. در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادهایی برای تحقیقات آینده ارائه می‌شود.

## ۲- مرور ادبیات

در ۱۰ سال گذشته با توجه به کاهش استفاده از منابع اولیه، جلوگیری از آلودگی، مدیریت زباله، مصوبه دولت، نگرانی‌های زیست‌محیطی، مسئولیت اجتماعی و فشار مشتری، توجه رو به رشدی به لجستیک معکوس شده است. لجستیک معکوس اشاره به همه فعالیت‌های مربوط به تبدیل و جریان کالا و خدمات با اطلاعات خود از منابع مواد تا کاربران نهایی دارد. فلیشمن و همکاران [۳، صص ۱۵۶-۱۷۳] یک مدل لجستیک معکوس را طراحی نمودند که جریان مستقیم را همراه با جریان بازگشت بررسی می‌کند و بدون توجه به محدودیت ظرفیت بهینه می‌نماید. بیهل و همکاران [۹، صص ۴۴۳-۴۶۳] یک شبکه لجستیک معکوس را شبیه‌سازی کرده است که در آن یک آزمایش مشخص برای تجزیه و تحلیل اثر طراحی سیستم و عوامل محیطی مؤثر بر عملکرد عملیاتی سیستم لجستیک معکوس مورد استفاده قرار گرفته است. مدل شبکه زنجیره تأمین بسته چندمحصولی به‌وسیله اوسته و همکاران ارائه شده است [۱۰، صص ۸۹۰-۹۰۷]؛ و به‌وسیله تجزیه بندر حل شد. کانان و همکاران [۱۱، صص ۶۵۵-۶۷۰] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط حلقه‌بسته را برای تعیین مواد اولیه، تولید، توزیع و موجودی، دفع و بازیافت در مراکز مختلف توسعه داده‌اند. آن‌ها یک الگوریتم ژنتیک برای مدل



خود برای به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره‌تأمین ارائه داده‌اند. السید و همکاران [۱۲، صص ۴۲۳-۴۳۱] مدل طراحی شبکه لجستیک مستقیم و معکوس را برای چند دوره و چند رده ارائه داده‌اند درحالی‌که هدف از مدل آن‌ها به حداکثر رساندن سود از زنجیره‌تأمین است، مدل آن‌ها طراحی زنجیره‌تأمین مستقیم / معکوس یکپارچه دو هدفه بوده که در ناحیه SCND انجام شده است.

همچنین، مطالعات متعددی در مورد بهینه‌سازی یک مسأله چندهدفه SCND توسط محققان مختلف در نظر گرفته شده است. فراهانی و همکاران [۱۳، صص ۱۶۸۹-۱۷۰۹] معیارها و اهداف مختلفی را در مسأله مکان‌یابی تسهیلات بررسی کرده‌اند که نقش مهمی در مسأله SCND دارد. گواه و همکاران [۱۴، صص ۱۶۴-۱۷۳] یک مدل چند مرحله تصادفی SCND جهانی در مورد عرضه، تقاضا، مبادله و اختلال به‌عنوان پارامتر نامشخص در لجستیک مستقیم توسعه داده‌اند. آزاران و همکاران [۱۵، صص ۱۲۹-۱۳۸] یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی چندهدفه برای طراحی سه رده زنجیره‌تأمین تحت عدم قطعیت ارائه داده‌اند که در آن به‌منظور دستیابی به تکنیک استفاده شده برای بهینه‌سازی هزینه کل، واریانس کل هزینه و هزینه ریسک مالی توسعه داده شده است. دارابی و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح آمیخته ارائه داده‌اند که برای طراحی یکپارچه شبکه زنجیره‌تأمین مستقیم - معکوس چند سطحی و چنددوره‌ای جهت بازیافت مواد اولیه محصولات بازگشتی می‌پردازد و سپس مدل پیشنهادی را با نرم‌افزار GAMS حل نموده‌اند [۱۶، صص ۱-۱۸].

نگردی و همکاران مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط در زمینه سیستم تولیدی دمونتاز-مونتاز سه مرحله‌ای در لجستیک معکوس صنعت هوایی ارائه داده‌اند که مجموع هزینه‌هایی اعم از میانگین وزنی اتمام کارها و موجودی قطعات یدکی را مینیمم می‌کند، این مدل با نرم‌افزار CPLEX حل شده است [۱۷، صص ۲۰۵-۲۱۸]. توکلی مقدم و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط برای طراحی یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس ارائه داده‌اند که با هدف کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین می‌باشد و برای حل مدل از نرم‌افزار لینگو بهره گرفته‌اند [۱۸، صص ۱-۲۱].

در این تحقیق مدل جدید شبکه لجستیک یکپارچه به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه شده است تا بدین‌صورت از محصولات مرجوعی به نحو مطلوب استفاده

شود و باعث سودآوری و جلوگیری از آلودگی محیط زیست گردد.

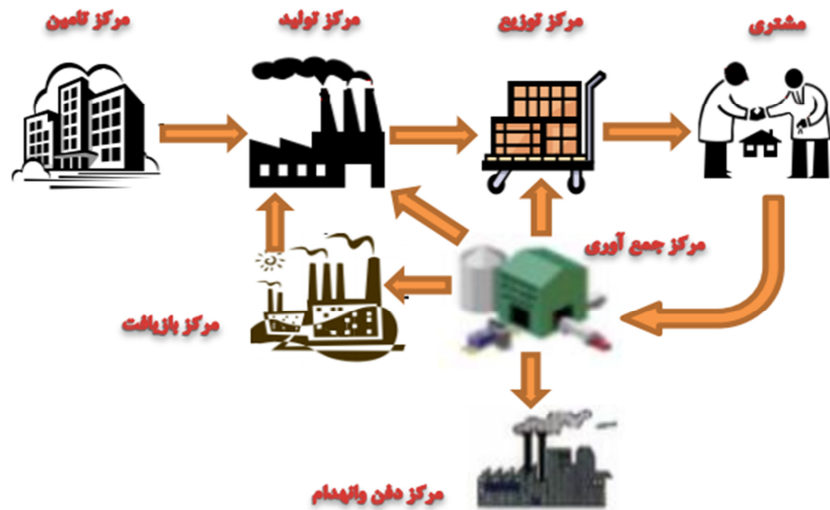
### ۳- تعریف مسأله

شبکه‌ای که در این مقاله استفاده شده یک شبکه لجستیک یکپارچه مستقیم- معکوس چند سطحی و چنددوره‌ای است و می‌توان در صنایع مختلفی که قابلیت جمع‌آوری، بازیافت، انهدام، تولید مجدد و توزیع مجدد دارند بکار گرفت مثلاً می‌توان در صنعت بازیافت فلزات و مواد آهنی، کاغذ، زباله‌ها و تولید کودهای آلی و غیره استفاده نمود. در این شبکه مواد اولیه از تأمین‌کنندگان تهیه شده و وارد بخش تولید می‌شود سپس کالاهای ساخته شده وارد بخش توزیع می‌شود بعد از محل توزیع کالاها برای مشتریان فرستاده می‌شود. در جریان لجستیک معکوس کالاهای بازگشتی از دست مشتریان به محل جمع‌آوری منتقل می‌شود در آنجا کالاها دسته‌بندی شده و کالاهایی که سطح مطلوبی از کیفیت را دارا هستند به‌عنوان کالای دست‌دوم وارد مراکز توزیع می‌شوند و کالاهایی که نیاز به تولید مجدد دارند وارد مراکز تولید جهت ساخت مجدد می‌شوند، کالاهایی که نیاز به بازیابی دارند وارد مراکز بازیافت می‌شوند و مواد اولیه مراکز تولید را فراهم می‌کنند و کالاهایی که جزء هیچ‌کدام از دسته‌های مربوطه قرار نگیرند وارد مراکز دفن و انهدام می‌شوند تا از محیط‌زیست به طرز مناسبی خارج شود. چون کالاها در چرخه لجستیک معکوس در چرخه لجستیک مستقیم وارد می‌شوند لذا شبکه یک شبکه حلقه‌بسته خواهد بود. در جریان معکوس، فرض بر این است که مشتریانی که اقدام به خرید کالا نموده‌اند، در همان دوره زمانی در مورد برگرداندن یا عدم برگرداندن محصول استفاده شده تصمیم می‌گیرند. جریان محصولات در کانال مستقیم به‌صورت کششی و وابسته به تقاضای مشتریان و در کانال معکوس به‌صورت فشاری و بر اساس بازگشت محصولات از مشتریان است. مدل به‌صورت چندهدفه، چنددوره‌ای و چندمحصولی است.

مدل در نظر گرفته شده در این مسأله مدل توسعه‌یافته مقاله سلطانی تهرانی و همکاران [۱۹]، صص ۱-۱۳ می‌باشد که تابع هدف (۲) کمینه‌سازی کربن دی‌اکسید تولید شده در داخل مراکز و کربن دی‌اکسید تولید شده در اثر حمل‌ونقل بین مراکز به آن اضافه شده است و همچنین محدودیت‌های (۲۶ تا ۳۹) تولید کربن دی‌اکسید در داخل هر مرکز و بین مراکز برای هر نوع محصول در نظر گرفته شده است و در ابعاد وسیع حل شده است. شبکه زنجیره‌تأمین یکپارچه



(مستقیم و معکوس) در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱ مدل یکپارچه لجستیک مستقیم و معکوس

### ۳-۱- فرض‌های مدل

ظرفیت تسهیلات محدود است.

مقادیر کالاهای مرجوعیو تقاضای مشتریان قطعی است.

فضای حل مسأله به صورت گسسته است.

مشتریان محصولات نو و دست‌دوم را یکسان فرض می‌کنیم

مکان تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و مشتریان ثابت است و مکان توزیع، جمع‌آوری،

بازیابی و دفن‌وانهدام ثابت نیست.

محصولات دست‌دوم کیفیت پایین‌تری نسبت به محصولات نو دارند.

به تمامی مشتریان پاسخ داده می‌شود و تمام کالاهای مرجوعی جمع‌آوری می‌شوند.

محصولات وارد شده در مراکز در هر دوره زمانی در همان دوره از مرکز مربوطه خارج

می‌شوند و وارد دوره بعدی نمی‌شوند.

### ۲-۳- مجموعه‌ها

$I \in$  نقاط ثابت برای مراکز تأمین‌کنندگان  
 $J \in$  نقاط ثابت برای مراکز تولیدکنندگان  
 $K \in$  نقاط بالقوه برای مراکز توزیع  
 $L \in$  نقاط ثابت برای مراکز مشتریان  
 $M \in$  نقاط بالقوه برای مراکز جمع‌آوری  
 $P \in$  نقاط بالقوه برای مراکز بازیافت  
 $N \in$  نقاط بالقوه برای مراکز دفن‌وانهدام  
 $S \in$  مجموعه محصولات  
 $T \in$  مجموعه دوره‌های زمانی

### ۳-۳- پارامترها

$Q_{st}$  تقاضای محصول  $s$  از مشتری  $I$  در دوره  $t$   
 $W_{st}$  میزان برگشتی محصول  $s$  از مشتری  $I$  در دوره  $t$   
 $Em_s$  نرخ برگشتی محصول  $s$  از مرکز مشتری  $I$  به مرکز جمع‌آوری  $m$   
 $Rj_s$  نرخ برگشتی محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز تولیدکننده  $j$   
 $TP_s$  نرخ برگشتی محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز بازیافت  $p$   
 $An_s$  نرخ برگشتی محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز دفن‌وانهدام  $n$   
 $Zk_s$  نرخ برگشتی محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز توزیع  $k$   
 $C_{sijt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز تأمین  $I$  به مرکز تولید  $j$   
 $C_{sjkt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$   
 $C_{sklt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز توزیع  $k$  به مرکز مشتری  $l$   
 $C_{stmt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مشتری  $I$  به مرکز جمع‌آوری  $m$   
 $C_{smpt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز بازیافت  $p$   
 $C_{smnt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز دفن‌وانهدام  $n$   
 $C_{smjt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز تولیدکننده  $j$



- $C_{smkt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز توزیع  $k$
- $C_{spjt}$  هزینه جابه‌جایی هر واحد محصول  $s$  از مرکز بازیافت  $p$  به مرکز تولید  $j$
- $F_n$  هزینه ثابت ساخت مرکز دفن و انهدام  $n$
- $F_k$  هزینه ثابت ساخت مرکز توزیع  $k$
- $F_m$  هزینه ثابت ساخت مرکز جمع‌آوری  $m$
- $F_p$  هزینه ثابت ساخت مرکز بازیافت  $p$
- $M_{sijt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز تأمین‌کننده  $i$  به مرکز تولیدکننده  $j$  در دوره  $t$
- $M_{sjkt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$
- $M_{sklt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$
- $M_{slmt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مشتری  $l$  به مرکز جمع‌آوری  $m$  در دوره  $t$
- $M_{smpt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز بازیافت  $p$  در دوره  $t$
- $M_{smnt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز دفن و انهدام  $n$  در دوره  $t$
- $M_{smjt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$
- $M_{smkt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$
- $M_{spjt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده از وسیله حمل‌ونقل به ازای هر واحد محصول  $s$  از مرکز بازیافت  $p$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$
- $F_{s jt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده در اثر تولید هر واحد محصول در مرکز تولید  $j$
- $F_{s pt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده در اثر بازیافت هر واحد محصول در مرکز بازیافت  $p$



$F_{snt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده در اثر دفن و انهدام هرواحد محصول در مرکز دفن و انهدام  $n$   
 $F_{1sjt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده در اثر تولید مجدد در مرکز تولید  $j$   
 $F_{2sjt}$  میزان کربن‌دی‌اکسید آزاد شده در اثر تولید مجدد در مرکز تولید  $j$   
 $Ca_i$  ظرفیت مرکز تأمین‌کننده  $I$   
 $Ca_j$  ظرفیت مرکز تولیدکننده  $j$   
 $Cap_{1j}$  ظرفیت ساخت مجدد محصولات رسیده از مرکز جمع‌آوری  $m$  در مرکز تولید  $j$   
 $Cap_{2j}$  ظرفیت ساخت مجدد محصولات رسیده از مرکز بازیافت  $p$  در مرکز تولید  $j$   
 $Ca_k$  ظرفیت مرکز توزیع  $k$   
 $Cap_k$  ظرفیت محصولات مرجوعی در مرکز توزیع  $k$   
 $Ca_m$  ظرفیت مرکز جمع‌آوری  $m$   
 $Ca_p$  ظرفیت مرکز بازیافت  $p$   
 $Cap_k$  ظرفیت محصولات مرجوعی در مرکز توزیع  $k$   
 $Ca_n$  ظرفیت مرکز دفن و انهدام  $n$   
 $P_j$  کلیه هزینه‌های تولید هر واحد محصول در مرکز تولید  $j$  در هر دوره زمانی  
 $P_k$  کلیه هزینه‌های پردازش هر واحد محصول در مرکز توزیع  $k$  در هر دوره زمانی  
 $P_m$  کلیه هزینه‌های پردازش هر واحد محصول در مرکز جمع‌آوری  $m$  در هر دوره زمانی  
 $P_p$  کلیه هزینه‌های بازیافت هر واحد محصول قابل بازیافت در مرکز بازیافت  $p$  در هر دوره زمانی  
 $P_n$  کلیه هزینه‌های انهدام هر واحد محصول غیرقابل بازیافت در مرکز انهدام  $n$  در هر دوره زمانی  
 دوره زمانی  
 زمانی

### ۳-۴- متغیرها

$Y_m = 1$  اگر مرکز جمع‌آوری  $m$  ساخته شود وگرنه صفر است  
 $Y_k = 1$  اگر مرکز توزیع  $k$  ساخته شود وگرنه صفر است  
 $Y_p = 1$  اگر مرکز بازیافت  $p$  ساخته شود وگرنه صفر است



$Y_n = 1$  اگر مرکز دفن وانهدام  $n$  ساخته شود وگرنه صفر است  
 $X_{sijt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز تأمین‌کننده  $i$  به مرکز تولیدکننده  $j$   
 $X_{sjkt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$   
 $X_{sklt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$   
 $X_{slmt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز مشتری  $l$  به مرکز جمع‌آوری  $m$   
 $X_{smjt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز تولید  $j$   
 $X_{smnt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز دفن وانهدام  $n$   
 $X_{smkt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز توزیع  $k$   
 $X_{smpt}$  مقدار جریان محصول  $s$  از مرکز جمع‌آوری  $m$  به مرکز بازیافت  $p$

با استفاده از نمادهای فوق می‌توان مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه لجستیک یکپارچه بکار گرفت که باهدف حداقل‌سازی هزینه‌ها به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned}
 \min f_1 = & \sum_k F_k Y_k + \sum_m F_m Y_m + \sum_p F_p Y_p + \sum_n F_n Y_n \\
 & + \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t (C_{sijt} X_{sijt}) + \\
 & \sum_s \sum_j \sum_k \sum_t (P_j + C_{sjkt} X_{sjkt}) + \sum_s \sum_k \sum_l \sum_t (P_k + C_{sklt} X_{sklt}) + \\
 & \sum_s \sum_l \sum_m \sum_t (P_m + C_{slmt} X_{slmt}) + \sum_s \sum_m \sum_p \sum_t (P_p + C_{smpt} X_{smpt}) + \\
 & \sum_s \sum_m \sum_n \sum_t (P_n + C_{smnt} X_{smnt}) + \sum_s \sum_m \sum_j \sum_t (C_{smjt} X_{smjt}) + \\
 & \sum_s \sum_m \sum_k \sum_t (C_{smkt} X_{smkt}) + \sum_s \sum_p \sum_j \sum_t (C_{spjt} X_{spjt}) \quad (1) \\
 \min f_2 = & \sum_s \sum_i \sum_j \sum_t (M_{sijt} X_{sijt}) + \sum_s \sum_j \sum_k \sum_t (F_{sjt} + M_{sjkt} X_{sjkt}) + \\
 & \sum_s \sum_k \sum_l \sum_t (M_{sklt} X_{sklt}) + \sum_s \sum_l \sum_m \sum_t (M_{slmt} X_{slmt}) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \sum_s \sum_m \sum_p \sum_t (F_{spt} + M_{smpt} X_{smpt}) \\
 & \quad + \sum_s \sum_m \sum_n \sum_t (F_{snt} + M_{smnt} X_{smnt}) + \\
 & \sum_s \sum_m \sum_j \sum_t (F_{sijt} + M_{smjt} X_{smjt}) + \sum_s \sum_m \sum_k \sum_t (M_{smkt} X_{smkt}) + \\
 & \sum_s \sum_p \sum_j \sum_t (F_{vsjt} + M_{spjt} X_{spjt}) \tag{۲}
 \end{aligned}$$

s.t.

$$\sum_k X_{sklt} = Q_{slt} \quad \forall s \in S, \forall l \in L, \forall t \in T \tag{۳}$$

$$\sum_m X_{slmt} = W_{slt} \quad \forall s \in S, \forall l \in L, \forall t \in T \tag{۴}$$

$$\sum_k X_{smkt} = Zk_s \sum_l X_{slmt} \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall t \in T \tag{۵}$$

$$\sum_j X_{smjt} = Rj_s \sum_l X_{slmt} \quad \forall s \in S, \quad \forall m \in M, \forall t \in T \tag{۶}$$

$$\sum_p X_{smpt} = Tp_s \sum_l X_{slmt} \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall t \in T \tag{۷}$$

$$\sum_n X_{smnt} = An_s \sum_l X_{slmt} \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall t \in T \tag{۸}$$

$$\sum_j X_{sjkt} = \sum_l X_{sklt} - \sum_m X_{smkt} \quad \forall s \in S, \quad \forall k \in K, \\
 \forall t \in T \tag{۹}$$

$$\sum_i X_{sijt} + \sum_m X_{smjt} + \sum_p X_{spjt} = \sum_p X_{spjt} \quad \forall s \in S, \\
 \forall k \in K, \forall t \in T \tag{۱۰}$$

$$\sum_m X_{smpt} = \sum_j X_{spjt} \quad \forall s \in S, \quad \forall p \in P, \forall t \in T \tag{۱۱}$$

$$\sum_s \sum_j X_{sijt} \leq Ca_i \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T \tag{۱۲}$$



$$\sum_s \sum_k X_{sjkt} \leq Ca_j \quad \forall j \in J, \quad \forall t \in T \quad (13)$$

$$\sum_s \sum_l X_{sklt} \leq Ca_k Y_k \quad \forall i \in I, \quad \forall t \in T \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \sum_s \sum_k Zk_s X_{smkt} + \sum_s \sum_j Rj_s X_{smjt} + \sum_s \sum_n An_s X_{smnt} \\ & + \sum_s \sum_p Tp_s X_{smpt} \\ & \leq Ca_m Y_m \quad \forall m \in M, \quad \forall t \in T \end{aligned} \quad (15)$$

$$\sum_s \sum_j X_{smjt} \leq Cap_{\setminus j} \quad \forall j \in J, \quad \forall t \in T \quad (16)$$

$$\sum_s \sum_m X_{smkt} \leq Cap_k Y_k \quad \forall k \in K, \quad \forall t \in T \quad (17)$$

$$\sum_s \sum_m X_{smnt} \leq Ca_n Y_n \quad \forall n \in N, \quad \forall t \in T \quad (18)$$

$$\sum_s \sum_m X_{smpt} \leq Ca_p Y_p \quad \forall p \in P, \quad \forall t \in T \quad (19)$$

$$\sum_s \sum_p X_{spjt} \leq Cap_{\setminus j} \quad \forall p \in P, \quad \forall t \in T \quad (20)$$

$$\sum_k Y_k \geq 1 \quad (21)$$

$$\sum_m Y_m \geq 1 \quad (22)$$

$$\sum_p Y_p \geq 1 \quad (23)$$

$$\sum_n Y_n \geq 1 \quad (24)$$

$$Rj_s + Zk_s + Tp_s + An_s = 1 \quad \forall s \in S \quad (25)$$

$$(M_{sijt} X_{sijt}) \leq A \quad \forall s \in S, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (26)$$

$$(M_{sjkt} X_{sjkt}) \leq B \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \quad \forall k \in K, \forall t \in T \quad (27)$$

$$(M_{sklt} X_{sklt}) \leq CY_k \quad \forall s \in S, \forall k \in K, \quad \forall l \in L, \forall t \in T \quad (28)$$

$$(M_{slmt} X_{slmt}) \leq DY_m \quad \forall s \in S, \forall l \in L, \quad \forall m \in M, \forall t \in T \quad (29)$$

$$(M_{smpt} X_{smpt}) \leq EY_p \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (30)$$

$$(M_{smnt}X_{smnt}) \leq FY_n \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall n \in N, \forall t \in T \quad (31)$$

$$(M_{smjt}X_{smjt}) \leq G \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (32)$$

$$(M_{smkt}X_{smkt}) \leq HY_k \quad \forall s \in S, \forall m \in M, \forall k \in K, \forall t \in T \quad (33)$$

$$(M_{spjt}X_{spjt}) \leq I \quad \forall s \in S, \forall p \in P, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (34)$$

$$\left( \sum_k F_{sjt}X_{sjkt} \right) \leq BB \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (35)$$

$$\left( \sum_m F_{spt}X_{smpt} \right) \leq EE(Y_p) \quad \forall s \in S, \forall p \in P, \forall t \in T \quad (36)$$

$$\left( \sum_m F_{snt}X_{smnt} \right) \leq FF(Y_n) \quad \forall s \in S, \forall n \in N, \forall t \in T \quad (37)$$

$$\left( \sum_m F_{\setminus sjt}X_{smjt} \right) \leq GG \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (38)$$

$$\left( \sum_p F_{\setminus sjt}X_{spjt} \right) \leq II \quad \forall s \in S, \forall j \in J, \forall t \in T \quad (39)$$

$$Y_k, Y_m, Y_p, Y_n \in (0, 1) \quad (40)$$

$$\begin{aligned} X_{sijt}, X_{sjkt}, X_{sklt}, X_{slmt}, X_{smjt}, X_{smkt}, X_{smpt}, \\ X_{smpt}, X_{smnt}, X_{spjt} \\ \geq 0 \end{aligned} \quad (41)$$

تابع هدف ۱ این مدل نشان‌دهنده حداقل‌سازی هزینه‌های جابه‌جایی و حمل‌ونقل محصولات در جریان مستقیم و معکوس و همچنین هزینه عملیات داخلی مراکز و هزینه ساخت تسهیلات می‌باشد. تابع هدف ۲ این مدل نشان‌دهنده حداقل‌سازی کربن‌دی‌اکسید تولید شده در مراکز و همچنین کربن‌دی‌اکسید تولید شده حاصل از جابه‌جایی وسیله نقلیه در بین مراکز می‌باشد. محدودیت ۳ تضمین می‌کند که در جریان مستقیم تقاضای مشتریان پاسخ داده شود. محدودیت ۴ تضمین می‌کند در جریان برگشتی تمام کالاهای مرجوعی جمع‌آوری شده و به محل جمع‌آوری منتقل شود. محدودیت‌های ۵ تا ۸ تضمین می‌کنند کالاهای وارد شده به محل جمع‌آوری برابر کالاهای خارج شده از آن می‌باشند. محدودیت ۹ تضمین می‌کند کالاهای وارد شده به مرکز توزیع برابر کالاهای خارج شده از آن می‌باشند. محدودیت ۱۰ تضمین



می‌کند کالاهای وارد شده به مرکز تولید برابر کالاهای خارج شده از آن می‌باشند. محدودیت ۱۱ تضمین می‌کند کالاهای وارد شده به محل بازیافت برابر کالاهای خارج شده از آن می‌باشند. محدودیت‌های ۱۲ تا ۲۰ به ترتیب مربوط به محدودیت‌های ظرفیت مراکز تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده، جمع‌آوری، ظرفیت محصولات مرجوعی رسیده از مرکز جمع‌آوری در مراکز تولید، ظرفیت محصولات مرجوعی مراکز توزیع، ظرفیت مراکز دفن‌وانهدام، بازیافت و ظرفیت محصولات مرجوعی رسیده از مرکز بازیافت در مراکز تولید می‌باشند. محدودیت‌های ۲۱ تا ۲۴ تضمین می‌کنند که حداقل یکی از مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن‌وانهدام فعال باشند. محدودیت ۲۵ تضمین می‌کند مجموع ضرایب محصولات بازگشتی برابر ۱ باشد. محدودیت‌های ۲۶ تا ۳۴ ظرفیت تولید کربن‌دی‌اکسید را در اثر حمل‌ونقل بین مراکز برای هر نوع محصول نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۳۵ تا ۳۹ ظرفیت کربن‌دی‌اکسید تولیدی را به ترتیب در مراکز تولید، بازیافت، دفن‌وانهدام، مرجوعی ۱ در مراکز تولید و مرجوعی ۲ در مراکز تولید را نشان می‌دهد. محدودیت‌های ۴۰ و ۴۱ نوع متغیرهای مسأله را نشان می‌دهند.

#### ۴- نتایج محاسباتی

##### ۴-۱- نتایج حل مسأله

به‌منظور نشان دادن ویژگی‌های مدل و اجرایی کردن آن، مدل پیشنهاد شده برای حل یک مثال عددی بکار گرفته شده است. مسأله موردنظر شامل ۱۰ تأمین‌کننده، ۶ تولیدکننده، ۸ توزیع‌کننده بالقوه، ۱۵ مشتری، ۸ مرکز جمع‌آوری بالقوه، ۶ مرکز بازیافت بالقوه، ۷ مرکز دفن‌وانهدام بالقوه است. در جریان مدل مربوطه ۱۰ محصول تولیدی وجود دارد. در این مدل تعداد دوره‌های زمانی برابر ۲ دوره در نظر گرفته شده است. دیگر پارامترهای مدل در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱ مقادیر اسمی پارامترهای مدل در بازه توزیع یکنواخت

محدوده	نماد	محدوده	نماد	محدوده	نماد	محدوده	نماد	محدوده	نماد
(۷۰، ۸۰)	$M_{smjt}$	(۱۰، ۲۰)	$P_k$	(۸۰۰، ۱۰۰۰)	$Ca_i$	(۴۰۰۰، ۸۰۰۰)	$F_n$	(۲۰، ۲۵)	$Q_{slt}$
(۵۵، ۶۵)	$M_{smkt}$	(۸، ۱۲)	$P_m$	(۱۵۰۰، ۱۰۰۰۰)	$Ca_j$	(۵، ۸)	$C_{sijt}$	(۸، ۱۰)	$W_{slt}$
(۹۰، ۱۰۰)	$M_{spjt}$	(۳۵، ۴۰)	$P_p$	(۱۵۰، ۱۰۰)	$Cap_{1j}$	(۸، ۱۰)	$C_{sjkt}$	۱	$Em_s$
(۵۰، ۶۰)	$F_{sjt}$	(۱۰، ۲۰)	$P_n$	(۱۵۰، ۱۰۰)	$Cap_{2j}$	(۱۲، ۱۵)	$C_{skt}$	(۰، ۱)	$Rj_s$
(۷۰، ۸۰)	$F_{spt}$	(۳۰، ۴۰)	$M_{sijt}$	(۸۰۰، ۱۰۰۰)	$Ca_k$	(۴، ۶)	$C_{slmt}$	(۰، ۱)	$TP_s$
(۵۰، ۶۰)	$F_{snt}$	(۵۰، ۶۰)	$M_{sjkt}$	(۱۵۰، ۱۰۰)	$Cap_k$	(۳، ۵)	$C_{smp}$	(۰، ۱)	$An_s$
(۵۰، ۶۰)	$F_{1sjt}$	(۶۰، ۷۰)	$M_{skt}$	(۱۲۰۰، ۱۰۰۰۰)	$Ca_m$	(۵، ۷)	$C_{smn}$	(۰، ۱)	$Zk_s$
(۴۰، ۵۵)	$F_{2sjt}$	(۳۰، ۴۰)	$M_{slmt}$	(۴۰۰، ۵۰۰)	$Ca_p$	(۷، ۹)	$C_{smjt}$	(۱۰۰۰۰، ۲۰۰۰۰)	$F_k$
(۴۰۰۰، ۲۰۰۰)	A, B, C, E, F, G, H, I	(۶۰، ۷۰)	$M_{smp}$	(۲۵۰، ۲۰۰)	$Ca_n$	(۳، ۷)	$C_{smk}$	(۳۰۰۰۰، ۴۰۰۰۰)	$F_m$
(۴۰۰۰، ۲۰۰۰)	BB, EE, F, G, II	(۴۵، ۵۵)	$M_{smn}$	(۲۰، ۲۵)	$P_j$	(۷، ۱۰)	$C_{spjt}$	(۸۰۰۰، ۱۲۰۰۰)	$F_p$

در مسائل چندهدفه غالباً تضاد در اهداف وجود دارد. این مقاله به دنبال این است که هر دو تابع هدف را به‌طور همزمان بهینه کند. در این مسأله توابع هدف با استفاده از ترکیب خطی دو تابع، به یک تابع هدف تبدیل می‌شوند [۲۰، صص ۵۵۹-۵۷۰].

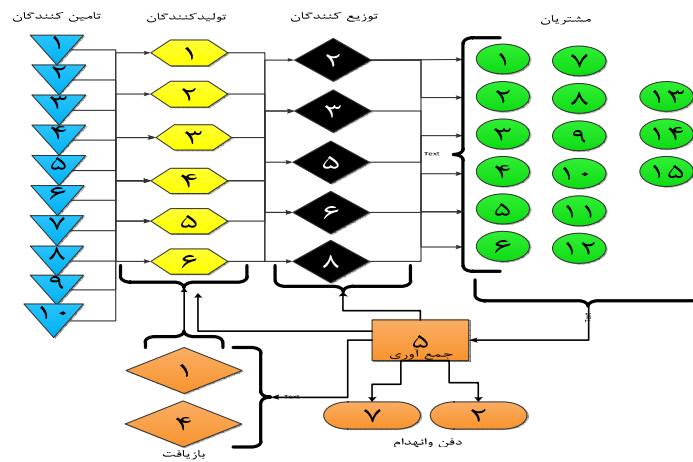
$$\min z = \lambda \frac{f_1 - f_1^*}{f_1^*} + (1 - \lambda) \frac{f_2 - f_2^*}{f_2^*}$$

این اندازه‌گیری فاصله بین جواب بهینه پارتو و نقطه بهینه ایده‌آل را محاسبه می‌کند.  $f_i$  مقدار تابع هدف  $i$  حاصل از جواب بهینه پارتو و  $f_i^*$  مقدار تابع هدف نقطه ایده‌آل می‌باشد. چون اختلاف توابع هدف مقیاس متفاوتی دارد فاصله‌های نرمالیزه شده بر مقدار نقطه ایده‌آل تقسیم می‌شوند. بدین‌صورت توابع هدف به روش نرمالیزه کردن هم‌فاز شده و  $\lambda$  وزن تابع



هدف  $f_1$  و  $(1 - \lambda)$  وزن تابع هدف  $f_2$  می‌باشد که مرتبط با نظر تصمیم‌گیرنده هستند و به وسیله این روش مقدار تابع نرمالایز به دستمی‌آید. کمتر بودن مقدار  $\min Z$  نشان از مزیت بیشتر آن برای تصمیم‌گیرنده است.

مدل مربوطه در نرم‌افزار CPLEX 12.3 برنامه‌نویسی شده و ستادهنرم افزار نشان داده شده است. تمام محاسبات به کمک رایانه با پردازش گر CPU Intel@Core I7 و RAM 8GB در سیستم عامل ویندوز seven انجام شده است. مقدار تابع هدف نرمالایز شده در صورت در نظر گرفتن  $\lambda = 0.5$  در نرم‌افزار مربوطه برابر  $10^{-11} * 3.25806048$  است که در مدت 17/52 ثانیه حل گردیده است. در این نمونه که با 10 محصول حل شده است مراکز  $Y(m = 5) = 1$  و  $Y(k = 2, 3, 5, 6, 8) = 1$  و  $Y(p = 1/4) = 1$  و  $Y(n = 2/7) = 1$  ساخته می‌شوند. در این نمونه فرض شده است که  $Rj_s = 0.3$ ,  $An_s = 0.3$ ,  $Zk_s = 0.2$ ,  $Tp_s = 0.1$  می‌باشند. شکل شماره 2 شبکه زنجیره تأمین این نمونه را نشان می‌دهد.



شکل 2 شبکه زنجیره تأمین چندمرحله‌ای



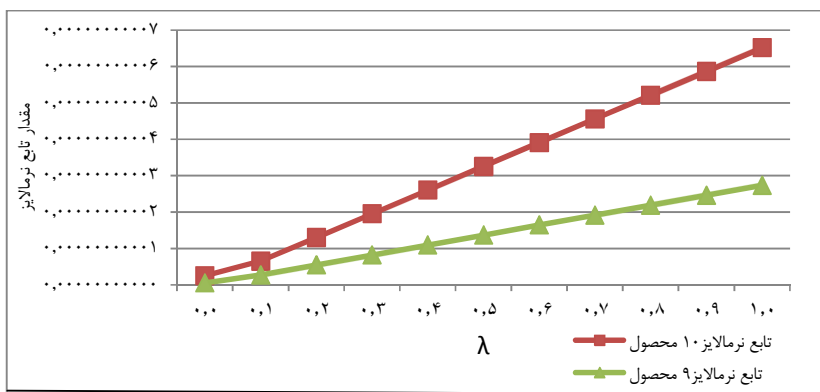
#### ۲-۴- تحلیل حساسیت

مدل مربوطه به وسیله ۲ نمونه مسأله مورد تحلیل قرار گرفته است که نمونه اول شامل ۱۰ محصول و نمونه دوم شامل ۹ محصول می‌باشد و مقادیر تابع نرمالایز به ازای  $\lambda = 0$  تا  $\lambda = 1$  به ازای گام‌های ۰,۱ مورد مقایسه قرار گرفته است. همچنین زمان حل به ازای هر کدام از آنها به دست آمده و در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲ مقادیر تابع نرمالایز و زمان حل به ازای  $\lambda$ های مختلف

$\lambda$	تابع نرمالایز ۱۰ محصول	زمان حل ۱۰ محصولی (s)	تابع نرمالایز ۹ محصول	زمان حل ۹ محصولی (s)
۰	$2/52445 * 10^{-12}$	۰/۵	$5/4022 * 10^{-12}$	۱۳۰۹۹
۰/۱	$6/52445 * 10^{-12}$	۶۱	$2/74025 * 10^{-12}$	۱۰۸۳۲
۰/۲	$1/30155 * 10^{-11}$	۱۷/۷۴	$5/46785 * 10^{-12}$	۱۳۰۹۹
۰/۳	$1/95434 * 10^{-11}$	۱۵/۳۸	$8/20477 * 10^{-12}$	۱۰۸۳۲
۰/۴	$2/60431 * 10^{-11}$	۱۶/۶۵	$1/09448 * 10^{-11}$	۱۳۰۹۹
۰/۵	$3/25607 * 10^{-11}$	۱۷/۵۲	$1/36866 * 10^{-11}$	۱۰۸۳۲
۰/۶	$3/90711 * 10^{-11}$	۱۴/۲۹	$1/64609 * 10^{-11}$	۱۳۰۹۹
۰/۷	$4/55792 * 10^{-11}$	۹/۱	$1/91593 * 10^{-11}$	۱۰۸۳۲
۰/۸	$5/21022 * 10^{-11}$	۱۲/۰۳	$2/18918 * 10^{-11}$	۱۳۰۹۹
۰/۹	$5/85999 * 10^{-11}$	۱۱/۲۵	$2/46303 * 10^{-11}$	۱۰۸۳۲
۱	$6/51162 * 10^{-11}$	۱۱/۷۸	$2/73597 * 10^{-11}$	۱۳۰۹۹

مقادیر تابع نرمالایز به ازای ۱۰ محصول و ۹ محصول در نمودار ۱ نشان داده شده است.



نمودار ۱ تابع هدف به ازای λهای مختلف

همان‌طور که از نمودار ۱ مشخص است مقادیر تابع نرمالایز به ازای افزایش  $\lambda$  افزایش می‌یابد یعنی با افزایش  $\lambda$  تابع هدف اول تأثیر بیشتری در تابع نرمالایز می‌گذارد و هزینه‌های بیشتری به زنجیره تأمین تحمیل می‌شود بنابراین باید به سمتی برویم که به تابع هدف دوم توجه بیشتری شود و وزن مربوط به آن افزایش یابد تا هزینه کمتری به زنجیره تأمین وارد شود. به‌طور کلی کاهش مقادیر کربن‌دی‌اکسید در داخل مراکز و بین مراکز در زنجیره تأمین اولویت بیشتری نسبت به کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز و پردازش و ساخت مراکز دارد.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله برای برنامه‌ریزی یکپارچه (مستقیم و معکوس) در زنجیره تأمین بسته یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته به‌صورت قطعی و چندهدفه توسعه داده شده است که هدف اول آن شامل کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل بین مراکز، هزینه‌های ساخت مراکز بالقوه و هزینه‌های پردازش داخلی مراکز می‌باشد و هدف دوم شامل کمینه‌سازی کل میزان کربن‌دی‌اکسید منتشر شده در داخل مراکز مربوطه و در اثر حمل‌ونقل بین مراکز می‌باشد. توانایی مدل جدید در نظر گرفتن دو هدف کاهش هزینه و کربن‌دی‌اکسید به‌صورت همزمان نسبت به

بهینه‌سازی هریک از این توابع به صورت جدا در مدل‌های مشابه می‌باشد و اینکه برای جلوگیری از آلودگی‌های زیست‌محیطی محدودیت تولید کربن‌دی‌اکسید را در داخل و بین مراکز در نظر می‌گیرد. در مدل مربوطه با تخصیص وزن به هر یک از توابع هدف و نرمالیزه کردن، دو تابع هدف هم‌فاز شده‌اند و اثبات شد که با افزایش وزن تابع هدف کربن‌دی‌اکسید مقدار تابع نرمالیزه شده کاهش می‌یابد بنابراین کمیته‌سازی تابع هدف کربن‌دی‌اکسید اهمیت بیشتری دارد. همچنین به ازای افزایش یک واحد در تعداد محصولات، مقدار تابع نرمالیزه شده افزایش می‌یابد و این مقدار، با افزایش وزن تابع هدف هزینه، اختلاف بیشتری نسبت به حالت ۹ محصولی پیدا می‌کند، بنابراین افزایش تعداد محصولات باعث افزایش هزینه‌های زنجیره‌تأمین می‌شود. به‌منظور تحقیقات آتی می‌توان عدم قطعیت در تقاضا و محصولات بازگشتی را در مدل بررسی نمود و از رویکردهای فازی، احتمالی مبتنی بر سناریو و یا بهینه‌سازی استوار استفاده نموده و از روش‌های فراابتکاری برای حل مدل بهره برد.

## ۷- پی‌نوشت‌ها

1. Supply chain network design

## ۸- منابع

- [1] H. Baumgarten, B. Christian, F. Annerous, S.D. Thomas, (2003), Supply chain management and reverse logistics-integration of reverse logistics processes into supply chain management approaches, in: Proceedings of the Electronics and the Environment, on IEEE International Symposium, *IEEE Computer Society, Washington* pp. 79-83.
- [2] F. Schultmann, Z. Moritz, R. Otto, (2006), Modeling reverse logistic tasks within closed-loop supply chains: an example from the automotive industry, *European Journal of Operational Research*. 171. pp.1033-1050.
- [3] M. Fleischmann, P. Beullens, J.M. Bloemhof-ruwaard, L. Wassenhove, (2001), The impact of product recovery on logistics network design, *Production and*

- Operation Management*. 10, pp. 156–173.
- [4] D. Lee, M. Dong, (2008) A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery, *Transportation Research Part E*. pp. 44 455–474.
- [5] S. Verstrepen, F. Cruijssen, M. de Brito, W. Dullaert, (2007) An exploratory analysis of reverse logistics in Flanders, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*. 7 (4). Pp. 301–316.
- [6] M.R. Pishvae, R.Z. Farahani, W. Dullaert, (2010) A memetic algorithm for bi-objective integrated forward/reverse logistics network design, *Computers & Operations Research*; 37 (6), pp. 1100–1112.
- [7] Z.M. Shen, I. (2007). Integrated supply chain design models: A survey and future research directions, *Journal of Industrial and Management Optimization*. 3 (1).
- [8] D.H. Lee, M. Dong, (2009), Dynamic network design for reverse logistics operations under uncertainty, *Transportation Research Part E*. 45, pp. 61–71.
- [9] M. Biehl, E. Prater, M.J. Realf, (2007), Assessing performance and uncertainty in developing carpet reverse logistics systems, *Computers & Operations Research*. 34, pp. 443–463.
- [10] H. Üster, G. Easwaran, E. Akçali, S. Çetinkaya, (2007), Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model, *Naval Research Logistics*. 54, pp. 890–907.
- [11] G. Kannan, P. Sasikumar, K. Devika, (2010), A genetic algorithm approach for solving a closed loop supply chain model: A case of battery recycling, *Applied Mathematical Modelling*. 34, pp. 655–670.
- [12] M. El-Sayed, N. Afia, A. El-Kharbotly, (2010), A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk, *Computers & Industrial Engineering*. 58, pp. 423–431.
- [13] R.Z. Farahani, M. SteadieSeifi, N. Asghari, (2010), Multiple criteria facility location problems: A survey, *Applied Mathematical Modelling*. 34, pp. 1689–

1709.

- [14] M. Goh, J.Y.S. Lim, F. Meng, (2007), A stochastic model for risk management in global chain networks, *European Journal of Operational Research*. 182 (1), pp. 164–173.
- [15] A. Azaron, K.N. Borwn, S.A. Tarim, M. Modarres, (2008) A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk, *International Journal of Production Economics*. 116, pp. 129–138.
- [16] Darabi, N. Barzin Poor, F. Makuyi, A. (2011). May provide a model for integrated design the direct and reverse logistics network considering pricingreturn product, Logistics and Supply Chain Conference.
- [17] Zegordi, H. AmalNic, M.Yavari, M. (2012). The timing of repair returned products to determine the size and order spare parts in reverse logistics bilevel, *Journal of Industrial Engineering*, 46.
- [18] Tavakoli Moghadam, R. Rekavandy Omid, M. Ghodrat Nema, A. (2013). Mathematical modeling to design integrated forward and reverse logistics network, *Management research in Iran*, 17 .
- [19] Soltani Tehrani, M.mosaddegh Khah, M, Hassanpour, H. (2014). Forward and reverse logistics model optimization (integrated ) multi-level, multi-product, multi –periodwith the aim of reducing costs in supply chain, Logistics and Supply Chain Conference.
- [20] Dehghanian, F. Mansour, S. (2009) Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm, *Resources, Conservation and Recycling*, 53, pp. 559–570.