

## در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی در مدل طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته

احسان یادگاری<sup>۱\*</sup>، الهام بهمنش<sup>۲</sup>، اکبر عالم تبریز<sup>۳</sup>، فرهاد فرزد<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مدیریت و حسابداری

۲- دانشجوی کارشناس ارشد دانشگاه مازندران، دانشکده ریاضی

۳- دانشیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مدیریت و حسابداری

۴- استادیار گروه مدیریت صنعتی دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مدیریت و حسابداری

رسید مقاله: ۱ بهمن ۱۳۹۱

پذیرش مقاله: ۲۷ خرداد ۱۳۹۲

### چکیده

مسائل طراحی شبکه لجستیک شامل تصمیمات استراتژیکی می‌شوند که به پیکربندی زنجیره تامین اشاره و به عنوان مسایل زیرساختاری در مدیریت زنجیره تامین، اثرات دیرپایی روی تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی شرکت دارند. مقاله حاضر به طراحی یک مدل غیرخطی طراحی شبکه لجستیکی مستقیم و معکوس چندمحصولی، چند رده‌ای با در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی می‌پردازد که در نتیجه آن مکان مناسب برای احداث تسهیلات از بین مکان‌های بالقوه، ظرفیت مناسب هر تسهیل و هم‌چنین میزان جریان بهینه بین هر یک از لایه‌های شبکه به دست می‌آید.

**کلمات کلیدی:** طراحی شبکه زنجیره تامین، لجستیک حلقه بسته، برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح آمیخته.

### ۱ مقدمه

توسعه روزافزون رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات، موجب شده که سازمان‌ها جهت بقای خود در بازار، تلاش‌های چشم‌گیری در راستای تامین و تدارک، تولید، توزیع کالا در شرکت خود به کار گیرند تا توان پاسخگویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند. در سالیان اخیر و با تشدید فضای رقابتی این موضوع که به عنوان یک عنصر در حیات اقتصادی و صنعتی شناخته شده است؛ بیش از پیش به عنوان یک مساله بسیار مهم مورد توجه قرار گرفته. در این میان مدیریت زنجیره تامین (SCM) به عنوان یکی از شاخه‌های مهم تحقیقاتی مورد توجه دانشگاهیان و نیز مدیران کلان سازمان‌های تولیدی و بنگاه‌های تجاری بوده است. مساله طراحی شبکه لجستیک جزو تصمیمات استراتژیکی است که به پیکربندی زنجیره تامین

\* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: ehsanyadegari@yahoo.com ; e.yadegari@mail.sbu.ac.ir

اشاره دارد و به عنوان یک مساله زیرساختاری در مدیریت زنجیره تامین اثرات دیرپایی روی سایر تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی شرکت دارد. در حالت کلی پروژه طراحی شبکه مقدار زیادی سرمایه را به خود اختصاص می دهد و تسهیلاتی که در حال حاضر مستقر می شوند؛ انتظار می رود که برای دوره زمانی طولانی مدت به کار گرفته شوند.

اخیراً به دلیل تمهیدات دولت، مسایل زیست محیطی و آلودگی و مسایل احتمالی و نیاز مشتریان توجه رو به رشدی به لجستیک معکوس شده و از طرفی در دودهه اخیر سازمان های زیادی مانند کوداک و زیراکس بر فعالیت های تولید مجدد و بازیافت تمرکز کرده و به موفقیت های چشم گیری از لحاظ اقتصادی دست یافته اند که می توان این امر را یکی دیگر از عوامل محرک به رو آوردن شرکت ها به برنامه ریزی، اجرا و کنترل لجستیک معکوس به حساب آورد. از طرفی طراحی شبکه های لجستیکی مستقیم و معکوس به صورت جدا از هم موجب رویارویی سازمان ها با زیربهنگی می شود که این امر به اهمیت در نظر گرفتن شبکه ها به صورت یکپارچه مستقیم و معکوس می افزاید.

## ۲ مرور مقالات

بیشتر ادبیات موجود در زمینه طراحی شبکه های لجستیک شامل مدل های مختلف مکان یابی تسهیلات بر پایه برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته است. این مدل ها انواع مختلفی را از مدل های ساده نظیر مکان یابی تسهیلات با ظرفیت نامحدود تا مدل های پیچیده تر نظیر مدل های چند رده ای با ظرفیت محدود شامل می شوند. جایارامان و همکاران یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف حداقل سازی هزینه ارائه دادند. در این مقاله تنها به فعالیت های احیا محصولات برگشتی پرداخته شده است [۱]. یکی از عوامل مهم در طراحی شبکه لجستیک معکوس عدم قطعیت در تقاضا و هم چنین نوع و کیفیت محصولات برگشتی است. لیستس و دکر با در نظر گرفتن این موضوع در یک شبکه بازیافت سنگ به ارائه یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح پرداختند [۲]. آراس و همکاران به ارائه یک مدل غیر خطی برای تعیین محل مراکز جمع آوری محصولات مصرف شده در یک شبکه ساده لجستیک معکوس پرداخته اند و نکته قابل توجه در این مقاله توانایی مدل برای تعیین قیمت خرید محصولات مصرف شده از دارندگان آن می باشد [۳]. آستر و همکاران یک شبکه نیمه یکپارچه را که در آن شبکه لجستیک مستقیم، موجود فرض شده و تنها مراکز جمع آوری و احیا در لجستیک معکوس مکان یابی می شوند؛ طراحی کردند [۴]. برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته فراهم آورندگان خدمات لجستیک طرف سوم، کو و ایوانز یک مدل پیشرفته دو هدفه برنامه ریزی عدد صحیح آمیخته با ادغام مراکز توزیع با مراکز جمع آوری و مراکز احیا ارائه دادند. البته از حالت های مختلف احیا تنها جنبه تعمیرات مورد توجه قرار گرفت [۵]. افلیسچمن نشان داد که طراحی شبکه لجستیک به طور یکپارچه و همزمان در مقایسه با رویکرد سنتی می تواند موجب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه ها گردد. سالما و همکاران (۲۰۰۷) سعی بر آن داشته تا با رفع ضعف های موجود در مقاله افلیسچمن مدلی عام تر به کمک برنامه ریزی خطی عدد صحیح آمیخته ارائه دهند [۶]. یکی دیگر از مقالاتی که به خوبی به طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس

پرداخته؛ مقاله لی و دانگ است که در آن از یک نوع تسهیل ترکیبی که هم نقش مراکز توزیع در جریان مستقیم و هم نقش مراکز جمع آوری در جریان معکوس را بر عهده دارد که برای طراحی شبکه لجستیک محصولات رایانه‌ای استفاده شده است [۷]. وانگ و سو یک لجستیک حلقه‌بسته توسعه دادند که در آن جریان‌های رو به جلو و برگشتی از مراکز توزیع به عنوان تسهیلات ترکیبی استفاده کردند و هم‌چنین آن‌ها الگوریتم ژنتیک بر مبنای درخت گسترده را برای حل مدل ارائه دادند [۸]. پشویی و همکاران یک مدل طراحی شبکه زنجیره تامین رو به - جلو/ برگشتی دو هدفه ارائه دادند که در آن هزینه‌ها و پاسخگویی شبکه لجستیک به عنوان اهداف در نظر گرفته شده است. هم‌چنین آن‌ها یک الگوریتم ممتیک چند هدفه را با به کار بردن سه جستجو محلی مختلف جهت به دست آوردن جواب‌های غیر مسلط توسعه دادند [۹].

در بخش سوم، مدل پیشنهادی بیان شده و ویژگی‌های آن شرح داده می‌شود. در بخش چهارم، نتایج عددی برای تایید مدل پیشنهادی به همراه تجزیه و تحلیل آن تشریح خواهد شد. در انتهای این مقاله، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات بعدی در قالب بخش پنجم آورده خواهند شد.

### ۳ تشریح مساله و بیان مدل دریافتی

شبکه یکپارچه لجستیکی مستقیم/ معکوس به صورت یک مدل چند کالایی و چند رده‌ای ارائه گردیده است. در مدل طراحی شده در جریان مستقیم مواد اولیه برای تولید محصولات از تأمین کنندگان به مراکز تولید و احیا منتقل می‌شوند و سپس کالاهای تولید شده از مراکز تولید به مراکز توزیع و از آن‌جا به مشتریان منتقل می‌شوند.

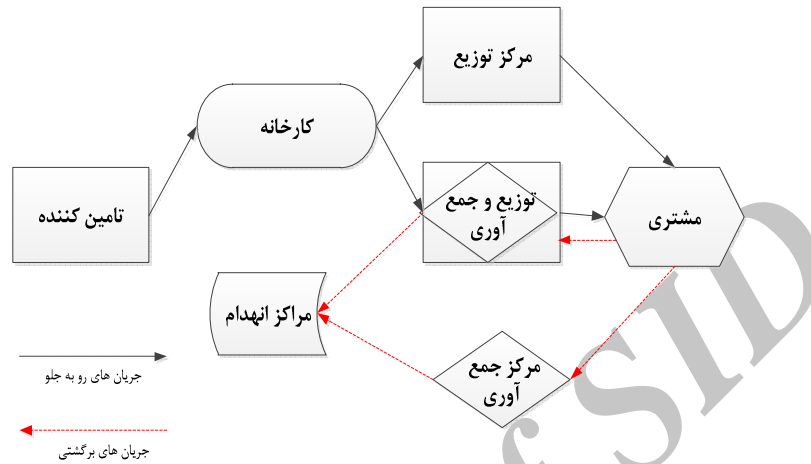
در جریان معکوس، محصولات برگشتی پس از جمع آوری و بازرسی به سه گروه محصول قابل احیا، محصول نیاز به بازسازی و محصولات قراضه تقسیم می‌شوند. محصولات قابل احیا به مراکز تولید و احیا حمل شده و عملیات ساخت مجدد (احیا) روی آن‌ها انجام می‌گیرد. محصولات برگشتی که نیاز به بازسازی دارند به مراکز تأمین کنندگان انتقال می‌یابند و عملیات جداسازی روی آن‌ها انجام گرفته؛ قطعات قابل استفاده آن‌ها در اختیار تأمین کنندگان قرار می‌گیرد تا مجدداً از طریق جریان مستقیم وارد جریان تولید گردند و در نهایت محصولات قراضه به مراکز انهدام حمل شده؛ عملیات انهدام ایمن روی آن‌ها صورت می‌گیرد.

نکته مهم دیگری که در این مدل مورد توجه قرار گرفته است؛ استفاده از تسهیلات ترکیبی توزیع و جمع آوری است. این تسهیلات در جریان مستقیم نقش مراکز توزیع و در جریان معکوس نقش مراکز جمع آوری را ایفا می‌کنند و استفاده از این تسهیلات باعث صرفه‌جویی در هزینه‌های احداث می‌گردد. از دیگر ویژگی‌های مدل ارائه شده می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

جریان مواد تنها بین دو سطوح متوالی از لایه‌های شبکه می‌تواند برقرار شود و هم‌چنین میزان مرادده بین تسهیلات در یک لایه وجود ندارد و در ضمن ظرفیت مربوط به تسهیلات به عنوان یک متغیر در نظر گرفته شده است. از مهم‌ترین تصمیمات اتخاذ شده در مدل ارائه شده می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مکان‌یابی و تعیین ظرفیت ایجاد هر یک از تسهیلات (مراکز تولید و احیا، مراکز توزیع، مراکز جمع آوری و بازرسی و مراکز انهدام) از مجموعه مکان‌های بالقوه برای احداث هر یک از آن‌ها.

- مقدار تولید هر یک از محصولات نهایی در هر یک از مراکز تولید.
- میزان محصول ارسالی بین اجزای شبکه.
- سطح ظرفیت مناسب برای هر یک از تسهیلات



شکل ۱. شبکه زنجیره تامین حلقه بسته

در ادامه به توضیح مدل حلقه بسته پیشنهادی پرداخته می شود که قبل از آن تعریفی از مجموعه ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم ارایه گردیده است.

### ۱-۳ مجموعه ها

مجموعه محصولات تولیدی.	$P$
مجموعه سطوح ظرفیت موجود برای تسهیلات.	$N$
مجموعه مکان های ثابت تأمین کنندگان.	$V$
مجموعه مکان های بالقوه مراکز تولید و احیا.	$I$
مجموعه مکان های بالقوه مراکز توزیع.	$J$
مجموعه مکان های ثابت مشتریان.	$K$
مجموعه مکان های بالقوه مراکز جمع آوری و بازرسی.	$L$
مجموعه مکان های بالقوه مراکز انهدام.	$M$
مجموعه مکان های بالقوه ترکیبی مراکز جمع آوری و مراکز توزیع.	$E$

### ۲-۳ پارامترها

$d_{kp}$  تقاضای مشتری مرکز  $k$  برای محصول  $p$

$pr_p$	قیمت فروش واحد محصول $p$ .
$pc_{ip}$	هزینه واحد تولید محصول $p$ در کارخانه $i$ .
$OC_j$	هزینه واحد عملیاتی در مرکز توزیع $j$ .
$IC_l$	هزینه واحد بازرسی در مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ .
$RMC_{ip}$	هزینه واحد دوباره تولید محصول $p$ در کارخانه $i$ .
$RSC_p$	هزینه واحد بازسازی محصول $p$ .
$DC_p$	هزینه واحد انهدام محصول $p$ .
$CVI_{vip}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از تأمین کننده $v$ به کارخانه $i$ .
$CIJ_{ijp}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $j$ .
$CJK_{jkp}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از مرکز توزیع $j$ به مرکز مشتری $k$ .
$CKL_{klp}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از مرکز مشتری $k$ به جمع آوری / بازرسی $l$ .
$CLM_{lmp}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ به مرکز انهدام $m$ .
$CLI_{lip}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ به کارخانه $i$ .
$CLV_{lvp}$	هزینه واحد حمل و نقل محصول $p$ برای انتقال از مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ به تأمین کننده $v$ .
$CAV_{vp}$	ظرفیت تأمین کننده $v$ برای محصول $p$ .
$CAI_{ip}^n$	ظرفیت تولید برای مرکز تولید / احیای $i$ برای محصول $p$ با سطح ظرفیت $n$ .
$CAJ_{jp}^n$	ظرفیت مرکز توزیع $j$ برای محصول $p$ با سطح ظرفیت $n$ .
$CAL_{lp}^n$	ظرفیت مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ برای محصول $p$ با سطح ظرفیت $n$ .
$CAM_{mp}^n$	ظرفیت مرکز انهدام $m$ با سطح ظرفیت $n$ .
$CAR_{rp}^n$	ظرفیت احیا برای مرکز تولید / احیا $i$ برای محصول $p$ با سطح ظرفیت $n$ .
$CAS_{sp}^n$	ظرفیت بازسازی برای تأمین کننده $v$ برای محصول $p$ با سطح ظرفیت $n$ .
$FX_i^n$	هزینه ثابت تاسیس مرکز تولید / احیا در مکان $i$ با سطح ظرفیت $n$ .
$FY_j^n$	هزینه ثابت تاسیس مرکز توزیع در مکان $j$ با سطح ظرفیت $n$ .
$FZ_l^n$	هزینه ثابت تاسیس مرکز جمع آوری / بازرسی در مکان $l$ با سطح ظرفیت $n$ .
$FU_m^n$	هزینه ثابت تاسیس مرکز انهدام در مکان $m$ با سطح ظرفیت $n$ .
$F_e^{m'}$	میزان هزینه صرفه جویی شده در اثر ادغام مرکز توزیع با سطح ظرفیت $n$ با مرکز جمع آوری / بازرسی با سطح ظرفیت $n'$ در مکان $e$ .
$rk_p$	متوسط نرخ برگشت محصول $p$ که توسط مشتریان برگشت داده می شود.

$ri_p$	نرخ دوباره تولید محصول $p$ .
$rm_p$	نرخ انهدام محصول $p$ .
$rv_p$	نرخ بازسازی محصول $p$ .

### ۳-۳ متغیرهای تصمیم

#### ۱-۳-۳ متغیرهای تصمیم پیوسته

$QVI_{vip}$	مقدار محصول $p$ که در کارخانه $i$ با استفاده از مواد اولیه تأمین کننده $v$ تولید می شود.
$QIJ_{ijp}$	مقدار محصول $p$ که از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $j$ فرستاده می شود.
$QJK_{jkp}$	مقدار محصول $p$ که از مرکز توزیع $j$ به مشتری $k$ فرستاده می شود.
$QKL_{klp}$	مقدار محصول $p$ که از مشتری $k$ به مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ فرستاده می شود.
$QLI_{lip}$	مقدار محصول $p$ که از مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ به مرکز تولید و احیا $i$ فرستاده می شود.
$QLV_{lvp}$	مقدار محصول $p$ که از مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ به مرکز تأمین کننده $v$ فرستاده می شود.
$QLM_{lmp}$	مقدار محصول $p$ که از مرکز جمع آوری / بازرسی $l$ به مرکز انهدام $m$ فرستاده می شود.

#### ۲-۳-۳ متغیرهای تصمیم گسسته

۱: اگر مرکز تولید / احیا  $i$  با سطح ظرفیت  $n$  تاسیس شود.  
 ۰: در غیر این صورت

}  $X_i^n$

۱: اگر مرکز توزیع  $j$  با سطح ظرفیت  $n$  تاسیس شود.  
 ۰: در غیر این صورت

}  $Y_j^n$

۱: اگر مرکز انهدام  $m$  در سطح ظرفیت  $n$  تاسیس شود.  
 ۰: در غیر این صورت

}  $U_m^n$

### ۴-۳ بیان ریاضی مدل

#### ۱-۴-۳ تابع هدف

$$Max Z = TI - TC \quad (1)$$

$$TI = \sum_j \sum_k \sum_p QJK_{jkp} \cdot Pr_p \quad (2)$$

$$TC = \sum_i \sum_n FX_i^n \cdot X_i^n + \sum_j \sum_n FY_j^n \cdot Y_j^n + \sum_j \sum_k \sum_p QJK_{jkp} \cdot OC_j \quad (3)$$

$$\begin{aligned}
 & + \sum_k \sum_l \sum_p QKL_{klp} IC_l + \sum_l \sum_i \sum_p QLI_{lip} RMC_{ip} + \sum_l \sum_v \sum_p QLV_{lvp} RSC_p \\
 & + \sum_l \sum_m \sum_p QLM_{lmp} DC_p + \sum_v \sum_i \sum_p QVI_{vip}^t CVI_{vip} + \sum_i \sum_j \sum_p QIJ_{ijp}^t CIJ_{ijp} \\
 & + \sum_j \sum_k \sum_p QJK_{jkp} CJK_{jkp} + \sum_k \sum_l \sum_p QKL_{klp}^t CKL_{klp} + \sum_l \sum_i \sum_p QLI_{lip}^t CLI_{lip} \\
 & + \sum_l \sum_v \sum_p QLV_{lvp}^t CLV_{lvp} + \sum_l \sum_m \sum_p QLM_{lmp} CLM_{lmp}
 \end{aligned}$$

تابع هدف مدل تمرکز بر بیشینه‌سازی سود کل شبکه دارد؛ بدین صورت که کل هزینه‌های شبکه از درآمد کل شبکه کسر می‌شود. درآمد حاصل از فروش از ضرب جریان مواد انتقالی از مراکز توزیع به مشتریان در قیمت فروش محصولات حاصل می‌شود و هزینه‌های شبکه زنجیره تامین شامل هزینه ثابت احداث تسهیلات، هزینه تولید محصولات در کارخانه‌ها، هزینه عملیاتی در مراکز توزیع، هزینه بازرسی در مراکز جمع‌آوری، هزینه دوباره تولید در کارخانه‌ها، هزینه دوباره تولید در کارخانه‌ها، هزینه بازرسی برای تامین کنندگان و هزینه انهدام در مراکز انهدام و هزینه‌های حمل و نقل بین لایه‌های شبکه زنجیره تامین حلقه‌بسته می‌باشد. در ادامه به توضیح محدودیت‌های مدل لجستیک حلقه‌بسته می‌پردازیم.

### ۳-۴-۲ محدودیت‌های مدل

محدودیت تقاضا

$$\sum_k QJK_{jk} = d_{kp} \quad \forall p \quad (4)$$

محدودیت (۴) تضمین می‌کند که تقاضای همه مشتریان به ازای تمامی محصولات ارضا گردد.

محدودیت‌های شبکه

$$\sum_v QVI_{vip} + \sum_l QLI_{lip} = \sum_j QIJ_{ijp} \quad \forall i, p \quad (5)$$

$$\sum_i QIJ_{ijp} = \sum_k QJK_{jkp} \quad \forall j, p \quad (6)$$

$$\sum_j QJK_{jkp} = rk_p \sum_l QKL_{klp} \quad \forall k, p \quad (7)$$

$$\sum_k QKL_{klp} = \sum_i QLI_{lip} + \sum_v QLV_{lvp} + \sum_m QLM_{lmp} \quad \forall l, p \quad (8)$$

محدودیت (۵) تضمین می‌کند که میزان جریان‌های ورودی به هر مرکز تولید و احیا با میزان جریان خروجی از آن گره برابر باشد. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که میزان جریان‌های ورودی به هر مرکز توزیع با میزان جریان خروجی از آن گره برابر باشد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که تمامی محصولات برگشتی از مشتریان از طریق

مراکز جمع آوری و بازرسی جمع آوری گردند. محدودیت (۸) تضمین می کند که میزان جریان های ورودی به هر مرکز جمع آوری و بازرسی، با میزان جریان خروجی از آن گره برابر باشد.

$$\sum_v QLV_{lvp} = rv_p \sum_k QKL_{klp} \quad \forall p, l \quad (9)$$

$$\sum_i QLI_{lip} = ri_p \sum_k QKL_{klp} \quad \forall l, p \quad (10)$$

$$\sum_m QLM_{lmp} = rm_p \sum_k QKL_{klp} \quad \forall l, p \quad (11)$$

محدودیت (۹) تضمین می کند که درصد مشخصی از محصولات بازگشتی از طریق مراکز جمع آوری و بازرسی به مراکز انهدام برای عملیات انهدام ایمن منتقل شوند. محدودیت (۱۰) تضمین می کند که درصد مشخصی از محصولات بازگشتی از طریق مراکز جمع آوری و بازرسی به مراکز تولید و احیا برای عملیات دوباره تولید منتقل شوند.

محدودیت (۱۱) تضمین می کند که درصد مشخصی از محصولات بازگشتی از طریق مراکز جمع آوری و بازرسی به تامین کنندگان منتقل شوند.

محدودیت ظرفیت

$$\sum_l QLV_{lvp} \leq \sum_n CAS_{vp}^n \quad \forall v, p \quad (12)$$

$$\sum_l QLI_{lip} \leq \sum_n CAR_{ip}^n \cdot X_i^n \quad \forall i, p \quad (13)$$

$$\sum_l QLM_{lmp} \leq \sum_n CAM_{mp}^n \cdot U_m^n \quad \forall m, p \quad (14)$$

$$\sum_v QVI_{vip} \leq \sum_n CAI_i^n \cdot X_i^n \quad \forall i, p \quad (15)$$

$$\sum_i QIJ_{ijp} \leq \sum_n CAJ_{jp}^n \cdot Y_j^n \quad \forall j, p \quad (16)$$

$$\sum_k QKL_{klp} \leq \sum_n CAL_{lp}^n \cdot Z_l^n \quad \forall l, p \quad (17)$$

$$\sum_l QLI_{lip} + \sum_v QLV_{lvp} + \sum_m QLM_{lmp} \leq \sum_n CAL_l^n \cdot Z_l^n \quad \forall l, p \quad (18)$$

محدودیت های (۱۲-۱۸) جریان بین اجزای شبکه چه در جهت مستقیم و چه در جهت معکوس را به گونه ای تنظیم می نمایند که از حداکثر ظرفیت تسهیلات مورد نظر تجاوز نمایند.



سایر محدودیت‌ها

$$\sum_n X_i^n \leq 1 \quad \forall i \quad (19)$$

$$\sum_n Y_j^n \leq 1 \quad \forall j \quad (20)$$

$$\sum_n Z_l^n \leq 1 \quad \forall l \quad (21)$$

$$\sum_n U_m^n \leq 1 \quad \forall m \quad (22)$$

$$QVI_{vip}, QIJ_{ijp}, QJK_{jkp}, QKL_{klp}, QLI_{lip}, QLV_{lvp}, QLM_{lmp} \geq 0 \quad (23)$$

$$X_i^n, Y_j^n, Z_l^n, U_m^n \in \{0, 1\} \quad (24)$$

محدودیت (۱۹) تضمین می‌نماید که در هر مکان حداکثر یک مرکز تولید/احیا و با یک سطح ظرفیت تخصیص یابد. محدودیت (۲۰) تضمین می‌نماید که در هر مکان حداکثر یک تامین‌کننده و با یک سطح ظرفیت تخصیص یابد. محدودیت (۲۱) تضمین می‌نماید که در هر مکان حداکثر یک مرکز جمع‌آوری/بازرسی و با یک سطح ظرفیت تخصیص یابد. محدودیت (۲۲) تضمین می‌نماید که در هر مکان حداکثر یک مرکز انهدام و با یک سطح ظرفیت تخصیص یابد. محدودیت‌های (۲۳-۲۴) ماهیت صفر و یک متغیرهای تصمیم‌گسسته و غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم پیوسته را نشان می‌دهند.

#### ۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح برای طراحی شبکه لجستیک مستقیم/معکوس ارائه شده است که تابع هدف آن متمرکز بر بیشینه‌سازی سود کل شبکه می‌باشد. مدل ارائه شده به صورت چندمحصولی، چندرده‌ای ارائه گردیده که با در نظر گرفتن تسهیلات ترکیبی در شبکه مورد نظر باعث جلوگیری از زیر بهینگی و در نتیجه کاهش هزینه‌ها و افزایش سود می‌شود.

مواردی که در ذیل اشاره شده‌است را می‌توان به عنوان جنبه‌هایی برای تحقیقات آتی بیان کرد:

- لحاظ سیاست‌های تخفیف در بخش‌های خرید به مواد اولیه و فروش محصول در مدل.
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضای کالاها و برگشتی و همچنین هزینه‌های حمل و نقل.
- ارائه رویکردی بر مبنای بهینه‌سازی استوار برای مدل‌های چند هدفه طراحی شبکه زنجیره تامین.
- ارائه روش‌های حل کارا برای مسایل در ابعاد واقعی.

## منابع

- [1] Jayaraman, V., Guige, Jr VDR., Srivastava, R. A., (1999). closed-loop logistics model for remanufacturing. Journal of the Operational Research Society.
- [2] Listes, O., Dekker, R., (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. European Journal of Operational Research.
- [3] Aras, N., Aksen, D., Tanugur, A. (2007). Locating collection centers for incentive- dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles. European Journal of Operational Research.
- [4] Uster, H., Easwaran, G., ElifAk- ali, E. ,SilaC- etinkaya, S., (2007). Bendersdecomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model. Naval Research Logistic.
- [5] Ko, H., Evans, G., (2008). A genetic-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. Computers & Operations Research.
- [6] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-ruwaard, JM., Wassenhove, L., (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and Operations Management.
- [7] Lee, D., Dong, M., (2008). A heuristic approach to logistics network design for end-of- lease computer products recovery. Transportation Research Part E.
- [8] Wang, H., Su,H., (2010). A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. Computers & Operations Research.
- [9] Pishvae, M. S., Farahani, R. Z., Dullaert, W., (2010). A memetic algorithm for biobjective integrated forward/reverse logistics network design. Computers & Operations Research.