مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال دهم، شماره سوم (پیاپی ۳۸)، پاییز ۹۲، ص ص ۹-۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

# طراحی شبکه لجستیکی رو به جلو/ بازگشتی چند محصولی با استفاده از برنامه‌ریزی غیر خطی

**حسام‌الدین نجمی*[۱]، احمد ماکوئی[۲]، سیدمحمد سیدحسینی[۳]**

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه مهندسی صنایع
۲- دانشیار دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه مهندسی صنایع
۳- استاد دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه مهندسی صنایع

رسید مقاله: ۲۵ بهمن ۱۳۹۱
پذیرش مقاله: ۵ تیر ۱۳۹۲

**چکیده**

طراحی یکپارچه شبکه‌های لجستیکی در دهه گذشته توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. در این شبکه‌ها فاکتورهای مختلفی به صورت ادغامی در نظر گرفته می‌شوند که با برنامه‌ریزی ریاضی به صورت یکپارچه مساله را مدل می‌نمایند. این مقاله نیز در همین راستا به طراحی یک مدل غیر خطی می‌پردازد که در نتیجه آن مکان‌های مناسب تأسیس مراکز مورد نظر که شامل مراکز تولید/ بازیافت، مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری/ بازرسی و مراکز انهدام مشخص می‌شوند و هم‌چنین جریان بهینه بین آن‌ها به‌دست می‌آید. در ادامه نیز این مساله چند محصولی با روش‌های دقیق حل شده و نتایج حاصل از آن ارایه گردیده است.

**کلمات کلیدی:** لجستیک مستقیم و معکوس یکپارچه، مکان‌یابی تسهیلات با ظرفیت محدود، بهینه سازی جریان مواد، طراحی شبکه توزیع

## ۱ مقدمه

یکی از تصمیمات مهم سطح راهبردی مدیریت زنجیره تأمین (اعم از لجستیک مستقیم و معکوس) طراحی شبکه لجستیک مستقیم و معکوس می‌باشد. به طور کلی تصمیمات شبکه شامل تعیین مکان تسهیلات، نقش و ظرفیت آن‌ها و تخصیص آن‌ها و بازارهای مختلف می‌باشد. تمامی این موضوعات تأثیر به‌سزایی در انعطاف پذیری، کارایی و در نتیجه عملکرد زنجیره تأمین دارند.

تصمیمات استراتژیک طراحی شبکه لجستیک در جریان مستقیم و معکوس مرتبط با تعیین نوع شبکه است که شامل مکان‌یابی و تعیین ظرفیت تسهیلات تولید، ذخیره، هم‌زمانی بارانداز، توزیع، جمع‌آوری، مرتب‌سازی،

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس پست الکترونیکی: hesam.najmi@gmail.com ; najmi@ind.iust.ac.ir



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

احیا، بازیافت و انهدام می‌باشد. از آن‌جا که احداث تسهیلات یا بستن آن‌ها هزینه و زمان زیادی را مصرف می‌کنند؛ تغییر آن‌ها در کوتاه مدت امکان‌پذیر نمی‌باشد.

در دو دهه اخیر سازمان‌های زیادی مانند کوداک و زیراکس بر فعالیت‌های تولید مجدد و بازیافت تمرکز کرده‌اند و به موفقیت‌های چشمگیری دست یافته‌اند [۱]. عوامل محرک شرکت‌ها برای رو آوردن به برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل لجستیک معکوس را می‌توان در سه دسته اصلی الزامات قانونی، حساسیت‌های محیط زیستی، و سودآوری اقتصادی احصا کرد. از دیدگاه محیط زیستی و در قوانینی که به تازگی در کشورها به ویژه اتحادیه اروپا به تصویب رسیده است، شرکت‌ها مسئول جمع‌آوری محصولات اسقاطی و برگشتی خود شناخته می‌شوند و از دیدگاه اقتصادی می‌توانند از سود حاصل از احیا و بازیافت محصولات به طور مستقیم استفاده نمایند [۲]. اگر چه طراحی شبکه لجستیک معکوس تأثیرات بسزایی در عملکرد شبکه لجستیک مستقیم دارد؛ طراحی شبکه‌های لجستیک مستقیم و معکوس به صورت جدا از هم موجب بروز زیربهینگی می‌شود. با توجه به زیربهینگی در هزینه‌ها، سطح خدمت و پاسخگویی طراحی شبکه لجستیکی مستقیم و معکوس باید به صورت یکپارچه صورت گیرد [۳-۵]. این نوع یکپارچگی می‌تواند به عنوان یکپارچگی افقی در نظر گرفته شود؛ به این خاطر که شامل یکپارچه‌سازی مسایل بهینه‌سازی مرتبط در یکی از سطوح مدیریتی می‌باشد (سطح راهبردی، سطح تاکتیکی و سطح عملیاتی) برای مثال یکپارچه‌سازی انتخاب تأمین کننده با طراحی شبکه و یا یکپارچه‌سازی طراحی زنجیره تأمین مستقیم و معکوس از جمله یکپارچه‌سازی افقی در سطح استراتژیک است. یکپارچه‌سازی تصمیمات راهبردی مانند طراحی شبکه با تصمیمات سطح تاکتیکی مانند مدیریت موجودی و یا با سطح عملیاتی مانند مسیریابی، می‌تواند به عنوان یکپارچه‌سازی عمودی در نظر گرفته شود[۶]. مقاله حاضر به طراحی یک شبکه چند سطحی یکپارچه لجستیکی مستقیم و معکوس پرداخته که شامل مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری/ بازرسی، بازیافت و انهدام می‌باشد. هم‌چنین در این مقاله مدل به صورت چند محصولی ارایه گردیده است. ادامه مقاله به شرح زیر است: در بخش ۲ مرور ادبیات موضوع مورد بررسی قرار گرفته شود. برای طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم/ معکوس، یک برنامه‌ریزی غیر خطی عدد صحیح در بخش سوم ارایه شده. قسمت چهارم به حل مدل با استفاده از نرم‌افزار لینگو پرداخته است و بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی اختصاص یافته.

## ۲ مرور ادبیات

بیشتر ادبیات موجود در زمینه طراحی شبکه‌های لجستیک شامل مدل‌های مختلف مکان‌یابی تسهیلات بر پایه برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته است. این مدل‌ها انواع مختلفی را از مدل‌های ساده نظیر مکان‌یابی تسهیلات با ظرفیت نامحدود تا مدل‌های پیچیده‌تر نظیر مدل‌های چند رده‌ای با ظرفیت محدود شامل می‌شوند. جایارامان و همکاران (۱۹۹۹) یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته برای طراحی شبکه لجستیک معکوس با هدف حداقل سازی هزینه ارایه دادند. در این مقاله تنها به فعالیت‌های احیا محصولات برگشتی پرداخته شده است [۷]. یکی از عوامل مهم در طراحی شبکه لجستیک معکوس عدم قطعیت در تقاضا و هم‌چنین نوع و کیفیت محصولات برگشتی است. لیستس و دکر(۲۰۰۵) با در نظر گرفتن این موضوع در یک شبکه بازیافت سنگ به



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

ارایه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح [۸] و آراس و همکاران (۲۰۰۷) به ارایه یک مدل غیر خطی برای تعیین محل مراکز جمع‌آوری محصولات مصرف شده در یک شبکه ساده لجستیک معکوس پرداخته‌اند. نکته قابل توجه در این مقاله توانایی مدل برای تعیین قیمت خرید محصولات مصرف شده از دارندگان آن می‌باشد [۹]. آستر و همکاران (۲۰۰۷) یک شبکه نیمه یکپارچه را که در آن شبکه لجستیک مستقیم، موجود فرض شده و تنها مراکز جمع‌آوری و احیا در لجستیک معکوس مکان‌یابی می‌شوند؛ طراحی کردند [۱].

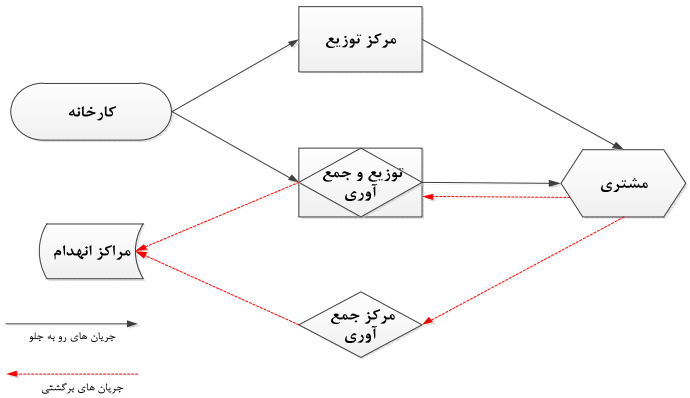
برای طراحی شبکه لجستیک حلقه بسته فراهم آورندگان خدمات لجستیک طرف سوم، دو و ایوانز (۲۰۰۸) یک مدل پیشرفته دو هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته با ادغام مراکز توزیع با مراکز جمع‌آوری و مراکز احیا ارایه نمودند؛ البته از حالت‌های مختلف احیا تنها جنبه تعمیرات را مورد توجه قرار دادند [۱۰]. فلیسچمن(۲۰۰۱) نشان داد که طراحی شبکه لجستیک به طور یکپارچه و همزمان در مقایسه با رویکرد سنتی می‌تواند موجب صرفه جویی قابل توجهی در هزینه‌ها گردد. سالما و همکاران (۲۰۰۷) سعی بر آن داشته تا با رفع ضعف‌های موجود در مقاله فلیسچمن (۲۰۰۱) مدلی عام‌تر به کمک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته ارایه می‌دهد [۳]. یکی دیگر از مقالاتی که به خوبی به طراحی یکپارچه شبکه لجستیک مستقیم و معکوس پرداخته، مقاله لی و دانگ (۲۰۰۸) است. در این مقاله از یک نوع تسهیل ترکیبی که هم نقش مراکز توزیع در جریان مستقیم و هم نقش مراکز جمع‌آوری در جریان معکوس را بر عهده دارد که برای طراحی شبکه لجستیک محصولات رایانه‌ای استفاده شده است [۴]. 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 ریاضی

شبکه یکپارچه لجستیکی مستقیم/ معکوس مورد بررسی یک شبکه چند کالایی و چند رده‌ای است که شامل مراکز تولید/بازیافت، مراکز توزیع، مراکز مشتریان، مراکز جمع‌آوری/ بازرسی و مراکز انهدام می‌باشد. در این مساله برخی از مکان‌های بالقوه وجود دارند که می‌توانند به طور همزمان هم مرکز توزیع و هم مرکز جمع‌آوری/ بازرسی باشند. این شبکه با فرض لزوم ارضای کامل تقاضای مشتریان و هم‌چنین جمع‌آوری تمامی کالاهای برگشتی، ثابت بودن محل مشتریان و آگاهی از مقدار کالای برگشتی از هر مشتری، ثابت بودن تعداد مراکز انهدام، مراکز جمع آوری و مراکز تولید بالقوه و آگاهی از ظرفیت هر یک به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته مدل شده است. خروجی‌های مدل شامل تعداد و محل مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری/ بازرسی، مراکز انهدام و هم‌چنین مراکز توزیعی که با مراکز جمع‌آوری/ بازرسی ادغام شده‌اند می‌باشند. دیگر خروجی مدل مقدار جریان بهینه بین تمامی تسهیلات موجود در شبکه با هدف حداقل سازی هزینه‌ها می‌باشد.



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]




**شکل ۱.** شبکه زنجیره تامین مستقیم/ معکوس

### ۳-۱ مجموعه‌ها

$I$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید و بازیافت.

$J$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع.

$K$ مکان‌های ثابت مشتریان.

$L$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری و بازرسی.

$M$ مجموعه مکان‌های بالقوه انهدام.

$E$ مجموعه نقاط بالقوه که می‌توانند به صورت ترکیبی مرکز جمع‌آوری/ بازرسی و مرکز توزیع مدل باشند.

$P$ مجموعه اقلام کالاها.

### ۳-۲ پارامترها

$d_{kp}$: تقاضای مشتریان در منطقه $k$ برای محصول $p$.

$r_{kp}$: نرخ برگشت کالاها توسط مشتریان منطقه $k$ برای محصول $p$.

$s_p$: متوسط نرخ انهدام برای کالای $p$.

$f_i$: هزینه ثابت تاسیس مرکز تولید/ بازیافت در مکان i.

$o_j$: هزینه ثابت تاسیس مرکز توزیع در مکان $j$.

$h_l$: هزینه ثابت تاسیس مرکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان $i$.

$a_m$: هزینه ثابت تاسیس مرکز انهدام در مکان $m$.

$f_e$: میزان هزینه صرفه جویی شده در اثر ادغام مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان $e$.

$cx_{ijp}$: هزینه حمل و نقل هر واحد محصول $p$ از مرکز تولید/ بازیافت مکان $i$ به مرکز توزیع $j$.

$cu_{jkp}$: هزینه حمل و نقل هر واحد محصول $p$ از مرکز توزیع در مکان $j$ به مرکز مشتری $k$.

$cq_{klp}$: هزینه حمل و نقل هر واحد محصول $p$ به مرکز توزیع $J$ از مرکز تولید/ بازیافت مکان $i$.



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

$cp_{lip}$: هزینه حمل و نقل هر واحد محصول $p$ به مرکز تولید/ بازیافت $i$ از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان $l$.

$ct_{lmp}$: هزینه حمل و نقل هر واحد محصول $p$ به مرکز انهدام $m$ از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان $l$.

$caw_{ip}$: ظرفیت تولید برای مرکز تولید/ بازیافت واقع در مکان $i$ برای محصول $p$.

$cay_{jp}$: ظرفیت مرکز توزیع واقع در مکان $j$ برای محصول $p$.

$caz_{lp}$: ظرفیت مرکز جمع‌آوری/ بازرسی در مکان i برای محصول $p$.

$cav_{mp}$: ظرفیت مرکز انهدام در مکان $m$ برای محصول $p$.

$car_{ip}$: ظرفیت بازیافت برای مرکز تولید/ بازیافت واقع در مکان $i$ برای محصول $p$.

## ۳-۳ متغیرهای تصمیم

### ۳-۳-۱ متغیرهای تصمیم پیوسته

$x_{ijp}$: مقدار محصول $p$ حمل شده از مرکز تولید/ بازیافت $i$ به مرکز توزیع $j$.

$u_{jkp}$: مقدار محصول $P$ حمل شده از مرکز توزیع $j$ به مرکز مشتری $k$.

$Q_{klp}$: مقدار محصول $p$ بازگشتی حمل شده از مشتریان واقع در مکان $k$ به مرکز جمع‌آوری/ بازرسی $l$.

$P_{lip}$: مقدار محصول $p$ که قابل بازیافت هستند و از مرکز جمع‌آوری/بازرسی $l$ به مرکز تولید/ بازیافت $i$ حمل می‌شوند.

$T_{lmp}$: مقدار قراضه‌های محصول $p$ که از مرکز جمع‌آوری/ بازرسی $l$ به مرکز انهدام $m$.

### ۳-۳-۲ متغیر تصمیم گسسته

$ZJ_j$:
- ۱: اگر مرکز توزیع در مکان $j$ تاسیس شود.
- ۰: در غیر این صورت

$w_i$:
- ۱: اگر مرکز تولید و بازیافت در مکان $i$ باز باشد.
- ۰: در غیر این صورت

$y_j$:
- ۱: اگر مرکز توزیع در مکان $j$ تاسیس شود.
- ۰: در غیر این صورت

$z_l$:
- ۱: اگر مرکز جمع‌آوری/بازرسی در مکان $l$ تاسیس شود.
- ۰: در غیر این صورت



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

$v_m$ ۱: اگر مرکز انهدام در مکان $m$ تاسیس شود.

۰: در غیر این صورت

## ۳-٤ بیان مدل ریاضی

$$Min \quad z = \sum_{i\in I} f_i w_i + \sum_{j\in J} o_j y_j + \sum_{l\in L} h_l z_l + \sum_{m\in M} a_m v_m - \sum_{e\in E} f_e z_e y_e + \sum_{p\in P}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} cx_{ijp} x_{ijp} + \sum_{p\in P}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} cu_{jkp} u_{jkp} + \sum_{p\in P}\sum_{k\in K}\sum_{l\in L} cq_{klp} Q_{klp} + \sum_{p\in P}\sum_{l\in L}\sum_{m\in M} ct_{lmp} T_{lmp} + \sum_{p\in P}\sum_{l\in L}\sum_{i\in I} cp_{lip} P_{lip} \qquad (۱)$$

*s.t.*

$$\sum_{j\in J} U_{jkp} = d_{kp} \qquad \forall k\in K \ \forall p\in P \qquad (۲)$$

$$\sum_{l\in L} Q_{klp} = r_{kp} d_{kp} \qquad \forall k\in K \ \forall p\in P \qquad (۳)$$

$$\sum_{i\in I} x_{ijp} = \sum_{k\in K} u_{jkp} \qquad \forall j\in J \ \forall p\in P \qquad (۴)$$

$$\sum_{m\in M} T_{lmp} = s_p \sum_{k\in K} Q_{klp} \qquad \forall l\in L \ \forall p\in P \qquad (۵)$$

$$\sum_{i\in I} P_{li} = (۱ - s_p) \sum_{k\in K} Q_{kl} \qquad \forall l\in L \ \forall p\in P \qquad (۶)$$

$$\sum_{j\in J} x_{ijp} \le w_i caw_{ip} \qquad \forall i\in I, \forall p\in P \qquad (۷)$$

$$\sum_{i\in I} x_{ijp} \le y_j cay_{jp} \qquad \forall j\in J, \forall p\in P \qquad (۸)$$

$$\sum_{k\in K} u_{jkp} \le y_j cay_{jp} \qquad \forall j\in J, \forall p\in P \qquad (۹)$$

$$\sum_{k\in K} Q_{klp} \le z_l caz_{lp} \qquad \forall l\in L, \forall p\in P \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{l\in L} T_{lmp} \le v_m cav_{mp} \qquad \forall m\in M, \forall p\in P \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{l\in L} P_{lip} \le w_i car_{ip} \qquad \forall i\in I, \forall p\in P \qquad (۱۲)$$



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

$$\sum_{m\in M} T_{lmp} + \sum_{i\in I} P_{lip} \le Z_l caz_{lp} \qquad \forall l\in L, \forall p\in P \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{l\in L} P_{li} \le \beta \sum_{j\in J} x_{ijp} \qquad \forall i\in i, \forall p\in P \qquad (۱۴)$$

$$w_i \ , y_j \ , z_l \ , v_m \in \{\circ,۱\} \qquad \begin{array}{l}\forall i\in I\\ \forall j\in J\\ \forall l\in L\\ \forall m\in M\end{array} \qquad (۱۵)$$

$$x_{ijp}, U_{jkp}, Q_{klp}, T_{lmp}, P_{lip} \ge \circ \qquad (۱۶)$$

تابع هدف این مدل کلیه هزینه‌ها شامل هزینه‌های ثابت تسهیلات و هزینه‌های حمل و نقل را کمینه کرده؛ هزینه صرفه‌جویی شده حاصل از ادغام مراکز توزیع و جمع‌آوری/ بازرسی را مورد توجه قرار می‌دهد.

محدودیت‌های دوم و سوم تضمین می‌کنند که تقاضای همه مشتریان ارضا شده و تمام تقاضای برگشتی مشتریان جمع‌آوری می‌شود.محدودیت‌های چهارم تا ششم بالانس جریان بین مراکز تولید/ بازیافت، توزیع، جمع‌آوری/ بازرسی، انهدام و مراکز مشتریان را تضمین می‌کند. محدودیت‌های ۷ تا ۱۴ نشان دهنده ظرفیت محدود تسهیلات می‌باشند که از حمل محصولات تولید شده به مراکز استقرار نیافته جلوگیری می‌کنند و در نهایت محدودیت ۱۴تا ۱۶ نشان دهنده متغیرهای غیر منفی و متغییرهای صفر و یک مساله می‌باشند.

جمله $\sum_{e\in E} f_e z_e y_e$ در تابع هدف غیر خطی می‌باشد؛ زیرا به صورت ضرب دو متغییر بیان گردیده است. برای خطی کردن این جمله از یک متغیر جدید تحت عنوان $Q_e$ استفاده نماییم و تابع هدف را به صورت زیر بازسازی می‌کنیم:

$$Q_e = Z_e Y_e \qquad \forall e\in E$$

$$Q_e = \in \{\circ,۱\} \qquad \forall e\in E$$

$$\begin{aligned} Min \quad z = & \sum_{i\in I} f_i w_i + \sum_{j\in J} o_j y_j + \sum_{l\in L} h_l z_l + \sum_{m\in M} a_m v_m - \sum_{e\in E} f_e Q_e + \sum_{p\in P}\sum_{i\in I}\sum_{j\in J} cx_{ijp} x_{ijp} \\ & + \sum_{p\in P}\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} cu_{jkp} u_{jkp} + \sum_{p\in P}\sum_{k\in K}\sum_{l\in L} cq_{klp} Q_{klp} + \sum_{p\in P}\sum_{l\in L}\sum_{m\in M} ct_{lmp} T_{lmp} \\ & + \sum_{p\in P}\sum_{l\in L}\sum_{i\in I} cp_{lip} P_{lip} \end{aligned}$$



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

به دلیل این‌که تابع هدف به صورت کمینه‌سازی می‌باشد؛ مقدار $Q_e$ تمایل به یک شدن دارد؛ بنابراین محدودیتی به صورت زیر تعریف می‌شود که رابطه منطقی بین $Z_eY_e$ و $Q_e$ برقرار می‌کند اگر و تنها اگر $Z_e$ و $Y_e$ هر دو مقدار یک را دارا باشند؛ $Q_e$ مقدار ۱ را دارا می‌شود.

$$۲Q_e \le Z_e + Y_e \qquad \forall e \in E$$

## ٤ رویکرد حل

در این قسمت با ارایه یک مثال عددی و حل آن با نرم افزار لینگو مدل را به صورت بهینه برای مساله پیشنهادی ارایه می‌نماییم. جدول (۱) بیانگر ابعاد مساله و جدول (۲) نمایانگر چگونگی تولید پارامترهای مدل می‌باشد[۱۱]. با استفاده از نرم افزار MATLAB پارامترهای فوق تولید گشته؛ سپس مدل با نرم افزار بهینه‌سازی ریاضی (Lingo8.0) حل گردید. جواب بهینه حاصل از مساله نمونه توسط نرم افزار برای تابع هدف معادل ۲/۳۶۰/۷۳۸ دلار اعلام گردید. همین‌طور تنها مرکز تولید و احیای دوم برقرار خواهد گشت و از آن مقادیر مختلف واحد کالای نوع اول و دوم به مراکز توزیع دوم و سوم ارسال می‌گردد.

**جدول ۱.** ابعاد مساله نمونه

| | |
|---|---|
| *تعداد مراکز تولید و احیا* | ۲ |
| *تعداد مراکز توزیع* | ۳ |
| *تعداد نقاط مشتری* | ۵ |
| *تعداد مراکز جمع آوری و بازرسی* | ۳ |
| *تعداد مراکز انهدام* | ۱ |

**جدول ۲.** مقدار پارامترهای مدل

| ردیف | پارامتر | محدوده |
|---|---|---|
| ۱ | $d_{kp}$ | یکنواخت (۸۰-۲۵۰) |
| ۲ | $r_{kp}$ | یکنواخت(۰/۹-۰/۷۵) |
| ۳ | $s_p$ | یکنواخت (۰/۲۵-۰/۱۵) |
| ۴ | $f_i$ | یکنواخت (۸۰۰۰۰۰-۴۵۰۰۰۰) |
| ۵ | $a_m$ | یکنواخت (۵۰۰۰۰۰-۲۵۰۰۰۰) |
| ۶ | $h_l$ | یکنواخت (۵۰۰۰۰۰-۲۵۰۰۰۰) |
| ۷ | $o_j$ | یکنواخت (۴۵۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰) |
| ۸ | $f_e$ | یکنواخت (۱۵۰۰۰۰-۹۵۰۰۰) |
| ۹ | $cp_{lip}, ct_{lmp}$ $cx_{ijp}, cu_{jkp}, cq_{klp},$ | یکنواخت (۱۲-۴) |
| ۱۰ | $caw_{ip}$ | یکنواخت (۱۵۰۰-۶۰۰) |
| ۱۱ | $cay_{jp}$ | یکنواخت (۱۰۰۰-۴۰۰) |



[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]

| ردیف | پارامتر | محدوده |
|---|---|---|
| ۱۲ | $caz_{lp}$ | یکنواخت (۷۰۰-۲۵۰) |
| ۱۳ | $cav_{mp}$ | یکنواخت (۴۰۰-۱۵۰) |
| ۱۴ | $car_{ip}$ | یکنواخت (۱۵۰۰-۶۰۰) |

## ۵ نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

به علت اهمیت هزینه‌های شبکه در مدیریت زنجیره تأمین و فعالیت‌های لجستیکی معکوس، این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح برای طراحی یک شبکه لجستیکی یکپارچه مستقیم و معکوس ارایه می‌کند. مدل ارایه شده در این مقاله به صورت چند محصولی می‌باشد. هم‌چنین برای کاهش پیچیدگی مدل غیر خطی ارایه شده با اضافه کردن یک متغیر و یک محدودیت جدید به آن، مدل تبدیل به یک مدل برنامه ریزی خطی تبدیل گردیده و با استفاده از نرم افزار Lingo حل شده است. با توجه به مطالب ذکر شده، برخی از مواردی که در تحقیقات آتی می‌توانند مورد توجه قرار گیرند به شرح ذیل است:

- لحاظ عدم قطعیت در تقاضای محصولات برگشتی.
- یکپارچه سازی طراحی در جهت عمودی.
- ارایه روش‌های کارا برای مسایل در ابعاد واقعی.

## منابع


[1] Uster, H., Easwaran, G., ElifAkcali, E., Silaetinkaya, S., (2007). Benders decomposition with alternative multiple cuts for a multi-product closed-loop supply chain network design model. Naval Research Logistic.

[2] Meade, L., Sarkis, J., Presley, A., (2007). The theory and practice of reverse logistics. International Journal of Logistics systems and Management.

[3] Fleischmann, M., Beullens, P., Bloemhof-ruwaard, J. M., Wassenhove, L., (2001). The impact of product recovery on logistics network design. Production and Operations Management.

[4] Lee, D., Dong, M., (2008). A heuristic approach to logistics network design for end-of-lease computer products recovery. Transportation Research Part E.

[5] Verstrepen, S., Cruijssen, F., de Brito, M., Dullaert, W., (2007). An exploratory analysis of reverse logistics in Flanders. European Journal of Transport and Infrastructure Research.

[6] Shen, Z. M., (2007). Integrated supply chain design models: a survey and future research directions. Journal of Industrial and Management Optimization.

[7] Jayaraman, V., Guige, Jr., Srivastava, R., (1999). A closed-loop logistics model for remanufacturing. Journal of the Operational Research Society.

[8] Listes, O., Dekker, R., (2005). A stochastic approach to a case study for product recovery network design. European Journal of Operational Research.

[9] Aras, N., Aksen, D., Tanugur, A. G., (2007). Locating collection centers for incentive- dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles. European Journal of Operational Research.

[10] Ko, H. J., Evans, G. W., (2007). A genetic-based heuristic for the dynamic integrated forward/reverse logistics network for 3PLs. Computers & Operations Research.


[ Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28 ]