

## مدل سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک تأمین: مطالعه موردی

طهمورث سهرابی\*، محسن اعتماد\* و محمدرضا فتحی\*\*

\*گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز، تهران

\*\*دانشکده مدیریت و حسابداری، پردیس فارابی دانشگاه تهران، قم

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۴/۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۱۰/۹

**چکیده:** رقابت شدید در بازارهای امروزی، سازمان ها را مجبور کرده است تا به عنوان اعضای زنجیره تأمین عمل کنند. عضو زنجیره تأمین بودن به شرکت ها کمک می کند تا بر روی حوزه های خاصی متمرکز شوند و بتوانند به سرعت به تغییرات نیازهای مشتری پاسخ دهند و انعطاف پذیری و چابکی خود را بهبود دهند. هدف طراحی شبکه زنجیره تأمین طراحی ساختاری برای زنجیره های جدید یا مهندسی مجدد شبکه های موجود به منظور افزایش ارزش کل است. در این مرحله تصمیمات مختلفی در مورد تعداد سطوح شبکه، موقعیت، ظرفیت تسهیلات و جریان مواد در سرتاسر شبکه گرفته می شود. بنابراین در این مقاله یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه فازی که به دنبال حداقل کردن هزینه ها، حداقل کردن اثرات زیست محیطی و حداقل کردن ریسک تأمین مواد اولیه می باشد، ارائه شده است. این مدل در برگیرنده تمام سطوح زنجیره تأمین حلقه بسته می باشد و نسبت به مدل های طراحی شبکه زنجیره تأمین قبلی جامعیت دارد. جهت پیاده سازی مدل تدوین شده، از داده های شرکت شیشه سازی همدان استفاده می کنیم. در ادامه مدل برنامه ریزی ریاضی پیشنهادی با یک روش حل دقیق حل شده است که نتایج آن نشان دهنده مکان و ظرفیت تسهیلات، میزان تولید در مراکز تولید و تعیین فناوری می باشد.

**واژه های کلیدی:** طراحی شبکه زنجیره تأمین، برنامه ریزی ریاضی، عدم قطعیت، حلقه بسته

رده بندی موضوعی (۲۰۱۰): ۹۰C۰۵، ۹۰C۹۰

## ۱- مقدمه

جامع‌ترین مسئله استراتژیک در مدیریت زنجیره تأمین، طراحی یا پیکربندی شبکه لجستیک است. مسئله عمومی مکان‌یابی تسهیلات شامل مجموعه‌ای از مشتریان که به‌طور فضایی توزیع شده و مجموعه‌ای از تسهیلات برای پاسخ‌دهی به تقاضای مشتریان می‌باشد. به‌این ترتیب، طراحی استراتژیک شبکه زنجیره تأمین می‌تواند تعیین موارد زیر را مشخص سازد:

- تعداد، مکان، ظرفیت و نوع کارخانه‌ها، انبارها، مراکز توزیع و دیگر تسهیلات موردنیاز در شبکه لجستیک
- میزان محصولات تولیدی منتقل شده بین کارخانه‌ها، مراکز توزیع، تسهیلات برگشتی و مشتریان
- میزان محصولات نگهداری شده در انبارها تسهیلات زنجیره برای پاسخگویی مشتریان در دوره‌های زمان آتی
- میزان محصولات تولیدی منقل شده بین کارخانه‌ها، مراکز توزیع، تسهیلات برگشتی و مشتریان
- میزان محصولات نگهداری شده در انبارها و تسهیلات زنجیره برای پاسخگویی به مشتریان در دوره‌های زمانی آتی

تصمیمات مرتبط با جایابی تسهیلات یک عنصر حیاتی در برنامه‌ریزی استراتژیک برای دامنه گسترده‌ای از شرکت‌های خصوصی و دولتی می‌باشد. هزینه‌های بسیار بالای کسب‌داری و ساخت تسهیلات، پروژه‌های مکان‌یابی، تسهیلات را به سرمایه‌گذاری بلندمدت مبدل نموده است. بنابراین انتظار می‌رود که تسهیلاتی که امروز به وجود می‌آیند برای یک دوره زمانی گسترده‌ای فعالیت نمایند. طراحی شبکه زنجیره تأمین سعی در شناسایی بهترین ساختار برای زنجیره تأمین را دارد. یک طراحی مناسب بایستی بتواند سازمان را به عملکرد بلندمدت خود برساند. در حقیقت نبرد اصلی در بازارها و تنوع ترجیحات مشتریان در کنار توسعه سریع فناوری و جهانی‌سازی، سازمان‌ها را ملزم نموده است که به‌عنوان عضوی از زنجیره تأمین کار کنند. عملیات زنجیره تأمین و لجستیک بخشی از فعالیت‌های مهم اقتصادی امروز هستند و برای رقابت در کسب‌وکار حیاتی می‌باشند. همان‌طور که قبلاً ذکر شد، هدف اکثر شرکت‌های فعلی، توسعه پایدار شبکه زنجیره تأمینشان و تغییر طراحی محصول است، طوری که برای محیط کم‌خطرتر باشد و انرژی کم‌تری مصرف کنند و سبتر باشند. دید سنتی در کارخانه‌ها به روی فرآیندهای تولیدی یا کسب ارزش بیشتر در شبکه زنجیره تأمین بوده است. مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین شامل تصمیمات استراتژیکی می‌شود که به پیکربندی زنجیره تأمین اشاره دارد و به‌عنوان مسئله زیر

ساختاری در مدیریت زنجیره تأمین، اثرات دیرپایی روی سایر تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی شرکت دارد. در حالت کلی پروژه طراحی شبکه با مشخص کردن جایگاه‌های مکان‌یابی و ظرفیت‌های موردنیاز برای تسهیلات جدید و برنامه‌ریزی خرید، تولید، توزیع و نگهداری محصولات مواجه است. اخیراً به دلیل تمهیدات دولت، مسائل زیست محیطی، آلودگی و مسائل احتمالی و نیاز مشتریان توجه رو به رشدی به لجستیک معکوس و زنجیره تأمین حلقه بسته شده و از طرفی در دو دهه اخیر سازمان‌های زیادی مانند کوداک و زیراکس بر فعالیت‌های تولید مجدد و بازیافت تمرکز کرده‌اند و موفقیت‌های چشم‌گیری از لحاظ اقتصادی به دست آورده‌اند. بنابراین مسئله اصلی این تحقیق طراحی شبکه زنجیره تأمین است که بعد اقتصادی، زیست محیطی و ریسک تأمین مواد اولیه را به‌طور هم‌زمان لحاظ کند.

## ۲- پیشینه پژوهش

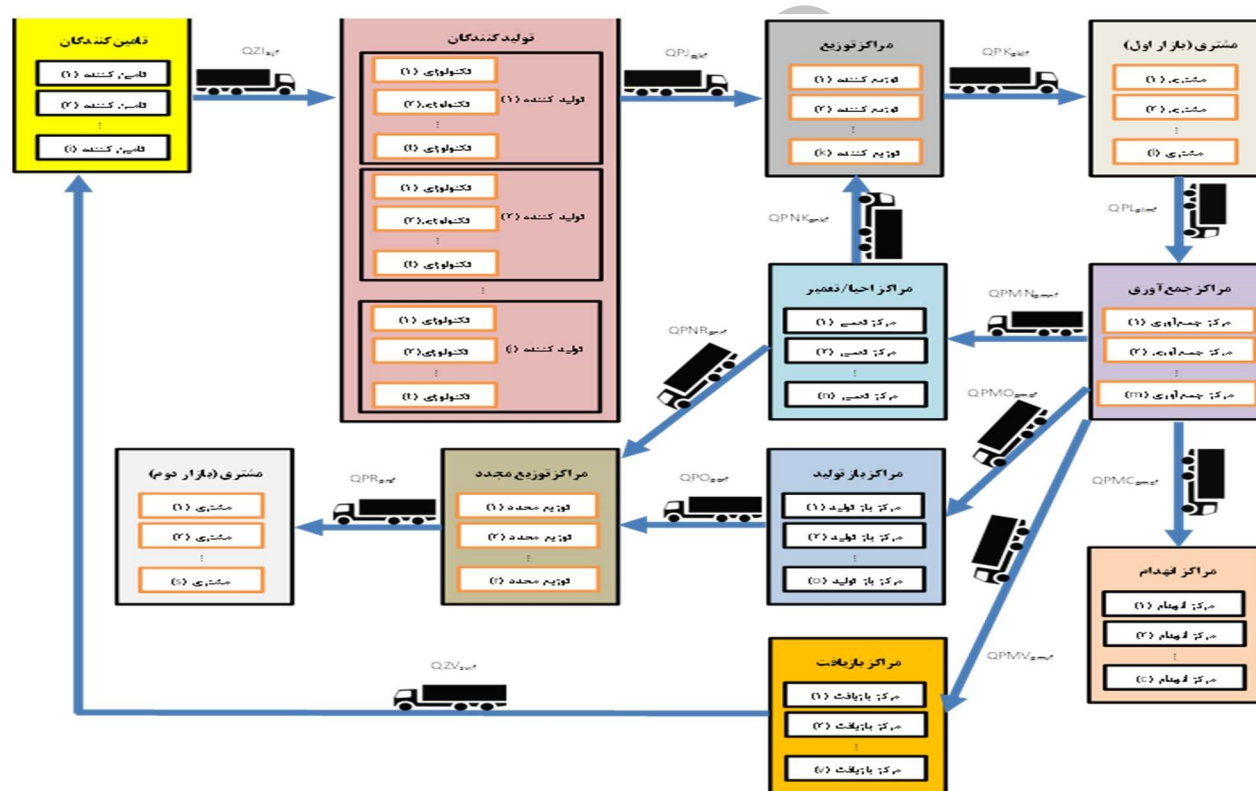
پژوهش‌های انجام‌شده در رابطه با مدیریت زنجیره تأمین سنتی عمدتاً در رابطه با جریان مستقیم محصولات صورت گرفته است. در این جریان مستقیم، مواد و ملزومات اولیه در قالب قطعات و زیر مونتاژهایی توسط یک یا چند سازنده تحت فعالیت‌های مختلف و متعدد تولیدی قرار می‌گیرند تا محصول نهایی ایجاد شود. زمانی که این فعالیت‌ها به اتمام برسد، محصولات نهایی توسط شبکه‌ای از مراکز توزیع جهت تحویل به خرده‌فروشان یا مشتریان نهایی انتقال می‌یابند. این دیدگاه سنتی بر این اعتقاد است که این‌گونه زنجیره‌های تأمین عموماً بازگشت محصولات و به طبع آن فعالیت‌های مرتبط با بازسازی و بازیافت را به دلیل پیچیدگی بالا در طراحی‌های شبکه لحاظ نمی‌کنند. اما در عالم واقع، بازگشت محصولات می‌تواند عملکرد زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار دهد که این جریان تحت عنوان جریان معکوس شناخته می‌شود. زنجیره تأمین که هر دو جریان مستقیم و معکوس را به‌طور هم‌زمان در سیستم خود دارا می‌باشد تحت عنوان زنجیره تأمین حلقه بسته شناخته می‌شود. مفهوم زنجیره تأمین حلقه بسته اصطلاح نسبتاً جدیدی است که مفاهیم اولیه آن از سال ۲۰۰۳ شکل گرفته و سیستمی است که در شرکت صنعتی فرآیندهای ساخت و ساخت مجدد یا نوسازی همراه با دیگر عملیات بازیابی و هم‌زمان در یک مجموعه صورت می‌گیرد. از مزایای آن می‌توان به استفاده مشترک از موجودی‌های شرکت و موجودی‌های حاصل از فرآیند بازیابی اشاره کرد. به‌طوری‌که اگر محصولات مرجوعی اوراق شده و قطعات قابل استفاده از آن‌ها به میزان بالایی باشد، آن قطعات و اجزا می‌توانند وارد موجودی‌های شرکت شده و با استفاده مجدد از آن‌ها در فرآیند تولید، از نیاز به موجودی کاسته شده و صرفه‌جویی حاصل گردد. مدیریت مؤثر زنجیره تأمین حلقه بسته یکی از موارد حیاتی جهت موفقیت شرکت‌ها می‌باشد. از جمله دلایلی که اهمیت این موضوع را بیش‌ازپیش افزایش داده است می‌توان به سه

مورد اشاره نمود (۱) قوانین دولتی مبنی بر کنترل اثرات زیست محیطی تولید محصولات و جمع‌آوری و بازیافت محصولات برگشتی، (۲) چرخه عمر کوتاه محصولات و به طبع آن افزایش فعالیت‌های تأمین و تولید محصولات و هزینه‌های ناشی از آن، (۳) تکامل و ترقی فعالیت‌های تجارت الکترونیکی که منجر به بازگشت و یا تعویض محصولات توسط مشتریان می‌گردد (۱). اگر ما زنجیره‌های تأمین روبه‌جلو و رو به عقب را به‌طور هم‌زمان در نظر بگیریم، زنجیره تأمین حلقه بسته ایجاد خواهد شد. در ادامه پیشینه پژوهش‌های صورت گرفته در این زمینه در قالب جدول (۱) نشان داده شده است.

### ۳- تعریف مسئله تحقیق

مسئله مورد بررسی در این پژوهش، مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین می‌باشد که هزینه‌ها، مسائل زیست محیطی و ریسک تأمین مواد اولیه را برای شرکت شیشه‌سازی همدان به حداقل برساند. در مسئله این پژوهش، طراحی شبکه با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی، زیست محیطی و ریسک تأمین می‌باشد. در این شبکه که یک شبکه چند سطحی و چند محصولی می‌باشد، ابتدا محصولات در مراکز تولیدی تولید شده و سپس از طریق مراکز توزیع به مشتریان فرستاده می‌شوند، محصولاتی که مشتریان از آن‌ها رضایت ندارند برگشت داده می‌شوند و در مراکز جمع‌آوری نگهداری می‌شوند. در قسمت جمع‌آوری و بازرسی درصدی از محصولات بازگشتی به مراکز انهدام ارسال می‌گردند تا منهدم گردند. مابقی محصولات به دو شیوه مورد استفاده مجدد قرار می‌گیرند: (۱) شیشه‌های شکسته نشده در مراکز احیا یا تعمیر شسته می‌شوند و برخی از آن‌ها که در حد نو می‌باشند از طریق مراکز توزیع مجدداً به مناطق مشتری ارسال می‌گردند و همچنین برخی از محصولات تعمیر و احیا شده که این قابلیت را ندارند که به مناطق مشتری ارسال گردند، از طریق مراکز توزیع مجدد به بازار دوم (محصولات دسته دوم تقریباً نو) ارسال می‌گردند. (۲) شیشه‌های شکسته شده در مراکز بازیافت ابتدا شسته می‌شوند، خرد می‌گردند و مواد خام به دست آمده از آن‌ها به مراکز تأمین ارسال می‌گردند. پس همان‌طور که مطرح شد در جهت رو به سمت جلو محصولات تولید و بین مشتریان توزیع می‌گردند و در جهت رو به سمت عقب به یکی از مراکز بازیافت، احیا، بازتولید یا انهدام ارسال می‌گردند. شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه در این پژوهش در قالب شکل ۲ نشان داده شده است.





شکل (۲): شبکه زنجیره تأمین پیشنهادی مورد مطالعه برای شرکت شیشه‌سازی

#### ۴- مدل‌سازی مسئله

مدل این تحقیق مبتنی بر شبکه نمایش داده شده در شکل ۲ می‌باشد. مدل حاضر یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط چندهدفه فازی است که در این قسمت اندیس‌ها، پارامترها، متغیرها و سپس مدل ریاضی مسئله تشریح می‌گردد. در ادامه مفروضات مسئله به صورت ذیل ارائه می‌گردد:

- مدل به صورت چند سطحی و چند محصولی می‌باشد.
- جریان محصولات فقط بین تسهیلات متوالی متفاوت وجود دارد و جریان محصول بین تسهیلات مشابه امکان‌پذیر نیست.
- مکان و تعداد مشتریان بازار اول و دوم و همچنین تأمین‌کنندگان ثابت و مشخص است.
- پارامترهایی نظیر ظرفیت، هزینه‌ها، تقاضا، نرخ تعمیر، بازتولید، انهدام، بازیافت، ظرفیت وسایل حمل‌ونقل، زمان‌های حمل محصول به صورت عدم قطعی در نظر گرفته شده است و از تئوری فازی جهت رفع عدم قطعیت استفاده شده است.
- کیفیت محصولات تعمیر شده برای فروش در بازار دوم که از طریق مراکز توزیع مجدد به بازار دوم می‌رسد، متفاوت از محصولات جدید می‌باشد.
- کمبود در جوابگویی به تقاضای مشتریان اجازه داده می‌شود و هزینه‌ای برای تقاضای ارضا نشده مشتری در نظر گرفته می‌شود. این کمبود به صورت ازدست‌رفته می‌باشد.
- مکان‌های مراکز بالقوه تولید، توزیع، توزیع مجدد، بازتولید، احیا یا تعمیر، بازیافت و انهدام مشخص است.
- تمامی برگشتی‌ها در مراکز جمع‌آوری جمع نمی‌شوند و هزینه‌ای به‌عنوان جریمه برای برگشتی‌های جمع‌آوری نشده در نظر گرفته می‌شود.
- مراکز بازرسی، جداسازی و مرتب‌سازی در مرکز جمع‌آوری در نظر گرفته شده است.
- هنگام احداث هر مرکز تولیدی به‌طور بالقوه امکان استفاده از پنج نوع فناوری ذوب برای تولید محصولات وجود دارد. اما درعین حال بعد از احداث، تنها یک فناوری به یک مرکز تولیدی تخصیص می‌یابد.
- موجودی در مراکز تولید، توزیع، توزیع مجدد و جمع‌آوری برای محصولات در نظر گرفته شده است.
- برای هر یک از مراکز قابل احداث، سه سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است.

#### ۴-۱- مجموعه‌ها و اندیس‌ها

$i$	مجموعه مکان‌های ثابت برای تأمین‌کنندگان $i = 1, 2, \dots, I$
$j$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید جهت احداث کردن $j = 1, 2, \dots, J$
$k$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع جهت احداث کردن $k = 1, 2, \dots, K$
$l$	مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتری‌های بازار اول $l = 1, 2, \dots, L$
$m$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری و بازرسی جهت احداث کردن $m = 1, 2, \dots, M$
$n$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز احیا یا تعمیر جهت احداث کردن $n = 1, 2, \dots, N$
$o$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز بازتولید جهت احداث کردن $o = 1, 2, \dots, O$
$v$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز بازیافت جهت احداث کردن $v = 1, 2, \dots, V$
$c$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز انهدام جهت احداث کردن $c = 1, 2, \dots, C$
$r$	مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع مجدد جهت احداث کردن $r = 1, 2, \dots, R$
$s$	مجموعه مکان‌های ثابت برای مشتری‌های بازار دوم $s = 1, 2, \dots, S$
$p$	مجموعه محصولات $p = 1, 2, \dots, P$
$z$	مجموعه مواد اولیه $z = 1, 2, \dots, Z$
$h$	مجموعه سطوح ظرفیت برای مکان‌های بالقوه $h = 1, 2, \dots, H$
$f$	مجموعه گزینه‌های بالقوه برای حمل‌ونقل $f = 1, 2, \dots, F$
$t$	مجموعه فناوری‌های ذوب در مراکز تولید $t = 1, 2, \dots, T$

#### ۴-۲- پارامترها و متغیرهای تصمیم

در این قسمت به علت محدودیت فضا برخی از پارامترها و متغیرها ارائه شده است.

$\widetilde{MC}_{pj}$	هزینه تولید محصول $p$ در مرکز تولید $j$ با فناوری ذوب $t$
$\widetilde{RMC}_{po}$	هزینه بازتولید هر واحد محصول $p$ در مرکز بازتولید $o$
$\widetilde{DISD}_{pc}$	هزینه دفع هر واحد محصول $p$ در مرکز دفع $c$
$\widetilde{CI}_{pm}$	هزینه جمع‌آوری و بازرسی محصول $p$ در مرکز جمع‌آوری $m$



$\overline{RECO}_{pn}$	هزینه تعمیر هر واحد محصول $p$ در مرکز تعمیر $n$
$\overline{RECY}_{pv}$	هزینه بازیافت هر واحد محصول $p$ در مرکز بازیافت $v$
$\overline{HC}_{pj}$	هزینه نگهداری موجودی محصول $p$ در مراکز تولید $j$
$\overline{PCY}_p$	هزینه جریمه برای تقاضای ارضا نشده محصول $p$
$\overline{PC}_{zi}$	هزینه خرید یا تهیه هر واحد ماده اولیه $z$ از تأمین کننده $i$
$\overline{RPC}_{pl}$	هزینه خرید محصول برگشتی $p$ از مشتری $l$
$MAJ$	ماکزیمم تعداد مراکز تولید جهت احداث
$MAK$	ماکزیمم تعداد مراکز توزیع جهت احداث
$\overline{D}_{pl}$	میزان تقاضا برای محصول $p$ در مراکز مشتری $l$
$\overline{R}_{pi}$	تعداد برگشتی‌ها از مشتری $l$ برای محصول $p$
$\overline{SP}_{ps}$	قیمت فروش محصول $p$ در بازار دوم $s$
$\overline{CAQ}_{jth}$	ظرفیت تولید مراکز تولید $j$ با فناوری $t$ و سطح ظرفیت $h$
$\overline{CAZ}_{ch}$	ظرفیت انهدام محصولات در مراکز انهدام یا دفع $c$ با سطح ظرفیت $h$
$\overline{TCK}_{zifj}$	هزینه حمل هر واحد ماده اولیه $z$ از تأمین کننده $i$ به مراکز تولید $j$ توسط وسیله حمل و نقل $f$
$\overline{PER}_{pz}$	نرخ به کارگیری ماده اولیه $z$ در تولید محصول $p$
$\overline{RR}_{plm}$	نرخ بازگشت محصولات استفاده شده $p$ از مناطق مشتری $l$ به مراکز جمع‌آوری $m$
$\overline{RRM}_p$	نرخ تولید مجدد محصولات استفاده شده $p$
$\overline{RRECO}_p$	نرخ تعمیر محصولات استفاده شده $p$
$\overline{RRECY}_p$	نرخ بازیافت محصولات استفاده شده $p$
$\overline{RDISP}_p$	نرخ دفع مجدد محصولات استفاده شده $p$
$\overline{FR}_{jht}$	هزینه ثابت احداث مرکز تولید $j$ با فناوری $t$ و سطح ظرفیت $h$
$\overline{CAPL}_{fij}$	ظرفیت وسیله حمل و نقل $f$ برای حمل مواد اولیه از تأمین کننده $i$ به مرکز تولید $j$

$EM_{ptj}$	میزان انتشار کربن به ازای تولید هر واحد محصول $p$ در مراکز تولید $z$ با فناوری ذوب $t$
$ETM_{zijf}$	میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد ماده اولیه $z$ از تأمین کننده $i$ به مرکز تولید $z$ توسط وسیله حمل و نقل $f$
$SEA$	صرفه جویی زیست محیطی ناشی از استفاده مجدد از محصولات تعمیر شده
$SEB$	صرفه جویی زیست محیطی ناشی از استفاده مجدد از مواد اولیه بازیافت شده
$SCA$	صرفه جویی اقتصادی ناشی از استفاده مجدد از محصولات تعمیر شده
$SCB$	صرفه جویی اقتصادی ناشی از استفاده مجدد از مواد اولیه بازیافت شده
$\widetilde{RC}_{zi}$	هزینه کاهش ریسک تأمین ماده اولیه $z$ از تأمین کننده $i$
$\widetilde{SUR}_{zi}$	ریسک تأمین ماده اولیه $z$ از تأمین کننده $i$
$MSUR_z$	حداکثر ریسک تأمین مجاز برای ماده اولیه $z$
	متغیرهای تصمیم مدل اول
$QZI_{zijf}$	میزان ماده اولیه حمل شده $z$ از تأمین کننده $i$ به مرکز تولید $z$ توسط وسیله حمل و نقل $f$
$QPR_{prsf}$	میزان محصول حمل شده $p$ از مرکز توزیع مجدد $r$ به مرکز بازار دوم $s$ توسط وسیله حمل و نقل $f$
$QMP_{ptj}$	میزان محصول تولید شده $p$ در مرکز تولید $z$ با فناوری ذوب $t$
$QIC_{pk}$	میزان موجودی محصول $p$ در مراکز توزیع $k$
$NNS_{lp}$	تعداد تقاضای ارضا نشده مشتری $l$ برای محصول $p$
$NNY_{pl}$	تعداد برگشتی های جمع آوری نشده برای محصول $p$ از مشتری $l$
$A_{fij} \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر وسیله حمل $f$ برای حمل مواد اولیه از تأمین کننده $i$ به مراکز تولید $z$ انتخاب شود در غیر این صورت
$O_{jth} \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر مرکز تولید $z$ با فناوری $t$ و سطح ظرفیت $h$ احداث شود در غیر این صورت
$WZ_{zi} \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$	اگر ماده اولیه $z$ توسط تأمین کننده $i$ تأمین شود در غیر این صورت

## ۴-۳- مدل ریاضی مسئله

$$\begin{aligned}
Min Z_1 = & [\sum_i \sum_z \widetilde{SUR}_{zi} \cdot \widetilde{RC}_{zi} W_{zi}] + [\sum_j \sum_h \sum_t \widetilde{FR}_{jht} \cdot O_{jht} + \\
& + \sum_k \sum_h \widetilde{FS}_{kh} \cdot P_{kh} + \sum_m \sum_h \widetilde{FT}_{mh} \cdot Q_{mh} + \sum_n \sum_h \widetilde{FU}_{nh} \cdot R_{nh} \\
& + \sum_o \sum_h \widetilde{FY}_{oh} \cdot S_{oh} + \sum_v \sum_h \widetilde{FW}_{vh} \cdot T_{vh} + \sum_c \sum_h \widetilde{FZ}_{ch} \cdot U_{ch} \\
& + \sum_r \sum_h \widetilde{FV}_{rh} \cdot V_{rh}] + [\sum_z \sum_i \sum_j \sum_f \widetilde{TCK}_{zif} \cdot QZI_{zif} + \\
& \sum_p \sum_j \sum_k \sum_f \widetilde{TCL}_{pjkf} \cdot QPJ_{pjkf} + \sum_p \sum_k \sum_l \sum_f \widetilde{TCM}_{pklf} \cdot QPK_{pklf} + \\
& \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \widetilde{TCN}_{plmf} \cdot QPL_{plmf} + \\
& \sum_p \sum_m \sum_n \sum_f \widetilde{TCO}_{pmnf} \cdot QPMN_{pmnf} + \\
& \sum_p \sum_m \sum_v \sum_f \widetilde{TCQ}_{pmvf} \cdot QPMV_{pmvf} + \\
& \sum_p \sum_m \sum_c \sum_f \widetilde{TCR}_{pmcf} \cdot QPMC_{pmcf} + \\
& \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f \widetilde{TCS}_{pnkf} \cdot QPNK_{pnkf} + \\
& \sum_p \sum_n \sum_r \sum_f \widetilde{TCT}_{pnrf} \cdot QPNR_{pnrf} + \\
& \sum_p \sum_r \sum_s \sum_f \widetilde{TCU}_{prsf} \cdot QPR_{prsf} + \sum_p \sum_o \sum_r \sum_f \widetilde{TCV}_{porf} \cdot QPO_{porf} + \\
& \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f \widetilde{TCW}_{zvif} \cdot QZV_{zvif}] + [\sum_p \sum_t \sum_j \widetilde{MC}_{ptj} \cdot QMP_{ptj} + \\
& \sum_p \sum_m \sum_c \sum_f \widetilde{DISD}_{pc} \cdot QPMC_{pmcf} + \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \widetilde{CI}_{plm} \cdot QPL_{plmf} + \\
& \sum_p \sum_m \sum_n \sum_f \widetilde{RECO}_{pn} \cdot QPMN_{pmnf} + \\
& \sum_p \sum_m \sum_v \sum_f \widetilde{RECY}_{pv} \cdot QPMV_{pmvf}] + [\sum_l \sum_p PCY_p \cdot NNS_{lp} + \\
& - SCB \cdot \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f QZV_{zvif} [\sum_p \sum_j \widetilde{HC}_{pj} \cdot QIA_{pj} +
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \sum_p \sum_k \widetilde{HC}_{pk} \cdot QIC_{pk} + \sum_p \sum_m \widetilde{HC}_{pm} \cdot QID_{pm} + \\ & \sum_p \sum_r \widetilde{HC}_{pr} \cdot QIJ_{pr} ] + [ \sum_z \sum_i \sum_j \sum_f \widetilde{PC}_{zi} \cdot QZI_{zif} + \\ & \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f \widetilde{RPC}_{pl} \cdot QPL_{plmf} ] - SCA \cdot \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f QPNK_{pnkf} \\ & - SCB \cdot \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f QZV_{zvif} - \sum_p \sum_r \sum_s \sum_f \widetilde{SP}_{ps} \cdot QPR_{prsf} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Min Z_2 = & [ \sum_p \sum_t \sum_j \sum_h EM_{ptj} \cdot O_{jih} ] + \sum_p \sum_n \sum_h ERECO_{pn} \cdot R_{nh} \\ & + \sum_p \sum_o \sum_h ERM_{po} \cdot S_{oh} + \sum_p \sum_v \sum_h ERECY_{pv} \cdot T_{vh} \\ & + \sum_p \sum_c \sum_h EDIS_{pc} \cdot U_{ch} ] + [ \sum_z \sum_i \sum_j \sum_f ETM_{zijf} \cdot QZI_{zif} \\ & + \sum_p \sum_j \sum_k \sum_f ETN_{pjkf} \cdot QPJ_{pjkf} + \sum_p \sum_k \sum_l \sum_f ETO_{pklf} \cdot QPK_{pklf} \\ & + \sum_p \sum_l \sum_m \sum_f ETP_{plmf} \cdot QPL_{plmf} + \sum_p \sum_m \sum_o \sum_f ETQ_{pmof} \cdot QPMO_{pmof} \\ & + \sum_p \sum_m \sum_c \sum_f ETR_{pmcf} \cdot QPMC_{pmcf} + \sum_p \sum_m \sum_v \sum_f ETS_{pmvf} \cdot QPMV_{pmvf} \\ & + \sum_p \sum_m \sum_n \sum_f ETT_{pmnf} \cdot QPMN_{pmnf} + \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f ETU_{pnkf} \cdot QPNK_{pnkf} \\ & + \sum_p \sum_n \sum_r \sum_f ETV_{pnrf} \cdot QPNR_{pnrf} + \sum_p \sum_o \sum_r \sum_f ETW_{porf} \cdot QPO_{porf} \\ & + \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f ETY_{zvif} \cdot QZV_{zvif} + \sum_p \sum_r \sum_s \sum_f ETZ_{prsf} \cdot QPR_{prsf} ] \\ & + [ \sum_p \sum_t \sum_j (1 - \widetilde{W}_{jt}) \cdot \widetilde{DAM}_{jt} \cdot QMP_{ptj} ] - SEA \cdot \sum_p \sum_n \sum_k \sum_f QPNK_{pnkf} \\ & - SEB \cdot \sum_z \sum_v \sum_i \sum_f QZV_{zvif} \end{aligned} \quad (2)$$

$$Min Z_3 = \sum_i \sum_z \widetilde{SUR}_{zi} \cdot W_{zi} \quad (3)$$

تابع هدف اول شامل حداقل سازی هزینه‌های کل می‌باشد عبارت (۱) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد. تابع هدف دوم شامل حداقل سازی اثرات زیست محیطی است. عبارت (۲) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد. تابع هدف سوم شامل حداقل کردن ریسک تأمین مواد اولیه است. عبارت (۳) فرمول ریاضی این تابع هدف را نشان می‌دهد. در ادامه برخی از محدودیت‌های مدل پیشنهادی را به خاطر محدودیت فضا به صورت نمونه مورد بررسی قرار

می‌دهیم. محدودیت (۴) تضمین می‌نمایند که مراکز توزیع، جمع‌آوری، تعمیر، بازتولید، بازیافت، دفع و توزیع مجدد حداکثر با یک سطح ظرفیت احداث شوند.

$$\sum_h P_{kh} \leq 1 \quad \forall k \quad (4)$$

محدودیت (۵) تضمین می‌کند که تنها یک سطح ظرفیت و یک فناوری ذوب به هر مرکز تولید شده تخصیص یابد.

$$\sum_t \sum_h O_{jth} \leq 1 \quad \forall j \quad (5)$$

محدودیت (۵) ماکزیمم تعداد مراکز توزیع، تولید، جمع‌آوری، تعمیر، بازتولید، بازیافت، انهدام و توزیع مجدد که پتانسیل احداث را دارا می‌باشند محدود می‌کنند.

$$\sum_k \sum_h P_{kh} \leq MAK \quad (6)$$

محدودیت‌های (۶) محدودیت ظرفیت حمل جریان محصول بین مراکز مختلف را نشان می‌دهد.

$$\sum_z QZI_{zijf} \leq A_{fij} \cdot \overline{CAPL}_{fij} \quad \forall i, j, f \quad (6)$$

محدودیت‌های (۷) نشان می‌دهند که حداکثر یک نوع تسهیل برای انتقال جریان بین تسهیلات وجود دارد.

$$\sum_f A_{fij} \leq 1 \quad \forall i, j \quad (7)$$

محدودیت (۸) نشان می‌دهد که جریان ورودی به مراکز جمع‌آوری و بازرسی بزرگ‌تر و یا مساوی با جریان خروجی آن است.

$$\begin{aligned} \sum_l \sum_f QPL_{plmf} &\geq \sum_n \sum_f QPMN_{pnmf} + \sum_o \sum_f QPMO_{pmof} \\ &+ \sum_v \sum_f QPMV_{pmvf} + \sum_c \sum_f QPMC_{pmcf} \quad \forall p, m \end{aligned} \quad (8)$$

محدودیت (۹) نشان می‌دهد که مجموع محصولات تولید شده در مراکز تولیدی بزرگ‌تر و یا مساوی با جریان خروجی آن است.

$$\sum_t \sum_j QMP_{ptj} \geq \sum_k \sum_f \sum_j QPJ_{pjkf} \quad \forall p \quad (9)$$

محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که جریان ورودی به مراکز تعمیر یا احیا بزرگ‌تر و یا مساوی با جریان خروجی آن است.

$$\sum_m \sum_f QPMN_{pmnf} \geq \sum_k \sum_f QPNK_{pnkf} + \sum_r \sum_f QPNR_{pmrf} \quad \forall p, n \quad (10)$$

محدودیت (۱۱) نشان می‌دهند که مقدار انتقالی از مراکز جمع‌آوری به مراکز تعمیر، بازیافت، انهدام و بازتولید حداقل نسبتی از مقدار جریان ورودی به مرکز جمع‌آوری است.

$$\sum_n \sum_f QPMN_{pmnf} \geq \overline{RRECO}_p \cdot \sum_l \sum_f QPL_{plmf} \quad \forall p, m \quad (11)$$

محدودیت (۱۲) نشان می‌دهند که باید محصولی بین تسهیل مراکز مختلف برقرار شود تا وسیله‌ای برای حمل انتخاب گردد.

$$A_{fij} \leq \sum_z QZI_{zijf} \quad \forall i, j, f \quad (12)$$

محدودیت (۱۳) تضمین می‌کنند که هیچ‌گونه حمل‌ونقلی بین مکان‌هایی که ارتباطی با یکدیگر ندارند، وجود نخواهد داشت. همچنین بیان می‌کنند که جریان فقط مجاز است که از طریق گزینه‌های حمل‌ونقل فعال در شبکه عبور کند.

$$\sum_z QZI_{zijf} \leq M \cdot A_{fij} \quad \forall i, j, f \quad (13)$$

محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که مراکز تولید برای تولید محصول به نسبتی از مواد اولیه که توسط تأمین‌کنندگان فراهم می‌گردد، نیاز دارند.

$$\sum_f \sum_i \sum_j PER_{pz} \cdot QZI_{zijf} \geq \sum_t \sum_j QMP_{ptj} \quad \forall p, z \quad (14)$$

محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند که برای هر ماده اولیه، مجموع جری آن‌های خروجی از هر تأمین‌کننده به تمامی مراکز تولید از ظرفیت تأمین‌کننده تجاوز نمی‌کند.

$$\sum_z \sum_j \sum_f QZI_{zijf} \leq \overline{CAS}_i \quad \forall i \quad (15)$$

محدودیت (۱۶) حداکثر ظرفیت مجاز را برای مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری، تعمیر، بازتولید، بازیافت، انهدام و توزیع مجدد نشان می‌دهند.

$$\sum_p \sum_t QMP_{ptj} \leq \sum_h \sum_t O_{jth} \cdot \overline{CAQ}_{jth} \quad \forall j \quad (16)$$

محدودیت (۱۷)، محدودیت تعادل موجودی برای مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری و توزیع مجدد را نشان می‌دهد.

$$QIA_{pj} = \sum_t QMP_{ptj} - \sum_k \sum_f QPJ_{pjkf} \quad \forall p, j \quad (18)$$

محدودیت (۱۸) بیان‌گر این است که جریان محصول رسیده به مشتریان از طریق مراکز توزیع حداکثر برابر با تقاضا خواهد بود.

$$\sum_k \sum_f QPK_{pklf} \leq \tilde{D}_{pl} \quad \forall p, l \quad (19)$$

محدودیت (۱۹) نشان دهنده ارتباط تقاضای مشتری با جریان محصولات بازگشتی از مشتریان به مراکز جمع‌آوری است.

$$\sum_m \sum_f QPL_{plmf} \leq \tilde{D}_{pl} \cdot \widetilde{RR}_{pl} \quad \forall p, l \quad (20)$$

محدودیت (۲۰) تقاضای ارضا نشده مشتریان را مشخص می‌کند.

$$\tilde{D}_{pl} - \sum_k \sum_f QPK_{pklf} = NNS_{lp} \quad \forall p, l \quad (21)$$

محدودیت (۲۱) مقدار برگشتی‌های جمع‌آوری نشده را محدود می‌کند.

$$\tilde{R}_{pl} - \sum_m \sum_f QPL_{plmf} = NNY_{pl} \quad \forall p, l \quad (22)$$

محدودیت (۲۲) و (۲۳)، حداکثر ریسک مجاز برای مواد اولیه‌ای که توسط هر تأمین‌کننده تأمین می‌گردد را محدود می‌کند.

$$\sum_i \widetilde{SUR}_{zi} W_{zi} \leq MSUR_z \quad \forall z \quad (23)$$

$$\sum_f \sum_j QZI_{zjff} \leq M WZ_{zi} \quad \forall z, i \quad (24)$$

محدودیت‌های (۲۴) و (۲۵) به ترتیب نشان دهنده محدودیت‌های ضروری منطقی روی متغیرهای تصمیم‌گسسته و پیوسته می‌باشند.

$$A_{fij}, B_{fjk}, C_{fkl}, D_{flm}, E_{fmn}, G_{fmn}, H_{fmo}, F_{fmv}, I_{fnk}, K_{fnr}, L_{fns}, \\ M_{for}, N_{fvi}, O_{jth}, P_{kh}, Q_{mh}, R_{nh}, S_{oh}, T_{vh}, U_{ch}, V_{rh}, WZ_{zi} \in \{0, 1\} \quad (25) \\ \forall f, i, j, k, l, m, c, n, o, v, r, s, t, h, z$$

## ۵- نتایج محاسباتی

در این قسمت به پیاده‌سازی مدل‌های تدوین شده با استفاده از داده‌های شرکت شیشه‌سازی مفید می‌پردازیم. شرکت شیشه همدان در سال ۱۳۵۴ در همدان تأسیس گردید و در سال ۱۳۶۱ با ظرفیت ۴۰۰۰۰ تن در سال مورد بهره‌برداری قرار گرفت. مرکز اصلی شرکت در شهرستان همدان ۶ کیلومتر جاده همدان-تهران واقع شده است. با توجه به نیاز روزافزون کشور به ظروف بسته‌بندی شیشه‌ای، به‌خصوص ظروفی که از نظر کیفی مطابق استاندارد جهانی باشد، طرح توسعه این شرکت در سال ۱۳۷۸ و با ظرفیت ۳۵۰۰۰ تن در سال شروع به کار نمود و با تولید شیشه‌های سبک و نیمه سبک، جهت تولید شیشه‌های دهانه باریک (بطری) جهت تولید شیشه‌های سبک، تحولی در تولید شیشه‌های بسته‌بندی ایجاد نموده است. محصولات این شرکت در حال حاضر عبارت‌اند از: انواع بطری آب‌لیمو، شربت، گلاب، عرقیات و روغن مایع (در حجم‌های مختلف) و شیشه‌های نوشابه، شیر، شیشه‌های سس، مرباجات، خیار شور و رب گوجه‌فرنگی (در حجم‌های مختلف). زنجیره تأمین مورد بررسی دارای شش تأمین‌کننده ( $i = 1, \dots, 6$ )، چهار مرکز بالقوه تولیدی ( $j = 1, \dots, 4$ ) به ترتیب شامل شرکت شیشه‌سازی همدان (شرکت فعلی)، شرکت شیشه‌سازی آریا، شرکت شیشه‌سازی توس، شرکت تینا شیشه، پنج مرکز بالقوه توزیع ( $k = 1, \dots, 5$ ) به ترتیب شامل شرکت توزیع گستر، شرکت پارس وطن، شرکت بهمن پخش، شرکت پارسا سپهر و شرکت پارسا پخش، ۱۵ خوشه مشتری ( $l = 1, \dots, 15$ ) به ترتیب شامل ارومیه (اروم آدا)، مشهد (شمس)، شیراز (آسان نوش)، اردبیل (پارسی کولا)، یزد (آریا نوش)، کرج (یک و یک)، شمال شرق تهران (تک)، مشهد (شاد ایران)، رشت (بهفر)، تبریز (شاد زرین)، کرمان (شادوینا)، کرج (ترنج)، کرج (شرکت گلسار)، ارومیه (اروم ناین) و تنکابن (افشهر)، سه مرکز بالقوه احیا یا تعمیر ( $n = 1, \dots, 3$ ) به ترتیب شامل شرکت ایران سبز، شرکت پالایش سبز و شرکت تالیا سبز، سه مرکز بالقوه جمع‌آوری و بازرسی ( $m = 1, \dots, 3$ ) به ترتیب شامل شرکت سبز ثامن، شرکت پسماند پارس و شرکت پسماند دلتا، سه مرکز بالقوه بازیافت ( $v = 1, \dots, 3$ ) به ترتیب شامل شرکت بازیافت سما، شرکت بازیافت رها و شرکت بازیافت فاخر، سه مرکز بالقوه انهدام ( $c = 1, \dots, 3$ ) به ترتیب شامل مرکز انهدام کوثر، مرکز انهدام کیمیا و مرکز انهدام نیاک، پنج مرکز بالقوه توزیع مجدد ( $r = 1, \dots, 5$ ) به ترتیب شامل شرکت همراه گستر، شرکت آتوسا پخش، شرکت فرایخش، شرکت پارس گستر و شرکت بهینا پخش، سه مرکز بازار دوم ( $s = 1, 2, 3$ )، دو نوع محصول ( $p = 1, 2$ ) شامل ظرف بطری و جار، چهار نوع ماده اولیه برای تولید محصولات ( $z = 1, \dots, 4$ ) به ترتیب شامل مواد شکل دهنده، مواد کمک ذوب، مواد تثبیت کننده و مواد رنگی، سه سطح ظرفیت ( $h = 1, 2, 3$ ) و دو نوع وسیله حمل‌ونقل ( $f = 1, 2$ ) می‌باشد. همان‌طور که اشاره شد برای هرکدام از مراکز بالقوه برای احداث سه سطح ظرفیت در نظر گرفته شده است. همچنین امکان احداث مراکز تولید با پنج نوع فناوری ذوب متفاوت (۱)



احتراق سنتی با گاز، (۲) احتراق سنتی گازوئیلی، (۳) احتراق سوخت اکسیژنی، (۴) احتراق اکسیژن غنی شده و (۵) تیوب های تشعشعی وجود دارد. پس از حل مدل پیشنهادی، نتایج آن ها در قالب جداول زیر ارائه شده است. جدول (۲) نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با استفاده از روش خیمنز را به ازای مقادیر مختلف درجه برقرای محدودیت ( $\alpha$ ) نشان می دهد.

جدول (۲): نتایج حاصل از حل مدل قطعی کمکی با روش خیمنز

$\alpha$	مقدار تابع هدف اقتصادی ( $Z_1$ )	مقدار تابع هدف زیست محیطی ( $Z_2$ )	مقدار تابع هدف ریسک تأمین مواد اولیه ( $Z_3$ )
۰/۱	۵۳۴۷۶۲۱	۴۲۳۶۲	۱۵/۳۳
۰/۲	۵۳۷۲۶۷۴	۴۲۲۹۴	۱۵/۳۳
۰/۳	۵۳۹۷۶۴۵	۴۲۲۵۷	۱۵/۳۳
۰/۴	۵۴۱۴۶۳۴	۴۲۱۳۵	۱۵/۳۳
۰/۵	۵۴۵۹۳۷۸	۴۲۰۱۰	۱۵/۳۳
۰/۶	۵۴۶۳۶۱۸	۴۱۸۸۲	۱۵/۳۳
۰/۷	۵۴۹۹۱۲۳	۴۱۶۲۵	۱۵/۳۳
۰/۸	۵۵۱۴۱۱۱	۴۱۵۱۵	۱۵/۳۳
۰/۹	۵۵۶۴۲۸۹	۴۱۱۵۱	۱۵/۳۳
۱	۵۵۸۷۴۶۳	۴۱۰۲۳	۱۵/۳۳

در جدول ۲، مقادیر سه تابع هدف حداقل کردن هزینه کل، حداقل کردن اثرات زیست محیطی و حداقل ریسک تأمین مواد اولیه به ازای مقادیر مختلف درجه برقرای محدودیت نشان داده شده است. این مقادیر با استفاده از روش محدودیت اِپسیلون در نرم افزار *GAMS* به دست آمده اند. نکته ضروری در این قسمت این است که مقادیر ریسک تأمین هر ماده اولیه توسط هر تأمین کننده بر اساس تعداد دفعاتی که تأمین کننده مربوطه نتوانسته ماده اولیه را به دست تولیدکننده برساند به کل دفعاتی که تولیدکننده تقاضای ماده اولیه در یک بازه زمانی معین از تأمین کننده داشته است، محاسبه شده است و به عنوان داده مربوط به ریسک تأمین وارد مدل شده است. به عنوان مثال اگر تأمین کننده در یک بازه زمانی معین، ۱۰۰ دفعه تقاضای ماده اولیه مربوطه را داشته باشد و ۵ دفعه تأمین کننده به دلایلی موفق به تأمین اولیه نگردد، ریسک تأمین آن ماده اولیه ۰/۰۵ در نظر گرفته خواهد شد. این عدم تأمین ممکن است ناشی از افزایش قیمت مواد اولیه، مشکلات با شرکای تجاری، کمبود مواد اولیه و یا یک سری عوامل دیگر مانند بلاهای طبیعی از جمله سیل، طوفان، زلزله و یا تحریم باشد. تأخیر در تحویل به موقع مواد خام توسط تأمین کننده یا عدم تأمین باعث اختلال در تولید می شود. همچنین باعث افزایش هزینه به علت اجبار در تغییر عملیات معمول می شود. از طرفی باعث افزایش موجودی کار در گردش می گردد. همچنین می تواند بر تصمیمات شرکا در چگونگی روابط با سازمان تأثیرگذار باشد.

## ۷- نتیجه گیری

پس از بررسی کلیه پژوهش‌های صورت گرفته مشخص گردید که در بیشتر پژوهش‌ها یا زنجیره روبه‌جلو و یا رو به عقب بوده است ولی در این پژوهش زنجیره حلقه بسته مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر این عدم قطعیت در بیشتر مسائل فقط تقاضا را شامل می‌شد ولی در این مسئله عدم قطعیت در بیشتر پارامترها مورد بررسی قرار گرفت. این مدل‌ها به‌گونه‌ای طراحی شده‌اند که شامل چهار سطح (تأمین، تولید، توزیع و مشتریان دسته اول) در شبکه رو به سمت جلو و هفت سطح (مراکز جمع‌آوری و بازرسی، مراکز احیا یا تعمیر، مراکز بازتولید، مراکز بازیافت، مراکز انهدام، مراکز توزیع مجدد و مشتریان دسته دوم) در شبکه برگشتی می‌باشند. مدل مطرح‌شده دارای سه تابع هدف (۱) حداقل کردن هزینه کل، (۲) حداقل کردن اثرات زیست محیطی و (۳) حداقل کردن ریسک تأمین مواد اولیه به مشتریان می‌باشد. در مورد تابع هدف هزینه به دلیل این‌که در این پژوهش سعی شده است تا تمامی تسهیلات و جریان بین آن‌ها در نظر گرفته شود و مدل جامعی ارائه گردد، اکثر هزینه‌ها در نظر گرفته شده است. تابع هدف هزینه شامل هزینه خرید (تهیه مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و هزینه خرید محصولات برگشتی از مشتریان)، هزینه جریمه (هزینه جریمه برای تقاضای ارضا نشده و هزینه جریمه محصول برگشتی جمع‌آوری نشده)، هزینه‌های عملیاتی (هزینه تولید، هزینه بازتولید، هزینه جمع‌آوری، احیا، بازیافت و هزینه انهدام)، هزینه موجودی (هزینه برای قسمت تولید، توزیع، توزیع مجدد و جمع‌آوری)، هزینه حمل‌ونقل یا انتقال جریان بین تسهیلات و هزینه ثابت راه‌اندازی می‌باشد. در تابع هدف دوم همواره سعی شده است تا اثرات زیست محیطی که به محیط زیست تأثیرات نامطلوبی می‌گذارد، حداقل گردد. در این پژوهش حداقل کردن گاز کربن دی‌اکسید ناشی از عملیات درون تسهیلات و انتقال جریان بین تسهیلات به‌عنوان تابع هدف زیست محیطی در نظر گرفته شده است. تابع هدف سوم مدل همواره سعی در حداقل کردن ریسک تأمین مواد اولیه دارد که یک تابع هدف خطی بدین منظور ارائه شده است. در نهایت مدل مطرح‌شده با رویکرد قطعی سازی خیمنز قطعی شده و مدل کمکی قطعی حل شد. در انتها به‌منظور ادامه و تکمیل پژوهش حاضر زمینه‌های تحقیقاتی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- در نظر گرفتن ابعاد اجتماعی زنجیره تأمین
- استفاده از روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مدل در صورت بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله
- در نظر گرفتن سایر ریسک‌های زنجیره تأمین، اختلالات زنجیره تأمین و اضافه کردن آن‌ها به مدل ریاضی

## منابع

- [۱] وحدانی، بهنام (۱۳۹۲). مکان یابی تسهیلات جمع آوری و بازیافت با اهداف چندگانه و پایایی تحت شرایط عدم قطعیت، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، پردیس فنی دانشگاه تهران.
- [2] Fonseca, M. C., García-Sánchez, Á., Ortega-Mier, M., Saldanha-da-Gama, F. (2010). A stochastic bi-objective location model for strategic reverse logistics, *Top*, **18**(1), 158-184.
- [3] Kannan, D., Diabat, A., Alrefaei, M., Govindan, K., Yong, G. (2012). A carbon footprint based reverse logistics network design model, *Resources, Conservation and Recycling*, **67**, 75-79.
- [4] Cruz-Rivera, R., Ertel, J. (2009). Reverse logistics network design for the collection of end-of-life vehicles in Mexico, *European Journal of Operational Research*, **196**(3), 930-939.
- [5] Pishvae, M.S., Torabi, S.A., Razmi, J. (2012). Credibility-based fuzzy mathematical programming model for green logistics design under uncertainty, *Computers & Industrial Engineering*, **62**(2), 624-632.
- [6] Chaabane, A., Ramudhin, A., Paquet, M. (2012). Design of sustainable supply chains under the emission trading scheme, *International Journal of Production Economics*, **135**(1), 37-49.
- [7] Salema, M. I. G., Póvoa, A. P. B., Novais, A. Q. (2009). A strategic and tactical model for closed-loop supply chains, *OR spectrum*, **31**(3), 573-599.
- [۸] بشیری، مهدی، مهتاب شرافتی (۱۳۹۲). طراحی دو هدفه شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته با در نظر گرفتن معیارهای همبسته در محیط فازی، نشریه پژوهش های مهندسی صنایع در سیستم های تولید، دوره ۱، شماره ۱، ۲۵-۳۶.
- [۹] قجاوند، حمزه، مصطفی زندیه، بهروز دری (۱۳۹۰). به کارگیری الگوریتم های فرا ابتکاری در مدل یکپارچه سازی شبکه لجستیک توزیع کالا، چشم/انداز مدیریت صنعتی، شماره ۴۶، ۹۹-۱۱۹.
- [۱۰] تاریخ، محمد جعفر، مهسا اسماعیلی گوکه، شهره ترابی (۱۳۹۱). مدل کلی بهینه سازی طراحی شبکه لجستیک معکوس تحت عدم قطعیت، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، دوره ۲، شماره ۴۶، ۱۵۹-۱۷۳.

## Mathematical Modeling of Green Closed Loop Supply Chain Network with Consideration of Supply Risk: Case Study

Tahmoores, Sohrabi, Mohsen Etemad and Mohammadreza Fathi

Department of industrial management, Central Tehran branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

College of Farabi, University of Tehran, Tehran, Iran

### Abstract

Strong competition in today's markets has forced organizations to act as supply chain members. The supply chain member helps companies focus on specific domains and can quickly respond to changing customer needs and improve their flexibility and agility. The design of supply chain network is to provide structural design for new chains or reengineer existing networks in order to increase overall value. At this point, different decisions are made about the number of network levels, location, capacity and material flows across the network. Therefore, this paper presents a fuzzy multifunctional integer programming model that seeks to minimize costs, minimize environmental impacts, and minimize the risk of supplying raw materials. This model includes all levels of closed loop supply chain and is comprehensive with previous supply chain network design models. In order to implement the developed model, we use the data of Hamedan Glass Company. In the following, the proposed modeling mathematical model has been solved with a precise methodology, which shows the location and capacity of the facility, the amount of production in the production centers, the determination of technology

**Keywords:** Design of supply chain network, Mathematical Programming, Uncertainty, Closed-loop.

**Mathematics Subject Classification (2010):** 90C05, 90C90.