

## طراحی شبکه زنجیره تأمین چندهدفه با در نظر گرفتن مدیریت ارتباط با

### مشتری

ابراهیم تیموری<sup>۱\*</sup>، محمد مهدی پایدار<sup>۲</sup>، مائده یداللهی نیا<sup>۳</sup>

۱. دانشیار دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

۳. کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

(تاریخ دریافت: ۹۴/۱۱/۱۴، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده: ۹۵/۰۴/۱۴، تاریخ تصویب: ۹۵/۰۷/۰۶)

### چکیده

در سال های اخیر، مدیریت مواد زائد، به علت الزامات قانونی، سودآوری اقتصادی، حساسیت های زیست محیطی و رشد آگاهی های مشتریان، برای دولت ها و صنایع بیش از گذشته اهمیت یافته است. هدف پژوهش حاضر ارائه یک مدل برنامه ریزی ریاضی به منظور بهبود زنجیره رو به جلوی موجود به همراه طراحی بهینه زنجیره رو به عقب، به منظور جمع آوری مواد زائد و بازیافت آن ها و همچنین یکپارچه سازی کل زنجیره است. مدل چندهدفه ارائه شده از طریق برنامه ریزی آرمانی چندگزینه ای اصلاح شده حل شد. همچنین، دیگر هدف پژوهش که مشتری محور کردن زنجیره است، با استفاده از مدل نویسی ریاضی و بررسی همزمان مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری و تصمیمات راهبردی و تاکتیکی تحقق یافت. مهم تر آنکه به منظور کمک به فرایند تصمیم گیری مدیران ارشد، روند تحقق این اهداف با توجه به میزان اهمیت آن ها برای زنجیره، بیان شد. مدل برای مطالعه موردی صنعت بازیافت لاستیک فرسوده در کشور که صنعتی جوان است، طراحی و با داده های این صنعت در نرم افزار اجرا شد.

**واژه های کلیدی:** مدل ریاضی دوهدفه، مدیریت ارتباط با مشتری، مدیریت زنجیره تأمین.

### مقدمه

واقعی ترین راه حل به منظور رسیدن به شبکه بهینه بازیافت تایلر، که هدف اصلی این تحقیق است، لحاظ کردن بخش رو به جلوی زنجیره به صورت وضعیت موجود آن است. براین اساس، در تحقیق حاضر در بخش رو به جلوی زنجیره، طراحی شبکه وجود ندارد، بلکه این بخش توسعه و بهبود می یابد. همچنین، به علت نبود زنجیره تأمین کارا در بخش رو به عقب به منظور پیاده سازی فعالیت های بازیافت، طراحی شبکه در بخش رو به عقب زنجیره صورت می گیرد. همچنین، در تحقیق پیش رو نشان داده می شود با استفاده از مفاهیم مدیریت ارتباط با مشتری، می توان پس از جذب اولیه مشتریان و ترغیب آن ها برای همکاری بیشتر با زنجیره به منظور بازیافت محصولات و تبدیل آن ها به مشتریان وفادار، جریان محصولات را در مسیر رو به عقب زنجیره، یعنی بخش جمع آوری محصولات فرسوده شدت بخشید. براین اساس در بخش بعد، پیشینه تحقیق و

در گذشته، تولیدکنندگان در مقابل محصولاتشان پس از مصرف از سوی مشتری هیچ گونه مسئولیتی نداشتند. انبوه محصولات استفاده شده انبار یا سوزانده می شد که به خسارت شایان توجه به محیط زیست منجر می شد. امروزه، دولت ها و حتی مشتریان از تولیدکنندگان انتظار دارند مواد زائد تولید شده از محصولات خود را کاهش دهند. برای این کار، وجود یک سیستم کارا و متعهد در لجستیک معکوس لازم است. این امر شامل تعیین کردن نقش نهادهای موجود یا بالقوه زنجیره تأمین و نیز تعاملات بین این نهادها به منظور مدیریت جریان های فیزیکی مربوط به بازیافت محصول است.

امروزه، بسیاری از زنجیره های تأمین مانند زنجیره تأمین تایلر به شکل سنتی، یعنی رو به جلو، در سراسر جهان به ویژه ایران مشغول فعالیت هستند. براین اساس،

مطالعات صورت گرفته بررسی می‌شود. سپس مسئله مورد نظر تعریف و مدل ریاضی دوهدفه برای زنجیره تأمین رو به جلو و رو به عقب براساس مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری ارائه می‌شود. در ادامه، رویکرد حل مسئله دوهدفه توضیح داده می‌شود. سپس نتایج محاسباتی براساس مطالعه موردی صورت گرفته بیان و در نهایت نتیجه و پیشنهاد های آتی ارائه می‌شود.

### پیشینه تحقیق

براساس ادبیات اخیر، امروزه بازیافت محصولات نه تنها امری هزینه بر نیست، بلکه ابزاری برای ایجاد ارزش است. برای نمونه می‌توان به حفظ محیط زیست، فراهم کردن منابع اصلی و ارزش بیشتر بخشیدن به مشتری اشاره کرد [۱]. درآمد های احتمالی معمولاً بیشتر از هزینه های صرف شده برای ایجاد اقدامات لازم برای کانال های بازگشت است [۲]. در ادامه، ادبیات موضوع بازیافت محصولات صنایع گوناگون در حوزه زنجیره تأمین بررسی می‌شود.

یکی از اولین صنایع بازیافتی مورد بررسی، مسئله بازیافت شن در هلند است که باروس و همکاران برای نخستین بار آن را در سال ۱۹۹۸ مطرح کردند [۴] و لیستس و دکر در سال ۲۰۰۵ آن را تکمیل کردند [۵]. باروس و همکاران با برنامه ریزی آمیخته با اعداد صحیح، مدلی تک دوره ای، تک محصوله و دوسطحی، با هدف حداقل کردن هزینه، برای شبکه های معکوس ارائه دادند. شی نیز با برنامه ریزی آمیخته با اعداد صحیح، در سال ۲۰۰۱ مدلی تک محصوله، تک دوره ای و چهار سطحی (مراکز جمع آوری، مراکز ذخیره سازی، مراکز دمونتاز، بازار نهایی) برای مطالعه موردی ارجاع وسایل برقی و کامپیوتری فرسوده و منسوخ در تایوان ارائه داد [۶]. ریالف و همکاران مدلی چند محصوله و تک دوره ای برای طراحی شبکه های بازیافت فرش در آمریکا در سال ۲۰۰۴ ارائه دادند [۷]. در این پژوهش نیز فقط هدف حداقل کردن هزینه ها بررسی شد.

دهقانیان در سال ۲۰۰۹ یک مدل چند هدفه برای طراحی شبکه بازیافت تایرهای فرسوده در محیط توسعه پایدار ایران ارائه داد. برخلاف پژوهش های قبلی، اهداف

متنوعی چون بیشینه کردن سود و آثار اجتماعی و همچنین کمینه کردن آثار منفی زیست محیطی در این مدل در نظر گرفته شد [۸، ۹]. کارا و اونات در سال ۲۰۱۰ با برنامه ریزی آمیخته با اعداد صحیح، مدلی تک محصولی، تک دوره ای و دوسطحی به منظور حداکثر سازی سود برای صنعت بازیافت کاغذ ترکیه ارائه دادند [۱۰]. دیگر صنعت مورد بررسی، صنعت آهن و استیل است که وحدانی و همکاران در سال ۲۰۱۲ به آن توجه کردند و یک مدل چند سطحی، چند تسهیلی، چند محصوله و چند تأمین کننده با هدف حداقل کردن هزینه ها ارائه دادند [۱۱]. آتامر و همکاران در سال ۲۰۱۳ با برنامه ریزی دوسطحی، مدلی تک محصوله و تک دوره ای را برای یک زنجیره تأمین یکپارچه بررسی کردند که در آن محصول در ظرف های قابل استفاده مجدد به مشتری عرضه می‌شود [۱۲].

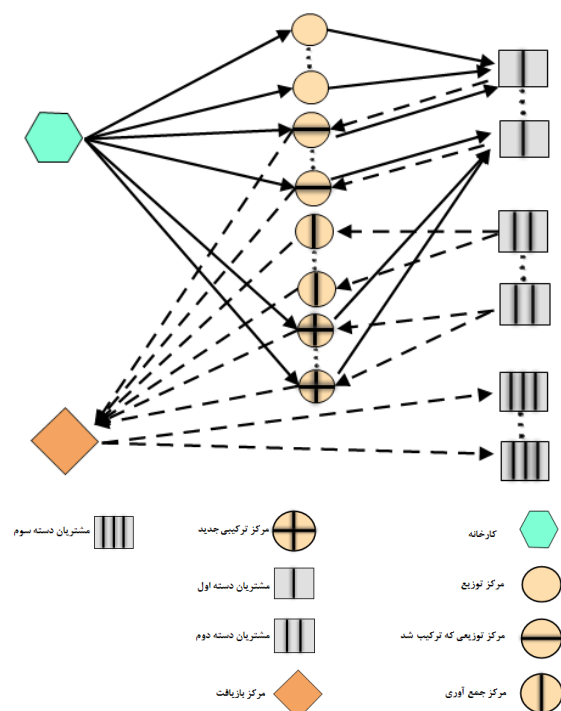
فری و همکاران در سال ۲۰۱۵ مدلی برای شبکه جمع آوری مواد زائد با هدف بیشینه کردن سود ارائه دادند [۱۳]. همچنین، در این سال ژو و همکاران مدلی چند سطحی برای لجستیک معکوس ارائه دادند که هدف آن حداقل کردن هزینه های کل بود که شامل هزینه های مراکز بازیافت، هزینه های عملیاتی و هزینه های حمل و نقل است [۱۴]. در ادامه، گالوز و همکاران در سال ۲۰۱۵ شبکه ای شامل جمع آوری و طبقه بندی مواد زائد را به منظور تولید بیوگاز برای کارخانه بیوگاز طراحی کردند. از این محصول برای تولید الکتریسیته استفاده می‌شود [۱۵]. کارداسو و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای زنجیره تأمین بسته ارائه دادند [۱۶]. انتظامی نیا و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک مدل چند هدفه چند دوره ای و چند محصوله برای زنجیره تأمین سبز با لحاظ کردن مراکز جمع آوری و بازیافت ارائه دادند [۱۷]. برای مطالعه بیشتر مدل ها در این زمینه، مراجع [۱۸-۲۰] پیشنهاد می‌شوند.

### تعریف مسئله

نوع شبکه و ساختار آن به صورت زنجیره تأمین باز (رو به جلو و رو به عقب) و پویا (چند دوره ای) است. سطوح شبکه

همکاری هرچه بیشتر آن‌ها برای بازگرداندن محصولات و در پی آن آلوده‌نشدن محیط‌زیست تعریف می‌شود. در CRM یکی از راهبردهای اصلی، تمرکز بر مشتریان کلیدی و اهمیت بخشیدن بیشتر به آن‌هاست. بدین منظور، مشتریان دسته اول - یعنی مشتریانی که هم در جریان رو به جلو از زنجیره، محصول خریداری می‌کنند و هم در جریان رو به عقب، محصول فرسوده به زنجیره تحویل می‌دهند - مشتریان کلیدی در نظر گرفته شدند و به منظور حفظ این مشتریان وفادار، اولویت‌بندی و تمایز آن‌ها با سایر مشتریان، خدماتی ویژه به آن‌ها ارائه شد. مشتریان دسته دوم مشتریانی هستند که در جریان رو به جلو از محصول دیگر زنجیره‌ها خریداری می‌کنند، اما ما می‌خواهیم محصولات فرسوده خود را به زنجیره ما تحویل دهند. همچنین، مشتریان دسته سوم به صنایعی گفته می‌شود که از محصولات بازیافت‌شده، در اینجا یعنی پودر لاستیک و فولاد، استفاده می‌کنند.

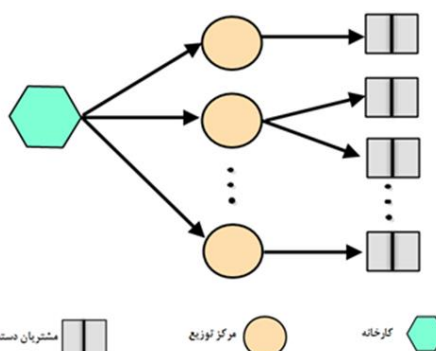
در سطح بعدی زنجیره، مراکز بازیافت هستند که باید از طریق مدل، مکان‌یابی شوند و با سطح ظرفیت مناسب راه‌اندازی شوند.



شکل ۲. زنجیره تأمین توسعه داده شده

لجستیک، تولید، توزیع و بازیافت است. سطوح تصمیم‌گیری هم به صورت راهبردی، یعنی مسائل مربوط به طراحی شبکه و هم به صورت تاکتیکی در قالب مسائل مربوط به تخصیص، حمل و نقل، موجودی و... است. این مدل دوهدفه، به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی آمیخته با اعداد صحیح نوشته شده است.

شبکه زنجیره تأمین رو به جلو موجودی که به آن اشاره شد و در حال حاضر مشغول فعالیت است، در شکل ۱ مشاهده می‌شود. این شبکه شامل تولیدکننده، مراکز توزیع و مشتریانی است که در اینجا مشتریان دسته اول نامیده شده‌اند. محصولات تولیدشده توسط تولیدکننده به مراکز توزیع ارسال و از آنجا به نقاط مشتریان نهایی فرستاده می‌شود.



شکل ۱. زنجیره تأمین رو به جلو موجود

پس از بهبود شبکه رو به جلو موجود، طراحی شبکه رو به عقب و یکپارچه‌سازی این دو، شبکه زنجیره تأمین همانند شکل ۲ ارتقا پیدا می‌کند. یکی از چالش‌های تحقیق حاضر این است که مدل باید تصمیم بگیرد کدام یک از مراکز توزیع به همان صورت باقی بماند، کدام یک از مراکز توزیع موجود به مراکز ترکیبی تبدیل شود، چه تعداد مراکز جمع‌آوری جدید و در کجا احداث شود و چه تعداد مراکز ترکیب جدید و در کجا راه‌اندازی شود. در تمامی این تسهیلات، محدودیت ظرفیت لحاظ شده است.

با توجه به مطالب یادشده، به منظور جمع‌آوری محصولات از مشتریان، با استفاده از مفهوم CRM سیاست‌های تشویقی و انگیزشی برای مشتریان به منظور

برای مشتریان تعریف شده است. این گزینه‌ها که به تفصیل در بخش مدل آورده شده‌اند، هر کدام از دیدگاه مشتری ضریب اهمیتی دارند که در تابع هدف دوم لحاظ شده‌اند؛ برای مثال، یکی از گزینه‌ها بدین صورت است که به‌ازای دریافت تعداد ویژه‌ای محصول فرسوده از مشتری، یک عدد محصول رایگان به او اهدا می‌شود.

## مدل ریاضی

### مجموعه‌ها

$l$	مکان ثابت و مشخص کارخانه‌ها ( $l=1,2,\dots,L$ )
$i$	مکان ثابت و مشخص مراکز توزیع ( $i=1,2,\dots,I$ )
$j$	نقاط کاندید برای احداث مراکز جمع‌آوری ( $j=1,2,\dots,J$ )
$k$	نقاط کاندید برای احداث مراکز ترکیبی ( $k=1,2,\dots,K$ )
$m$	مشتریان اولیه و ثانویه ( $m=1,2,\dots,M$ )
$n$	نقاط کاندید برای احداث مراکز باز یافت ( $n=1,2,\dots,N$ )
$o$	مشتریان دسته سوم ( $o=1,2,\dots,O$ )
$p$	نوع محصولات در شبکه رو به جلو ( $p=1,2,\dots,P$ )
$p'$	نوع محصولات باز یافت‌شده در شبکه رو به عقب ( $p'=1,2,\dots,P'$ )
$t$	دوره‌ها ( $t=1,2,\dots,T$ )
$as$	مجموعه گزینه‌های CRM ای تعریف‌شده

### پارامترها

$PP_{pt}$	قیمت فروش محصول $P$ ام در دوره $t$ ام
$PA_{p't}$	قیمت فروش محصول باز یافت‌شده $P'$ ام بر حسب تن در دوره $t$ ام
$PC_{pt}$	هزینه متغیر تأمین و تولید محصول $P$ ام در دوره $t$ ام
$RC_{p't}$	هزینه متغیر تولید محصول باز یافتی $P'$ ام بر حسب تن در دوره $t$ ام
$D_{mpt}$	تقاضای مشتری $m$ ام برای محصول $P$ ام در دوره $t$ ام

طبق شکل ۲، در جریان رو به جلو، محصولات تولیدشده توسط تولیدکننده به یکی از مراکز توزیع کننده-مرکز توزیعی که ترکیب شد یا یک مرکز ترکیبی جدید-ارسال می‌شود. سپس این محصولات به مشتریان دسته اول می‌رسد. در جریان رو به عقب، محصولات فرسوده از مشتریان دسته اول و دوم در یکی از مراکز جمع‌آوری-مرکز توزیعی که ترکیب شد یا مرکز ترکیبی جدید-جمع‌آوری می‌شود. از آنجا محصولات فرسوده جمع‌آوری شده به مراکز باز یافت احداث شده به منظور انجام دادن عملیات باز یافت، که در اینجا منظور عملیات خردایش و پودر کردن لاستیک است، ارسال می‌شود. محصولات جدید باز یافتی به مشتریان دسته سوم یعنی بازار صنایع مختلف فروخته می‌شود. همچنین، به دلیل ماهیت لاستیک، واحد شمارش قبل از باز یافت، تعداد و بعد از باز یافت، بر حسب تن در نظر گرفته شده است.

مسئله هم در جریان بخش تولید، به علت تولید انواع لاستیک‌های سواری، باری، سنگین، نیمه‌سنگین، راه‌سازی، دوچرخه، موتور و... و هم در جریان بخش باز یافت، به علت تولید پودر لاستیک با اندازه‌های متفاوت، متناسب با نیاز صنعت متقاضی مورد نظر، به صورت چند محصوله لحاظ شده است. همچنین، هزینه تقاضاهای پاسخ داده نشده در قالب هزینه سفارش‌های عقب افتاده در نظر گرفته شده است. برای یافتن مقدار بهینه تولید در هر دوره، هزینه نگهداری هم محاسبه شده است.

هزینه‌های حمل و نقل در سطوحی که نیاز است هزینه را خود زنجیره تقبل کند، در نظر گرفته شده است که عبارت‌اند از: در جریان رو به جلو، هزینه حمل و نقل از مرکز تولید کننده به مراکز توزیع یا ترکیبی و در جریان رو به عقب، هزینه حمل و نقل از مراکز جمع‌آوری، ترکیبی و مراکز توزیعی که ترکیبی شدند به مراکز باز یافت و همچنین هزینه حمل و نقل از مراکز باز یافت به نقاط مشتریان دسته سوم.

در ادامه به تشریح نحوه مدل نویسی بخش CRM که در قالب تابع هدفی جداگانه بیان شده است، می‌پردازیم. در راستای افزایش میزان رضایت مشتری از زنجیره و همکاری هر چه بیشتر آن‌ها با زنجیره، چه برای خرید محصولات و چه برای تحویل محصولات فرسوده، تعدادی گزینه تشویقی

دریافت محصولات جمع آوری شده در زنجیره رو به عقب		تقاضای مشتری دسته سوم $o$ ام برای محصول باز یافت شده $P'$ ام بر حسب تن در دوره $t$ ام	$D'_{op't}$
حداقل ظرفیت مرکز ترکیبی جدید $k$ ام برای دریافت محصولات جمع آوری شده در زنجیره رو به عقب	$NCR_k$	هزینه حمل و نقل از کارخانه به مراکز توزیع یا ترکیبی محصول $P$ ام در دوره $t$ ام	$TD_{pt}$
ماتریس تبدیل مقدار (تعداد) محصول به وزن اجزای محصول بر حسب تن	$MM_{p'}$	هزینه حمل و نقل از مراکز جمع آوری، ترکیبی و مراکز توزیعی که ترکیبی شدند به مراکز باز یافت محصول $P$ ام در دوره $t$ ام	$TR_{pt}$
هزینه نگهداری محصول $P$ ام در کارخانه $l$ ام در دوره $t$ ام	$HH_{pl}$	هزینه حمل و نقل از مراکز باز یافت به مشتریان دسته سوم محصول باز یافت شده $P'$ ام بر حسب تن در دوره $t$ ام	$TO_{p't}$
هزینه سفارش عقب افتاده محصول $P$ ام در دوره $t$ ام	$CBO_{pt}$	هزینه ترکیبی کردن مرکز توزیع $i$ ام	$IC_i$
ظرفیت کارخانه $l$ ام برای تولید محصول $P$ ام	$CAP_{pl}$	هزینه راه اندازی مرکز جمع آوری $j$ ام	$FCC_j$
حداکثر ظرفیت مرکز توزیع موجود $l$ ام در جریان رو به جلو	$UF_i$	هزینه راه اندازی مرکز ترکیبی $k$ ام	$FCH_k$
حداکثر ظرفیت مرکز توزیع $i$ امی که قرار است ترکیبی شود در جریان رو به عقب	$UR_i$	هزینه راه اندازی مرکز باز یافت $n$ ام	$FC_n$
$A_{as} = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6]$ ماتریس ضرایب تأثیر گذاری گزینه های تعریف شده بر میزان رضایت مشتری.		مقدار محصول بازگشتی که با روش های دیگر مثل پیدا کردن دپوها در دوره $t$ ام جمع آوری می شود.	$\alpha_t$
		میانگین حجم محصول فرسوده تولیدی کشور در هر دوره	$\gamma$
		تعداد محصول فرسوده ای که در ازای اهدای یک عدد محصول رایگان گرفته می شود	$\beta$
		فاصله کارخانه $l$ ام از مرکز توزیع $i$ ام	$DA_{li}$
		فاصله کارخانه $l$ ام از مرکز ترکیبی $k$ ام	$DB_{lk}$
		فاصله مرکز ترکیبی $k$ ام از مرکز باز یافت $n$ ام	$DC_{kn}$
		فاصله مرکز جمع آوری $j$ ام از مرکز باز یافت $n$ ام	$DD_{jn}$
		فاصله مرکز توزیع $i$ امی که ترکیبی شد به مرکز باز یافت $n$ ام	$DE_{in}$
		فاصله مرکز باز یافت $n$ ام به مشتری دسته سوم $o$ ام	$DF_{no}$
		ظرفیت مرکز باز یافت $n$ ام	$CN_n$
		حداکثر ظرفیت مرکز جمع آوری $j$ ام	$MXC_j$
		حداقل ظرفیت مرکز جمع آوری $j$ ام	$MNC_j$
		حداکثر ظرفیت مرکز ترکیبی جدید $k$ ام برای دریافت محصولات در زنجیره رو به جلو	$XCF_k$
		حداقل ظرفیت مرکز ترکیبی جدید $k$ ام برای دریافت محصولات در زنجیره رو به جلو	$NCF_k$
		حداکثر ظرفیت مرکز ترکیبی جدید $k$ ام برای	$XCR_k$

### هزینه های CRM ای

$COA = FF_{pmt} \times PP_{pt}$ : هزینه پیاده سازی گزینه اهدای یک عدد محصول رایگان به مشتری در ازای دریافت  $\beta$  عدد محصول جمع آوری شده به زنجیره به منظور باز یافت. یعنی مقدار درآمدی است که به ازای اهدای رایگان از دست می دهیم.

$COB$ : هزینه پیاده سازی گزینه ضمانت، فقط برای مشتریان کلیدی، به منظور حفظ مشتریان کلیدی حاضر و تشویق دیگر مشتریان به منظور پیوستن به گروه مشتریان کلیدی زنجیره. مشتریان کلیدی به مشتریان وفاداری گفته می شود که هم از محصولات زنجیره خریداری می کنند و هم محصولات استفاده شده خود را به زنجیره برای باز یافت بازمی گردانند. از منظر CRM، باید بر این مشتریان که دارای زنجیره محسوب می شوند، تمرکز ویژه شود و روی آن ها سرمایه گذاری شود.

هزینه پیاده سازی گزینه هایی به منظور برقراری ارتباط الکترونیکی با مشتری (ECRM) برای سهولت برقراری

ارتباط و پاسخگویی سریع‌تر به مشتری (هزینه‌های $COC$ و $COD$ ).	$AG_{pmjt}$	مقدار محصول $P$ ارسالی از مشتری $m$ ام به مرکز جمع‌آوری $j$ ام در دورهٔ $t$ ام
$COC$ : ایجاد یک سامانهٔ پیامکی و اینترنتی، به‌منظور رفع پرسش‌های احتمالی مشتری. برخی از این پرسش‌ها عبارت‌اند از: یافتن نزدیک‌ترین مرکز جمع‌آوری یا ترکیبی به هر مشتری برای بازگرداندن محصولات استفاده‌شده، شرح هدف‌ها و علت‌های باز یافت این محصول به‌منظور افزایش سطح آگاهی مشتری و همراه کردن او برای رسیدن به اهداف و ارزش‌های زنجیره، بیان کردن گزینه‌های تشویقی در نظر گرفته‌شده توسط زنجیره برای حمایت و ارزش‌نهادن به مشتری.	$AH_{pmit}$	مقدار محصول $P$ ارسالی از مشتری $m$ ام به مرکز توزیع $i$ امی که ترکیبی شد در دورهٔ $t$ ام
$COD$ : اطلاع‌رسانی به مشتری از طریق پیامک، ایمیل و تلفن بعد از پایان عمر مفید محصول، به‌منظور یادآوری اتمام عمر مفید محصول خریداری‌شده و همچنین دعوت به همکاری با زنجیره به‌منظور باز یافت محصول استفاده‌شده.	$AI_{pjnt}$	مقدار محصول $P$ ارسالی از مرکز جمع‌آوری $j$ ام به مرکز باز یافت $n$ ام در دورهٔ $t$ ام
$COE$ : هزینهٔ پیاده‌سازی گزینهٔ ارسال وسیلهٔ حمل‌ونقل به مکان مشتری در صورت امکان ارسال بیش از ۱۰ عدد محصول استفاده‌شده توسط مشتری.	$AJ_{pint}$	مقدار محصول $P$ ارسالی از مرکز توزیع $i$ امی که ترکیبی شد به مرکز باز یافت $n$ ام در دورهٔ $t$ ام
$COF$ : هزینهٔ پیاده‌سازی گزینهٔ فرهنگ‌سازی از طریق تبلیغات.	$AK_{pknt}$	مقدار محصول $P$ ارسالی از مرکز ترکیبی $k$ ام به مرکز باز یافت $n$ ام در دورهٔ $t$ ام
متغیرهای تصمیم:	$AL_{p'not}$	مقدار محصول باز یافت‌شدهٔ $P'$ ام برحسب تن ارسالی از مرکز باز یافت $n$ ام به مشتری دسته سوم $O$ ام در دورهٔ $t$ ام
$Q_{plt}$ میزان تولید محصول $P$ ام در کارخانهٔ $l$ ام در دورهٔ $t$ ام	$IN_{plt}$	موجودی محصول $P$ در کارخانهٔ $l$ ام در پایان دورهٔ $t$ ام
$Q'_{p'nt}$ مقدار تولید محصول باز یافتی $P'$ ام برحسب تن در دورهٔ $t$ ام	$BO_{mpt}$	میزان سفارش عقب‌افتادهٔ مشتری $m$ ام محصول $P$ در دورهٔ $t$ ام
$AB_{plit}$ مقدار محصول $P$ ارسالی از کارخانهٔ $l$ ام به مرکز توزیع $i$ ام در دورهٔ $t$ ام	$X_i$	اگر مرکز توزیع $i$ ام قرار باشد ترکیبی شود مقدار یک می‌گیرد، در غیر این صورت صفر.
$AC_{plkt}$ مقدار محصول $P$ ارسالی از کارخانهٔ $l$ ام به مرکز ترکیبی $k$ ام در دورهٔ $t$ ام	$Y_j$	اگر مرکز جمع‌آوری $j$ ام راه‌اندازی شود مقدار یک، وگرنه صفر.
$AD_{pimt}$ مقدار محصول $P$ ارسالی از مرکز توزیع $i$ ام به مشتری $m$ ام در دورهٔ $t$ ام	$Z_k$	اگر مرکز ترکیبی $k$ ام راه‌اندازی شود مقدار یک، وگرنه صفر.
$AE_{pkmt}$ مقدار محصول $P$ ارسالی از مرکز ترکیبی $k$ ام به مشتری $m$ ام در دورهٔ $t$ ام	$W_n$	اگر مرکز باز یافت $n$ ام راه‌اندازی شود مقدار یک، وگرنه صفر.
$AF_{pmkt}$ مقدار محصول $P$ ارسالی از مشتری $m$ ام به مرکز ترکیبی $k$ ام در دورهٔ $t$ ام	$OA$	اگر گزینهٔ هدای یک عدد محصول رایگان در ازای دریافت ۶ عدد محصول جمع‌آوری‌شده اجرا شود مقدار یک می‌گیرد، در غیر این صورت صفر.
	$OB$	اگر گزینهٔ ضمانت اجرا، مقدار یک در غیر این صورت صفر.
	$OC$	اگر گزینهٔ سامانهٔ پیامکی و اینترنتی، اجرا، مقدار یک در غیر این صورت صفر.
	$OD$	اگر گزینهٔ اطلاع‌رسانی به مشتری، یک، وگرنه صفر.
	$OE$	اگر گزینهٔ ارسال وسیلهٔ حمل‌ونقل در صورت

$$\sum_m BO_{mpt} = \sum_m D_{mpt} - \left( \sum_{i,m} AD_{pimt} + \sum_{k,m} AE_{pkmt} \right) \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & + \sum_m BO_{mpt-1} \\ & \forall p, t \\ & \forall p', t, n \end{aligned} \quad (12)$$

$$Q'_{p'nt} = MM_{p'} \times \sum_p \left( \begin{matrix} \sum_k AK_{pknt} + \sum_j AI_{pjnt} \\ + \sum_i AJ_{pimt} + \alpha_t \end{matrix} \right) \quad (13)$$

$$\sum_n AL_{p'not} \leq D'_{op't} \quad \forall p', o, n \quad (14)$$

$$Q'_{p'nt} = \sum_{n,o} \sum AL_{p'not} \quad \forall p', t, n \quad (15)$$

$$\sum_m AD_{pimt} = \sum_l AB_{plit} \quad \forall p, i, t \quad (16)$$

$$\sum_m AH_{pmit} = \sum_n AJ_{pint} \quad \forall p, i, t \quad (17)$$

$$\sum_m AG_{pmjt} = \sum_n AI_{pjnt} \quad \forall p, j, t \quad (18)$$

$$\sum_l AC_{plkt} = \sum_m AE_{pkmt} \quad \forall p, k, t \quad (19)$$

$$\sum_m AF_{pmkt} = \sum_n AK_{pknt} \quad \forall p, k, t \quad (20)$$

$$\sum_n W_n \leq 2 \quad (21)$$

$$Q_{plt} \leq CAP_{pl} \quad \forall p, t, l \quad (22)$$

$$\sum_{p'} Q'_{p'nt} \leq CN_n \times W_n \quad \forall t, n \quad (23)$$

$$\sum_{p,m} AG_{pmjt} \leq MXC_j \times Y_j \quad \forall j, t \quad (24)$$

$$\sum_{p,m} AG_{pmjt} \geq MNC_j \times Y_j \quad \forall j, t \quad (25)$$

$$\sum_{p,l} AC_{plkt} \leq XCF_k \times Z_k \quad \forall k, t \quad (26)$$

$$\sum_{p,l} AC_{plkt} \geq NCF_k \times Z_k \quad \forall k, t \quad (27)$$

$$\sum_{p,m} AF_{pmkt} \leq XCR_k \times Z_k \quad \forall k, t \quad (28)$$

$$\sum_{p,m} AF_{pmkt} \geq NCR_k \times Z_k \quad \forall k, t \quad (29)$$

$$\sum_{p,l} AB_{plit} \leq UF_i \quad \forall i, t \quad (30)$$

$$\sum_{p,m} AH_{pmit} \leq UR_i \quad \forall i, t \quad (31)$$

$$AC_{plkt} \leq M \times Z_k \quad \forall p, t, l, k \quad (32)$$

$$AE_{pkmt} \leq M \times Z_k \quad \forall p, t, m, k \quad (33)$$

$$AF_{pmkt} \leq M \times Z_k \quad \forall p, t, m, k \quad (34)$$

$$AG_{pmjt} \leq M \times Y_j \quad \forall p, t, m, j \quad (35)$$

$$AH_{pmit} \leq M \times X_i \quad \forall p, t, m, i \quad (36)$$

$$AK_{pknt} \leq M \times W_n \quad \forall p, t, k, n \quad (37)$$

$$AK_{pknt} \leq M \times Z_k \quad \forall p, t, k, n \quad (38)$$

$$AI_{pjnt} \leq M \times W_n \quad \forall p, t, j, n \quad (39)$$

ارسال بیش از ۱۰ عدد محصول، اجرا مقدار یک، در غیر این صورت صفر.

اگر گزینه تبلیغات و فرهنگ سازی، اجرا مقدار یک در غیر این صورت صفر. *OF*

تعداد محصول  $P$  ای که براساس سیاست‌های CRM به صورت رایگان به مشتری  $m$  در دوره  $t$  ام اهدا می‌شود. *FF<sub>pmt</sub>*

توابع هدف:

$$Max f_1 = \sum_t \sum_p \left( \sum_{i,m} AD_{pimt} + \sum_{k,m} AE_{pkmt} \right) PP_{pt} \quad (1)$$

$$+ \sum_{t,p,n,o} \sum AL_{p'not} PA_{p't} - \sum_{t,p,l} \sum PC_{pt} Q_{plt} \quad (2)$$

$$- \sum_{t,p} \sum TD_{pt} \left( \sum_{l,i} AB_{plit} DA_{li} + \sum_{l,k} AC_{plkt} DB_{lk} \right) \quad (3)$$

$$- \sum_{t,p} \sum TR_{pt} \left( \begin{matrix} \sum_{k,n} AK_{pknt} DC_{kn} + \sum_{j,n} AI_{pjnt} DD_{jn} \\ + \sum_{i,n} AJ_{pint} DE_{in} \end{matrix} \right) \quad (4)$$

$$- \sum_{t,p,n,o} \sum TO_{p't} AL_{p'not} DF_{no} \quad (5)$$

$$- \sum_{i=1}^d IC_i X_i - \sum_{j=1}^c FCC_j Y_j - \sum_{k=1}^h FCH_k Z_k \quad (6)$$

$$- \sum_n FC_n W_n - \sum_{t,n,p'} \sum RC_{p't} Q'_{p'nt} \quad (7)$$

$$- \sum_{t,l,p} \sum HH_{plt} \times IN_{plt} - \sum_{m,p,t} \sum CBO_{pt} \times BO_{mpt} \quad (8)$$

$$- \left( \sum_{t,p,m} PP_{pt} \times FF_{pmt} \times OA \right) - (COB \times OB) - \quad (9)$$

$$(COC \times OC) - (COD \times OD) - (COE \times OE) - (COF \times OF)$$

$$Max f_2 = \frac{1}{\gamma} V(U(a)) \quad (10)$$

$$U(a) = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6] \begin{bmatrix} OA \\ OB \\ OC \\ OD \\ OE \\ OF \end{bmatrix}$$

محدودیت‌ها:

$$Q_{plt} - IN_{plt} + IN_{plt-1} = \sum_i AB_{plit} + \sum_k AC_{plkt} \quad (11)$$

$$\forall p, l, t$$

تابع هدف دوم از جنس بیشینه‌کردن مقدار محصول فرسوده جمع‌آوری شده است تا بتوان تمامی محصولات فرسوده تولیدشده در هر دوره در کشور را برای انجام‌دادن عملیات بازیافت جمع‌آوری کرد. در راستای تحقق این مهم، از CRM به‌منظور جذب مشتریانی جدید برای تحویل محصولات فرسوده خود به زنجیره برای اولین بار، ترغیب همین مشتریان به تحویل‌های بعدی در آینده، حفظ مشتریان خود زنجیره و تبدیل کردن آن‌ها به مشتریان وفادار از طریق حداکثرکردن میزان رضایت و مطلوبیت آن‌ها استفاده شده است، به‌گونه‌ای که جزء دارایی‌های زنجیره تلقی شوند. این تابع هدف، کسری است که در صورت آن مقدار محصولات جمع‌آوری شده از این طریق قرار می‌گیرد و در مخرج آن، میانگین حجم محصول فرسوده تولیدشده در کشور در هر دوره گذاشته می‌شود.

عبارت‌های ۱۱ و ۱۲ محدودیت‌های تعادل جریان در بخش تولید و عبارت‌های ۱۳ تا ۱۵ تعادل جریان در بخش بازیافت، عبارت‌های ۱۶ و ۱۷ تعادل جریان در مراکز توزیع و همچنین عبارت ۱۸ برای مراکز جمع‌آوری، عبارت‌های ۱۹ و ۲۰ برای مراکز ترکیبی هستند. عبارت ۲۱ به‌منظور محدودکردن تعداد مراکز بازیافتی است که قرار است راه‌اندازی شود. عبارت‌های ۲۲ و ۲۳ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ محدودیت‌های ظرفیت مرکز تولید و مراکز بازیافت هستند. برای مراکز جمع‌آوری حداکثر و حداقل ظرفیت لحاظ شده است که در عبارت‌های ۲۴ و ۲۵ آورده شده‌اند. برای مراکز ترکیبی جدید، هم در جریان رو به جلو و هم در جریان رو به عقب، حداکثر و حداقل ظرفیت در نظر گرفته شده است که به‌ترتیب در عبارت‌های ۲۶ تا ۲۹ بیان شده‌اند. از آنجاکه مراکز توزیع موجود می‌توانند با صرف هزینه، به‌صورت ترکیبی عمل کنند، برای تصمیم‌بهرینه درمورد ترکیبی‌شدن یا ترکیبی‌نشدن این مراکز، حداکثر ظرفیت این مراکز در جریان رو به جلو و رو به عقب با ۳۰ و ۳۱ مدل‌نویسی شدند.

بخش بعدی محدودیت‌ها به محدودیت اتصال و گره مربوط است؛ برای مثال، عبارت ۳۲ که محدودیت اتصال مرکز تولید به مرکز ترکیبی است، برای این است که تا زمان احداث مرکز ترکیبی  $k$  ام، جریانی از مرکز تولید به این مرکز ترکیبی اختصاص پیدا نکند. به همین صورت،

$$AI_{pjnt} \leq M \times Y_j \quad \forall p, t, j, n \quad (40)$$

$$AJ_{p\text{int}} \leq M \times W_n \quad \forall p, t, i, n \quad (41)$$

$$AJ_{p\text{int}} \leq M \times X_i \quad \forall p, t, i, n \quad (42)$$

$$AL_{p'\text{not}} \leq M \times W_n \quad \forall p', t, n, o \quad (43)$$

$$FF_{pmt} = \left[ \frac{\sum_k AF_{p mkt} + \sum_j AG_{p mjt} + \sum_i AH_{p mit}}{\beta} \right] \quad (44)$$

$$\forall p, m, t$$

$$\forall p, t$$

$$\sum_m \left( \sum_k AF_{p mkt} + \sum_j AG_{p mjt} + \sum_i AH_{p mit} \right) \leq \gamma \quad (45)$$

$$X_i, Y_j, Z_k, W_n, OA, OB, OC, OD, OE, OF \in \{0, 1\}$$

$$(46)$$

$$\forall i, j, k, n$$

$$Q_{plt}, Q'_{p'nt}, AB_{plit}, AC_{plkt}, AD_{pimt}, AE_{pkmt},$$

$$AF_{p mkt}, AG_{p mjt}, AH_{p mit}, AI_{pjnt}, AJ_{pint},$$

$$(47)$$

$$AK_{pkmt}, AL_{p'\text{not}}, IN_{pt}, LS_{pt}, FF_{pmt} \geq 0 \text{ and integer}$$

$$\forall p, p', t, i, j, k, l, m, n, o$$

## تشریح مدل ریاضی

تابع هدف اول از جنس سود است که از تفریق تمامی هزینه‌های زنجیره از مجموعهٔ درآمدهای آن حاصل شده است. عبارت ۱ میزان درآمد حاصل از فروش محصولات در جریان رو به جلو، قسمت اول عبارت ۲ برابر درآمد فروش محصولات بازیافت‌شده در جریان رو به عقب شبکه و قسمت دوم آن، هزینهٔ متغیر تأمین و تولید در جریان روبه جلو است. عبارت‌های ۳ تا ۵ هزینه‌های حمل‌ونقل را دربرمی‌گیرند که به‌ترتیب عبارت‌اند از: هزینهٔ حمل‌ونقل از کارخانه به مراکز توزیع و ترکیبی، هزینهٔ حمل‌ونقل از مراکز توزیع، ترکیبی و جمع‌آوری به مراکز بازیافت و هزینهٔ حمل‌ونقل از مراکز بازیافت به مشتریان دسته سوم. عبارت ۶ نیز به‌ترتیب به هزینهٔ ترکیبی‌کردن مراکز توزیع موجود، هزینهٔ راه‌اندازی مراکز جمع‌آوری و هزینهٔ راه‌اندازی مراکز ترکیبی جدید، عبارت ۷ به هزینهٔ راه‌اندازی مراکز بازیافت با سطح ظرفیت مناسب و هزینهٔ عملیات بازیافت اشاره دارد. قسمت اول عبارت ۸ بیانگر هزینهٔ نگهداری موجودی در مرکز تولید و قسمت دوم آن هزینهٔ سفارش‌های عقب‌افتاده است. در نهایت، در عبارت ۹ هزینه‌های CRM محاسبه شده است.



### رویکرد حل

برنامه‌ریزی آرمانی یکی از مهم‌ترین روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی چندهدفه در حالت تصمیم‌گیری پیش از جست‌وجو است. برنامه‌ریزی آرمانی در مقایسه با برنامه‌ریزی خطی می‌تواند آرمان‌های مختلف را مدنظر قرار دهد و انحراف از آرمان‌ها را مجاز می‌داند و از این‌رو در فرایند تصمیم‌گیری انعطاف‌پذیری ایجاد می‌کند. نگرش‌های استاندارد برنامه‌ریزی آرمانی بر یافتن یک جواب نزدیک به سطح انتظار هر تابع هدف تأکید می‌کند و انحرافات به‌وجودآمده از سطح انتظار هر تابع هدف را کمینه می‌کند. با این‌حال، در عمل تعیین یک سطح انتظار محافظه‌کارانه اولیه برای تصمیم‌گیرنده براساس اطلاعات موجود و محدودیت منابع برای هر تابع هدف بسیار سخت است. برای غلبه بر چنین مشکلی، چنگ در سال ۲۰۰۸ یک روش جدید با نام برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده، برای مسائل تصمیم‌گیری چندهدفه با چندین سطح انتظار برای هر آرمان پیشنهاد داد [۲۲].

طبق این رویکرد، در صورتی که آرمان مورد نظر در حالت "هرچه بیشتر، بهتر" باشد، مدل آرمانی مسئله به‌صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \sum_{i=1}^n \left[ \omega_i (d_i^+ + d_i^-) + \rho_i (e_i^+ + e_i^-) \right] \\ \text{s.t} & \\ & h_k(X) = (\leq \text{ or } \geq) 0 \quad k = 1, 2, \dots, q \\ & f_i(X) - d_i^+ + d_i^- = y_i \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & y_i - e_i^+ + e_i^- = g_i.\text{max} \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & g_i.\text{min} \leq y_i \leq g_i.\text{max} \quad i = 1, 2, \dots, n \\ & d_i^+, d_i^-, e_i^+, e_i^- \geq 0 \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned}$$

در مدل بالا،  $\omega_i$  نشان‌دهنده وزن (اهمیت) انحرافات مثبت و منفی آرمان  $i$ ام،  $y_i$  یک متغیر پیوسته با محدوده  $g_i.\text{min} \leq y_i \leq g_i.\text{max}$  و وزن مجموع انحرافات مثبت و منفی متغیر  $y_i$  از حد سطوح انتظار،  $d_i^+$  و  $d_i^-$  انحرافات مثبت و منفی از  $|f_i(X) - y_i|$  و  $e_i^+$  و  $e_i^-$  انحرافات مثبت و منفی از  $|y_i - g_i.\text{max}|$  هستند.

با توجه به توضیحات یادشده، مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح‌شده مسئله تحقیق حاضر به‌صورت زیر فرمول‌بندی می‌شود.

برای باقی‌گروه‌ها محدودیت‌های اتصال وجود دارد. عبارت‌های ۳۳ تا ۳۶ به ترتیب بیانگر اتصال مرکز ترکیبی جدید به مشتری، اتصال مشتری به مرکز ترکیبی جدید، اتصال مشتری به مرکز جمع‌آوری و اتصال مشتری به مرکز توزیعی که ترکیبی شد، هستند. برای اتصال مرکز ترکیبی جدید به مرکز باز یافت عبارت‌های ۳۷ و ۳۸، برای اتصال مرکز جمع‌آوری به مرکز باز یافت عبارت‌های ۳۹ و ۴۰، برای اتصال مرکز توزیعی که ترکیبی شد به مرکز باز یافت عبارت‌های ۴۱ و ۴۲ و برای اتصال مرکز باز یافت به مشتری دسته سوم عبارت ۴۳ بیانگر محدودیت‌های اتصال هستند. عبارت ۴۴ که یکی از چالش‌های تحقیق حاضر محسوب می‌شود، معادله محاسبه تعداد اهدای رایگان است. صورت کسر، مجموعه محصولات فرسوده‌ای است که مشتری در هر دوره از طریق مراکز جمع‌آوری، ترکیبی جدید یا مرکز توزیعی که ترکیبی شد به زنجیره تحویل می‌دهد. با محاسبه بزرگ‌ترین عدد صحیح کوچک‌تر از این کسر، تعداد محصول رایگانی که توسط زنجیره به مشتریان با استفاده از مفاهیم CRM ای اهدا می‌شود محاسبه می‌شود. عبارت ۴۵ به‌منظور محدود کردن جریان کالای برگشتی لحاظ شده است. عبارت‌های ۴۶ و ۴۷ محدودیت‌های منطقی مسئله هستند.

### خطی سازی مدل

به‌علت ضرب یک متغیر باینری در یک متغیر صحیح در قسمت اول عبارت (۹) در تابع هدف اول، مدل غیرخطی است. با معرفی یک متغیر صحیح کمکی و چندین محدودیت، مدل خطی سازی می‌شود [۲۱]. متغیر کمکی  $FOA_{pmt} = FF_{pmt} \times OA$  تعریف و عبارت ۹ به‌صورت عبارت ۴۸ بازنویسی و محدودیت‌های ۴۹ تا ۵۲ به‌منظور خطی سازی به مدل غیرخطی بالا اضافه می‌شود.

$$\begin{aligned} & - \left( \sum_t \sum_p \sum_m PP_{pt} \times FOA_{pmt} \right) - (COB \times OB) \\ & - (COC \times OC) - (COD \times OD) - (COE \times OE) \\ & - (COF \times OF) \end{aligned} \quad (48)$$

$$FOA_{pmt} \geq FF_{pmt} - M(1 - OA) \quad \forall p, m, t \quad (49)$$

$$FOA_{pmt} \leq FF_{pmt} + M(1 - OA) \quad \forall p, m, t \quad (50)$$

$$FOA_{pmt} \leq M \times OA \quad \forall p, m, t \quad (51)$$

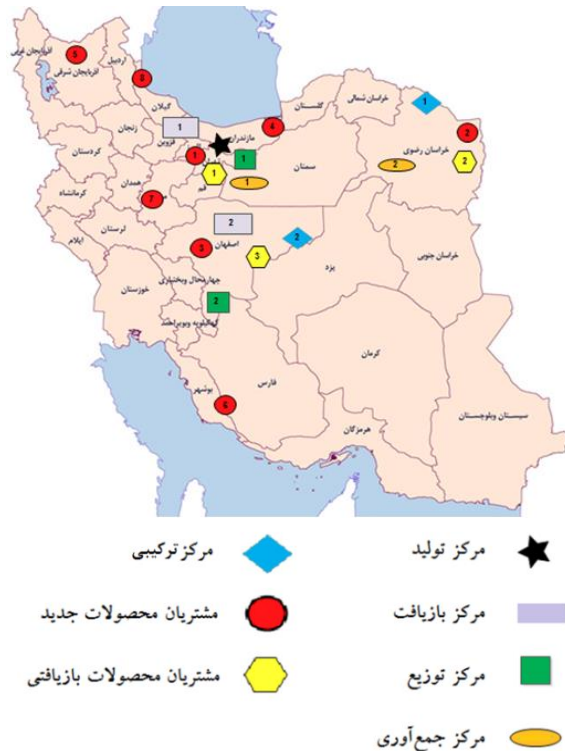
$$FOA_{pmt} \geq 0, \text{integer} \quad \forall p, m, t \quad (52)$$

عقب زنجیره، در سه نقطه تهران، مشهد و اصفهان لحاظ شده‌اند. شکل ۳ نقشه زنجیره تأمین را که به‌عنوان ورودی به مدل پیشنهاد می‌شود نشان می‌دهد تا در مراحل بعدی، جواب بهینه را ارائه دهد.

در جریان رو به جلو، دو نوع محصول لاستیک خودروی سواری و لاستیک کامیون و در جریان رو به عقب، دو نوع محصول پودر لاستیک و فولاد وجود دارند. از پودر کردن یک تن تایر فرسوده، حدود ۰/۶ تن پودر لاستیک و ۰/۴ تن فولاد تهیه می‌شود. با احتساب وزن تقریبی هر تایر معادل ۴ کیلوگرم، توسط ماتریس  $MM_{p'}$  که پیش‌تر تعریف شد مقدار جریان رو به جلوی زنجیره که برحسب تعداد حلقه است به مقدار جریان رو به عقب که برحسب تن است ارتباط داده می‌شود. همچنین، مسئله در دو دوره زمانی یک‌ساله بررسی می‌شود.

$$MM_{p'} = 0.004[0.6 \quad 0.4] = [0.0024 \quad 0.0016]$$

همه محاسبات با استفاده از الگوریتم شاخه و کران در نرم‌افزار لینگو ۹ روی رایانه شخصی پردازشگر ۳/۱ گیگاهرتز با ۶ گیگابایت حافظه داخلی در ویندوز ۷ اجرا شده است.



شکل ۳. نقشه شبکه زنجیره مورد بررسی

$$\text{Min } f_3 = \left( \frac{\omega_1}{f_{1\max} - f_{1\min}} \right) (d_1^+ + d_1^-) + \left( \frac{\rho_1}{f_{1\max} - f_{1\min}} \right) (e_1^+ + e_1^-) \quad (53)$$

$$+ \left( \frac{\omega_2}{f_{2\max} - f_{2\min}} \right) (d_2^+ + d_2^-) + \left( \frac{\rho_2}{f_{2\max} - f_{2\min}} \right) (e_2^+ + e_2^-) \quad (54)$$

$$f_1 - d_1^+ + d_1^- = R_1 \quad (55)$$

$$R_1 - e_1^+ + e_1^- = f_{1\max} \quad (56)$$

$$f_{1\min} \leq R_1 \leq f_{1\max} \quad (57)$$

$$f_2 - d_2^+ + d_2^- = R_2 \quad (58)$$

$$R_2 - e_2^+ + e_2^- = f_{2\max} \quad (59)$$

$$f_{2\min} \leq R_2 \leq f_{2\max} \quad (60)$$

$$f_1 \leq f_{1\max} \quad (61)$$

$$f_1 \geq f_{1\min} \quad (62)$$

$$f_2 \leq f_{2\max} \quad (63)$$

$$f_2 \geq f_{2\min} \quad (64)$$

$$d_1^+, d_1^-, e_1^+, e_1^-, d_2^+, d_2^-, e_2^+, e_2^- \geq 0$$

به‌علاوه توابع  $f_1, f_2$  و تمامی محدودیت‌های مدل ارائه

شده در بخش تشریح مسئله اضافه می‌شود.

## مطالعه موردی

طبق گزارش‌های وزارت صنعت و معدن ایران، به‌ازای هر ۸ تا ۹ نفر، یک خودرو در کشور وجود دارد. میزان تایر فرسوده تولیدشده ۳/۶ کیلوگرم به‌ازای هر نفر در سال است که این مقدار با جمعیت کنونی کشور معادل تقریباً ۱۵ میلیون حلقه یا ۶۰ هزار تن تایر فرسوده است. همچنین، این مقدار در هر سال ۲ درصد افزایش می‌یابد [۲۳].

طبق توضیحات مطرح‌شده، از میان پرجمعیت‌ترین شهرهای کشور تعدادی نقاط کاندید برای احداث تسهیلات به‌علت تولید بیشترین مقدار تایرهای فرسوده انتخاب می‌شوند. نقاط کاندید برای احداث مراکز جمع‌آوری، شهرهای تهران و مشهد، مراکز ترکیبی جدید، شهرهای اصفهان و مشهد و مراکز بازیافت، شهرهای تهران و اصفهان در نظر گرفته شده‌اند. همچنین، مشتریان در جریان رو به جلوی زنجیره، در هشت نقطه تهران، مشهد، اصفهان، بابل، تبریز، بوشهر، اراک و رشت و مشتریان در جریان رو به

در بخش‌های پیشین در مدل برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح شده از ضرایب با عنوان  $\omega_i$  استفاده شده است که وزن انحرافات مثبت و منفی آرمان  $i$  ام را نشان می‌دهد. این ضرایب با تصمیم‌گیرنده، به صورت ورودی به مدل داده می‌شود و مقدار آن تأثیر مستقیم بر جواب بهینه مدل دارد. در نتیجه، تصمیم‌گیرندگان باید با آگاهی کامل از نحوه اثرگذاری مقادیر مختلف این وزن‌ها بر جواب بهینه مدل، ارقامی کاملاً مناسب به این ضرایب اختصاص دهند. از این رو، اثر تغییرات هریک از وزن‌های توابع بر جواب بهینه تابع هدف حداقل‌سازی انحراف از آرمان‌ها بررسی شده است. برای این کار با تخصیص مقادیر مختلف به  $\omega_1$  و  $\omega_2$  مدل آرمانی چندین بار اجرا شده است.

در جواب بهینه، یک مرکز جمع‌آوری در تهران، یک مرکز هیبرید در مشهد، دو مرکز بازاریافت در شهرهای تهران و اصفهان احداث شدند و هر دو مرکز توزیع در جواب بهینه به مراکز ترکیبی تبدیل شدند. مقادیر بهینه توابع هدف در جدول ۱ و همچنین گزینه‌های CRM ای که در جواب بهینه می‌توانند اجرا شوند در جدول ۲ آورده می‌شود. در جدول ۳ نیز مقادیر بهینه تولید و بازاریافت آورده می‌شود.

جدول ۱. جواب بهینه توابع هدف

تابع هدف $f_1$	۱۲۸۱۱۹۳۰۰۰
تابع هدف $f_2$	۰/۰۵۳۳۳
تابع هدف $f_3$	۰/۱۷۲۴۷۱

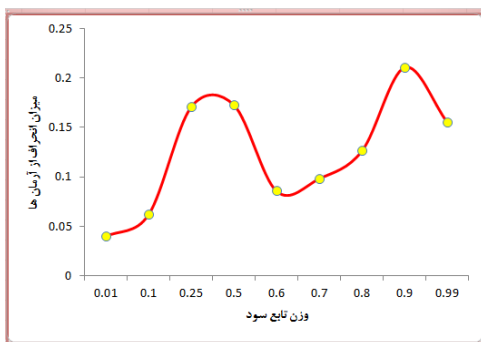
جدول ۲. جواب بهینه گزینه‌های CRM ای

گزینه OA	غیرفعال	گزینه OD	فعال
گزینه OB	فعال	گزینه OE	فعال
گزینه OC	فعال	گزینه OF	فعال

جدول ۳. مقادیر بهینه تولید و بازاریافت

متغیر تصمیم	شهر	محصول	دوره اول	دوره دوم
مقدار تولید در مرکز تولید	تهران	سواری	۳۶۰۰۰۰۰	۳۶۰۰۰۰۰
		کامیون	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰
مقدار تولید در مراکز بازاریافت	تهران	پودر لاستیک	۷۵۰۳	۷۶۵۳
		فولاد	۵۰۰۲	۵۱۰۲
	اصفهان	پودر لاستیک	۳۰۰۰	۳۱۵۰
		فولاد	۲۰۰۰	۲۱۰۰

به اثر تغییرات نشان داده شده، تصمیم‌گیرندگان با دقت و آگاهی بیشتری به تخصیص وزن اهمیت توابع بپردازند.

شکل ۴. اثر تغییر ضریب  $\omega_1$  بر تابع  $f_3$ 

شکل ۴ یک نمایش گرافیکی از مقادیر جواب بهینه‌ای است که تابع  $f_3$  اختیار می‌کند، به‌ازای مقادیر مختلف  $\omega_1$  که از عددی نزدیک به صفر شروع و به عددی نزدیک به یک ختم می‌شود. مقدار انحراف از آرمان‌ها در شرایطی که  $\omega_1$  در دو بازه  $۰/۲۵ - ۰/۵$  و  $۰/۸۵ - ۰/۹$  قرار گیرد، زیاد است. این امر به تصمیم‌گیرندگان برای تعیین کردن مقدار وزن اهمیت تابع اول کمک می‌کند. از آنجا که جمع ضرایب برابر یک است، اثر وزن تابع دوم بر میزان انحراف قابل‌پیش‌بینی است، بدین صورت که اگر مقدار  $\omega_2$  در دو بازه  $۰/۱ - ۰/۱۵$  و  $۰/۵ - ۰/۷۵$  قرار گیرد، میزان انحراف از آرمان‌ها افزایش می‌یابد. در نهایت، توصیه می‌شود با توجه

## نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تصمیمات راهبردی و تاکتیکی خود زنجیره به اضافه تصمیمات مربوط به مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری، به منظور مشتری‌محور کردن زنجیره، با هدف برد در فضای رقابتی واقعی به صورت ریاضی مدل‌نویسی و به صورت همزمان بررسی شدند. مدل ارائه‌شده برای زنجیره تأمین صنعت بازیافت تیر فرسوده در کشور، با توجه به فعال بودن بخش رو به جلوی زنجیره، یعنی تولید و مصرف تیر است، بدین صورت که با بررسی زنجیره رو به جلوی موجود، بهبود عملکرد آن صورت گرفته و به منظور اجرای فعالیت‌های بازیافت، طراحی بخش رو به عقب زنجیره و در نهایت یکپارچه‌سازی کل زنجیره انجام گرفته است.

مدل ارائه‌شده در این تحقیق، اهدافی مانند پیشینه‌سازی سود که از کم کردن مجموع هزینه‌های متغیر تأمین و تولید، بازیافت، راه‌اندازی تسهیلات، حمل‌ونقل، نگهداری، سفارش‌های به تعویق افتاده و گزینه‌های CRM ای از مجموع درآمدهای حاصل از فروش محصولات در جریان رو به جلو و رو به عقب حاصل می‌شود، پیشینه‌سازی میزان بازگشت محصولات فرسوده که از طریق پیشینه‌کردن رضایت‌مندی مشتری انجام می‌پذیرد و کمینه کردن اختلاف هریک از توابع هدف از مقدار آرمانی خود را دنبال می‌کند. مدل با مفروضات اساسی مانند محدودیت ظرفیت برای تمامی تسهیلات، امکان تبدیل مراکز توزیع موجود به مراکز ترکیبی، به صورت چنددوره‌ای و چندمحصوله در نظر گرفته شده است.

به منظور اعتبارسنجی مدل، تحلیل حساسیت‌هایی

صورت گرفت. نتایج محاسباتی از یک مجموعه داده‌های واقعی نشان می‌دهد طرح بازیافت لاستیک فرسوده در کشور که صنعتی نوپا محسوب می‌شود بسیار سودآور است و مدل نهایی می‌تواند مفهوم مدیریت ارتباط با مشتری را به صورت یکپارچه و همزمان با تصمیمات راهبردی و تولیدی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی چندگزینه‌ای اصلاح شده در نظر بگیرد. همچنین، نتایج نشان می‌دهد با توجه به میزان اهمیت دو هدف سودآوری و رضایتمندی مشتری برای مدیران زنجیره، می‌توان با تخصیص ضرایب مناسب به توابع هدف، به تبادل بهینه بین این دو هدف اصلی برای سازمان دست یافت.

موضوعات زیر به منظور ادامه تحقیق حاضر پیشنهاد

می‌شود:

- در تحقیق حاضر، به علت نبود داده و رگرسیون، تابع میزان بازگشت محصولات که خود تابعی از رضایت مشتری است و در تابع هدف دوم آورده شده است، به صورت تخمینی و خطی در نظر گرفته شده است. به دست آوردن تابع دقیق میزان بازگشت از طریق طراحی پرسشنامه‌ها، مصاحبه و دیگر روش‌های جمع‌آوری اطلاعات از مشتریان در بخش CRM به منظور بهبود این بخش از مدل توصیه می‌شود.
- بررسی شرایط صنایع بازیافت نوپای دیگر در کشور و مدل‌نویسی برای بهبود و توسعه آن‌ها.
- تلفیق مباحثی دیگر همچون قیمت‌گذاری و مسیریابی وسیله نقلیه با مسئله موجود.

## مراجع

1. Krikke, H., Hofenk, D. and Wang, Y. (2013). "Revealing an invisible giant: A comprehensive survey into return practices within original (closed-loop) supply chains", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 73, No. 1, PP. 239-250.
2. Lund, R. T. and Hauser, W. M. (2010). "Remanufacturing-an American perspective", *5<sup>th</sup> International Conference on Responsive Manufacturing-Green Manufacturing (ICRM 2010)*, China.
3. Jin, Y., Muriel, A. and Lu, Y. (2007). "On the profitability of remanufactured products", *Working paper in research gate*.
4. Barros, A. I., Dekker, R. and Scholten, V. (1998). "A two-level network for recycling sand: A case study" *European Journal of Operational Research*, Vol. 110, No2, PP. 199-214.
5. Listeş, O. and Dekker, R. (2005). "A stochastic approach to a case study for product recovery network design", *European Journal of Operational Research*, Vol. 160, No. 1, PP. 268-287.
6. Shih, L. H. (2001). "Reverse logistics system planning for recycling electrical appliances and computers in Taiwan", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 32, No. 1, PP. 55-72.

7. Realff, M. J., Ammons, J. C. and Newton, D. J. (2004). "Robust reverse production system design for carpet recycling", *IIE Transactions*, Vol. 36, No. 8, PP. 767-776.
  8. Dehghanian, F., Mansour, S. and Farahani, R. Z. (2010). "Applying interactive multi objective decision making method in design of a sustainable recovery network to include different stakeholders preferences", *World Applied Sciences Journal*, Vol. 8, No. 3, PP. 596-607.
  9. Dehghanian, F. and Mansour, S. (2009). "Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 53, No. 10, PP. 559-570.
  10. Kara, S. S. and Onut, S. (2010). "A two-stage stochastic and robust programming approach to strategic planning of a reverse supply network: The case of paper recycling", *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, No. 9, PP. 6129-6137.
  11. Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Jolai, F. (2013). "Reliable design of a logistics network under uncertainty: A fuzzy possibilistic-queueing model", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 5, PP. 3254-3268.
  12. Atamer, B., Bakal, İ. S. and Bayındır, Z. P. (2013). "Optimal pricing and production decisions in utilizing reusable containers", *International Journal of Production Economics*, Vol. 143, No. 2, PP. 222-232.
  13. Ferri, G. L., Diniz Chaves, G. d. L. and Ribeiro, G. M. (2015). "Reverse logistics network for municipal solid waste management: The inclusion of waste pickers as a Brazilian legal requirement", *Waste Management*, Vol. 40, No. 1, PP. 173-191.
  14. Zhou, X. and Zhou, Y. (2015). "Designing a multi-echelon reverse logistics operation and network: A case study of office paper in Beijing", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 100, No. 1, PP. 58-69.
  15. Galvez, D., Rakotondranaivo, A., Morel, L., Camargo, M. and Fick, M. (2015). "Reverse logistics network design for a biogas plant: An approach based on MILP optimization and Analytical Hierarchical Process (AHP)", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 37, No. 3, PP. 616-623.
  16. Cardoso, S. R., Barbosa-Póvoa, A. P. F. D. and Relvas, S. (2013). "Design and planning of supply chains with integration of reverse logistics activities under demand uncertainty", *European Journal of Operational Research*, Vol. 226, No. 3, PP. 436-451.
  17. Entezaminia, A., Heydari, M. and Rahmani, D. (2016). "A multi-objective model for multi-product multi-site aggregate production planning in a green supply chain: Considering collection and recycling centers", *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 40, No. 1, PP. 63-75.
  18. Yousefi Babadi, A. and Shishebori, D. (2015). "Robust optimization of integrated reverse logistic network design at uncertain conditions", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 49, No. 2, PP. 299-313.
  19. Saffar, M. M., Shakouri, H., Ganjavi, and Razmi, J. (2015). "A green closed loop supply chain network design considering operational risks under uncertainty and solving the model with NSGA II algorithm", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 49, No. 1, PP. 55-68.
  20. Ghesmati, R., Ghazanfari, M. and Pishvae, M. S. (2016). "A robust fuzzy-probabilistic programming model for a reliable supply chain network design problem", *Journal of Industrial Engineering*, Vol. 50, No. 1, PP. 53-68.
  21. Paydar, M. M. and Saidi-Mehrabad, M. (2015). "Revised multi-choice goal programming for integrated supply chain design and dynamic virtual cell formation with fuzzy parameters", *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, Vol. 28, No. 3, PP. 251-265.
  22. Chang, C. T. (2008). "Revised multi-choice goal programming", *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 32, No. 12, PP. 2587-2595.
  23. Samadian, F. (2011). Tire recycling report, Iran ministry of mining and industry, Central library (in persian).
-