

## طراحی شبکه زنجیره تامین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن قیمت گذاری و چرخه عمر محصول

مجتبی رحیمی<sup>۱\*</sup>، ایرج مهدوی<sup>۲</sup>، میر مهدی سید اصفهانی<sup>۳</sup>، حامد فضل الله تبار<sup>۴</sup>، سینا نیری<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران

<sup>۳</sup> استاد گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیر کبیر

<sup>۴</sup> استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه علوم و فنون مازندران

<sup>۵</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

### چکیده

امروزه به علت افزایش مخاطرات زیست محیطی و وضع قوانینی در این زمینه از سوی دولت ها، همچنین محدودیت منابع تولیدی، محققان توجه ویژه ای به طراحی شبکه های زنجیره تامین حلقه بسته و سبز داشته اند. برای ایجاد هماهنگی بهتر بین اجزای زنجیره تامین و کسب سود بیشتر در شبکه نیاز به تصمیمات ویژه ای در طول چرخه عمر محصول می باشد. شبکه ارائه شده در این پژوهش متشکل از چهار لایه در زنجیره رو به جلو شامل تامین کنندگان، تولید کنندگان، مراکز توزیع و بازارهای مشتری و نیز سه تسهیل شامل مراکز جمع آوری، جداسازی و دفع ضایعات در زنجیره معکوس می باشد. یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای بهینه سازی شبکه زنجیره تامین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن سطوح کیفیت قطعات تشکیل دهنده محصولات تولیدی، همراه با سیاست قیمت گذاری و چرخه عمر محصولات جهت بهینه سازی سود طراحی گردیده است. برای کارایی مدل یک مسئله با اندازه کوچک حل و نتایج آن تحلیل شده است.

**واژه‌های کلیدی:** زنجیره تامین سبز، زنجیره تامین حلقه بسته، قیمت گذاری، چرخه عمر محصول

**۱- مقدمه**

با توجه به رقابتی شدن بازار و همچنین تلاش برای کاهش هزینه ها، مدیران به دنبال ایجاد یک زنجیره تامین کارا و پاسخگو می باشند. حوزه مطالعاتی این پژوهش زنجیره ی تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن مسائل زیست محیطی در حوزه زنجیره تامین سبز می باشد. زنجیره تامین حلقه بسته متشکل از زنجیره تامین روبه جلو و زنجیره تامین معکوس می باشد که در آن منظور از زنجیره تامین روبه جلو شامل مجموعه فعالیت هایی می شود که منجر به تبدیل مواد خام و نیمه ساخته به محصول نهایی و قابل مصرف مشتری می شود. زنجیره تامین معکوس فرآیند برنامه ریزی، پیاده سازی و کنترل کارا و موثر جریان ورودی و ذخیره سازی کالاهای دست دوم و اطلاعات مربوط به آنها در خلاف جهت زنجیره تامین سنتی با هدف بازیابی ارزش یا دفع مناسب است. امروزه نگرانی جدی در مورد آثار زیست محیطی و افزایش خطرهای ناشی از فعالیت های صنعتی برای سلامتی انسان ها، به افزایش پژوهش های مربوط به مدیریت زنجیره ی تامین سبز منجر شده است. مدیریت زنجیره تامین سبز، یکپارچه کننده مدیریت زنجیره تامین با الزامات زیست محیطی در تمام مراحل طراحی محصول، انتخاب و تامین مواد اولیه، تولید و ساخت، فرایند ها توزیع و انتقال، تحویل به مشتری و بالاخره پس از مصرف، مدیریت بازیافت و مصرف مجدد به منظور بیشینه کردن میزان بهره وری مصرف انرژی و منابع همراه با بهبود عملکرد کل زنجیره تامین است. یکی از مواردی که باید در این زنجیره ها مورد توجه قرار گیرد مربوط به تصمیمات قیمتی است. در حقیقت قیمت گذاری مهم ترین جزء هر مدل کسب و کار می باشد و تصمیمات در مورد آن تأثیر زیادی بر سودآوری سازمان ها دارد. بنابراین به نظر می رسد مسأله قیمت گذاری در سازمان ها از جمله عواملی است که می تواند سایر فعالیت های درون سازمان ها را تحت الشعاع قرار بدهد. در مدیریت چرخه عمر یک محصول، چرخه ای وجود دارد که محصول در طول عمر خود مراحل مختلف آن را طی می کند. مرحله ای که هر کدام ویژگی های خاصی داشته و نیازمند اقدامات ویژه ای هستند تا سازمان را قادر سازد که به بهترین شکل از آن محصول سود لازم را ببرد. در گذشته این مراحل شامل دوره معرفی، دوره رشد، دوره بلوغ و دوره افول بودند. بعدها مبحث مدیریت چرخه عمر، از مفاهیم بازاریابی خارج و غالباً در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تامین بررسی و گسترش یافت، لذا در شرایط قطعی و غیرقطعی این چارچوب، چرخه عمر بسیاری از محصولات مدیریت گردید. به خصوص موضوع "لجستیک معکوس" و "مدیریت بازگشتی ها" که مدنظر صاحب نظران و مهندسان صنایع قرار گرفته و چرخه عمر محصولات به شکل جامع تری گسترش یافت.

**۲- ادبیات تحقیق**

در سال های اخیر، نگرانی های ناشی از گرم شدن کره ی زمین و همچنین افزایش زباله های الکترونیکی و با توجه به مقررات دولتی، لزوم توجه به پیامدهای زیست محیطی و نیز اهمیت حفظ منابع طبیعی و ذخایر معدنی توجه محققین و مسئولین کشورها به سمت یکپارچه سازی زنجیره تامین بویژه مفهوم زنجیره ی تامین سبز و حلقه بسته به عنوان موضوعاتی جذاب جلب شده است. یکی از ابزارهای مهم در ایجاد هماهنگی در زنجیره تامین، قیمت گذاری در طول چرخه عمر محصول است که از طریق تطبیق بهتر عرضه و تقاضا، به منظور افزایش منافع زنجیره تامین مورد استفاده قرار می گیرد. مقالات و مطالعات زیادی در رابطه با شبکه زنجیره تامین حلقه بسته و سبز، مباحث قیمت گذاری و چرخه عمر محصول در شبکه حلقه بسته منتشر شده است؛ که به بررسی آنها می پردازیم.

**۲-۱- زنجیره تامین حلقه بسته**

گارگ، کنان، دیابات و ژا (۲۰۱۵) یک مدل برنامه ریزی غیر خطی عدد صحیح مختلط دو هدفه ارائه کردند که از گسترش زنجیره تامین سنتی به یک زنجیره تامین حلقه بسته برای کنترل آسیب های زیست محیطی زنجیره از نظر افزایش فعالیت های حمل و نقل حاصل شده است و برای حل آن یک رویکرد چند هدفه تعاملی پیشنهاد داده اند. برای حل مدل مورد نظر از نرم افزار لینگو استفاده کردند. رضانی، بشیری و توکلی مقدم (۲۰۱۳) یک مدل چند هدفه احتمالی برای یکپارچه سازی

زنجیره تامین رو به جلو / معکوس و با هدف به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن قطعات معیوب از تامین کنندگان تحت شرایط عدم قطعیت ارائه کردند. در این مقاله با استفاده از روش حدی، مجموعه ای از جواب های بهینه پارتو بدست آمده و نیز ریسک های مالی مربوط به آنها به منظور نشان دادن موازنه بین اهداف محاسبه شده است. سطوح تصمیم گیری در شبکه رو به جلو شامل تامین کنندگان، مراکز تولید و مراکز توزیع و در شبکه معکوس شامل مراکز جمع آوری و مراکز دفع می باشد. پیشوایی، فراهانی و دولارت (۲۰۱۰) یک مدل برنامه ریزی دو هدفه شامل حداقل کردن هزینه و حداکثر سازی مسئولیت پذیری برای یک شبکه زنجیره تامین یکپارچه مستقیم و معکوس ارائه دادند. مدل ارائه شده قادر به در نظر گرفتن ترکیب تسهیلات توزیع و جمع آوری و محاسبه صرفه جویی حاصل و همچنین ایجاد تعادل بین حداکثر کردن پاسخگویی شبکه و حداقل کردن هزینه کل است. برای حل مدل در ابعاد بزرگ از یک الگوریتم ممتیک توسعه داده شده با به کار بردن سه جستجوی محلی مختلف جهت به دست آوردن جواب های غیر مسلط استفاده کرده اند. همچنین برای ارزیابی کیفیت مجموعه جواب های کارای بدست آمده از این الگوریتم، این جواب ها با جواب های بدست آمده از الگوریتم ژنتیک و جواب های دقیق بدست آمده از حل کننده های تجاری مقایسه شده است. در ادامه پیشوایی، ربانی و ترابی (۲۰۱۱) یک مدل بهینه سازی استوار برای مدیریت عدم قطعیت ذاتی در داده های ورودی مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه کردند. در ابتدا، یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح خطی مختلط در حالت قطعی برای طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته توسعه داده شده است. سپس حالت استوار این مدل بر اساس رویکرد استوار بازه ای جهت برخورد با نوسانات داده های ورودی نشان داده شده است. کنان، نورالحق و دویکا (۲۰۰۹) لجستیک رو به جلو و معکوس را یکپارچه ساختند. در درجه اول برای مشاهده تاثیر طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با توجه به مصرف کننده نهایی ساخته شده به سفارش محیط و در مرحله دوم به منظور کاهش تا حد امکان سرمایه گذاری پولی و منابع در موجودی است. برای حمایت از یافته های خود آنها مدل توزیع موجودی چند سطحی در زنجیره تامین معکوس و حلقه بسته را به طور جداگانه پیشنهاد دادند. برای حل مدل پیشنهادی خود از الگوریتم ژنتیک استفاده کردند. پاکسوی، بکناس و اوزسیلان (۲۰۱۱) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط تک هدفه پیشنهاد دادند و به تحلیل تعادل بین عملیات مختلف و میزان عملکرد زیست محیطی در یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته پرداختند و برای حل آن از لیندو ۶.۱ استفاده کردند. امین و ژانگ (۲۰۱۳) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چند محصولی با تابع هدف حداقل سازی هزینه کل را پیشنهاد دادند. علاوه بر این یک تابع زیست محیطی نیز به مساله اضافه شده است. آنها برای حل مدل دوهدفه خود از دو روش شامل استفاده کردند. به علاوه اثر عدم قطعیت تقاضا و محصولات بازگشتی بر روی ساختار شبکه توسط برنامه ریزی احتمالی ۱- روش وزن دهی ۲- روش محدودیت E (بر مبنای سناریو) بررسی شده است. وانگ و هسو (۲۰۱۰) طراحی یک سیستم لجستیک حلقه بسته از طریق ادغام لجستیک جلو و معکوس را پیشنهاد کردند که تصمیم گیری در بلند مدت و لجستیک حالت پایدار را تحت پوشش قرار می داد. مدل ارائه شده یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح می باشد. برای حفظ اصالت از مسئله یکپارچه سازی، آنها همچنین یک درخت پوشا اصلاح شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک برای حل مدل ارائه کردند.

## ۲-۲- زنجیره تامین سبز

در سال های اخیر علاقه به سبز کردن زنجیره تامین موجود با ترکیب فرآیندهای بازیابی به دلیل نگرانی های زیاد از گرم شدن کره زمین و رشد سریع زباله های الکترونیکی توجه محققان را به خود جلب کرده است (عبدالله، دیابت و ریترگر، ۲۰۱۳). هدف اصلی یک زنجیره تامین سبز باید به حداقل رساندن اثرات مضر از فعالیت های مختلف زنجیره ای در محیط زیست باشد (الذعابی، الدهاری و دیابت، ۲۰۱۳). پاکسوی، اوزسیلان و وبه (۲۰۱۰) بر استفاده مجدد از مواد بهبود یافته و بازیافتی در حین توجه به حداقل رساندن انتشار کربن از وسایل نقلیه حمل و نقل از طریق مساله برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند هدفه تاکید کردند. و برای حل آن از لیندو ۶.۱ استفاده کردند. فهیم نیا، سارکیس، دهقانیان، بنی هاشمی و رحمان (۲۰۱۳) یک بررسی مقایسه ای از زنجیره تامین تحت تاثیر مسائل مربوط به محیط زیست و هزینه ارائه کردند. به گفته آنها،

توسعه یک زنجیره تامین سبز، شامل بهینه ساز حمل و نقل و تشکیل سیستم های حلقه بسته برای حفظ منابع لازم می باشد. کنان، دیابات، الرفاعی، گوویندان و یونگ (۲۰۱۲) در مدل پیشنهادی خود میزان انتشار کربن را به عنوان متغیر تصمیم گیری در نظر گرفته اند. در این پژوهش، شبکه لجستیک معکوس مربوط به صنعت پلاستیک به صورت یک مسأله برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط مدل سازی شده است. دیابات، عبدالله، الرفاعی، اسوتینوویچ و گوویندان (۲۰۱۳) مبحث زنجیره تامین سبز را در زنجیره ترکیبی (مستقیم و معکوس) خود وارد کرده اند. در مبحث زنجیره تامین سبز آلاینده‌گی مواد اولیه ای که در تولید مورد استفاده قرار می گیرند نیز مورد سنجش قرار می گیرد. لذا در این پژوهش، این آلاینده‌گی بر اساس میزان انتشار کربن ناشی از فرآیند تامین مواد خام که می تواند برای هر تامین کننده مقدار متفاوتی باشد و دیگری، میزان انتشار کربن ناشی از حمل و نقل مواد اولیه و انتقال آنها به سایت تولیدی مورد محاسبه قرار می گیرد. با توجه به این که بنگاه ها در محیط تجارت انتشار فعالیت می کنند، تحلیلی بر روی اثر قیمت های مختلف کربن بر هزینه ها و پیکره بندی زنجیره تامین صورت گرفته است. پیشوایی و رزمی (۲۰۱۲) در مدل پیشنهادی خود برای یک زنجیره تأمین معکوس بازیافت کاغذ، اثرات زیست محیطی حاصل از احداث تسهیلات و حمل و نقل محصولات در کنار تابع هدف هزینه های کلی توسعه داده اند. آنها برای برخورد با عدم قطعیت پارامترها در مدل خود از رویکرد برنامه ریزی فازی استفاده کرده اند. همچنین ادغام اهداف زیست محیطی در سیستم تولید از طریق طراحی یک شبکه زنجیره تامین بسته توسط وینکلر (۲۰۱۱) توصیه شده است.

### ۲-۳- قیمت گذاری

مسئله تعیین سیاست های بهینه قیمت گذاری در زنجیره تأمین، از دیرباز مورد توجه پژوهشگران بوده است. اما به تازگی، با توجه به بروز مشکل های زیست محیطی، زنجیره های سبز به ویژه حلقه بسته، توجه بیشتر محققان را جلب کرده است. واده، زید و کمرسی (۲۰۱۱) برای تعیین سیاست قیمت گذاری در یک محیط چند معیاره برای تسهیلات بهبود محصول یک مدل دو هدفه که شامل حداکثر سازی درآمد و به حداقل رساندن هزینه های بهبود محصولات می باشد را پیشنهاد کردند. مدل مورد نظر قیمت قطعات قابل استفاده مجدد و قابل بهبود و قیمت خرید محصولات بازگشتی را تعیین می کند و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. شی، ژانگ و شا (۲۰۱۱) یک مدل ریاضی توسعه یافته برای به حداکثر رساندن سود کلی سیستم و به طور همزمان تعیین قیمت فروش، مقادیر تولید محصولات با برند جدید و محصولات تعمیر شده و قیمت خرید محصولات استفاده شده برای یک سیستم حلقه بسته با تقاضا و بازگشتی های نامشخص، که در آن تولید کننده می تواند محصولات با برند جدید و بازگشتی تعمیر شده به عنوان محصولات جدید تولید کند، ارائه کردند. محصولات تعمیر شده هیچ تفاوتی با محصولات با برند جدید ندارد و می تواند در بازار مشابه در همان قیمت به فروش برسد. کیوان شکوه، فتاحی، سیدحسینی و توکلی مقدم (۲۰۱۳) یک مسئله برنامه ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط چند دوره ای، چند محصولی و چند سطحی را برای طراحی شبکه ادغامی لجستیک مستقیم و معکوس با هدف به حداقل رساندن هزینه ها برای تعیین قیمت خرید محصولات بازگشتی و بر اساس آن تعیین درصد محصولات بازگشتی جمع آوری شده از مناطق مشتری پیشنهاد کردند. مدل ارائه شده توسط حل CPLEX برای برخی از مسائل آزمون شد. نتایج محاسباتی نتایج حاکی از آن است که استفاده از قیمت گذاری پویا به جای قیمت گذاری ایستا برای این مدل جواب های قابل قبولی فراهم آورده است. محمودزاده، سادجی و منصور (۲۰۱۳) یک رویکرد بهینه سازی استوار با سیاست قیمت گذاری و تولید پویا در یک سیستم ترکیبی تولیدی و باز تولیدی تحت شرایط عدم قطعیت در تقاضا و نرخ بازگشت به منظور دست یابی به یک سیستم حلقه بسته سود آور تعیین کردند. آن ها دریافتند که تولید کننده با تنظیم قیمت فروش و قیمت خرید قادر به کنترل تقاضا و بازگشت خواهد بود، همچنین می تواند با ذخیره موجودی از محصولات جدید و هم از محصولات باز تولیدی با عدم قطعیت مقابله کند. هی (۲۰۱۵) ایجاد یک مدل زنجیره تامین حلقه بسته برای تعیین قیمت بهینه خرید محصولات بازگشتی و تصمیم گیری تولید و باز تولید بهینه تحت شبکه های زنجیره تامین متمرکز و غیر متمرکز با تقاضاهای قطعی و غیر قطعی را پیشنهاد داد. او نشان داد که در شبکه های غیر متمرکز، قیمت بهینه همیشه پایین تر از قیمت در شبکه های متمرکز است.

## ۲-۴- چرخه عمر

در سال های اخیر توجه به محصولات که در انتهای زنجیره تأمین قرار گرفته و نیازمند تعیین تکلیف و اقدامات اجرایی جهت ماندن یا خروج از زنجیره تأمین هستند بیش از پیش، مدنظر سازمان ها و شرکت ها قرار گرفته است. امین و ژانگ (۲۰۱۲) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته که در آن به ارزیابی چرخه عمر محصول از طریق جفت بازیابی \_ بازگشتی و به منظور تعیین مقادیر قطعات و محصولات در شبکه و با هدف به حداکثر رساندن سود، پیشنهاد داده اند. آنها اذعان داشتند که محصولات و قطعات بازگشتی به سه دسته بازگشتی های تجاری، عمر آن ها پایان یافته و مصرف آن ها خاتمه یافته قابل تقسیم هستند. این مدل توسط نرم افزار گمز حل و آنالیز حساسیت برای ارزیابی مدل انجام شده است. مانزینی، آسکرس، پینی و پنازی (۲۰۱۵) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط به منظور ارزیابی صرفه جویی بالقوه اقتصادی، زیست محیطی و جغرافیایی حمل و نقل در مدیریت چرخه عمر محصول برای طراحی استراتژیک شبکه حلقه بسته چند سطحی ارائه کردند. مدل پیشنهادی متشکل از دو تابع هدف شامل کمینه کردن هزینه های شبکه برای شناسایی مکان های بهینه در ایجاد کارخانه های تولیدی، مراکز توزیع و جمع آوری و بازیافت و هدف دیگر به حداقل رساندن میزان کربن تولید شده از شبکه که اختصاص جریان های حمل و نقل (هم محصولات و هم قطعاتی که عمر آن ها پایان یافته) بین گره ها برای بر آوردن تقاضای مشتری مطابق با محدودیت ظرفیت می باشد. دهقانیان و منصور (۲۰۰۹) به منظور ایجاد یک شبکه پایدار بازیابی لاستیک، که در آن اثرات اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی بطور همزمان در نظر گرفته شد، از تحلیل چرخه عمر به منظور بررسی اثرات زیست محیطی پایان عمر لاستیک های استفاده شده و اندازه گیری مسئولیت های اجتماعی به منظور بررسی اثرات اجتماعی و تابع هدف سود به منظور بررسی اثرات اقتصادی استفاده کرده اند. در این پژوهش از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی برای محاسبه تأثیرات اجتماعی و همچنین الگوریتم ژنتیک چند هدفه برای پیدا کردن جواب های بهینه پارتو استفاده شده است. سیمون، بن امور و فولدنی (۲۰۱۵) میزان چرخه عمر سیستم های بسته بندی محصولات آشامیدنی را با تمرکز بر روی بطری های مصرفی جمع آوری شده و با یک درک عمیق از شبکه لجستیک معکوس برای تعیین مناسب ترین روش بسته بندی متناسب با شرایط زیست محیطی مورد ارزیابی قرار دادند. آنها دریافته اند که سهامداران در کنار ارزش نهادن به بسته بندی زنجیره، نیاز به حمایت از اطلاعات موجود برای انتخاب بسته بندی سازگار با محیط زیست و متناسب با سیاست جامعه را دارند. پنژینگ بی، هوانگ، گوا و شی (۲۰۱۶) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط در یک شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته برای بازسازی و استفاده مجدد محصولات الکترومکانیکی که عمر آن ها به پایان رسیده با اعمال یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته به منظور تعیین مکان های بهینه تسهیلات و مدیریت محصولات استفاده شده، قطعات و محصولات تعمیر شده در طول چرخه عمر آن ها و با هدف حداقل سازی هزینه کل پیشنهاد کردند. همچنین برای ارزیابی مدل مورد نظر از نرم افزار لینگو استفاده کردند. در پژوهش های قبلی کمتر به بحث قیمت گذاری، چرخه عمر محصولات و سطح کیفیت قطعات بازگشتی به طور همزمان پرداخته شده بود. در این پژوهش با ارائه یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط، مسئله زنجیره تأمین سبز حلقه بسته با در نظر گرفتن سیاست قیمت گذاری و چرخه عمر محصولات پوشش داده می شود.

## ۳- مدل و فرضیه های تحقیق

### ۳-۱- بیان مسئله :

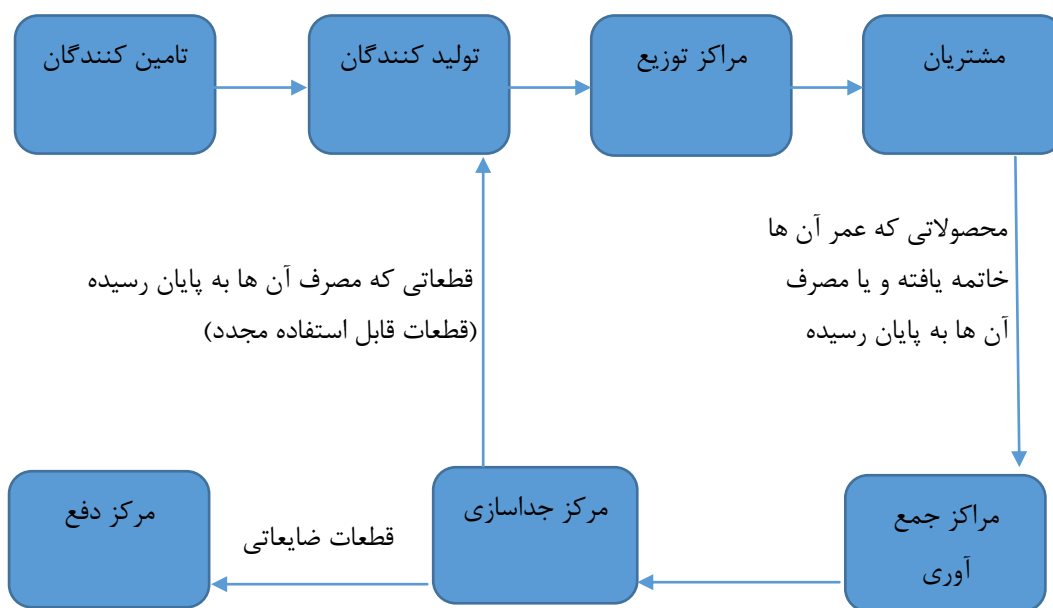
در ابتدا یک شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته طراحی نمودیم. این شبکه را می توان به دو قسمت طبقه بندی کرد؛ زنجیره تأمین رو به جلو و زنجیره تأمین معکوس. زنجیره تأمین رو به جلو همان عرضه سنتی زنجیره ای است که شامل تأمین

کنندگان مواد اولیه، تولید کنندگان، مراکز توزیع و بازارهای مشتری است. زنجیره تامین معکوس شامل مراکز جمع آوری، یک مرکز جداسازی و یک مرکز دفع می باشد.

همچنین سه نوع محصول درجه ۱، درجه ۲، درجه ۳ در این شرکت تولید می شود. محصول درجه ۱، محصولی است که تمام قطعات و مواد اولیه تشکیل دهنده آن اصلی و درجه ۱ بوده و به طور مستقیم از تامین کنندگان، تهیه و سپس در مراکز تولید قطعات آنها تولید شده و در نهایت محصول درجه ۱ در اختیار مشتری قرار می گیرد. محصولات درجه ۲، تمام قطعات تشکیل دهنده آن همان قطعات مصرفی قابل استفاده مجدد می باشد که از طریق زنجیره معکوس و از مرکز جداسازی در اختیار مراکز تولید قرار می گیرند. این قطعات سپس مونتاژ شده و در نهایت محصول درجه ۲ تولید خواهد شد. محصولات درجه ۳، محصولاتی هستند که قطعات تشکیل دهنده آن ها ترکیبی از قطعات اصلی یا همان درجه ۱ و قطعات قابل استفاده مجدد می باشد.

زنجیره تامین رو به جلو با تهیه مواد اولیه از تامین کنندگان آغاز می شود. فرض بر آن است که تمام مراحل تولید درون سازمانی است و در داخل مراکز تولید مورد نظر انجام می شود. سپس، محصولات تولید شده به مراکز توزیع و از آنجا به بازار مشتریان فرستاده می شود. در زنجیره معکوس از شبکه پیشنهادی، محصولاتی که مصرف آنها به پایان رسیده و یا عمر آن ها خاتمه یافته پس از گذشت زمان و مستهلک شدنشان توسط مراکز جمع آوری از مشتریان خریداری می شوند. سپس محصولات بازگشتی جمع آوری شده به مرکز جداسازی منتقل می شوند. در مرکز جداسازی قطعات جدا شده، از نظر کیفیت خود بازرسی خواهند شد و به دو دسته قابل استفاده مجدد و غیر قابل استفاده طبقه بندی می شوند. دسته اول قطعاتی هستند که مصرف آن ها خاتمه یافته است ولی به علت داشتن کیفیت مناسب و مورد نظر شرکت دوباره مورد استفاده قرار می گیرند و به مراکز تولید باز می گردند و دسته دوم ضایعاتی محسوب می شوند و به مرکز دفع منتقل می شوند.

در شکل ۱، شبکه پیشنهادی نشان داده شده است :



شکل ۱- شبکه زنجیره تامین سبز حلقه بسته

### ۲-۳- فرضیات مدل :

- تقاضا مشتری نهایی ثابت است. هیچ کمبودی مجاز نیست.
- مکان تسهیلات شناخته شده و ثابت هستند.
- جریان محصولات، قطعات و مواد فقط می تواند در بین دو تسهیل متوالی رخ می دهد. جریان محصولات بین تسهیلات مشابه امکان پذیر نیست.
- همه پارامترهای هزینه قطعی و تمام عملیات زنجیره تامین بسته، تحت محدودیت ظرفیت انجام می شود.
- هزینه تنظیم امکانات و تسهیلات در نظر گرفته می شود و بخشی از هزینه عملیات از امکانات مربوطه است.
- در مرکز جداسازی تست کیفیت صورت می گیرد و هزینه عملیاتی مرکز جداسازی شامل هزینه این تست نیز می باشد.
- مدل به صورت چند سطحی در نظر گرفته شده است.
- کیفیت محصولات درجه ۲ و درجه ۳ متفاوت از درجه ۱ است. از این رو قیمت فروش آن ها متفاوت در نظر گرفته می شود.

### مجموعه ها :

$i = 1, \dots, I$	تامین کنندگان
$j = 1, \dots, J$	تولید کنندگان
$k = 1, \dots, K$	مراکز توزیع
$l = 1, \dots, L$	مشتریان
$c = 1, \dots, C$	مراکز جمع آوری
$p$	مرکز جداسازی
$f$	مرکز دفع
$t = 1, \dots, T$	دوره
$r = 1, \dots, R$	مواد اولیه
$m = 1, \dots, M$	قطعات

## پارامترها :

$Pur_{ijt}^r$ : هزینه خرید مواد اولیه  $l$  از تامین کننده  $i$  ام برای مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$

$HA_{mjt}$ : هزینه تولید قطعه  $m$  ام در مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$

$HM_{jt}$ : هزینه مونتاژ محصول در مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$

$OP_{kt}$ : هزینه عملیاتی مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$

$KB_t$ : هزینه خرید کالای بازگشتی از مشتری در مراکز جمع آوری در دوره  $t$

$PC_t$ : هزینه عملیاتی مرکز جداسازی برای هر واحد محصول بازگشتی در دوره  $t$

$HD_t$ : هزینه عملیاتی مرکز دفع برای هر قطعه در دوره  $t$

$TC_{rt}^{ij}$ : هزینه انتقال مواد اولیه  $l$  از تامین کننده  $i$  ام به مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$

$TC_t^{jk}$ : هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی از مرکز تولید  $j$  ام به مرکز توزیع  $k$  ام در دوره  $t$

$TC_t^{kl}$ : هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی از مرکز توزیع  $k$  ام به بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$

$TC_t^{cp}$ : هزینه انتقال هر واحد محصول بازگشتی از مرکز جمع آوری  $c$  ام به مرکز جداسازی  $p$  در دوره  $t$

$TC_{mt}^{pj}$ : هزینه انتقال هر واحد قطعه  $m$  ام از مرکز جداسازی  $p$  به مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$

$TC_{mt}^{pf}$ : هزینه انتقال هر واحد قطعه  $m$  ام از مرکز جداسازی  $p$  به مرکز دفع  $f$  در دوره  $t$

$D_{lt}$ : تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۱ در دوره  $t$

$D_{lt}'$ : تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۲ در دوره  $t$

$D_{lt}''$ : تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۳ در دوره  $t$

$\alpha_{lt}$ : نرخ بازگشت محصول درجه ۱ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$

$\alpha_{lt}'$ : نرخ بازگشت محصول درجه ۲ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$



$\alpha''_{lt}$ : نرخ بازگشت محصول درجه ۳ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$

$\gamma_t$ : درصدی از کل قطعات درجه ۱ تولیدی که برای تولید محصول درجه ۱ در دوره  $t$  مورد نیاز است

$1 - \gamma_t$ : درصدی از کل قطعات درجه ۱ تولیدی که برای تولید محصول درجه ۳ در دوره  $t$  مورد نیاز است

$\lambda_t$ : درصدی از کل قطعات قابل استفاده مجدد بازگشتی از مرکز جداسازی که برای تولید محصول درجه ۲ در دوره  $t$  مورد نیاز است

$1 - \lambda_t$ : درصدی از کل قطعات قابل استفاده مجدد بازگشتی از مرکز جداسازی که برای تولید محصول درجه ۳ در دوره  $t$  مورد نیاز است

$\beta_m$ : نرخ استفاده از قطعه  $m$  ام در محصول

$\mu_r^m$ : نرخ استفاده از ماده اولیه  $r$  در قطعه  $m$  ام

$MI$ : عدد بزرگ

$QF_{lt}$ : قیمت فروش محصول درجه ۱ در بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$

$Q'F_{lt}$ : قیمت فروش محصول درجه ۲ در بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$

$Q''F_{lt}$ : قیمت فروش محصول درجه ۳ در بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$

$$q = \begin{cases} 1 & \text{کیفیت قطعه } m \text{ ام قابل استفاده مجدد} \\ 2 & \text{کیفیت قطعه } m \text{ ام ضایعاتی} \end{cases}$$

$Cap_i^r$ : ظرفیت تامین کننده  $i$  ام برای تامین ماده اولیه  $r$  ام

$Cap_j$ : ظرفیت تولید در مرکز تولید  $j$  ام

$\delta_t$ : نرخ بازگشت قطعه  $m$  ام قابل استفاده مجدد در دوره  $t$

متغیرهای تصمیم:

$X_{ijrt}$ : مقدار مواد اولیه  $r$  که از تامین کننده  $i$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X_{mjt}$ : مقدار قطعات درجه ۱ نوع  $m$ ام که در مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$  تولید می شود

$X_{jkt}$ : مقدار محصول درجه ۱ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X'_{jkt}$ : مقدار محصول درجه ۲ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X''_{jkt}$ : مقدار محصول درجه ۳ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X_{klt}$ : مقدار محصول درجه ۱ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X'_{klt}$ : مقدار محصول درجه ۲ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X''_{klt}$ : مقدار محصول درجه ۳ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X_{lct}$ : مقدار محصول بازگشتی که از مشتری  $l$  به مرکز جمع آوری  $c$  در دوره  $t$  حمل می شود

$X_{ct}$ : مقدار محصول بازگشتی که از مرکز جمع آوری  $c$  به مرکز جداسازی در دوره  $t$  حمل می شود

$X_{mpjqt}$ : مقدار قطعه  $m$ ام که با کیفیت  $q = 1$  قابل استفاده مجدد محسوب می شود و از مرکز جداسازی  $p$  به

مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$  حمل می شود

$X_{mpfqt}$ : مقدار قطعه  $m$ ام که با کیفیت  $q = 2$  ضایعاتی محسوب شده و از مرکز جداسازی  $p$  به مرکز دفع  $f$  در

دوره  $t$  حمل می شود

$$A_{lc} = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز جمع آوری } c \text{ برای جمع آوری محصول بازگشتی از بازار مشتری } l \text{ باز باشد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$B_{kl} = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز توزیع } k \text{ به مشتری } l \text{ خدمت دهد} \\ 0 & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

۳-۳- تابع هدف :

هدف مسئله به حداکثر رساندن سود کل در شبکه می باشد. سودی که با کم کردن هزینه کل شرکت از درآمد ایجاد شده بدست آمده باشد. منابع درآمد در شبکه مناطق مشتری هستند که در آن محصولات نهایی درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ به فروش می رسد.

نمایش ریاضی درآمد کل تولید شده در شبکه به صورت زیر است:

$$\sum_k \sum_l \sum_t ( QF_{lt} * X_{klt} + Q'F_{lt} * X'_{klt} + Q''F_{lt} * X''_{klt} )$$

هزینه تحمیل شده کل به شرکت شامل هزینه های عملیاتی و هزینه های حمل و نقل می باشد.

بنابراین هزینه عملیاتی وارده در هر دوره در زنجیره رو به جلو ناشی از هزینه خرید مواد اولیه، تولید قطعات درجه ۱، مونتاژ محصولات درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳، و همچنین هزینه عملیاتی مراکز توزیع نیز می باشد. زنجیره معکوس شرکت را مستلزم به پرداخت هزینه ای برای خرید محصولات از مشتریان می کند. همچنین هزینه های صورت گرفته شده توسط شرکت در زنجیره معکوس شامل هزینه جداسازی محصولات بازگشتی و تست کیفیت قطعات جدا شده (که در هزینه عملیاتی مرکز جداسازی لحاظ شده است) و هزینه دفع قطعات ضایعاتی نیز می باشد.

نمایش ریاضی هزینه های عملیاتی متحمل شده در شبکه به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & \sum_r \sum_j \sum_i \sum_t Pur_{ijt}^r * X_{ijrt} + \sum_m \sum_j \sum_t HA_{mjt} * X_{mjt} \\ & + \sum_j \sum_k \sum_t HM_{jt} * (X_{jkt} + X'_{jkt} + X''_{jkt}) \\ & + \sum_k \sum_l \sum_t OP_{kt} * (X_{klt} + X'_{klt} + X''_{klt}) + \sum_l \sum_c \sum_t KB_t * X_{lct} \\ & + \sum_c \sum_t PC_t * X_{ct} + \sum_m \sum_t HD_t * X_{mpfq2t} \end{aligned}$$

هزینه های حمل و نقل وارده بر شرکت، شامل هزینه حمل و نقل مواد اولیه، تمام محصولات (درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳) از مراکز تولید به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به بازار مشتریان در زنجیره رو به جلو، هزینه حمل و نقل محصولات بازگشتی از مراکز جمع آوری به مرکز جداسازی متمرکز، هزینه حمل و نقل قطعات قابل استفاده مجدد از مرکز جداسازی به مراکز تولید و هزینه حمل و نقل قطعات ضایعاتی از مرکز جداسازی به مرکز دفع می باشد.

نمایش ریاضی هزینه های حمل و نقل به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} & \sum_r \sum_j \sum_i \sum_t TC_{rt}^{ij} * X_{ijrt} + \sum_j \sum_k \sum_t TC_t^{jk} * (X_{jkt} + X'_{jkt} + X''_{jkt}) \\ & + \sum_k \sum_l \sum_t TC_t^{kl} * (X_{klt} + X'_{klt} + X''_{klt}) + \sum_c \sum_t TC_t^{cp} * X_{ct} \\ & + \sum_m \sum_j \sum_t TC_{mt}^{pj} * X_{mpjq1t} + \sum_m \sum_t TC_{mt}^{pf} * X_{mpfq2t} \end{aligned}$$

بنابراین تابع هدف به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} MaxZ = & \sum_k \sum_l \sum_t ( QF_{lt} * X_{klt} + Q'F_{lt} * X'_{klt} + Q''F_{lt} * X''_{klt} ) \\ & - (\sum_r \sum_j \sum_i \sum_t Pur_{ijt}^r * X_{ijrt} + \sum_m \sum_j \sum_t HA_{mjt} * X_{mjt} \\ & + \sum_j \sum_k \sum_t HM_{jt} * (X_{jkt} + X'_{jkt} + X''_{jkt}) + \sum_k \sum_l \sum_t OP_{kt} * (X_{klt} + X'_{klt} + X''_{klt}) \\ & + \sum_l \sum_c \sum_t KB_t * X_{lct} + \sum_c \sum_t PC_t * X_{ct} + \sum_m \sum_t HD_t * X_{mpfq2t} \\ & + \sum_r \sum_j \sum_i \sum_t TC_{rt}^{ij} * X_{ijrt} + \sum_j \sum_k \sum_t TC_t^{jk} * (X_{jkt} + X'_{jkt} + X''_{jkt}) \\ & + \sum_k \sum_l \sum_t TC_t^{kl} * (X_{klt} + X'_{klt} + X''_{klt}) + \sum_c \sum_t TC_t^{cp} * X_{ct} \\ & + \sum_m \sum_j \sum_t TC_{mt}^{pj} * X_{mpjq1t} + \sum_m \sum_t TC_{mt}^{pf} * X_{mpfq2t} ) \end{aligned}$$

۴-۳- محدودیت ها

برای بهینه سازی هدف بالا به محدودیت های زیر نیازمندیم :

$$\sum_i X_{ijrt} = \sum_m \mu_r^m * X_{mjt} \quad \forall j, r, t \quad (1)$$

$$\sum_j X_{ijrt} \leq Cap_i^r \quad \forall r, i, t \quad (2)$$

$$\sum_j X_{jkt} = \sum_l X_{klt} \quad \forall k, t \quad (3)$$

$$\sum_j X'_{jkt} = \sum_l X'_{klt} \quad \forall k, t \quad (4)$$

$$\sum_j X''_{jkt} = \sum_l X''_{klt} \quad \forall k, t \quad (5)$$

$$\sum_k X_{jkt} * \beta_m = \gamma_t * X_{mjt} \quad \forall m, j, t \quad (6)$$

$$\sum_k X'_{jkt} * \beta_m = \lambda_t * X_{mpjq1t} \quad \forall m, j, t \quad (7)$$

$$\sum_k X''_{jkt} * \beta_m = (1 - \gamma_t) * X_{mjt} + (1 - \lambda_t) * X_{mpjq1t} \quad \forall m, j, t \quad (8)$$

$$\sum_k (X_{jkt} + X'_{jkt} + X''_{jkt}) \leq Cap_j \quad \forall j, t \quad (9)$$

$$\sum_k X_{klt} \geq D_{lt} \quad \forall l, t \quad (10)$$

$$\sum_k X'_{klt} \geq D'_{lt} \quad \forall l, t \quad (11)$$

$$\sum_k X''_{klt} \geq D''_{lt} \quad \forall l, t \quad (12)$$

$$\sum_c X_{lct} = (\alpha_{lt} * D_{lt}) + (\alpha'_{lt} * D'_{lt}) + (\alpha''_{lt} * D''_{lt}) \quad \forall l, t \quad (13)$$

$$X_{ct} = \sum_l X_{lct} \quad \forall c, t \quad (14)$$

$$\sum_j X_{mpjq1t} = \sum_c \delta_t * X_{ct} * \beta_m \quad \forall t, m \quad (15)$$

$$X_{mpfq2t} = \sum_c (1 - \delta_t) * X_{ct} * \beta_m \quad \forall t, m \quad (16)$$

$$(X_{klt} + X'_{klt} + X''_{klt}) \leq MI * B_{kl} \quad \forall k, l, t \quad (17)$$

$$X_{lct} \leq MI * A_{lc} \quad \forall l, c, t \quad (18)$$

$$B_{kl}, A_{lc} \in \{0,1\} \quad \forall k,l,c \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & (X_{ijrt}, X_{mjt}, X_{jkt}, X'_{jkt}, X''_{jkt}, X_{klt}, \\ & X'_{klt}, X''_{klt}, X_{lct}, X_{ct}, X_{mpjqt}, X_{mpfqt}) \geq 0 \quad \text{And Integer} \quad (20) \\ & \forall i, j, k, l, c, p, f, m, r, q, t \end{aligned}$$

### ۵.۳. شرح محدودیت ها :

(۱) محدودیت ۱: به ازای مرکز تولید، مواد اولیه و دوره ثابت؛ مقدار مواد اولیه خریداری شده از تامین کنندگان، برابر میزان مورد نیاز مواد اولیه برای تولید کل قطعات درجه ۱ می باشد.

(۲) محدودیت ۲: مقدار کل هر ماده اولیه که از هر تامین کننده ارسال می شود، نمی تواند بیشتر از ظرفیت تامین تامین کنندگان باشد.

(۳) محدودیت ۳: به ازای مرکز توزیع و دوره ثابت؛ مقدار محصولات درجه ۱ تولید شده که از مرکز تولید  $J$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود برابر است با مقدار محصولات درجه ۱ تولیدی که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود.

(۴) محدودیت ۴: به ازای مرکز توزیع و دوره ثابت؛ مقدار محصولات درجه ۲ تولید شده که از مرکز تولید  $J$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود برابر است با مقدار محصولات درجه ۲ تولیدی که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود.

(۵) محدودیت ۵: به ازای مرکز توزیع و دوره ثابت؛ مقدار محصولات درجه ۳ تولید شده که از مرکز تولید  $J$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود برابر است با مقدار محصولات درجه ۳ تولیدی که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود.

(۶) محدودیت ۶: به ازای قطعات، مرکز تولید و دوره ثابت؛ مقدار قطعاتی که برای تولید محصولات درجه ۱ مورد نیاز می باشد، برابر است با حاصل ضرب مقدار قطعات درجه ۱ تولیدی در مرکز تولید در نرخ استفاده از این قطعات برای تولید محصول درجه ۱.

(۷) محدودیت ۷: به ازای قطعات، مرکز تولید و دوره ثابت؛ مقدار قطعات مورد نیاز برای تولید محصولات درجه ۲، برابر است با حاصل ضرب مقدار قطعات قابل استفاده مجدد که از مرکز جداسازی به مرکز تولید ارسال می شود در نرخ استفاده از این قطعات برای تولید محصول درجه ۲.

(۸) محدودیت ۸: به ازای قطعات، مرکز تولید و دوره ثابت؛ مقدار قطعات درجه ۱ و درجه ۲ که برای تولید محصولات درجه ۳ مورد نیاز می باشد را تعیین می کند.

(۹) محدودیت ۹: تضمین می کند که در هر دوره، جریان محصول خروجی از هر مرکز تولید از ظرفیت تولید آن تجاوز نمی کند.

(۱۰) محدودیت ۱۰: تضمین می کند که در هر دوره به ازای هر بازار مشتری برای محصول درجه ۱؛ کمبود مجاز نیست.

- (۱۱) محدودیت ۱۱: تضمین می کند که در هر دوره به ازای هر بازار مشتری برای محصول درجه ۲؛ کمبود مجاز نیست.
- (۱۲) محدودیت ۱۲: تضمین می کند که در هر دوره به ازای هر بازار مشتری برای محصول درجه ۲؛ کمبود مجاز نیست.
- (۱۳) محدودیت ۱۳: محدودیت مربوط به میزان کل محصولات بازگشتی درجه ۱، درجه ۲ و درجه ۳ از هر بازار مشتری در هر دوره می باشد.
- (۱۴) محدودیت ۱۴: مقدار کل محصولات بازگشتی به هر مرکز جمع آوری در هر دوره را محاسبه می کند.
- (۱۵) محدودیت ۱۵: به ازای قطعات و دوره ثابت؛ میزان قطعات قابل استفاده مجدد را محاسبه می کند.
- (۱۶) محدودیت ۱۶: به ازای قطعات و دوره ثابت؛ میزان قطعات ضایعاتی را محاسبه می کند.
- (۱۷) محدودیت ۱۷: نشان می دهد که در هر دوره، هر مرکز توزیع به بازار مشتری که به آن اختصاص داده شده است، خدمت رسانی می کند.
- (۱۸) محدودیت ۱۸: بیان می کند که در هر دوره، هر مرکز جمع آوری فقط می تواند محصولات بازگشتی از هر بازار مشتری که به آن اختصاص داده شده است را جمع آوری کند.
- (۱۹) محدودیت ۱۹: متغیرهای باینری را نشان می دهد.
- (۲۰) محدودیت ۲۰: بیانگر نامنفی و صحیح بودن متغیرها است.

#### ۴- حل مدل پیشنهادی با استفاده از مثال عددی :

برای مشاهده خروجی مدل و درک بهتر آن یک مثال نمونه ی حل شده در مقیاس کوچک در دو دوره آورده شده است. برای تولید محصول مورد نظر در این شرکت، ده ماده اولیه مورد نیاز است که از طریق سه تامین کننده تهیه می شوند. دو تولید کننده برای ساخت محصول، دو توزیع کننده، چهار بازار مشتری و مرکز جمع آوری و همچنین یک مرکز جداسازی و دفع نیز در مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. کیفیت قطعات بازگشتی موجود در مرکز جداسازی را در سطح ۱ و ۲ در نظر گرفتیم که کیفیت برابر با ۱ شامل قطعات قابل استفاده مجدد می باشد و کیفیت برابر با ۲ شامل قطعات ضایعاتی می باشد که به مرکز دفع هدایت می شوند.

اطلاعات مربوط به برخی از پارامترها و هزینه های داده شده در مسئله در جدول های ۱ تا ۲۵ آورده شده است:

قیمت فروش محصول درجه ۱ در بازار مشتری  $am$  در دوره  $t$  ( $QF_{lt}$ ) در جدول ۱ آورده شده است :

جدول ۱. قیمت فروش محصول درجه ۱ در بازار مشتری  $am$  در دوره  $t$  ( $QF_{lt}$ )

$QF_{11}$	۹۸۲	$QF_{31}$	۹۷۲
$QF_{12}$	۱۴۳۰	$QF_{32}$	۱۴۲۳
$QF_{21}$	۹۹۰	$QF_{41}$	۹۹۶
$QF_{22}$	۱۴۴۵	$QF_{42}$	۱۴۵۲

قیمت فروش محصول درجه ۲ در بازار مشتری  $am$  در دوره  $t$  ( $Q'F_{it}$ ) در جدول ۲ آورده شده است:

جدول ۲. قیمت فروش محصول درجه ۲ در بازار مشتری  $am$  در دوره  $t$  ( $Q'F_{it}$ )

$Q'F_{11}$	۵۶۵	$Q'F_{31}$	۵۵۲
$Q'F_{12}$	۸۵۲	$Q'F_{32}$	۸۳۸
$Q'F_{21}$	۵۷۶	$Q'F_{41}$	۵۸۰
$Q'F_{22}$	۸۶۳	$Q'F_{42}$	۸۷۰

قیمت فروش محصول درجه ۳ در بازار مشتری  $am$  در دوره  $t$  ( $Q''F_{it}$ ) در جدول ۳ آورده شده است:

جدول ۳. قیمت فروش محصول درجه ۳ در بازار مشتری  $am$  در دوره  $t$  ( $Q''F_{it}$ )

$Q''F_{11}$	۸۷۳	$Q''F_{31}$	۸۶۴
$Q''F_{12}$	۱۲۴۰	$Q''F_{32}$	۱۲۲۰
$Q''F_{21}$	۸۷۸	$Q''F_{41}$	۸۸۶
$Q''F_{22}$	۱۲۶۵	$Q''F_{42}$	۱۲۷۵

هزینه تولید قطعه  $m$  ام در مرکز تولید  $z$  ام در دوره  $t$  ( $HA_{mjt}$ ) در جدول ۴ آورده شده است:

جدول ۴. هزینه تولید قطعه  $m$  ام در مرکز تولید  $z$  ام در دوره  $t$  ( $HA_{mjt}$ )

$HA_{111}$	۴۶	$HA_{211}$	۴۰	$HA_{311}$	۴۳	$HA_{411}$	۴۵
$HA_{112}$	۴۸	$HA_{212}$	۴۲	$HA_{312}$	۴۵	$HA_{412}$	۴۷
$HA_{121}$	۴۶	$HA_{221}$	۴۰	$HA_{321}$	۴۳	$HA_{421}$	۴۵
$HA_{122}$	۴۸	$HA_{222}$	۴۲	$HA_{322}$	۴۵	$HA_{422}$	۴۷

هزینه مونتاژ محصول در مرکز تولید  $z$  ام در دوره  $t$  ( $HM_{jt}$ ) در جدول ۵ آورده شده است:



جدول ۵. هزینه مونتاژ محصول در مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$  ( $HM_{jt}$ )

$HM_{11}$	۴۰	$HM_{21}$	۴۰
$HM_{12}$	۴۲	$HM_{22}$	۴۲

هزینه عملیاتی مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  ( $OP_{kt}$ ) در جدول ۶ آورده شده است:

جدول ۶. هزینه عملیاتی مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  ( $OP_{kt}$ )

$OP_{11}$	۴۵	$OP_{21}$	۴۵
$OP_{12}$	۴۸	$OP_{22}$	۴۸

هزینه خرید کالای بازگشتی از مشتری در مراکز جمع آوری در دوره  $t$  ( $KB_t$ ) در جدول ۷ آورده شده است:

جدول ۷. هزینه خرید کالای بازگشتی از مشتری در مراکز جمع آوری در دوره  $t$  ( $KB_t$ )

$KB_1$	۹۰
$KB_2$	۹۴

هزینه عملیاتی مرکز جداسازی برای هر واحد محصول بازگشتی در دوره  $t$  ( $PC_t$ ) در جدول ۸ آورده شده است:

جدول ۸. هزینه عملیاتی مرکز جداسازی برای هر واحد محصول بازگشتی در دوره  $t$  ( $PC_t$ )

$PC_1$	۳۵
$PC_2$	۳۸

هزینه عملیاتی مرکز دفع برای هر قطعه در دوره  $t$  ( $HD_t$ ) در جدول ۹ آورده شده است:

جدول ۹. هزینه عملیاتی مرکز دفع برای هر قطعه در دوره  $t$  ( $HD_t$ )

$HD_1$	۵۰
$HD_2$	۵۸

هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی از مرکز تولید  $j$  ام به مرکز توزیع  $k$  ام در دوره  $t$  ( $TC_t^{jk}$ ) در جدول ۱۰ آورده شده است:

جدول ۱۰. هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی از مرکز تولید  $j$  ام به مرکز توزیع  $k$  ام در دوره  $t$  ( $TC_t^{jk}$ )

$TC_1^{11}$	۲۲	$TC_1^{21}$	۲۳
$TC_2^{11}$	۲۵	$TC_2^{21}$	۲۴
$TC_1^{12}$	۲۳	$TC_1^{22}$	۲۴
$TC_2^{12}$	۲۵	$TC_2^{22}$	۲۶

هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی از مرکز توزیع  $k$  ام به بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $TC_t^{kl}$ ) در جدول ۱۱ آورده شده است:

جدول ۱۱. هزینه انتقال هر واحد محصول تولیدی از مرکز توزیع  $k$  ام به بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $TC_t^{kl}$ )

$TC_1^{11}$	۲۳	$TC_1^{13}$	۲۱	$TC_1^{21}$	۲۳	$TC_1^{23}$	۲۱
$TC_2^{11}$	۲۵	$TC_2^{13}$	۲۲	$TC_2^{21}$	۲۴	$TC_2^{23}$	۲۳
$TC_1^{12}$	۲۵	$TC_1^{14}$	۲۶	$TC_1^{22}$	۲۴	$TC_1^{24}$	۲۶
$TC_2^{12}$	۲۶	$TC_2^{14}$	۲۷	$TC_2^{22}$	۲۵	$TC_2^{24}$	۲۷

هزینه انتقال هر واحد محصول بازگشتی از مرکز جمع آوری  $c$  ام به مرکز جداسازی  $p$  در دوره  $t$  ( $TC_t^{cp}$ ) در جدول ۱۲ آورده شده است:

جدول ۱۲. هزینه انتقال هر واحد محصول بازگشتی از مرکز جمع آوری  $C$  ام به مرکز جداسازی  $P$  در دوره  $t$  ( $TC_t^{cp}$ )

$TC_1^{11}$	۲۰	$TC_1^{31}$	۲۰
$TC_2^{11}$	۲۲	$TC_2^{31}$	۲۳
$TC_1^{21}$	۲۱	$TC_1^{41}$	۲۱
$TC_2^{21}$	۲۳	$TC_2^{41}$	۲۲

هزینه انتقال هر واحد قطعه  $m$  ام از مرکز جداسازی  $P$  به مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$  ( $TC_{mt}^{pj}$ ) در جدول ۱۳ آورده شده است :

جدول ۱۳. هزینه انتقال هر واحد قطعه  $m$  ام از مرکز جداسازی  $P$  به مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$  ( $TC_{mt}^{pj}$ )

$TC_{11}^{11}$	۲۱	$TC_{31}^{11}$	۲۳	$TC_{11}^{12}$	۲۱	$TC_{31}^{12}$	۲۲
$TC_{12}^{11}$	۲۲	$TC_{32}^{11}$	۲۴	$TC_{12}^{12}$	۲۳	$TC_{32}^{12}$	۲۴
$TC_{21}^{11}$	۲۳	$TC_{41}^{11}$	۲۴	$TC_{21}^{12}$	۲۳	$TC_{41}^{12}$	۲۵
$TC_{22}^{11}$	۲۵	$TC_{42}^{11}$	۲۶	$TC_{22}^{12}$	۲۴	$TC_{42}^{12}$	۲۶

هزینه انتقال هر واحد قطعه  $m$  ام از مرکز جداسازی  $P$  به مرکز دفع  $f$  در دوره  $t$  ( $TC_{mt}^{pf}$ ) در جدول ۱۴ آورده شده است :

جدول ۱۴. هزینه انتقال هر واحد قطعه  $m$  ام از مرکز جداسازی  $P$  به مرکز دفع  $f$  در دوره  $t$  ( $TC_{mt}^{pf}$ )

$TC_{11}^{11}$	۲۱	$TC_{31}^{11}$	۲۱
$TC_{12}^{11}$	۲۲	$TC_{32}^{11}$	۲۲
$TC_{21}^{11}$	۲۲	$TC_{41}^{11}$	۲۲
$TC_{22}^{11}$	۲۴	$TC_{42}^{11}$	۲۳

تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۱ در دوره  $t$  ( $D_{lt}$ ) در جدول ۱۵ آورده شده است :

جدول ۱۵. تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۱ در دوره  $t$  ( $D_{lt}$ )

$D_{11}$	۳۹۵	$D_{31}$	۴۱۰
$D_{12}$	۳۸۵	$D_{32}$	۴۰۸
$D_{21}$	۳۷۶	$D_{41}$	۳۵۰
$D_{22}$	۳۷۰	$D_{42}$	۳۶۲

تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۲ در دوره  $t$  ( $D'_{lt}$ ) در جدول ۱۶ آورده شده است :

جدول ۱۶. تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۲ در دوره  $t$  ( $D'_{lt}$ )

$D'_{11}$	۲۱۰	$D'_{31}$	۲۳۵
$D'_{12}$	۲۲۵	$D'_{32}$	۲۴۵
$D'_{21}$	۱۹۴	$D'_{41}$	۱۸۸
$D'_{22}$	۱۸۶	$D'_{42}$	۱۷۰

تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۳ در دوره  $t$  ( $D''_{lt}$ ) در جدول ۱۷ آورده شده است :

جدول ۱۷. تقاضای مشتری  $l$  ام برای محصول درجه ۳ در دوره  $t$  ( $D''_{lt}$ )

$D''_{11}$	۳۱۴	$D''_{31}$	۳۴۰
$D''_{12}$	۳۱۵	$D''_{32}$	۳۴۰
$D''_{21}$	۲۸۶	$D''_{41}$	۲۶۰
$D''_{22}$	۲۹۰	$D''_{42}$	۲۷۸

نرخ بازگشت محصول درجه ۱ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $\alpha_{lt}$ ) در جدول ۱۸ آورده شده است :

جدول ۱۸. نرخ بازگشت محصول درجه ۱ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $\alpha_{lt}$ )

$\alpha_{11}$	۰.۶۴	$\alpha_{31}$	۰.۶۴
$\alpha_{12}$	۰.۵۶	$\alpha_{32}$	۰.۶
$\alpha_{21}$	۰.۵۳	$\alpha_{41}$	۰.۶
$\alpha_{22}$	۰.۴۵	$\alpha_{42}$	۰.۵۲

نرخ بازگشت محصول درجه ۲ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $\alpha'_{lt}$ ) در جدول ۱۹ آورده شده است :

جدول ۱۹. نرخ بازگشت محصول درجه ۲ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $\alpha'_{lt}$ )

$\alpha'_{11}$	۰.۴۲	$\alpha'_{31}$	۰.۴۵
$\alpha'_{12}$	۰.۳۵	$\alpha'_{32}$	۰.۳
$\alpha'_{21}$	۰.۴	$\alpha'_{41}$	۰.۵
$\alpha'_{22}$	۰.۳۵	$\alpha'_{42}$	۰.۴۵

نرخ بازگشت محصول درجه ۳ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $\alpha''_{lt}$ ) در جدول ۲۰ آورده شده است :

جدول ۲۰. نرخ بازگشت محصول درجه ۳ استفاده شده از بازار مشتری  $l$  ام در دوره  $t$  ( $\alpha''_{lt}$ )

$\alpha''_{11}$	۰.۶	$\alpha''_{31}$	۰.۵۷
$\alpha''_{12}$	۰.۵۵	$\alpha''_{32}$	۰.۵
$\alpha''_{21}$	۰.۴۸	$\alpha''_{41}$	۰.۵۵
$\alpha''_{22}$	۰.۴	$\alpha''_{42}$	۰.۵

درصدی از کل قطعات درجه ۱ تولیدی که برای تولید محصول درجه ۱ در دوره  $t$  مورد نیاز است ( $\gamma_t$ ) در جدول ۲۱ آورده شده است :

جدول ۲۱. درصدی از کل قطعات درجه ۱ تولیدی که برای تولید محصول درجه ۱ در دوره  $t$  مورد نیاز است ( $\gamma_t$ )

$\gamma_1$	۰.۷۵
$\gamma_2$	۰.۶

درصدی از کل قطعات قابل استفاده مجدد بازگشتی از مرکز جداسازی که برای تولید محصول درجه ۲ در دوره  $t$  مورد نیاز است ( $\lambda_t$ ) در جدول ۲۲ آورده شده است :

جدول ۲۲. درصدی از کل قطعات قابل استفاده مجدد بازگشتی از مرکز جداسازی که برای تولید محصول درجه ۲ در دوره  $t$  مورد نیاز است ( $\lambda_t$ )

$\lambda_1$	۰.۵۵
$\lambda_2$	۰.۴۵

نرخ استفاده از قطعه  $m$  در محصول ( $\beta_m$ ) در جدول ۲۳ آورده شده است :

جدول ۲۳. نرخ استفاده از قطعه  $m$  در محصول ( $\beta_m$ )

$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_4$
۰.۳۵	۰.۱۵	۰.۲۵	۰.۲۵

نرخ استفاده از ماده اولیه  $r$  در قطعه  $m$  ( $\mu_r^m$ ) برابر با ۰.۱ می باشد.

عدد بزرگ ( $MI$ ) برابر با ۹۹۹۹۹۹۹ در نظر گرفته می شود.

ظرفیت تولید در مرکز تولید  $j$  ام ( $Cap_j$ ) در جدول ۲۴ آورده شده است :

جدول ۲۴. ظرفیت تولید مرکز تولید  $j$  ام  $(Cap_j)$ 

$Cap_1$	۲۳۱۰
$Cap_2$	۲۲۹۰

نرخ بازگشت قطعه  $m$  قابل استفاده مجدد در دوره  $t$  ( $\delta_t$ ) در جدول ۲۵ آورده شده است:

جدول ۲۵. نرخ بازگشت قطعه  $m$  قابل استفاده مجدد در دوره  $t$  ( $\delta_t$ )

$\delta_1$	۰.۶۵
$\delta_2$	۰.۶

با توجه به هزینه ها و پارامترهای داده شده در بالا، اطلاعات مربوط به متغیرهای خروجی مسئله به صورت زیر در جداول ۲۶ تا ۳۷ آورده شده است. همچنین از نوشتن متغیرهای خروجی با مقدار صفر در این جداول خودداری شده است.

مقدار مواد اولیه  $r$  که از تامین کننده  $i$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{ijrt}$ ) در جدول ۲۶ آورده شده است:

جدول ۲۶. مقدار مواد اولیه  $r$  که از تامین کننده  $i$  به مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{ijrt}$ )

$X_{1121}$	۲۳۰	$X_{2111}$	۲۳۰	$X_{2241}$	۷۲	$X_{3182}$	۱۳۸
$X_{1122}$	۱۳۸	$X_{2112}$	۱۳۸	$X_{2271}$	۷۲	$X_{3251}$	۷۲
$X_{1191}$	۲۳۰	$X_{2131}$	۲۳۰	$X_{2282}$	۱۳۴	$X_{3252}$	۱۳۴
$X_{1192}$	۱۳۸	$X_{2151}$	۲۳۰	$X_{3132}$	۱۳۸	$X_{3261}$	۷۲
$X_{1221}$	۷۲	$X_{2171}$	۲۳۰	$X_{3141}$	۲۳۰	$X_{3262}$	۱۳۴
$X_{1222}$	۱۳۴	$X_{2172}$	۱۳۸	$X_{3142}$	۱۳۸	$X_{3272}$	۱۳۴
$X_{1231}$	۷۲	$X_{21101}$	۲۳۰	$X_{3152}$	۱۳۸	$X_{3281}$	۷۲
$X_{1232}$	۱۳۴	$X_{21102}$	۱۳۸	$X_{3161}$	۲۳۰	$X_{3291}$	۷۲

$X_{1242}$	۱۳۴	$X_{2211}$	۷۲	$X_{3162}$	۱۳۸	$X_{32101}$	۷۲
$X_{1292}$	۱۳۴	$X_{2212}$	۱۳۴	$X_{3181}$	۲۳۰	$X_{32102}$	۱۳۴

به عنوان نمونه منظور از  $X_{3141} = ۲۳۰$  این است که مقدار مواد اولیه نوع ۴ که از تامین کننده ۳ به مرکز تولید ۱ در دوره ۱ حمل می شود برابر با ۲۳۰ می باشد.

مقدار قطعات درجه ۱ نوع  $m$  که در مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$  تولید می شود ( $X_{mjt}$ ) در جدول ۲۷ آورده شده است:

جدول ۲۷. مقدار قطعات درجه ۱ نوع  $m$  که در مرکز تولید  $j$  در دوره  $t$  تولید می شود ( $X_{mjt}$ )

$X_{111}$	۸۰۵	$X_{211}$	۳۴۵	$X_{311}$	۵۷۵	$X_{411}$	۵۷۵
$X_{112}$	۴۸۳	$X_{212}$	۲۰۷	$X_{312}$	۳۴۵	$X_{412}$	۳۴۵
$X_{121}$	۲۵۲	$X_{221}$	۱۰۸	$X_{321}$	۱۸۰	$X_{421}$	۱۸۰
$X_{122}$	۴۶۹	$X_{222}$	۲۰۱	$X_{322}$	۳۳۵	$X_{422}$	۳۳۵

به عنوان نمونه منظور از  $X_{212} = ۲۰۷$  این است که مقدار قطعه درجه ۱ نوع ۲ که در مرکز تولید ۱ در دوره ۲ تولید می شود برابر با ۲۰۷ می باشد.

مقدار محصول درجه ۱ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{jkt}$ ) در جدول ۲۸ آورده شده است:

جدول ۲۸. مقدار محصول درجه ۱ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{jkt}$ )

$X_{111}$	۱۳۴۹	$X_{122}$	۷۵۵
$X_{112}$	۷۳	$X_{211}$	۵۴۰
$X_{121}$	۳۷۶	$X_{212}$	۸۰۴

به عنوان نمونه منظور از  $X_{211} = ۵۴۰$  این است که مقدار محصول درجه ۱ تولید شده که از مرکز تولید ۲ به مرکز توزیع ۱ در دوره ۱ حمل می شود برابر با ۵۴۰ می باشد.



مقدار محصول درجه ۲ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود  $(X'_{jkt})$  در جدول ۲۹ آورده شده است :

جدول ۲۹. مقدار محصول درجه ۲ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود  $(X'_{jkt})$

$X'_{112}$	۳
$X'_{122}$	۴۱۱
$X'_{211}$	۸۵۸
$X'_{212}$	۴۲۳

به عنوان نمونه منظور از  $X'_{212} = ۴۲۳$  این است که مقدار محصول درجه ۲ تولید شده که از مرکز تولید ۲ به مرکز توزیع ۱ در دوره ۲ حمل می شود برابر با ۴۲۳ می باشد.

مقدار محصول درجه ۳ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود  $(X''_{jkt})$  در جدول ۳۰ آورده شده است :

جدول ۳۰. مقدار محصول درجه ۳ تولید شده که از مرکز تولید  $j$  به مرکز توزیع  $k$  در دوره  $t$  حمل می شود  $(X''_{jkt})$

$X''_{111}$	۵۷۵
$X''_{122}$	۱۰۵۸
$X''_{211}$	۵۶۸
$X''_{212}$	۱۰۵۳
$X''_{221}$	۳۱۴

به عنوان نمونه منظور از  $X''_{211} = ۵۶۸$  این است که مقدار محصول درجه ۳ تولید شده که از مرکز تولید ۲ به مرکز توزیع ۱ در دوره ۱ حمل می شود برابر با ۵۶۸ می باشد.

مقدار محصول درجه ۱ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود  $(X_{klt})$  در جدول ۳۱ آورده شده است :

جدول ۳۱. مقدار محصول درجه ۱ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{klt}$ )

$X_{111}$	۳۹۵	$X_{142}$	۴۶۹
$X_{131}$	۴۱۰	$X_{212}$	۳۸۵
$X_{132}$	۴۰۸	$X_{221}$	۳۷۶
$X_{141}$	۱۰۸۴	$X_{222}$	۳۷۰

به عنوان نمونه منظور از  $X_{142} = ۴۶۹$  این است که مقدار محصول درجه ۱ که از مرکز توزیع ۱ به مشتری ۴ در دوره ۲ حمل می شود برابر با ۴۶۹ می باشد.

مقدار محصول درجه ۲ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X'_{klt}$ ) در جدول ۳۲ آورده شده است:

جدول ۳۲. مقدار محصول درجه ۲ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X'_{klt}$ )

$X'_{111}$	۲۱۰	$X'_{141}$	۲۱۹
$X'_{121}$	۱۹۴	$X'_{142}$	۱۸۱
$X'_{131}$	۲۳۵	$X'_{212}$	۲۲۵
$X'_{132}$	۲۴۵	$X'_{222}$	۱۸۶

به عنوان نمونه منظور از  $X'_{132} = ۲۴۵$  این است که مقدار محصول درجه ۲ که از مرکز توزیع ۱ به مشتری ۳ در دوره ۲ حمل می شود برابر با ۲۴۵ می باشد.

مقدار محصول درجه ۳ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X''_{klt}$ ) در جدول ۳۳ آورده شده است:

جدول ۳۳. مقدار محصول درجه ۳ که از مرکز توزیع  $k$  به مشتری  $l$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X''_{klt}$ )

$X''_{111}$	۳۱۴	$X''_{212}$	۳۱۵
$X''_{131}$	۳۱۴	$X''_{221}$	۳۱۴
$X''_{132}$	۳۱۵	$X''_{222}$	۳۱۵
$X''_{141}$	۵۱۵	$X''_{242}$	۴۲۸

$X''_{142}$	۷۳۸	
-------------	-----	--

به عنوان نمونه منظور از  $X''_{222} = ۳۱۵$  این است که مقدار محصول درجه ۳ که از مرکز توزیع ۲ به مشتری ۲ در دوره ۲ حمل می شود برابر با ۳۱۵ می باشد.

مقدار محصول بازگشتی که از مشتری  $l$  به مرکز جمع آوری  $C$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{lct}$ ) در جدول ۳۴ آورده شده است:

جدول ۳۴. مقدار محصول بازگشتی که از مشتری  $l$  به مرکز جمع آوری  $C$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{lct}$ )

$X_{111}$	۹۷۶	$X_{311}$	۵۶۲
$X_{112}$	۱۸۵۹	$X_{312}$	۴۸۹
$X_{231}$	۴۱۵	$X_{411}$	۴۴۷
$X_{242}$	۳۴۸	$X_{412}$	۴۰۴

به عنوان نمونه منظور از  $X_{411} = ۴۴۷$  این است که مقدار محصول بازگشتی که از مشتری ۴ به مرکز جمع آوری ۱ در دوره ۱ حمل می شود برابر با ۴۴۷ می باشد.

مقدار محصول بازگشتی که از مرکز جمع آوری  $C$  به مرکز جداسازی  $P$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{ct}$ ) در جدول ۳۵ آورده شده است:

جدول ۳۵. مقدار محصول بازگشتی که از مرکز جمع آوری  $C$  به مرکز جداسازی در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{ct}$ )

$X_{11}$	۱۹۸۵	$X_{31}$	۴۱۵
$X_{12}$	۲۷۵۲	$X_{42}$	۳۴۸

به عنوان نمونه منظور از  $X_{31} = ۴۱۵$  این است که مقدار محصول بازگشتی که از مرکز جمع آوری ۳ به مرکز جداسازی در دوره ۱ حمل می شود برابر با ۴۱۵ می باشد.

مقدار قطعه  $m$  که با کیفیت  $q = 1$  قابل استفاده مجدد محسوب می شود و از مرکز جداسازی  $P$  به مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{mpjqt}$ ) در جدول ۳۶ آورده شده است:

جدول ۳۶. مقدار قطعه نوع  $m$  که با کیفیت  $q = 1$  قابل استفاده مجدد محسوب می شود و از مرکز جداسازی  $p$  به مرکز تولید  $j$  ام در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{mpjqt}$ )

$X_{11112}$	۳۲۲	$X_{31112}$	۲۳۰
$X_{11211}$	۵۴۶	$X_{31211}$	۳۹۰
$X_{11212}$	۳۲۹	$X_{31212}$	۲۳۵
$X_{21112}$	۱۳۸	$X_{41112}$	۲۳۰
$X_{21211}$	۲۳۴	$X_{41211}$	۳۹۰
$X_{21212}$	۱۴۱	$X_{41212}$	۲۳۵

به عنوان نمونه منظور از  $X_{31212} = ۲۳۵$  این است که مقدار قطعه نوع ۳ ام که از مرکز جداسازی ۱ به مرکز تولید ۲ با کیفیت  $q = 1$  در دوره ۲ حمل می شود برابر ۲۳۵ می باشد.

مقدار قطعه  $m$  که با کیفیت  $q = 2$  ضایعاتی محسوب شده و از مرکز جداسازی  $p$  به مرکز دفع  $f$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{mpfqt}$ ) در جدول ۳۷ آورده شده است:

جدول ۳۷. مقدار قطعه  $m$  که با کیفیت  $q = 2$  ضایعاتی محسوب شده و از مرکز جداسازی  $p$  به مرکز دفع  $f$  در دوره  $t$  حمل می شود ( $X_{mpfqt}$ )

$X_{11121}$	۲۹۴	$X_{31121}$	۲۱۰
$X_{11122}$	۴۳۴	$X_{31122}$	۳۱۰
$X_{21121}$	۱۲۶	$X_{41121}$	۲۱۰
$X_{21122}$	۱۸۶	$X_{41122}$	۳۱۰

به عنوان نمونه منظور از  $X_{21122} = ۱۸۶$  این است که مقدار قطعه نوع ۲ ام که از مرکز جداسازی ۱ به مرکز دفع ۱ با کیفیت  $q = 2$  در دوره ۲ حمل می شود برابر با ۱۸۶ می باشد.

مرکز توزیع  $k$  آماده خدمت دهی به همه بازارهای مشتری  $l$  می باشد، در نتیجه مقدار همه متغیرهای باینری مربوط به آن ( $B_{kl}$ ) برابر با ۱ است. برای نمونه  $B_{23} = ۱$  است.

همچنین مرکز جمع آوری  $C$  آماده جمع آوری محصولات بازگشتی از همه بازارهای مشتری  $I$  می باشد، در نتیجه مقدار همه متغیرهای باینری مربوط به آن ( $A_{Ic}$ ) برابر با ۱ می باشد. برای نمونه  $A_{34} = 1$  است.

در نهایت با توجه به پارامترها، هزینه ها و متغیرهای خروجی مسئله مقدار بهینه تابع هدف برابر با  $6990783$  به دست آمده است.

#### ۵- بحث و نتیجه گیری

طراحی شبکه های زنجیره تامین سبز و حلقه بسته سازمان ها را ملزم کرده تا در مورد تعیین تکلیف محصولاتی که عمر آنها به پایان رسیده و یا مصرف آنها خاتمه یافته است، تصمیماتی را اتخاذ نموده و به عبارتی زمینه مناسبی جهت بازیافت، بازتولید یا دور ریز این محصولات و قطعات تشکیل دهنده آن ها فراهم آورند. شبکه ارائه شده در این پژوهش متشکل از چهار لایه در زنجیره رو به جلو و سه سطح در زنجیره معکوس می باشد. مدل ریاضی پیشنهادی یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط شامل افزایش سودمندی شبکه زنجیره تامین با ملاحظات پارامترهای زیست محیطی در کنترل کیفیت قطعات تشکیل دهنده همراه با سیاست قیمت گذاری و چرخه عمر محصول می باشد. برای اعتبار سنجی مدل از نرم افزار لینگو استفاده و نتایج آن تحلیل شده است. برای پژوهش های آتی می توان با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهایی همچون تقاضا، محصولات بازگشتی و همچنین در برخی از لایه ها، در نظر گرفتن انبار و مباحث کنترل موجودی مدل را گسترش داد.

#### منابع:

1. Garg, K., Kannan, D., Diabat, A., Jha, P.C. (2015), A multi-criteria optimization approach to manage environmental issues in closed loop supply chain network design. *Journal of Cleaner Production*, 100 (1), 297-314.
2. Ramezani, M., Bashiri, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., 2013. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Appl. Math. Model.* 37 (1), 328-344.
3. Pishvae, M.S., Farahani, R.Z., Dollart, W., 2010. A memtic algorithm for bi objective integrated forward / reverse logistics network design . *comput oper.res.* 37(6), 1100-1112
4. Pishvae, M.S., M. Rabbani, and S.A. Torabi, 2011. A robust optimization approach to closed loop supply chain network design under uncertainty. *Applied Mathematical Modelling*, 35(2) 637-649.
5. Kannan, G., Noorul Haq, A., Devika, M., 2009. Analysis of closed loop supply chain using genetic algorithm and particle swarm optimisation. *Int. J. Prod. Res.* 47 (5), 1175-1200.
6. Paksoy, T., Bektas, E., Ozceylan, 2011. Operational and environmental performance measures in a multi-product closed-loop supply chain. *Transp. Res. Part E: Logist. Transp. Res.* 47 (4), 532-546.
7. Amin, S.H., Zhang, G., 2013. A multi-objective facility location model for closed-loop supply chain network under uncertain demand and return. *Appl. Math. Model* 37, 4165-4176

8. Wang, H., Hsu, H., 2010. A closed-loop logistic model with a spanning-tree based genetic algorithm. *Comput. Oper. Res.* 37, 376-389.
9. Abdallah, T., Diabat, A., Rigter, J., 2013. Investigating the option of installing small scale {PVs} on facility rooftops in a green supply chain. *Int. J. Prod. Econ.* 146 (2), 465-477.
10. Al Zaabi, S., Al Dhaheri, N., Diabat, A., 2013. Analysis of interaction between the barrier for the implementation of sustainable supply chain management. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 68 (1-4), 895-905.
11. T Paksoy, E Ozceylan, GW Webe. 2010. A multi objective model for optimization of a green supply chain network. *Glob. J. Technol. Optim.* 2 (1).
12. Fahimnia, B., Sarkis, J., Dehghanian, F., Banihashemi, N., Rahman, S., 2013. The impact of carbon pricing on a closed-loop supply chain: an Australian case study. *J. Clean. Prod.* 59, 210-225.
13. 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.
14. Diabat A, Abdallah T, Al-Refaie A, Svetinovic D, Govindan K. 2013. Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading, *IEEE Transactions on Engineering Management*, 60, 398-408
15. Pishvae MS, Razmi J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*; 36:3433- 3446.
16. Winkler H., 2011. Closed-loop production systemed A sustainable supply chain approach. *CIRP J. Manuf. Sci. Technol.* 4 (3), 243-246.
17. S. Vadde, A. Zeid, and S. V. Kamarthi, 2011. "Pricing decisions in a multi-criteria setting for product recovery facilities," *Omega*, vol. 39, no. 2, pp. 186-193.
18. Shi J, Zhang G, & Sha J. (2011a). Optimal production and pricing policy for a closed loop System. *Resources, Conservation and Recycling*, 55(6), 639-647.
19. Keyvanshokoh E, Fattahi M, Seyed-Hosseini S., Tavakkoli-Moghaddam R, 2013 A dynamic pricing approach for returned products in integrated forward/reverse logistics network design. *Appl. Math. Modell.* 37 (24), 10182-10202
20. M. Mahmoudzadeh, S.J. Sadjadi, S. Mansour, (2013) Robust optimal dynamic production/pricing policies in a closed-loop system, *Appl. Math. Model.* 37(16-17) 8141-8161
21. He Y.J., 2015. Acquisition pricing and remanufacturing decisions in a closed-loop supply chain. *International Journal of Production Economics* 163, 48-60.
22. Amin S.H, Zhang G, 2012. A proposed mathematical model for closed-loop network configuration based on product life cycle. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* 58 (5), 791-801.
23. R. Accorsi, R. Manzini\*, Ch. Pini, S. Penazzi, 2015. "On the design of closed-loop networks for product life cycle management: Economic, environmental and geography considerations" *Journal of Transport Geography* 48 121-134

24. Dehghanian F, Mansour S. (2009) , Designing sustainable recovery network of end-of life products using genetic algorithm. Resources, conservation and recycling.53:559-70
25. Simon B., Ben Amor M., Földényi R. 2015. Life cycle impact assessment of beverage packaging systems: focus on the collection of post-consumer bottles. J. Clean. Prod., In Press,Corrected Proof , Available online 12 June 2015.
26. Pengxing Yi ,Min Huang ,Lijun Guo ,Tielen Shi2016." A Retailer Oriented Closed-loop Supply Chain Network Design for End of Life Construction Machinery Remanufacturing".Journal of Cleaner Production. Volume124, 15 June 2016, Pages191–203