2ND. INTERNATIONAL CONFERENCE ON
MANAGEMENT & INDUSTRIAL ENGINEERING
ISTANBUL - TURKEY 18 March 2016
دومین کنفرانس بین المللی
مدیریت و مهندسی صنایع
استانبول - ترکیه ۲۸ اسفند ماه ۱۳۹۴

# طراحی زنجیره تامین چهارسطحی چندمحصولی حلقه بسته اقلام زوال پذیر

**ابوالفضل جوان کیانی**
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه یزد
abolfazl.javankiani@gmail.com

**محمدحسین ابویی**
عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه یزد
mhabooie@yazd.ac.ir

Archive of SID

**چکیده**

در این مطالعه، به‌دنبال طراحی زنجیره تامین چهارسطحی چندمحصولی حلقه بسته برای اقلام زوال پذیر می باشیم. سطوح زنجیره تامین، شامل تامین کنندگان، تولیدکنندگان، انبار و خرده فروشان می باشد. بدین منظور، مدلی ریاضی ارائه گردیده که این مدل شامل دو فاز می باشد. در فاز اول مدل، مکانیابی مراکز زنجیره مورد بررسی قرار گرفته و تابع هدف این فاز به صورت حداقل رساندن هزینه های مربوطه می باشد و در فاز دوم مدل، تخصیص جریانات به مراکز زنجیره مورد بررسی قرار گرفته و تابع هدف آن از نوع ماکزیمم سازی سود کل زنجیره می باشد. در ادامه برای حل مدل، از دو الگوریتم فراابتکاری جستجوی ممنوعه[1](TS) و تکاملی تفاضلی[2](DE) استفاده شده و برای اعتبارسنجی مدل، مثال های عددی در سه سطح از مسائل کوچک، متوسط و بزرگ توسط هردو الگوریتم پیشنهادی حل گردیده است و نتایج حاصله در دو قالب کیفیت و زمان حل مسائل توسط دو الگوریتم، با یکدیگر مقایسه شده که این نتایج، نشان دهنده برتری الگوریتم تکاملی تفاضلی(DE) نسبت به الگوریتم جستجوی ممنوعه(TS) می باشد. در انتها، پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه گردیده است.

**واژگان کلیدی:** طراحی زنجیره تأمین، چند محصولی، چهار سطحی، حلقه بسته، مواد زوال پذیر

[1] Tabu Search
[2] Differential Evolution

www.SID.ir

**مقدمه**

امروزه سازمان ها، برای باقی ماندن در بازار رقابتی، باید محصولاتی مطابق با خواست مشتریان را با کمترین هزینه تولید کنند. برای دستیابی به این مهم، سازمان ها باید علاوه بر توجه به فعالیت‌های داخلی خود، منابع و تشکیلات مرتبط خارجی را نیز موردتوجه قرار دهند. بدین ترتیب، به سمت مدیریت زنجیره تأمین[3] سوق می‌یابند. تعاریف بسیاری برای زنجیره تأمین وجود دارد اما به‌طور خلاصه می توان زنجیره تأمین را بدین‌صورت تعریف کرد: زنجیره تأمین شامل تمام فعالیت‌ها، از تبدیل مواد خام به محصولات نهایی و ارائه آن‌ها به مشتریان است (S. Liu and L. G. Papageorgiou,2013) . این فعالیت‌ها، علاوه بر فعالیت‌های فیزیکی، شامل جریان‌های مالی، اطلاعاتی و دانش نیز می‌باشد(تیموری،۱۳۸۷). امروزه، زنجیره تأمین به عاملی مهم و حیاتی در بازارهای جهانی تبدیل‌شده است، به‌طوری‌که در عرصه جهانی، رقابت اصلی در بین زنجیره‌های تأمین صورت می‌گیرد. ازاین‌رو، طراحی مناسب زنجیره تأمین، یک مزیت رقابتی برای سازمان‌ها محسوب می‌شود. طراحی زنجیره تأمین یا طراحی مجدد آن، یکی از تصمیمات اساسی زنجیره تأمین به شمار می‌رود. طراحی، مبنای عملیاتی زنجیره تأمین را تعریف می‌کند(جعفرنژاد،۱۳۹۲) طراحی زنجیره تأمین مواد زوال‌پذیر[4]، به خاطر ویژگی‌های خاص این محصولات ازجمله عمر مفید آن‌ها، متفاوت از زنجیره تأمین سایر محصولات است. تفاوت اساسی میان زنجیره تأمین مواد زوال‌پذیر و زنجیره تأمین محصولات دیگر، تغییرات مستمر و قابل‌توجه در کیفیت این محصولات در سراسر زنجیره تأمین تا نقطه مصرف نهایی است (Aiello et al,2012). در زنجیره تأمین مواد زوال‌پذیر، تازگی و ایمنی بسیار موردتوجه قرار می‌گیرند که این امر در سایر فعالیت‌های زنجیره، ازجمله انبارداری، توزیع و تحویل محصولات اثر می‌گذارد و زنجیره را پیچیده‌تر می‌نماید. واضح است که بسیاری از مصرف‌کنندگان ترجیح می‌دهند تازه‌ترین محصولات را با قیمت عادلانه خریداری کنند (M. Lütke Entrup et al,2005). ازاین‌رو، با توجه به تنوع زیاد در اغلب محصولات زوال‌پذیر و رقابتی بودن آن‌ها، تولیدکنندگان، چاره‌ای جز طراحی زنجیره تأمین مناسب و بهبود آن ندارند.

تاکنون تحقیقات بسیاری درخصوص مواد زوال پذیر و طراحی زنجیره تامین آن ها انجام رفته است اما بیشتر این تحقیقات باهدف کاهش هزینه‌ها انجام شده‌اند و افزایش حاشیه سود، کمتر موردتوجه قرارگرفته است. در این مطالعه، قصد داریم با ارائه مدلی ریاضی، فعالیت‌های زنجیره تأمین مواد زوال‌پذیر، را در جهت افزایش سودآوری، بهینه کنیم.

**تعریف مسئله**

مدل پایه‌ی پیشنهادی یک مدل زنجیره تأمین چهار سطحی با جریانات رفت و برگشت مربوط به محصولات با طول عمر کوتاه از جمله، صنایع لبنی می‌باشد. سطوح در نظر گرفته شده شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و خرده‌فروش‌ها می‌باشد. مواد خام محصولات تولید شده توسط تولیدکنندگان، از تأمین‌کنندگان تأمین می‌شود. تولیدکنندگان ظرفیتی برای نگهداری محصولات تولید شده ندارند و این محصولات بلافاصله پس از تولید به انبارها انتقال داده می‌شوند. محصولات در انبارها با توجه به ویژگی محصولات لبنی و طول عمر محدودی که برای آن‌ها تعریف شده است، قابلیت ماندگاری مشخصی را دارند و اگر محصولات طی مدت تعیین شده از انبار خارج نشوند به تولیدکنندگان برگشت داده خواهند شد. هر خرده‌فروش تقاضای خاصی از هر نوع محصول در هر دوره دارد که با توجه به مدل‌سازی انجام شده، سعی شده بیشترین پوشش به تقاضای خرده‌فروشان داده شود. در مسیر برگشت محصولات از هر دو نقطه خرده‌فروشان و انبارها برگشت می‌یابند. کالاهایی که از

[1] Supply Chain Management
[4] Deteriorating items

Archive of SID
www.SID.ir

خرده‌فروشان برگشت می‌یابند ابتدا به انبارها و سپس به دست تولیدکنندگان می‌رسد. کالاها در انبار نیز در صورت تجاوز از طول عمر تعیین شده برای آن‌ها، به تولیدکنندگان برگشت داده می‌شوند. بخشی از کالاهای برگشت داده شده به تولیدکننده، پس از انجام بررسی‌های لازم، مورد بازیافت قرار گرفته و مابقی منهدم می‌شوند. کالاهای قابل بازیافت به فروش می‌رسد و به صورت درآمدی به شبکه بازمی‌گردد، در مقابل کالاهای انهدامی برای جلوگیری از وارد شدن خسارت به محیط‌زیست پس از طی فرایندی هزینه‌زا از شبکه خارج می‌شود. در مدل ارائه شده، از در نظر گرفتن سطح مشتری به عنوان سطح پنجم به دلیل اینکه زیان ناشی از کالاهای برگشتی و تاریخ گذشته از سمت مشتری، متوجه خود مشتری می‌شود و هزینه محسوسی را به زنجیره تأمین تحمیل نمی‌نماید، خودداری شده است. شمای کلی زنجیره تامین مورد نظر در شکل(۱) نشان دهده شده است.

**پیشینه تحقیق**

تحقیقات بسیاری درزمینه طراحی زنجیره تأمین و بهینه‌سازی آن صورت گرفته است که در زیر، به تعدادی از آن‌ها که با موضوع این تحقیق ارتباط دارند، اشاره می‌کنیم.

در مطالعه ای(Amorim et al,2012)، برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه محصولات فاسدشدنی را در یک چارچوب چندهدفه، بررسی شده است. در این تحقیق، مدل‌ها را برای مواردی که در آن کالاهای فاسدشدنی، عمر مفید ثابت و کمی دارند، فرموله شده است. در مطالعه دیگری (Baykasoglu et al,2014)، یک مدل طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته[۵](CLSC) چندهدفه، چندمرحله‌ای، چند محصولی برای صنعت باتری سرب/اسید، با درنظرگرفتن رسیک‌های مالی و مجموعه‌ای، با استفاده از اندازه‌گیری چندین رسیک تحت عدم قطعیت‌های مختلف، توسعه داده شده است. این مقاله، یک سناریو ترکیبی بر اساس روش برنامه‌ریزی امکان‌پذیر-تصادفی درجهت طراحی شبکه CLSC برای انعکاس بهتر مسائل دنیای واقعی، ارائه داده است. اما این مقاله، تمامی هزینه‌های زنجیره تأمین را درنظرنگرفته است. در تحقیقی (Shilpy Tayal et al,2014)، مدلی را برای یک زنجیره تامین دو مرحله‌ای مواد زوال‌پذیر توسعه داده شده است که در آن، تقاضای فروشندگان به‌صورت دوره‌ای و متناسب با تاریخ انقضای محصولات است و تولیدکننده برای جلوگیری از زود فاسدشدن محصولات، روی فنّاوری نگهداری سرمایه‌گذاری کرده است. در این مطالعه، به بررسی نحوه پاسخ مصرف‌کنندگان به تاریخ انقضای مواد فاسدشدنی پرداخته شده است. آن‌ها روشی را برای بهینه‌سازی چرخه پرسازی مجدد، دوره کمبود و هزینه فنّاوری نگهدارنده ارئه دادند تا درنهایت، سود خالص زنجیره تأمین، حداکثر گردد. در مدل ارائه‌شده، تأخیر مجاز نیست. در مطالعه دیگری (S. R. Singh and Neha Saxena,2013)، یک زنجیره تأمین حلقه بسته با امکان بازسازی اقلام درحال فساد را ارائه شده است. مدل برای یک نوع محصول با دو استاندارد کیفیت مختلف، درنظر گرفته شده است. در این مطالعه فرض شده است که کیفیت اقلام بازسازی شده نزد مشتریان نسبت به اقلامی که جدید تولید می‌شوند کمتر بوده و درنتیجه تمامی تقاضا برآورده نمی‌شود و کمبود رخ می‌دهد. مدل ارائه‌شده، چرخه بازپرسازی بهینه را تعیین می‌کند اما این مدل عناصر قابلیت اطمینان را در زنجیره تأمین معکوس و همچنین برخی از هزینه‌ها ازجمله هزینه حمل‌ونقل را درنظر نگرفته است. در مطالعه دیکری (A. Bouras, L. Tadj,2015)، یک زنجیره تأمین معکوس با سه بخش را درنظر گرفته شده است. در بخش اول شامل اقلام تازه تولیدشده، بخش دوم شامل اقلام بازسازی‌شده و بخش سوم شامل اقلام بازگشتی از بازار است. در این مطالعه فرض شده ست که کیفیت اقلام بازسازی‌شده در سطح پایین‌تری نسبت به اقلام جدید است و تقاضا و نرخ بازگشت محصولات،پویا درنظر گرفته شده است. مدل ارائه‌شده، میزان تولید بهینه، نرخ بازسازی، نرخ دفع و سطح موجودی در هر سه بخش را مشخص می‌کند. در تحقیقی دیگر (P.C. Yang et al,2013) ، یک زنجیره تأمین حلقه بسته شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش و فرایند بازسازی را با استفاده از سه روش بهینه‌سازی، مورد تجزیه‌وتحلیل قراردادند که این سه روش عبارتاند از:

[1] Closed-Loop Supply Chains(CLSC)

Archive of SID
www.SID.ir

بهینه‌سازی ترتیبی، بهینه‌سازی متمرکز بدون به اشتراک‌گذاری سود و بهینه‌سازی متمرکز با اشتراک گذاشتن سود. در روش اول، تصمیمات بهینه‌سازی ترتیبی، ابتدا توسط فروشندگان و سپس توسط تولیدکننده اتخاذ می‌شوند. در روش دوم، تصمیمات بهینه‌سازی متمرکز به‌طور همزمان توسط کل سیستم لجستیک اتخاذ می‌شوند که این روش موردعلاقه فروشندگان نیست، زیرا در این روش، درنتیجه همکاری، سود فروشندگان کمتر می‌شود، بنابراین، روش سومی با اشتراک‌گذاری سود، ایجادشده است. در این مطالعه، تقاضا به قیمت و زوال‌پذیری محصولات وابسته است. نتایج مدل ارائه‌شده نشان می‌دهد که با افزایش نرخ بازگشت، سود فروشندگان و تولیدکننده، افزایش می‌یابد. در مطالعه ای (Y. Ghiami et al,2013) ، یک مدل زنجیره تأمین دومرحله‌ای برای اقلام زوال‌پذیر را ارائه دادند که در آن، انبار خرده‌فروش، دارای ظرفیت محدودی است. سیستم شامل یک عمده‌فروش و یک خرده‌فروش با هدف حداقل کردن هزینه‌ها می‌باشد.تقاضای خرده‌فروش وابسته به انبار است که این انبار دارای ظرفیت محدودی است و درصورت نیاز، خرده‌فروش می‌تواند انبار دیگری با هزینه بیشتر نسبت به انبار اولیه، اجاره کند. شرایط بهینه زمانی اتفاق می‌افتد که دیدگاه خرده‌فروش و عمده‌فروش به‌طور همزمان انجام شود. در این مقاله، برای حل مدل ارائه‌شده از یک روش هیوریستیک استفاده‌شده است. اما مدل ارائه‌شده تنها برای حالت تک‌محصول کاربرد دارد و همچنین برخی هزینه‌ها از قبیل هزینه حمل‌ونقل بین مراحل زنجیره تأمین را درنظر نگرفته است.

**مفروضات مدل**

بطور کلی مفروضات مسئله مورد بررسی را می‌توان بصورت زیر بیان کرد.

۱) مدل در نظر گرفته شده یک مدل زنجیره تامین چهار سطحی شامل تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبار و توزیع-کنندگان می باشد.
۲) جریان محصولات در آن بصورت رفت و برگشت می باشد.
۳) محصولات در انبارها با توجه به ویژگی محصولات و طول عمر محدودی که برای آن‌ها تعریف شده است، قابلیت ماندگاری مشخصی را دارند و اگر محصولات طی مدت تعیین شده از انبار خارج نشوند به تولیدکنندگان برگشت داده خواهند شد.
۴) با توجه به ویژگی محصولات و طول عمر محدود محصولات بازگشتی از مراکز توزیع نیز جمع‌آوری می‌شوند.
۵) مدل بصورت چند محصولی می باشد.
۶) تولیدکنندگان ظرفیتی برای نگهداری محصولات تولید شده ندارند و این محصولات بلافاصله پس از تولید به انبارها انتقال داده می‌شوند
۷) در مسیر برگشت محصولات از هر دو نقطه خرده‌فروشان و انبارها برگشت می‌یابند.
۸) بخشی از کالاهای برگشت داده شده به تولیدکننده، پس از انجام بررسی‌های لازم، مورد بازیافت قرار گرفته و مابقی منهدم می‌شوند
۹) کمبود برای تقاضای توزیع‌کنندگان مجاز می باشد.
۱۰) مکان کارخانه ثابت می‌باشد.
۱۱) مکان و ظرفیت مراکز جمع‌آوری و بازیابی و مکان مرکز دفع از پیش شناخته شده است.
۱۲) درصد از قبل تعریف شده‌ای از تقاضای مراکز توزیع در دوره پیشین، به عنوان محصولات بازگشتی از مرکز توزیع مربوطه در دوره فعلی درنظر گرفته شده است.
۱۳) مقدار از پیش تعیین شده‌ای به عنوان متوسط ضریب دفع، درنظرگرفته شده است.
۱۴) زمان به عنوان یک عامل پویا درنظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

۱۵) هزینه‌های عملیاتی برای دو محصول که می‌توانند در یک خط بسته‌بندی تولید شوند، متفاوت است. بنابراین، هزینه عملیاتی، برای هر محصول و خط، محاسبه می‌شود.

**نشانه گذاری بکار رفته در مدل ریاضی**

نشانه گذاری‌های به کار رفته در مدل ریاضی به شرح زیر است:

مجموعه های مدل:

$T$ مجموعه دوره‌های برنامه‌ریزی

$I$ مجموعه تأمین‌کنندگان

$J$ مجموعه تولیدکنندگان

$K$ مجموعه انبارها

$L$ مجموعه خرده فروش‌ها

$M$ مجموعه مراکز انهدام

$N$ مجموعه مراکز بازیافت

$C$ مجموعه محصولات

$R$ مجموعه مواد خام یا قطعات برای محصول

**پارامترها و متغیرهای مدل:**

$MS_t$ حداکثر تعداد تأمین‌کننده‌ها که می‌تواند در دوره $t$ انتخاب شود.

$MW_t$ حداکثر تعداد انبارها که می‌تواند در دوره $t$ انتخاب شود.

$MD_t$ حداکثر تعداد مراکز انهدام که می‌تواند در دوره $t$ انتخاب شود.

$MR_t$ حداکثر تعداد مراکز بازیافت که می‌تواند در دوره $t$ انتخاب شود.

$FS_{it}$ هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$

$FW_{kt}$ هزینه ثابت احداث انبار $k$ در دوره $t$

$FD_{mt}$ هزینه ثابت انتخاب مرکز انهدام $m$ در دوره $t$

$FR_{nt}$ هزینه ثابت انتخاب مرکز بازیافت $n$ در دوره $t$

$FO_{rit}$ هزینه ثابت سفارش ماده خام یا قطعه $r$ از تامین‌کننده $i$ در دوره $t$

$BC_{irt}$ هزینه خرید یک واحد از ماده خام یا قطعه $r$ از تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$

$PC_{jct}$ هزینه تولید یک واحد از محصول $c$ توسط تولیدکننده $j$ در دوره $t$

$DC_{mct}$ هزینه انهدام هر واحد محصول $c$ در مرکز انهدام $m$ در دوره $t$

$HC_{kct}$ هزینه نگهداری یک واحد از محصول $c$ در انبار $k$ در دوره $t$

$\varphi_{lct}$ هزینه تقاضای ارضا نشده خرده فروش $l$ برای هر محصول $c$ در دوره $t$

$IC_{jct}$ هزینه بازرسی هر واحد محصول $c$ در مرکز تولید $j$ در دوره $t$

$HCP_{rcjt}$ هزینه نگهداری هر واحد ماده خام $r$ برای تولید محصول $c$ در مرکز تولید $j$ در دوره $t$

$TCSP_{ijrt}$ هزینه حمل و نقل یک واحد ماده خام یا قطعه $r$ از تامین‌کننده $i$ به تولیدکننده $j$ در دوره $t$

Archive of SID
www.SID.ir

$TCPW_{jkct}$ هزینه حمل و نقل محصول $c$ از تولیدکننده $j$ به انبار $k$ در دوره $t$

$TCWR_{klct}$ هزینه حمل و نقل محصول $c$ از انبار $k$ به خرده فروش $l$ در دوره $t$

$TCPD_{jmct}$ هزینه حمل و نقل محصول $c$ از تولیدکننده $j$ به مرکز انهدام $m$ در دوره $t$

$UCAPP_{jc}$ ظرفیت اشغال شده برای تولید هر محصول $c$ توسط تولیدکننده $j$

$UCAPD_{mc}$ ظرفیت اشغال شده برای انهدام هر محصول $c$ توسط مرکز انهدام $m$

$UCAPR_{nc}$ ظرفیت اشغال شده برای بازیافت هر محصول $c$ توسط مرکز بازیافت $n$

$CAPS_{ir}$ ظرفیت تأمین ماده خام یا قطعه $r$ توسط تأمین‌کننده $i$

$CAPP_{jc}$ ظرفیت تولیدکننده $j$ برای تولید محصول $c$

$CAPW_k$ ظرفیت انبار $k$ برای ذخیره تمام محصولات

$CAPD_m$ ظرفیت مرکز انهدام $m$

$CAPR_n$ ظرفیت مرکز بازیافت $n$

$r1_c$ نرخ بازگشت محصول $c$ از خرده فروش‌ها به انبارها

$r2_c$ نرخ احیای محصول معیوب بازگشتی $c$

$D_{lct}$ تقاضای خرده فروش $l$ برای محصول $c$ در دوره $t$

$UCAPS_{rc}$ ضریب تبدیل محصول $c$ به ماده خام یا قطعه $r$

$RV_{ct}$ درآمد حاصل از فروش محصول c در دوره $t$

$RVR_{nct}$ درآمد حاصل از بازیافت هر واحد محصول $c$ در مرکز بازیافت $n$ در دوره $t$

$V_c$ حجم یک واحد از محصول $c$

$TWR_{kl}$ زمان تحویل از انبار $k$ به خرده‌فروش $l$

$TRW_{lk}$ زمان جمع‌آوری محصولات مرجوعی از خرده‌فروش $l$ به مرکز جمع‌آوری $k$

$EXF$ زمان تحویل مورد انتظار در جریان رفت

$EXR$ زمان تحویل مورد انتظار در جریان برگشت

$SRF_k$ مجموعه خرده‌فروشانی که می‌توانند از انبار $k$ در زمان $EXF$ پاسخ دریافت کنند؛ یا $\{l \mid TWR_{kl} \le EXF\}$

$SRR_k$ مجموعه خرده‌فروشانی که می‌توانند از مرکز جمع‌آوری $k$ در زمان $EXR$ پاسخ دریافت کنند؛ یا $\{l \mid TRW_{lk} \le EXR\}$

$M$ یک عدد بزرگ

**متغیرها**

$SS_{it}$ اگر تأمین‌کننده $i$ در دوره $t$ انتخاب شود ۱، در غیر این صورت ۰

$SW_{kt}$ اگر انبار $k$ در دوره $t$ استفاده شود ۱، در غیر این صورت ۰

$SD_{mt}$ اگر مرکز انهدام $m$ در دوره $t$ انتخاب شود ۱، در غیر این صورت ۰

Archive of SID
www.SID.ir

$SR_{nt}$ اگر مرکز بازیافت $n$ در دوره $t$ انتخاب شود ۱، در غیر این صورت ۰

$SO_{ijrt}$ اگر از تولیدکننده‌ی $j$ به تامین‌کننده $i$ ماده خام یا قطعه $r$ در دوره‌ی $t$ سفارش داده شود ۱، در غیر اینصورت ۰

$X_{ijrt}$ مقدار ماده خام یا قطعه $r$ که از تأمین‌کننده $i$ به تولیدکننده $j$ در دوره $t$ منتقل می‌شود.

$Y_{jkct}$ مقدار محصول $c$ که از تولیدکننده $j$ به انبار $k$ در دوره $t$ منتقل شده است.

$RYT_{kjct}$ مقدار محصول $c$ که از انبار $k$ به سمت تولیدکننده $j$ در دوره $t$ به دلیل اتمام دوره عمر برگشت داده می‌شود.

$Z_{klct}$ مقدار محصول $c$ که از انبار $k$ به خرده فروش $l$ در دوره $t$ منتقل می‌شود.

$RZ_{lkct}$ مقدار محصول برگشت داده شده $c$ از خرده فروش $l$ به انبار $k$ در دوره $t$

$RY_{kjct}$ مقدار محصول $c$ برگشت داده شده از خرده‌فروشان در دوره $t$ که به مرکز جمع‌آوری $k$ رسیده و از آن مرکز به سمت مرکز بازرسی $j$ در همان دوره بازمی‌گردد.

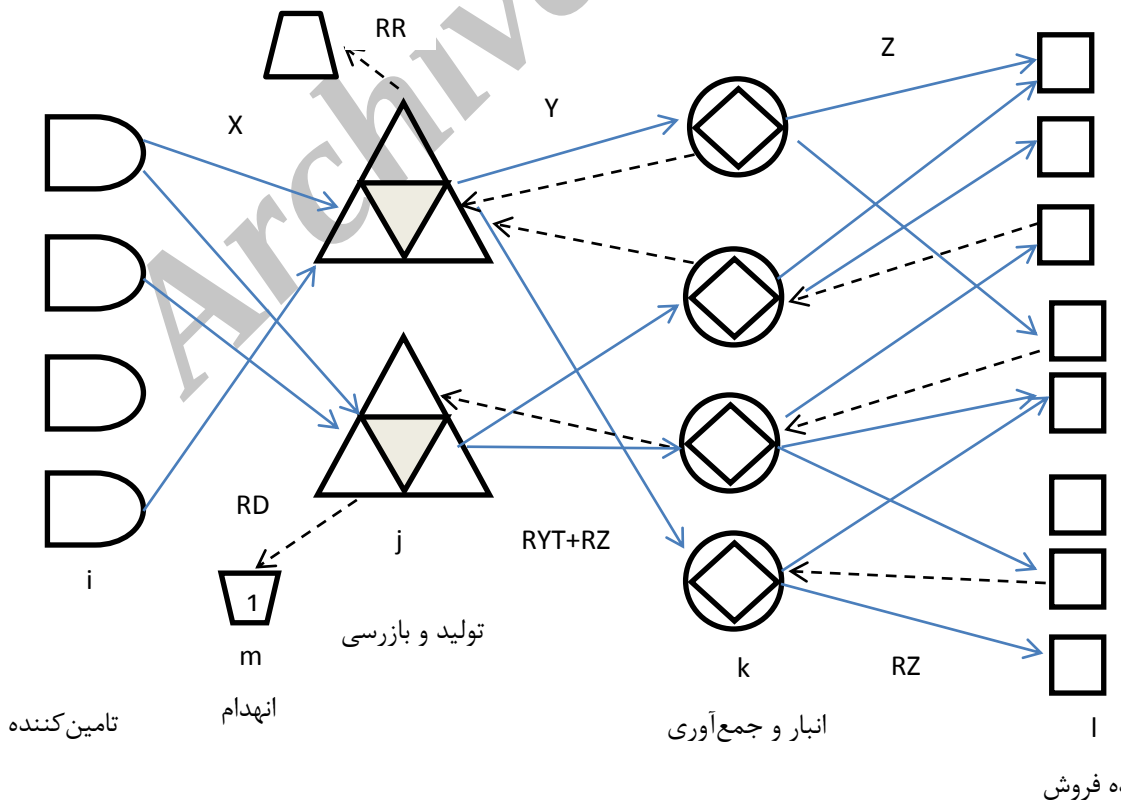
$RR_{jnct}$ مقدار محصول $c$ که از تولیدکننده $j$ به مرکز بازیافت $n$ در دوره $t$ منتقل می‌شود.

$RD_{jmct}$ مقدار محصول $c$ که از تولیدکننده $j$ به مرکز انهدام $m$ در دوره $t$ منتقل می‌شود.

$SP_{rjt}$ موجودی ماده خام $r$ در تولیدکننده $j$ در دوره $t$

$S_{kct't}$ موجودی محصول $c$ که در دوره $t'$ تولید شده است و در انبار $k$ در پایان دوره $t$ وجود دارد.

$UD_{lct}$ مقدار تقاضای ارضا نشده از خرده فروش $l$ برای محصول $c$ در دوره $t$




**شکل (۱): نمایش جریانات و مجموعه ها در شبکه زنجیره تامین**

Archive of SID
www.SID.ir

**مدل ریاضی**

برای مدل پیشنهادی در این تحقیق، ابتدا به انتخاب مراکز موجود همانند تامین کننده ها مراکز تولید، انهدام، بازیافت، انبارها با توجه به محدودیت های موجود مانند تعداد مراکز، ظرفیت آنها و ....پرداخته شده است. سپس در فاز بعدی با توجه به تعیین شدن موقعیت مراکز به بررسی درآمد و سایر محدودیتها مانند برآوردن تقاضاها و هزینه های نگهداری و .....پرداخته شده است. با افزودن مفروضات و محدودیت‌های توضیح داده شده در بالا مدل ریاضی این مسئله به شرح زیر خواهد بود:

فاز اول: مکان‌یابی مراکز (*Location*)

تابع هدف

$$Min \quad \sum_i FS_i \ .SS_i + \sum_m SD_m.FD_m + \sum_n FR_n.\ SR_n \ + \sum_k FW_k.SW_k + \sum_c \sum_r \sum_j \sum_i TCSP_{ijr}\ .UCAPS_{rc}.CAPP_{jc} + \sum_j \sum_c \sum_k TCPW_{jkc}\ .CAPP_{jc} \qquad (۱)$$

عبارت اول نشان‌دهنده‌ی هزینه ثابت انتخاب تأمین‌کننده می‌باشد. عبارت دوم نشان‌دهنده‌ی هزینه ثابت انتخاب مرکز انهدام می‌باشد. عبارت سوم هزینه ثابت انتخاب مراکز بازیافت را نشان می‌دهد. عبارت چهارم در تابع هدف نشان‌دهنده هزینه ثابت احداث انبار $k$ می‌باشد. عبارت پنجم و ششم نشان‌دهنده‌ی حداکثر هزینه حمل از تامین‌کننده به تولیدکننده و از تولیدکننده به انبار، به ترتیب می‌باشد.

محدودیت‌ها:

$$\sum_i SS_i \le MS \qquad (۲)$$

محدودیت (۲) تعداد تأمین‌کنندگانی که در هر دوره قابل انتخاب شدن هستند را به تعداد تأمین‌کنندگان موجود، محدود می‌نماید.

$$\sum_k SW_k \le MW \qquad (۳)$$

محدودیت (۳) تعداد انبارهای قابل انتخاب در هر دوره را به حداکثر تعداد انبارهای نامزد محدود می‌کند.

$$\sum_m SD_m \le MD \qquad (۴)$$

محدودیت (۴) تعداد مراکز انهدام قابل انتخاب را به حداکثر تعداد مراکز نامزد محدود می‌کند.

Archive of SID
www.SID.ir

$$\sum_{n} SR_n \le MR \qquad (۵)$$

محدودیت (۵) تعداد مراکز بازیافت قابل انتخاب را به حداکثر تعداد مراکز نامزد محدود می‌کند.

$$\sum_{c}\sum_{j} UCAPS_{rc} \; .CAPP_{jc} \le \sum_{i} CAPS_{ir}.SS_i \qquad \forall r \qquad (۶)$$

محدودیت (۶) بیان‌کننده‌ی ظرفیت تأمین‌کننده‌ها برای تأمین ماده خام می‌باشد.

$$\sum_{c}\sum_{j} V_c.CAPP_{jc} \le \sum_{k} CAPW_k \; .SW_k \qquad (۷)$$

محدودیت (۷) نشان می‌دهند که کل ظرفیت اشغال شده توسط تمام محصولاتی که وارد انبار می‌شوند، باید از ظرفیت انبارها کمتر باشد.

$$\sum_{c}\sum_{j} CAPP_{jc} \; .r1(c).r2(c) \le \sum_{n} CAPR_n \; .SR_n \qquad (۸)$$

محدودیت (۸) نشان می‌دهد که کل محصولاتی که از تمام مراکز تولید به سمت مراکز بازیافت منتقل می‌شوند، باید از حداکثر ظرفیت مراکز بازیافت کمتر باشد.

$$\sum_{c}\sum_{j} CAPP_{jc} .r1(c).(1-r2(c)) \le \sum_{m} CAPD_m \; .SD_m \qquad (۹)$$

محدودیت (۹) بیان‌کننده‌ی این موضوع است که کل محصولاتی که از تمام مراکز تولید به سمت مراکز انهدام منتقل می‌شوند، باید از حداکثر ظرفیت مراکز انهدام کمتر باشد.

فاز دوم: تخصیص جریان به مراکز (*Allocation*)

تابع هدف مدل پیشنهادی از اجزای مختلفی تشکیل شده است. عبارت اول درآمد حاصل از فروش کلیه محصولات به کلیه خرده‌فروشان توسط کلیه انبارها در تمام دوره‌ها نشان می‌دهد. عبارت دوم درآمد حاصل از فروش محصولات مرجوعی قابل بازیافت را به مراکز بازیافت نشان می‌دهد. عبارت سوم نشان‌دهنده کل هزینه‌های تقاضاهای ارضا نشده کلیه خرده فروشان به ازای کلیه محصولات در تمام دوره‌ها می‌باشد. عبارت چهارم بیان‌گر کل هزینه حمل مواد خام از کلیه‌ی تأمین‌کنندگان به کلیه تولیدکنندگان در تمام ادوار می‌باشد. عبارت پنجم نشان‌دهنده‌ی هزینه تولید کلیه‌ی محصولات توسط کلیه تولیدکنندگان در تمام دوره‌ها می‌باشد. عبارت ششم در تابع هدف بیان‌گر هزینه‌ی حمل کلیه‌ی محصولات از تمام تولیدکنندگان به تمام انبارها

Archive of SID
www.SID.ir

و همچنین در مسیر بالعکس، در کلیه‌ی دوره‌ها می‌باشد. عبارت هفتم نشان‌دهنده‌ی هزینه نگهداری کلیه محصولات در کلیه انبارها در تمام دوره‌ها با توجه به موجودی آن‌ها می‌باشد. عبارت هشتم بیان‌گر هزینه حمل محصولات از انبارها به خرده-فروشان در کلیه دوره‌ها می‌باشد. عبارت نهم نشان‌دهنده‌ی هزینه حمل محصولات مرجوعی از خرده‌فروشان به انبارها می‌باشد. عبارت دهم نشان‌دهنده‌ی هزینه خرید مواد خام برای تولید محصولات از کلیه‌ی تأمین‌کنندگان توسط تمام تولیدکنندگان در تمام دوره‌ها می‌باشد. عبارت یازدهم بیانگر هزینه حمل محصولات به مراکز انهدام می‌باشد. عبارت دوازدهم نشان‌دهنده‌ی هزینه انهدام کلیه محصولات در مراکز انهدام در کلیه‌ی دوره‌ها می‌باشد. عبارت سیزدهم هزینه بازرسی محصولات برگشتی را در مراکز تولید در کلیه دوره‌ها نشان می‌دهد. عبارت چهاردهم هزینه ثابت سفارش‌دهی را نشان می‌دهد. عبارت پانزدهم نشان-دهنده‌ی هزینه نگهداری مواد خام در تولید کننده است.

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_t \sum_k \sum_{l\in SRF_k} \sum_c rv_{ct}.Z_{klct} + \sum_t \sum_c \sum_n \sum_j RR_{jnct}.RVR_{nct} - \sum_t \sum_c \sum_l \varphi_{lct}.UD_{lct} - \\ & \sum_t \sum_r \sum_j \sum_i TCSP_{ijrt}.SO_{ijrt}.X_{ijrt} - \sum_t \sum_c \sum_k \sum_j PC_{jct}.Y_{jkct} - \\ & \sum_t \sum_j \sum_c \sum_k (TCPW_{jkct}.(RYT_{kjct} + RY_{kjct} + Y_{jkct})) - \\ & \sum_t \sum_n \sum_c \sum_k HC_{kct}.S_{kcnt} - \sum_t \sum_c \sum_{l\in SRF_k} \sum_k TCWR_{klct}.Z_{klct} - \\ & \sum_t \sum_c \sum_{l\in SRR_k} \sum_k TCWR_{klct}.RZ_{lkct} - \sum_t \sum_i \sum_j \sum_r \sum_c \left(BC_{irct}.SO_{ijrt}.X_{ijrt}\right) - \\ & \sum_t \sum_c \sum_m \sum_j TCPD_{jmct}.RD_{jmct} - \sum_t \sum_c \sum_m \sum_j DC_{mct}.RD_{jmct} - \\ & \sum_t \sum_j \sum_c \sum_k IC_{jct}(RYT_{kjct} + RY_{kjct}) - \sum_t \sum_r \sum_i \sum_j SO_{ijrt}.FO_{rit} - \\ & \sum_t \sum_j \sum_c \sum_r HCP_{rcjt}.SP_{rjt} \end{aligned} \qquad (۱۰)$$

**محدودیت‌ها:**

$$\sum_j SO_{ijrt}.X_{ijrt} \le CAPS_{ir}.SS_{it} \qquad \forall i,\ \forall r,\ \forall t \qquad (۱۱)$$

محدودیت (۱۱) بیان‌کننده‌ی ظرفیت هر تأمین‌کننده برای تأمین ماده خام در هر دوره می‌باشد.

$$\sum_k Y_{jkct}.UCAPP_{jc} \le CAPP_{jc} \qquad \forall c, \forall t, \forall j \qquad (۱۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت (۱۲) نشان‌دهنده‌ی ظرفیت هر تولیدکننده برای تولید هر محصول در هر دوره می‌باشد.

$$\sum_c \sum_j UCAPD_{mc} \cdot RD_{jmct} \le CAPD_m . SD_{mt} \qquad \forall m, \ \forall t \qquad (۱۳)$$

محدودیت (۱۳) نشان‌دهنده‌ی ظرفیت هر مرکز انهدام برای انهدام هر محصول در هر دوره است.

$$\sum_c \sum_j UCAPR_{nc} . RR_{jnct} \le CAPR_n . SR_{nt} \qquad \forall n, \ \forall t \qquad (۱۴)$$

محدودیت (۱۴) نشان‌دهنده‌ی محدودیت ظرفیت در مراکز بازیافت می‌باشد.

$$\sum_c \sum_j V_c . Y_{jkct} \le CAPW_k \ . SW_{kt} \qquad \forall k, t = 1 \qquad (۱۵)$$

$$\sum_c V_c . (S_{kc,t-1,t-1} + \sum_j Y_{jkct}) \le CAPW_k \ . SW_{kt} \qquad \forall k, t = 2 \qquad (۱۶)$$

$$\sum_c V_c . (S_{kc,t-2,t-1} + S_{kc,t-1,t-1} + \sum_j Y_{jkct}) \le CAPW_k \ . SW_{kt} \qquad \forall k, t = 3 \qquad (۱۷)$$

$$\sum_c V_c . (S_{kc,t-3,t-1} + S_{kc,t-2,t-1} + S_{kc,t-1,t-1} + \sum_j Y_{jkct}) \le CAPW_k \ . SW_{kt} \qquad \forall k, t \ge 4 \qquad (۱۸)$$

محدودیت‌های (۱۵) تا (۱۸) نشان می‌دهند که کل ظرفیت اشغال شده توسط تمام محصولاتی که در هر دوره وارد انبار می‌شوند و محصولاتی که از دوره‌های قبل باقی‌مانده‌اند، باید از ظرفیت انبار کمتر باشد. در این مدل فرض شده که طول عمر نگهداری محصولات در انبار حداکثر ۳ دوره است.

$$\sum_j RYT_{kjct} = 0 \qquad \forall k, \ \forall c, \ t = 1 \qquad (۱۹)$$

$$S_{kctt} = \max(\sum_j Y_{jkct} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0) \qquad \forall k, \ \forall c, \ t = 1 \qquad (۲۰)$$

$$\sum_j RYT_{kjct} = 0 \qquad \forall k, \ \forall c, \ t = 2 \qquad (۲۱)$$

$$S_{kc,t-1,t} = \max(S_{kc,t-1,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0) \qquad \forall k, \ \forall c, \ t = 2 \qquad (۲۲)$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$S_{kctt} = \max(\sum_{j} Y_{jkct} + \min(S_{kc,t-1,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0), 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t = 2 \qquad (۲۳)$$

$$\sum_{j} RYT_{kjct} = 0 \quad \forall k,\ \forall c,\ t = 3 \qquad (۲۴)$$

$$S_{kc,t-2,t} = \max(S_{kc,t-2,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t = 3 \qquad (۲۶)$$

$$S_{kc,t-1,t} = \max(S_{kc,t-1,t-1} + \min(S_{kc,t-2,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0), 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t = 3 \qquad (۲۵)$$

$$S_{kctt} = \max(\sum_{j} Y_{jkct} + \min(S_{kc,t-1,t-1} + \min(S_{kc,t-2,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0), 0), 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t = 3$$

$$\sum_{j} RYT_{kjct} = \max(S_{kc,t-3,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t \geq 4 \qquad (۲۷)$$

$$S_{kc,t-2,t} = \max(S_{kc,t-2,t-1} + \min(S_{kc,t-3,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0), 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t \geq 4 \qquad (۲۸)$$

$$S_{kc,t-1,t} = \max(S_{kc,t-1,t-1} + \min(S_{kc,t-2,t-1} + \min(S_{kc,t-3,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0), 0), 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t \geq 4 \qquad (۲۹)$$

$$S_{kctt} = \max(\sum_{j} Y_{jkct} + \min(S_{kc,t-1,t-1} + \min(S_{kc,t-2,t-1} + \min(S_{kc,t-3,t-1} - \sum_{l \in SRF_k} Z_{klct}, 0), 0), 0), 0) \quad \forall k,\ \forall c,\ t \geq 4 \qquad (۳۰)$$

محدودیت‌های(۱۹) تا (۳۰) نشان‌دهنده‌ی تعداد محصولاتی است که در انبار باقی مانده‌اند و به دلیل اتمام طول عمرشان در هر دوره برگشت داده می‌شوند. از آنجایی که طول عمر محصولات سه دوره در نظر گرفته شده است، اگر برای محصولی که سه دوره قبل به انبار وارد شده است تقاضایی وجود نداشته باشد، باید به تولیدکننده برگشت داده شود.

$$\sum_{i} SO_{ijrt} . X_{ijrt} - \sum_{k} \sum_{c} Y_{jkct} . UCAPS_{rc} + SP_{rj,t-1} = SP_{rjt} \quad \forall j, \forall r, \forall t \qquad (۳۱)$$

محدودیت (۳۱) نشان‌دهنده‌ی محدودیت تعادلی میزان موجودی مواد خام در تولیدکننده می‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

$$RZ_{l\in SRR_k,kct} = r1_c \ .Z_{k,l\in SRF_k,c,t-3} \quad \forall l,\ \forall k,\ \forall c,\ t \geq 4 \qquad (۳۲)$$

محدودیت (۳۲) نشان‌دهنده‌ی مقدار هر نوع محصول برگشتی از هر خرده‌فروش به هر انبار در هر دوره می‌باشد. این محصولات با یک نرخ تعیین شده متناسب با محصولاتی هستند که سه دوره قبل از انبار به خرده‌فروش فرستاده شده بودند.

$$RZ_{l\in SRR_k,kct} = 0 \quad \forall l,\ \forall k,\ \forall c,\ t = 1,2,3 \qquad (۳۳)$$

محدودیت (۳۳) بیان‌گر این است که در سه دوره اول برگشتی از خرده‌فروش به انبار وجود ندارد.

$$\sum_m RD_{jmct} = (1-r2_c)(\sum_k RYT_{kjct} + \sum_k RY_{kjct}) \quad \forall j,\ \forall c,\ \forall t \qquad (۳۴)$$

محدودیت (۳۴) نشان‌دهنده‌ی این است که مقدار محصولی که از تولیدکننده به سمت مراکز انهدام منتقل می‌شود برابر (r2-۱) درصد از مقدار محصولاتی است که از انبار و خرده‌فروشان بازگشت داده می‌شوند.

$$\sum_n RR_{jnct} = r2_c.(\sum_k RYT_{kjct} + \sum_k RY_{kjct}) \quad \forall j,\ \forall c,\ \forall t \qquad (۳۵)$$

محدودیت(۳۵) نشان‌دهنده‌ی میزان محصولاتی که برای استفاده مجدد به مراکز بازیافت می‌رسد در مقایسه با محصولاتی که به تولیدکننده بازمی‌گردد، می‌باشد؛ مابقی محصولات مورد انهدام قرار می‌گیرند. در این محدودیت محصولات برگشتی از خرده‌فروش و انبار به تولیدکننده برگشت داده می‌شوند.

$$\sum_{l\in SRF_k} Z_{klct} \leq \sum_j Y_{jkct} \quad \forall c,\ \forall k,\ t = 1 \qquad (۳۶)$$

$$\sum_{l\in SRF_k} Z_{klct} \leq \sum_j Y_{jkct} + S_{kc,t-1,t-1} \quad \forall c,\ \forall k,\ t = 2 \qquad (۳۷)$$

$$\sum_{l\in SRF_k} Z_{klct} \leq \sum_j Y_{jkct} + S_{kc,t-1,t-1} + S_{kc,t-2,t-1} \quad \forall c,\ \forall k,\ t = 3 \qquad (۳۸)$$

$$\sum_{l\in SRF_k} Z_{klct} \leq \sum_j Y_{jkct} + S_{kc,t-1,t-1} + S_{kc,t-2,t-1} + S_{kc,t-3,t-1} \quad \forall c,\ \forall k,\ t \geq 4 \qquad (۳۹)$$

Archive of SID

www.SID.ir

محدودیت‌های (۳۶) تا (۳۹) تضمین می‌کنند که تعداد محصولاتی که از هر انبار به تمام خرده‌فروشان فرستاده می‌شود باید کمتر یا مساوی مجموع محصولاتی باشد که وارد آن انبار از تمام تولیدکننده‌ها می‌شود. بعد از دوره اول باید هم محصولاتی که در هر دوره وارد می‌شوند لحاظ شود و هم محصولات باقی‌مانده از دوره‌های قبل.

$$\sum_k Z_{klct} + UD_{lct} \geq D_{lct} \qquad \forall l \in SRF_k,\ \forall c,\ \forall t \tag{۴۰}$$

محدودیت (۴۰) نشان می‌دهد که تقاضای هر خرده‌فروش در هر دوره تا حد امکان توسط محصولاتی که یا در انبارها ذخیره شده است و یا در آن دوره تولید شده است، ارضا می‌شود و چنانچه تقاضا بیش از موجودی و کالاهای تولیدی باشد، به عنوان تقاضای از دست رفته در مدل محاسبه می‌گردد.

$$\sum_t \sum_i SO_{ijrt}.X_{ijrt} \geq \sum_t \sum_c \sum_k Y_{jkct}.UCAPS_{rc} \qquad \forall j,\ \forall r \tag{۴۱}$$

معادله (۴۱) معادله تعادلی در تولیدکننده‌ها می‌باشد.

$$\sum_l RZ_{lkct} = \sum_j RY_{kjct} \qquad \forall k,\ \forall c,\ \forall t \tag{۴۲}$$

معادله (۴۲) نشان‌دهنده‌ی این است که مقدار کالاهایی که از خرده‌فروشان به مرکز ترکیبی انبار-جمع‌آوری بازمی‌گردند، مستقیماً از انبار به مراکز ترکیبی تولید-بازرسی برگشت داده می‌شوند.

$$\sum_k Z_{klct} \leq D_{lct} \qquad \forall l \in SRF_k,\ \forall c,\ \forall t \tag{۴۳}$$

معادله‌ی (۴۳) نشان می‌دهد که هر خرده‌فروش، بیش از کالای مورد نیاز خود در هر دوره را، پذیرا نمی‌باشد.

عبارت $SO_{ijrt}.X_{ijrt}$ در مدل ارائه شده غیرخطی می‌باشد. اما می‌توان با استفاده از تکنیک زیر آن را خطی نمود که در آن $M$ یک عدد بزرگ می‌باشد. به جای عبارت $SO_{ijrt}.X_{ijrt}$ مقدار $\alpha_{ijrt}$ را قرار می‌دهیم. معادله چهارم در ذیل رابطه بین $X$ و $SO$ را ارضا می‌نماید.

$$\alpha_{ijrt} \leq X_{ijrt} \tag{۴۴}$$

$$\alpha_{ijrt} \geq X_{ijrt} - \left(1 - SO_{ijrt}\right) M \tag{۴۵}$$

Archive of SID

www.SID.ir

$$\alpha_{ijrt} \le M.SO_{ijrt} \qquad (۴۶)$$

$$SO_{ijrt} \ge X_{ijrt}/M \qquad (۴۷)$$

**روش تحقیق**

در این مطالعه، به منظور کدنویسی هردو الگوریتم پیشنهادی و حل مسائل ریاضی نرم افزار Matlab R2013b مورد استفاده قرار گرفته است ضمن اینکه تنظیم پارامترهای الگوریتم های پیشنهادی توسط نرم افزار Minitab 12 انجام شده و از مجموعه نرم افزارهای Office برای رسم جداول و نمودارها استفاده شده است. شکل های موجود در این مطالعه نیز به وسیله Edraw Max رسم شده اند. داده ها و اطلاعات مورد نیاز برای حل مسائل نیز به صورت تصادفی با درنظر گرفتن یک بازه منطقی توزیع یکنواخت برای پارامترها، بدست آمده اند.

**یافته ها**

به بررسی نحوه عملکرد دو الگوریتم TSو DE در مواجه با مسائل، مورد بررسی قرار می‌دهیم. هدف بررسی میزان درست بودن و نزدیک بودن جواب‌های حاصله از این الگوریتم ها می‌باشد. ابتدا فاز اول مسئله را حل میکنیم و برای فاز یعدی بهترین جواب فاز اول را بعنوان ورودی در نظر میگیریم هر دو الگوریتم در نرم افزار متلب نسخه R2013b و با کامپیوتر شخصی با مشخصات پردازشگر Core i7 2GHz و حافظه Gb۸ کد شده است و هر کدام از مسائل ۱۰ بار اجرا شده اند که نتایج آن در جداول (۱) و (۲) آورده شده است.

**جدول (۱): نتایج محاسباتی الگوریتم DE**

| مسئله | DE | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | میانگین تابع هدف فاز اول | بهترین تابع هدف فاز اول | میانگین زمان هدف فاز اول | میانگین تابع هدف فاز دوم | بهترین تابع هدف فاز دوم | میانگین زمان هدف فاز دوم |
| ۱ | ۹۲۳۶۶۵۷ | ۹۲۳۶۶۵۷ | ۳,۵ | ۵۱۴۴۵۰۷۱۸۳۰ | ۵۱۴۵۰۰۳۶۶۵۵ | ۱۱,۵ |
| ۲ | ۲۳۹۵۸۱۳۴ | ۲۳۹۵۸۱۳۴ | ۴ | ۱۲۷۳۱۳۵۵۸۴۱۴ | ۱۲۷۳۱۳۵۵۸۴۱۴ | ۲۷ |
| ۳ | ۱۴۳۹۵۲۳۸ | ۱۴۳۹۵۲۳۸ | ۷ | ۳۲۶۳۲۲۷۰۶۶۹۵ | ۳۲۶۵۵۶۹۹۵۹۵۲ | ۹۳ |
| ۴ | ۱۶۴۷۳۰۸۸۱ | ۱۶۴۷۳۰۸۸۱ | ۷,۵ | ۱۰۷۸۶۳۷۱۱۵۲۵۷ | ۱۰۷۸۹۰۴۷۳۸۸۶۸ | ۱۷۸,۵ |
| ۵ | ۳۶۰۳۸۷۵۵۱ | ۳۶۰۳۸۷۵۵۱ | ۱۰ | ۱۲۶۸۶۴۲۷۹۸۵۰۲ | ۱۶۸۷۹۷۴۵۶۵۸۵۴ | ۲۶۹ |
| ۶ | ۷۷۸۲۸۳۹۱۶ | ۷۷۷۲۷۴۸۹۴ | ۱۵ | ۲۳۵۵۴۵۰۵۹۶۲۰۳ | ۲۳۵۶۹۵۳۴۳۶۰۲۹ | ۴۵۵ |

Archive of SID

www.SID.ir

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۷ | ۱۱۳۳۶۱۸۷۱۳ | ۱۱۳۱۳۳۷۸۲۵ | ۱۸,۵ | ۴۸۷۷۱۰۴۶۶۱۶۳۹ | ۴۸۷۸۰۴۳۷۶۹۲۱۵ | ۸۴۹ |
| ۸ | ۲۲۵۸۲۳۰۴۷۳ | ۲۲۵۵۲۸۱۲۷۴ | ۲۱ | ۶۹۰۸۵۴۶۰۵۴۳۵۲ | ۶۹۰۸۹۳۴۱۳۸۷۲۵ | ۱۰۹۱ |
| ۹ | ۲۵۶۵۲۲۰۳۱ | ۲۵۴۸۶۳۹۶۶۴ | ۲۵,۵ | ۸۱۶۹۲۹۱۷۲۸۷۲۳ | ۸۱۷۱۳۳۴۹۰۰۲۶۱ | ۱۴۸۵ |
| ۱۰ | ۳۱۵۰۸۵۷۸۰۷ | ۳۰۹۹۴۷۷۶۴۳ | ۳۰ | ۱۴۳۶۱۱۶۰۱۳۹۱۳۴ | ۱۶۸۱۲۶۱۹۲۰۸۴۰۱ | ۲۳۰۷,۵ |
| ۱۱ | ۲۱۱۲۰۵۶۸۷۰۱ | ۲۰۰۶۶۹۰۸۹۲۲ | ۷۲,۵ | ۲۰۱۸۶۵۴۳۴۴۹۳۴۲ | ۲۰۹۷۰۶۹۷۴۶۳۷۶۶ | ۴۱۰۲ |
| ۱۲ | ۲۷۲۵۲۰۵۷۴۶ | ۲۵۸۲۴۲۲۹۲۲۴ | ۸۳ | ۲۱۸۴۸۱۵۶۷۵۹۶۳۳ | ۲۲۰۹۱۱۹۴۸۱۴۵۶۹ | ۴۵۷۶,۵ |
| ۱۳ | ۴۱۰۹۷۵۵۶۲۵۶ | ۳۹۵۵۰۴۸۵۷۴۱ | ۱۱۷,۵ | ۴۴۴۵۹۴۳۱۵۸۸۹۶۵ | ۴۴۸۸۹۳۴۱۸۸۵۹۴۴ | ۱۰۹۷۳ |
| ۱۴ | ۶۲۸۱۷۱۱۶۰۱۳ | ۶۱۳۷۲۵۵۷۱۹۱ | ۱۵۵,۵ | ۵۶۱۷۶۰۶۷۰۶۰۳۲۵ | ۵۷۳۶۷۷۶۰۰۰۶۲۰۱ | ۱۷۷۶۲,۵ |
| ۱۵ | ۸۱۴۲۸۸۸۴۰۰۶ | ۷۸۳۱۹۸۵۷۱۷۲ | ۱۸۳ | ۶۲۵۸۹۵۴۸۲۵۶۹۸۴ | ۶۲۸۵۸۶۳۳۲۴۱۳۴۲ | ۲۰۳۹۳ |

**جدول (۲): نتایج محاسباتی الگوریتم TS**

| مسئله | TS | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | میانگین تابع هدف فاز اول | بهترین تابع هدف فاز اول | میانگین زمان هدف فاز اول | میانگین تابع هدف فاز دوم | بهترین تابع هدف فاز دوم | میانگین زمان هدف فاز دوم |
| ۱ | ۹۲۳۶۶۵۷ | ۹۲۳۶۶۵۷ | ۱,۵ | ۵۰۹۹۱۲۸۲۲۵۰ | ۵۱۰۱۶۷۹۵۰۷۶ | ۷ |
| ۲ | ۲۳۹۵۸۱۳۴ | ۲۳۹۵۸۱۳۴ | ۲ | ۱۲۶۷۴۲۵۵۷۶۶ | ۱۲۶۹۴۲۰۷۲۲۳۸ | ۱۳ |
| ۳ | ۱۴۳۹۵۲۳۸ | ۱۴۳۹۵۲۳۸ | ۳ | ۳۲۵۱۱۳۱۷۱۹۱۵ | ۳۲۵۳۷۱۱۵۱۲۲۹ | ۳۹,۵ |
| ۴ | ۱۶۴۷۳۰۸۸۱ | ۱۶۴۷۳۰۸۸۱ | ۳ | ۱۰۷۸۲۸۴۴۵۹۴۲۱ | ۱۰۷۸۷۱۴۷۷۳۹۱۸ | ۱۷۹ |
| ۵ | ۳۶۴۴۵۱۸۴۷ | ۳۶۰۳۸۷۵۵۱ | ۴ | ۱۶۸۰۲۰۶۵۸۱۸۵۹ | ۱۶۸۱۵۸۸۳۷۲۵۹۹ | ۱۳۵ |

Archive of SID

www.SID.ir

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۶ | ۷۸۴۳۶۷۵۴۶ | ۷۷۷۲۷۴۸۴۹ | ۶,۵ | ۲۳۵۴۰۰۵۰۵۱۶۲۴ | ۲۳۵۶۲۴۷۹۱۱۵۲۴ | ۲۵۲,۵ |
| ۷ | ۱۱۳۵۲۰۹۹۵۹ | ۱۱۳۱۱۵۸۶۵۰ | ۷,۵ | ۴۸۷۲۴۸۶۷۵۴۷۱۵ | ۴۸۷۳۸۸۱۷۰۳۶۸۲ | ۵۲۸,۵ |
| ۸ | ۲۳۹۰۵۸۵۸۷۱ | ۲۲۹۹۱۵۹۸۶۳ | ۹ | ۶۹۰۴۵۰۳۰۰۸۵۱۳ | ۶۹۰۶۱۴۴۹۳۸۱۶۶ | ۶۰۵,۵ |
| ۹ | ۲۷۷۷۰۳۴۸۷۵ | ۲۶۷۴۱۶۷۱۸۸ | ۱۰,۵ | ۸۱۶۵۶۳۱۷۳۱۹۱۸ | ۸۱۶۶۰۵۳۰۸۴۶۰۲ | ۷۶۱ |
| ۱۰ | ۳۱۴۰۲۹۵۱۸۳ | ۲۹۶۹۵۶۳۴۹۱ | ۱۲ | ۱۴۲۳۱۱۶۰۱۳۸۷۳۶ | ۱۴۶۵۹۰۹۷۸۸۳۸۸۷ | ۱۹۰۸ |
| ۱۱ | ۲۲۰۱۰۵۷۸۷۱۵ | ۲۰۶۱۱۸۳۴۵۸۵ | ۲۹,۵ | ۱۹۶۵۰۰۲۳۳۸۴۳۲۸ | ۱۹۷۷۵۳۹۷۴۶۶۸۶۲ | ۴۱۶۷ |
| ۱۲ | ۲۸۸۳۷۸۸۹۲۸۹ | ۲۵۸۳۷۴۳۹۴۳۹ | ۳۲,۵ | ۲۱۰۹۱۱۰۷۴۷۰۴۷۸ | ۲۱۹۹۱۳۵۶۸۳۲۵۳۳ | ۳۱۸۴ |
| ۱۳ | ۴۲۶۶۰۱۳۱۷۲۱ | ۳۸۸۱۳۱۴۸۵۵۷ | ۴۵ | ۴۴۳۱۳۳۹۰۱۸۱۸۳۰ | ۴۴۸۸۵۲۴۱۸۶۳۹۴۲ | ۶۸۰۱ |
| ۱۴ | ۶۲۹۰۳۸۸۶۱۵۰ | ۶۱۲۰۳۴۹۳۹۴۲ | ۶۲ | ۵۵۹۵۷۰۷۴۸۸۸۰۰۴ | ۵۷۳۵۱۹۰۱۰۲۵۱۴۷ | ۹۹۷۴ |
| ۱۵ | ۸۳۶۰۵۲۱۸۷۲۲ | ۸۲۳۶۵۰۸۲۱۲۵ | ۸۲,۵ | ۶۲۶۹۹۵۴۸۶۵۶۵۳۲ | ۶۲۹۳۹۷۰۳۶۷۵۹۱۶ | ۲۲۴۱۱ |

**مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم‌های پیشنهادی**

با توجه به داده های جداول (۱) و (۲)، می‌توانیم نمودارهایی برای مقایسه کیفیت جواب و همچنین مقایسه زمان حل الگوریتم TS و DE ترسیم کرد، به طوری که دقت و کارایی هر دو الگوریتم را نشان دهد. این نمودارها درقالب شکل‌های (۲) و (۳) و (۴) و (۵)، بیان می‌شوند.

همانگونه که در شکل(۲) و (۳) مشاهده می‌شود، زمان محاسباتی الگوریتم TS و DE از روندی مشابه توابع نمایی پیروی می کنند، هم در فاز اول مسئله یعنی مکان یابی مراکز و هم فاز دوم مسئله یعنی تخصیص جریان به مراکز الگوریتم TS در زمان کمتری به نتیجه میرسد.

با توجه به شکل (۴) و (۵) و جداول (۱) و (۲)، مشاهده می شود که هم میانگین مقادیر تابع هدف و هم بهترین مقدار تابع هدف در ۱۰ تکرار برای مسائل مختلف در فاز اول در الگوریتم DE بهتر از الگوریتم TS می باشد و در فاز دوم مسئله نیز الگوریتم DE عملکرد بهتری نشان میدهد.

**بحث و نتیجه گیری**

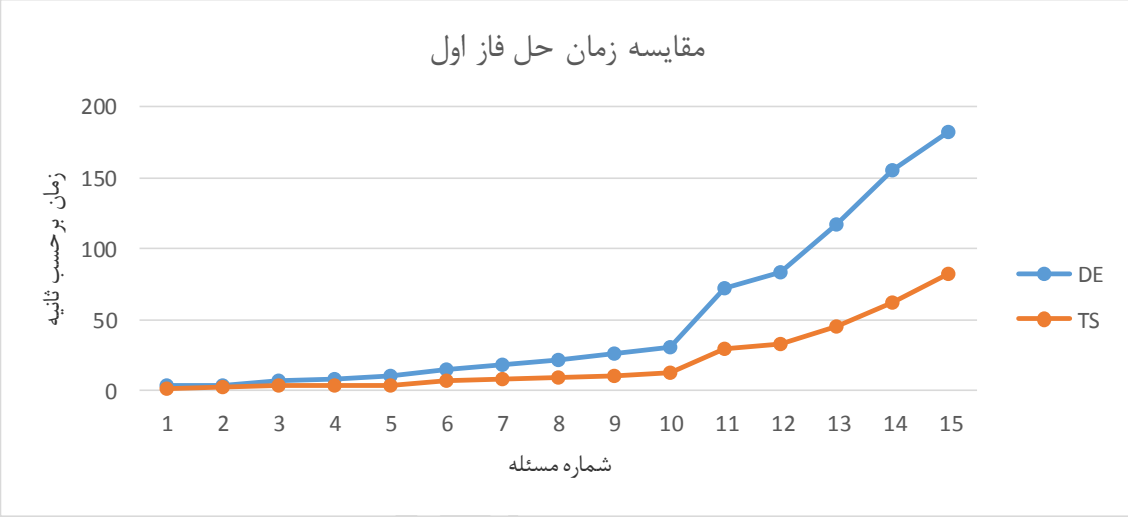
در این مطالعه، زنجیره تامین حلقه بسته چهارسطحی چند محصولی را برای مواد زوال‌پذیر طراحی نمودیم که سطوح این زنجیره شامل تامین کنندگان، تولیدکنندگان، انبار و خرده فروشان میباشد. تاکنون مطالعات بسیاری جهت طراحی زنجیره تامین مواد زوال پذیر و فاسدشدنی انجام گرفته است اما همانطور که در بخش پیشینه تحقیق مشاهده می شود، بیشتر این مطالعات، تنها جریانات رفت در زنجیره را بررسی نموده اند و تعداد کمی از این مطالعات شامل زنجیره تامین حلقه بسته

Archive of SID

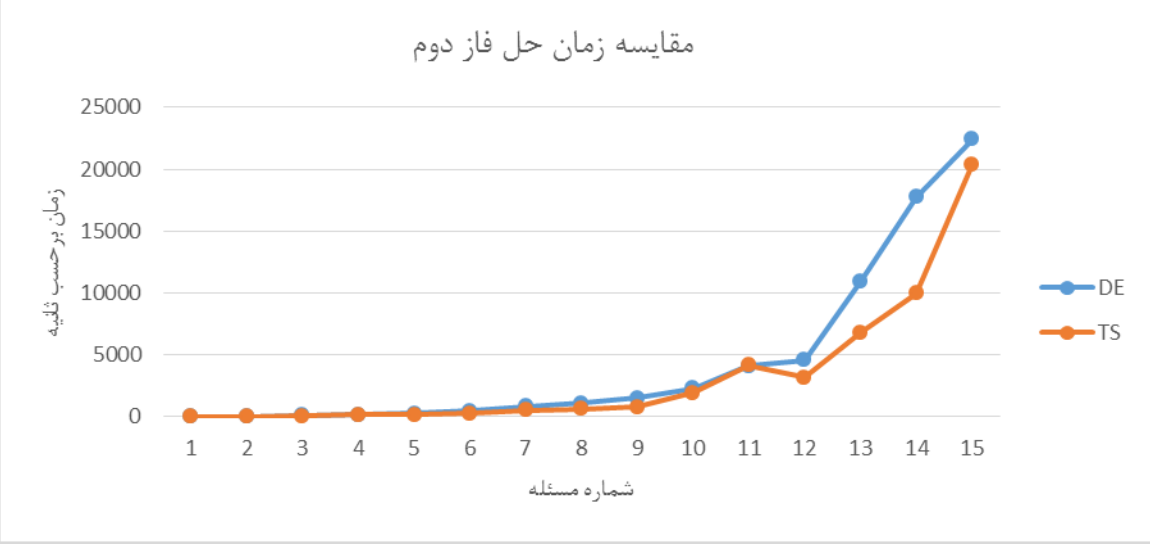
www.SID.ir

میباشند و این مطالعات اندک نیز اغلب دو سطح از زنجیره را بررسی نموده اند و سایر سطوح را درنظرنگرفته اند.همچین، مدل ارائه شده در این مطالعه شامل دو فاز مکانیابی و تخصیص جریان می باشد که بسیاری از مطالعات تنها یک فاز یعنی مکانیابی مراکز و یا تخصیص جریان بین مراکز را بررسی نموده اند.

به عنوان پیشنهادی برای تحقیقات آتی، میتوان سطح مشتریان را نیز در مدل درنظر گرفت و همچنین میتوان شرایط عدم قطعیت را به مدل اضافه نمود به عنوان پیشنهادی دیگر، میتوان برنامه ریزی و زمانبندی تولید را در مدل درنظر گرفت.

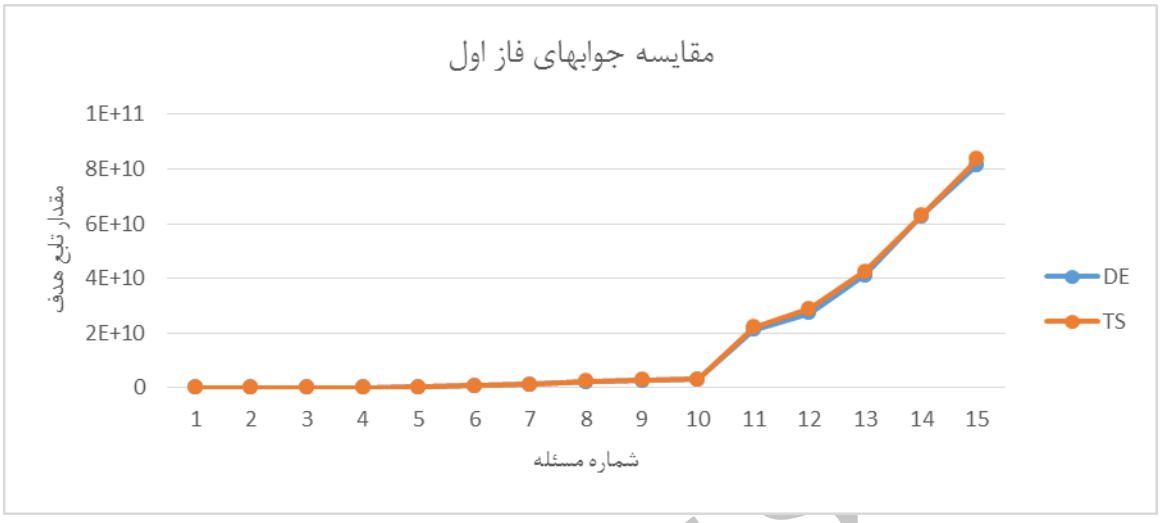



**شکل(۱): مقایسه زمان حل در الگوریتم TS و DE برای فاز اول**

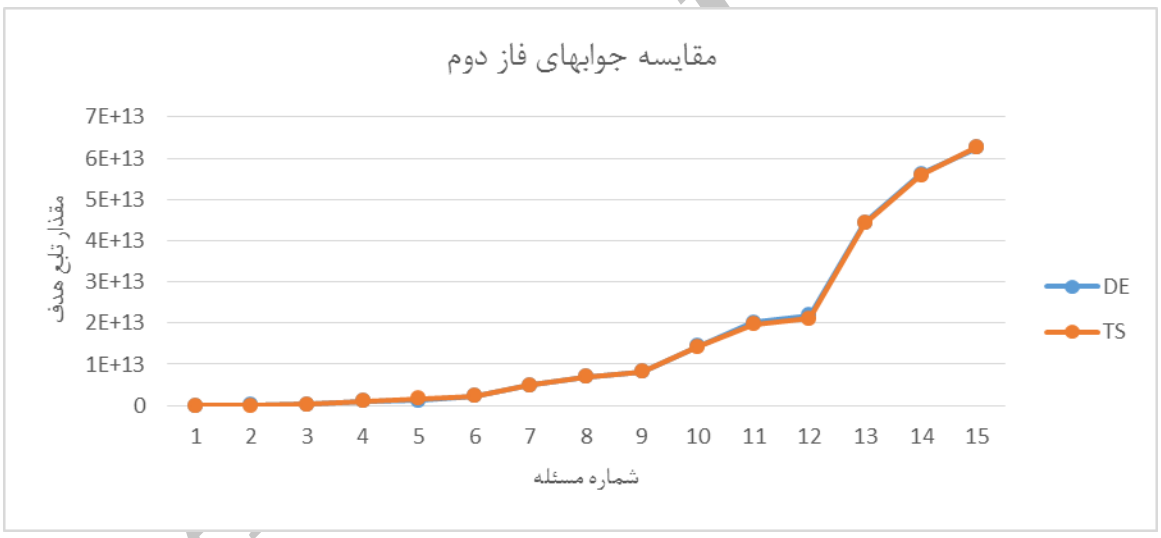



**شکل (۲): مقایسه زمان حل در الگوریتم TS و DE برای فاز دوم**

www.SID.ir




**شکل (۴): مقایسه مقدار میانگین تابع هدف در الگوریتم TS و DE برای فاز اول**




**شکل(۵): مقایسه مقدار میانگین تابع هدف در الگوریتم TS و DE برای فاز دوم**

## منابع

تیموری. ابراهیم، حافظ الکتب. اشکان، "راهنمای مدیریت زنجیره تأمین"، صفحه ۵، ۱۳۸۷.

جعفرنژاد. احمد، مروتی شریف‌آبادی. علی، اسدیان اردکانی. فائزه، "مباحث منتخب در مدیریت زنجیره تأمین"، صفحات ۲۹ و ۶۷، ۱۳۹۲.

S. Liu and L. G. Papageorgiou,(2013). "Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry," Omega, vol:۴۱ , pp:۳۶۹ -۳۸۲.

G. Aiello, G. La Scalia, and R. Micale,(2012). "Simulation analysis of cold chain performance based on time–temperature data," Production Planning & Control, vol:۲۳ , pp:۴۶۸ -۴۷۶.

www.SID.ir

P. Amorim, H.O. Günther, and B. Almada-Lobo,(2012) "Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products," International Journal of Production Economics, vol:۱۳۸ , pp:۸۹ -۱۰۱.

K. Subulan, A. Baykasoğlu, F. B. Özsoydan, A. S. Taşan, and H. Selim,(2014) "A case-oriented approach to a lead/acid battery closed-loop supply chain network design under risk and uncertainty," Journal of Manufacturing Systems.

Shilpy Tayal, S.R. Singh, Rajendra Sharma and Anand Chauhan,(2014) "Two echelon supply chain model for deteriorating items with effective investment in preservation technology", Int. J. Mathematics in Operational Research, Vol. 6, No. 1.

S. R. Singh, Neha Saxena,(2013) "A Closed Loop Supply Chain System with Flexible Manufacturing and Reverse Logistics Operation under Shortages for Deteriorating Items", Procedia Technology 10 330 – 339

A. Bouras, L. Tadj,(2015) "Production planning in a three-stock reverse-logistics system with deteriorating items under a continuous review policy", journal of industrial and management optimization, Volume 11, Number 4.

P.C. Yang a, S.L. Chung b, H.M. Weec,n, E. Zahara a, C.Y. Peng,(2013) "Collaboration for a closed-loop deteriorating inventory supply chain with multi-retailer and price-sensitive demand", Int. J. Production Economics 143 557–566.

Y. Ghiami a, T. Williams b, Y. Wua,(2013) "A two-echelon inventory model for a deteriorating item with stock-dependent demand, partial backlogging and capacity constraints", European Journal of Operational Research 231, 587–597.

Archive of SID

www.SID.ir