Archive of SID

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۰، پیاپی ۱۹، شماره ۲، پاییز زمستان ۱۳۹۸
دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۰۷ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۰۵
صص: ۳۷-۵۳

# مدل ریاضی یکپارچه برای بهینه‌سازی سیستم تولید- توزیع زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با انبارهای میانی

**کیوان احمدی دهرشید[۱]، سهراب عبداله‌زاده مقدم[۲*]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، k1ahmadi@hotmail.com
۲- استادیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، ارومیه، ایران، s.abdollahzadeh@uut.ac.ir

**چکیده:** در این پژوهش، نخستین‌بار مدل ریاضی یکپارچهٔ تولید - توزیع با انبارهای میانی و سیستم‌های حمل‌ونقل متنوع در زنجیره تأمین چنددوره‌ای برای کالاهای فسادپذیر ارائه شده است. نرخ فسادپذیری کالاها در انبارها، یا در زمان حمل‌ونقل یا ازطریق خبرگان به دست می‌آید. تابع هدف مدل پیشنهادی تک‌هدفه است و هزینه‌های زنجیره تأمین به‌صورت یکپارچه حداقل می‌شوند. مدل پیشنهادی، غیرخطی و از نوع سخت است. این مدل با حل چند مسئله در ابعاد کوچک، تأیید و باتوجه‌به قدرت الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای در این مسائل برای حل استفاده شده است. موردکاوی با داده‌های واقعی یک زنجیره تأمین مواد غذایی فاسدشدنی، انجام و با حالت بدون فسادپذیریِ کالاها مقایسه شده است. نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی، ضمن تعیین میزان فاسدشدن کالاها در هر مرحله نشان می‌دهد میزان هزینهٔ زنجیره در حالت فسادپذیربودن افزایش می‌یابد. مدل پیشنهادی به تصمیم‌گیرندگان در شناسایی نقاط و تعیین میزان فساد کالاها در سطوح زنجیره و بهره‌مندی از سیستم‌های نگهداری و حمل نوین با کارایی زیاد در آن برای کاهش هزینه‌های کل کمک می‌کند.

**واژه‌های کلیدی:** یکپارچگی زنجیره تأمین، کالاهای فاسدشدنی، انبارهای میانی، سیستم تولید - توزیع، الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای

---

*نویسنده مسؤول

www.SID.ir

Archive of SID

**مقدمه**

در دنیای رقابتی امروز باتوجه‌به ویژگی‌های محیط‌های جدید تولیدی و طبیعت مشتریان، شیوه‌های مدیریت تولید گذشته (که یکپارچگی کمتری در فعالیت‌هایشان دنبال می‌کنند) کارایی کمتری دارند (لیدر و رشید[۱]، ۲۰۱۶)؛ بنابراین شرکت‌ها نیاز دارند یکپارچگی منظمی را در تمام فعالیت‌های تولیدی خود از مواد خام تا مصرف‌کنندهٔ نهایی ایجاد کنند. همچنین مهم‌ترین عنصر در تجارت امروزی، شناسایی نیازها و خواسته‌های مشتریان است. این امر باعث افزایش رضایت مشتری می‌شود. کیفیت طبق تعریف بسیاری از پژوهشگران، به‌معنای انتظارات و نیازهای مشتری از محصول است؛ درواقع کیفیت انطباق محصول با انتظارات مشتری تعریف می‌شود (هازن[۲] و همکاران، ۲۰۱۸).

زنجیره تأمین مفهوم بسیار گسترده‌ای است و بخش‌ها و حلقه‌های زیادی را شامل می‌شود؛ بنابراین ارائهٔ مدلی کلی با پوشش‌دادن همهٔ جوانب امری بسیار دشوار است؛ به همین دلیل پژوهشگران بخش محدودی را مطالعه، مدل‌سازی و توسعه یا بهبود داده‌اند؛ البته طبق مدل SCOR که یک مدل فرآیندی است، در هر زنجیره پنج فرآیند اصلی شامل برنامه‌ریزی، تأمین، تولید، توزیع و برگشت وجود دارد (نتاب[۳] و همکاران، ۲۰۱۵).

مدیریت زنجیره تأمین نه‌تنها شامل سازندگان و تأمین‌کنندگان می‌شود، بخش‌های حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و مشتریان را نیز شامل می‌شود. فرآیند سیستم‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین بر پایهٔ چهار بخش مرتبط با یکدیگر (شامل مدیریت تقاضا، برنامه‌ریزی مواد و تولید، زمان‌بندی تولید و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل) شکل گرفته‌اند (مونزکا و همکاران[۴]، ۲۰۱۵).

یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح‌شده در زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی یکپارچهٔ تولید – توزیع است. تولید و توزیع یکپارچهٔ محصولات در یک زنجیره تأمین نقش مهمی در کاهش هزینه‌های زنجیره دارد. اهمیت یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین به‌اندازه‌ای است که بخش گسترده‌ای از تصمیمات عملکردی متأثر از اطلاعات ارائه‌شده به‌وسیلهٔ مدیریت ارتباط با مشتری و برپایهٔ خواسته‌های خود مشتریان است. از طرف دیگر اجرای آن بیانگر ایجاد یک زنجیره تأمین مشتری‌مدار و به‌طبع آن بهبود کیفیت و برخورداری از جایگاهی شایسته در میان سایر رقبا است (وانگ[۵] و همکاران، ۲۰۱۵).

نخستین ابتکار و پیشگامی درزمینهٔ یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین در سال ۱۹۹۲ بوده است؛ هنگامی‌که ۱۴ انجمن تجاری، گروهی را به‌نام جنبش پاسخ‌گویی مؤثر به مشتری به وجود آوردند (هوگوس[۶]، ۲۰۱۸).

مدل‌هایی که باید مقدار تولید مراکز تولید را به مراکز توزیع برای ارضای تقاضای مشتریان ارسال کند با عنوان مدل‌های تولید – توزیع در ادبیات مطرح می‌شوند (رمضانی و همکاران، ۲۰۱۳). مدل‌های یکپارچگی تولید – توزیع در جدول ۱ آورده شده است.

باتوجه‌به مطالعات انجام‌شده در جدول ۱، پژوهش فهیم‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) تکمیل‌ترین پژوهش در این حوزه به شمار می‌آید؛ بنابراین مقالهٔ پایهٔ پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است. در این پژوهش عمر کالاها بی‌نهایت در نظر گرفته شده است. برای افزایش کارایی مدل در دنیایی واقعی، فرض فسادپذیری کالاها به آن افزوده شده است.

اقلام فاسدشدنی و یا اقلام خراب‌شدنی در ادبیات زنجیره تأمنی به اقلامی گفته می‌شود که ارزش آنها در طول مدت نگهداری در انبار کاهش می‌یابد. این میزان کاهش ارزش به‌صورت یکی از هزینه‌های موجودی در نظر گرفته می‌شود (وو[۷] و همکاران، ۲۰۱۶).

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- مدل‌های یکپارچگی تولید- توزیع

| نوع مدل | شرح پژوهش‌ها | پژوهشگران |
|---|---|---|
| تک‌محصولی | هق و همکاران (۱۹۹۱) در پژوهشی یکپارچه‌سازی را در صنعت پتروشیمی هند بررسی کردند. در این پژوهش بسیاری از شرایط واقعی مانند زمان، هزینهٔ راه‌اندازی، زمان تدارک، ضایعات خط تولید، میزان بازیافت و هزینه‌های انباشت موجودی بررسی شده است. | (هق[۸] و همکاران، ۱۹۹۱) |
| | یک مدل پیچیدهٔ تک‌کالا ارائه شده است که مدل‌های قبلی را توسعه داده است. در این مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح به‌دلیل محدودبودن ظرفیت انبارها و انباشت کالا در خط تولید و برگشت کالا در نظر گرفته نشده و به‌طور درخور توجهی مانع از عملکرد مدل در دنیای واقعی شده است. | (یلماز[۹]، ۲۰۰۶) |
| چندمحصولی، تک‌کارگاهی | ویژگی‌های عملکرد یک سیستم تولید – توزیع یکپارچهٔ ساده متشکل از یک واحد تولیدی با محصولات متنوع، یک انبار کالاهای محصولات و یک‌خرده فروش بررسی شده است. یکی از عمومی‌ترین مدل‌های تولید – توزیع موجود در ادبیات موضوع توسعه و پیشنهاد یک روش حل خاص است. | (لی و کیم[۱۰]، ۲۰۱۴) |
| چندمحصولی، چندکارگاهی، تک‌انباری/ بدون انبار | برنامه‌ریزی تولید – توزیع برای شرکت‌های بین‌المللی مطالعه شده است. با در نظر گرفتن چند نرخ تورم و ارز، مدل‌های چندمحصولی کارخانه‌های بین‌المللی و توزیع به‌طور مستقیم به بازار هدف مطالعه شده است. | (منتزر[۱۱] و همکاران، ۲۰۰۱) |
| چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، یک/ بدون مشتری نهایی | یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید – توزیع برای محیطی ارائه شده است که چند سایت تولید دارد. هم‌چنین یک مدل بهینه‌سازی قوی برای ترکیب عدم قطعیت تقاضا برای برنامه‌ریزی یکپارچه تدارکات، تولید و توزیع برای چند سایت تولیدی ارائه شده است. | (وانگ[۱۲]و همکاران، ۲۰۱۶) |
| چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، چندمشتری، یک سیستم حمل‌ونقل | یک روش شبیه‌سازی برای برنامه‌ریزی تولید – توزیع ارائه شده است. برای تعیین ظرفیت تجهیزات از شبکهٔ تولید – توزیع استفاده شده است که شامل سیاست‌های دوباره‌کاری در زنجیره تأمین است. در این مدل دو هدف افزایش رضایت مشتری و کاهش هزینهٔ کل سیستم در نظر گرفته شده بود. | (کیم[۱۳] و همکاران، ۲۰۰۸) |
| چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، چندمشتری نهایی، چند سیستم حمل‌ونقل، بدون دورهٔ زمانی | یک مدل یکپارچه برای همکاری میان چند جایگاه و پالایشگاه تولید سوخت با انواع سوخت ارائه شده است. برای حل مسئله از یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده شده است که هدف آن حداکثرکردن سود برای زنجیره تأمین یکپارچه است. منافع بالقوهٔ ناشی از یکپارچگی برنامه‌ریزی مشترک تولید – توزیع در این مطالعه زیاد است. | |
| چندمحصولی، چندکارگاهی، چندانباری، چندمشتری نهایی، چند سیستم حمل‌ونقل، چند دورهٔ زمانی | این دسته از مطالعات شامل پیچیده‌ترین مدل‌ها در یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید – توزیع است. برای مدل‌سازی از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و برای حل آن از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. | (فهیم‌نیا و همکاران، ۲۰۱۲) |

گری و گویال (۲۰۰۱) مروری بر مقالات مختلفی انجام دادند که توابع گوناگون فاسدشدن کالا را بررسی کرده‌اند. نخستین‌بار بحث فاسدشدن کالا را واگنر و ویتن (۲۰۱۵) مطرح کردند (گیری و شاما[۱۴]، ۲۰۱۵).

یانگ و وی (۲۰۰۳) مدلی برای برنامه‌ریزی یکپارچه تولید – موجودی کالاهای فاسدشدنی ارائه دادند. راو و همکاران (۲۰۰۳) یک مدل چندسطحی بین تأمین‌کننده، تولیدکننده و خریدار برای کالاهای فسادپذیر توسعه داده‌اند و نشان دادند رویکرد یکپارچه در تصمیم‌گیری باعث کاهش هزینهٔ کل می‌شود (سرکار[۱۵] و همکاران، ۲۰۱۷).

www.SID.ir

Archive of SID

آموریم و همکاران (۲۰۱۲) یک برنامه‌ریزی چندهدفهٔ تولید – توزیع را برای محصولات فسادپذیر ارائه کردند. آنها در تابع هدف مدل خود، هزینهٔ کل و میزان تازگی محصولات را هنگام تحویل در نظر گرفته‌اند (مارتینز[۱۶] و همکاران، ۲۰۱۸).

در سال ۲۰۱۵ چکربارتی و همکاران پژوهشی دربارهٔ یکپارچه‌سازی زنجیره تأمین مواد فاسدشدنی انجام داده‌اند. آنها مدلی برای یکپارچه‌سازی بخش‌های تولید – موجودی بررسی کرده‌اند. در این مدل پارامترهایی مانند تأمین‌کننده، خرده‌فروش و نرخ فسادپذیری ثابت و تقاضا به‌صورت احتمالی وجود دارد. در این مدل محدودیت‌های فضای انبار، سرمایه و بودجهٔ موجود نیز در نظر گرفته شده است (چاکرابورتی[۱۷]، ۲۰۱۵).

در بسیاری از مسائل، هزینه‌های مرتبط با کاهش ارزش کالا در حدی است که می‌تواند به یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر هزینه‌های موجودی و درنهایت تعیین سیاست بهینه تبدیل شود. در پژوهش‌های پیشین، مدل‌سازی ریاضی برای سیستم‌های تولید – توزیع با انبارهای میانی ولی بدون در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالاها انجام شده است. درنتیجه، در پژوهش حاضر جریان مواد در طول زنجیره تأمین در بخش‌های تولید – توزیع و با وجود انبارهای میانی با فرض فسادپذیری کالا مدل‌سازی شده است؛ بنابراین با تعریف متغییرها و پارامترهای جدیدی، مدل پایه فهیم‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) برای حالت فسادپذیری کالاها در انبار و حین حمل‌ونقل توسعه داده شده است.

این پژوهش از نوع تخصیص است و زنجیره تأمینی با چندین تولیدکننده، انبارهای میانی توزیع‌کننده و انواع سیستم حمل‌ونقل را بررسی و یکپارچه‌سازی می‌کند. کالاها در این زنجیره، از نوع فسادپذیر و با محدودیت طول عمرند. ظرفیت تولید، انبارها و سیستم‌های حمل‌ونقل محدود و معلوم است. مدل ریاضی ساخته‌شده از نوع تک‌هدفه و کمینه‌سازی هزینه‌های کل زنجیره است. مدل پیشنهادی یک‌بار با در نظر گرفتن هزینهٔ فساد کالاها و یک‌بار بدون آن حل و نتایج حاصله مقایسه شده است.

**روش پژوهش**

در این پژوهش، مدل ریاضی تک‌هدفه برای مسئلهٔ تولید – توزیع یکپارچه با انبارهای میانی و با در نظر گرفتن محدودیت طول عمر کالاها ارائه می‌شود. زنجیره تأمین درحال بررسی شامل سه سطحِ تولیدکنندگان، مراکز توزیع و مشتریان نهایی است. مدل برای چند نوع محصول و در طی چندین دورهٔ زمانی ارائه می‌شود. مدل یکپارچه برای حل مسئله به حداقل رساندن هزینه‌های کل زنجیره شامل انبارداری، توزیع، فاسدشدن کالا در انبار و حین حمل است که باعث به حداکثر رساندن سطح کیفیت محصول هنگام رسیدن محصول به مصرف‌کننده می‌شود.

هدف اصلی پژوهش جاری، مدیریت و اخذ تصمیمات درست در میزان حمل، تولید، موجودی و توزیع در یک شبکهٔ زنجیره تأمین است؛ به‌گونه‌ای که با لحاظ‌کردن شرایط موجود در دنیای واقعی بتوان تصمیمات بهتر و کاربردی‌تری در حوزهٔ موجودی و حمل‌ونقل برای توزیع محصولات فاسدشدنی در سطوح زنجیره تأمین اتخاذ کرد.

تعیین مقدار بهینهٔ تولید برای هر تولیدکننده، میزان حمل با هریک از سیستم‌های حمل‌ونقل به انبارها و یا به‌صورت مستقیم به خرده‌فروش‌ها و میزان بهینهٔ موجودی انبارها باتوجه‌به تقاضا و ضریب فسادپذیری کالا در انبار از اهداف فرعی پژوهش جاری هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

باتوجه‌به پژوهش‌های قبلی، مدل‌های تولید - توزیع در سه موضوع محوری شامل یکپارچگی، تابع هدف و روش‌های حل دسته‌بندی شده‌اند. موقعیت مدل پیشنهادی پژوهش در این حوزه‌ها در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲- تبیین موقعیت مدل پیشنهادی پژوهش

| ۱. یکپارچگی زنجیره تأمین | | ۲. تابع هدف | | |
|---|---|---|---|---|
| ۱-۱. تنوع محصول | | ۲-۱. مدل ساده | | |
| | ۱-۱-۱ تک‌محصولی | ۲-۲. پوشش مجموعه‌ها و پوشش جزئی | | |
| | ۱-۱-۲ چندمحصولی | ۲-۳. میانه p-تسهیلاتی | | |
| ۱-۲. تولیدکننده | | ۲-۴. کمینه‌سازی حداکثر فاصله | | |
| | ۱-۲-۱ یک تولیدکننده | ۲-۵. کمینه‌سازی بدترین حالت | | |
| | ۱-۲-۲ چند تولیدکننده | ۲-۶. مکان‌یابی- تخصیص سلسله مراتبی | | |
| ۱-۳. مرکز مونتاژ | | ۲-۷. مکان‌یابی- تخصیص جذب جریان | | |
| | ۱-۳-۱ یک مرکز مونتاژ | ۲-۸. حداکثرسازی حداقل فاصله | | |
| | ۱-۳-۲ چند مرکز مونتاژ | ۲-۹. تعداد توابع هدف | | |
| ۱-۴. دورهٔ برنامه‌ریزی | | | ۲-۹-۱. تک‌هدفه | |
| | ۱-۴-۱ یک‌دوره‌ای | | ۲-۹-۲. چندهدفه | |
| | ۱-۴-۲ چنددوره‌ای | ۳. روش‌های حل | | |
| ۱-۵. سیستم حمل‌ونقل | | ۳-۱. جواب بهینه | | |
| | ۱-۵-۱ یک وسیلهٔ حمل‌ونقل | ۳-۲. ابتکاری | | |
| | ۱-۵-۲. چند سیستم حمل‌ونقل | ۳-۳. فراابتکاری | | |
| ۱-۶. موجودی | | | ۳-۳-۱. الگوریتم ژنتیک | |
| ۱-۷. تدارکات | | | ۳-۳-۲. کوچ پرندگان | |
| ۱-۸. تولید | | | ۳-۳-۳. دیگر | |
| ۱-۹. مسیریابی | | | | |
| ۱-۱۰. نوع حمل | | | | |

## مدل پیشنهادی

**مفروضات:**

- زنجیره تأمین در سه سطح تولید، توزیع و مشتری نهایی است.
- فاصلهٔ بین اجزاءِ زنجیره مشخص و ثابت است و به‌صورت خط مستقیم محاسبه می‌شود.
- برنامه‌ریزی به‌صورت چندمحصولی و چنددوره‌ای است.
- ظرفیت تمامی تولیدکنندگان، انبارها، توزیع‌کنندگان و سامانه‌های حمل‌ونقل محدود و معلوم است.
- تولید در زنجیره تأمین فقط یک‌بار و در ابتدای دورهٔ نخست انجام می‌شود.
- ارسال کالاهای تولیدی به‌صورت مستقیم به توزیع‌کننده یا به انبارهای میانی برای ذخیره برای دوره‌های بعدی انجام می‌شود.
- هزینهٔ تولید هر محصول برای هر تولیدکننده متفاوت از تولیدکننده‌های دیگر است.

www.SID.ir

Archive of SID

- تقاضای هر محصول در افق برنامه‌ریزی، مشخص و قطعی است.
- حداکثر ظرفیت تولید هریک از تولیدکنندگان در افق برنامه‌ریزی مشخص و قطعی است.
- در حمل‌ونقل کالا که نرخ فسادپذیری معلوم نیست، نرخ فسادپذیری با نظر خبرگان تعیین می‌شود.
- سفارش‌های معوق وجود ندارد؛ ولی امکان برآورده‌نشدن تقاضا و کمبود به‌صورت فروش ازدست‌رفته وجود دارد.
- موجودی فروش‌نرفته در انتهای دورهٔ آخر، در بازار ثانویه و به نرخ کمتری فروش می‌رود.
- مسئله از دیدگاه سطح دوم زنجیره (مراکز توزیع) مطرح می‌شود.
- ظرفیت انبارها برحسب تن و به حجم کالا بستگی ندارد.
- هزینهٔ حمل‌ونقل در کل دوره ثابت و باتوجه‌به فصل‌های سال تغیر نمی‌کند.

**اندیس‌ها:**

| | |
|---|---|
| i : اندیس محصولات | $i = 1, 2, ..., I$ |
| j : اندیس تولیدکنندگان | $j = 1, 2, ..., J$ |
| h : اندیس انبارهای توزیع‌کننده‌ها | $h= 1, 2, ..., H$ |
| e : اندیس مشتری‌های نهایی | $e= 1, 2, ..., E$ |
| r : اندیس سیستم‌های حمل‌ونقل | $r = 1, 2, ..., R$ |
| t : اندیس دوره‌های زمانی | $t = 1, 2, ..., T$ |

**پارامترها:**

$I$: مجموعهٔ محصولات.

$J$: مجموعهٔ تولیدکنندگان.

$H$: مجموعهٔ انبارها.

$E$: مجموعهٔ خرده‌فروشان یا مشتری نهایی.

$R$: مجموعهٔ سیستم‌های حمل‌ونقل.

$T$: مجموعهٔ دوره‌های زمانی.

$C_{ij}$: هزینهٔ تولید هر واحد محصول i به‌ازاءِ هر تولیدکنندهٔ j.

$SC_{ij}$: هزینهٔ ثابت تولید محصول i برای تولیدکنندهٔ j.

$C_h$: هزینهٔ متغیر برای اجارهٔ انبار h.

$SC_h$: هزینهٔ ثابت برای اجارهٔ انبار h.

$C_{ijhr}$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول i از تولیدکنندهٔ j به انبار توزیع‌کنندهٔ h با سیستم حمل r.

$C_{ijer}$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول i از تولیدکنندهٔ j به مشتری نهایی e با سیستم حمل r.

$C_{ihert}$: هزینهٔ حمل‌ونقل محصول i از انبار توزیع‌کنندهٔ h به مشتری نهایی e با سیستم حمل r در دورهٔ t.

www.SID.ir

Archive of SID

$D_{iet}$: مقدار تقاضای مشتری e برای محصول i در دورهٔ t.

$D_{ie}$: مقدار تقاضا برای محصول i برای خرده‌فروش e وقتی‌که ارسال کالا به‌صورت مستقیم است.

$f_{ij}$ { 1: اگر محصول i به‌وسیلهٔ تولیدکنندهٔ j تولید شود. 0: در غیر این صورت.

$f_h$ { 1: اگر از انبار h استفاده شود. 0: در غیر این صورت.

$L_t$: مدت زمان صدور تقاضا برای دورهٔ t (برحسب هفته).

$V_{ij}$: ظرفیت تولیدکنندهٔ j برای محصول i.

$V_h$: ظرفیت انبار h.

$Y_r$: واحد ظرفیت سیستم حمل‌ونقل r.

E: میزان محصول فاسدشده در هر انبار که نیازی به حمل وجود ندارد.

$\propto_{ij}$ : درصد ضایعات کالای i که به‌وسیلهٔ تولیدکنندهٔ j تولید می‌شوند.

$\beta_{ih}$ : درصد ضایعات یک هفتهٔ کالای i که در انبار h نگهداری می‌شوند.

$\gamma_{ijhr}$ : درصد ضایعات کالای i که به‌وسیلهٔ سیستم حمل‌ونقل r از تولیدکنندهٔ j به انبار توزیع‌کنندهٔ h حمل می‌شوند.

$\mu_{ijer}$: درصد ضایعات کالای i که به‌وسیلهٔ سیستم حمل‌ونقل r از تولیدکنندهٔ j به خرده‌فروش e حمل می‌شوند.

$\rho_{iher}$: درصد ضایعات کالای i که به‌وسیلهٔ سیستم حمل‌ونقل r از انبار توزیع‌کنندهٔ h به خرده‌فروش e حمل می‌شوند.

$CS_i$: مقدار هزینه به‌ازاءِ هر واحد کمبود کالای i.

$CB_i$: مقدار هزینه به‌ازاءِ هر واحد اضافه از کالای i که در انبار می‌ماند.

**متغیرهای تصمیم**

$X_{ij}$: مقدار تولید کالای i برای تولیدکنندهٔ j.

$X_{ijer}$: مقدار کالای i حمل‌شده به‌وسیلهٔ r از تولیدکنندهٔ j به خرده‌فروش e.

$X_{ijhr}$: مقدار کالای i حمل‌شده از تولیدکنندهٔ j به انبارh به‌وسیلهٔ r.

$X_{ijert}$: مقدار کالای i حمل‌شده از انبارh به توزیع‌کنندهٔ j در دورهٔ t به‌وسیلهٔ r.

$X_{ih}$:حداکثر موجودی انبارh از کالای i.

$W_{iht}$: مقدار کالای i در انبار h در دورهٔ t.

$K_{ij}$: مقدار تولید کالای i برای تولیدکنندهٔ j که استفاده‌شدنی نیست.

$K_{ijer}$:مقدار کالای i حمل‌شده به‌وسیلهٔ سیستم r از تولیدکنندهٔ j به خرده‌فروش e که فاسد می‌شود.

$K_{ijhr}$:مقدار کالای i حمل‌شده از تولیدکنندهٔ j به انبار h که به‌وسیلهٔ سیستم r فاسد می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$K_{ihert}$: مقدار کالای i حمل‌شده از انبار h به توزیع‌کنندهٔ e با سیستم r در دورهٔ t که فاسد می‌شود.

$K_{iht}$: مقدار کالای i در انبار h که در دورهٔ t فاسد می‌شود.

$B_{ih}$: مقدار موجودی اضافه کالای i برای انبار h.

$S_{iet}$: مقدار کمبود کالای i برای مشتری e در دورهٔ t.

$S_{ie}$: مقدار کمبود کالای i برای مشتری e وقتی‌که ارسال کالا به‌صورت مستقیم از تولیدکننده به خرده‌فروش است.

**تابع هدف**

$$\begin{aligned}\min Z = &\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}(C_{ij}.X_{ij} + f_{ij}.SC_{ij}) + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{h=1}^{H}\sum_{r=1}^{R}([\frac{X_{ijhr}-E}{Y_r}]+1).C_{jhr} \\ &+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}\left(\left[\frac{X_{ijer}-E}{Y_r}\right]+1\right).C_{jer} \\ &+\sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H}\sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}\left(\left[\frac{X_{ihert}-E}{Y_r}\right]+1\right).C_{jhr} + \sum_{h=1}^{H}(X_h.C_h + f_h.SC_h) \\ &+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}K_{ij}.C_{ij} \\ &+\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{h=1}^{H}\sum_{r=1}^{R}K_{ijhr}.C_{ij} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{J}\sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}K_{ijer}.C_{ij} \\ &+\sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H}\sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}K_{ihert}.C_i + \sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H}\sum_{t=1}^{T}K_{iht}.C_i + \sum_{i=1}^{I}\sum_{e=1}^{E}\sum_{t=1}^{T}(S_{iet} \\ &+S_{ie}).CS_i + \sum_{i=1}^{I}\sum_{h=1}^{H}B_{ih}.CB_i\end{aligned} \quad (۱)$$

**محدودیت‌ها:**

$$X_{ij} = \sum_{h=1}^{H}\sum_{r=1}^{R}X_{ijhr} + \sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}X_{ijer} + K_{ij} \quad (۲)$$

$$X_{ih} = \sum_{j=1}^{J}\sum_{r=1}^{R}(X_{ijhr} - K_{ijhr}) \quad (۳)$$

$$X_{ih} = \sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{T}X_{ihert} + \sum_{t=1}^{T}K_{iht} + B_{ih} \quad D_{iet} = \sum_{h=1}^{H}\sum_{r=1}^{R}(X_{ihert} - K_{ihert}) + S_{iet} \quad (۴)$$

$$D_{ie} = \sum_{r=1}^{R}(X_{ijer} - K_{ijer}) + S_{ie} \quad (۵)$$

$$X_{ij} \le V_{ij} \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{I}X_{ih} \le V_h \quad (۷)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$W_{iht} = X_{ih} - \sum_{e=1}^{E}\sum_{r=1}^{R}\sum_{t=1}^{t-1} X_{ihert} - \sum_{t=1}^{t-1} K_{iht} \quad (۸)$$

$$K_{ij} = X_{ij}.\alpha_{ij} \quad (۹)$$

$$K_{ijhr} = X_{ijhr}.\gamma_{ijhr} \quad (۱۰)$$

$$K_{ijer} = X_{ijer}.\mu_{ijer} \quad (۱۱)$$

$$K_{ihert} = X_{ihert}.\rho_{iher} \quad (۱۲)$$

$$K_{iht} = W_{iht}.\beta_{ih}.L_t \quad (۱۳)$$

$$if: X_h > 0 \leftrightarrow F_h = 1\,, if: X_h = 0 \leftrightarrow F_h = 0 \quad (۱۴)$$

$$if: X_{ij} > 0 \leftrightarrow F_{ij} = 1\,, if: X_{ij} = 0 \leftrightarrow F_{ij} = 0 \quad (۱۵)$$

**تشریح تابع هدف:** مدل ریاضی ذکرشده، یک مسئلهٔ عدد صحیح مختلط غیرخطی است. تابع هدف مطابق رابطهٔ (۱) کمینه‌کردن هزینه‌های تولید، حمل‌ونقل، انبارداری، فسادپذیری، کمبود و موجودیِ توزیع‌نشده است. شرح عبارات آن به این شرح است؛ عبارت نخست: هزینه‌های ثابت و متغیر تولید که شامل هزینه‌های راه‌اندازی تولید نیز است. عبارت دوم: هزینه‌های حمل‌ونقل بین تولیدکننده و انبارهای میانی توزیع‌کننده براساس تعداد وسایل نقلیه. عبارت سوم: هزینه‌های حمل به‌صورت مستقیم از تولیدکننده به مشتری نهایی یا خرده‌فروش براساس تعداد وسایل نقلیه. عبارت چهارم: هزینه‌های حمل‌ونقل در تمام دوره‌ها از انبارها به خرده‌فروش‌ها براساس تعداد وسایل نقلیه. عبارت پنجم: هزینه‌های انبارداری کالا براساس بیشترین سطح موجودی یا موجودی ابتدای دورهٔ نخست. عبارت ششم مربوط به هزینه‌های فسادپذیری (استفاده‌نشدنی یا فساد زودتر از موعد) کالا برای هر تولیدکننده. عبارت‌های هفتم، هشتم و نهم: فسادپذیری در موقع حمل‌ونقل ناصحیح یا وسیلهٔ نامناسب. عبارت دهم: هزینه‌های فسادپذیری در انبار برای تمامی دوره‌ها ثابت و برحسب مدت نگهداری کالا در انبار تعیین می‌شود. عبارت یازدهم: هزینه‌های کمبود به‌ازاءِ هر واحد فروش ازدست‌رفته در هر دوره.

**تشریح محدودیت‌ها:** رابطهٔ (۲): کالاهای تولیدشده به‌وسیلهٔ هر تولیدکنندهٔ ارسالی مستقیم برای خرده‌فروش، انبارها و درصد فاسدشده قبل از حمل. رابطهٔ (۳): موجودی هر انبار در ابتدای دورهٔ نخست که برابر با مجموع کالاهای ارسالی از هر تولیدکننده به‌جز مقدار تباه‌شده. رابطهٔ (۴): مقدار موجودی هر انبار باتوجه‌به مقدار کالای ارسالی در هر دوره برای هر خرده‌فروش و مقداری از کالا که در انتهای هر دوره فاسد می‌شود. همچنین مقدار کالاهای مانده در انبار در انتهای دورهٔ آخر. رابطهٔ (۵): مقدار تقاضا برای هر خرده‌فروش برابر با مقدار کالای ارسال‌شده برای هر خرده‌فروش در هر دوره با کسر مقدار فاسدشده و تقاضای برآوردنشده (فروش ازدست‌رفته). رابطهٔ (۶): حداکثر ظرفیت هر تولیدکننده برای کالاها. رابطهٔ (۷): حداکثر ظرفیت هرکدام از انبارها. رابطهٔ (۸): سطح موجودی برای هرکدام از کالاها در طول دوره برای هرکدام از انبارها که برابر است با حداکثر موجودی انبار با کسرکردن مجموع مقادیر ارسال‌شده برای خرده‌فروش‌ها در دوره‌های قبل و مقدار فاسدشده در دوره‌های قبل. روابط (۹) تا (۱۳): مقدار کالای فاسدشده در هریک از مراحل تولید، حمل و انبارداری کالا در هر دوره. رابطهٔ (۱۴): تابع شرطی است که تعین می‌کند اگر مقدار موجودی هر انبار بزرگ‌تر از صفر باشد، تابع باینری متناظر مقدار ۱ بگیرد و در غیر این صورت مقدار ۰ بگیرد. رابطهٔ (۱۵): تابع شرطی است که تعیین می‌کند اگر مقدار تولید هر کالا برای هر تولیدکننده بزرگ‌تر از ۰ باشد، تابع باینری متناظر مقدار ۱ و در غیر این صورت، مقدار ۰ بگیرد.

www.SID.ir

Archive of SID

**بحث**

باتوجه‌به اینکه مدل پایهٔ پژوهش جاری مدل تولید – توزیع با انبارهای میانی فهیم‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) بوده و جزءِ مدل‌های پیچیده است، با به‌کارگیری روش‌های حل دقیق در زمان مطلوب جواب بهینه به دست نمی‌آید (پارک[۱۸] و همکاران، ۲۰۰۷)؛ بنابراین برای رسیدن به جواب نزدیک به بهینه از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده شده است. این الگوریتم‌ها هم‌زمان نقاط وسیعی از جواب‌های ممکن را بررسی و اغلب جواب‌هایی خوب و نزدیک به بهینه را تولید می‌کنند. باتوجه‌به پژوهش‌های پیشین و استفاده از تجارب پژوهشگران، در پژوهش جاری از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل بزرگ استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک از الگوریتم‌های فراابتکاری معروف و پرکاربرد و از خانواده ابزارهای محاسباتی برمبنای روش الگوریتم ارزیابی است که نخستین‌بار هلند (۱۹۷۵) آن را ارائه داده است. پوشش‌دادن متغیرهای گسسته و پیوسته از مزیت‌های این الگوریتم به‌شمار می‌آید. الگوریتم ژنتیک ساده به‌وسیلهٔ پژوهشگران مختلف توسعه یافته و الگوریتم‌های کاراتری ازجمله ژنتیک رتبه‌ای به وجود آمده است (دب[۱۹]، ۲۰۰۲).

در الگوریتم‌های ژنتیک، ژن‌هایی وجود دارند که نشان‌دهندهٔ یک مقدار برای یک متغیر تصمیم هستند. مجموعه‌ای از ژن‌ها یک کروموزوم نامیده می‌شوند که نشانگر یک جواب برای مسئله است. طراحی ساختار کروموزوم برای ایجاد جواب‌های موجه متعدد و جلوگیری از تولید جواب‌های ناموجه بسیار حیاتی است (هوپت[۲۰]، ۲۰۰۴).

در الگوریتم‌های ژنتیک جمعیت اولیه وجود دارد که سه فرایند اساسی جهش ژنتیکی، بازتولید و گزینش روی متغیرهای ژنتیکی اعمال می‌شود. در گزینش، یک راهبرد نخبه‌گرایی وجود دارد که ازطریق آن تعدادی از جواب‌های خیلی خوب به جمعیت جدید انتقال می‌یابند. با مکانیسم بازتولید، کروموزوم‌ها به‌صورت تک‌نقطه‌ای یا چندنقطه‌ای با هم ترکیب می‌شوند و بخش دیگری از جمعیت جدید را به وجود می‌آورند. برای افزایش کیفیت جواب‌های جدید از مکانیسم چرخهٔ رولت[۲۱] استفاده می‌شود تا احتمال گزینش جواب‌های با کیفیت بیشتر در بازتولید افزایش یابد. بخش سوم از جمعیت جدید با فرایند جهش ژنتیکی تولید می‌شوند. در الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای جواب‌های غیرموجه به جمعیت جدید انتقال نمی‌یابند (علوی دوست و همکاران، ۲۰۱۷).

برای بررسی میزان عملکرد مدل پیشنهادی و تأیید آن، چند مسئلهٔ نمونهٔ مختلف در ابعاد متعدد حل شده‌اند. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در محیط برنامه‌نویسی MATLAB R2015a کد و از توابع آن در داخل الگوریتم استفاده شده است. از آنجا که مدل پیشنهادی پژوهش با در نظر گرفتن همهٔ پارامترهای ذکرشده در ادبیات موضوع مشاهده نشده است، مسائل نمونه به‌صورت تصادفی و با استفاده از پارامترهای جدول ۳ تولید شده است.

پارامترهای الگوریتم ژنتیک که در این مسائل استفاده شده‌اند ازطریق RSM[۲۲] به دست آمده است و عبارت‌اند از اندازهٔ جامعه: ۱۰؛ تعداد نسل: ۵؛ احتمال تقاطع: ۰/۸؛ احتمال جهش: ۰/۲۵؛ زمان اجرا: زمان حاصل از اجرای نرم‌افزار برای تولید و اجرای روش برحسب ثانیه؛ بهترین مقدار مدل: بهترین مقدار تابع هدف که جواب کلی مدل است. باتوجه‌به ابعاد کوچک، مسائل در نرم‌افزار لینگو حل و بهترین جواب مدل معرفی شده است. همچنین برای هر مسئلهٔ نمونه، الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب نسخهٔ ۲۰۱۵ کدنویسی و اجرا شده است. مقایسهٔ مقادیر دو نرم‌افزار در جدول ۴ آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۳- ابعاد مختلف مسائل

| شمارهٔ مسئله | کارخانهٔ j | کالای i | حمل‌ونقل r | انبار توزیع‌کنندهٔ h | مشتری نهایی e | دورهٔ t |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲ | ۲ | ۲ | ۳ | ۵ | ۲ |
| ۲ | ۲ | ۳ | ۴ | ۴ | ۵ | ۳ |
| ۳ | ۳ | ۴ | ۶ | ۶ | ۶ | ۴ |
| ۴ | ۳ | ۴ | ۶ | ۶ | ۶ | ۵ |
| ۵ | ۴ | ۶ | ۶ | ۸ | ۶ | ۶ |
| ۶ | ۶ | ۶ | ۸ | ۸ | ۷ | ۸ |
| ۷ | ۸ | ۶ | ۱۰ | ۱۰ | ۸ | ۸ |
| ۸ | ۱۰ | ۸ | ۱۰ | ۱۲ | ۸ | ۸ |
| ۹ | ۱۰ | ۸ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۰ | ۱۰ |
| ۱۰ | ۱۱ | ۸ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۲ | ۱۰ |

جدول ۴- بهترین مقادیر به‌دست‌آمده برای حل مدل با نرم‌افزار لینگو و متلب

| مسئله | بهترین مقدار مدل | زمان اجرا | بهترین مقدار با متلب | زمان اجرا | درصد خطا |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۶۵۷۱۲ | ۰/۰۳ | ۶۵۷۱۲ | ۷/۲ | ۴/۳۶ |
| ۲ | ۷۶۱۵۴ | ۰/۰۸ | ۷۶۱۵۴ | ۱۸/۹ | ۱/۱۷ |
| ۳ | ۱۳۸۱۲۹ | ۰/۱۲ | ۹۸۱۲۹ | ۹۵/۸ | ۳/۶۳ |
| ۴ | ۱۶۵۶۳۰ | ۰/۲۱ | ۱۲۵۶۳۰ | ۱۲۰/۶ | ۷/۶۷ |
| ۵ | ۱۲۰۳۴۵ | ۰/۲۷ | ۲۱۰۳۴۵ | ۱۱۲/۸ | ۳/۶۴ |
| ۶ | ۱۹۱۰۴۹ | ۰/۴۹ | ۲۵۱۰۴۹ | ۱۱۸/۹ | ۴/۰۹ |
| ۷ | ۲۸۷۴۵۰ | ۱/۰۵ | ۲۶۷۴۵۰ | ۲۱۱/۷ | ۰/۶۷ |
| ۸ | ۳۱۲۵۶۱ | ۲/۰۶ | ۳۴۲۵۶۱ | ۲۵۷/۹ | ۸/۷۰ |
| ۹ | ۴۳۱۰۲۴ | ۳/۲۵ | ۴۵۱۰۲۴ | ۹۷۶/۷ | ۱/۳۶ |
| ۱۰ | ۵۴۶۷۲۰ | ۸/۳۴ | ۵۴۶۷۲۰ | ۱۷۳۵/۹ | ۶/۸۲ |

باتوجه‌به خطای کم هریک از مسائل و نیز متوسط خطای قابل‌قبول ۴/۶ برای کل مسائل، صحت مدل‌سازی تأیید شده است.

**موردکاوی**

مدل‌سازیِ تخصیص یکپارچهٔ کالا در زنجیره تأمین با ملاحظات مربوط بـه فسـادپذیری کـالا و یکپارچـه‌سـازی بخش‌های تولید- توزیع با وجود انبارهای میانی، نوآوری شاخص پژوهش جاری است که قبلاً بـا ارائـهٔ مثـال‌هـایی صحت مدل‌سازی آن بررسی و تأیید شد. در این قسمت مدل مدنظر برای یک مطالعهٔ موردی دربـارهٔ ذخیـره‌سـازی میوهٔ شب عید حل و اعتبارسنجی می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

**تشریح مسئله**

ایدهٔ اصلی مدل از فاسدشدن قریب به ۱۰ هزار تن پرتقال در انبارها و سردخانه‌ها است که در سال ۹۵ برای تنظیم بازار، انبار شده بودند. مطالعهٔ موردی مربوط به انبار میوه شب عید است که از اطلاعات واقعی وزارتخانه‌های صنعت، معدن و تجارت، و جهاد کشاورزی استفاده شده است. هم‌چنین برای تطبیق مسئلهٔ دنیای واقعی با مدل مدنظر، از برخی فرضیات ساده‌کننده استفاده شده است.

به‌طورکلی شرایط بهینهٔ انبارداری باتوجه‌به نوع کالا متفاوت بوده است و به میزان مقاومت آن به درجهٔ حرارت‌های کم، رطوبت زیاد، اکسیژن کم و دی‌اکسیدکربن زیاد، میزان اتیلن و درنهایت میزان صدمات مکانیکی واردشده به میوه بستگی دارد. در اینجا به مهم‌ترین این شرایط در برخی از مرکبات اشاره می‌شود؛ بیشتر پرتقال‌ها بعد از برداشت بلافاصله و مستقیم به بازار عرضه یا فرآوری می‌شوند. معمولاً از انبار فقط برای ارقام تجاری استفاده می‌شود. برای سبزدایی پوست میوه از شرایط ۵- ۱پیپ یام اتیلن، ۲۹ - ۲۰ درجهٔ سانتی‌گراد و ۹۶ - ۹۰ درصد رطوبت استفاده می‌شود. به طور کلی پرتقال‌ها در دمای ۲-۷ درجهٔ سانتی‌گراد به‌مدت ۸-۱۲ هفته باتوجه‌به رقم و محل تولید قابل نگهداری هستند. از عوامل مشکل‌ساز در طول انبارداری پرتقال، کپک‌های سبز و آبی است که در دمای زیاد رخ می‌دهد.

فرضیاتی که برای حل مسئله در نظر گرفته شده است عبارتند از ۱- براساس نظر خبرگان تولیدکنندگان عمدهٔ پرتقال، شهرهای ساری و کرمان هستند؛ ۲- فاصله‌ها در برخی از موارد به‌صورت خط مستقیم استفاده شده است؛ ۳- افق برنامه‌ریزی برای سه دوره در نظر گرفته شده است؛ ۴- تعداد ۶۰ انبار میانی که ۳۰ انبار به‌صورت سنتی و ۳۰ انبار سردخانه است. اطلاعات مربوط به پارامترهای مسئله در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵- مشخصات تولیدکننده

| | ساری (تن) | کرمان (تن) |
|---|---|---|
| ظرفیت | ۴۵۰۰۰۰ | ۳۲۰۰۰۰ |
| ضریب فسادپذیری | ۰/۴۹ | ۰/۱۲ |
| هزینهٔ متغیر | ۱۹۰۰۰۰۰ | ۲۳۰۰۰۰۰ |
| هزینهٔ ثابت | ۰ | ۰ |

همچنین ظرفیت کامیون معمولی و یخچال‌دار به‌ترتیب ۱۰/۵ و ۶ تن در نظر گرفته شده است.

**حل عددی مدل**

مدل در دو حالت با در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالا در انبار و حین حمل و بدون در نظر گرفتن فسادپذیری حل شده است. برای حل مدل از نسخهٔ ۲۰۱۵ نرم‌افزار متلب استفاده شده است. تنظیم پارامترهای مدل به‌روش RSM انجام شده است. کیفیت جواب مدل باتوجه‌به تعداد کروموزوم‌ها در جدول ۶ آمده است.

برخی نتایج حاصل از حل مدل در حالت نخست و با در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالا به‌شرح جدول ۷ و ۸ است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۶- جواب‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم برحسب تعداد کروموزوم

| ردیف | تعداد کروموزوم | بهترین مقدار مدل با الگوریتم ژنتیک (میلیون) | ردیف | تعداد کروموزوم | بهترین مقدار مدل با الگوریتم ژنتیک (میلیون) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱ | ۴۲/۱ | ۱۳ | ۱۵۰۰ | ۴۳/۴ |
| ۲ | ۵۰ | ۴۲/۵ | ۱۴ | ۱۷۰۰ | ۴۳/۱ |
| ۳ | ۱۰۰ | ۴۲/۲۴ | ۱۵ | ۱۹۰۰ | ۴۳/۳ |
| ۴ | ۲۰۰ | ۴۲/۲۳ | ۱۶ | ۲۰۰۰ | ۴۳/۴ |
| ۵ | ۳۰۰ | ۴۲/۸ | ۱۷ | ۲۱۰۰ | ۴۳/۷ |
| ۶ | ۴۰۰ | ۴۲/۲۶ | ۱۸ | ۲۲۰۰ | ۴۳/۷ |
| ۷ | ۵۰۰ | ۴۲/۵ | ۱۹ | ۲۳۰۰ | ۴۳/۵ |
| ۸ | ۷۰۰ | ۴۲/۷ | ۲۰ | ۲۴۰۰ | ۴۳/۶ |
| ۹ | ۹۰۰ | ۴۳/۱ | ۲۱ | ۲۵۰۰ | ۴۳/۵ |
| ۱۰ | ۱۰۰۰ | ۴۲/۹ | ۲۲ | ۲۷۰۰ | ۴۳/۵ |
| ۱۱ | ۱۲۰۰ | ۴۳/۳ | ۲۳ | ۲۹۰۰ | ۴۳/۶ |
| ۱۲ | ۱۴۰۰ | ۴۳/۴ | ۲۴ | ۳۰۰۰ | ۴۳/۷ |

جدول ۷- مقدار کالای ارسالی از تولیدکننده‌ها به انبارهای میانی

| تولیدکننده | انبارهای میانی | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | C | D | E | F | B | H | K | L | M | N | O | P | Q | R |
| ساری | ۰ | ۰ | ۱۱۱۵ | ۴۴۶۲ | ۲۲۰۶ | ۵۱۰ | ۰ | ۱۱۱۴۰ | ۸۱۹ | ۰ | ۰ | ۷۹۴ | ۴۱۴۴ | ۹۲۹ | ۵۷۸ |
| کرمان | ۳۴۰۶ | ۲۸۱۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹۴۵ | ۰ | ۰ | ۶۰۶ | ۵۴۸۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| تولیدکننده | T | S | A | C | D | E | F | B | H | K | L | M | N | O | P |
| ساری | ۰ | ۴۲۰۳ | ۱۰۹۹ | ۱۰۵۳ | ۱۳۶۶ | ۰ | ۱۷۷۹ | ۰ | ۱۶۲۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۲۹۳ | ۱۴۴۳ | ۱۶۰۸ |
| کرمان | ۲۳۱۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲۶۸۷ | ۰ | ۶۰۲ | ۰ | ۲۲۶۹ | ۱۶۰۴ | ۲۸۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ |

جدول ۸- مقدار کالای فاسدشده در هر دوره

| دوره | انبارهای میانی | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | C | D | E | F | B | H | K | L | M | N | O | P | Q | R |
| نخست | ۱۲۴ | ۱۲۷ | ۲۳۳ | ۱۸۷ | ۱۸ | ۱۰۶ | ۴۲۵ | ۸۵ | ۴۰ | ۴۲۱ | ۱۰۱ | ۲۰۹ | ۸۲ | ۶۵ | ۱۴۲ |
| دوم | ۲۲ | ۱۳ | ۴۰ | ۲۸ | ۵ | ۷ | ۷۵ | ۱۲ | ۷ | ۷۳ | ۶ | ۴۰ | ۹ | ۵ | ۲۱ |
| سوم | ۵ | ۴ | ۱۰ | ۷ | ۱ | ۳ | ۱۹ | ۲ | ۲ | ۱۸ | ۲ | ۱۰ | ۲ | ۱ | ۶ |
| دوره | T | S | A | C | D | E | F | B | H | K | L | M | N | O | P |
| نخست | ۳۳۰ | ۸۵ | ۱۰۱ | ۶۱ | ۱۳۰ | ۱۴۰ | ۳۷ | ۱۱۲ | ۱۹۴ | ۶۰ | ۱۵۴ | ۶۷ | ۷۱ | ۱۱۲ | ۷۴ |
| دوم | ۵۲ | ۱۷ | ۷ | ۱۴ | ۱۹ | ۲۱ | ۶ | ۱۴ | ۳۰ | ۱۳ | ۲۵ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۰ |
| سوم | ۱۳ | ۴ | ۳ | ۳ | ۵ | ۶ | ۱ | ۴ | ۷ | ۳ | ۷ | ۳ | ۳ | ۴ | ۲ |

هزینهٔ کل سیستم در مرحلهٔ نخست و با فرض فسادپذیری کالاها۱۶۰۰۰ میلیارد ریال است. نتایج حاصل از حل مدل در حالت دوم و بدون در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالاها به‌شرح جدول ۹ است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۹- مقدار کالای ارسالی از تولیدکنندگان به توزیع‌کنندگان در مدل دوم

| شهر | انبارهای میانی | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | C | D | E | F | B | H | K | L | M | N | O | P | Q | R |
| ساری | ۳۴۰۶ | ۲۸۱۷ | ۱۱۴۲ | ۴۴۶۲ | ۲۲۰۶ | ۵۰۹۹ | ۹۴۵ | ۱۱۱۴۰ | ۸۱۹ | ۶۰۶ | ۵۴۸۱ | ۷۹۳ | ۴۱۴۴ | ۹۲۹ | ۵۷۸ |
| کرمان | ۰ | ۰ | 0 | 0 | 0 | 0 | ۰ | 0 | 0 | ۰ | ۰ | 0 | 0 | 0 | 0 |
| شهر | T | S | A | C | D | E | F | B | H | K | L | M | N | O | P |
| ساری | ۲۳۱۷ | ۴۲۰۳ | ۱۰۹۹ | ۱۰۵۳ | ۱۳۶۶ | ۲۶۸۷ | ۱۷۷۹ | ۶۰۲ | ۱۶۲۵ | ۲۲۶۹ | ۱۶۰۴ | ۲۸۱۱ | ۱۲۹۳ | ۱۴۴۳ | ۱۶۰۸ |
| کرمان | ۰ | 0 | 0 | 0 | 0 | ۰ | 0 | ۰ | 0 | ۰ | ۰ | ۰ | 0 | 0 | 0 |

هزینهٔ کل سیستم در حالت دوم ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال است. **خلاصهٔ مقایسهٔ نتایج حل مدل در دو حالت نخست (کالاها فسادپذیر هستند) و در حالت دوم (بدون در نظر گرفتن فرض فسادپذیری کالاها) در جدول ۱۰ آورده شده است.**

جدول ۱۰- مقایسه نتایج حل عددی مدل در دو حالت فسادپذیری کالا و بدون آن

| عامل مقایسه‌شده | حالت نخست (کالاها فسادپذیر) | حالت دوم (کالاها فسادپذیر نیستند) | تحلیل |
|---|---|---|---|
| هزینهٔ کل سیستم | ۱۶۰۰۰ میلیارد ریال | ۱۰۰۰۰ میلیارد ریال | افزایش هزینه‌های سیستم در حالت فسادپذیری کالاها |
| تأکید کاهش هزینه مدل بر | کاهش هم‌زمان مسافت و فسادپذیری کالاها | کاهش هزینهٔ حمل‌ونقل | توجه به فسادپذیری کالاها و استفاده از فناوری‌های نوین نگهداری کالاها |
| استفاده از انبارهای میانی | استفاده از انبارهای هر تولیدکننده | تنها از انبارهای یک تولیدکننده | استفادهٔ بهینه از انبارهای میانی |
| تعیین میزان فاسدشدن کالاها در انبار و حین حمل‌ونقل هر دوره | قابل تعیین و تشخیص | تشخیص‌ناپذیر | افزایش دقت مدل و کاربرد بیشتر آن در عمل |
| امکان بررسی سیستم‌های حمل‌ونقل و نگهداری مختلف زنجیره | وجود دارد | وجود ندارد | یافتن بهترین ترکیب سیستم نگهداری و حمل‌ونقل زنجیره |

## نتیجه‌گیری

یکپارچگی اطلاعاتی از روش‌های کارای بهبود عملکرد زنجیره‌های تأمین است. مهم‌ترین مزیت‌های استفاده از یکپارچگی در زنجیره تأمین در بخش‌های تولید - توزیع، افزایش عملکرد زنجیره در سطح مدیریتی و حداکثر سطح کیفیت کالای تحویلی به مشتری نهایی و کمینه‌کردن هزینه‌های کلی زنجیره است. در پژوهش جاری مدل ریاضی یکپارچهٔ سیستم تولید - توزیع در زنجیره با وجود انبارهای میانی در توزیع و در نظر گرفتن عامل فساد کالاها در انبار یا حین حمل‌ونقل ارائه شد.

باتوجه‌به غیرخطی‌بودن مدل پیشنهادی، نمی‌توان از روش‌های دقیق پژوهش در عملیات برای حل و یافتن جواب بهینه در مسائل با ابعاد بزرگ در زمان مناسب استفاده کرد. برای رسیدن به جواب مناسب و نزدیک به بهینه باید از روش‌های ابتکاری یا فراابتکاری استفاده کرد. در پژوهش جاری از الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای به‌دلیل تناسب

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر با مسئله استفاده شده است. مدل پیشنهادی با مثال عددی برای چند مسئله با ابعاد کوچک با روش‌های دقیق و الگوریتم پیشنهادی حل و از مقایسهٔ جواب‌های به‌دست‌آمده، دقت محاسباتی و صحت مدل تأیید شد.

برای اعتبارسنجی مدل در دنیای واقع، موردکاوی روی یکی از زنجیره‌های تأمین مواد غذایی فسادپذیر انجام شد. از اطلاعات واقعی ۱۰ سال گذشتهٔ این زنجیره استفاده و مدل در دو حالت با در نظر گرفتن عامل فساد کالا در انبار و حین حمل و بدون لحاظ آن عامل، حل شد. برای هر دو حالت، میزان تولید هرکدام از تولیدکنندگان، تخصیص بهینهٔ کالاها به انبارهای میانی توزیع‌کنندگان، میزان ارسال و تخصیص مراکز توزیع به خرده‌فروش‌ها و تعیین سیستم توزیع به دست آمد.

نتایج به‌دست‌آمده حاکی از این است که در یکپارچگی بخش‌های تولید – توزیع بدون محدودیت طول عمر کالاها، مهم‌ترین معیار از دیدگاه هزینه‌ای، فاصله است؛ بنابراین مدل‌های رایج پس از یکپارچگی مدل سعی در کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل بین‌شهری و تأکید بر حمل از انبارهای موجود در درون شهری را دارند؛ ولی در حالت دوم و با نظر گرفتن عامل فساد کالاها در مدل، یکپارچگی زنجیره ضمن توجه به کاهش هزینهٔ حمل‌ونقل، موجب سوق‌دادن زنجیره تأمین به استفاده از فناوری‌های نو در سیستم نگهداری و حمل دارد. نتیجهٔ این کار کاهش هزینهٔ فسادپذیری کالاها است. اگرچه در این حالت هزینه‌های نگهداری و حمل اندکی افزایش می‌یابند، درنهایت هزینهٔ کل زنجیره کاهش می‌یابد.

در مدلی که هزینه‌های فسادپذیری لحاظ نمی‌شود، حجمی بالغبر ۳۵٪ درصد از کالاها فاسد می‌شوند. این فاسدشدن ناشی از استفاده‌نکردن از سیستم‌های حمل‌ونقل و انبارداری مجهز به سردخانه و فناوری‌های جدید است. هزینهٔ اضافی که براثر فسادپذیری کالا متحمل می‌شود حدود ۶۰۰۰ میلیارد ریال است. این هزینه به‌دلیل استفاده‌نکردن از زنجیره تأمین سرد است؛ بنابراین در اثر تصمیم‌گیری مبنی‌بر استفاده از زنجیره تأمین سنتی، علاوه بر پیامدها و عوارض زیست‌محیطی، هزینه‌های زیاد فسادپذیری کالا بر زنجیره تحمیل می‌شود.

این پژوهش یک مدل پشتیبان است که به مدیران در اتخاذ تصمیمات بهتر باتوجه‌به شرایط و محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی کمک می‌کند و باعث استفاده از ظرفیت‌های نهفته در صنعت مواد غذایی و کشاورزی شود. زمینه‌های متعددی برای توسعهٔ این پژوهش در آینده وجود دارد؛ ازجمله، انجام تحلیل حساسیت روی پارامترهای ورودی مسئله و تنظیم پارامترهای روش حل برای تحلیل میزان تغییرات حاصله در جواب نهایی مدل. هم‌چنین در نظر گرفتن فرضیات دنیای واقعی در مدل‌سازی مسئله ازجمله تقاضا برای کالاها به‌صورت احتمالی، نرخ فسادپذیری براساس کیفیت مواد اولیه، تقاضای وابسته به قیمت محصول و در نظر گرفتن مسئله در فضای عدم‌قطعیت برای پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود. ساخت مدل ریاضی برای تعیین بهترین ترکیب نگهداری و سیستم حمل‌ونقل زنجیره تأمین یکی دیگر از پیشنهادات برای پژوهش‌های آتی است.

## References

Alavidoost, M., Zarandi M. H., F., Tarimoradi, M., & Nemati, Y. (2017). "Modified genetic algorithm for simple straight and U-shaped assembly line balancing with fuzzy processing times". *Journal of Intelligent Manufacturing*, 28(2), 313-336.

Chakraborty, D., D.K. Jana, and T.K. Roy, (2015). "Multi-item integrated supply chain model for deteriorating items with stock dependent demand under fuzzy random and bifuzzy environments".

www.SID.ir

Archive of SID

*Computers & Industrial Engineering*, 88,166-180.

Deb, K., Pratap, A., & Meyarivan T. (2002). "A fast and elitist multi objective genetic algorithm: NSGA-II". *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.

Fahimnia, B., L. Luong, and R. Marian, (2012). "Genetic algorithm optimisation of an integrated aggregate production–distribution plan in supply chains". *International Journal of Production Research*, 50(1), 81-96.

Giri, B. and S. Sharma, (2015). "An integrated inventory model for a deteriorating item with allowable shortages and credit linked wholesale price". *Optimization Letters*, 9(6), 1149-1175.

Haq, A.N., P. Vrat, and A. Kanda, (1991). "An integrated production-inventory-distribution model for manufacture of urea: a case". *International Journal of production economics*, 25(1-3), 39-49.

Haupt, R. L., & Haupt, S. E. (2004). "Practical genetic algorithms". *John Wiley & Sons*.

Hazen, B.T., J. B., Skipper, C. A., Boone, R. R., Hill, (2018). "Back in business: Operations research in support of big data analytics for operations and supply chain management". *Annals of Operations Research*, 270(1-2), 201-211.

Hugos, M. H. (2018). "Essentials of supply chain management". *John Wiley & Sons*.

Kim, Y., C. Yun, S. B., Park, S. Park, L. T. Fan, (2008). "An integrated model of supply network and production planning for multiple fuel products of multi-site refineries". *Computers & Chemical Engineering*, 32(11), 2529-2535.

Lee, S., and D. Kim, (2014). "An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production–distribution model with both deteriorating and defective items". *International journal of production economics*, 147, 161-170.

Lieder, M., and A. Rashid, (2016). "Towards circular economy implementation: a comprehensive review in context of manufacturing industry". *Journal of cleaner production*, 115, 36-51.

Martins, S., Amorim, P., and Almada-Lobo, B. (2018). Delivery mode planning for distribution to brick-and-mortar retail stores: discussion and literature review". *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 30(4), 785-812.

Mentzer, J.T., William, DeWitt, James, S., Keebler, Soonhong, Min, Nancy, W., Nix, Carlo, D. Smith, and Zach G. Zacharia (2001). "Defining supply chain management". *Journal of Business logistics*, 22(2), 1-25.

Monczka, R. M., R. B., Handfield, L. C. Giunipero, (2015). "Purchasing and supply chain management". *Cengage Learning*.

Ntabe, E. N., LeBel, L., Munson, A. D., Santa-Eulalia, L. A. (2015). "A systematic literature review of the supply chain operations reference (SCOR) model application with special attention to environmental issues". I*nternational Journal of Production Economics*, 169, 310-332.

Park, B. J., Choi, H. R., & Kang, M. H. (2007). "Integration of production and distribution planning using a genetic algorithm in supply chain management, in Analysis and design of intelligent systems using soft computing techniques". *Springer*, 416-426.

Ramezani, M., M. Bashiri, and R. Tavakkoli-Moghaddam, (2013). "A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level". *Applied Mathematical Modelling*, 37(1-2), 328-344.

Sarkar, B., Majumder, A., Sarkar, M., Dey, B. K. (2017). "Two-echelon supply chain model with manufacturing quality improvement and setup cost reduction". J*ournal of Industrial & Management Optimization*, 13(2), 1085-1104.

Wang, G., Angappa, Gunasekaran, Ngai, Eric, W. T.,Thanos, Papadopoulos, (2016). "Big data

www.SID.ir

Archive of SID

analytics in logistics and supply chain management: Certain investigations for research and applications". *International Journal of Production Economics*, 176, 98-110.

Wong, C.W., Lai, K., Cheng, T. C. E., Lun, Y. H. V. (2015). "The role of IT-enabled collaborative decision making in inter-organizational information integration to improve customer service performance". *International Journal of Production Economics*, 159, 56-65.

Wu, J., Al-khateeb, F. B., Teng, J. T., Leopoldo, EduardoCárdenas-Barrón, (2016). "Inventory models for deteriorating items with maximum lifetime under downstream partial trade credits to credit-risk customers by discounted cash-flow analysis". *International Journal of Production Economics*, 171, 105-115.

Yılmaz, P. and B. Çatay, (2006). "Strategic level three-stage production distribution planning with capacity expansion". *Computers & Industrial Engineering*, 51(4), 609-620.

[1]- Lieder and Rashid
[2]- Hazen
[3]- Ntabe
[4]- Monczka
[5]- Wong
[6]- Hugos
[7]- Wu
[8]- Haq
[9]- Yılmaz
[10]- Lee and Kim
[11]- Mentzer
[12]- Wang
[13]- Kim
[14]- Giri and Sharma
[15]- Sarkar
[16]- Martins
[17]- Chakraborty
[18]- Park
[19]- eb
[20]- Haupt

www.SID.ir