

# توسعه‌ی مدلی برای تعیین یک سیاست یکپارچه‌ی تولید - موجودی در زنجیره‌ی تأمین دوسطحی برای محصولات فاسد شدنی با در نظر گرفتن تخفیف مقداری

مهسا قندهاری\* (دانشیار)

گروه مدیریت، دانشکده‌ی علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان

مریم عبدی (دانشجوی کارشناسی ارشد)

دانشکده‌ی مدیریت صنعتی، دانشگاه اصفهان

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۳۹۹ (۱۳۹۹-۱)  
دوری (۱-۳۶)، شماره‌ی ۲/۲، ص. ۶۳-۷۶

در این مقاله یک مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی برای زنجیره‌ی تأمین دو سطحی شامل یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش با در نظر گرفتن کیفیت مواد اولیه و محصول نهایی، قیمت محصول نهایی بر اساس طول عمر باقی‌مانده و تخفیف‌های مقداری برای مواد اولیه ارائه می‌شود. هدف اصلی در این پژوهش به دست آوردن تعداد محموله مواد خام وارد شده، تعداد محموله‌ی محصول نهایی تحویل داده شده به خرده‌فروشان در یک چرخه‌ی تولید و زمان چرخه‌ی تولید است به طوری که سود کل سیستم بیشینه شود. در مدل ریاضی NLMIP پیشنهادی نرخ تولید و تقاضا ثابت فرض شده و کمبود مجاز نیست. برای نمایش عملکرد مدل و الگوریتم، به حل یک مثال و تحلیل حساسیت پرداخته می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که بسته به میزان نرخ زوال، تعداد و حجم سفارشات تغییر می‌کنند به صورتی که با افزایش این نرخ تعداد سفارشات افزایش و میزان آنها کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی: کنترل موجودی، زنجیره‌ی تأمین، کالای فاسد شدنی، تخفیف

مقداری، مدل‌سازی ریاضی.

m.ghandehari@ase.ui.ac.ir

maryam.abdi@ase.ui.ac.ir

## ۱. مقدمه

از این محصولات از سوی دیگر می‌شود، امری ضروری به نظر می‌رسد. می‌توان با هماهنگ‌سازی سیاست تولید و موجودی با تقاضا در سراسر زنجیره‌ی تأمین، از این عدم تطابق عرضه و تقاضا پیشگیری کرد.

به سبب جهانی‌سازی و افزایش رقابت، یکپارچه‌سازی زنجیره‌ی تأمین به طور فزاینده‌ی مورد توجه واقع شده و در مطالعات مختلفی این مطلب مورد بررسی قرار گرفته است. به‌عنوان نمونه پارک (۱۹۸۳) در پژوهش خود با فرض این که مواد اولیه در زمان ذخیره‌سازی و قبل از استفاده کیفیت خود را از دست می‌دهند، یک مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی ارائه داد. هدف او از این پژوهش کمینه‌سازی هزینه‌ی سالانه‌ی کل زنجیره است.<sup>[۱]</sup> رافت (۱۹۸۵) مدل پارک را با در نظر گرفتن فسادپذیری مواد اولیه در زمان ذخیره‌سازی و خرابی کالاهای نهایی توسعه داد.<sup>[۲]</sup> گویال و گوناسکاران (۱۹۹۵) به منظور تعیین مقدار تولید اقتصادی و مقدار سفارش اقتصادی برای مواد خام در یک سیستم تولید چندسطحی و با هدف بیشینه‌سازی سود کل سیستم، به بررسی مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی - بازاریابی پرداخته‌اند.<sup>[۳]</sup> در مدل‌های بحث شده تاکنون اثر مدیریت دریافت و تحویل کالا بر کیفیت موجودی همچنین قیمت کالا در نظر گرفته شده است. هل در سال (۱۹۹۷) به بررسی مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی با یک فروشنده و یک خریدار پرداخته است. در این مدل یک فروشنده (تولیدکننده) انباشت‌هایی به اندازه‌ی

همانگی در زنجیره‌ی تأمین از یک سو باعث کاهش هزینه‌ها و کاهش اتلاف‌ها و از سوی دیگر باعث افزایش درآمد می‌شود. برخی مطالعات نشان داده‌اند که سالانه حدود یک‌سوم از مواد غذایی تولید شده در سراسر جهان در مراحل مختلف زنجیره‌ی تأمین از بین می‌رود.<sup>[۱]</sup> بیشتر این زوال در مرحله‌ی تولید محصول و به‌صورت تولید بیش از حد به دلیل عدم هماهنگی بین بخش‌های درگیر در زنجیره‌ی تأمین رخ می‌دهد؛ میزان این زوال در کشورهای صنعتی حدود ۴۰ درصد است.<sup>[۱]</sup> می‌توان با هماهنگ‌سازی سیاست تولید و موجودی در سراسر زنجیره‌ی تأمین اثرات سوء ناشی از این عدم هماهنگی را کاهش داد. در بسیاری از سیستم‌های موجودی، فاسد شدن اقلام یک پدیده‌ی واقعی است. برخی داروها، مایعات فرار، خون انسان (بانک خون)، مواد غذایی و بسیاری دیگر از کالاها دچار پدیده‌ی زوال (مانند تبخیرشدگی، آسیب‌دیدگی و فساد) در طول دوره‌ی انباشت خود می‌شوند. با توجه به کاربرد گسترده‌ی این‌گونه اقلام در جوامع و با عنایت به این که برخی از این اقلام نقش مهمی در زندگی انسان دارند، مطالعه پیرامون سیاست بهینه‌ی موجودی که موجب کاهش هزینه‌ی تأمین‌کنندگان، خرده‌فروش‌ها و مشتریان از یک سو و استفاده‌ی بهینه

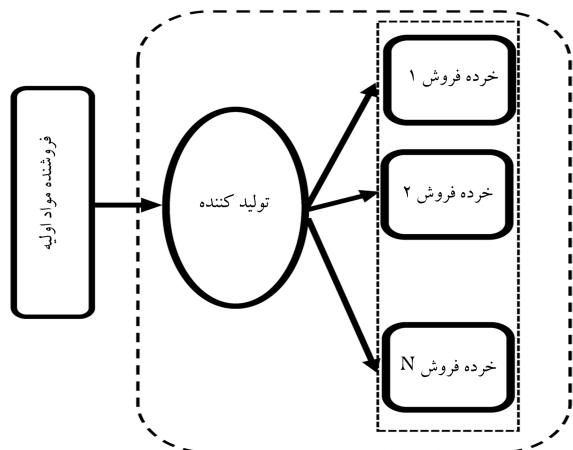
\* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۳۹۸/۱۰/۳۰، اصلاحیه ۱۳۹۹/۲/۲۱، پذیرش ۱۳۹۹/۴/۲۲.

DOI:10.24200/J65.2020.54761.2072

$Q$  را طی  $n$  بار، با اندازه‌هایی به ترتیب  $q_1, q_2, \dots, q_n$  به یک خریدار ارسال می‌کند. اندازه‌ی  $i$  امین ارسال برابر است با  $q_i \times \lambda^{i-1}$  که در آن  $1 \leq \lambda \leq \frac{P}{D}$  است.<sup>[۵]</sup> گویال (۲۰۰۰) با در نظر گرفتن مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی، تک‌فروشنده - تک‌خریدار هل، روش ساده‌ی برای مقداردهی اندازه‌های ارسالی ارائه کرده است.<sup>[۶]</sup> هوکیو و گویال (۲۰۰۰) به تعیین سیاست بهینه‌ی برای سیستم یکپارچه‌ی تولید - موجودی متشکل از یک خریدار و یک فروشنده، پرداخته‌اند. در مدل آن‌ها، نرخ تقاضا قطعی و ثابت فرض شده، کمبود مجاز نیست و زمان حمل‌ونقل ناچیز (صفر) در نظر گرفته شده است. همچنین آن‌ها تمام انباشته‌ی تولیدی را در بسته‌های یکسان یا غیر یکسان منتقل می‌کنند و هزینه‌ی ثابتی برای هر بار ارسال محاسبه می‌شود.<sup>[۷]</sup> یانگ و وی (۲۰۰۲) در کار خود مدلی برای برنامه‌ریزی یکپارچه‌ی تولید - موجودی کالاها را فاسدشدنی ارائه داده‌اند. این مدل به بررسی حالت تک‌محصولی و سیستمی متشکل از یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش اختصاص یافته است. هدف، کمیته‌سازی هزینه‌ی کل سیستم بوده و مدل با فرض نرخ محدود تولید و تقاضا و زمان انتظار ناچیز در نظر گرفته شد.<sup>[۸]</sup> راو و همکاران (۲۰۰۳) یک مدل موجودی برای محصولات فاسدشدنی در یک زنجیره‌ی تأمین چندسطحی با هدف کمیته‌سازی هزینه‌های کل زنجیره ارائه کرده‌اند و با حل یک مثال عددی نشان دادند که استراتژی رویکرد یکپارچه، هزینه‌ی کمتری در مقایسه با تصمیم‌گیری مستقل ارائه می‌دهد.<sup>[۹]</sup> یانگ و وی (۲۰۰۳) و راو و همکاران (۲۰۰۴) مدل رفت را با در نظر گرفتن تعدادی از سیاست‌های حمل‌ونقل در یک چرخه‌ی تولید در زنجیره‌ی تأمین چندسطحی توسعه داده‌اند.<sup>[۱۰]</sup> زانونی و همکاران (۲۰۰۷) مسئله‌ی یکپارچه‌ی موجودی و حمل و نقل کالاها را فاسد شدنی با طول عمر مشخص را در حالت یک فروشنده و یک خریدار بررسی کرده و برای حل آن یک الگوریتم ابتکاری ارائه کرده‌اند.<sup>[۱۱]</sup> لئو و چانگ (۲۰۰۹) میزان سفارش اقتصادی کالاها را فسادپذیر در یک زنجیره‌ی تأمین را که پرداخت معوقه در آن‌ها مجاز است، به‌گونه‌ی بررسی کرده‌اند که تأمین‌کننده به خرده‌فروش و خرده‌فروش به مشتری این اجازه را می‌دهند که هزینه‌هایشان را با تأخیر پرداخت کنند.<sup>[۱۲]</sup> یان و همکاران (۲۰۱۱) با فرض این که نرخ تولید و تقاضا ثابت و کمبود مجاز نیست به توسعه‌ی یک مدل یکپارچه‌ی تولید، ذخیره‌سازی و توزیع برای اقلام فاسدشدنی در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی پرداخته‌اند و با هدف کمیته‌سازی کل هزینه‌های سیستم روشی برای انجام تصمیم‌گیری‌های بهینه در یک زنجیره‌ی تأمین ارائه کرده‌اند.<sup>[۱۳]</sup> وانگ و همکاران (۲۰۱۱) یک مدل بهینه‌سازی سیاست‌های کنترل موجودی برای کالای فسادپذیر با نرخ فاسد شدن متناسب با زمان در یک زنجیره‌ی تأمین سه سطحی شامل یک تولیدکننده، یک توزیع‌کننده و یک خرده‌فروش ارائه داده‌اند.<sup>[۱۴]</sup> در مدل‌های تولید - موجودی مورد بحث، تا این جا اگرچه تعداد دریافت‌های سفارشات مواد اولیه به‌عنوان عاملی برای کاهش زوال در نظر گرفته شده است اما اثرگذشت زمان بر کیفیت ماده‌ی اولیه و در نهایت بر محصول دیده نشده است. وانگ و همکاران (۲۰۱۱) به‌منظور برنامه‌ریزی یک پارچه‌ی تولید و توزیع، روشی برای مدل‌سازی تخریب کیفیت مواد غذایی - به‌گونه‌ی که در یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلف قابل استفاده باشد - ارائه دادند. از روش آن‌ها می‌توان برای طراحی و راه‌اندازی سیستم‌های توزیع مواد غذایی با استفاده از کیفیت مواد غذایی و معیارهای هزینه بهره جست.<sup>[۱۵]</sup> کاردناس بارون و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهش خود یک الگوریتم بهبودیافته را توسعه داده و به حل مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی پرداختند. از ویژگی‌های کار آن‌ها می‌توان به تقاضای وابسته به قیمت، در نظر گرفتن چندین خرده‌فروش و تأثیر فسادپذیری کالا برای شبیه‌سازی تجارت واقعی اشاره کرد.<sup>[۱۶]</sup> قیامی و همکارانش (۲۰۱۳) در پژوهش خود به بررسی یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی شامل یک

عمده‌فروش و یک خرده‌فروش برای موجودی اقلام فسادپذیر پرداختند. در پژوهش آن‌ها انبار خرده‌فروش دارای محدودیت ظرفیت است و هدف کمیته‌سازی هزینه‌ی کل سیستم است. نرخ تقاضا در سمت عمده‌فروش وابسته به موجودی در نظر گرفته شده است و در صورت بروز کمبود، تقاضا بخشی پس افت می‌شود.<sup>[۱۷]</sup> در سه مدل یاد شده اثر شکستن تعداد تحویل‌های مواد اولیه در هر دوره به تولیدکننده و خرده‌فروشان لحاظ نشده و تقاضا مستقل از عمر محصول در نظر گرفته شده است. پورعلیخانی و همکاران (۲۰۱۳) مدل موجودی برای یک تولیدکننده با اقلام فسادپذیر را توسعه دادند که در آن فساد از توزیع و ایبال پیروی می‌کند. هدف آن‌ها پیدا کردن زمان بهینه‌ی تولید، تعداد دوره‌های تحویل کالا و همچنین قیمت مناسب فروش است به طوری که سود بیشینه شود. آن‌ها در مدل خود اثرگذشت زمان در کیفیت مواد اولیه و نهایتاً در کیفیت تولید را در نظر نگرفتند.<sup>[۱۸]</sup> چانگ و همکاران (۲۰۱۴) یک مدل موجودی مقدار اقتصادی تولید تحت دو سطح اعتبار تجاری در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی را ارائه دادند که در آن عرضه‌کننده به خرده‌فروش و خرده‌فروش به مشتریان یک دوره، تأخیر مجاز را برای پرداختن هزینه‌ها فراهم می‌کند. هدف آن‌ها از ارائه‌ی این مدل تعیین بهینه‌ی سیاست بازپرسازی به منظور کمیته‌سازی هزینه‌های کل سیستم است.<sup>[۱۹]</sup> طلعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI) برای زنجیره‌ی تأمین دوسطحی - شامل یک فروشنده و چند خرده‌فروش غیررقابتی با نرخ زوال مواد اولیه و محصول نهایی متفاوت - را توسعه دادند. آن‌ها در مدل خود فرض کردند که تقاضا برای محصول نهایی قطعی و قیمت دارای حساسیت است. مدل پیشنهادی آن‌ها قیمت خرده‌فروش، تعداد بازپرسازی مواد اولیه، چرخه‌ی بازپرسازی محصول و میزان تولید مشترک را به‌منظور بیشینه‌سازی کل سود زنجیره‌ی تأمین بهینه‌سازی می‌کند.<sup>[۲۰]</sup> در مدل یاد شده تولیدکننده‌ی در نظر گرفته نشده و تنها به بررسی سیاست‌های تحویل و سفارش‌دهی در یک زنجیره‌ی تأمین بعد از تولیدکننده پرداخته شده است. فوزا و همکاران (۲۰۱۶) یک مدل با هدف بیشینه‌سازی سود کل زنجیره‌ی تأمین - شامل یک فروشنده و چند خریدار - را ارائه دادند. در مدل آن‌ها به کیفیت مواد اولیه و محصول نهایی هر دو توجه شده است. به این صورت که مواد اولیه در لحظه‌ی تحویل به تولیدکننده، بیشترین کیفیت را دارند اما با گذشت زمان، این کیفیت با یک نرخ ثابت کاهش می‌یابد که این امر باعث ایجاد هزینه‌هایی برای تولیدکننده می‌شود. همچنین قیمت‌گذاری محصول نهایی برحسب طول عمر باقی‌مانده از محصول است.<sup>[۲۱]</sup> در مدل فوزا تعداد تحویل‌ها برای تمام خرده‌فروشان معادل در نظر گرفته شده است تا به این وسیله توسعه‌ی مدل ریاضی تسهیل شود. هنرور و دوزنده (۲۰۱۶) یک سیستم چندسطحی شامل یک تولیدکننده و چند خریدار با کالای فسادپذیر و امکان بازگشت کالا برای تولید مجدد را بررسی کردند. آن‌ها یک مدل حلقه‌بسته با پارامترهای قطعی در نظر گرفتند و برای کمیته‌سازی هزینه‌ی زنجیره مقدار بهینه‌ی اندازه‌ی بازپرسازی و طول چرخه را محاسبه کردند.<sup>[۲۲]</sup> در مدل هنرور و دوزنده مقدار تولید تنظیم نمی‌شود و تنها مقدار تحویل به هر خرده‌فروش تنظیم می‌شود. دولگوی و همکارانش (۲۰۱۷) یک مدل ریاضی برای سیاست یکپارچه‌ی تولید، موجودی و توزیع برای محصول فاسد شدنی در یک زنجیره‌ی تأمین چندسطحی ارائه داده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود نرخ تخریب را نامایی، افق زمانی را محدود و کمبود را غیرمجاز در نظر گرفته‌اند. هدف آن‌ها از این پژوهش کمیته‌سازی هزینه‌های کل سیستم بود و برای حل مدل از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده کرده‌اند.<sup>[۲۳]</sup> نوری داریان و طلعی‌زاده (۲۰۱۸) مدل تولید در یک زنجیره‌ی تأمین سه‌سطحی با یک تأمین‌کننده، یک تولیدکننده و چند خرده‌فروش را در دو حالت یکپارچه و غیر یکپارچه در نظر گرفتند. بازپرسازی خرده‌فروشان هم‌زمان انجام می‌شود اما مقدار بازپرسازی لزوماً یکسان نیست. آن‌ها چرخه‌ی بازپرسازی برای



شکل ۱. جریان مواد و محصول در زنجیره تأمین.

اولیه‌ی مورد نیاز در هر چرخه‌ی تولید به صورت چندین محموله به دست تولیدکننده می‌رسد.

در صنایع غذایی، محدوده‌ی زمانی چاپ شده در بسته‌بندی، شاخصی برای اطمینان بخشی توسط تولیدکننده است. مشتریان اغلب از این اطلاعات برای درک بیشتر کیفیت محصولات استفاده می‌کنند. طول عمر باقی‌مانده بیشتر نشان‌گر تازه‌تر بودن محصول است و بنابراین مشتریان حاضر به پرداختن قیمت واقعی آن محصول هستند. اما هرچه محصول به تاریخ انقضاء نزدیک می‌شود، تمایل مشتری برای پرداخت کاهش می‌یابد. بنابراین قیمت فروش محصول توسط فروشنده کاهش داده می‌شود تا تقاضا را تحریک کند. در این پژوهش کاهش قیمت به صورت خطی فرض شده است. بنابراین قیمت محصول قبل از رسیدن به زمان شروع دوره فساد، ثابت و بیشینه است. اما پس از شروع زمان فساد به دلیل کاهش تمایل مشتری به پرداخت، برای ثابت نگه داشتن نرخ تقاضا، قیمت محصول کاهش می‌یابد. در نهایت زمانی که محصول به تاریخ انقضاء می‌رسد قیمت کمینه دارد. برای کاهش ضرر ناشی از فرایند کاهش کیفیت و در نتیجه قیمت و با توجه به این که سن محصول از زمان تولید محاسبه می‌شود، ارسال محصول به صورت چندین محموله به دست خرده‌فروشان، تازه‌تر بودن محصولات را تضمین و موجب افزایش تمایل مشتری برای پرداخت و در نهایت موجب افزایش سود خرده‌فروشان می‌شود. در این مسئله سؤال اصلی یافتن طول دوره‌ی تولید و تعداد دفعات بازپرسازی برای هر خرده‌فروش در طول دوره است، به نحوی که سود کل بیشینه شود.

## ۲.۲. مفروضات

مفروضات مسئله‌ی مورد نظر عبارت‌اند از:

- میزان تولید و سطح تقاضا معلوم و ثابت‌اند؛
- هزینه‌ی حمل‌ونقل توسط خرده‌فروشان پرداخت می‌شود؛
- کیفیت مواد اولیه در هنگام تحویل به تولیدکننده بیشینه است که با گذشت زمان و با یک نرخ ثابت کاهش می‌یابد؛
- هرچه به زمان خراب شدن نزدیک می‌شود به صورت خطی کاهش می‌یابد؛
- مدت زمان تحویل صفر در نظر گرفته شده است؛
- کمبود مجاز نیست.

خرده‌فروشان را به عنوان متغیر تصمیم در نظر گرفته و با استفاده از رویکرد استکلبرگ برای مدل‌هایی ارائه دادند. در مدل آنها چنان که گفته شد تنها متغیر تصمیم مقدار بازپرسازی برای خرده‌فروشان است و کالا فساد پذیر نیست.<sup>[۲۵]</sup> سینگ (۲۰۱۹) یک مدل تولید موجودی با تقاضای وابسته به قیمت را در نظر گرفت. در مدل او تقاضا تابعی صعودی نسبت به زمان و سطح موجودی و نزولی نسبت به قیمت بود. نرخ فساد در مدل او ثابت و هزینه‌ها همگی ثابت و معلوم در نظر گرفته شده و کمبود به صورت فروش از دست رفته‌ی جزئی است. او به منظور حل مدل از یک الگوریتم جست‌وجو برای یافتن زمان بهینه‌ی تولید استفاده کرد.<sup>[۲۶]</sup> شن و همکاران (۲۰۲۰) مدل موجودی برای محصولات تازه‌ی کشاورزی در حالت همکاری کشاورزان، مراکز توزیع و سوپرمارکت‌ها را ارائه کرده‌اند. در مدل آنها تقاضا تحت تأثیر عمر محصول و قیمت است و مراکز توزیع مسئول ذخیره پردازش و توزیع کالا و هماهنگ‌سازی تولید کشاورزان و فروش سوپرمارکت‌ها هستند. در مدل آنها فساد در هر مرحله در نظر گرفته شده است اما به علت ماهیت مسئله، تعیین مقدار تولید یا دوره‌ی تولیدی در نظر گرفته نشده است. از طرفی در نظر گرفتن نحوه‌ی دریافت و مدیریت مواد اولیه در این مسئله ذاتاً متنی است.<sup>[۲۷]</sup>

مدل مورد بحث در این پژوهش از نظر ساختار به مدل فوزا و همکاران (۲۰۱۶) بسیار نزدیک است. اگر چه آنها علاوه بر تمرکز بر تنظیم تحویل‌ها به خرده‌فروشان، میزان تولید در هر بار تولید و تعداد تحویل‌های مواد اولیه در هر بار تولید و کیفیت مواد اولیه را در مدل در نظر گرفتند، اما تعداد تحویل‌ها به هر خرده‌فروش در هر دوره‌ی تولید را معادل در نظر گرفتند. این فرض در حالتی که در عمل خرده‌فروشان با امکانات ذخیره و حجم تقاضای متفاوتی روبرو هستند، غیر واقعی است. از طرفی با توجه به این واقعیت که به منظور کاهش میزان فساد مواد اولیه، در هر دور تولید  $n$  بار مبادرت به خرید این مواد می‌شود، به نظر می‌رسد که امکان بهره‌برداری از تخفیفات مقداری عرضه شده توسط تولیدکنندگان مواد اولیه نادیده انگاشته شده است. در مدل توسعه یافته در این مقاله علاوه بر تعیین تعداد خریدهای مواد اولیه و میزان تولید در هر بار تولید، مقدار تحویل به خرده‌فروشان و تعداد تحویل‌ها در هر دوره‌ی تولیدی به نحوی تنظیم می‌شود که سود بیشینه شود. در نهایت پس از حل چند مثال، اثر تخفیف مقداری بر حجم خرید مواد اولیه را مشاهده می‌کنیم.

## ۲. تعریف مسئله، مفروضات و نمادها

در این بخش به منظور توسعه‌ی مدل ریاضی، به تعریف مسئله و مفروضات و نمادهای آن با جزئیات بیشتر می‌پردازیم.

### ۱.۲. تعریف مسئله

در این جا یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی - شامل یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش و یک محصول فاسد شدنی مانند محصولات لبنی یا غذاها و سبزیجات بسته‌بندی - در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱). میزان تولید در این سیستم محدود است؛ به این معنی که موجودی به طور مداوم در طول دوره‌ی تولیدی ایجاد می‌شود و هم‌زمان توسط تقاضا در یک دوره‌ی زمانی تخلیه می‌شود. مواد اولیه که وارد سایت تولیدکننده می‌شوند، تحت تأثیر عواملی که موجب از بین رفتن مواد اولیه می‌شود، با یک نرخ ثابت کیفیت خود را از دست داده و باعث ایجاد هزینه‌هایی برای تولیدکننده می‌شوند. بنابراین برای کاهش ضرر ناشی از موارد یاد شده، مواد

### ۳.۲. نمادها

در این قسمت اندیس‌ها و نمادهای مورد استفاده در مدل ریاضی معرفی می‌شود. نمادهای مورد استفاده در این نوشتار مشابه نمادهای فوزا و همکاران (۲۰۱۶) است، اما از آنجا که مدل تعریف شده، توسعه یافته‌ی مدل آنهاست لذا برخی نمادهای جدید نیز در این‌جا مورد استفاده قرار گرفته است.

#### • معرفی اندیس‌ها

$i$ : شماره دسته‌ی تحویلی به خرده‌فروش ( $i = 1, 2, \dots, n$ )؛  
 $j$ : شماره خرده‌فروش ( $j = 1, 2, \dots, N$ ).

#### • پارامترها و متغیرها

$D$ : مجموع نرخ تقاضای خرده‌فروشان؛

$P$ : نرخ تولید؛

$\alpha$ : نسبت تقاضای کل به میزان تولید؛

$k$ : نرخ فساد؛

$\eta$ : ضریب قدرت مربوط به مدل جنبشی؛

$Q_{\max}$ : بیشترین سطح کیفیت مواد اولیه؛

$Q_{\min}$ : کمترین سطح کیفیت از مواد اولیه؛

$Q(t)$ : سطح کیفیت مواد اولیه در زمان  $t$ ؛

$\tau_{\max}$ : بیشترین مدت زمان برای ذخیره‌ی مواد اولیه در انبار؛

$C_{Raw}$ : هزینه‌ی خرید مواد اولیه؛

$A_{Raw}$ : هزینه‌ی ثابت تدارک مواد اولیه؛

$q_{Raw}$ : مقدار سفارش مواد اولیه؛

$H_{Raw}$ : هزینه‌ی نگهداری مواد اولیه؛

$C_{Loss}$ : هزینه‌ی از دست دادن کیفیت؛

$L$ : کل هزینه‌ی از دست دادن کیفیت؛

$TC_{Raw}$ : کل هزینه‌ی تهیه و حمل‌ونقل مواد اولیه؛

$C_{mfc}$ : هزینه‌ی تولید؛

$A_{mfc}$ : هزینه‌ی راه‌اندازی تولید؛

$H_{mfc}$ : هزینه‌ی نگهداری کالای نهایی در سایت تولید؛

$I_{mfc}$ : متوسط موجودی کالای نهایی در سایت تولید؛

$\tau_{Run}$ : طول دوره تولید؛

$TC_{mfc}$ : کل هزینه‌ی پردازش و بارگیری و تخلیه‌ی محصول نهایی در سایت تولید؛

$TR_{mfc}$ : درآمد تولیدکننده؛

$TP_{mfc}$ : کل سود تولیدکننده؛

$C_{ret}$ : قیمت فروش کالا از تولیدکننده به خرده‌فروشان؛

$d_{ret-j}$ : نرخ تقاضای خرده‌فروش  $j$ ؛

$H_{ret-j}$ : هزینه‌ی نگهداری کالای نهایی در خرده‌فروش؛

$A_{ret-j}$ : هزینه‌ی حمل‌ونقل برای تحویل کالا به خرده‌فروش؛

$\tau_{SL}$ : مدت ماندگاری محصول؛

$\tau_{Start}$ : زمان شروع کاهش تمایل مشتری برای خرید؛

$P_{\max}$ : بیشترین قیمت محصول؛

$P_{\min}$ : کمترین قیمت محصول؛

$P(t)$ : قیمت محصول در زمان  $t$ ؛

$E_{ij}$ : سن محموله  $i$  وقتی وارد خرده‌فروش  $j$  می‌شود؛

$q_{ret-j}$ : مقدار سفارش خرده‌فروش  $j$ ؛

$\tau_{\Delta}$ : فاصله تحویل کالای نهایی؛

$TC_{ret}$ : کل هزینه‌ی خرده‌فروشان؛

$R_{ij}$ : درآمد حاصل از فروش محموله  $i$  در خرده‌فروش  $j$ ؛

$TR_{ret}$ : کل درآمد خرده‌فروشان؛

$TP_{ret}$ : سود کل خرده‌فروشان؛

$TP$ : کل سود سیستم زنجیره‌ی تأمین یکپارچه؛

$m$ : تعداد ورودی‌های محموله‌های مواد اولیه در یک چرخه‌ی تولید؛

$n$ : تعداد تحویل‌های محصول نهایی در یک چرخه‌ی تولید؛

$T$ : زمان چرخه‌ی تولید.

### ۳. مدل‌سازی ریاضی

قبل از سازماندهی مدل‌های تولید - موجودی مورد بحث در این مقاله به نحوه‌ی فرموله کردن میزان کیفیت از دست رفته‌ی مواد اولیه و همچنین قیمت‌گذاری بر اساس طول عمر پرداخته و سپس به ایجاد مدل می‌پردازیم.

#### ۱.۳. کیفیت از دست رفته‌ی مواد اولیه

میزان کیفیت مواد اولیه‌یی که وارد سایت تولیدکننده می‌شود تحت تأثیر شرایط ذخیره‌سازی مانند دما و رطوبت قرار می‌گیرد. این پژوهش از روش مدل جنبشی برای نشان دادن نرخ از دست رفتن کیفیت مواد اولیه استفاده می‌کند:

$$\frac{dq}{dt} = kQ^n \quad (1)$$

در ابتدای تحویل کیفیت مواد اولیه بیشینه فرض می‌شود. هنگامی که مواد وارد سایت تولیدکننده می‌شود کیفیت مواد با گذشت زمان و با نرخ ثابت  $k$  کاهش می‌یابد. با فرض این که مواد اولیه دارای نرخ ثابت کاهش معادل ( $\eta = 1$ ) است. بنابراین کیفیت مواد اولیه در طول زمان توسط معادله زیر به دست می‌آید:

$$Q(t) = Q_{\max} - kt \quad (2)$$

با فرض این که برای تولید یک واحد محصول نهایی، یک واحد از مواد اولیه مورد نیاز باشد، مواد اولیه با نرخ  $D$  در طول زمان تولید مصرف می‌شوند. طول دوره‌ی تولیدی از رابطه‌ی ۳ به دست می‌آید:

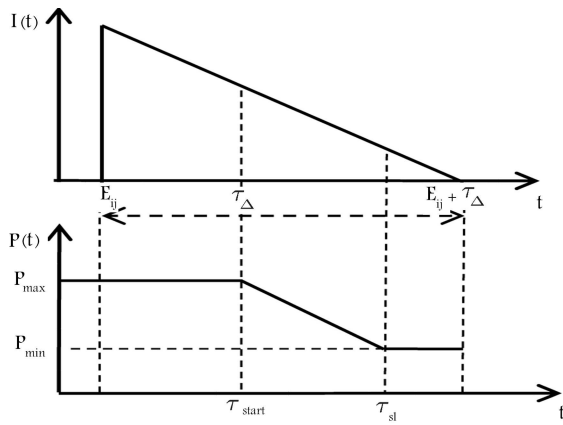
$$\tau_{Run} = \frac{DT}{P} \quad (3)$$

که در آن  $m$  تعداد محموله‌ی مواد اولیه‌ی ورودی به سایت تولیدکننده است. بنابراین مواد اولیه در فاصله‌ی زمانی  $\frac{\tau_{Run}}{m}$  با بالاترین کیفیت دست تولیدکننده می‌رسد و میزان محصول با نرخ  $P$  و کیفیت محصول با نرخ  $k$  از بین می‌رود.

با توجه به شکل ۲ کیفیت از دست رفته‌ی مواد اولیه در زمان  $t$  از رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید:

$$\Delta Q = Q_{\max} - Q(t) \quad (4)$$

بنابراین کل هزینه‌ی از دست دادن کیفیت مواد اولیه در واحد زمان مطابق معادله‌ی ۵



شکل ۳. رابطه‌ی قیمت و سطح موجودی با عمر محصول.

$$P(t) = \begin{cases} P_{\max} & \tau < \tau_{Start} \\ P_{\min} + \frac{P_{\max} - P_{\min}}{\tau_{SL} - \tau_{Start}} (\tau_{SL} - t) & \tau_{Start} \leq t \leq \tau_{SL} \\ P_{\min} & t > \tau_{SL} \end{cases} \quad (8)$$

خرده‌فروشان تمایل دارند به منظور کسب درآمد بیشتر در  $E_{ij}$  کمتر از  $\tau_{Start}$  محموله‌ی خود را دریافت کنند. بنابراین هر محموله‌ی دریافت شده توسط خرده‌فروش بر اساس بیشترین عمر در زمان مصرف یا  $E_{ij} + \tau_{\Delta}$  یکی از سه حالت زیر را دارد که برحسب آن درآمد خرده‌فروش از فروش هر محموله محاسبه می‌شود:

۱. اگر  $E_{ij} + \tau_{\Delta} < \tau_{Start}$  باشد درآمد خرده‌فروش  $z$  از محموله‌ی  $i$  عبارت است از:

$$R_{ij}(n, T) = d_{ret-j} P_{\max} \tau_{\Delta} \quad (9)$$

۲. اگر  $\tau_{Start} \leq E_{ij} + \tau_{\Delta} \leq \tau_{\Delta} \leq \tau_{SL}$ ، آنگاه درآمد خرده‌فروش  $z$  از محموله‌ی  $i$  عبارت است از:

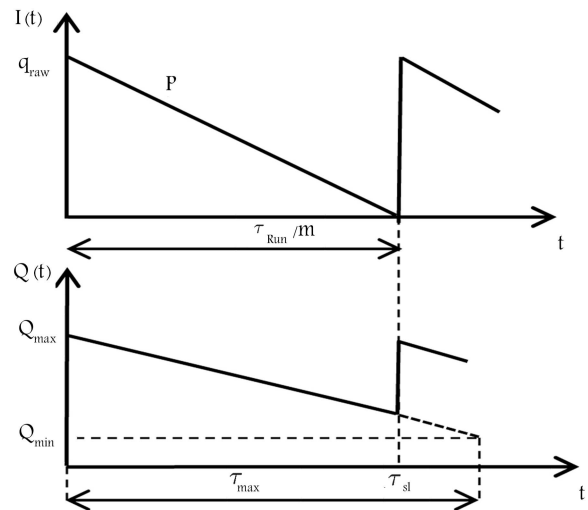
$$R_{ij}(n, T) = d_{ret-j} \left[ P_{\max} (\tau_{Start} - E_{ij} + \int_{\tau_{Start}}^{E_{ij} + \tau_{\Delta}} P(t) dt) \right] \quad (10)$$

۳. اگر  $E_{ij} + \tau_{\Delta} \geq \tau_{SL}$ ، آنگاه درآمد خرده‌فروش  $z$  از محموله‌ی  $i$  عبارت است از:

$$R_{ij}(n, T) = d_{ret-j} [P_{\max} (\tau_{start} - E_{ij}) + \int_{\tau_{Start}}^{E_{ij} + \tau_{\Delta}} P(t) dt + P_{\min} (E_{ij} + \tau_{\Delta} + \tau_{SL})] \quad (11)$$

### ۳.۳. مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی با فرض برابری تعداد محموله دریافتی خرده‌فروشان (مدل ۱)

یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی با یک تولیدکننده و چندین خرده‌فروش را در نظر بگیرید. تولیدکننده تقاضای تمام خرده‌فروشان را طی دوره  $T$  تولید می‌کند و سپس آن‌ها را برای خرده‌فروشان می‌فرستد. محموله‌ی اول به اندازه‌ی  $q_{ret-j}$  بلافاصله پس از تولید به خرده‌فروش تحویل داده می‌شود. تحویل بعدی در فاصله‌ی زمانی



شکل ۲. رابطه‌ی بین سطح موجودی و کیفیت. [۲۲]

به دست می‌آید:

$$L(m, T) = \frac{C_{Loss} m P}{T} \int_0^{\tau_{max}} \Delta Q(t) dt \quad (5)$$

در شکل ۲  $\tau_{max}$  معرف بیشترین زمان ذخیره‌سازی مواد اولیه قبل از رسیدن به کمیته‌ی کیفیت است. رابطه‌ی بین  $\tau_{max}$  و  $Q_{\min}$  و  $Q_{\max}$  در معادله‌ی ۶ نشان داده شده است:

$$\tau_{max} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{k} \quad (6)$$

علاوه بر این، برای این که اطمینان حاصل شود که تمام مواد اولیه مصرفی برای تولید از ابتدایی‌ترین سطح کیفیت برخوردارند، فاصله‌ی دریافت محموله باید کمتر از  $\tau_{max}$  باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$m \geq \frac{\tau_{Run}}{\tau_{max}} \quad (7)$$

### ۲.۳. تابع قیمت بر اساس طول عمر

چنان‌که گفته شد خرده‌فروشان برای این که محصولات تازه‌تری در اختیار مشتریان قرار دهند اقلام مورد نیاز خود را به صورت چندین محموله دریافت می‌کنند. عمر محصولات در هر محموله از زمان شروع تولید محصولات در آن محموله یا به عبارتی زمان تولید اولین محصول محموله محاسبه می‌شود. بنابراین عمر محموله‌ی  $i$  که به خرده‌فروش  $z$  تحویل داده می‌شود  $E_{ij}$  نام‌گذاری می‌شود. از آن‌جا که محصول در خرده‌فروش  $z$  با نرخ  $d_{ret-j}$  مصرف می‌شود، بسته به عمر محصول در زمان فروش، هر محصول در هر محموله ممکن است با قیمت‌های متفاوتی به فروش برسد. محصول در سایت خرده‌فروش قبل از رسیدن به زمان  $\tau_{Start}$  که زمان شروع فساد است با بیشترین قیمت ( $P_{\max}$ ) به فروش می‌رسد و پس از آن برای جلب مشتری و تثبیت تقاضا با قیمت کمتر به فروش رسیده و در نهایت پس از اتمام عمر مفید با کمترین قیمت به فروش می‌رود (شکل ۳).

نشان داده شده است:

$$TC_{Raw}(m, T) = C_{Raw}D + A_{Raw} \frac{m}{T} + H_{Raw} \frac{D^*T}{\gamma mP} + C_{Loss} \frac{mp}{T} \int_0^{\frac{DT}{mp}} \Delta Q(t) dt \quad (15)$$

افزون بر این، تولیدکننده متحمل هزینه‌هایی در ارتباط با کالای نهایی می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید، بارگیری و تخلیه، و هزینه‌های نگهداری کالای نهایی است. برای محاسبه‌ی هزینه‌ی نگهداری لازم است متوسط موجودی کالای نهایی در سایت تولیدکننده با توجه به رابطه‌ی ۱۶ محاسبه شود. در نهایت کل هزینه‌ی تولید و بارگیری و تحویل کالای نهایی در سایت تولیدکننده از رابطه‌ی ۱۷ به دست می‌آید:

$$\bar{I}_{mfc} = \sum_{j=1}^N d_{ret-j} \sum_{j=1}^N \frac{d_{ret-j}T}{nP} - \frac{T}{\gamma} \sum_{j=1}^N d_{ret-j} \left( \lambda - \frac{D}{P} - \frac{1}{n} \right) \quad (16)$$

$$TC_{mfc}(n, T) = C_{mfc}D + \frac{A_{mfc}}{T} + H_{mfc} \bar{I}_{mfc} \quad (17)$$

با توجه به قیمت فروش هر واحد محصول از تولیدکننده به خرده‌فروشان، کل سود تولیدکننده را می‌توان با کسر کل هزینه از کل درآمد تولیدکننده به دست آورد:

$$TP_{mfc}(m, n, T) = C_{ret}D + TC_{Raw}(m, n, T) - TC_{mfc}(m, n, T) \quad (18)$$

از سوی دیگر تمام خرده‌فروشان متحمل هزینه‌هایی شامل هزینه‌ی خرید، هزینه‌ی سفارش و هزینه‌ی نگهداری کالای نهایی می‌شود که در معادله‌ی ۱۹ فرموله شده است:

$$TC_{ret}(n, T) = C_{ret}D + \frac{n}{T} \sum_{j=1}^N A_{ret-j} + \sum_{j=1}^N \frac{H_{ret-j}d_{ret-j}T}{\gamma n} \quad (19)$$

در نتیجه سود کل خرده‌فروشان در واحد زمان از کم کردن کل هزینه‌ی خرده‌فروشان از درآمد آن‌ها با توجه به معادله‌ی ۲۰ به دست می‌آید:

$$TP_{ret}(n, T) = \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^n R_{ij}(n, T) - TC_{ret}(n, T) \quad (20)$$

در نهایت، سود کل زنجیره‌ی تأمین از جمع کل سود تولیدکننده و خرده‌فروشان به دست می‌آید. بنابراین سیاست تولید - موجودی را می‌توان با معادلات زیر بیان کرد:

$$\max TP(m, n, T) = TP_{mfc}(m, n, T) + TP_{ret}(n, T) \quad (21)$$

Subject to :

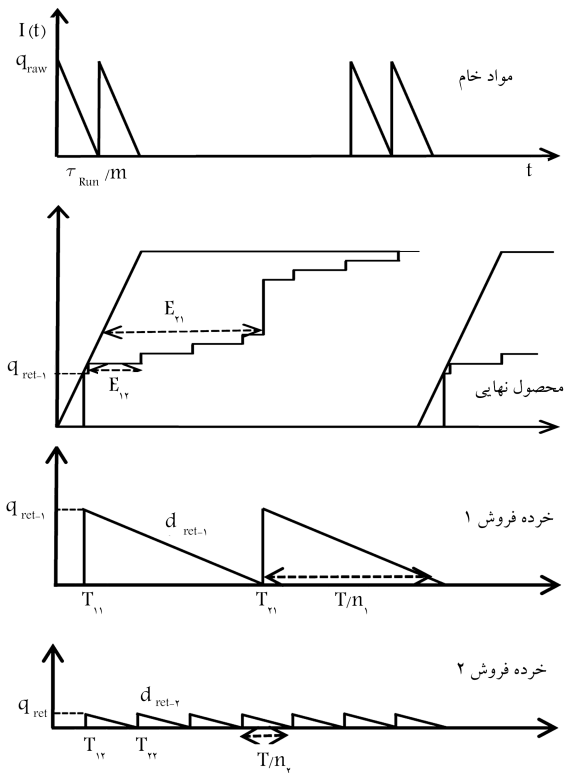
$$P \geq D \quad (22)$$

$$m \geq \frac{\tau_{Run}}{\tau_{max}} \quad (23)$$

$$E_{ij} < \tau_{start} \quad i = 1, \dots, n \quad j = 1, \dots, N \quad (24)$$

$$T > 0 \quad (25)$$

$$m, n > 0 \quad m, n \in \mathbb{Z} \quad (26)$$



شکل ۴. موجودی تولیدکننده و خرده‌فروشان.

$T\Delta$  انجام می‌شود. چون مقدار تحویل‌های مواد اولیه به تولیدکننده در هر دوره  $m$  بار است. این مدل در مقاله‌ی فوژا و همکاران (۲۰۱۶) مورد بررسی قرار گرفته است. در مقاله‌ی حاضر به تشریح این مدل پرداخته و سپس این مدل را توسعه داده و نتایج دو مدل در حضور و عدم حضور تخفیف با هم مقایسه می‌شوند. میزان تحویل در هر دوره از رابطه‌ی ۱۲ به دست می‌آید:

$$q_{Raw} = \frac{DT}{m} \quad (12)$$

همان‌طور که در شکل ۴ می‌بینیم برای محاسبه‌ی سن محموله در زمانی که وارد سایت خرده‌فروش می‌شود فاصله‌ی زمانی بین زمان تولید اولین محصول از بسته و زمانی که محموله ارسال می‌شود محاسبه می‌شود. با توجه به این که  $q_{ret-j} = \frac{d_{ret-j}T}{n}$  سن محموله‌ی اول برای تمام خرده‌فروشان چنین محاسبه می‌شود:

$$E_{vj} = \frac{d_{ret-j}T}{nP} \quad (13)$$

این مقدار برای بسته‌های غیر از بسته‌ی اول  $j = 2, 3, \dots, n$  با توجه به شکل ۴، چنین محاسبه می‌شود:

$$E_{ij} = \frac{d_{ret-j}T}{nP} + (i-1) \left[ \frac{T}{n} - \sum_{j=1}^N \frac{d_{ret-j}T}{nP} \right] \quad (14)$$

تولیدکننده برای تولید کالای نهایی متحمل هزینه‌هایی در رابطه با مواد اولیه می‌شود. این هزینه‌ها شامل هزینه‌ی خرید، هزینه‌ی تحویل مواد اولیه، هزینه‌ی نگهداری مواد اولیه و هزینه‌ی از دست دادن کیفیت است. مجموع این هزینه‌ها در معادله‌ی ۱۵

و در نهایت روابط ۲۰ تا ۲۶ مدل قبلی در این مدل تکرار می‌شود.

در این بخش فرمول‌های ۲۷-۲۹ برای محاسبه‌ی درآمد خرده‌فروشان و ۳۰-۳۲ برای محاسبه‌ی هزینه‌های خرده‌فروشان استفاده شده است. سود تولیدکننده در این حالت مانند حالت قبل محاسبه می‌شود.

با توجه به مدل ریاضی می‌توان دریافت از آن‌جا که تعداد ارسال‌ها و میزان تحویل‌ها، همچنین طول یک دوره‌ی تولید توسط مدل تعیین می‌شود، واضح است که مدل از نوع غیرخطی و مختلط است. الگوریتمی که قادر باشد جواب بهینه‌ی چنین مسئله‌ی را در زمان قابل قبول به دست آورد وجود ندارد. به بیان دیگر پیچیدگی این مسئله از نوع Np-hard است. لذا برای حل آن از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده می‌شود.

### ۵.۳. در نظر گرفتن تخفیفات کلی برای هر دو مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی

در این پژوهش هر دو مدل را با اعمال تخفیفات کلی برای مواد اولیه بررسی خواهیم کرد. در تخفیف کلی، از طرف فروشنده یک لیست قیمت متشکل از  $n$  دامنه‌ی مقداری ارائه می‌شود. قیمت هر واحد کالا برای کل سفارش، یک مقدار است و با افزایش اندازه‌ی سفارش کاهش می‌یابد. هزینه‌های خرید هر واحد کالا چنین تعیین می‌شود:

$$C = \begin{cases} C_0 & q_0 \leq q_{Raw} < q_1 \\ C_1 & q_1 \leq q_{Raw} < q_2 \\ : & : \\ C_{n-1} & q_{n-1} \leq q_{Raw} < q_n \\ C_n & q_n \leq q_{Raw} \end{cases}$$

مدل موجودی برای حالت تخفیف با مدل‌های قبلی منطبق است، اگرچه قیمت لحاظ شده در مدل‌ها لازم است مطابق با میزان سفارش تنظیم شود.

### ۴. مثال عددی

در این بخش یک مثال عددی برای هر دو مدل آورده می‌شود. سپس این مثال در دو حالت با تخفیف و بدون تخفیف برای هر دو مدل حل و نتایج مقایسه می‌شود. به منظور بررسی اثر پارامترهای مهم مدل و نیز به منظور نشان دادن اعتبار مدل روی برخی پارامترهای اصلی تحلیل حساسیت انجام می‌شود.

یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی را که شامل یک تولیدکننده و سه خرده‌فروش و یک محصول فاسد شدنی است در نظر بگیرید. در این زنجیره‌ی تأمین برای تولید محصول نهایی تنها یک نوع ماده‌ی اولیه‌ی فاسد شدنی مورد نیاز است. مواد اولیه که وارد سایت تولید کننده می‌شوند در طی زمان فاسد شده و با نرخ ثابت کیفیت خود را از دست می‌دهند. این امر موجب ایجاد هزینه‌هایی برای تولیدکننده می‌شود. داده‌های مربوطه در جدول ۱ نمایش داده شده است.

در صورت اعمال تخفیفات برای خرید مواد اولیه، پیشنهاد قیمت به شرح جدول ۲ از فروشنده‌ی مواد اولیه دریافت شده است. نتایج حاصل از حل مثال با استفاده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک با هر دو مدل با استفاده از نرم‌افزار متلب در جدول ۳ ارائه شده است. در این

معادله‌ی ۲۱ نشان‌گر هدف مدل - بیشینه‌سازی سود کل سیستم - است. معادله‌ی ۲۲ تضمین می‌کند که میزان تولید باید برآوردکننده‌ی میزان تقاضای کل باشد. معادله‌ی ۲۳ تضمین می‌کند که کیفیت مواد اولیه‌ی دریافتی فراتر از حداقل سطح کیفیت باشد و در نهایت معادله‌ی ۲۴ بیان می‌کند که تمام محموله‌ها باید قبل از شروع زمان کاهش تمایل مشتری برای پرداخت به خرده‌فروشان تحویل داده شوند.

به طور خلاصه در این بخش فرمول‌های ۹-۱۴ برای محاسبه‌ی درآمد خرده‌فروشان، فرمول‌های ۱۵-۱۷ برای محاسبه‌ی هزینه‌های تولیدکننده، فرمول ۱۸ کل درآمد تولیدکننده و فرمول‌های ۱۹ و ۲۰ به ترتیب کل هزینه‌های خرده‌فروشان و کل سود خرده‌فروشان را نشان می‌دهند. روابط ۲۱ و ۲۲ جمع سود خرده‌فروشان و تولید کننده به همراه محدودیت‌های مسئله است.

### ۴.۳. مدل یکپارچه‌ی تولید - موجودی با فرض نابرابری تعداد

#### محموله‌ی دریافتی خرده‌فروشان (مدل ۲)

از آن‌جا که خرده‌فروشان هر یک با هزینه‌ها، تقاضا و شرایط متفاوتی روبه‌رو هستند، در این مدل فرض می‌شود که تعداد دفعات دریافت خرده‌فروشان با هم برابر نیست. بنابراین سن محموله‌ی اول برای تمام خرده‌فروشان در این مدل با توجه به شکل ۴، چنین محاسبه می‌شود:

$$E_{ij} = \frac{d_{ret-j}T}{n_jP} \quad (27)$$

مقدار سن برای محموله‌های غیر از محموله‌ی اول  $j = 2, 3, \dots, n$  با توجه به زمان ارسال به دست می‌آید. در معادله‌ی ۲۸ زمان ارسال محموله‌ی  $i$  برای خرده‌فروش  $j$  نشان داده شده است:

$$T_{ij} = \sum_{j'=1}^N E_{ij'} + \frac{T}{n_j}(i-1) \quad (28)$$

بنابراین برای محموله‌های غیر از محموله‌ی اول  $j > 1$  سن آنها در زمان ورود به سایت خرده‌فروشان چنین محاسبه می‌شود:

$$E_{ij} = T_{ij} - \sum_{j'=1}^N E_{ij'}e_j \quad (29)$$

که در آن  $e_j$  تعداد ارسالات خرده‌فروش  $j$  تا قبل از ارسال  $i$  است. مجموع هزینه‌ی مواد اولیه نیز از رابطه‌ی ۱۵ به دست می‌آید. مقدار سفارش دریافتی محصول نهایی توسط خرده‌فروشان و متوسط موجودی محصول نهایی در سایت تولید کننده با توجه به شکل ۴، چنین محاسبه می‌شود:

$$q_{ret-j} = \frac{d_{ret-j}T}{n_j} \quad (30)$$

$$\bar{I}_{mfc} = \frac{1}{T} \left[ \frac{TD}{2} \left( 2T - \frac{DT}{P} \right) - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (T - T_{ij}) q_{ret-j} \right] \quad (31)$$

رابطه‌ی ۱۷ بیان‌گر کل هزینه‌ی مرتبط با محصول نهایی در سایت تولید کننده، و رابطه‌ی ۱۸ سود تولیدکننده را نشان می‌دهد. هزینه‌ی کل خرده‌فروشان از معادله‌ی ۳۲ به دست می‌آید:

$$TC_{ret}(n, T) = C_{ret}D + \sum_{j=1}^N \frac{n_j}{T} A_{ret-j} + \sum_{j=1}^N \frac{H_{ret-j}d_{ret-j}T}{2n_j} \quad (32)$$

جدول ۱. پارامترهای آزمون عددی.

نماد	مقدار
$d_{ret-j}$	$[50000 \ 30000 \ 40000]$
$P$	600000
$C_{Loos}$	25
$C_{mfc}$	8
$C_{ret}$	35
$P_{max}$	50
$P_{min}$	0
$k$	0.5
$A_{Raw}$	40
$A_{mfc}$	750
$A_{ret-j}$	$[50 \ 50 \ 50]$
$H_{Raw}$	10
$H_{mfc}$	15
$H_{ret-j}$	$[20000 \ 20000 \ 20000]$
$Q_{max}$	1
$Q_{min}$	0.8
$\eta$	0
$\tau_{SL}$	0.1096
$\tau_{Start}$	0.822
$C_{Raw}$	20

جدول ۲. قیمت‌های پیشنهادی برای مواد اولیه.

قیمت هر واحد مواد اولیه	مقدار هر با سفارش مواد اولیه
$(C_{Raw})$	$(q_{Raw})$
20	$[1, 350)$
15	$(350, \infty)$

جدول ۳. نتایج حاصل از حل مثال‌ها با فرض برابری تعداد محموله‌ی محصول نهایی دریافتی خرده‌فروشان (مدل ۱).

بدون اعمال تخفیف	با اعمال تخفیف	
2	2	$m$
2	2	$n$
0.877	0.877	$T$ (سال)
182100	241870	$TC_{Raw}$
107900	108970	$TC_{mfc}$
428768	428768	$TC_{ret}$
420000	420000	$TR_{mfc}$
599994	599994	$TR_{ret}$
130000	70149	$TP_{mfc}$
171232	171232	$TP_{ret}$
301232	241281	$TP$

جدول ۴. نتایج حاصل از حل مثال‌ها با فرض برابری تعداد محموله‌ی محصول نهایی دریافتی خرده‌فروشان (مدل ۲).

بدون اعمال تخفیف	با اعمال تخفیف	
5	3	$m$
2	2	$n_1$
4	4	$n_2$
3	3	$n_3$
0.966	0.966	$T$ (سال)
181800	243000	$TC_{Raw}$
104190	103690	$TC_{mfc}$
429080	429080	$TC_{ret}$
420000	420000	$TR_{mfc}$
844190	844190	$TR_{ret}$
134010	73310	$TP_{mfc}$
415110	415110	$TP_{ret}$
549120	488420	$TP$

خرده‌فروشان برداشته شد - مشاهده کرد. در این حالت نه تنها طول دوره‌ی تولیدی، بلکه تعداد ارسال‌ها تغییر کرده است. نتیجه‌ی مشابه با مقایسه‌ی ستون‌های با اعمال تخفیف در دو جدول ۳ و ۴ نیز دیده می‌شود.

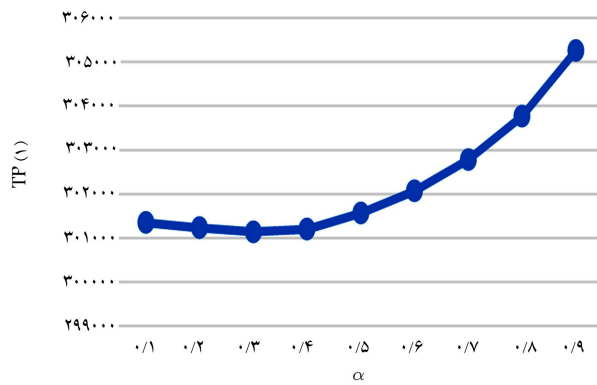
با در نظر گرفتن فرض امکان برابر نبودن تعداد محموله‌های دریافتی توسط خرده‌فروشان (مدل دوم)، کل هزینه‌ی مربوط به مواد اولیه ۱۶ درصد و کل هزینه‌های مربوط به محصول نهایی در سایت تولیدکننده ۳/۴۸ درصد کاهش می‌یابد که موجب افزایش سود تولیدکننده به میزان ۳/۰۸ درصد می‌شود (جدول ۵). همچنین کل هزینه‌ی مربوط به محصول نهایی در سایت خرده‌فروشان به میزان ۷۲ درصد و درآمد کل خرده‌فروشان نیز به میزان ۶۹ درصد افزایش می‌یابد. در نهایت به علت فرونی میزان افزایش درآمد نسبت به میزان افزایش هزینه، سود کل خرده‌فروشان به میزان ۱۴۲/۵۶ درصد افزایش می‌یابد. این مثال نشان می‌دهد که مدل دوم باعث افزایش سود کل زنجیره‌ی تأمین می‌شود و در نهایت بر سود خرده‌فروشان می‌تواند تأثیر مثبت داشته باشد. تحلیل بر اثر تغییر نسبت نرخ تقاضا به نرخ تولید ( $\alpha$ ) بر سود کل سیستم در جداول ۶ و ۷ و شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شد است.

پژوهش تعداد جمعیت اولیه ۱۰ کروموزوم در نظر گرفته شده و هر کروموزوم از ۵ ژن تشکیل شده است. ژن‌ها متغیرهای تصمیم مدل هستند؛ ژن اول هر کروموزوم تعداد محموله‌ی دریافتی مواد اولیه توسط تولیدکننده، ژن دوم تا چهارم تعداد محموله‌ی محصول نهایی دریافتی توسط خرده‌فروشان و ژن پنجم تولید چرخه‌ی تولید است. کمترین مقدار برای هر متغیر  $[0 \ 1110]$  و بیشترین مقدار برای هر متغیر  $[100 \ 1000 \ 1000 \ 1000]$  در نظر گرفته شده است. احتمال ترکیب ۰/۸ و احتمال جهش ۰/۲ در نظر گرفته شده است. تعداد تکرار در هر بار اجرا ۱۰۰ است. نتایج حاصل از ۲۰ بار اجرا در جداول ۳ و ۴ آمده است.

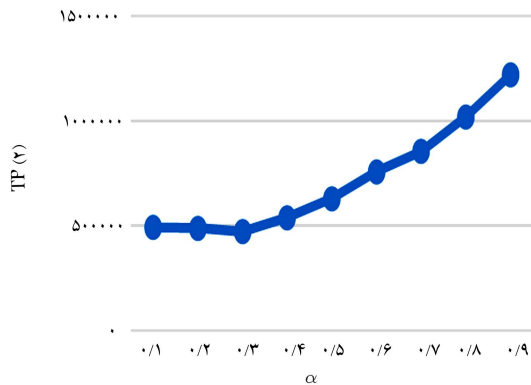
در جدول ۳ تعداد دریافت‌های مواد اولیه و تعداد ارسال‌ها به خرده‌فروشان، طول دوره و اجزای هزینه‌های تولیدکننده و خرده‌فروشان، سود آنها و در نهایت سود کل ثبت شده است. نتایج ثبت شده در جدول ۴ نیز نشان‌دهنده‌ی تعداد محموله‌های ارسال شده به هر خرده‌فروش در هر دوره و تعداد محموله‌های دریافتی موارد اولیه در هر دوره برای حالت با تخفیف و بدون تخفیف است. برای مثال عددی آورده شده، تعداد برای حالت با تخفیف و بدون تخفیف معادل نیست.

با مقایسه‌ی نتایج در ستون‌های بدون اعمال تخفیف در جدول‌های ۳ و ۴ می‌توان مقدار افزایش سود را - در حالتی که محدودیت برابر بودن تعداد ارسال‌ها به

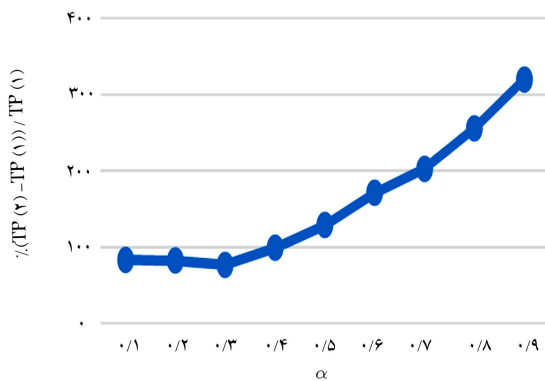




شکل ۵. رابطه‌ی  $\alpha$  با سود کل در مدل اول با اعمال تخفیفات.



شکل ۶. رابطه‌ی  $\alpha$  با سود کل در مدل دوم با اعمال تخفیفات.



شکل ۷. درصد افزایش سود مدل دوم نسبت به مدل اول برای  $\alpha$  متفاوت با اعمال تخفیفات.

چنان که در جداول ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، مقدار  $\alpha$  بر متغیرهای تصمیم به دست آمده تأثیر می‌گذارد. در این مثال، با توجه به نتایج نشان داده شده در جداول می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش مقدار  $\alpha$ ، زمان چرخه‌ی تولید و تعداد محموله‌های ورودی و خروجی افزایش می‌یابند. علاوه بر این مقدار  $\alpha$  بر سود کل سیستم نیز تأثیر می‌گذارد. چنان که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌شود با افزایش مقدار  $\alpha$ ، یعنی با نزدیک شدن نرخ تولید به نرخ تقاضا، سود کل سیستم افزایش می‌یابد. ستون آخر جدول ۷ درصد اختلاف سود مدل دوم نسبت به مدل اول در  $\alpha$  های متفاوت را نشان می‌دهد (شکل ۷).

در جداول ۸ و ۹ و نیز در شکل‌های ۸ و ۹ تغییرات سود کل نسبت به تغییرات نرخ زوال و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت مواد اولیه ثبت شده است. بدیهی است

جدول ۵. درصد تغییرات نتایج حاصل از مدل دوم نسبت به مدل اول با اعمال تخفیفات.

تغییرات	مقدار تغییرات در مثال
$\frac{T(t)-T(1)}{T(1)} \times 100$	۱۰۷,۱۴۸
$\frac{TC_{Raw}(t)-TC_{Raw}(1)}{TC_{Raw}(1)} \times 100$	-۰,۱۶
$\frac{TC_{mfc}(t)-TC_{mfc}(1)}{TC_{mfc}(1)} \times 100$	-۳,۴۸
$\frac{TC_{ret}(t)-TC_{ret}(1)}{TC_{ret}(1)} \times 100$	۰,۰۷۲
$\frac{TR_{mfc}(t)-TR_{mfc}(1)}{TR_{mfc}(1)} \times 100$	۰
$\frac{TR_{ret}(t)-TR_{ret}(1)}{TR_{ret}(1)} \times 100$	۴۰,۶۹
$\frac{TP_{mfc}(t)-TP_{mfc}(1)}{TP_{mfc}(1)} \times 100$	۳,۰۸
$\frac{TP_{ret}(t)-TP_{ret}(1)}{TP_{ret}(1)} \times 100$	۱۴۲,۵۶
$\frac{TP(t)-TP(1)}{TP(1)} \times 100$	۸۲,۲۹

جدول ۶. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات  $\alpha$  در مدل اول.

D	P	$\alpha$	m	n	T	TP
۱۲۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	۰,۱	۲	۲	۰,۰۸۶۵	۳۰۱۳۴۸
۶۰۰۰۰	۴۰۰۰۰	۰,۲	۲	۲	۰,۰۸۷۷	۳۰۱۲۳۲
۴۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	۰,۳	۳	۲	۰,۰۹۰۶	۳۰۱۱۳۹
۳۰۰۰۰	۲۴۰۰۰	۰,۴	۴	۳	۰,۱۰۴۹	۳۰۱۱۹۹
۱۲۰۰۰	۲۰۰۰۰	۰,۵	۵	۳	۰,۱۱۲۳	۳۰۱۵۶۴
۲۰۰۰۰	۱۷۱۴۳	۰,۶	۶	۴	۰,۱۱۴۳	۳۰۲۰۶۶
۱۷۱۴۳	۱۵۰۰۰	۰,۷	۸	۵	۰,۱۶۵۴	۳۰۲۷۷۵
۱۵۰۰۰	۱۳۳۳۳	۰,۸	۱۱	۶	۰,۲۰۶۶	۳۰۳۷۶۴
۱۳۳۳۳		۰,۹	۱۶	۹	۰,۲۹۲۴	۳۰۵۲۵۸

جدول ۷. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات  $\alpha$  در مدل دوم.

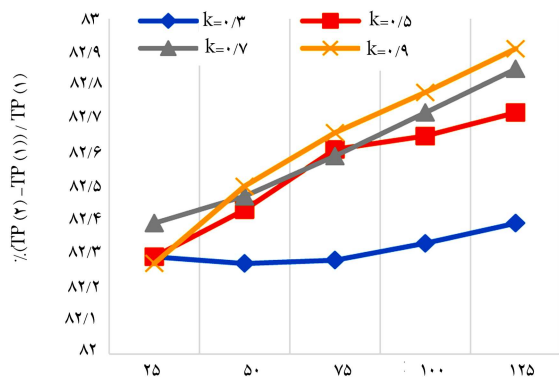
P	$\alpha$	T	TP(2)	$\frac{TP(2)-TP(1)}{TP(1)} \times 100$
۱۲۰۰۰۰	۰,۱	۰,۰۹۵۸	۵۵۳۱۱۰	۸۳,۵۴
۶۰۰۰۰	۰,۲	۰,۰۹۶۶	۵۴۹۱۲۰	۸۲,۲۹
۴۰۰۰۰	۰,۳	۰,۰۹۸۲	۵۳۳۰۱۱	۷۶,۹۹
۳۰۰۰۰	۰,۴	۰,۰۹۹۸	۵۹۹۰۰۰	۹۸,۸۷
۲۴۰۰۰	۰,۵	۰,۱۱۴۹	۶۹۰۵۹۰	۱۲۹,۰۰
۲۰۰۰۰	۰,۶	۰,۱۲۲۶	۸۱۸۵۳۴	۱۷۰,۹۷
۱۷۱۴۳	۰,۷	۰,۱۴۴۰	۹۱۶۲۰۵	۲۰۲,۶۰
۱۵۰۰۰	۰,۸	۰,۱۷۳۱	۱۰۸۰۹۵۵	۲۵۵,۸۵
۱۳۳۳۳	۰,۹	۰,۲۱۲۰	۱۲۸۱۱۶۰	۳۱۹,۶۹

جدول ۸. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات نرخ زوال و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت مواد اولیه در مدل اول با اعمال تخفیفات.

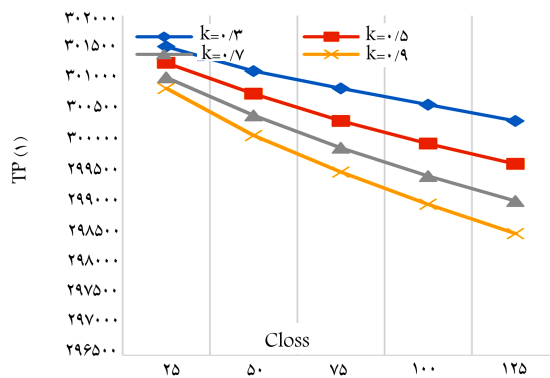
۱۲۵	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	$C_{Loss} \leftarrow$ $k \downarrow$	
۳	۳	۳	۲	۲	$m$	۰٫۳
۲	۲	۲	۲	۲	$n$	
۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	$T$	
۳۰۰۲۹۳	۳۰۰۵۵۶	۳۰۰۸۲۰	۳۰۱۱۰۰	۳۰۱۴۹۵	$TP$	
۴	۴	۳	۳	۲	$m$	۰٫۵
۲	۲	۲	۲	۲	$n$	
۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	$T$	
۲۹۹۵۹۶	۲۹۹۹۲۵	۳۰۰۲۹۳	۳۰۰۷۳۲	۳۰۱۲۳۲	$TP$	
۵	۴	۴	۳	۳	$m$	۰٫۷
۲	۲	۲	۲	۲	$n$	
۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	$T$	
۲۹۸۹۹۶	۲۹۹۳۹۹	۲۹۹۸۵۶	۳۰۰۳۸۱	۳۰۱۲۳۲	$TP$	
۵	۵	۴	۴	۳	$m$	۰٫۹
۲	۲	۲	۲	۲	$n$	
۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	۰٫۰۸۷۸	$T$	
۲۹۸۴۶۹	۲۹۸۹۴۳	۲۹۹۴۶۴	۳۰۰۰۵۷	۳۰۰۸۲۰	$TP$	

جدول ۹. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات نرخ زوال و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت مواد اولیه در مدل دوم با اعمال تخفیفات.

۱۲۵	۱۰۰	۷۵	۵۰	۲۵	$C_{Loss} \leftarrow$ $k \downarrow$	
۵	۴	۴	۳	۳	$m$	۰٫۳
۲	۲	۲	۲	۲	$n_1$	
۴	۴	۴	۴	۴	$n_2$	
۳	۳	۳	۳	۳	$n_3$	
۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	$T$	۰٫۵
۵۴۷۷۲۰	۵۴۸۰۲۵	۵۴۸۳۶۰	۵۴۸۸۴۰	۵۴۹۳۲۰	$TP$	
۵	۴	۴	۳	۳	$m$	
۲	۲	۲	۲	۲	$n_1$	
۴	۴	۴	۴	۴	$n_2$	۰٫۷
۳	۳	۳	۳	۳	$n_3$	
۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	$T$	
۵۴۷۴۳۲	۵۴۷۸۲۱	۵۴۸۳۸۰	۵۴۸۶۳۴	۵۴۹۱۲۰	$TP$	
۵	۴	۴	۳	۳	$m$	۰٫۹
۲	۲	۲	۲	۲	$n_1$	
۴	۴	۴	۴	۴	$n_2$	
۳	۳	۳	۳	۳	$n_3$	
۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	$T$	۰٫۹
۵۴۶۷۴۰	۵۴۷۰۷۱	۵۴۷۵۲۰	۵۴۸۱۱۳	۵۴۹۰۱۱	$TP$	
۵	۴	۴	۳	۳	$m$	
۲	۲	۲	۲	۲	$n_1$	
۴	۴	۴	۴	۴	$n_2$	۰٫۹
۳	۳	۳	۳	۳	$n_3$	
۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	۰٫۰۹۶۶	$T$	
۵۴۵۹۵۴	۵۴۶۴۱۰	۵۴۷۰۰۵	۵۴۷۶۳۳	۵۴۸۳۲۵	$TP$	



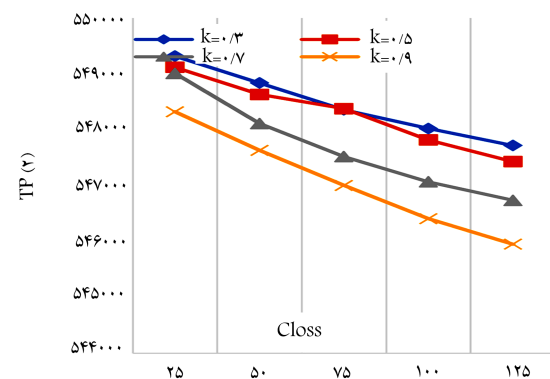
شکل ۱۰. درصد افزایش سود مدل دوم نسبت به مدل اول با نرخ فساد و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت متفاوت با اعمال تخفیفات.



شکل ۸. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات نرخ زوال و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت مواد اولیه در مدل اول با اعمال تخفیفات.

جدول ۱۱. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء در مدل اول با اعمال تخفیفات.

$TP(1)$	$T$	$n$	$m$	$\tau_{Start}$	$\tau_{SL} = v$	NO
۲۵۸۰۹۶	۰٫۱۹۵	۲	۱		۰٫۵۵	۱
۲۷۶۳۵۴	۰٫۲۶۹	۲	۱		۰٫۸۸	۲
۲۸۵۶۵۳	۰٫۳۴۱	۲	۱	۰/۲۵v	۰٫۱۱۰	۳
۲۹۱۱۰۴	۰٫۳۸	۲	۱		۰٫۱۳۷	۴
۲۹۴۵۵۰	۰٫۴۳۹	۲	۲		۰٫۱۶۴	۵
۲۸۴۲۳۴	۰٫۲۷۰	۱	۱		۰٫۵۵	۱
۲۹۴۰۰۲	۰٫۴۵۵	۲	۱		۰٫۸۸	۲
۲۹۸۲۶۸	۰٫۶۰۰	۲	۲	۰/۵v	۰٫۱۱۰	۳
۳۰۰۳۶۸	۰٫۷۴۳	۲	۲		۰٫۱۳۷	۴
۳۰۱۲۴۵	۰٫۸۸۴	۲	۲		۰٫۱۶۴	۵
۲۳۹۷۶۵	۰٫۴۴۶	۲	۱		۰٫۵۵	۱
۲۹۹۴۴۰	۰٫۶۶۳	۲	۲		۰٫۸۸	۲
۳۰۱۲۳۲	۰٫۸۷۷	۲	۲	۰/۷۵v	۰٫۱۱۰	۳
۳۰۱۵۰۵	۰٫۱۰۴۰	۲	۳		۰٫۱۳۷	۴
۳۰۱۵۰۵	۰٫۱۰۴۰	۲	۳		۰٫۱۶۴	۵



شکل ۹. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات نرخ زوال و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت مواد اولیه در مدل دوم با اعمال تخفیفات.

جدول ۱۰. درصد افزایش سود مدل دوم نسبت به مدل اول با نرخ فساد و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت متفاوت با اعمال تخفیفات.

$\frac{TP(2) - TP(1)}{TP(1)} \times 100$				$C_{Loss}$
$k$				
۰٫۹	۰٫۷	۰٫۵	۰٫۳	
۸۳٫۵۴	۵۵۳٫۱۱۰	۰٫۹۵۸	۰٫۱	۲۵
۸۲٫۲۹	۵۴۹٫۱۲۰	۰٫۹۶۶	۰٫۲	۵۰
۷۶٫۹۹	۵۲۳۰٫۱۱	۰٫۹۸۲	۰٫۳	۷۵
۹۸٫۸۷	۵۹۹۰۰۰	۰٫۹۹۸	۰٫۴	۱۰۰

تاریخ انقضاء و زمان شروع فساد قابل مشاهده است. چنان که مشاهده می‌شود با افزایش تاریخ انقضاء و نزدیک‌تر شدن زمان شروع فساد به تاریخ انقضاء، سود کل سیستم افزایش می‌یابد زیرا با افزایش تاریخ انقضاء و نزدیک‌تر شدن زمان شروع فساد به آن محصول در مدت زمان زیادتری با قیمت بیشتر فروش می‌رود و موجب افزایش سود کل زنجیره می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء با سود کل زنجیره رابطه‌ی مستقیم دارد. یعنی با افزایش زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء به دلیل افزایش درآمد خرده‌فروشان، سود کل زنجیره‌ی تأمین افزایش می‌یابد. در جدول ۱۳ درصد اختلاف سود مدل دوم نسبت به مدل اول در  $\tau_{Start}$  و  $\tau_{SL}$  های متفاوت ثبت شده و در شکل ۱۳ به تصویر کشیده شده است.

که با افزایش نرخ زوال مواد اولیه سود کل سیستم کاهش می‌یابد. پرواضح است که با افزایش میزان زوال به جهت از بین رفتن موجودی و تحمیل هزینه‌های نگهداری، سفارش‌دهی، خرید و سایر هزینه‌هایی که به تولیدکننده وارد شده، هزینه‌های مربوط به سایت تولیدکننده افزایش می‌یابد و در نتیجه سود کل سیستم کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت مواد اولیه نیز هزینه‌های مربوط به تولیدکننده افزایش و سود کل سیستم کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که سود کل سیستم با نرخ زوال و هزینه‌ی از دست رفتن کیفیت رابطه‌ی معکوس دارد. در جدول ۱۰ درصد اختلاف سود مدل دوم نسبت به مدل اول، در  $k$  و  $C_{Loss}$  های متفاوت، ثبت شده و در شکل ۱۰ به تصویر کشیده شده است. در جداول ۱۱ و ۱۲ و شکل‌های ۱۱ و ۱۲ تغییرات سود کل نسبت به تغییرات

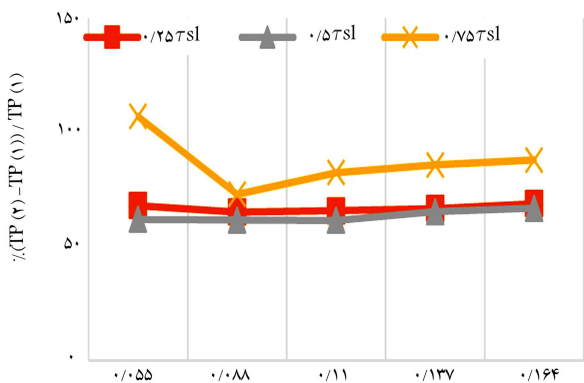
جدول ۱۲. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء در مدل دوم با اعمال تخفیفات.

$TP(1)$	$T$	$n_2$	$n_1$	$m$	$\tau_{Start}$	$\tau_{SL} = v$
۴۳۳۰۶۰	۰٫۲۲۵	۳	۴	۲		۰٫۵۵
۴۵۶۰۸۰	۰٫۲۸۹	۳	۴	۲		۰٫۸۲
۴۷۳۰۵۰	۰٫۳۵۲	۳	۴	۲	۰٫۲۵v	۰٫۱۱۰
۴۸۴۸۰۴	۰٫۴۶۵	۳	۴	۲		۰٫۱۳۷
۴۹۶۹۰۰	۰٫۵۶۵	۳	۴	۲		۰٫۱۶۴
۴۵۹۸۰۸	۰٫۳۴۲	۳	۴	۱		۰٫۵۵
۴۷۴۶۸۰	۰٫۴۹۸	۳	۴	۲		۰٫۸۲
۴۸۱۲۱۰	۰٫۶۹۳	۳	۴	۲	۰٫۵v	۰٫۱۱۰
۴۹۶۰۱۵	۰٫۷۵۰	۳	۴	۲		۰٫۱۳۷
۵۰۲۱۰۰	۰٫۸۳۲	۳	۴	۲		۰٫۱۶۴
۴۹۵۹۴۵	۰٫۵۴۶	۳	۴	۲		۰٫۵۵
۵۱۷۳۰۰	۰٫۷۷۹	۳	۴	۲		۰٫۸۲
۵۴۹۱۲۰	۰٫۹۶۶	۳	۴	۲	۰٫۷۵v	۰٫۱۱۰
۵۵۹۶۸۰	۰٫۱۰۵۹	۳	۴	۲		۰٫۱۳۷
۵۶۶۱۰۰	۰٫۱۰۸۸	۳	۴	۲		۰٫۱۶۴

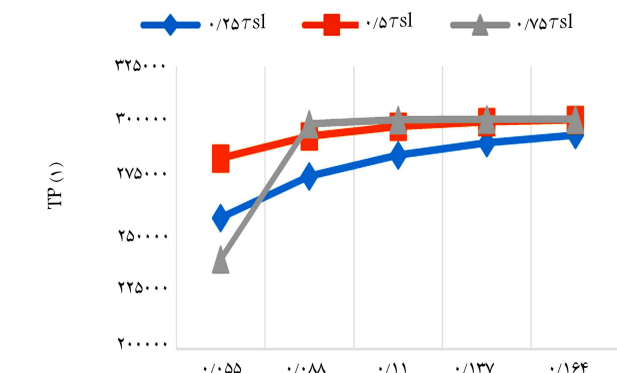
جدول ۱۳. درصد افزایش سود مدل دوم نسبت به مدل اول با زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء متفاوت.

$$\frac{TP(2) - TP(1)}{TP(1)} \times 100$$

$\tau_{Start}$			$\tau_{SL} = v$
۰٫۷۵v	۰٫۵v	۰٫۲۵v	
۱۰۶٫۸۴	۶۱٫۷۷	۶۷٫۷۹	۰٫۵۵
۷۲٫۷۵	۶۱٫۴۵	۶۵٫۰۳	۰٫۸۲
۸۲٫۲۹	۶۱٫۳۳	۶۵٫۶۰	۰٫۱۱۰
۸۵٫۶۲	۶۵٫۱۳	۶۶٫۵۳	۰٫۱۳۷
۸۷٫۷۵	۶۶٫۶۷	۶۸٫۶۹	۰٫۱۶۴



شکل ۱۳. درصد افزایش سود مدل دوم نسبت به مدل اول با زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء متفاوت با اعمال تخفیفات.



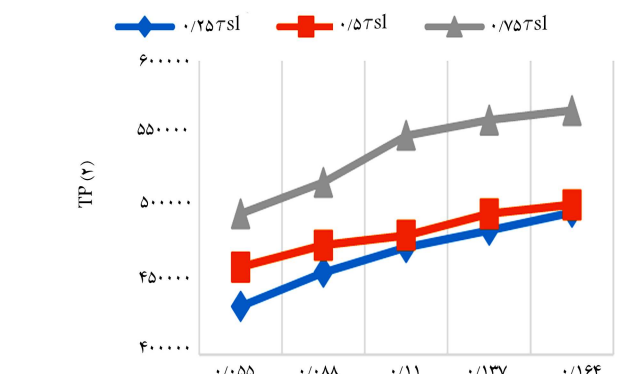
شکل ۱۱. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء در مدل اول با اعمال تخفیفات.

## ۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش یک مدل یک پارچه‌ی تولید - موجودی برای اقلام فسادپذیر در یک زنجیره‌ی تأمین دوسطحی با در نظر گرفتن تخفیفات کلی برای مواد اولیه ارائه شده است. به عبارت بهتر یک مدل تولید - موجودی با فرض این که مواد اولیه و محصول نهایی هر دو فسادپذیرند، ارائه شده است. نرخ فساد در این پژوهش ثابت و متناسب با زمان است و همچنین قیمت‌گذاری محصول نهایی با توجه به طول عمر باقی مانده است. استفاده از تخفیفات کلی برای خرید مواد اولیه ممکن است. از طرفی تعداد تحویل‌ها به خرده‌فروشان می‌تواند متفاوت باشد. با توجه به اندازه و نیاز خرده‌فروشان چنین فرضی بسیار بدیهی است اما تاکنون در هیچ کدام از پژوهش‌های موجود لحاظ نشده است.

مدل ریاضی ارائه شده برای این مسئله از نوع غیر خطی است. این مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک در محیط متلب حل شده است. در نهایت، هدف یافتن مقادیر بهینه طول چرخه‌ی تولید، تعداد محموله‌ی دریافتی مواد خام و تعداد محموله‌ی دریافتی محصول نهایی به طور هم‌زمان به منظور بیشینه‌سازی سود کل سیستم است.

تحلیل حساسیت انجام شده نشان می‌دهد که همواره با افزایش نرخ زوال مواد اولیه، میزان هزینه‌ی کیفیت از دست رفته و به طور کلی هزینه‌های مربوط به مواد اولیه افزایش می‌یابد. همچنین با تحلیل حساسیت انجام شده نیز مشخص شد که هر قدر طول عمر محصول نهایی یا به عبارتی تاریخ انقضای آن کوچک باشد، درآمد مربوط به خرده‌فروشان و در نهایت سود کل سیستم کم‌تر می‌شود. بنابراین لازم است با به کارگیری سیاست‌های متناسب برای نگهداری و با استفاده از فناوری‌های



شکل ۱۲. تغییرات سود کل نسبت به تغییرات زمان شروع فساد و تاریخ انقضاء در مدل دوم با اعمال تخفیفات.

- کل سیستم استفاده کرد. این پژوهش برای نوع محدودی از محصولات زوال پذیر مانند بنزین و مواد رادیواکتیو در واقعیت مناسب تر از سایر پژوهش های پیشین است. به منظور توسعه مدل می توان موارد زیر را به مدل اعمال کرد:
۱. در نظر گرفتن نرخ تولید به عنوان متغیر تصمیم و تنظیم میزان بهینه ی آن؛
  ۲. در نظر گرفتن توقف در تولید به علت نگهداری و تعمیرات پیش بینی نشده؛
  ۳. در نظر گرفتن نرخ فساد متغیر به جای ثابت، به عنوان مثال تغییر نرخ زوال در طی زمان به صورت خطی، لگاریتمی، نمایی یا وایبول باشد؛
  ۴. در نظر گرفتن امکان تبادل بین خرده فروشان به منظور کاهش موجودی و ارائه محصولات تازه تر؛
  ۵. در نظر گرفتن چندین محصول؛
  ۶. در نظر گرفتن انواع مختلف توابع تقاضای ترکیبی مانند تقاضای وابسته به قیمت، تقاضای وابسته به موجودی؛
  ۷. در نظر گرفتن محدودیت های حمل و نقل و ناوگان حمل و نقل و تلفیق با مسایل مسیریابی؛
  ۸. استفاده از دیگر الگوریتم های فراابتکاری یا توسعه ی یک روش ابتکاری.

بسته بندی و ذخیره سازی به منظور کاهش نرخ زوال و افزایش طول عمر محصول در جهت کاهش هزینه های سیستم و به طور کلی افزایش سود کل سیستم اقدامات اساسی صورت گیرد. به علاوه نتایج تحلیل حساسیت نیز نشان می دهد هر چه نرخ زوال مواد اولیه بیشتر باشد باید میزان سفارش را در هر بار سفارش کاهش داد. یعنی باید تعداد دفعات دریافت سفارش توسط تولیدکننده را افزایش داد تا هزینه های ناشی از زوال کاهش یابد. این امر در مدل ها با در نظر گرفتن فساد و هزینه های ناشی از آن بدیهی به نظر می رسد. از طرفی سایر تغییرات سود با تغییر متغیرها مورد بررسی قرار گرفت. سود کل سیستم را با نزدیک کردن نرخ تولید به نرخ تقاضا می توان افزایش داد.

با استفاده از نتایج این مدل می توان دریافت که اعمال محدودیت های غیر لازم برای تعداد ارسال ها در دوره ی تولید به علت هزینه های نگهداری و فساد، باعث کاهش سود می شود. همچنین در هنگام تنظیم مقدار سفارش به تأمین کننده، بهره گیری از مدل هایی که سیاست های تخفیف تأمین کننده را لحاظ می کنند باعث افزایش قابل ملاحظه یی در سود کل می شود.

از مدل ارائه شده در این پژوهش می توان در زنجیره ی تأمین مواد زوال پذیر مانند مواد غذایی و مواد شیمیایی که محصولات آن ها زوال پذیر بوده به منظور افزایش سود

## منابع (References)

1. Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U. and et al. "Global food losses and food waste", Food and Agriculture Organization of the United Nations, Interpack2011, Düsseldorf, Germany (2011).
2. Park, K.S. "An integrated production-inventory model for decaying raw materials", *International Journal of Systems Science*, **14**(7), pp. 801-806 (1983).
3. Raafat, F. "A production-inventory model for decaying raw materials and a decaying single finished product system", *International Journal of Systems Science*, **16**(8), pp. 1039-1044 (1985).
4. Goyal, S.K. and Gunasekaran, A. "An integrated production-inventory-marketing model for deteriorating items", *Computers and Industrial Engineering*, **28**(4), pp. 755-762 (1995).
5. Hill, R.M. "The single-vendor single-buyer integrated production-inventory model with a generalized policy", *European Journal of Operational Research*, **97**(3), pp. 493-499 (1997).
6. Goyal, S.K. "On improving the single-vendor single-buyer integrated production inventory model with a generalized policy", *European Journal of Operational Research*, **125**(2), pp. 429-430 (2000).
7. Hoque, M.A. and Goyal, S.K. "An optimal policy for a single-vendor single-buyer integrated production-inventory system with capacity constraint", *International Journal of Production Economics*, **65**(3), pp. 305-315 (2000).
8. Yang, P.C. and Wee, H.M. "A single-vendor and multiple-buyers production-inventory policy for a deteriorating item", *European Journal of Operational Research*, **143**, pp. 570-581 (2002).
9. Rau, H., Wu, M.Y. and Wee, H.M. "Integrated inventory model for deteriorating items under a multi-echelon supply chain environment", *Int. J. of Production Economics*, **86**(1), pp. 155-168 (2003).
10. Yang, P.C. and Wee H.M. "An integrated multi-lot-size production inventory model for deteriorating item", *Computers & Operations Research*, **30**(5), pp. 671-682 (2003).
11. Rau, H., Wu, M.Y. and Wee, H.M. "Deteriorating item inventory model with shortage due to supplier in an integrated supply chain", *International Journal of Systems Science*, **35**(5), pp. 293-303 (2004).
12. Zaroni, S. and Zavanella, L. "Single-vendor single-buyer with integrated transport-inventor system: models and heuristics in the case of perishable goods", *Computers & Industrial Engineering*, **52**(1), pp. 107-123 (2007).
13. Liao, J.J. and Chang, K.J. "An EOQ model for deterioration items under trade credit policy in a supply chain system", *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **52**(1), pp. 46-57 (2009).
14. Yan, C., Banerjee, A. and Yang, L. "An integrated production-distribution model for a deteriorating inventory item", *International Journal of Production Economics*, **133**(1), pp. 228-232 (2011).
15. Wang, K.J., Lin, Y.S. and Yu, J.C.P. "Optimizing inventory policy for products with time-sensitive deteriorating items", *International Journal of Production Economics*, **133**(1), pp. 228-232 (2011).

- rating rates in a multi-echelon supply chain”, *International Journal of Production Economics*, **130**(1), pp. 66-76 (2011).
16. Rong, A., Akkerman, R. and Grunow, M. “An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain”, *International Journal of Production Economics*, **131**(1), pp. 421-429 (2011).
  17. Cárdenas-Barrón, L.E., Teng, J.T., Treviño- Garza, G. and et al. “An improved algorithm and solution on an integrated production-inventory model in a three-layer supply chain”, *International Journal of Production Economics*, **136**(2), pp. 384-388 (2012).
  18. Ghiami, Y., Williams, T. and Wu, Y. “A two-echelon inventory model for a deteriorating item with stock-dependent demand, partial backlogging and capacity constraints”, *European Journal of Operational Research*, **231**(3), pp. 587-597 (2013).
  19. Pouralikhani, H., Kimiagari, A. and Keyvanlou, M. “Inventory control, pricing and production planning for a producer of a perishable product”, *Journal of Operational Research in Its Applications*, **38**(3), pp. 11-23 (In Persian) (2013).
  20. Chung, K.J., Cárdenas-Barrón, L.E. and Ting, P.S. “An inventory model with non-instantaneous receipt and exponentially deteriorating items for an integrated three layer supply chain system under two levels of trade credit”, *International Journal of Production Economics*, **155**, pp. 310-317 (2014).
  21. Taleizadeh, A.A., Noori-daryan, M. and Cárdenas-Barrón, L.E. “Joint optimization of price, replenishment frequency, replenishment cycle and production rate in vendor managed inventory system with deteriorating items”, *International Journal of Production Economics*, **159**, pp. 285-295 (2015).
  22. Fauza, G., Amer, Y., Lee, S.H. and et al. “An integrated single-vendor multi-buyer production-inventory policy for food products incorporating quality degradation”, *International Journal of Production Economics*, **182**, pp. 409-417 (2016).
  23. Honarvar, M. and Doozandeh, A. “Inventory model in closed loop supply chain for a deteriorating item with a single producer and multi retailer”, *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, **27**(3), pp. 447-461 (In Persian) (2016).
  24. Dolgui, A., Tiwari, M.K., Sinjana, Y. and et al. “Optimising integrated inventory policy for perishable items in a multi-stage supply chain”, *International Journal of Production Research*, **56**, pp. 902-925 (2018). DOI: 10.1080/00207543.2017.1407500
  25. Noori Daryan, M. and Taleizadeh, A. “Developing an economic production quantity model in integrated and non-integrated three-Layer supply chains with an optimal inventory control policy”, *Advances in Industrial Engineering*, **52** (1), pp. 125-137 (In Persian) (2017).
  26. Singh, D. “Production inventory model of deteriorating items with holding cost, stock, and selling price with backlog”, *International Journal of Mathematics in Operational Research*, **14**(2), pp. 290-305 (2019).
  27. Shen, L., Li, F., Li, C. and et al. “Inventory optimization of fresh agricultural products supply chain based on agricultural superdocking”, *Journal of Advanced Transportation*, pp. 1-13 (2020).