

## مسئله توأم انتخاب تأمین‌کننده و تعیین اندازه سفارش برای محصولات قابل بازساخت با تخفیف قیمت و هزینه حمل‌ونقل

محمد خسروآبادی<sup>۱</sup>، محمدمهدی لطفی<sup>۲\*</sup>، حسن خادمی زارع<sup>۳</sup>

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد

۲. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد

۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه یزد، یزد

### خلاصه

در برخی مواقع به دلیل حمل‌ونقل و بازرسی ناکارآمد یا انبارش نامناسب، بخشی از اقلام ارسالی به خریدار آسیب می‌بینند که با بازساخت آنها در مقصد می‌توان دوباره از آنها استفاده کرد ولی برای جریمه تأمین‌کننده، این اقلام با قیمتی پایین‌تر از کالای سالم خرید می‌شوند. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای مسئله اندازه سفارش اقتصادی چند دوره‌ای با چند تأمین‌کننده و لحاظ کردن درصد اقلام معیوب و قابل بازساخت ارائه می‌شود که در آن علاوه بر قیمت خرید محصولات، هزینه‌های حمل‌ونقل نیز بر اساس تعداد وسایل نقلیه ارسالی مشمول تخفیف می‌شوند. اندازه بهینه سفارش با توجه به سه عامل تخفیف قیمت کالا، ظرفیت وسایل نقلیه تأمین‌کنندگان و هزینه نگهداری تعیین می‌شود. برای اعتباربخشی به مدل، یک مثال عددی برگرفته از پژوهش اخیر حل و حساسیت مدل نسبت به پارامترهای اصلی بررسی می‌شود. نتایج تأیید می‌کند که توجه همزمان به هر سه هدف هزینه‌های خرید، هزینه‌های حمل‌ونقل و سفارش‌دهی، و هزینه‌های نگهداری می‌تواند موجب کاهش کل هزینه‌ها تا حدود ۲۰٪ شود و تأمین‌کنندگان نیز می‌توانند با ارسال اقلام معیوب کمتر، شانس انتخاب بیشتری داشته باشند.

### اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۳۹۲/۵/۲

پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰

کلمات کلیدی:

تعیین اندازه سفارش

انتخاب تأمین‌کننده

تخفیف

قابل بازساخت

### ۱- مقدمه

زنجیره تأمین، یکی از راه‌های کاهش هزینه است زیرا به طور متوسط ۷۰ درصد ارزش محصولات نهایی را هزینه خرید بیرونی مواد و خدمات تشکیل می‌دهد [۱]. تعداد تأمین‌کننده بیشتر منجر به افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل مواد و قطعات از مکان‌های متعدد و نیز افزایش هزینه‌های سفارش‌دهی می‌شود.

امروزه تأمین‌کنندگان سعی می‌کنند با اعمال تخفیف در ازای خرید بیشتر، توان رقابتی خود را افزایش دهند. این تخفیف در اندازه سفارش خریداران تأثیرگذار خواهد بود. در واقع، آنها باید برای تصمیم‌گیری در مورد مقدار خرید، بین منافع قیمت کمتر در برابر هزینه‌های نگهداری و حمل‌ونقل بیشتر تعادل برقرار کنند که این

انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین فعالیت‌های مدیریت تولید و لجستیک در فضای رقابت جهانی است. انتخاب مجموعه مناسبی از تأمین‌کنندگان و ارتباط مستمر با آنها در موفقیت یک شرکت بسیار مهم و حیاتی است. با پیدایش مفهوم مدیریت زنجیره تأمین، بیشتر محققین و مدیران به اهمیت انتخاب تأمین‌کننده برای افزایش توان رقابتی زنجیره تأمین پی برده‌اند. کاهش تعداد تأمین‌کنندگان در

\* نویسنده مسئول. محمدمهدی لطفی

تلفن: ۰۳۵۱-۸۱۲۲۴۰۹؛ پست الکترونیکی: lotfi@yazd.ac.ir

موضوع تصمیم‌گیری را سخت‌تر می‌کند.

موضوع دیگری که باید در انتخاب تأمین‌کنندگان مورد توجه قرار گیرد کیفیت محصول خرید شده، تعداد اقلام معیوب در محموله و به‌هنگام بودن ارسال‌ها و دریافت‌ها است. کسب رضایت مشتری، و تأمین نیازها و اولویت‌های وی مستلزم انتخاب سریع و مناسب تأمین‌کنندگان است. در واقع، پیچیدگی و اهمیت تصمیم‌گیری در مورد انتخاب تأمین‌کنندگان با توجه به مجموعه عوامل بالا، ضرورت ارائه مدلی همه‌جانبه را بیشتر نشان می‌دهد.

مدیران شرکت‌ها و کارخانه‌ها نیازمند ابزاری هستند که بتوانند مناسب‌ترین تأمین‌کنندگان را بر اساس قیمت پیشنهادی، کیفیت اقلام ارسالی، و ظرفیت وسایل حمل‌ونقل انتخاب کنند. علاوه بر این، باید بتوانند میزان سفارش خود برای دوره‌های آتی را بر اساس محدودیت فضای انبار و هزینه رکود سرمایه مشخص کنند. اهمیت کنترل موجودی، انتخاب تأمین‌کننده و تعیین اندازه بهینه سفارش موجب شده است مدل‌های تحلیلی زیادی در این زمینه ارائه شود.

در گذشته مدل‌های یک دوره‌ای و چند دوره‌ای برای مسئله کنترل موجودی ارائه شده که اغلب غیرخطی بوده‌اند. مدل‌های چند دوره‌ای کنترل موجودی به طور گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف تولید و فروش مورد استفاده قرار گرفته‌اند. ولی وجود برخی فرضیات ساده‌کننده در این مدل‌ها سبب شده است در دنیای واقعی امکان بهره‌گیری از آنها وجود نداشته باشد. دو سیاست پایه در مطالعات کنترل موجودی عبارتند از مرور پیوسته و مرور دوره‌ای. در سیاست مرور پیوسته می‌توان در هر لحظه با توجه به موجودی در دست سفارش داد ولی در سیاست مرور دوره‌ای سفارش‌دهی فقط در زمان‌های معین ممکن است.

در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی در مسائل کنترل موجودی چند دوره‌ای به ویژه در سطح زنجیره تأمین انجام شده اما در بیشتر آنها محدودیت‌های دنیای واقعی به طور کامل لحاظ نشده و بیشتر به تصادفی بودن مدت تحویل و تقاضا توجه شده است. مدل تعیین اندازه سفارش چند دوره‌ای یک محصولی، در ادبیات مدیریت تولید و موجودی به خوبی شناخته شده است. در این زمینه، واگنر و ویتین [۲] یک الگوریتم حل برنامه‌ریزی پویا برای مدل‌های چند محصولی با چند تأمین‌کننده ارائه دادند. هر چند این الگوریتم یک راه حل بهینه ارائه می‌دهد ولی درک آن مشکل و نیازمند محاسبات بسیاری است. برخی از محققین در جهت بهبود عملکرد این الگوریتم کار کرده‌اند که منجر به کاهش حجم محاسبات و فضای جستجو شده است.

تاکنون پژوهش‌های زیادی در مورد انتخاب تأمین‌کننده، تعیین اندازه سفارش اقتصادی، تخفیف در هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل، در نظر گرفتن نرخ ضایعات و اقلام قابل بازساخت، و ظرفیت وسایل نقلیه انجام شده ولی نیاز به یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی کاربردی و با پیچیدگی قابل کنترل که تمام موارد برشمرده بالا را به طور همزمان مدنظر قرار دهد، احساس می‌شود. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح مختلط برای مسئله اندازه سفارش

اقتصادی چند دوره‌ای با چند تأمین‌کننده و لحاظ کردن درصد اقلام معیوب و قابل بازساخت ارائه می‌شود. ویژگی مهم مدل پیشنهادی این است که به سادگی توسط نرم‌افزارهای بهینه‌سازی موجود به جواب بهینه می‌رسد و ابزاری قدرتمند برای تصمیم‌گیری مدیران در افق برنامه‌ریزی میان‌مدت خواهد بود.

در بخش دوم مقاله، پژوهش‌ها در زمینه تعیین اندازه سفارش، تخفیف در قیمت و هزینه‌های حمل‌ونقل و محصولات قابل بازساخت بررسی می‌شود. در بخش سوم، تعریف و فرضیات مسئله و مدل ریاضی آن بیان می‌شود. در بخش چهارم، مثال‌های عددی برای ارزیابی اعتبار مدل و پیچیدگی محاسباتی آن، و در بخش پنجم، تحلیل حساسیت پارامترهای مدل ارائه می‌شود. در پایان، نتایج حاصل از ارائه مدل و تحلیل حساسیت آن ذکر خواهد شد.

## ۲- مروری بر ادبیات

طالعی‌زاده و همکاران [۳] یک مدل چند محصولی با تقاضای تصادفی در یک افق برنامه‌ریزی محدود با چند تأمین‌کننده، سیستم مرور دوره‌ای و سیاست حمل‌ونقل یکپارچه موجودی ارائه دادند. کریمی و همکاران [۴] در مورد برخی از پارامترها و ویژگی‌های مهم مدل‌های اندازه سفارش شامل افق برنامه‌ریزی، تعداد محصولات، محدودیت منابع و ظرفیت، آسیب دیدن اقلام، تقاضا و کمبود موجودی بحث کردند. استون و دمیرتاس [۵] اندازه سفارش اقتصادی را با استفاده از یک رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی با اهداف بودجه، کیفیت، ارزش خرید و تقاضا تعیین کردند، در حالی که هزینه حمل‌ونقل به ازای واحد کالا محسوب شد. دمیرتاس و استون [۶] مسئله توأم انتخاب بهترین تأمین‌کننده و تعیین اندازه سفارش چند دوره‌ای را با استفاده از تصمیم‌گیری چند هدفه مورد مطالعه قرار دادند.

رضایی و داوودی [۷] دو مدل غیرخطی مختلط چند هدفه با توابع هدف هزینه، کیفیت و سطح خدمت برای انتخاب تأمین‌کننده در مسئله اندازه سفارش چند دوره‌ای ارائه کردند. نتایج نشان داد اگر خریداران تأخیر در سفارش را بپذیرند، سطح هزینه آنها نسبت به حالت ارضای بدون تأخیر تقاضا کمتر است. ون‌نوردن و ون‌دی‌ولد [۸] یک مدل اندازه سفارش با در نظر گرفتن هزینه‌های موجودی، حمل و نقل و سفارش‌دهی ارائه و فرض کردند کارخانه قصد دارد قراردادی بلندمدت با یک شرکت برای حمل قطعات توسط پالت‌های مشخص منعقد کند. اما نتایج نشان داد هزینه‌های حمل با پالت کاهش نمی‌یابد. مسائل تخفیف بر حسب نوع محصولات و تعداد تأمین‌کنندگان به دسته‌های مختلفی طبقه‌بندی می‌شوند [۹]. این دسته‌بندی عبارتست از: یک تأمین‌کننده-یک محصول [۱۰، ۱۱]، یک تأمین‌کننده-چند محصول [۱۲، ۱۳]، چند تأمین‌کننده-یک محصول [۱۴، ۱۵] و چند تأمین‌کننده-چند محصول [۱۷، ۱۸، ۱۹].

ترساین و همکاران [۲۰] برای اولین بار یک مدل خطی برای اندازه سفارش پویا در شرایط تخفیف با قابلیت بازپرسازی هماهنگ

دادند و خطمشی بهینه و زمان مناسب برای تعویض شرایط از تولید به بازتولید را معین کردند. پلین باینیدیر و همکاران [۳۰] یک مدل کنترل موجودی برای کسب منافع بازساخت محصولات معیوب ارائه کردند با این فرض که بازتولید یک محصول معیوب بسیار به صرفه‌تر از جایگزینی آن با یک محصول جدید است زیرا محصول جدید مستلزم استفاده از منابع جدید و در نتیجه هدر رفتن منابع مصرف شده است. پلین باینیدیر و همکاران [۳۱] منافع حاصل از کاهش هزینه‌های موجودی محصولات بازساختی را با فرض وجود صف در شبکه تولید بررسی کردند. آنها فرض کردند مشتری نسبت به خرید محصول ساخته شده یا بازساخت شده (مانند بسیاری از قطعات کامپیوتری و دستگاه‌های کپی) بی تفاوت است.

داهل [۳۲] مسأله تعیین اندازه سفارش را وقتی تأمین‌کنندگان با توجه به کل مبلغ خرید تخفیف‌هایی ارائه می‌دهند، با یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه بررسی کرد. اهداف خریدار برای انتخاب تأمین‌کننده شامل قیمت کمتر، حمل به موقع و کیفیت مناسب بود. تأمین‌کنندگان محدودیت‌هایی دارند، می‌توانند چند محصول مختلف ارائه کنند و باید کالا را به محل‌های مختلفی با قیمت‌های متفاوت تحویل دهند. لی و همکاران [۳۳] هر تأمین‌کننده را بر اساس پنج معیار استاندارد مدیریت کیفیت ایزو ۹۰۰۰ ارزیابی کردند. سپس یک مدل ریاضی برای انتخاب تأمین‌کننده نهایی و تخصیص سفارش با هدف بیشینه کردن مجموع موزون امتیازات تأمین‌کنندگان در چارچوب محدودیت‌هایی مانند هزینه، زمان تولید و ... ارائه کردند. روزنبلات و همکاران [۳۴] موضوع خرید یک محصول از چند تأمین‌کننده را با هدف کمینه کردن هزینه خریدار بر پایه مدل مقدار سفارش اقتصادی و با این شرط که هر بار تنها امکان خرید از یک تأمین‌کننده است، بررسی کردند. با توجه به غیرخطی بودن تابع هدف از دو روش برنامه‌ریزی پویا و یک روش ابتکاری استفاده کردند.

هنگ و همکاران [۳۵] توانایی‌های تأمین‌کنندگان را در طول دوره تأمین در حال تغییر در نظر گرفتند و با توجه به شرایط موردنظر خریدار در هر دوره، آنها را با روش خوشه‌بندی (Clustering) به چند گروه تقسیم کردند. هر گروه می‌تواند در هر دوره برخی از معیارها را ارضا کند و برخی دیگر را نه. در هر دوره گروهی از تأمین‌کنندگان انتخاب می‌شوند که بتوانند بیشترین در آمد را برای خریدار داشته باشند. سه مرحله برای انتخاب تأمین‌کننده عبارت بودند از (۱) تعریف و خلاصه‌سازی معیارها، (۲) تعیین دوره‌های برنامه‌ریزی، جستجو و گروه‌بندی تأمین‌کنندگان، و (۳) انتخاب تأمین‌کنندگان نهایی با یک مدل برنامه‌ریزی خطی. مندال و دشموخ [۳۶] مدلی بر اساس قضاوت گروهی ارائه دادند.

عسکرپور و داوودپور [۳۷] یک مدل غیرخطی برای مسأله توأم برنامه‌ریزی تولید با تابع هزینه مقرر و قیمت‌گذاری محصولات برای مدیریت تقاضا ارائه کردند. وروس [۳۸] یک مدل اندازه تولید و سفارش اقتصادی با فرض رابطه احتمالی برای نرخ اقلام معیوب و با هدف جلوگیری از کمبود ارائه داد. اقلام معیوب به تأمین‌کننده بازگردانده می‌شود یا با قیمتی کمتر فروخته می‌شود. نرخ اقلام معیوب هر دوره در دو حالت مستقل و وابسته به دوره‌های پیشین بررسی شد. دوبروس و

(Coordinated Replenishment) ارائه کردند. چادهاری و شانکار [۲۱] مسأله اندازه سفارش اقتصادی چند دوره‌ای با در نظر گرفتن نرخ اقلام مرجوعی و تأخیر در ارسال محصولات را مدل‌سازی و تحلیل کردند. در تابع هدف مدل پیشنهادی، سعی شد بین سه هدف کمینه کردن هزینه‌های خرید، حمل‌ونقل و نگهداری تعادل برقرار شود.

محمد ابراهیم و همکاران [۲۲] مسأله انتخاب تأمین‌کننده در شرایط نقاط تخفیف قیمت متعدد را مورد توجه قرار دادند. در حالت اول، قیمت تمام کالای خرید شده بر اساس بازه انتخابی شکست تأمین‌کننده تعیین می‌شود. در حالت دیگر، تخفیف هر بازه تنها شامل تعداد کالایی است که بیش از حد پایین آن بازه (که توسط تأمین‌کننده تعیین می‌شود) خرید شده است. در حالت سوم، هرچه حجم مبادلات تأمین‌کننده و خریدار بیشتر شود، تخفیف افزایش می‌یابد. این حالت بیشتر در حالت چند محصولی کاربرد دارد زیرا نه به نوع محصول خرید شده بلکه به کل حجم مبادلات وابسته است.

تسائو و لو [۲۳] یک روش تقریبی برای حل مسأله طراحی شبکه تأمین چند سطحی ارائه کردند که در آن هزینه‌های موجودی، سفارش‌دهی، حمل‌ونقل و تسهیلات به صورت یکپارچه لحاظ شدند. هائو و همکاران [۲۴] مدلی برای بررسی تخفیف همزمان در قیمت و هزینه‌های حمل‌ونقل از کارخانه‌ها به خرده‌فروش‌ها ارائه کردند و نتیجه گرفتند اگر کارخانه‌ها در هزینه‌های حمل‌ونقل تخفیف قائل شوند، قیمت عمده‌فروشی و محصولی که در نهایت به دست مشتری می‌رسد، کاهش پیدا خواهد کرد. بر این اساس، تخفیف در هزینه حمل‌ونقل موجب می‌شود خرده‌فروش کالای بیشتری به دفعات کمتر سفارش دهد.

درویش [۲۵] یک مدل ریاضی اندازه سفارش با در نظر گرفتن هزینه حمل‌ونقل و خرید محصول در شرایط تقاضای تصادفی توسعه داد. بر اساس نتایج، وقتی هزینه‌های حمل‌ونقل و خرید به طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند، هزینه‌های اندازه سفارش در شرایط عدم قطعیت تقاضا می‌تواند تا ۱۷/۵٪ کاهش یابد. هائو و همکاران [۲۶] با بررسی تخفیف قیمت و هزینه‌های حمل‌ونقل در مسأله روزنامه‌فروشی با تقاضای تصادفی، قیمت فروش محصول و میزان خرید خرده‌فروش را به طور همزمان بهینه کردند. نتایج نشان داد تخفیف در هزینه‌های حمل‌ونقل، خرده‌فروش‌ها را به افزایش خرید در هر دوره تشویق می‌کند تا قیمت تمام‌شده کالا برای مشتری کاهش یابد. همچنین هر چه تغییرات تقاضا کمتر باشد، خرده‌فروش‌ها تمایل به ثبت تقاضای بیشتری خواهند داشت.

پینرو و ویرا [۲۷] یک مدل ریاضی برای تعیین اندازه سفارش محصولات قابل بازساخت (Remanufacturable) در افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای ارائه کردند که خریدار مجاز به قبول محصول قابل بازساخت یا تعویض آن با محصول سالم بود. ریشتر و سومبروترکی [۲۸] مدل و الگوریتم واگنر-ویتین را با افزودن فرض قابلیت بازساخت محصولات توسعه دادند و برنامه‌ای برای شروع تولید مجدد محصول و زمان بازساخت محصولات ارائه کردند. ریشتر و وبر [۲۹] با در نظر گرفتن هزینه اقلام مرجوعی و امکان ساخت آنها، مدل واگنر-ویتین را توسعه

تمرکز روی برقراری تعادل بین هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل است. در جدول (۱)، خلاصه‌ای از مرور ادبیات پژوهش ارائه شده است.

از یک طرف بهتر است برای کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل و خرید محصول ناشی از تخفیف تأمین‌کننده، حجم هر بار سفارش بیشتر باشد و از طرف دیگر، برای کاهش هزینه‌های انبارداری و فرصت (سرمایه راکد در انبار)، مقدار هر بار سفارش به کمترین برسد. پس مسأله مورد بررسی در این مقاله این است که کدام تأمین‌کننده بر اساس قیمت خرید پیشنهادی و میزان تخفیف هزینه حمل‌ونقل انتخاب شود و تعداد دفعات حمل به چه میزان می‌تواند افزایش یابد تا در عین حال همزمان هزینه کل سیستم تأمین و انبارداری نیز در سطح مناسب قرار داشته باشد؟

با این توضیحات نوآوری این مقاله عبارت است از (۱) ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عددصحیح با توجه همزمان به هزینه‌های خرید، نگهداری، و حمل‌ونقل و سفارش‌دهی، زیرا مدل‌هایی که همه این هزینه‌ها را در نظر گرفته‌اند بیشتر ماهیت غیرخطی دارند و (۲) لحاظ کردن همزمان تخفیف در قیمت محصول، و تخفیف در هزینه‌های حمل‌ونقل به ازای تعداد وسیله نقلیه ارسالی (نه به ازای واحد کالای خریداری شده)، همچنین در نظر گرفتن درصد اقلام معیوب و قابل بازساخت و تأخیر اقلام ارسالی توسط تأمین‌کننده.

### ۳- بیان مسأله و مدل ریاضی

با توجه به مرور ادبیات می‌توان گفت مدل‌های ارائه شده برای اندازه سفارش چند دوره‌ای اغلب یا غیرخطی بوده و یا فرضیات آنها برای به‌کارگیری در دنیای واقعی کاربردی نبوده است. در بسیاری مواقع، درصدی از اقلام سالم هنگام حمل‌ونقل آسیب می‌بینند که بخشی از آنها بعد از رسیدن به مقصد به دلیل جزئی بودن آسیب قابل بازساخت هستند. این بازساخت می‌تواند به صورت تمیزکاری، مونتاژ مجدد، تعویض یک قطعه کوچک، مونتاژ قطعات سالم دو محصول معیوب و ... باشد [۲۷]. البته تأمین‌کننده به دلیل بی‌دقتی در حمل باید جریمه‌ای را به کارخانه مقصد بپردازد.

در این مسأله قیمت کالاهای قابل بازساخت بسیار کمتر از کالای سالم در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند موجب بهبود سیستم حمل‌ونقل شود. همچنین هزینه حمل‌ونقل به تعداد وسیله نقلیه ارسالی با ظرفیت محدود از جانب تأمین‌کننده وابسته است. در این مدل تأمین‌ندگان هم در ازای خرید کالای بیشتر و هم در ازای ارسال وسیله نقلیه بیشتر تخفیف در نظر می‌گیرند تا خریدار را به خرید کالای بیشتر تشویق کنند. برای تأمین‌کننده فرقی نمی‌کند چه مقدار از ظرفیت وسایل نقلیه استفاده می‌شود. از طرفی، خریدار باید هزینه‌های نگهداری موجودی و سفارش‌دهی را نیز مدنظر قرار دهد، بنابراین در تعیین اندازه سفارش باید بین هزینه‌های حمل‌ونقل، سفارش‌دهی و نگهداری

همکاران [۳۹] یک مسأله اندازه سفارش اقتصادی تک محصولی با یک تأمین‌کننده و یک خریدار و محصولات قابل بازساخت را بررسی کردند. خریدار محصولات قابل بازساخت را جمع می‌کند و تأمین‌کننده وسیله‌ای برای جمع‌آوری آنها و بازساخت و ارسال مجدد در نظر می‌گیرد. آنها نتیجه گرفتند اگر تأمین‌کننده و خریدار برای قبول محصولات قابل بازساخت به تفاهم برسند، منافع مشترکی برای هر دو خواهد داشت.

نعیم و همکاران [۴۰] یک مسأله اندازه سفارش تک محصولی با مقررات تولید و بازتولید را بررسی کردند که تقاضا و نرخ مرجوعی به دو صورت تصادفی و ثابت در نظر گرفته می‌شد و دو نوع موجودی قابل بازیابی و قابل تعمیر وجود داشت. آنها یک مدل برنامه‌ریزی پویا برای تعیین مقادیر تولید یا بازساخت هر دوره با هدف کمینه کردن کل هزینه شامل هزینه تولید، هزینه نگهداری قطعات مرجوعی و محصول نهایی، و هزینه کمبود ارائه کردند. نتایج نشان داد اگر تقاضا و نرخ مرجوعی ثابت باشد، موجودی باقی‌مانده بعد از ارضای تقاضا نباید بیش از ظرفیت انبار باشد اما اگر تصادفی باشد، تولید کلی نباید بیش از ظرفیت انبار باشد. موسوی و همکاران [۴۱] مدلی برای کنترل موجودی چند دوره‌ای چند محصولی فصلی با وجود تورم و تخفیف کلی توسعه دادند که محصولات درجه‌بندی با تعداد مشخص دریافت می‌شود و کمبود به صورت پس‌افت مجاز است. فضای انبار و بودجه محدودیت در نظر گرفته شد و هدف یافتن تعداد بهینه جعبه‌های محصولات در هر دوره برای کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری، کمبود، خرید و سفارش‌دهی بود.

مندوزا و ونتورا [۴۲] یک مدل غیرخطی عددصحیح مختلط با هدف کمینه کردن هزینه‌های خرید کالا، حمل‌ونقل، و نگهداری موجودی برای بررسی تأثیر هزینه‌های حمل‌ونقل روی انتخاب تأمین‌کننده و مدیریت موجودی ارائه کردند. نتایج نشان داد که توجه به هزینه‌های حمل‌ونقل در برنامه‌ریزی موجودی، نه تنها در تعداد کالای ارسالی از تأمین‌کننده منتخب تأثیرگذار است بلکه بر انتخاب خود تأمین‌کننده نیز مؤثر خواهد بود. در واقع، اگر هزینه‌های حمل‌ونقل لحاظ نشود، به طور متوسط ماهانه ۱۴/۷ درصد کل هزینه‌ها و ۸۸/۹ درصد هزینه‌های حمل‌ونقل افزایش می‌یابد.

لی و همکاران [۴۳] یک مدل برنامه‌ریزی خطی عددصحیح با هدف کاهش همزمان هزینه‌های خرید، نگهداری، سفارش‌دهی و حمل‌ونقل در شرایط تخفیف کلی برای قیمت محصول ارائه کردند. هدف، تعیین سطح بازپرسازی مواد بود. آنها برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک بهره گرفتند. همچنین لی و همکاران [۴۴] در مطالعه مشابه دیگری، مدل را در حالتی که قیمت محصول شامل تخفیف کلی و جزئی می‌شود دوباره بررسی کردند. منسینی و همکاران [۴۵] یک مدل برنامه‌ریزی خطی یک دوره‌ای چند محصولی برای انتخاب تأمین‌کننده در شرایط وجود تخفیف قیمت با تابع هدف تنها شامل هزینه خرید و حمل‌ونقل ارائه کردند. نتایج نشان داد ظرفیت وسایل نقلیه، تخفیف قیمت و ساختار هزینه‌ها به شدت تأثیرگذار هستند. اگر تعداد کمی از تأمین‌کنندگان تخفیف بدهند، مدل تمایل دارد همگی را انتخاب کند اما وقتی همه تأمین‌کنندگان تخفیف ارائه می‌کنند،

جدول (۱): خلاصه و مقایسه مرور ادبیات پژوهش.

توابع هدف				تخفیف		نوع مدل		کیفیت			ظرفیت وسایل نقلیه	یک‌دوره‌ای	چنددوره‌ای	
هزینه نگهداری	هزینه حمل و نقل	هزینه خرید	هزینه سفارش دهی	قیمت محصول	حمل و نقل	خطی	غیر خطی	اقدام قابل بازساخت	اقدام معیوب	اقدام تأخیر شده				
✓	✓	✓					✓		✓	✓	✓		✓	رضایی و داوودی [۷]
✓	✓	✓	✓			✓					✓		✓	ون‌نوردن و ون‌دی‌ولد [۸]
✓	✓	✓	✓	✓		✓							✓	چادھاری و شانکار [۲۱]
	✓	✓	✓	✓	✓		✓						✓	هائو و همکاران [۲۴]
	✓	✓	✓	✓	✓		✓					✓		درویش [۲۵]
✓			✓			✓		✓					✓	پینرو و ویرا [۲۷]
✓							✓		✓					وروس [۳۸]
✓		✓	✓	✓			✓	✓						دوبوس و همکاران [۳۹]
✓		✓	✓	✓			✓						✓	موسوی و همکاران [۴۱]
✓	✓	✓					✓		✓					مندوزا و ونورا [۴۲]
✓	✓	✓	✓	✓		✓							✓	لی و همکاران [۴۳]
✓	✓	✓	✓	✓		✓					✓		✓	لی و همکاران [۴۴]
	✓	✓		✓		✓						✓		منسینی و همکاران [۴۵]
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	این پژوهش

تعداد برقرار کند که این مسأله کار را پیچیده‌تر خواهد کرد.

### ۱-۳- فرضیات مدل

- مدل پیشنهادی یک محصولی است، تقاضا یکنواخت و در ابتدای دوره برنامه‌ریزی معین است.
- ظرفیت هر تأمین‌کننده محدود است.
- ظرفیت وسایل نقلیه محدود است.
- هزینه حمل‌ونقل وابسته به تعداد وسیله نقلیه ارسالی است نه تعداد کالای ارسالی.
- بازسازی اقدام قابل بازساخت در کارخانه مقصد به مدت یک دوره به طول می‌انجامد و این اقدام برای دوره بعد قابل استفاده خواهند بود.
- اقدام تأخیر شده در یک دوره برای دوره بعد به دست خریدار خواهد رسید.
- اقدام معیوب بدون هیچ هزینه‌ای به کارخانه تأمین‌کننده ارسال خواهد شد.
- ظرفیت انبار خریدار برای نگهداری کالا محدود است.

### ۲-۳- پارامترهای مدل

$i$ : اندیس تأمین‌کننده ( $i=1,2,\dots,T$ )

$m$ : اندیس سطوح تخفیف در قیمت کالا ( $m=1,2,\dots,M$ )

$t$ : اندیس دوره برنامه‌ریزی ( $t=1,2,\dots,T$ )

$p_{imt}$ : درصد اقدام معیوب قابل بازساخت که در دوره  $t$  در سطح

قیمت  $m$  از تأمین‌کننده  $i$  خرید می‌شود

$q_{imt}$ : درصد اقدام معیوب غیر قابل بازساخت که در دوره  $t$  در

سطح قیمت  $m$  از تأمین‌کننده  $i$  خرید می‌شود

$f_{imt}$ : درصد اقدام تأخیر شده که در دوره  $t$  در سطح قیمت  $m$  از

تأمین‌کننده  $i$  خرید می‌شود

$W_t$ : بیشترین ظرفیت انبار در دوره  $t$

$h_t$ : هزینه نگهداری واحد موجودی در دوره  $t$

$s_i$ : هزینه ارسال یک وسیله نقلیه با تخفیف از تأمین‌کننده  $i$  به

کارخانه مقصد

$r_{imt}$ : قیمت واحد کالای سالم که در دوره  $t$  در سطح قیمت  $m$  از

تأمین‌کننده  $i$  خرید می‌شود

$v_{imt}$ : قیمت واحد کالای قابل بازساخت که در دوره  $t$  در سطح

قیمت  $m$  از تأمین‌کننده  $i$  خرید می‌شود

$o_{it}$ : هزینه سفارش‌دهی به تأمین‌کننده  $i$  در دوره  $t$

$u_{it}$ : ظرفیت وسیله نقلیه ارسال شده توسط تأمین‌کننده  $i$  در

دوره  $t$

$c_{it}$ : ظرفیت تأمین‌کننده  $i$  در دوره  $t$

$b_{imt}$ : حد بالای بازه تخفیف قیمت  $m$  که تأمین‌کننده  $i$  در دوره  $t$

تعیین می‌کند

$d_t$ : تقاضای خریدار در دوره  $t$

$\alpha_j$ : وزن تابع هدف  $j$ ام

## ۳-۳- متغیرهای تصمیم

نقلیه‌ای که تأمین‌کننده باید با توجه به سفارش ارسال کند را محاسبه می‌کند. با توجه به محدودیت (۸)، موجودی در هر دوره نباید از بیشترین ظرفیت انبار تجاوز کند. محدودیت (۹) متغیرهای عدد صحیح و باینری را تعریف می‌کند. توجه شود که اگر  $y_{imt}$  صحیح باشد، محدودیت (۶) ایجاب می‌کند که  $z_{it}$  هم باینری باشد. پیچیدگی و دشواری محاسبات مدل پیشنهادی که یک برنامه‌ریزی مختلط خطی عدد صحیح است، با افزایش بعد مسئله و تعداد نقاط تخفیف قیمت (که نیاز به استفاده از متغیرهای صفر-یک بیشتری را ایجاب می‌کند) افزایش می‌یابد. در جدول (۲)، ابعاد مدل پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش بعد، به تفصیل به این موضوع پرداخته خواهد شد.

$x_{imt}$ : تعداد کالایی که در دوره  $t$  در بازه تخفیف قیمت  $m$  از تأمین‌کننده  $i$  خرید می‌شود  
 $n_{it}$ : تعداد وسیله نقلیه ارسالی از تأمین‌کننده  $i$  به کارخانه مقصد در دوره  $t$   
 $I_t$ : موجودی پایان دوره  $t$   
 $y_{imt}$ : متغیر صفر-یک که مقدار یک می‌گیرد اگر در دوره  $t$  از تأمین‌کننده  $i$  در بازه تخفیف قیمت  $m$  خرید شود  
 $z_{it}$ : متغیر صفر-یک که مقدار یک می‌گیرد اگر در دوره  $t$  به تأمین‌کننده  $i$  سفارش داده شود

## ۴-۳- مدل ریاضی

تابع هدف مدل از سه بخش شامل (a-1) هزینه‌های خرید، (b-1) هزینه‌های حمل‌ونقل و سفارش‌دهی، و (c-1) هزینه‌های نگهداری موجودی تشکیل شده است. در بخش دوم در مورد وجود تعارض بین این سه هدف و نیاز به برقراری تعادل بین آنها بحث شد. بنابراین در تابع هدف نهایی مدل، سعی می‌شود مجموع موزون سه هدف پیشنهادی کمینه شود.

$$\text{Min } z = \alpha_1 \cdot z_1 + \alpha_2 \cdot z_2 + \alpha_3 \cdot z_3 \quad (1)$$

$$z_1 = \sum_i \sum_m \sum_t p_{imt} \cdot v_{imt} \cdot x_{imt} + \sum_i \sum_m \sum_t (1 - p_{imt}) \cdot (1 - q_{imt}) \cdot r_{imt} \cdot x_{imt} \cdot (a-1)$$

$$z_2 = \sum_i \sum_t o_{it} \cdot z_{it} + \sum_i \sum_t n_{it} \cdot s_i \cdot (b-1)$$

$$z_3 = \sum_t h_t \cdot I_t \cdot (c-1)$$

$$I_{t-1} + \sum_i \sum_m x_{imt} + \sum_i \sum_m (f_{im,t-1} + p_{im,t-1}) \cdot x_{im,t-1} \geq d_t + \sum_i \sum_m (f_{im,t} + q_{im,t}) \cdot x_{im,t} \quad \forall t \quad (2)$$

$$x_{imt} \leq z_{it} \cdot \sum_{k=t}^T d_k \quad \forall i, m, t \quad (3)$$

$$b_{im,t} \cdot y_{imt} \leq x_{imt} \leq b_{i,m+1,t} \cdot y_{imt} \quad \forall i, m, t \quad (4)$$

$$x_{imt} \leq c_{it} \cdot y_{imt} \quad \forall i, m, t \quad (5)$$

$$\sum_m y_{imt} = z_{it} \quad \forall i, t \quad (6)$$

$$\frac{\sum_m x_{imt}}{u_{it}} = n_{it} \quad \forall i, t \quad (7)$$

$$0 \leq I_t \leq w_t \quad \forall t \quad (8)$$

$$n_{it} \text{ Integer}; y_{imt} \in \{0,1\} \quad \forall i, t \quad (9)$$

محدودیت (۲) برای تعادل موجودی در انتهای هر دوره تعریف شده است. محدودیت (۳) بیان می‌کند که خریدار زمانی می‌تواند به میزان نیاز خود از تأمین‌کننده بخرد که به او سفارش داده باشد. بر اساس محدودیت (۴)، در هر سطح تخفیف فقط می‌توان به میزان حدود تخفیف سفارش داد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که تعداد کالایی سفارش داده شده در هر سطح تخفیف از ظرفیت تأمین‌کننده کمتر باشد. محدودیت (۶) بیان می‌کند که فقط در یک سطح تخفیف می‌توان به تأمین‌کننده سفارش داد. محدودیت (۷) تعداد وسیله

## ۴-۴- تحلیل نتایج محاسباتی

برای ارزیابی اعتبار مدل از یک مثال عددی برگرفته از پژوهش‌های پیشین، و برای ارزیابی پیچیدگی زمانی مدل از یک مثال عددی با داده‌های تصادفی در ابعاد بزرگ استفاده و در بخش بعدی، تحلیل حساسیت برای بررسی تأثیر پارامترهای مدل روی جواب بهینه، انجام می‌شود. تقاضا، هزینه نگهداری واحد کالا و ظرفیت انبار خریدار برای ۶ دوره در جدول (۳) آمده است. جدول (۴) ظرفیت وسایل نقلیه ارسالی سه تأمین‌کننده در هر دوره برنامه‌ریزی را ارائه می‌دهد. ظرفیت تأمین‌کنندگان در دوره‌های مختلف متفاوت در نظر گرفته می‌شود تا تأثیر آن در هزینه‌های حمل‌ونقل قابل ارزیابی باشد. در جدول (۵) تا (۷)، داده‌های تأمین‌کنندگان شامل بازه‌های تخفیف و قیمت هر بازه، ظرفیت و هزینه سفارش‌دهی آورده شده است. داده‌های مربوط به بازه‌های تخفیف تأمین‌کنندگان، تقاضا، و هزینه‌های نگهداری از مطالعه چاداری و شانکار [۲۱] گرفته شده است تا امکان مقایسه بین نتایج دو پژوهش فراهم شود. در جدول (۸)، هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کنندگان ارائه شده است. برای تأمین‌کنندگان با قیمت پایین‌تر، هزینه حمل‌ونقل بیشتری در نظر گرفته شده است تا مدل بتواند بهترین تأمین‌کنندگان را هم از نظر قیمت خرید و هم از نظر هزینه‌های حمل‌ونقل انتخاب کند. همچنین برای بررسی تأثیر اولویت توابع هدف‌روی جواب بهینه، هفت نحوه اولویت‌بندی مختلف برای توابع هدف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

برای حل مدل از بسته نرم‌افزار برنامه‌ریزی ریاضی گمز ۲۲.۲ استفاده شد. بسته‌های بهینه‌سازی برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح مانند گمز می‌توانند به جواب بهینه سرتاسری برسند یا جواب‌هایی با شکاف بهینگی نسبی قابل قبول تضمین کنند. این نرم‌افزارها از روشی کارا به نام انشعاب و برش (Branch-and-Cut) استفاده می‌کنند که ترکیبی مؤثر از دو تکنیک حل معتبر یعنی انشعاب و تحدید و صفحات برشی است.

جدول (۲): ابعاد مدل پیشنهادی

محدودیت‌ها		متغیرها		تعداد
عدد صحیح	پیوسته	عدد صحیح	پیوسته	
$2IT(M+1)$	$T(IM+I+1)$	$2IT(M+1)$	$IT(M+1)$	$T(IM+2)$

گرفته می‌شود. در مسأله ۳ که هدف تنها کمینه کردن هزینه‌های خرید محصول است، بهترین خط‌مشی، اندازه سفارش با دسته‌های بزرگ است تا بتوان از تخفیف بیشتر برای خرید بیشتر بهره برد. اندازه سفارش‌های بزرگ‌تر باعث کاهش هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل، و افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود. شکل (۱) نشان می‌دهد که اگر به هزینه‌های نگهداری توجهی نشود، این هزینه‌ها به شدت افزایش پیدا خواهد کرد و حتی با هزینه‌های حمل‌ونقل برابر خواهد شد که در مسائل ۲، ۳ و ۵ کاملاً مشخص است. مقایسه مسأله ۲ و ۳ اهمیت توجه به هزینه‌های حمل‌ونقل را بیشتر مشخص، و بیان می‌کند که توجه به هزینه‌های حمل‌ونقل تقریباً به اندازه هزینه‌های خرید محصول می‌تواند باعث کاهش کل هزینه شود.

بیشترین هزینه کل مربوط به مسأله ۶ است جایی که خریدار فقط به هزینه‌های خرید محصول و هزینه‌های نگهداری موجودی توجه می‌کند. در مسأله ۴، توجه همزمان به هزینه‌های حمل‌ونقل و موجودی می‌تواند کل هزینه‌ها را تا حد قابل توجهی کاهش دهد. جواب بهینه هنگامی حاصل می‌شود که به همه هزینه‌ها به طور یکسان توجه شود (مسأله ۷). در مجموع، می‌توان گفت که برای کاهش قیمت کالا یا خدمات و افزایش رضایت مشتری باید مبادله‌ای منطقی بین هزینه‌های مختلف برقرار شود. در جداول (۱۳) و (۱۴) اطلاعات مربوط تعداد وسیله نقلیه ارسالی توسط تأمین‌کنندگان در هر دوره آمده است. از شکل (۲) می‌توان دریافت که در مسأله ۱ که هدف کمینه‌سازی هزینه‌های نگهداری است، دسته‌های سفارش کوچک به دفعات بیشتر از تأمین‌کنندگانی که ظرفیت وسیله نقلیه آنها کمتر و تخفیف آنها در دوره موردنظر بیشتر است، درخواست شده تا موجودی انبار کاهش یابد.

در مسأله ۲ که هدف کمینه‌سازی هزینه‌های حمل‌ونقل است، تصمیم‌گیرنده باید تعداد دفعات حمل‌ونقل را کاهش و به تأمین‌کنندگانی با ظرفیت وسایل نقلیه بیشتر سفارش دهد تا تعداد وسیله بکار گرفته شده کاهش یابد. در مسأله ۳ که توجه تصمیم‌گیرنده تنها به قیمت محصول تأمین‌کننده است، خریدار دچار گمراهی می‌شود زیرا تأمین‌کننده با ارسال وسایل با ظرفیت پایین، هزینه‌های خرید را کاهش داده اما کل هزینه‌ها به شدت افزایش یافته است. بنابراین می‌توان به روشنی نتیجه توجه افراطی به قیمت محصول و بی‌توجهی به هزینه‌های حمل‌ونقل را مشاهده کرد.

در مسأله ۴ با هدف کمینه‌سازی همزمان هزینه‌های حمل‌ونقل و نگهداری و با توجه به هزینه حمل‌ونقل زیاد تأمین‌کننده ۳ نسبت به دو تأمین‌کننده دیگر، تنها در دوره‌های اول و آخر که ظرفیت وسیله نقلیه این تأمین‌کننده بیش از سایرین است، برای سفارش‌دهی انتخاب شده است. مسأله ۵ اهمیت توجه به ظرفیت وسیله نقلیه همزمان با هزینه حمل‌ونقل و قیمت را به خوبی نشان می‌دهد. در نتایج این مسأله، هزینه حمل‌ونقل و قیمت تأمین‌کننده ۱ نسبت به رقبا در حد متوسط است، اما بیشترین مقدار سفارش را داشته است

جدول (۳): تقاضا، ظرفیت انبار و هزینه نگهداری در هر دوره.

$t$	۱	۲	۳	۴	۵	۶
$d_t$	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
$w_t$	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰	۲۰۰
$h_t$	۵	۵	۵	۵	۵	۵

جدول (۴): ظرفیت وسایل نقلیه هر تأمین‌کننده در هر دوره.

$u_{it}$	۱	۲	۳	۴	۵	۶
۱	۴۰	۶۰	۷۰	۸۰	۷۰	۶۰
۲	۴۰	۵۰	۶۰	۵۰	۵۰	۶۰
۳	۷۰	۶۰	۶۰	۷۰	۶۰	۷۰

جدول (۵): سطوح قیمت تأمین‌کننده ۱

سطح تخفیف	تأمین‌کننده ۱	$r_{imt}$	$v_{imt}$	$c_{it}$	$o_{it}$
۱	$Q \leq 450$	۲۰	۲	۱۰۰۰	۵۰۰
۲	$450 \leq Q \leq 750$	۱۹	۱/۸		
۳	$750 \leq Q$	۱۸	۱/۷		

جدول (۶): سطوح قیمت تأمین‌کننده ۲

سطح تخفیف	تأمین‌کننده ۲	$r_{imt}$	$v_{imt}$	$c_{it}$	$o_{it}$
۱	$Q \leq 450$	۲۲	۲/۲	۱۰۰۰	۵۰۰
۲	$450 \leq Q \leq 750$	۲۱	۲/۱		
۳	$750 \leq Q$	۱۸	۱/۸		

جدول (۷): سطوح قیمت تأمین‌کننده ۳

سطح تخفیف	تأمین‌کننده ۳	$r_{imt}$	$v_{imt}$	$c_{it}$	$o_{it}$
۱	$Q \leq 450$	۱۸	۱/۸	۱۰۰۰	۵۰۰
۲	$450 \leq Q \leq 750$	۱۷	۱/۹		
۳	$750 \leq Q$	۱۶	۱/۶		

جدول (۸): هزینه حمل‌ونقل تأمین‌کنندگان.

$i$	۱	۲	۳
$s(i)$	۶۹۶	۶۳۰	۷۶۵

جدول (۹) نشان می‌دهد اندازه سفارش اقتصادی بر اساس اولویت‌های مختلف توابع هدف در هر مسأله متفاوت است و مدل با برقراری تعادل و در نظر گرفتن اولویت توابع هدف اقدام به سفارش برای افق برنامه‌ریزی می‌کند. جداول (۱۰) تا (۱۲) نیز مقدار سفارش هر تأمین‌کننده در هر دوره برنامه‌ریزی برای مسائل مختلف را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول (۹) می‌توان دریافت زمانی که کاهش هزینه‌های نگهداری هدف است، تصمیم به اندازه سفارش‌های کوچک

تأمین کننده ۳ به رغم داشتن قیمتی بسیار پایین تر از سایرین، تنها در مسئله ۱ که ظرفیت تقریباً دو برابر دارد، برای سفارش دهی انتخاب می شود.

زیرا ظرفیت قابل توجه وسایل نقلیه هزینه حمل و نقل و قیمت را نسبت به سایرین جبران می کند. نتایج نشان می دهد که با در نظر گرفتن همه توابع هدف می توان ۱۷ درصد هزینه ها را نسبت به زمانی که فقط برخی از آن ها مد نظر قرار گیرد کاهش داد. در مقابل،

جدول (۹): نتایج عددی برای برقراری تعادل با توجه به وزن توابع هدف در مسائل مختلف.

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$\alpha_1$	۰	۰	۱	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳
$\alpha_2$	۰	۱	۰	۰/۵	۰/۵	۰	۰/۳۳
$\alpha_3$	۱	۰	۰	۰/۵	۰	۰/۵	۰/۳۳
هزینه خرید	۵۳۲۹۰	۴۶۲۲۰	۴۳۶۷۰	۵۲۲۸۰	۴۶۲۵۰	۵۶۵۸۰	۴۹۱۵۰
هزینه حمل و نقل	۴۰۷۶۲	۲۷۴۵۲	۳۷۴۹۳	۳۲۳۳۷	۲۷۴۵۲	۴۶۵۸۸	۲۸۹۰۸
هزینه نگهداری موجودی	۲۵	۲۹۶۸۵	۲۲۲۷۰	۲۰۲۰	۲۹۶۸۵	۵۳۶۵	۷۸۳۰
هزینه کل	۹۴۰۷۷	۱۰۳۳۵۷	۱۰۳۴۳۳	۸۶۶۳۷	۱۰۳۳۸۷	۱۰۸۵۳۳	۸۵۸۸۸

جدول (۱۰): اندازه سفارش تأمین کننده ۱ در دوره های مختلف

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$x_{111}$	۴۵۰	۴۰					
$x_{112}$	۶۰	۱۲۰	۶۰	۳۰۰	۱۲۰	۲۴۰	۳۰۰
$x_{113}$	۲۸۰	۴۲۰		۱۴۰	۴۲۰		۴۲۰
$x_{114}$			۸۰	۴۰۰			۴۰۰
$x_{115}$		۴۲۰			۴۲۰	۷۰	
$x_{116}$	۱۸۰						
$x_{124}$	۱	۶۴۰			۶۴۰		
$x_{125}$	۴۵۰						۴۹۰
$x_{136}$							

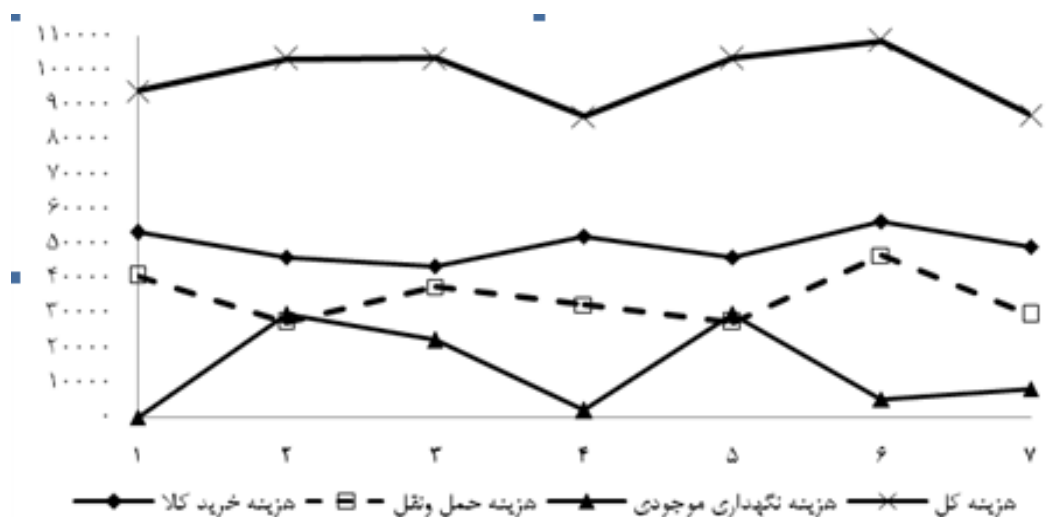
جدول (۱۱): اندازه سفارش تأمین کننده ۲ در دوره های مختلف

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$x_{211}$	۸۰		۸۰				
$x_{212}$	۲۰۰	۵۰		۵۰	۵۰		
$x_{213}$	۱۲۰			۳۰۰			
$x_{214}$							
$x_{215}$	۱۵۰			۴۰۰	۵۰		
$x_{216}$	۱۲۰	۱۸۰	۱۲۰	۳۶۰	۱۸۰	۳۰۰	۳۶۰

جدول (۱۲): اندازه سفارش تأمین کننده ۳ در دوره های مختلف.

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$x_{311}$	۷۰						
$x_{312}$	۱۲۰		۱۲۰			۱۲۰	
$x_{321}$		۵۶۰	۴۹۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰
$x_{322}$			۶۶۰			۴۸۰	
$x_{314}$			۱۴۰			۴۲۰	
$x_{315}$	۲۴۰					۴۲۰	
$x_{324}$	۴۹۰						
$x_{325}$			۷۲۰				
$x_{316}$	۱۴۰			۷۰			





شکل (۱): تغییرات توابع هدف و هزینه کلی برای برقراری تعادل در هفت مسأله.

چون مدل پیشنهادی نیاز به داده‌های بیشتری نسبت به مدل چادھاری و شانکار دارد، نمی‌توان مقایسه معنی‌داری برای سایر هزینه‌های دو مدل انجام داد.

مثال‌های عددی بالا برای بررسی اعتبار نتایج مدل تعریف شد، به همین دلیل ابعاد مسأله کوچک و قابل فهم در نظر گرفته شد. برای حل مسأله در شرایط واقعی و با ابعاد بزرگ با هدف ارزیابی پیچیدگی محاسباتی، یک مثال عددی به صورت تصادفی تولید می‌شود. بدین منظور از یک مسأله با ۵۰ تأمین‌کننده برای یک افق برنامه‌ریزی یک ساله (۱۲ دوره) و ۴ سطح قیمت استفاده می‌شود که پارامترهای آن از توزیع‌های تصادفی جدول (۱۵) تولید می‌شوند.

نتایج حل مسأله در ابعاد بزرگ در جدول (۱۶) آمده است. زمان حل این مسأله حدود ۷ ثانیه است که نشان می‌دهد مدل پیشنهادی با ابعاد بزرگ نیز رام‌شدنی محسوب می‌شود که در مطالعه چادھاری و شانکار [۲۱] نیز اشاره شده است. البته مسأله موردنظر یک محصولی است و در صورت بکارگیری یک مدل چندمحصولی باید تحلیل مشابهی انجام شود. از طرفی، بر اساس نتایج جدول (۱۶)، تحلیل‌ها و بررسی‌های صورت گرفته در مثال عددی با اندازه کوچک تأیید می‌شود. در مسأله ۷ همچنان در شرایط جدید نیز بهترین جواب حاصل شده است یعنی توجه همزمان به همه توابع هدف می‌توان بهترین سیاست سفارش‌دهی باشد. نتایج نشان می‌دهد که با توجه همزمان به هر سه تابع هدف می‌توان تا ۲۰ درصد هزینه‌ها را کاهش داد.

##### ۵- تحلیل حساسیت

در این بخش تأثیر تغییرات پارامترهای مدل در اندازه سفارش اقتصادی در افق برنامه‌ریزی چند دوره‌ای بررسی می‌شود. جدول (۱۷)، داده‌های مسائل ۸ تا ۱۳ را که یکی از پارامترهای آنها نسبت به پارامتر مسأله اصلی مقاله تغییر داده شده است نشان می‌دهد. در مسأله ۸، هزینه نگهداری

در مسأله ۶ با هدف کمینه کردن هزینه‌های خرید و نگهداری، به ظرفیت و هزینه حمل‌ونقل توجه نشده و علاوه بر افزایش محسوس تعداد وسیله نقلیه ارسالی با ظرفیت کم، هزینه کل نیز به شدت افزایش یافته است. در مسأله ۷ که به همه توابع هدف به طور همزمان توجه شده است، تأمین‌کننده ۱ با ظرفیت وسیله نقلیه بیشتر و در نتیجه تعداد وسیله نقلیه ارسالی کمتر، بیشترین سفارش را به خود اختصاص می‌دهد. به نظر می‌رسد بهترین خط‌مشی سفارش‌دهی با توجه توأم به همه هزینه‌ها به دست می‌آید زیرا عدم توجه به یکی از هزینه‌ها یا بی‌توجهی به هر یک از آنها باعث افزایش هزینه‌ها و قیمت تمام‌شده محصول نهایی می‌شود.

در مقایسه‌ای که بین نتایج این پژوهش با نتایج مطالعه چادھاری و شانکار [۲۱] انجام شد، می‌توان دریافت که با در نظر گرفتن ظرفیت و تخفیف روی وسائل نقلیه، ضمن نزدیک‌تر شدن مدل به دنیای واقعی، خریدار مجبور به استفاده از بیشترین ظرفیت وسیله نقلیه تأمین‌کنندگان شده است. این امر موجب افزایش اندازه سفارش و در نتیجه افزایش بسیار اندک در هزینه نگهداری کالا نسبت به مطالعه چادھاری و شانکار [۲۱] می‌شود که بسیار منطقی به نظر می‌رسد.

در مطالعه چادھاری و شانکار [۲۱] برای مسأله اول که فقط سعی در کمینه کردن هزینه‌های نگهداری دارد، هزینه نگهداری ۹۵ واحد پولی است ولی بر اساس جدول (۹)، هزینه نگهداری در مسأله ۱ بر اساس مدل پیشنهادی ۲۵ واحد پولی است که نشان‌دهنده کاهش شدید هزینه نگهداری است. همچنین در آن مطالعه، هزینه نگهداری مسأله ۴ مقدار ۴۵۳۱ و برای مسأله ۷ مقدار ۸۰۹۴ واحد پولی بدست آمده که بسیار بیش از نتایج مدل ارائه شده در این مقاله است البته برای مسأله ۶ مقدار به مراتب کمتر ۱۸۲۸ بدست آوردند. کاهش هزینه‌های نگهداری مدل پیشنهادی این مقاله می‌تواند به این دلیل باشد که وسایل نقلیه ظرفیت محدودی دارند، در نتیجه حتی یک واحد کالا اضافه بر ظرفیت وسیله نقلیه نیازمند یک وسیله نقلیه جدید است که به صرفه نیست.

جدول (۱۳): تعداد وسایل نقلیه ارسالی تأمین کنندگان در هر دوره

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$n_{۱۱}$	۹		۲			۲	
$n_{۱۲}$	۱	۲	۱	۶	۶	۴	۵
$n_{۱۳}$	۴	۷		۶	۶		۷
$n_{۱۴}$		۷		۵	۵	۱	۵
$n_{۱۵}$		۶			۹	۱	۶
$n_{۱۶}$	۳		۱	۱		۱	
$n_{۲۱}$	۲						
$n_{۲۲}$	۴	۱					
$n_{۲۳}$	۲						
$n_{۲۴}$							
$n_{۲۵}$	۳			۷			
$n_{۲۶}$	۲	۳	۱	۶	۳	۴	
$n_{۳۱}$	۱	۸	۷	۸	۸	۷	۸
$n_{۳۲}$	۲		۱			۲	
$n_{۳۳}$			۱۳			۸	
$n_{۳۴}$	۷		۲	۱		۵	
$n_{۳۵}$	۴		۱۲			۶	
$n_{۳۶}$	۲					۱	
مجموع	۴۶	۳۴	۴۰	۴۰	۳۴	۵۲	۳۱

جدول (۱۴): تعداد وسایل نقلیه ارسالی هر تأمین کننده در هفت مسئله.

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
تأمین کننده ۱	۱۷	۲۲	۴	۱۸	۲۳	۹	۲۳
تأمین کننده ۲	۱۳	۴	۱	۱۳	۳	۴	۰
تأمین کننده ۳	۱۶	۸	۳۵	۹	۸	۲۹	۸

جدول (۱۵): توزیع پارامترهای مسئله با اندازه بزرگ

پارامتر	توزیع	پارامتر	توزیع	پارامتر	توزیع
$r_{i1t}$	Uniform(۱۶۱,۱۸۰)	$bi1t$	Uniform(۱۰۰۰,۱۲۰۰)	$v_{i1t}$	$0.1 * r_{i1t}$
$r_{i2t}$	Uniform(۱۴۱,۱۶۰)	$bi2t$	Uniform(۱۶۰۰,۱۲۰۰)	$v_{i2t}$	$0.1 * r_{i2t}$
$r_{i3t}$	Uniform(۱۲۱,۱۴۰)	$bi3t$	۲۰۰۰	$v_{i3t}$	$0.1 * r_{i3t}$
$r_{i4t}$	Uniform(۱۰۰,۱۲۰)	$bi4t$	-	$v_{i4t}$	$0.1 * r_{i4t}$
$c_{it}$	۳۰۰۰	$s_i$	Uniform(۷۰۰,۱۰۰۰)	$d_t$	Uniform(۲۰۰۰,۱۰۰۰۰)
$o_{it}$	۵۰۰	$u_{it}$	Uniform(۵۰,۱۰۰)	$w_t$	۲۰۰
$t$	۱۲	$i$	۵۰	$h_t$	۱۰۰

جدول (۱۶): توابع هدف برای مسئله با اندازه بزرگ

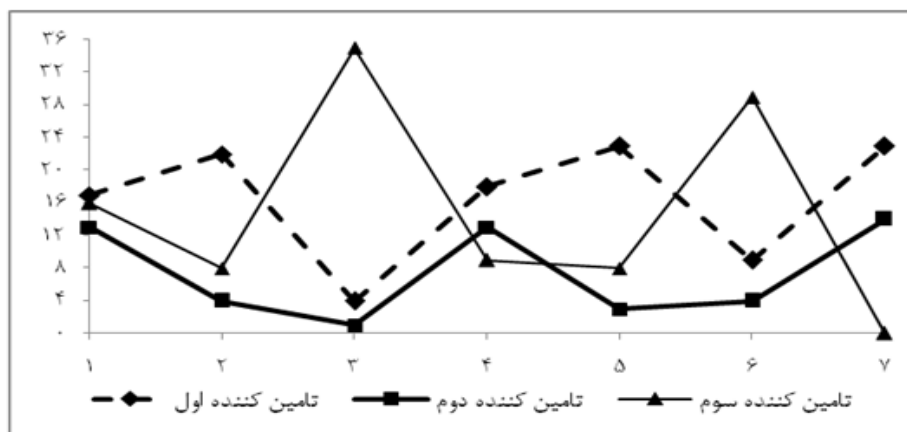
مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
$\alpha_1$	۰	۰	۱	۰	۰/۵	۰/۵	۰/۳۳
$\alpha_2$	۰	۱	۰	۰/۵	۰/۵	۰	۰/۳۳
$\alpha_3$	۱	۰	۰	۰/۵	۰	۰/۵	۰/۳۳
هزینه خرید	۲۸۰۶۶۰۰	۲۷۶۱۷۰۰	۲۲۶۰۳۰۰	۲۷۵۰۱۰۰	۲۲۷۴۸۰۰	۲۶۰۴۸۰۰	۲۲۶۸۰۰۰
هزینه حمل و نقل	۳۴۰۰۳۰	۱۳۷۶۲۰	۴۴۹۸۴۰	۱۳۹۹۶۰	۱۶۳۷۲۰	۴۹۵۶۶۰	۱۶۷۹۹۰
هزینه نگهداری موجودی	۱۷۴۰	۱۱۱۳۷۰	۱۹۰۷۴۰	۷۱۳۹	۹۷۸۶۵	۶۵۰۸۴	۸۶۳۶۷
هزینه کل	۳۱۴۸۳۷۰	۳۰۱۰۶۹۰	۲۹۰۰۸۸۰	۲۸۹۷۱۹۹	۲۵۳۶۳۸۵	۳۱۶۵۵۴۴	۲۵۲۲۳۵۷

هر یک از آنها باعث تغییر در جواب بهینه می‌شود. اما بیشترین هزینه زمانی ایجاد می‌شود که هزینه‌های نگهداری ۶۰٪ افزایش پیدا کند. هرچه بتوان تقاضا را در یک دوره افزایش داد و از تقاضای دوره‌های قبل یا بعد کاست، می‌توان کل هزینه‌ها را کاهش داد زیرا باعث می‌شود خریدار از اندازه سفارش‌های بزرگ‌تر استفاده کند تا بتواند علاوه بر تخفیف در قیمت به ازای اندازه سفارش‌های بزرگ‌تر، از تخفیف در هزینه‌های حمل‌ونقل هم استفاده کند. در نتایج مسائل ۱۰ و ۱۱ مشاهده می‌شود که درصد اقلام معیوب رابطه مستقیم با کل هزینه‌های خریدار دارد. همچنین در مسائل ۱۲ و ۱۳ ارتباط معکوس بین نرخ کالاهای قابل بازساخت با کل هزینه‌ها به خوبی مشاهده می‌شود.

۶۰٪ تغییر داده می‌شود. مسأله ۹ نشان می‌دهد که تقاضا برای دوره ۱ تا ۶ به صورت متناوب ([۲۰۰، ۲۰۰، ۸۰۰، ۲۰۰، ۲۰۰، ۸۰۰]) تغییر می‌کند ولی مجموع تقاضای کل دوره نسبت به مسأله اصلی تغییر نمی‌کند. در مسائل ۱۰ و ۱۱ نرخ اقلام معیوب تأمین‌کنندگان به ترتیب دو برابر و نصف مسأله اصلی لحاظ شده است. در مسائل ۱۲ و ۱۳ نیز نرخ اقلام قابل بازساخت تأمین‌کنندگان نسبت به مسأله اصلی به ترتیب دو برابر و نصف منظور می‌شود. جدول (۱۸)، مقایسه‌ای بین هزینه‌های مسأله اصلی مقاله (مسأله ۷) با مسائل ۸ تا ۱۳ ارائه می‌کند. در شکل (۳) با هدف مقایسه هزینه‌ها، کل هزینه مسائل ۸ تا ۱۳ در کنار کل هزینه مسأله اصلی (مسأله ۷) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود مدل نسبت به تغییر پارامترها حساس است و تغییر در

جدول (۱۷): میزان تغییر پارامترها جهت تحلیل حساسیت.

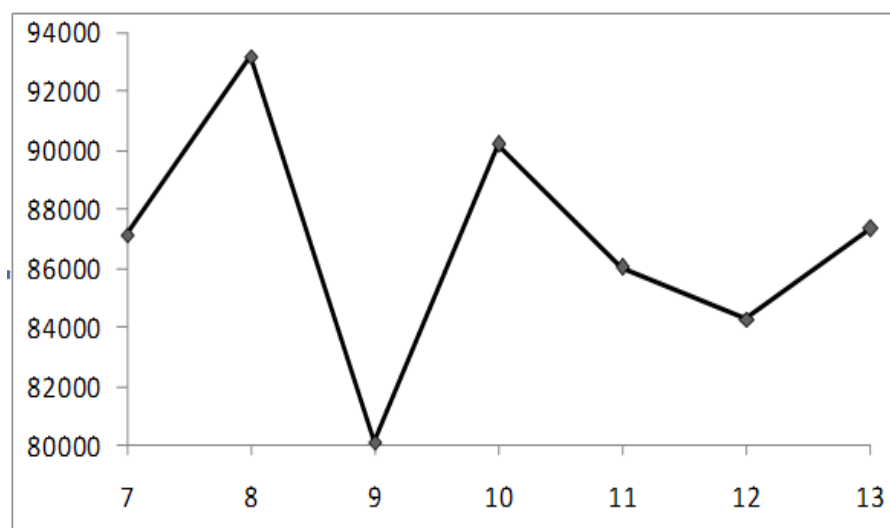
مسأله	پارامتر	قبلی	جدید
۸	هزینه نگهداری	۵	۸
۹	تقاضا	ثابت	متناوب
۱۰	درصد اقلام معیوب	$q$	$2q$
۱۱	درصد اقلام معیوب	$q$	$q/2$
۱۲	درصد کالاهای قابل بازساخت	$p$	$2p$
۱۳	درصد کالاهای قابل بازساخت	$p$	$p/2$



شکل (۲): تغییرات تعداد وسایل نقلیه ارسالی تأمین‌کنندگان در هفت مسأله

جدول (۱۸): نتایج عددی تحلیل حساسیت پارامترها.

مسأله	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
هزینه خرید کالا	۴۹۱۴۰	۵۲۲۳۰	۴۷۵۴۰	۵۲۱۸۰	۴۹۱۰۰	۴۹۱۴۰	۵۰۸۵۰
هزینه حمل‌ونقل	۲۹۶۰۶	۳۲۴۶۱	۲۹۴۹۶	۳۱۰۶۵	۲۹۳۹۱	۲۸۹۷۷	۲۹۶۰۴
هزینه نگهداری موجودی	۸۳۶۰	۸۴۸۰	۳۰۳۰	۶۹۴۰	۷۵۰۰	۶۱۳۰	۶۸۷۲
هزینه کل	۸۷۱۰۶	۹۳۱۷۱	۸۰۰۶۶	۹۰۱۸۵	۸۵۹۹۱	۸۴۲۴۷	۸۷۳۲۶



شکل (۳): تأثیر تغییر پارامترهای اولیه مدل در کل هزینه.

## ۶- نتیجه گیری

در برخی مواقع به دلیل حمل و نقل نامناسب یا عوامل دیگر، بخشی از اقلام ارسالی به خریدار آسیب می‌بینند که با بازساخت در مقصد، می‌توان دوباره از آنها استفاده کرد ولی این اقلام با قیمتی پایین‌تر از کالای سالم خرید می‌شوند. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی مختلط خطی عدد صحیح برای مسئله اندازه سفارش اقتصادی چند دوره‌ای با چند تأمین کننده و با لحاظ کردن درصد اقلام معیوب و قابل بازساخت ارائه شد که در آن علاوه بر تخفیف قیمت خرید، هزینه‌های حمل و نقل نیز بر اساس تعداد وسیله نقلیه ارسالی به خریدار مشمول تخفیف می‌شوند. در مدل پیشنهادی، اندازه بهینه سفارش با توجه به میزان تخفیف قیمت، ظرفیت وسایل نقلیه ارسالی تأمین کنندگان، و هزینه نگهداری تعیین می‌شود. برای ارزیابی اعتبار مدل، یک مثال عددی برگرفته از پژوهش‌های گذشته با نرم‌افزار برنامه‌ریزی ریاضی گمز ۲۲.۲ حل و حساسیت اثر پارامترهای مدل بررسی و تحلیل شد. نتایج نشان داد در صورت پایین بودن هزینه‌های نگهداری، از دسته سفارش‌های بزرگ‌تر استفاده می‌شود تا با استفاده از تخفیف همزمان قیمت و هزینه حمل و نقل، کل هزینه‌ها کاهش یابد. همچنین هرچه درصد اقلام معیوب تأمین کنندگان کمتر باشد مطلوبیت آنها در انتخاب و تخصیص سفارش بیشتر از سوی خریدار افزایش خواهد یافت. این مدل نشان داد که در شرایط وجود تخفیف در قیمت و هزینه‌های حمل و نقل، تقاضای فصلی باعث کاهش هزینه‌ها خواهد شد زیرا با افزایش تقاضا امکان استفاده از تخفیف بیشتر نیز فراهم می‌شود. همچنین برای بررسی کارایی زمانی حل مدل در ابعاد بزرگ، یک مسئله با ۵۰ تأمین کننده و ۱۲ دوره برنامه‌ریزی با ۴ سطح تخفیف و پارامترهای تصادفی تولید شد که در زمان بسیار کوتاهی به جواب رسید که نشان می‌دهد کارایی زمانی مدل نیز امیدبخش است. در مطالعه چادهاری و شانکار [۲۱] به این نکته اشاره شده است که

می‌توان مسئله را در اندازه معقول با هر نرم‌افزاری در چند ثانیه حل کرد ولی لی و همکاران [۴۳ و ۴۴] و منسینی و همکاران [۴۵] این مسئله را جزء مسائل بسیار پیچیده دسته‌بندی کرده‌اند. بنابراین، برای حل مدل در ابعاد بسیار بزرگ ممکن است نیاز به الگوریتم حل باشد، اما هدف این مقاله ارائه مدل خطی و تحلیل‌های آن بوده است، بنابراین، ارائه الگوریتم حل برای مسائل در ابعاد بزرگ به‌عنوان کارآیندگان پیشنهاد می‌شود.

## مراجع

- [۱] آذر، عادل، علیمحمدلو، مسلم، (۱۳۸۶). طراحی مدل ریاضی مدیریت موجودی در زنجیره تأمین، فصلنامه مدرس علوم انسانی، ۱۱: ۱-۲۸.
- [2] Wagner, H.M. Whitin, T.M. (1958). Dynamic version of the economic lot size model, *Management Science*, 5: 89-96.
- [3] Taleizadeh, A., Aryanezhad, M.B.Gh., Makoei, A. (2009). Utilization of simulated annealing in optimization of a multi-product inventory control model with stochastic replenishment and space constraint, *International Journal of Industrial Engineering*, 20: 1-10.
- [4] Karimi, B., Fatemi Ghomi, S.M.T., Wilson, J.M. (2003). The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms, *Omega*, 31: 365-378.
- [5] Ustun, O., Demirtas, E.A. (2008). An integrated multi-objective decision-making process for multi-period lot-sizing with supplier selection, *Omega*, 36: 509-521.
- [6] Demirtas, E.A., Ustun, O. (2009). Analytic network process and multi-period goal programming integration in purchasing decisions, *Computers & Industrial Engineering*, 56: 677-690.
- [7] Rezaei, J., Davoodi, M. (2011). Multi-objective models for lot-sizing with supplier selection,

- [23] Tsao, Y.C., Lu, J.C. (2012). A supply chain network design considering transportation cost discounts, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2: 401–414.
- [24] Hua, G., Wang, S., Cheng, T.C.E. (2012). Optimal order lot sizing and pricing with free shipping, *European Journal of Operational Research*, 218: 435–441.
- [25] Darwish, M.A. (2008). Joint determination of order quantity and reorder point of continuous review model under quantity and freight rate discounts, *Computers & Operations Research*, 35: 3902–3917.
- [26] Hua, G., Wang, S., Cheng, T.C.E. (2012). Optimal pricing and order quantity for the news vendor problem with free shipping, *International Journal of Production Economics*, 135: 162–169.
- [27] Pineyro, P., Viera, O. (2010). The economic lot-sizing problem with remanufacturing and one-way substitution, *International Journal of Production Economics*, 124: 482–488.
- [28] Richter, K., Sombrutzki, M. (2000). Remanufacturing planning for the reverse Wagner/Whitin models, *European Journal of Operational Research*, 121: 304–315.
- [29] Richter, K., Weber, J. (2001). The reverse Wagner/Whitin model with variable manufacturing and remanufacturing cost, *International Journal of Production Economics*, 71: 447–456.
- [30] Pelin Bayindir, Z., Erkip, N., Gullu, R. (2007). Assessing the benefits of remanufacturing option under one-way substitution and capacity constraint, *Computers & Operations Research*, 34: 487–514.
- [31] Pelin Bayindir, Z., Erkip, N., Gullu, R. (2003). A model to evaluate inventory costs in a remanufacturing environment, *International Journal of Production Economics*, 81–82: 597–607.
- [32] Dahel, N.E. (2003). Vendor selection and order quantity allocation in volume discount environments, *International Journal of Supply Chain Management*, 8: 335–342.
- [33] Lee, M.S., Lee, Y.H., Jeong, C.S. (2003). A high-quality-supplier selection model for supply chain management and ISO 9001 system, *Production Planning & Control*, 14: 225–232.
- [34] Rosenblatt, M.J., Herer, Y.T., Hefte, I. (1998). Note. An Acquisition Policy for a Single Item Multi-Supplier System, *Management Science*, 44: 96–100.
- [35] Hong, G.H., Park, S.C., Jang, D.S., Rho, H.M. (2005). An effective supplier selection method for constructing a competitive supply-relationship, *Expert Systems with Applications*, 28: 629–639.
- [36] Mandal, A., Deshmukh, S.G. (1994). Vendor Selection Using Interpretive Structural Modelling (ISM), *International Journal of Operations & Production Management*, 14: 52–59.
- [37] Askarpoor, A.R., Davoudpour, H. (2013). An effective approximation algorithm for joint lot-sizing and pricing problem, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 65: 1429–1437.
- [38] Vörös, J. (2013). Economic order and production quantity models without constraint on the percentage of International Journal of Production Economics, 130: 77–86.
- [8] Van Norden, L., Van De Velde, S. (2005). Multi-product lot-sizing with a transportation capacity reservation contract, *European Journal of Operational Research*, 165: 127–138.
- [9] Qin H., Luo, M., Gao, X., Lim, A. (2012). The freight allocation problem with all-units quantity-based discount: A heuristic algorithm, *Omega*, 40: 415–423.
- [10] Mirmohammadi, S.H., Shadrokh, S. Kianfar, F. (2009). An efficient optimal algorithm for the quantity discount problem in material requirement planning, *Computers & Operations Research*, 36: 1780–1788.
- [11] Schotanus, F., Telgen, J., De Boer, L. (2009). Unraveling quantity discounts, *Omega*, 37: 510–521.
- [12] Chung, C.S., Hum, S.H., Kirca, O. (1996). The coordinated replenishment dynamic lot-sizing problem with quantity discounts, *European Journal of Operational Research*, 94: 122–133.
- [13] Rubin, P.A. Benton, W.C. (2003). Evaluating jointly constrained order quantity complexities for incremental discounts, *European Journal of Operational Research*, 149: 557–570.
- [14] Chauhan, S.S., Proth, J.M. (2003). The concave cost supply problem, *European Journal of Operational Research*, 148: 374–383.
- [15] Burke, G.J., Carrillo, J., Vakharia, A.J. (2008). Heuristics for sourcing from multiple suppliers with alternative quantity discounts, *European Journal of Operational Research*, 186: 317–329.
- [16] Burke, G.J., Geunes, J., Romejin, H.E., Vakharia, A. (2008). Allocating procurement to capacitated suppliers with concave quantity discounts, *Operations Research Letters*, 36: 103–109.
- [17] Crama, Y., Pascual, J.R., Torres, A. (2004). Optimal procurement decisions in the presence of total quantity discounts and alternative product recipes, *European Journal of Operational Research*, 159: 364–378.
- [18] Xia, W., Wu, Z. (2007). Supplier selection with multiple criteria in volume discount Environments, *Omega*, 35: 494–504.
- [19] Sawik, T. (2010). Single vs. multiple objective supplier selection in a make to Order environment, *Omega*, 38: 203–212.
- [20] Tersine, R.J., Barman, S. Toelle, R.A. (1995). Composite lot sizing with quantity and freight discounts, *Computers & Industrial Engineering*, 28: 107–122.
- [21] Choudhary, D., Shankar, R. (2011). Modeling and analysis of single item multi-period procurement lot-sizing problem considering rejections and late deliveries, *Computers & Industrial Engineering*, 61: 1318–1323.
- [22] Mohammad Ebrahim, R., Razmi, J. Haleh, H. (2009). Scatter search algorithm for supplier selection and order lot sizing under multiple price discount environment, *Advanced in Engineering Software*, 40: 766–776.

- defective items, *Central European Journal of Operational Research*, 21: 867–885.
- [39] Dobos, I., Gobsch, B., Pakhomova, N., Pishchulov, J., Richter, K. (2013). Design of contract parameters in a closed-loop supply chain, *Central European Journal of Operational Research*, 21: 713–727.
- [40] Naeem, N.A., Dias, D.J., Tibrewal R., Chang, P.C., Tiwari, M. (2013). Production planning optimization for manufacturing and remanufacturing system in stochastic environment, *Journal of Intelligent Manufacturing*, 24: 717–728.
- [41] Mousavi, S.M., Hajipour, H., Akhavan Niaki, S.T., Aalifar, N. (2013). A multi-product multi-period inventory control problem under inflation and discount: a parameter-tuned particle swarm optimization algorithm, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 10.1007/s00170-013-5378-y.
- [42] Mendoza, A., Ventura, J.A. (2013). Modeling actual transportation costs in supplier selection and order quantity allocation decisions, *Operational Research*, 13: 5–25.
- [43] Lee A.H.I., Kang, H.-Y., Lai, C.-M., Hong, W.-Y. (2013). Solving lot-sizing problem with quantity discount and transportation cost, *International Journal of Systems Science*, 44: 760-774.
- [44] Lee A.H.I., Kang, H.-Y., Lai, C.-M., Hong, W.-Y. (2013). An integrated model for lot sizing with supplier selection and quantity discounts, *Applied Mathematical Modelling*, 37: 4733-4746.
- [45] Mansini, R., Savelsbergh, M.W.P., Tocchella, B. (2012). The supplier selection problem with quantity discounts and truckload shipping, *OMEGA*, 40: 445-455.



## Joint supplier selection and order lot-sizing problem of remanufacturable items with price and transportation cost discounts

M. Khosroabadi, M.M. Lotfi\*, H. Khademizare

Department of Industrial Engineering, Yazd University, Yazd

### ARTICLE INFO

#### *Article history:*

Received 7 May 2013

Accepted 6 January 2014

#### *Keywords:*

Order lot-sizing  
Supplier selection  
Discount  
Remanufacturing

### ABSTRACT

Sometimes due to the inefficient transportation and inspection methods or improper storage, some items sent to the buyer are damaged that they might be reused by some types of remanufacturing. However, the defective items are naturally purchased at a lower price than the perfect ones. In this paper, a mixed-integer linear programming model is proposed for the multi-period joint supplier selection and order lot-sizing problem concerning both the percentage of defective as well as the remanufacturable items in which besides the purchase price, the transportation costs are also discounted according to the number of departure vehicles. The order lot-size is optimized with respect to three factors including the purchase price discount, the capacity of supplier's vehicles and the carrying costs. To assess the validity of the proposed model, a numerical example from the recent literature is solved through the GAMS modeling language and the sensitivity of the model parameters is analyzed. The results confirm that considering simultaneously the three proposed objectives, i.e.,- purchase costs, transportation and ordering costs, and carrying costs, could result in an decrement of almost 20% in the total costs. Furthermore, suppliers can achieve a more chance of selection by delivery of the smaller percentage of defective items.

\* Corresponding author. Mohammad Mehdi Lotfi  
Tel.: +98 351 8122409; E-mail addresses: lotfi@yazd.ac.ir