



Production and Operations Management  
University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950  
Vol. 12, Issue 1, No. 24, Spring 2021



<http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2021.126113.1307>

(Research Paper)

## Developing a production-inventory-routing model considering discounting and environmental issues for deteriorating items in a green supply chain

**Maryam Dezhtaherian**

Department of Management Faculty of Administrative Sciences and Economics  
University of Isfahan Isfahan Iran, dezhtaherianmaryam@yahoo.com

**Mahsa Ghandehari \***

Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics,  
University of Isfahan, Isfahan, Iran, m.gandehari@ase.ui.ac.ir

**Saeedeh Ketabi**

Department of Management, Faculty of Administrative Sciences and Economics,  
University of Isfahan, Isfahan, Iran, sketabi@ase.ui.ac.ir

**Purpose:** This article aims to develop an integrated production-inventory-vehicle routing model for deteriorating products in a green supply chain considering environmental impacts. The objective is to maximize the profit of selling products considering the costs of production, setup, inventory holding, distribution, vehicle routing, transportation, fuel, and environmental pollutants.

**Design/methodology/approach:** Intending to integrate the supply chain policies, the developed model aims to maximize the total profit of producers and wholesalers in a horizontal collaboration. The model is formulated to mixed-integer linear programming (MILP). A set of deteriorating products with a shelf life is assumed. The quality of the products decreases over time, and therefore, there is a fixed deterioration rate in each period. A discounting policy is considered for producers and wholesalers. The model is coded using IBM ILOG CPLEX. Three examples with different dimensions are solved in two centralized and decentralized versions. The sensitivity of demand and holding cost parameters are analyzed.

**Findings:** The solving results of the model in both centralized and decentralized cases underlined increasing profits by integrating the supply chain decisions. By comparing the model's solving results

\* Corresponding author



in both centralized and decentralized cases, the sales revenue of the wholesalers in the decentralized case increased by more than 30% in all three samples when a price discount was possible. However, the revenue from the wholesalers' regular sales was more concentrated than those of decentralized case. Compared to the decentralized case, the manufacturers' revenues from discounted and regular sales in the centralized case also increased by more than 10% and 70%, respectively.

**Research limitations/implications:** Although the demand and many other parameters such as cost and production rate are affected by many exogenous factors, and hence, are not deterministic in reality, demand was assumed deterministic. The problem was solved for small and medium-size samples. In real cases, the development of appropriate algorithms for solving large size samples is recommended.

**Practical implications:** The basis of the proposed model is a study on a group of agricultural products from production to distribution, which can be applied for a real case study. This research influences business and the economy. It also proposes a model to build an effective collaboration between manufacturers and wholesalers to increase profitability.

**Social implications:** This research tries to integrate decision-making in a supply chain and improve profitability. As a result, business improves and customer satisfaction increases. The model considers the waste of the deteriorating products, i.e. the destructive waste effects on the environment. Fuel consumption as a factor that harms the environment and depletes nonrenewable resources is also recognized. Moreover, possible price discounting can lead to profit increase, waste decrease, and satisfaction of economic or low-income customers. Considering the mentioned factors are substantial in a sustainable supply chain.

**Originality/value:** This paper presents a mathematical model (MILP) for a supply chain of deteriorating items such as agricultural products. Due to the existing unequal and disproportionate volume of deteriorating products transporting between producers and wholesalers, the transportation fleet is considered heterogeneous. The possibility of a price discount policy is assumed to increase the demand level and total profit and decrease overall waste. Environmental considerations in the form of a reduction in fuel consumption and pollutants in routing are also recognized. The centralized and decentralized cases were also compared.

**Keywords:** Production-inventory-routing problem; Deteriorating items; Centralized and decentralized cases; Horizontal collaboration; Green supply chain.



مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۲، شماره ۱، پیاپی ۲۴، بهار ۱۴۰۰

دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۰۴ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴ ص ۱-۳۰



<http://dx.doi.org/10.22108/jpom.2021.126113.1307>

### (مقاله پژوهشی)

## توسعه یک مدل تولید - موجودی - مسیریابی با لحاظ کردن سیاست تخفیف و مسائل زیست محیطی برای یک دسته از اقلام زوال پذیر در یک زنجیره تأمین سبز

مریم دژطاهریان<sup>۱</sup>، مهسا قندهاری<sup>۲\*</sup>، سعیده کتابی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، dezhtaherianmaryam@yahoo.com

۲- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، m.ghandehari@ase.ui.ac.ir

۳- دانشیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران، sketabi@ase.ui.ac.ir

**چکیده:** هدف این پژوهش، ارائه هم زمان مدل تولید - موجودی و مسیریابی یک دسته از اقلام زوال پذیر در یک زنجیره تأمین سبز با در نظر گرفتن کلیه هزینه های سیستم تولید و توزیع و راه اندازی و مسیریابی و حمل و نقل با توجه به آثار زیست محیطی است. محصول مد نظر در گذر زمان، کیفیت و مرغوبیت خود را از دست می دهد و درصدی از محصول در هر دوره دورریز می شود. همسو با یکپارچه سازی سیاست های زنجیره تأمین، تابع هدف به صورت حداکثرسازی سود تولیدکنندگان و عمده فروشان در یک همکاری افقی تعریف شده است. مدل ریاضی ارائه شده به صورت یک برنامه ریزی خطی مختلط (MILP) است. مدل در حالت چندمحصولی با عمر محدود و در نظر گرفتن سیاست تخفیف برای تولیدکنندگان و عمده فروشان ارائه شد. در این پژوهش، سه مسئله نمونه در ابعاد مختلف شکل گرفت. نتایج حل با استفاده از نرم افزار OPLILOG آورده شد. مسئله در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز مدل سازی و حل شد. تحلیل حساسیت نیز روی پارامتر تقاضای عمده فروشان و هزینه های نگهداری بررسی شد. از نتایج حاصل به افزایش سود سیستم در حالت متمرکز نسبت به حالت غیرمتمرکز می توان اشاره کرد.

**واژه های کلیدی:** مسئله تولید - موجودی - مسیریابی، اقلام زوال پذیر، سیستم های متمرکز و غیرمتمرکز، همکاری افقی، زنجیره تأمین سبز



## ۱- مقدمه

امروزه، تبدیل یکپارچگی از حالت بالقوه به بالفعل در زنجیره تأمین، از دغدغه‌های مهم بیشتر صنایع است. ایجاد یکپارچگی به افزایش سود و تقلیل هزینه‌های سیستم منجر می‌شود که یکی از عوامل مهم بقا و توسعه صنعت مد نظر است. همچنین، توجه به مسائل زیست‌محیطی از دغدغه‌های دولت‌ها همسو با چشم‌اندازهای کلان جوامع بین‌المللی در هر کشور است. در حال حاضر، زنجیره تأمین محصولات کشاورزی از مواردی است که برداشتن گام‌هایی برای توسعه یکپارچگی در این زنجیره‌ها به افزایش زیاد سود، کاهش دورریز و درنهایت، سطح بالاتری از برآوردن تقاضای بازار منجر می‌شود. به‌طور کلی، محصولات کشاورزی از جمله اقلامی است که بیشتر در دسته اقلام با ارزش کاهشی نسبت به عمر، کیفیت و مرغوبیت به‌علت وجود زوال قرار می‌گیرد. عمر مفید انواع این محصولات، مانند سبزیجات، صیفی‌جات و انواع گل متفاوت است. زوال، پدیده شایعی است که دسته بزرگی از اقلام را دربرمی‌گیرد (رانی، علی و آگاروال<sup>۱</sup>، ۲۰۲۰)؛ بنابراین، فرایند تولید و توزیع این محصولات در زنجیره تأمین یک کالای زوال‌پذیر، اهمیت زیادی دارد. نرخ زوال این محصولات در مرحله توزیع در صورت نبود برنامه‌های حمل‌ونقل مناسب، که به کاهش مرغوبیت یا آسیب به محصول منجر می‌شود، در خور توجه است. یک طرح توزیع با حمل‌ونقل در زمان کم و چندتوقفی، کیفیت محصولات را حفظ می‌کند و ضایعات را کاهش می‌دهد (قارهی‌اخه و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۲۰). علاوه بر این، چنین برنامه‌ای با تواتر زیاد، باعث افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل می‌شود. چگونگی مدیریت در مراحل تولید و نگهداری و توزیع، اثر عمده‌ای بر میزان هزینه‌ها و درنهایت، سود زنجیره دارد.

در این پژوهش، ادغام بین تولیدکنندگان و عمده‌فروشان به‌صورت همکاری افقی برای یکپارچگی در زنجیره تأمین است. در مبحث تدارکات، دو حالت اصلی (همکاری عمودی و افقی) را می‌توان تصور کرد (سویسال و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۸). به‌طور خلاصه، همکاری عمودی<sup>۴</sup> به‌صورت همکاری با مشتریان، بخش‌های داخلی و با تأمین‌کنندگان و همکاری افقی<sup>۵</sup> به‌صورت همکاری با رقبا، بخش‌های داخلی و غیررقبا تعریف می‌شود. نمونه‌ای از همکاری افقی، اشتراک‌گذاری ظرفیت تولید است (بارت<sup>۶</sup>، ۲۰۰۴). همکاری عمودی و افقی به ما توانایی می‌دهد سیستم متمرکزی<sup>۷</sup> داشته باشیم (اندرسون و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۰). رویکرد استفاده از همکاری عمودی به‌تنهایی، در یک زنجیره تأمین، توسط رانندگان جدید به‌علت هزینه‌های بیشتر انرژی، مقررات سختگیرانه‌تر دولت بر حمل‌ونقل و تمرکز گسترده‌تر درباره پایداری به چالش کشیده شده است (آنکراسمیت و همکاران<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴). یکی از مسائلی که در مرور مبانی نظری، همکاری افقی و عمودی را بررسی کرده است، نوعی از مسائل مسیریابی موجودی (IRP<sup>۱۰</sup>) است که در آن، چندین تأمین‌کننده و چندین مشتری وجود دارد (سویسال و همکاران<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۸).

IRP به هماهنگی مدیریت موجودی کالا و مسیریابی وسایل نقلیه در یک زنجیره تأمین اشاره می‌کند (جیمای و همکاران<sup>۱۲</sup>، ۲۰۱۳). مسئله مسیریابی - موجودی عبارت است از چگونگی توزیع پی‌درپی یک یا چند محصول از یک یا چند محل توزیع بین مجموعه‌ای از مشتریان در طول یک افق برنامه‌ریزی محدود یا نامحدود و مدیریت موجودی فروشنده به‌طور هم‌زمان. نوع IRP مد نظر، مربوط به حمل‌ونقل محصولات بین تعدادی از تولیدکنندگان و فروشندگان است. این مسئله در چارچوب اهداف (VMI<sup>۱۳</sup>) با اشتراک‌گذاری اطلاعات مربوط به سطح موجودی و میزان تقاضای محصول فروشنده و انتقال مدیریت موجودی فروشنده به تأمین‌کننده، به افزایش سود توأم دو طرف منجر می‌شود. منظور از مدیریت موجودی توسط فروشنده، اتخاذ تصمیمات اجرایی برای تحویل محصول به

مشتریان براساس موجودی و سیاست‌های زنجیره است. درحقیقت، مدیریت موجودی توسط فروشنده، نوعی برون‌سپاری وظایف سازمانی است که در گذشته، توسط مشتری و اکنون توسط فروشنده و همسو با هماهنگی زنجیره تأمین انجام می‌شود. موجودی‌ها براساس اطلاعات تقاضای دریافت‌شده از مشتریان مدیریت می‌شود. بزرگ‌ترین تفاوت مدیریت موجودی توسط فروشنده در مقایسه با مدیریت موجودی تولیدکننده/خرده‌فروش متعارف، این است که فروشنده، پاسخگوی سطوح موجودی است (کلهو و لپورته<sup>۱۴</sup>، ۲۰۱۴).

این پژوهش، بخشی از زنجیره تأمین دوسطحی، شامل تولیدکنندگان و عمده‌فروشان (بنکداران) را در زنجیره تولید و عرضه دسته‌ای از محصولات کشاورزی بررسی می‌کند. مرحله تولید، شامل مراحل آماده‌سازی تا برداشت است. انتقال محصولات از مراکز تولیدکنندگان به بنکدارها با استفاده از وسیله نقلیه یخچال‌دار و یا بدون یخچال انجام می‌شود که انتخاب وسایل نقلیه با توجه به میزان قابل عرضه و مسافت است و بر هزینه حمل اثر می‌گذارد. میزان سوخت مصرفی با توجه به نوع ماشین و مسافت، متغیر است. انتخاب مسیر مناسب و سیستم توزیع یکپارچه و هماهنگ بین تولیدکنندگان و بنکدارها به کاهش هزینه‌های سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی کمک می‌کند. درواقع، مسئله مد نظر در یک زنجیره تأمین سبز با در نظر گرفتن مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌های مخرب زیست‌محیطی بررسی می‌شود. هدف این نوع زنجیره تأمین، دستیابی به اهداف زنجیره و عرضه مناسب با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی و ایجاد یکپارچگی و هماهنگی بین اجزای مدیریت زنجیره تأمین برای افزایش سود است. همچنین، برای بررسی دو سیستم متمرکز و غیرمتمرکز<sup>۱۵</sup>، نتایج حل این دو مدل نیز مقایسه شده است.

در بخش بعدی، پیشینه مبانی نظری بررسی می‌شود؛ سپس در بخش مبانی نظری، بستر اصلی پژوهش تعریف و مفروضات مدل ریاضی بیان می‌شود. در بخش سوم با نام روش‌شناسی پژوهش، چندین زیربخش تدوین شده است. زیربخش اول درباره مدل‌سازی مسئله است که در آن، صورت مسئله پژوهش، مشخص و در زیربخش دوم، نمادهای مربوط به پارامترها، اندیس‌ها و مجموعه‌ها و متغیرهای مدل تعریف شده است. در زیربخش سوم، مدل ریاضی، ارائه و در زیربخش چهارم این قسمت، توابع هدف و محدودیت‌ها تشریح شده است. بخش چهارم با نام مسائل نمونه و یافته‌های پژوهش تدوین شده است که شامل چهار زیربخش ایجاد مسائل نمونه، نتایج حل مدل در حالت متمرکز، نتایج حل مدل در حالت غیرمتمرکز و تحلیل حساسیت است. در بخش پنجم، بحث، مطرح و درنهایت نیز نتیجه‌گیری ارائه شده است.

## ۱-۱ پیشینه پژوهش

### ۱-۱-۱ مدل‌سازی ریاضی اقلام زوال‌پذیر

اولین پژوهش مرتبط با موجودی اقلام زوال‌پذیر در سال ۱۹۵۸ را درمن و کلین<sup>۱۶</sup> با نام «مدیریت فساد موجودی» انجام داد. در این مقاله، چگونگی مدیریت اقلام فاسدشدنی برای مدیریت تقاضای مشتری بررسی و دو رویکرد اولین وارده از اول صادره ((FIFO<sup>۱۷</sup>) و آخرین وارده از اولین صادره ((LIFO<sup>۱۸</sup>) تشریح و بررسی شد.

قاره و اشراذر<sup>۱۹</sup> (۱۹۶۳)، مدل پایه موجودی را با نرخ ثابت فساد ارائه کردند که تقاضای قطعی، ثابت، پیوسته و یکنواخت، نرخ زوال ثابت، قطعی و معلوم، ازجمله مهم‌ترین مفروضات مدل آنهاست. آنها معادله‌ای برای مقدار سفارش اقتصادی به صورت تابعی از چرخه عمر موجودی و با استفاده از تقریب تابع نمایی به صورت سه‌جمله‌ای

بسط تیلور به دست آوردند. فیلیپ<sup>۲۰</sup> (۱۹۷۴)، در مدل موجودی با اقلام زوال‌پذیر فرض کرده است که نرخ فساد، متغیری تصادفی است. توزیع این متغیر، وایبول دوپارامتره در نظر گرفته شده است. او پس از اثبات تحذب تابع هدف، با استفاده از ساده‌سازی ریاضی و روش دقیق به حل مدل و یافتن جواب بهینه توجه کرد. نهمیاس<sup>۲۱</sup> در سال ۱۹۸۲، نظریه موجودی فاسدشدنی را به‌صورت مطالعه موردی ارائه کرد. وی سیاست‌های مناسب سفارش برای موجودی فاسدشدنی با عمر ثابت و موجودی تحت زوال را به‌صورت نمایی مستمر و تقاضای قطعی و تصادفی را در دو حالت تک و چندمحصولی بررسی کرد. در حوزه مسائل مدیریت موجودی محصولات فسادپذیر، پژوهش‌های نهمیاس (۱۹۸۱)، نهمیاس (۱۹۸۲) و لیان و لئو<sup>۲۲</sup> (۲۰۰۱) از جمله مقالات مروری مطالعه‌شده است.

### ۱-۱-۲ مسئله موجودی - مسیریابی

آشکار است که هزینه‌های درگیر در تخصیص سفارش‌ها به وسایل حمل‌ونقل و مسیریابی آنها با سیاست‌های موجودی و بازپرسازی خرده‌فروشان مرتبط است. مسئله موجودی - مسیریابی، مدیریت موجودی، مسیریابی وسایل نقلیه و تصمیمات زمان‌بندی تحویل را به‌طور هم‌زمان بررسی می‌کند. اولین پژوهش در این زمینه را بل و همکاران<sup>۲۳</sup> (۱۹۸۳) انجام دادند. آنها موجودی گازهای صنعتی را در یک سیستم یکپارچه برنامه‌ریزی و مدیریت و برای حل مدل از الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر استفاده کردند (بل و همکاران، ۱۹۸۳). پس از آن، زیپکین<sup>۲۴</sup> و همکاران در سال ۱۹۸۶، مسئله مسیریابی موجودی را برای کالاهای فاسدشدنی در افق زمانی محدود با هدف به دست آوردن برنامه توزیع بهینه مطالعه کردند (زیپکین و همکاران، ۱۹۸۶). کلیوگت و همکاران (۲۰۰۲)، مسئله مسیریابی موجودی را با استفاده از فرایند تصمیم‌گیری مارکوف فرمول‌بندی کرد و در محاسبات، روش‌های تقریبی را برای یافتن جواب مسئله به کار برد. هوانگ و لین<sup>۲۵</sup> (۲۰۱۰) نیز مدلی یکپارچه برای بازپرسازی در حالت چندمحصولی و با تقاضای نامشخص ارائه کردند. آنها برای یافتن بهترین مسیر حمل‌ونقل وسایل نقلیه از الگوریتم متاهیورستیک کلونی مورچگان استفاده کردند. میرزایی و همکارانش (۲۰۱۱) نیز مسئله مسیریابی موجودی را در حالت چنددوره‌ای و چندمحصولی با حمل‌ونقل مستقیم کالا بررسی کردند. در این پژوهش، محصولات برای انتقال به خرده‌فروشان با استراتژی حمل‌ونقل مستقیم و ظرفیت محدود وسایل نقلیه تحویل داده شد و یک الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی ذرات (PSO)<sup>۲۶</sup> برای حل مسئله پیشنهاد شد. لئو و لی<sup>۲۷</sup> (۲۰۱۱)، مدلی ریاضی برای مسئله موجودی مسیریابی با پنجره‌های زمانی پیشنهاد کردند. آنها با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر<sup>۲۸</sup> (VNS) و جست‌وجوی ممنوع<sup>۲۹</sup> (TS)، الگوریتمی دومرحله‌ای ارائه کردند. در پژوهش دیگری، مسئله موجودی مسیریابی در حالت تک‌محصول با محدودیت عرضه ارائه شد. هزینه کمبود پس‌افت در این مدل قابل مشاهده و تابع هدف مسئله به دنبال حداکثرسازی سود بود و برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک<sup>۳۰</sup> (GA) استفاده شد (اهری‌پور، ۲۰۱۳). کلهو و لاپورته<sup>۳۱</sup> (۲۰۱۳) از الگوریتم شاخه و کران<sup>۳۲</sup> برای حل مدل در حالت تک‌محصول برای موارد فاسدشدنی استفاده کردند. در مدل آنها، تقاضا قطعی، افق برنامه‌ریزی، محدود و کمبود به‌صورت مجاز در نظر گرفته شد و الگوریتم دقیق شاخه و کران برای حل مدل به کار رفت. در پژوهش دیگری، میرزایی و سیفی (۲۰۱۵)، مسائل مربوط به موجودی مسیریابی برای اقلام فاسدشدنی را با حضور کمبود به‌صورت فروش از دست‌رفته بررسی کردند. برای حل مسئله، از دو الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید<sup>۳۳</sup> (SA) و جست‌وجوی ممنوع (TS) استفاده شد. رحیمی و همکاران (۲۰۱۷)، مدل ریاضی چندهدفه‌ای را برای مسئله مسیریابی موجودی با توجه به سطح خدمات و

ملاحظات محیطی توسعه دادند که در آن از توزیع فازی برای مدل‌سازی پارامترهای غیرقطعی استفاده شد. آرچیتی و همکاران<sup>۳۴</sup> (۲۰۱۵)، الگوریتمی فراابتکاری برای مسئله MRP<sup>۳۵</sup> ارائه کردند. آنها دو مدل دقیق ارائه شده روی ۶۴۰ مثال کوچک را مقایسه کردند. الگوریتم فراابتکاری این پژوهش، حد بالا و جواب را با حل روی ۲۴۰ مثال در ابعاد بزرگ بهبود داد. در پژوهش آرچیتی و همکاران (۲۰۱۸)، مسئله مسیریابی وسیله نقلیه، تحویل و مدیریت موجودی ادغام شد. در مسئله آنها فرض شده است یک کالا در چندین مبدأ در دسترس است و در چندین مقصد تقاضا دارد. زمان به صورت گسسته است و حمل و نقل با یک وسیله نقلیه انجام می‌شود. در نهایت، مسئله با الگوریتم شاخه و کران حل شد. سویسال و همکارانش<sup>۳۶</sup> در سال ۲۰۱۵، همکاری عمودی‌ای را در میان تأمین‌کننده و خرده‌فروشان بررسی کردند. در مدل آنها تقاضا غیرقطعی بود که از محدودیت شانس برای تخمین مقادیر متغیرهای تصادفی و از روش شبیه‌سازی برای مقایسه خروجی‌های مدل استفاده شد. در مقاله دیگر آنها در سال ۲۰۱۸، همکاری از نوع افقی، بین چندین تأمین‌کننده و مشتری وجود داشت که برای کاهش هزینه‌ها و انتشار گازهای گلخانه‌ای بود. تقاضا، غیرقطعی و افق برنامه‌ریزی، محدود در نظر گرفته شد. در هر دو پژوهش، هزینه سوخت مصرفی در تابع هدف دیده شد و مدل به دنبال کمینه‌سازی هزینه‌های موجودی، دستمزد راننده، زباله‌ها و سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی بود (سویسال و همکاران، ۲۰۱۸). در پژوهش گویماراز و همکاران<sup>۳۷</sup> (۲۰۱۹)، مدلی برای مسئله IRP در افق برنامه‌ریزی محدود ارائه شد. الگوریتم استفاده شده در این پژوهش، دو الگوریتم دقیق و ابتکاری است. در پژوهش دیگری، مسئله IRP در یک افق برنامه‌ریزی محدود با در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا بررسی شد که در آن، محدودیت شانس و الگوریتم دقیق برای حل مدل به کار رفت (نیکزاد و همکاران<sup>۳۸</sup>، ۲۰۱۹). در پژوهش دیگری نیز مدل برای مسئله مسیریابی موجودی در یک افق برنامه‌ریزی محدود با تقاضای قطعی و مشخص ارائه شد. مسیریابی چندگانه در نظر گرفته شده بود و الگوریتم دقیق برای حل مدل به کار رفت (سو و همکاران<sup>۳۹</sup>، ۲۰۲۰). نامبراجان و همکاران<sup>۴۰</sup> (۲۰۲۰) نیز مدلی برای مسئله مسیریابی موجودی در یک افق برنامه‌ریزی محدود با تقاضای قطعی ارائه کردند. آنها روشی ابتکاری برای حل مدل خود به کار بردند. در پژوهش دیگری نیز مدل IRP در یک افق برنامه‌ریزی محدود ارائه شد که در آن، تقاضای وابسته به سطح موجودی، حالت چندمحصولی و الگوریتم ترکیبی برای حل مدل به کار رفته بود (ژو و همکاران<sup>۴۱</sup>، ۲۰۲۰). دای، گاو و گیری (۲۰۲۰)، سیاست ثابت بازپرسازی و مسیریابی وسایل نقلیه را با در نظر گرفتن هزینه زیان ناشی از فساد محصولات فاسدشدنی و تقاضای وابسته به قیمت و موجودی تعیین کردند. آنها در نهایت، برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط پیشنهادی، یک الگوریتم اکتشافی ترکیبی توسعه دادند (دای، گاو و گیری<sup>۴۲</sup>، ۲۰۲۰). علاوه بر موارد مذکور، مقالات مروری بسیاری نیز درباره مسئله IRP وجود دارد که برای نمونه به مقالات بال و همکاران<sup>۴۳</sup> (۱۹۹۵)، بایتا و همکاران<sup>۴۴</sup> (۱۹۹۸)، کلیوگت و همکاران<sup>۴۵</sup> (۲۰۰۴)، کامپیل و سویلسبرگ<sup>۴۶</sup> (۲۰۰۴) و رولدان و همکاران<sup>۴۷</sup> (۲۰۱۷) می‌توان اشاره کرد.

### ۳-۱-۱ مسئله تولید - موجودی - مسیریابی

مسئله تولید - مسیریابی - موجودی، تعمیمی از مسئله مسیریابی موجودی است. تاکنون، پژوهش‌های بسیاری درباره مسئله مسیریابی موجودی انجام شده است؛ اما به علت پیچیدگی مسئله PIRP، به این مسئله توجه کمتری شده است. در این مسئله، به تصمیمات مربوط به بهینه‌سازی تولید نیز علاوه بر تصمیمات مرتبط با موجودی و

توزیع توجه می‌شود و هماهنگی چند جزء و ایجاد یکپارچگی اجزای زنجیره تأمین تحقق می‌یابد. اولین پژوهش در این زمینه، ارائه یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط است که لی و همکاران (۲۰۰۶) ارائه دادند. در این پژوهش، ارتباط یک تولیدکننده محصولات شیمیایی با مشتریان بین‌المللی در یک زنجیره تأمین با ناوگانی ناهمگن بررسی شد. برای حل مدل نیز روش دومرحله‌ای به کار رفت. در مقاله‌ای، مدل تولید-موجودی برای تعیین مقدار بهینه موجودی در شرکت‌های تولیدی چندکالایی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد کمبود موجودی وجود داشت و تقاضا غیرقطعی بود. هدف مسئله، بیشینه‌سازی کل سود شرکت با در نظر گرفتن هزینه‌های موجودی، اعم از هزینه نگهداری مواد اولیه و نهایی، سفارش، کمبود به صورت پساافت و فروش از دست‌رفته و خرید است. مدل ریاضی غیرخطی و دوباره‌کاری اقلام معیوب و محدودیت‌های نرخ تولید محدود، فضای انبار و سرمایه نیز در نظر گرفته شد. برای داده‌های ورودی، نظریه مجموعه‌های فازی به کار رفت. مدل ارائه شده با استفاده از روش ترکیبی زنبورعسل، پارتو و ویکور حل شد (جعفری اسکندری، ابراهیمی و ملایی، ۱۳۹۷). در مقاله دیگری، خوشه‌بندی مسئله تولیدموجودی و مسیریابی انجام شده است. مسئله خوشه‌بندی دوهدفه است که شامل یک واحد تولیدی، مجموعه‌ای از مشتریان با تقاضای معین و ناوگانی از وسایل نقلیه برای تحویل تقاضاهاست. در پژوهش مذکور، محدودیت ظرفیت تولید و وسایل نقلیه نیز لحاظ شد. از جمله نوآوری‌های این پژوهش، مؤثر بودن هزینه‌های مربوط به مشتری و حمل‌ونقل و هزینه‌های تولیدی روی خوشه‌بندی است و مقدار فضای خالی برای وسیله حمل‌ونقل را هم‌زمان با انجام‌دادن خوشه‌بندی به حداقل می‌رساند (سمیع‌زاده و بهاروند، ۱۳۹۷). بهینه‌سازی سیستم تولید-توزیع زنجیره تأمین کالای فاسدشدنی از دیگر موضوعات پژوهش‌های مرور شده است. در این پژوهش، انبارهای میانی در نظر گرفته شده و نرخ فساد در انبار و یا در زمان توزیع به وسیله خبرگان به دست آمده است. مدل غیرخطی ارائه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای حل شده است (احمدی دهرشید و عبدالله‌زاده مقدم، ۱۳۹۸). مسئله تولید-موجودی-مسیریابی دومرحله‌ای محصولات دارویی از دیگر پژوهش‌های مربوط به موضوع پژوهش حاضر است. در این پژوهش، مسئله مد نظر، دو تابع هدف دارد که تابع هدف اول آن، کمینه‌سازی هزینه‌های کل سیستم، شامل هزینه‌های ثابت و متغیر تولید، انتقال دارو بین سطوح مختلف، نگهداری و فساد محصولات و تابع هدف دوم، کمینه‌سازی تأثیرات زیست‌محیطی ناشی از تولید و انتقال داروهاست. برای مقابله با تغییرات تقاضا از رویکرد تصادفی سناریومحور برای مدل‌سازی در شرکت داروسازی بایرپل فناوری استفاده شد (سلم‌آبادی و بهشتی‌نیا، ۱۳۹۹). مدل تولید مسیریابی موجودی دیگری در سال ۲۰۱۸ ارائه شد. در این پژوهش، موجودی فاسدشدنی، مطرح و تصمیمات یکپارچه بهینه زمانی تجزیه و تحلیل شد؛ بنابراین، پژوهشگران برای تحویل و فروش محصولات با دوره‌های مختلف تولید، سیاست‌های اصلی مدیریت موجودی را بررسی و مسئله مد نظر را براساس داده‌های واقعی نیز با بهره‌گیری از الگوریتم دقیق شاخه و برش حل کردند (کیو، کیاو و پاردالس<sup>۴۸</sup>، ۲۰۱۸). در مقاله دیگری، مدل MILP مرتبط با مسئله تولید مسیریابی موجودی، مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات به صورت چندهدفه ارائه شد. عملیات لجستیک مواد غذایی فاسدشدنی کارآمد با در نظر گرفتن شاخص کیفیت در حالت تک‌محصولی بررسی شد. ناوگان حمل این مدل به صورت همگن بود و به بعد زیست‌محیطی پایداری توجه شد (چان و همکاران<sup>۴۹</sup>، ۲۰۲۰). در مقاله دیگری، مسئله تولید-موجودی-مسیریابی با رویکرد بهینه‌سازی استوار مطرح شد. در این مقاله به لجستیک معکوس کانون، توجه شد و عدم قطعیت تقاضا، عدم اطمینان جریان معکوس، ناوگان همگن

و محدود و حالت تک محصولی در برنامه ریزی عدد صحیح خطی مختلط به کار رفت. مدل پیشنهادی این مقاله، تصمیم گیری و تنظیمات تولید را برنامه ریزی می کند (همتی گلسفیدی و اکبری جوکار، ۲۰۲۰). یک زنجیره تأمین حلقه بسته با گزینه های بازسازی در سال ۲۰۲۰ بررسی شد. هدف این مقاله، کاهش تولید گازهای گلخانه ای کربن در تصمیم گیری های مربوط به تولید، بازسازی، موجودی کالا و مسیریابی بود. در این مقاله با در نظر گرفتن تولید مجدد در سطح تولید- موجودی و تحویل هم زمان در سطح مسیریابی وسایل نقلیه و ناوگان همگن، یک مدل MILP برای مسئله یکپارچه تولید- موجودی- مسیریابی با تدارکات معکوس ارائه شد. با ایجاد مسائل تصادفی، چندین آزمایش محاسباتی برای حل مدل پیشنهادی انجام شد (چکبی و همکاران<sup>۵۰</sup>، ۲۰۲۰).

در زمینه زنجیره تأمین محصولات کشاورزی، پژوهش هایی انجام شده است که از آن جمله به پژوهش های ذیل می توان اشاره کرد:

- مطالعه و بررسی زنجیره تأمین لیموترش که در آن، کیفیت محصولات باغ میوه پیش بینی شد (لامبرت<sup>۵۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴)؛
- توسعه مدل برنامه ریزی خطی برای برنامه ریزی حمل و نقل روزانه میوه از انبارها به شرکت های فرآوری، با هدف کمینه سازی هزینه حمل و نقل (نادال رویک و پلا آرگونس<sup>۵۲</sup>، ۲۰۱۵) و
- مطالعه زنجیره تأمین و لجستیک گل شاخه بریده با مطالعه موردی در یونان (مالیندروتوس، موسچوریسو فولیناس<sup>۵۳</sup>، ۲۰۱۵).

جدول ۱- مروری بر پیشینه گزیده ای از پژوهش های پیرامون مسئله تولید-موجودی- مسیریابی

| ملاحظات زیست محیطی | سیاست تخفیف | عمر محدود | حل مدل و مقایسه سیستم در دو حالت متمرکز و غیر متمرکز | چند محصولی | سیاست بازسازی | ناوگان حمل |      | موجودی  |      | مسیر   |         |        | تقاضا   |      | افق برنامه ریزی |                                           | پژوهشگران و سال |
|--------------------|-------------|-----------|------------------------------------------------------|------------|---------------|------------|------|---------|------|--------|---------|--------|---------|------|-----------------|-------------------------------------------|-----------------|
|                    |             |           |                                                      |            |               | ناهمگن     | همگن | پس افست | ثابت | پیوسته | چندتایی | مستقیم | احتمالی | قطعی | محدود           |                                           |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               | *          |      | *       |      |        |         | *      |         | *    |                 | لی و همکاران (۲۰۰۶) <sup>۵۴</sup>         |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               |            | *    | *       |      |        |         | *      |         | *    | *               | بودیا و همکاران (۲۰۰۷) <sup>۵۵</sup>      |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               |            | *    | *       |      | *      |         |        |         | *    | *               | ساولسبرگ و سونگ (۲۰۰۸) <sup>۵۶</sup>      |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               |            | *    | *       |      | *      |         |        |         | *    | *               | بارد و نانانکول (۲۰۰۹) <sup>۵۷</sup>      |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               |            | *    | *       |      | *      |         |        |         | *    | *               | بارد و نانانکول (۲۰۱۰)                    |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               |            | *    | *       |      | *      |         |        |         | *    | *               | آرچیتی و همکاران (۲۰۱۱) <sup>۵۸</sup>     |                 |
|                    |             |           |                                                      |            |               |            | *    | *       |      | *      |         |        | *       |      | *               | آدولیا ساک و همکاران (۲۰۱۴) <sup>۵۹</sup> |                 |

| پژوهشگران و سال                              | افق برنامه ریزی | تقاضا |      | مسیر    |        |         | موجودی |      | ناوگان حمل |      | سیاست بازسازی | چند محصولی | حالت متمرکز و غیر متمرکز | حل مدل و مقایسه سیستم در دو | عمر محدود | سیاست تخفیف | ملاحظات زیست محیطی |
|----------------------------------------------|-----------------|-------|------|---------|--------|---------|--------|------|------------|------|---------------|------------|--------------------------|-----------------------------|-----------|-------------|--------------------|
|                                              |                 | محدود | قطعی | احتمالی | مستقیم | چندتایی | پوشته  | ثابت | پس افش     | همگن | ناهمگن        |            |                          |                             |           |             |                    |
| ابسی و همکاران<br>(۲۰۱۴)                     | *               | *     |      |         |        | *       |        | *    |            | *    |               |            |                          |                             |           |             |                    |
| جعفری اسکندری،<br>ابراهیمی و ملایی<br>(۱۳۹۷) | *               |       |      | *       |        | *       |        |      | *          | *    |               |            |                          |                             |           |             |                    |
| سمیع زاده و بهاروند<br>(۱۳۹۷)                | *               | *     |      |         |        | *       |        | *    |            |      |               |            |                          |                             |           |             |                    |
| احمدی دهرشید و<br>عبداله زاده مقدم (۱۳۹۸)    | *               | *     |      |         |        | *       |        | *    |            | *    |               |            |                          |                             | *         |             |                    |
| سلم آبادی و بهشتی نیا<br>(۱۳۹۹)              | *               |       |      | *       |        | *       |        | *    |            | *    |               | *          |                          |                             | *         |             | *                  |
| پژوهش حاضر                                   | *               | *     | *    |         |        | *       |        | *    |            |      | *             | *          | *                        | *                           | *         | *           | *                  |

فروش روزانه تولیدکنندگان و عمده فروشان و درآمد حاصل از تخفیف و هزینه های سیستم، از جمله هزینه راه اندازی سیستم تولید، هزینه های نگهداری، خرید، سفارش، ارسال و مسیریابی، دستمزد رانندگان، سوخت و آلاینده های زیست محیطی تحقق می یابد. با توجه به این مسئله، در این پژوهش به بعد محیطی (به صورت ملموس) و بعد اقتصادی (با در نظر گرفتن کاهش هزینه های سیستم و رشد و حفظ کسب و کار به صورت ناملموس) در حوزه توسعه پایدار نیز توجه شده است. همانگونه که مطرح شد، در این پژوهش، دسته ای از اقلام زوال پذیر مد نظر قرار گرفته است که عمر محدود دارد. از جمله این اقلام به محصولات کشاورزی همچون سبزیجات و صیفی جات و گل در انواع و رنگ های مختلف می توان اشاره کرد. از آنجا که این اقلام به صورت دسته ای و در انواع مختلف (با توجه به تقاضاهای متعدد) عرضه و توزیع می شود و مسافت ها و امکانات لازم برای حمل و نقل متفاوت است، در این پژوهش، ناوگان ناهمگن برای توزیع چندین محصول به کار می رود. در این پژوهش، ناوگان ناهمگن، دو دسته یخچالی و غیر یخچالی معرفی شده است. همچنین، دسته اقلام زوال پذیر مد نظر، محدودیت عمر و کاهش کیفیت و مرغوبیت در گذر زمان دارد؛ بنابراین، استفاده از سیاست تخفیف در تولیدکنندگان و عمده فروشان به کاهش میزان دورریز و افزایش میزان درآمد متعاقب فروش حاصل از تخفیف منجر می شود. مورد دیگر، در نظر گرفتن سیاست بازسازی در دوره مشخص است. ضرورت توجه به مسائل زیست محیطی باعث شد برای کاهش مصرف سوخت و آلاینده های زیست محیطی، تابع هدفی در نظر گرفته شود تا به عنوان یکی از هزینه های توزیع برای کاهش هزینه های مرتبط با آن، بهینه سازی انجام شود. همچنین، دو سیستم متمرکز و غیر متمرکز نیز مقایسه شده است؛ بنابراین، نوآوری این پژوهش نسبت به مرور مبانی نظری، آنچنانکه در جدول شماره ۱ نیز دیده شد، ترکیب موارد ذیل است:

- ✓ ارائه مدل و بهینه‌سازی توأم مسئله تولید و موجودی و مسیریابی با ناوگان غیر همگن؛
- ✓ زوال‌پذیربودن محصولات با عمر محدود؛
- ✓ در نظر گرفتن سیاست بازپرسازی؛
- ✓ بررسی و مقایسه دو سیستم متمرکز و غیرمتمرکز
- ✓ در نظر گرفتن سیاست تخفیف پس از سپری‌شدن زمان مشخص برای کاهش کیفیت و مرغوبیت اولیه محصولات در تولیدکنندگان و بنکداران و
- ✓ در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی در زنجیره تأمین سبز با مینیمم‌سازی هزینه سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی و سیستم متناسب راه‌اندازی‌شده توسط تولیدکنندگان برای حداقل‌سازی انتشار گاز CO2.
- در ادامه، مبانی نظری مرتبط، مفروضات، معرفی نمادها، پارامترها و متغیرهای مدل آورده می‌شود؛ سپس مدل ریاضی مرتبط ارائه می‌شود. در بخش بعدی، مدل در قالب چند مثال عددی، حل و درنهایت، بحث و تحلیل حساسیت پارامترهای مهم مسئله PIRDI و نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

## ۲- مبانی نظری

SCM سه فعالیت عمده دارد: مدیریت اطلاعات، مدیریت لجستیک و مدیریت روابط. مهم‌ترین آنها شاخص رابطه، شامل نقش حیاتی برای اجرای منطقی و یکپارچه SCM است؛ زیرا مدیریت روابط بر تمام جنبه‌های زنجیره تأمین و سطح عملکرد آن، تأثیر زیادی دارد (شاهین و همکاران، ۲۰۱۷)؛ بنابراین، در این پژوهش، یکپارچگی در قالب همکاری افقی بین چندین تولیدکننده و چندین عمده‌فروش در زنجیره تأمین بررسی می‌شود. این زنجیره تأمین دوسطحی از تولیدکننده، آغاز و به عمده‌فروشان برای توزیع نهایی محصول ختم می‌شود. در ادامه، مفروضات درباره مدل مسئله تولید-موجودی-مسیریابی آورده می‌شود.

## ۲-۱ مفروضات

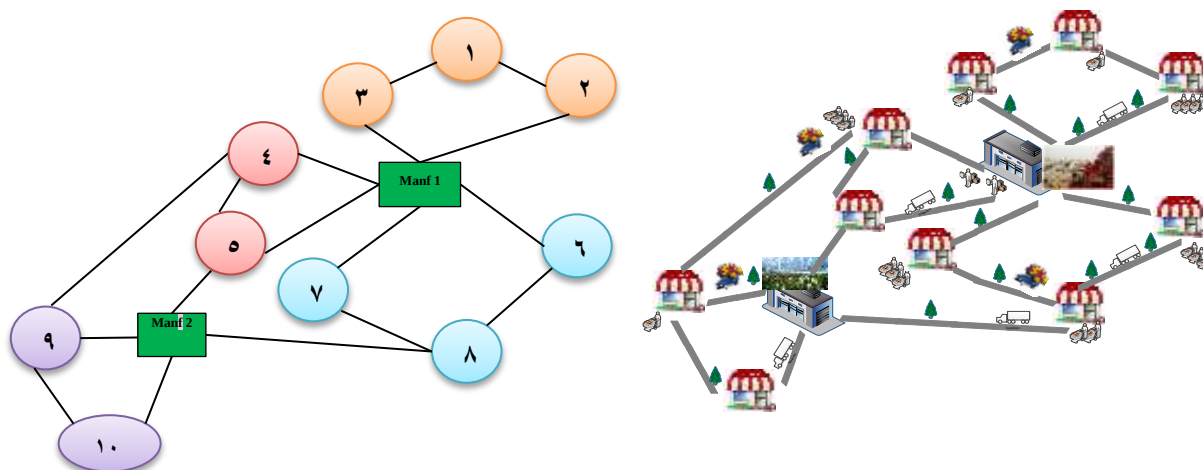
- افق برنامه‌ریزی، محدود است.
- چند تولیدکننده برای تولید محصولات و چند بنکدار به عنوان عمده‌فروشان در نظر گرفته شده است.
- میزان تولید و سطح تقاضا ثابت، قطعی و مشخص است.
- تولید به صورت چندمحصولی است و تمامی محصولات تولیدشده در مبدأ، بهترین کیفیت را دارند که با نرخ ثابتی کاهش می‌یابد. تخفیف قیمتی در تولیدکننده فقط برای صفرکردن موجودی محصولات تازه و با کیفیت حداکثری رخ می‌دهد؛ بنابراین، مرغوبیت محصولات تخفیف داده‌شده در تولیدکنندگان، بیشتر از عمده‌فروشان است.
- محصولات در محل عمده‌فروشی، تاریخ انقضای مشخص نیز دارند که تا بازه زمانی مشخص پیش از رسیدن به تاریخ انقضا (برای کاهش کیفیت و تازگی) تخفیف داده می‌شود.
- موعد تحویل، صفر است.
- کمبود مجاز نیست.
- باقیمانده آخر دوره با لحاظ کردن تخفیف، حراج و موجودی صفر می‌شود.

- میزان متوسط نرخ ضایعات در مرحله فروش تولیدکنندگان، بسیار کمتر از عمده‌فروشی (بنکدارها) است.
- در مرحله تولید، محصولات، شادابی خاص و بهترین کیفیت را دارند.
- در مرحله عمده‌فروشی برای حمل و جابه‌جایی و گذشت زمان، تازگی و شادابی محصولات کاهش می‌یابد یا دچار آسیب دیدگی بیشتری می‌شود.

### ۳- روش‌شناسی پژوهش

#### ۳-۱ مدل‌سازی مسئله

همانگونه که اشاره شد، مدل ریاضی ارائه شده در این پژوهش، به صورت برنامه‌ریزی خطی مختلط ( $MILP$ ) است. در شکل شماره ۱، نمای کلی از یک زنجیره تأمین مرتبط با مسئله تولید-موجودی-مسیریابی نمایش داده شده است. وجود یک تولیدکننده و تعدادی عمده‌فروش و مشتریان نهایی، معرف ارتباطی به صورت همکاری عمودی است. با لحاظ کردن بیشتر از یک تولیدکننده و ارتباطات متقابل بین عمده‌فروشان و تولیدکنندگان، این ارتباط به صورت همکاری افقی تعریف می‌شود؛ به عبارت دیگر، هنگامی که ارتباط بین یک تولیدکننده و تعدادی عمده‌فروش شکل می‌گیرد که با قرارداد مشخص و مستقل با یکدیگر فعالیت می‌کنند، همکاری به صورت عمودی است؛ ولی هنگامی که ارتباط از نوع همکاری افقی شکل می‌گیرد، چندین تولیدکننده و چندین عمده‌فروش با قراردادهای مشترک برای حداکثرسازی سود و کاهش هزینه‌های مربوط فعالیت می‌کنند. این ارتباط متقابل به شکل همکاری افقی با لحاظ کردن دو تولیدکننده و تعدادی عمده‌فروش، که با یکدیگر تعامل و همکاری متقابل دارند، در شکل شماره ۱ دیده می‌شود.



شکل ۱- نمای کلی مسئله پژوهش و ساختار شبکه آن

برای ارائه مدل مسئله PIRDI نمادها، پارامترها و متغیرهای مد نظر بیان می شود.

### ۱-۱-۳ نمادها (اندیس ها، مجموعه ها و پارامترها):

$\mathcal{T}$ : مجموعه دوره های زمانی  $\mathcal{T} = \{0, 1, \dots, T\}, t \in \mathcal{T}$ ، دوره بازپرسازی (شمارنده)  $o = \{1, \dots, n\}$

$\mathcal{K}$ : مجموعه وسایل نقلیه  $k \in \{1, \dots, K\}$   $\mathcal{K} = \mathcal{K}_1 \cup \mathcal{K}_2$

$\mathcal{K}_1$ : مجموعه وسیله نقلیه دارای یخچال

$\mathcal{K}_2$ : مجموعه وسیله نقلیه فاقد یخچال

$\mathcal{F}$ : مجموعه انواع محصولات زوال پذیر  $f \in \{1, \dots, F\}$

$\theta_{Mjftt}$ : نرخ زوال هر تولیدکننده  $j$  در زمان  $t$  برای محصول نوع  $f$  که در زمان  $\tau$  تولید شده

$\theta_{Wiftt}$ : نرخ زوال هر عمده فروش (بنکدار)  $i$  در زمان  $t$  برای محصول نوع  $f$  که در زمان  $\tau$  تولید شده

$h_{Mjtt}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع  $f$  تولید شده در زمان  $\tau$  توسط تولیدکننده  $j$  در دوره  $t$  برای تولیدکننده  $j$

$h_{Wiftt}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع  $f$  تولید شده در زمان  $\tau$  توسط تولیدکننده  $j$  در دوره  $t$  برای عمده فروش  $i$

$C_{kij}$ : هزینه حمل و نقل با وسیله نقلیه  $k$ ، از  $i$  به  $j$  (کیلومتر)

$D_{fitt}^o$ : تقاضای عمده فروش  $i$  برای محصول نوع  $f$  در روز  $t$  در دوره بازپرسازی  $o$  که در  $\tau$  تولید شده

$Cv_k$ : ظرفیت وسیله نقلیه  $k$

$V_{jff}$ : ظرفیت تولید تولیدکننده  $j$  برای محصول نوع  $f$

$CN_{jff}$ : حداکثر سطح موجودی تولیدکننده  $j$  از محصول نوع  $f$

$CN_{if}$ : حداکثر سطح موجودی عمده فروش  $i$  از محصول نوع  $f$

$M_f$ : حداکثر عمر مفید محصول نوع  $f$  در تولیدکنندگان

$M'_{fi}$ : حداکثر عمر مفید محصول نوع  $f$  در عمده فروش  $i$

$salvage\_m_{fj}^o$ : قیمت فروش با تخفیف محصول نوع  $f$  در تولیدکننده  $j$  در دوره بازپرسازی  $o$

$\phi_{fj}$ : نرخ هزینه مربوط به خاک، خاک برگ در هر مترمربع

$\phi_{fj}$ : نرخ کود و سموم در هر مترمربع

$\psi_{fj}$ : نرخ هزینه سیستم گرمایشی و سرمایشی و سایر تجهیزات جهت راه اندازی در هر مترمربع

$\Omega_{fj}$ : نرخ پایه ی گل یا بذر در هر مترمربع

$C\_Water(j, f)$ : هزینه آب هر تولیدکننده  $j$

$C\_Process(j, f)$ : هزینه پردازش هر تولیدکننده  $j$

$C\_Worker(j, f)$ : هزینه نیروی انسانی هر تولیدکننده  $j$

$C\_Energy(j, f)$ : هزینه انرژی مصرفی هر تولیدکننده  $j$

$A\_W_{it}$ : هزینه ثابت سفارش یک دوره هر عمده‌فروش  $i$  در دوره  $t$

$salvage\_w_{fi}^o$ : قیمت فروش با تخفیف محصول نوع  $f$  در عمده‌فروش  $i$  در دوره بازپرسازی  $o$

$P_{fjt}^o$ : نرخ تولید محصول نوع  $f$  در تولیدکننده  $j$  در واحد زمان (روز) در دوره تولید  $t$

$d_{ij}$ : فواصل بین عمده‌فروشان و تولیدکنندگان

$price\_m_{fjtt}$ : قیمت محصول نوع  $f$  در تولیدکننده  $j$  در که در دوره  $t$  تولید و در در دوره  $t$  به فروش رفته

$price\_W_{fitt}$ : قیمت محصول نوع  $f$  در عمده‌فروش  $i$  در که در دوره  $t$  تولید و در در دوره  $t$  به فروش رفته

$Big\_M$ : عدد بزرگ

### ۳-۱-۲ متغیرهای تصمیم

$a_{fj}$ : زمین زیر کشت محصول  $f$  در تولیدکننده  $t$

$x_{ijkt}$ : متغیر باینری؛ اگر سفر بین گره‌ها (از گره  $i$  به گره  $j$ ) توسط وسیله نقلیه  $k$  در روز  $t$  انجام شود مساوی

یک و در غیر اینصورت مساوی صفر

$z_{ikt}$ : متغیر باینری؛ اگر ملاقات گره  $i$  توسط وسیله نقلیه  $k$  در روز  $t$  انجام شود مساوی یک و در غیر اینصورت

مساوی صفر

$v_{fjitk}^o$ : میزان تحویل محصول نوع  $f$  در روز  $t$  از تولیدکننده  $j$  به بنکدار  $i$  توسط ماشین  $k$  در دوره

بازپرسازی  $o$

$u_{fikt}$ : میزان محصول نوع  $f$  حمل شده توسط وسیله نقلیه  $k$  قبل از ویزیت بنکدار  $i$  در روز  $t$

$y\_W_{fi}$ : متغیر باینری؛ اگر درخواست سفارش برای محصول  $f$  توسط عمده‌فروش  $i$  انجام شود مساوی یک و

در غیر اینصورت مساوی صفر.

$Q_{fitt}^o$ : میزان سفارش برای محصول نوع  $f$  هر عمده‌فروش  $i$  در دوره‌ی  $t$  که در  $t$  ایجاد شده است.

$S_{fjtt}^o$ : میزان فروش محصول نوع  $f$  در تولیدکننده  $j$  در روز  $t$  که در  $t$  ایجاد شده است در دوره بازپرسازی  $o$

$I_{fjtt}^o$ : میزان موجودی ابتدای دوره محصول نوع  $f$  که در  $t$  ایجاد شده است در روز  $t$  برای تولیدکننده  $j$  در

دوره‌ی بازپرسازی  $o$

$I'_{fjtt}^o$ : میزان موجودی پایان دوره محصول نوع  $f$  در تولیدکننده  $j$  که در  $t$  ایجاد شد، در دوره بازپرسازی  $o$

$IW_{fitt}^o$ : میزان موجودی ابتدای دوره محصول نوع  $f$  که در  $t$  ایجاد شده و در روز  $t$  به عمده‌فروش  $i$  فروش

رفته در دوره‌ی بازپرسازی  $o$

$IW_{fitt}^o$ : میزان موجودی پایان دوره محصول نوع  $f$  که در  $\tau$  ایجاد شده است جهت فروش در روز  $t$  به عمده فروش  $i$  دوره بازپرسازی  $o$

$e_{fitt}$ : متغیر باینری؛ اگر میزان تحویل محصول نوع  $f$  در روز  $t$  در بنکدار  $i$  که در  $\tau$  ایجاد شده است مثبت باشد مساوی یک و در غیر اینصورت صفر.

$T_{fjtt}^o$ : میزان تحویل محصول نوع  $f$  در روز  $t$  از تولیدکننده  $j$  به بنکدار  $i$  که در  $\tau$  ایجاد شده است (تولید شده) در دوره بازپرسازی  $o$

$salv\_m_{fjt}^o$ : میزان فروش با تخفیف محصول نوع  $f$  در تولیدکننده  $j$  در دوره بازپرسازی  $o$

$salv\_w_{fjt}^o$ : میزان فروش با تخفیف محصول نوع  $f$  در عمده فروش  $i$  در دوره بازپرسازی  $o$

$C\_Soil(j)$ : هزینه خاک، خاک برگ و بذر هر تولیدکننده  $j$  در هر مترمربع

$C\_F\&P(j)$ : هزینه کود و سم هر تولیدکننده  $j$  در هر مترمربع

$C\_HCS(j)$ : هزینه سیستم گرمایشی و سرمایشی و سایر تجهیزات هر تولیدکننده  $j$

$C\_FLB(j)$ : هزینه ی پایه گل یا بذر هر تولید کننده  $j$

$TCM$ : کل هزینه تولیدکنندگان

$TCW$ : هزینه کل عمده فروشان

$TIM$ : کل درآمد تولیدکنندگان

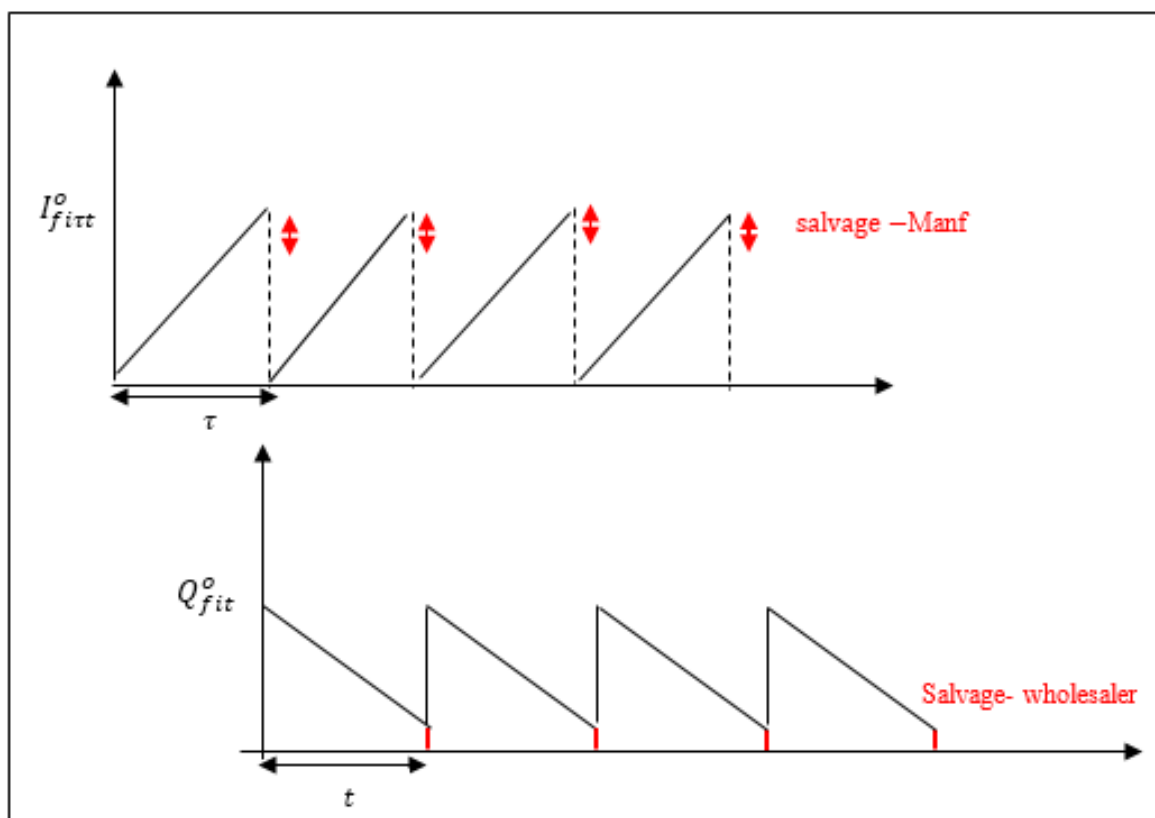
$TIW$ : کل درآمد عمده فروشان

$TP$ : کل سود سیستم تولید - موجودی - مسیریابی

### ۳-۱-۳ مدل برنامه ریزی ریاضی

زنجیره تأمین به صورت دوسطحی با در نظر گرفتن تولیدکنندگان و عمده فروشان (بنکدارها) است. مسئله تولید موجودی مسیریابی اقلام زوال پذیر (PIRDIP) به صورت یک گراف  $G = (N, A)$  در نظر گرفته می شود.  $N$  شامل مجموعه تولیدکنندگان ( $N_1$ ) و مجموعه عمده فروشان ( $N_2$ ) است ( $N = N_1 \cup N_2$ ). شکل شماره ۲، نمودار رفتار سطح موجودی را برای تولیدکننده و عمده فروش نشان می دهد. میزان سطح موجودی ابتدای دوره، که در دوره  $\tau$  در تولیدکننده  $j$  ایجاد شده است، با نماد  $I_{fjtt}^o$  مشخص شده است. این میزان موجودی در زمان  $t$  به عمده فروش  $i$  براساس میزان سفارش  $Q_{fit}^o$  فرستاده می شود و به فروش می رسد. میزان محصولات تخفیف داده شده در انتهای هر دوره برای تولیدکننده (salvage-Manf) و عمده فروش (salvage-wholesaler) مشخص شده است.

$$A = \{(i, j): i, j \in N\}$$



شکل ۲- نمودار رفتار سطح موجودی در زمان برای تولیدکننده و عمده‌فروش

هزینه راه‌اندازی و آماده‌سازی، هر شش سال یک‌بار پرداخت می‌شود و به مساحت بستگی دارد؛ بنابراین، این هزینه آماده‌سازی اولیه برای واحد زمین (متر مربع) در نظر گرفته می‌شود. این هزینه‌ها دربردارنده خاک و خاک‌برگ، کود و سموم و سیستم گرمایشی و سرمایشی و سایر تجهیزات برای راه‌اندازی مکان تولیدی است که در رابطه‌های شماره ۱ تا ۳ آورده شده است.

$$C_{Soil}(j) = \sum_{f=1}^F a_{fj} \cdot \varphi_{fj} \quad (1)$$

$$C_{F\&P}(j) = \sum_{f=1}^F a_{fj} \cdot \phi_{fj} \quad (2)$$

$$C_{HCS}(j) = \sum_{f=1}^F a_{fj} \cdot \psi_{fj} \quad (3)$$

$$C_{FLB}(j) = \sum_{f=1}^F a_{fj} \cdot \Omega_{fj} \quad (4)$$

مدل ریاضی مسئله تولید- موجودی مسیریابی اقلام زوال پذیر (PIRDIP) به صورت ذیل است:

$$\begin{aligned}
 \text{Max} TP = & (TIM - TCM) + (TIW - TCW) \\
 = & \left[ \sum_f^F \sum_j^{N_1} \sum_\tau^T \sum_{t=\tau}^{\tau+M_f-1} S_{fj\tau t}^o \cdot \text{price\_}m_{fj} \right. \\
 & \left. + \sum_{o=1}^n \sum_{f=1}^F \sum_j^{N_1} \sum_t^T \text{salv\_}m_{fjt}^o \cdot \text{salvage\_}m_{fj} \right] \\
 & - \left[ C_{\text{Soil}}(j) + C_{F\&P}(j) + C_{HCS}(j) + C_{FLB}(j) \right. \\
 & + \sum_{f=1}^F \sum_{t=1}^T (a_{fj} \cdot (C_{\text{Water}}(j, f) + C_{\text{Process}}(j, f) + C_{\text{Worker}}(j, f) \\
 & + C_{\text{Energy}}(j, f))) + \sum_{o=1}^n \sum_{f=1}^F \sum_{j=1}^{N_1} \sum_{\tau=1}^{M_f} \sum_{t=1}^T h_{M_{fj\tau t}} \cdot I_{fj\tau t}'^o \left. \right] \\
 & + \sum_i \left[ \sum_{o=1}^n \sum_f^F \sum_t^T \text{price\_}w_{fi} \cdot (IW_{fitt}^o - IW_{fitt}'^o) \right. \\
 & + \sum_{o=1}^n \sum_{f=1}^F \sum_t^T \text{salv\_}w_{fit}^o \cdot \text{salvage\_}w_{fi} \left. \right] - \left[ \sum_{o=1}^n \sum_t^{N_2} \sum_t^T A_{Wit}^o \cdot y_{Wit} \right. \\
 & + \left( \sum_o^n \sum_f^F \sum_t^{N_2} \sum_\tau^{M_f'} \sum_t^T Q_{fitt}^o \cdot \text{price\_}w_{fi} \right) \\
 & + \left( \sum_{o=1}^n \sum_{f=1}^F \sum_{i=1}^{N_2} \sum_{\tau=1}^{M_f'} \sum_{t=1}^T h_{W_{fi\rho}} \cdot IW_{fitt}'^o \right) - \left[ \sum_{i,j} \sum_{k \in \mathcal{K}} (C_{kij} \cdot x_{ijkt}) \right. \\
 & + \sum_{i,j \in N} \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t \in \mathcal{T}} \lambda(y_{\text{Tec}}(d_{ij} / \text{speed})x_{ijkt} + \gamma\beta C_{kij} \text{speed}^2 x_{ijkt} \\
 & + \gamma s_{\text{Tec}}(ux_{ijkt} + z_{ikt})d_{ij})l + \sum_{i,j \in N} \sum_{k \in \mathcal{K}} \sum_{t \in \mathcal{T}} (d_{ij} / \text{speed})x_{ijkt} \cdot r]
 \end{aligned}
 \tag{5}$$

Subject to:

$$P_{fj\tau}^o \cdot a_{fj} = I_{fj\tau\tau}^o \quad \forall f, j, \tau \tag{6}$$

$$I_{fj\tau t}'^o = I_{fj\tau t}^o - \sum_i r_{fj\tau t}^o \quad \forall f, j, \tau, t \tag{7}$$

$$I_{fj\tau t+1}^o = I_{fj\tau t}^o (1 - \theta_{M_{fj\tau t}}) \quad \text{If } t < \tau + M_f, \tau > 0 \quad \forall f, j, \tau, t \tag{8}$$

$$\text{salv\_}m_{fjt}^o = \sum_{o=1}^n I_{fj(t-M_f)t}^o \quad \forall f, j, t \tag{9}$$

$$IW_{fitt+1}'^o = IW_{fitt}'^o (1 - \theta_{W_{fj\tau t}}) + Q_{fitt+1} \quad \text{If } t < \tau + M_f, \tau > 0 \quad \forall f, i, \tau, t \tag{10}$$

$$IW'_{fitt} = IW_{fitt}^o - Q_{fitt}^o \quad \forall f, i, \tau, t \quad (11)$$

$$salv\_w_{fit} = \sum_{o=1}^n IW_{fi(t-M'_{fi})t}^o \quad \forall f, i, t \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N_2} r_{fjitt}^o = S_{fj\tau t}^o \quad \forall f, j, \tau, t \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N_1} r_{fjitt}^o = Q_{fitt}^o \quad \forall f, i, \tau, t \quad (14)$$

$$Q_{fitt}^o \leq (Big\_M)y_{wit} \quad \forall f, i, \tau, t \quad (15)$$

$$\sum_{\tau} Q_{fitt}^o \leq D_{fitt}^o \quad \forall f, i, t \quad (16)$$

$$\sum_{\tau=0}^t r_{fjitt} = \sum_{k=1}^K v_{fjikt} \quad \forall f, j, i, t \quad (17)$$

$$\sum_f a_{fj} \leq V_{fj} \quad \forall j \quad (18)$$

$$\sum_j \sum_f \sum_i v_{fjikt} \leq z_{ikt} C v_k \quad \forall k, t \quad (19)$$

$$\sum_{\tau=t-M_f}^t I_{fj\tau t}^o \leq C N_{fj} \quad \forall f, j, t \quad (20)$$

$$\sum_{\tau=0}^t IW_{fitt}^o \leq C N_{fi} \quad \forall f, i, t \quad (21)$$

$$\sum_{j \neq i} x_{jikt} = z_{ikt} \quad \forall i, k, t \quad (22)$$

$$\sum_{i \neq j} x_{ijkt} = \sum_{i \neq j} x_{jikt} \quad \forall j, k, t \quad (23)$$

$$u_{fikt} - u_{fjtk} + C v_k x_{ijkt} \leq C v_k + \sum_{j'=1}^{N1} v_{fj'itk} \quad \forall f, i, j, k, t \quad (24)$$

$$\sum_{j'=1}^{N1} v_{fj'ikt} \leq u_{fikt} \leq C v_k \quad \forall f, i, j, k, t \quad (25)$$

$$\sum_j r_{fjitt} \leq C v_k \cdot e_{fitt} \quad \forall f, i, j, k, \tau, t \quad (26)$$

$$a_{fj}, I_{fitt}^o, IW_{fitt}^o, I_{fitt}^{io}, IW_{fitt}^{io}, D_{fitt}^o, Q_{fitt}^o, r_{fjitt}^o, v_{fjikt}^o, u_{fikt} \geq 0 \quad \forall f, i, j, k, \tau, t \quad (27)$$

$$z_{ikt}, y_{wit}, e_{fitt}, x_{ijkt} \in \{0,1\} \quad \forall f, i, j, k, t \quad (28)$$

## ۳-۱-۴ تشریح تابع هدف و محدودیت‌های مدل

تابع هدف مدل به صورت حداکثرسازی سود تعریف شده است که دربردارنده تفاضل درآمدها و هزینه‌های سیستم است. درآمدهای تولیدکنندگان و عمده‌فروشان به دو صورت درآمد حاصل از فروش عادی و درآمد حاصل از فروش با تخفیف است. هزینه‌های سیستم، دربردارنده هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های متغیر تولید، هزینه نگهداری برای تولیدکنندگان و هزینه‌های ثابت سفارش، هزینه خرید، هزینه نگهداری، هزینه انتقال (حمل و نقل)، هزینه سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی و هزینه دستمزد رانندگان است.

فرض می‌کنیم دوره تولید تولیدکننده با دوره بازپرسازی بنکدار برابر است. تولیدکننده هر روز محصول برداشت می‌کند؛ اما عرضه محصول در دوره‌های تولید اتفاق می‌افتد.

بر اساس محدودیت (۶)، میزان تولید متاثر از سطح زمین زیر کشت و مساوی موجودی ابتدای آن دوره است. و بر اساس محدودیت (۷)، پس از تفاضل میزان تحویل داده شده به هر بنکدار از موجودی ابتدای دوره، میزان موجودی پایان دوره بدست می‌آید. از آنجایی که انواع محصولات مختلف آسیب‌پذیری و به عبارتی نرخ زوال متفاوتی دارند و از طرفی در تولیدکنندگان و بنکدارها تجهیزات متفاوتی جهت نگهداری محصولات وجود دارد، لذا با کسر میزان محصولات دچار زوال شده از میزان تحویل داده شده، میزان موجودی پایان دوره به صورت محدودیت (۸) برای تولیدکنندگان تعریف می‌شود. بر اساس محدودیت (۹) میزان فروش با تخفیف محصولات در تولیدکنندگان محاسبه می‌شود. میزان موجودی پایان دوره به صورت محدودیت (۱۰) برای عمده‌فروشان تعریف می‌شود. مطابق محدودیت (۱۱)، میزان موجودی پایان دوره عمده‌فروشان مساوی تفاضل موجودی ابتدای دوره و میزان سفارش است. و میزان فروش با تخفیف محصولات در عمده‌فروشان مطابق محدودیت (۱۲) است. از طرفی میزان تحویل داده شده محصول نوع  $f$  مساوی میزان فروش و همین‌طور میزان سفارش است (محدودیت (۱۳) و (۱۴)). بر اساس محدودیت (۱۵)، میزان سفارش محصول نوع  $f$  عمده‌فروش  $i$  در روز  $t$  و در دوره بازپرسازی  $0$  بایستی کوچکتر مساوی یک عدد بزرگ باشد (اگر سفارش انجام گیرد). از طرفی مطابق محدودیت (۱۶)، میزان سفارش برای محصول نوع  $f$  هر عمده‌فروش  $i$  در دوره  $t$  که در دوره‌های  $\tau$  ایجاد شده است بایستی کوچکتر مساوی میزان تقاضا در دوره  $t$  باشد. بر اساس محدودیت (۱۷)، هر آنچه تحویل داده می‌شود توسط وسیله حمل و نقل (یخچالی، فاقد یخچال) حمل و بنکدار  $i$  را ملاقات نماید. مطابق محدودیت (۱۸)، میزان سطح زمین زیر کشت برای هر محصول بایستی متناسب با ظرفیت تولید باشد. محدودیت (۱۹) مرتبط با ظرفیت وسیله نقلیه است که بیان می‌کند که کل تحویل داده شده‌ها باید از ظرفیت ماشین کمتر باشد. محدودیت (۲۰) و (۲۱) مرتبط با متناسب بودن سطح موجودی تولیدکنندگان و عمده‌فروشان با حداکثر سطح موجودی است. محدودیت بازدید از گره‌ها، تعادل جریان وسیله نقلیه و حذف زیرتور به ترتیب مطابق رابطه (۲۲) و (۲۳) است. محدودیت (۲۴) مرتبط با مقدار محصول حمل شده با وسیله نقلیه یخچالی و بدون یخچال مطابق ظرفیت تعیین شده است. محدودیت (۲۵) مرتبط با مقدار محصول در پریود  $\tau$  به بنکدار  $i$  (توسط وسیله نقلیه یخچالی و غیر یخچالی) را مطابق ظرفیت محدود می‌کند. محدودیت (۲۶) و (۲۷) نیز نوع متغیرهای مدل را مشخص می‌کنند.

## ۴- مسائل نمونه و یافته‌های پژوهش

## ۴-۱ ایجاد مسائل نمونه

برای بررسی کارایی مدل و تحلیل حساسیت روی پارامترهای مهم مسئله، ابتدا باید تعدادی مسئله نمونه ایجاد شود. در جدول شماره ۲، سه مسئله  $P1$ ،  $P2$  و  $P3$  در ابعاد مختلف ایجاد شده است که براساس تعداد دوره‌های زمانی ( $T$ )، تعداد عمده‌فروشان ( $N_2$ ) و تعداد وسایل نقلیه ( $k$ ) است.

جدول ۲- ابعاد مسائل نمونه

| شماره مسئله | بعد مسئله<br>( $T \times N_2 \times k$ ) |
|-------------|------------------------------------------|
| $P1$        | (۲×۲×۲)                                  |
| $P2$        | (۶×۴×۴)                                  |
| $P3$        | (۶×۶×۶)                                  |

مقادیر مربوط به پارامترهای استفاده‌شده در مسائل نمونه نیز در جدول شماره ۳ گنجانده شده است.

جدول ۳- پارامترهای مسائل نمونه

| پارامتر                                          | مقدار            | پارامتر                                           | مقدار  |
|--------------------------------------------------|------------------|---------------------------------------------------|--------|
| $\theta_{Mjft}$ : نرخ زوال هر تولیدکننده         | ۰/۲              | $x$ : نرخ دستمزد راننده                           | ۵۰۰۰۰  |
| $\theta_{Wjft}$ : نرخ زوال هر عمده‌فروش          | ۰/۷              | $V_{jf}$ : ظرفیت تولید تولیدکننده                 | ۴۰۰۰۰  |
| $h_{Mjft}$ : هزینه نگهداری تولیدکننده            | ۱۰۰۰             | $salvage\_m_{jf}^0$ : قیمت با تخفیف در تولیدکننده | ۳۰۰۰۰  |
| $h_{Wjft}$ : هزینه نگهداری عمده‌فروش             | ۱۰۰۰             | $\varphi_{fj}$ : نرخ هزینه مربوط به خاک و خاک‌برگ | ۱۲۰۰۰  |
| $C_{kij}$ : هزینه حمل‌ونقل با وسیله نقلیه        | [۴۰۰-۵۰۰]        | $\phi_{fj}$ : نرخ کود و سموم در هر متر مربع       | ۱۰۰۰۰  |
| $D_{fit}^0$ : تقاضای عمده‌فروش $i$               | ۱۵۰              | $\psi_{fj}$ : نرخ هزینه سیستم گرمایشی و سرمایشی   | ۱۷۰۰۰  |
| $CV_k$ : ظرفیت وسیله نقلیه                       | ۶۰۰              | $C\_Water(j)$ : هزینه آب هر تولیدکننده            | ۲۰۰۰۰۰ |
| $CN_{jf}$ : حداکثر سطح موجودی تولیدکننده         | ۲۰۰              | $C\_Process(j)$ : هزینه پردازش هر تولیدکننده      | ۳۰۰۰۰۰ |
| $CN_{if}$ : حداکثر سطح موجودی عمده‌فروش          | ۲۰۰              | $C\_Worker(j)$ : هزینه نیروی انسانی هر تولیدکننده | ۲۰۰۰۰۰ |
| $A\_W_i$ : هزینه ثابت سفارش یک دوره هر           |                  | $C\_Energy(j)$ : هزینه انرژی مصرفی هر تولیدکننده  |        |
| عمده‌فروش $i$                                    | ۱۰۰۰۰۰           |                                                   | ۵۰۰۰۰۰ |
| $salvage\_w_{fi}^0$ : قیمت با تخفیف در عمده‌فروش | ۴۰۰۰۰            | $price\_m_f$ : قیمت محصول نوع $f$ در تولیدکننده   | ۸۰۰۰۰  |
| $A_j$ : کل زمین زیر کشت                          | ۱۰۰۰ متر مربع    | $price\_W_f$ : قیمت محصول نوع $f$ در عمده‌فروش    | ۹۰۰۰۰  |
| $d_{ij}$ : فواصل بین عمده‌فروشان و تولیدکنندگان  | [۱۵۰-۳۰] کیلومتر | $M_f$ : حداکثر عمر محصول نوع $f$                  | ۸ روز  |

مقادیر مربوط به سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی، که از مقاله دمیر، بکتاس و لاپورته<sup>۶۱</sup> (۲۰۱۲) اقتباس شده است، نیز به صورت جدول شماره ۴ است.

جدول ۴- پارامترهای مؤثر در سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی

| پارامتر                                           | مقدار                                         | پارامتر                                     | مقدار                                     |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------------------------------|
| ( $\epsilon$ ): نسبت وزن سوخت به هوا              | ۱                                             | ( $\rho$ ): چگالی هوا                       | $(\text{kg/m}^3) 1/2041$                  |
| ( $k$ ): مقدار گرمایش سوخت دیزل                   | $(\text{KJ/g}) 44$                            | ( $\mu$ ): وزن کل خودرو با سوخت و تجهیزات   | $(\text{kg}) 6350$                        |
| ( $\varphi$ ): عامل تبدیل گرم (g/s) به لیتر (l/s) | $(\text{g/lit}) 737$                          | ( $C_r$ ): مقاومت غلطشی <sup>۶۲</sup>       | ۰/۰۱                                      |
| ( $k_e$ ): ضریب اصطکاک موتور                      | $(\text{kJ/rev/lit}) 0/2$                     | ( $\epsilon$ ): کارایی جلوبرنده وسیله نقلیه | ۰/۴                                       |
| ( $N_e$ ): سرعت موتور (rev/s)                     | $(\text{rev/s}) 33$                           | ( $V_e$ ): جابه‌جایی موتور (l)              | $(\text{lit}) 5$                          |
| ( $\emptyset$ ): زاویه جاده                       | ۰                                             | ( $\lambda$ ): پارامتر فنی                  | $\epsilon/\text{k}\varphi$                |
| ( $A_e$ ): ناحیه سطحی روبرو                       | $(\text{m}^2) 3/912$                          | ( $C_d$ ): ضریب ایرودینامیکی کششی           | ۰/۷                                       |
| ( $g$ ): ثابت گرانش                               | $(\text{m/s}^2) 9/81$                         | ( $Speed$ ): سرعت وسیله نقلیه               | $(\text{km/h}) 80$                        |
| ( $\omega$ ): پارامتر کارایی برای موتورهای دیزل   | ۰/۹                                           | ( $y\_Tec$ ): پارامتر فنی                   | $y = k_e * N_e * V_e$                     |
| ( $l$ ): قیمت سوخت هر لیتر                        | $(\text{€}) 1/7$                              | ( $\gamma$ ): پارامتر فنی                   | $\gamma = 1 / (1000 * \epsilon * \omega)$ |
| ( $s\_Tec$ ): پارامتر فنی                         | $s = g \sin \emptyset + g C_r \cos \emptyset$ | ( $B$ ): پارامتر فنی                        | $\beta = (0.5 * C_d * A_e * \rho)$        |

#### ۴-۲ نتایج حل مدل در حالت متمرکز

در این بخش، نتایج حاصل از اجرای مدل ریاضی روی مسائل نمونه در حالت متمرکز بررسی می‌شود. حل مدل با رایانه‌ای شخصی با پردازنده Intel Core™ i5-1.8GHz و حافظه داخلی ۴ گیگابایت، برنامه‌نویسی و اجرا شده است. جدول شماره ۵، نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه شده در بخش‌های پیش را بر مسائل نمونه نشان می‌دهد. مطابق جدول شماره ۵، همانگونه که پیش‌بینی شد با افزایش ابعاد مسئله، تعداد محدودیت‌ها و تعداد متغیرها افزایش یافته است. تابع سود نیز با افزایش تعداد عمده‌فروشان، وسیله نقلیه و طول دوره زمانی، افزایش یافته است. این موارد، روایی مدل را تأیید می‌کند.

جدول ۵- نتایج حاصل از حل مدل

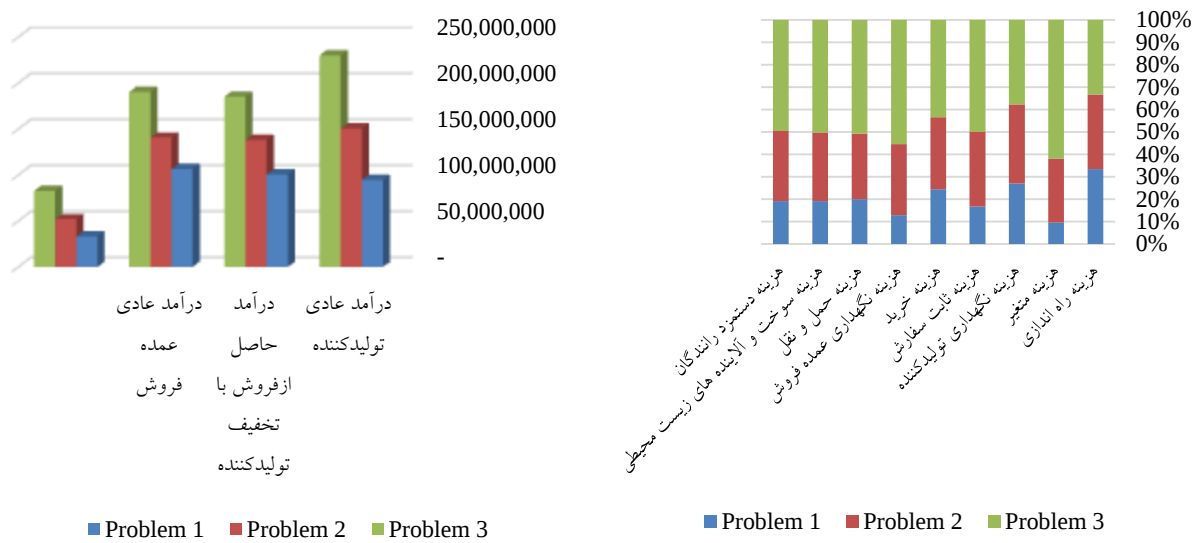
| زمان حل (ثانیه) | خطا | تعداد محدودیت | تعداد متغیر | تابع سود (TP) | شماره مسئله |
|-----------------|-----|---------------|-------------|---------------|-------------|
| ۵               | ٪ ۰ | ۵۰۴           | ۲۵۱         | ۱۴۶۵۸۰۰۰۰     | P1          |
| ۸               | ٪ ۰ | ۱۰۴۴۰         | ۳۲۹۱        | ۲۵۲۷۹۱۴۰۰     | P2          |
| ۱۰              | ٪ ۰ | ۱۹۱۷۶         | ۵۴۹۹        | ۴۰۰۸۹۶۹۰۰     | P3          |

مطابق جدول شماره ۶، درآمدهای حاصل از فروش عادی و درآمد حاصل از تخفیف در تولیدکنندگان و عمده‌فروشان در سه مسئله نمونه مشاهده می‌شود.

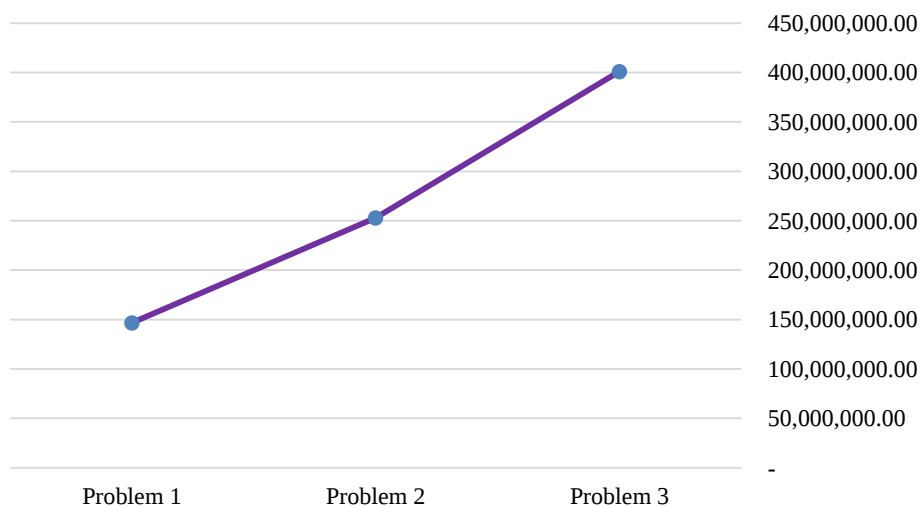
جدول ۶- درآمدها در سه مسئله نمونه

| شماره مسئله | درآمد عادی تولیدکننده | درآمد حاصل از فروش با تخفیف تولیدکننده | درآمد عادی عمده فروش | درآمد حاصل از فروش با تخفیف عمده فروش |
|-------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| P1          | ۹۴۷۲۰۰۰۰              | ۱۰۰۴۴۰۰۰۰                              | ۱۰۶۵۶۰۰۰۰            | ۳۳۲۸۰۰۰۰                              |
| P2          | ۱۵۰۳۱۰۰۰۰             | ۱۳۸۲۰۰۰۰۰                              | ۱۴۰۵۰۰۰۰۰            | ۵۱۹۰۰۰۰۰                              |
| P3          | ۲۳۰۱۴۰۰۰۰             | ۱۸۵۱۰۰۰۰۰                              | ۱۹۰۴۰۰۰۰۰            | ۸۲۷۰۰۰۰۰                              |

در شکل شماره ۳، هزینه‌ها (قسمت الف) و درآمدها (قسمت ب) در سه مسئله نمونه، نمایش مقایسه‌ای شد.



شکل ۳- مقایسه درآمدها و هزینه‌ها در سه مسئله نمونه به تفکیک درآمدها و هزینه‌ها



شکل ۴- مقایسه سود در سه مسئله نمونه

براساس شکل شماره ۴، سود حاصل در سه مسئله نمونه مقایسه شده است؛ بنابراین، روند صعودی سود با افزایش ابعاد مسئله (افزایش تعداد عمده فروشان، تعداد وسایل نقلیه و طول دوره زمانی) مشاهده می شود.

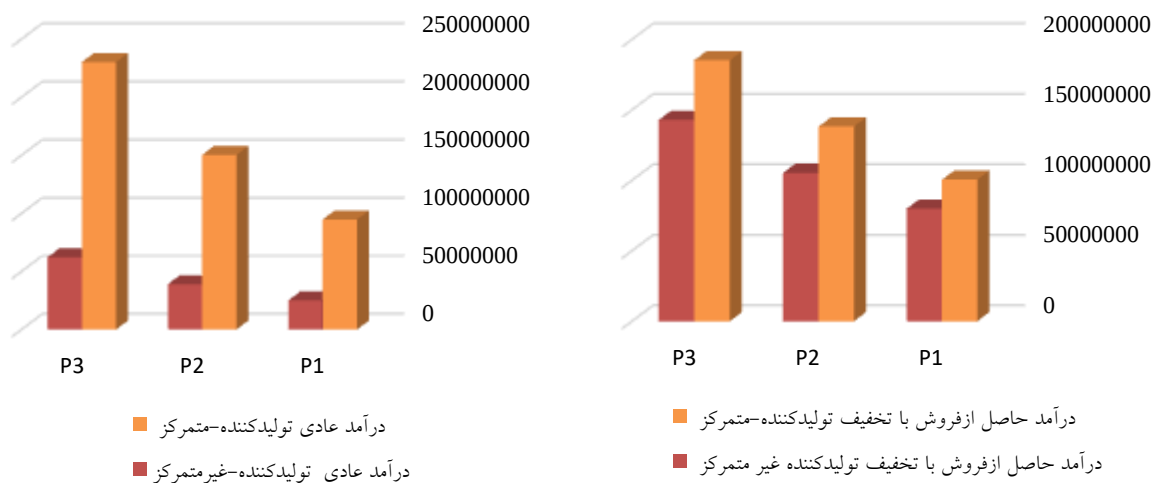
#### ۳-۴ نتایج حل مدل در حالت غیرمتمرکز

در این بخش، نتایج حاصل از حل مدل در حالت غیرمتمرکز، گنجانده شده است. همانگونه که پیش تر نیز اشاره شد، در حالت غیرمتمرکز، سیستم تولید و توزیع به صورت مجزا فعالیت می کند و همکاری یکپارچه دیده نمی شود. مطابق جدول شماره ۷، درآمدهای سیستم تولید و توزیع نمایش داده شده است.

جدول ۷- درآمدها در سه مسئله نمونه

| شماره مسئله | درآمد عادی تولیدکننده | درآمد حاصل از فروش با تخفیف تولیدکننده | درآمد عادی عمده فروش | درآمد حاصل از فروش با تخفیف عمده فروش |
|-------------|-----------------------|----------------------------------------|----------------------|---------------------------------------|
| P1          | ۲۴۹۶۰۰۰۰              | ۷۹۹۲۰۰۰۰                               | ۶۶۹۶۰۰۰۰             | ۶۳۱۴۶۰۰۰                              |
| P2          | ۳۸۹۲۵۰۰۰              | ۱۰۵۳۷۵۰۰۰                              | ۹۲۱۳۳۰۰۰             | ۱۰۰۲۰۶۰۰۰                             |
| P3          | ۶۲۰۲۵۰۰۰              | ۱۴۲۸۰۰۰۰۰                              | ۱۲۳۴۰۰۰۰۰            | ۱۵۳۴۲۶۰۰۰                             |

در شکل شماره ۵، درآمد تولیدکنندگان در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز مقایسه شده است. شکل الف، مقایسه درآمد حاصل از فروش با تخفیف و شکل ب، مقایسه درآمد عادی تولیدکنندگان را در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز نشان می دهد.

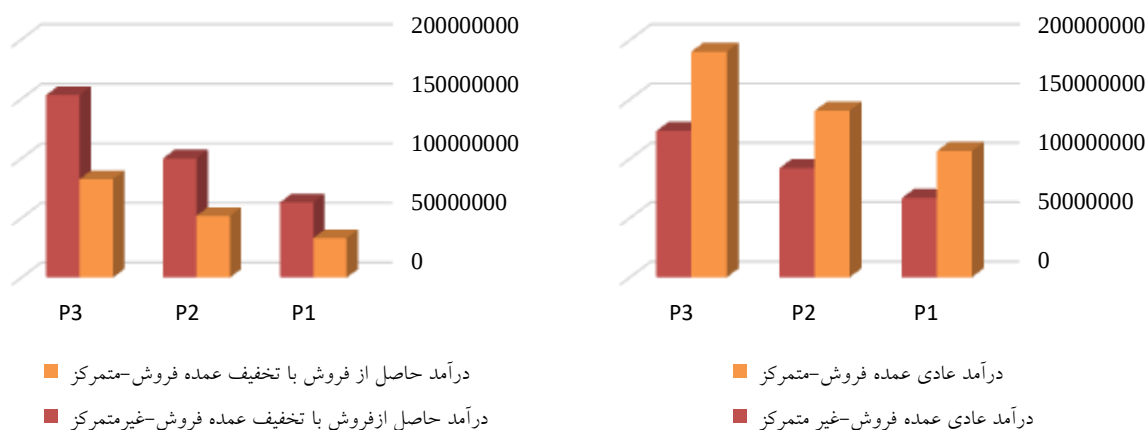


ب

الف

شکل ۵- مقایسه درآمد تولیدکنندگان در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز

براساس آنچه در شکل شماره ۵ دیده می شود، درآمد حاصل از فروش با تخفیف و درآمد عادی تولیدکنندگان در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز مقایسه شده است. درآمدها در سیستم غیرمتمرکز کاهش یافته است که این امر بر اهمیت سیستم متمرکز در افزایش سودآوری تأکید می کند. در شکل شماره ۶ نیز درآمدهای عمده فروشان مقایسه شده است.

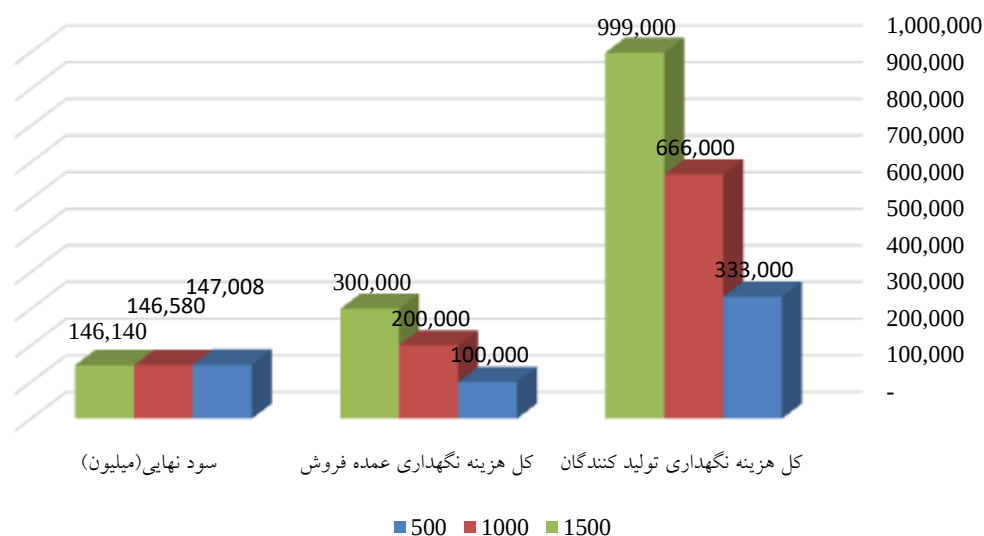


شکل ۶- مقایسه درآمد عمده فروشان سیستم متمرکز و غیرمتمرکز

براساس شکل شماره ۶، درآمد عادی (شکل الف) و حاصل از فروش با تخفیف (شکل ب) عمده فروشان نیز در سیستم غیرمتمرکز نسبت به حالت متمرکز کاهش یافته است.

#### ۴-۴ تحلیل حساسیت

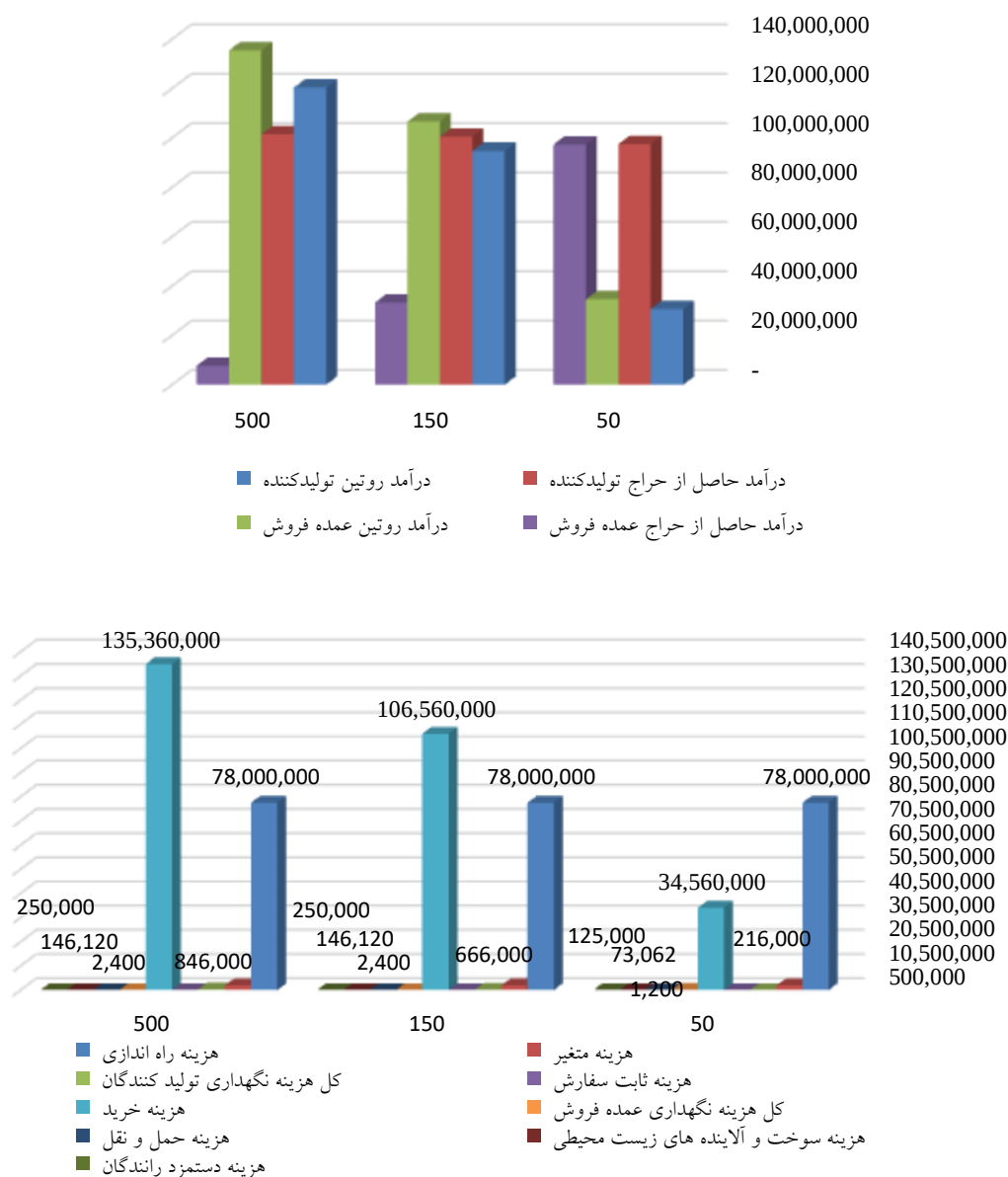
برای تحلیل حساسیت مدل، تغییرات نرخ هزینه نگهداری و تقاضای عمده فروشان بررسی شده است. شکل شماره ۷، تأثیر تغییرات نرخ هزینه نگهداری در تولیدکنندگان و عمده فروشان را در مسئله پایه P1 نشان می‌دهد.



شکل ۷- تحلیل حساسیت روی نرخ هزینه نگهداری

با در نظر گرفتن سه حالت کم، متوسط و زیاد به ترتیب، با نرخ‌های عددی ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ تغییرات مشاهده شده نمایش داده شده است. با افزایش نرخ هزینه نگهداری در تولیدکننده و عمده فروشان، هزینه نگهداری کل، افزایش و به تبع آن، سود نهایی کاهش یافته است.

شکل شماره ۸ برای تحلیل حساسیت میزان تقاضا در عمده فروشان طراحی شده است. میزان تقاضا نیز با سه حالت کم، متوسط و زیاد به ترتیب، با اعداد ۵۰، ۱۵۰ و ۵۰۰ لحاظ شده است. نمودار اول، تغییرات درآمدی و نمودار دوم، تغییرات هزینه‌ای را نشان می‌دهد.



شکل ۸- نمودار تحلیل حساسیت بر میزان تقاضا

با افزایش تقاضای عمده فروش، میزان درآمد حاصل از فروش عادی و درآمد حاصل از فروش با تخفیف افزایش و برعکس با کاهش تقاضا این دو درآمد در تولیدکنندگان و عمده فروشان کاهش یافته است. همچنین، افزایش تقاضا به کاهش هزینه نگهداری در عمده فروش و افزایش هزینه نگهداری در تولیدکنندگان منجر شده است که این امر مهم با تسریع در توزیع کاهش می‌یابد.

## ۵- بحث

همانگونه که گفته شد، این پژوهش به علت اهمیت مطالعه زنجیره تأمین دسته‌ای از اقلام زوال‌پذیر با نرخ زوال و عمر محدود انجام شد. موارد مد نظر براساس نوع مسئله تدوین شد که شامل حالت چندمحصولی مطابق دسته‌ای از محصولات کشاورزی مورد مطالعه، ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن، سیاست فروش با تخفیف برای تولیدکنندگان و عمده‌فروشان و ملاحظات زیست‌محیطی است. پس از حل مسائل ایجادشده در ابعاد مختلف، مشخص شد با افزایش ابعاد مسئله، تعداد محدودیت‌ها و تعداد متغیرها افزایش یافته است. تابع سود نیز با افزایش تعداد عمده‌فروشان، وسیله نقلیه و طول دوره زمانی افزایش یافت که مؤید روایی مدل است.

با توجه به نتایج حل مدل و تحلیل حساسیت پارامترهای هزینه نگهداری و تقاضا، گفتنی است همکاری افقی به توزیع متوالی و یا هم‌زمان منجر می‌شود که این امر، بسیاری از هزینه‌های سیستم توزیع و مسیریابی را کاهش می‌دهد. هزینه خرید نیز با افزایش تقاضا افزایش یافته است. همچنین، هزینه دستمزد رانندگان، هزینه حمل‌ونقل و هزینه سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی به علت کاهش تقاضا، کاهش یافته است. با افزایش تقاضا و ایجاد یکپارچگی در زنجیره تأمین در بسیاری از هزینه‌ها و زمان صرفه‌جویی می‌شود. نرخ تولید نیز با افزایش میزان تقاضای عمده‌فروشان، افزایش و با کاهش آن، کاهش یافته است که رابطه مستقیم این دو متغیر را در ایجاد یکپارچگی در زنجیره تأمین نشان می‌دهد. سود نهایی نیز با افزایش تقاضا، افزایش و با کاهش تقاضای عمده‌فروشان، کاهش یافته است. همچنین، تحلیل حساسیت انجام‌شده، تغییرات منطقی را نمایش می‌دهد که همه موارد ذکرشده، مؤید روایی مدل نیز است. براساس مقایسه نتایج حل مدل در دو سیستم متمرکز و غیرمتمرکز، به ایجاد یکپارچگی و همکاری در قالب تمرکز بیشتر سیستم‌های تولید- موجودی- مسیریابی برای افزایش میزان سودآوری در زنجیره تأمین می‌توان اشاره کرد.

با توجه به مدل ارائه‌شده براساس سیستم واقعی همکاری افقی در زنجیره تأمین، این مدل را براساس دیتاهای واقعی می‌توان اجرا و یکپارچگی در زنجیره تأمین را بررسی و ایجاد کرد. ایجاد همکاری افقی مانند تغییر فرهنگ سازمانی، با واکنش‌هایی روبرو می‌شود؛ زیرا به فاصله از سیستم سنتی منجر می‌شود. علاوه بر این، ممکن است سیستم در کوتاه‌مدت، آثار و تمایزات ریالی زیادی را نشان ندهد و این تأثیرات در بلندمدت، ملموس‌تر و آشکارتر می‌شود. نظر به اثبات مزایا و بهینگی سیستم همکاری در زنجیره تأمین با پژوهش‌های مستند، به ترغیب ایجاد همکاری در زنجیره تأمین با سوق‌یافتن همکاری بیشتر صنایع مختلف می‌توان اشاره کرد.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، مسئله تولید- موجودی- مسیریابی اقلام زوال‌پذیر (PIRDI) در یک زنجیره تأمین دوسطحی بررسی شد. هزینه‌های مطرح‌شده، شامل هزینه‌های راه‌اندازی و تولید ثابت و متغیر و هزینه نگهداری برای تولیدکنندگان و هزینه‌های ثابت سفارش، خرید، نگهداری، هزینه‌های ثابت و متغیر ناوگان ناهمگن حمل‌ونقل، سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی و دستمزد رانندگان برای عمده‌فروشان است. درآمدهای تولیدکنندگان و عمده‌فروشان نیز به دو صورت درآمد حاصل از فروش عادی و درآمد حاصل از فروش با تخفیف، محاسبه شده است؛ بنابراین، تابع هدف به صورت حداکثرسازی سود تعریف شده است. برای حل این مسئله از روش دقیق با

موتور حل CPLEX و نرم افزار Opl Ilog استفاده شده است. نتایج حاصل از حل مدل در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز بر افزایش درآمدها و کاهش هزینه های سیستم با ایجاد یکپارچگی در زنجیره تأمین تأکید دارد. تحلیل حساسیت بر دو پارامتر هزینه نگهداری به تفکیک تولیدکنندگان و عمده فروشان و میزان تقاضای عمده فروشان انجام شد. نتایج مشخص کرد با افزایش نرخ هزینه نگهداری، هزینه نگهداری کل، افزایش و سود نهایی کاهش می یابد. همچنین، با افزایش تقاضای عمده فروشان، درآمد حاصل از فروش عادی و درآمد حاصل از فروش با تخفیف برای تولیدکنندگان و عمده فروشان و هزینه خرید افزایش می یابد. با کاهش تقاضا، هزینه حمل و نقل، سوخت و آلاینده های زیست محیطی و دستمزد رانندگان به علت کاهش فرایند توزیع، کاهش یافته است. افزایش تقاضا به افزایش نرخ تولید و سود نهایی منجر می شود؛ بنابراین، علاوه بر تأیید روایی مدل به کمک نتایج حاصل از حل مدل در ابعاد مختلف و تحلیل حساسیت انجام شده و تأیید پایایی مدل با ارائه محدودیت های مرتبط با مسئله پژوهش و مقایسه های سیستم متمرکز و غیرمتمرکز، موارد ذکر شده برای ایجاد یکپارچگی در زنجیره تولید و دستیابی به حداکثر میزان سود در تولیدکنندگان و عمده فروشان و مشتریان نهایی به کار می رود. براساس آنچه در این پژوهش مطرح شد، رویکرد مدل توسعه یافته براساس مطالعات انجام شده درباره زنجیره تأمین دسته ای از اقلام زوال پذیر، همچون محصولات کشاورزی، از مرحله تولید آغاز و به مرحله عمده فروشی ختم شده است. ناوگان حمل و نقل ناهمگن به علت کاهش میزان زوال اقلام، حفظ مرغوبیت و کیفیت محصولات، پاسخ به تقاضاهای متفاوت و وجود مسافت های متعدد از تولیدکنندگان به عمده فروشان استفاده شده است. در نظر گرفتن سیاست تخفیف نیز از دیگر مواردی است که به ارائه محصولات بیشتر به مشتریان با قیمت کاهشی و افزایش درآمد تولیدکنندگان و عمده فروشان به علت فروش محصولات تا پیش از تاریخ انقضای مشخص و کاهش دورریز آنها منجر می شود. توجه به ملاحظات زیست محیطی نیز به علت کاهش مصرف سوخت و آلاینده ها در مسیریابی انجام شده است.

ازجمله آثار مدل پیشنهادی بر جامعه، از توجه به ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی توسعه پایدار می توان نام برد که نمونه های آن به ترتیب، توسعه بیشتر کسب و کار با ایجاد همکاری بین تولیدکنندگان و عمده فروشان، افزایش گردش جریان نقد، توجه به اقشار آسیب دیده در نتیجه لحاظ سیاست تخفیف، کاهش مصرف سوخت به عنوان یکی از انرژی های تجدیدناپذیر و کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی است.

به عنوان محدودیت پژوهش حاضر، به لحاظ نکردن عدم قطعیت در زنجیره و دسترسی نداشتن به برخی داده های واقعی، فرض قطعی بودن تقاضا و سایر پارامترها و حل مدل برای نمونه هایی با سایز متوسط و کوچک می توان اشاره کرد. برای انجام دادن پژوهش های بعدی، در نظر گرفتن موارد ذیل پیشنهاد می شود:

- در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای هزینه ای؛
- اجرای مدل برای داده های واقعی و
- توسعه الگوریتم ها ابتکاری و فراابتکاری کارا برای حل مسائل با ابعاد بزرگ.

## References

- Absi, N., Archetti, C., Dauz\_ere-P'er\_es, S., and Feillet, D. (2014). "A two-phase iterative heuristic approach for the production routing problem". *Transportation Science*, 49(4): 1-26.
- Adulyasak, Y., Cordeau, J.-F., and Jans, R. (2014b). "Optimization-based adaptive large neighborhood search for the production routing problem". *Transportation Science*, 48(1): 20-45.
- Aharipour, E. (2013). "Solving the inventory-routing problem considering supply of goods using meta-heuristic algorithms". *Iranian Journal of Supply Chain Management (Journal of Extension Science)*, 42(15): 62-73 (in Persian).
- Ahmadi Dehrshid, K., and Abdollahzadeh Moghadam, S. (2019). "Integrated Mathematical Model for Production-Distribution System of Perishable Supply Chain with Intermediate Warehouses". *Quarterly Journal of Production and Operations Management*, 10(19): 37-53 (in Persian).
- Andersson, H. Hoff, A., Christiansen, M., Hasle, G., and Lokketangen, A. (2010). "Industrial aspects and literature survey: combined inventory management and routing". *Computer and Operation Research*, 37: 1515-1536.
- Ankersmit, S., Rezaei, J., and Tavasszy, L. (2014). "The potential of horizontal collaboration in airport ground freight services". *J Air Transportation Management*, 40: 81-169.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Hertz, A., and Speranza, M.G. (2015). "A hybrid heuristic for an inventory routing problem". *INFORMS Journal on Computing*, 24(1): 101-116.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Paletta, G., and Speranza, M.G. (2011). "Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system". *Computer and Operation Research*, 38(12): 1731-1746.
- Archetti, C., Boland, N., and Speranza, M.G. (2018). "A Matheuristic for the Multivehicle Inventory Routing Problem". *INFORMS Journal on Computing*, 29(3): 377-387.
- Baita, F., Ukovich, W., Pesenti, R., and Favaretto, D. (1998). "Dynamic routing and inventory problem: a review". *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 32(8): 585-598.
- Ball, M.O., Magnanti, T.L., Monma, C.L., and Nemhauser, G.L. (1995). "Network Routing", *Handbooks in Operations Research and Management Science*, 8: 1-785
- Bard J.F., and Nananukul, N. (2010). "Branch-and-price algorithm for an integrated production and inventory routing problem". *Computers and Operations Research*, 37: 2202-2217
- Bard, J.F., and Nananukul, N. (2009). "Heuristics for a multiperiod inventory routing problem with production decisions". *Computers and Industrial Engineering*, 57: 713-723.
- Barrat, M. (2004). "Understanding the meaning of collaboration in the supply chain". *Supply Chain Manage: Internationa Journal*, 9(1): 30-42.
- Bell, W.J., Dalberto, L.M., Fisher, M.L., Greenfield. A.J., and Kedia, P. (1983). "Improving the distribution of industrial gases with an on line computerized routing and scheduling optimizer". *Interface*, 13(6): 4-23.
- Boudia, M., Louly, M.A.O., and Prins, C. (2007). "A reactive GRASP and path relinking for a combined production distribution problem". *Computers and Operations Research*, 34(11): 3402-3419
- Campbell, A.M., and Savelsbergh, M.W.P. (2004). "A decomposition approach for the inventory-routing problem". *Transportation Science*, 38(4): 488-502.
- Chan, F.T.S., Wang, Z.X., Goswami, A., Singhania, A., and Tiwari, M.K. (2020). "Multi-objective particle swarm optimisation based integrated production inventory routing planning for efficient perishable food logistics operations". *International Journal of Production Research*, 58(17): 5155-5174. DOI: 10.1080/00207543.2019.1701209.

- Coelho, L.C., and Laporte, G. (2013). "A branch-and-cut algorithm for the multi-product multivehicle inventory-routing problem". *International Journal of Production Research*, 51(23-24): 7156-7169.
- Coelho, L., and Laporte, G. (2014). "Optimal joint replenishment, delivery and inventory management policies for perishable products". *Computers and Operation Research*, 47: 42-52.
- Dai, ZH., Gao, K., and Giri, B.C. (2020). "A hybrid heuristic algorithm for cyclic inventory-routing problem with perishable products in VMI supply chain". *Expert Systems with Applications*, Published Online. doi: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.113322>.
- Demir, E., Bektas, T., and Laporte, G. (2012). "An adaptive large neighborhood search heuristic for the pollution- routing problem". *European Journal of Operational of Research*, 223(2): 223-359.
- Derman, C., and Klein, M. (1958). "Inventory Depletion Management". *Management Science*, 4(4): 450-456. <http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.4.4.450>.
- Ghare, P.M., and Schrader, G.H. (1963). "A Model for an Exponentially Decaying Inventory". *Journal of Industrial Engineering*, 14: 238-243.
- Gharehyakheh, A.C., Krejci, C., Cantu, J., and Rogers, K.J. (2020). "A Multi-Objective Model for Sustainable Perishable Food Distribution Considering the Impact of Temperature on Vehicle Emissions and Product Shelf Life". *Sustainability*, 12, 6668, doi:10.3390/su12166668.
- Chekoubi, Z., Trabelsi, W., Sauer, N., and Majdoulina, I. (2020). "The Integrated Production-Inventory-Routing Problem with remanufacturing under carbon cap-and-trade". *European Union*, doi: 978-1-7281-6654-4/20/\$31.00©2020.
- Guimaraes, T.A., Coelho, L.C., Schenekemberg, C.M., and Scarpin, C.T. (2019). "The two echelon multi-depot inventory-routing problem". *Computers and operations research*, 101: 220-233.
- Hemmati Golsefidi, A., and Akbari Jokar, M.R. (2020). "A robust optimization approach for the production-inventory-routing problem with simultaneous pickup and delivery". *Computers and Industrial Engineering*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106388>.
- Huang, S.H., and Lin, P.C. (2010). "A modified ant colony optimization algorithm for multi-item inventory routing problem with demand uncertainty". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 46(5): 598-611.
- Jafari Eskandari, M., Ebrahimi, R., and Malai, R. (2017). "Production model-inventory of fuzzy multi-product with shortage, reprocessing and constraints of limited production rate, warehouse and capital space and solving it by meta-innovative algorithms". *Quarterly Journal of New Research in Decision Making*, 2(4): 81-104 (In Persian).
- Jemai, Z., Rekik, Y., and Kalai, R. (2013). "Inventory routing problems in a context of vendor-managed inventory system with consignment stock and transshipment". *Prod Plan Control*, 24: 671-83.
- Kleywegt, A.J., Nori, V.S., and Savelsbergh, M.W.P. (2004). "Dynamic programming approximation for a stochastic inventory routing problem". *Transportation Science*, 38(1): 42-70.
- Kleywegt, A.J., Nori, V.S., and Savelsbergh, M.W.P. (2002). "The stochastic inventory routing problem with direct deliveries". *Transportation Science*, 36(1): 94 -118.
- Lambert, G. F., Aguilar Lasserre, A.A., Miranda Ackerman, M., Moras Sánchez, C.G., Ixmatalhua Rivera, B.O., and Azzaro-Pantel, C. (2014). "An expert system for predicting orchard yield and fruit quality and is impact on the Persian lime supply chain". *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 33: 21-30.
- Lei, L., Liu, S., Ruszczyński, A., and Park, S. (2006). "On the integrated production, inventory, and distribution routing problem". *IIE Transactions*, 38(11): 955-970.
- Lian, Z., and Liu, L. (2001). "Continuous review perishable inventory systems: models and heuristics". *IIE Transactions*, 33: 809-822.

- Liu, S.C., and Lee, W.T. (2011). "A heuristic method for the inventory routing problem with time windows". *Expert Systems with Applications*, 38(10): 13223-13231.
- Malindretos, G., Moschuris, S., and Folinasj, D. (2015). "Cut-Flowers Supply Chain and Logistics. The Case of Greece", *International Journal of Research in Management and Business Studies*, 2(1): 14-25.
- Mirzaei, A., Hossein, A., and Zegri, SH. (2011). "A new algorithm for solving the inventory-routing problem with direct shipping". *Journal of Production and Operations Management*, 2(1): 1-28.
- Mirzaei, S., and Seifi, A. (2015). "Considering lost sale in inventory routing problems for perishable goods". *Computers and Industrial Engineering*, 87: 213-227.
- Nadal-Roig, E., and Plà-Aragónés, L.M. (2015). "Optimal Transport Planning for the Supply to a Fruit Logistic Centre". *Handbook of Operations Research in Agriculture and the Agri-Food Industry*. New York, NY: Springer. 163–177.
- Nahmias, S. (1981). "Managing reparable item inventory systems: a review, in Multilevel Production/ Inventory Control Systems: Theory and Practice, edited by L. Schwarz". *TIMS Studies in the Management Sciences*, North Holland, 16(4): 253–277.
- Nahmias, S. (1982). "Perishable Inventory Theory: A Review. The University of Santa Clara". *California*, 1(2): 87-113.
- Nambirajan, R., Mendoza, A., and Pazhani, S. (2020). "CAR: heuristics for the inventory routing problem". *Wireless Network*, 26: 5783-5808. <http://doi.org/10.1007/s11276-020-02259-6>.
- Nikzad, E., Bashiri, M., and Oliveira, F. (2019). "Two-stage stochastic programming approach for the medical drug inventory routing problem under uncertainty". *Computer and Industrial Engineering*, 128: 358-370.
- Philip, G.C. (1974). "A generalized EOQ model for items with Weibull distribution deterioration". *AIIE Transportation*, 6: 159-162.
- Qiu, Y., Qiao, J., and Pardalos, P.M. (2018). "Optimal production, replenishment, delivery, routing and inventory management policies for products with perishable inventory", *Omega*, 82: 193-202. doi: 10.1016/j.omega.2018.01.006.
- Rahimi, M., Baboli, A., and Rekik, Y. (2017). "Multi-objective inventory routing problem: A stochastic model to consider profit, service level and green criteria". *Transportation Research Part E*, 101: 59–83.
- Rani, S., Ali, R., and Agarwal, A. (2020), "Inventory Model for Deteriorating Items in Green Supply Chain with Credit Period Dependent Demand". *International Journal of Applied Engineering Research*, 15(2): 157-172
- Roldan, R.F., Basagoitia, R., and Coelhoc, L.C. (2017). "A survey on the inventory-routing problem with stochastic lead times and demands". *Journal of Applied Logic*, 24(2): 15–24.
- Salmabadi, N., and Beheshtinia, M.A. (2020). "Multi-objective mathematical model for the two-stage production-inventory-routing problem of pharmaceutical products". *Transportation Engineering Quarterly*, 11(4): 793-818 (in Persian).
- Samizadeh, R., and Baharvand, Z. (2017). "Clustering Model for Production Routing, Distribution and Inventory of PIDRP". *10th International Conference of Iran Operations Research Association, Babolsar, Iranian Operations Research Association*, [https://www.civilica.com/Paper-ICIORS10-ICIORS10\\_162.html](https://www.civilica.com/Paper-ICIORS10-ICIORS10_162.html) (in Persian).
- Savelsbergh, M.W.P., and Song, J.H. (2008). "An optimization algorithm for the inventory routing problem with continuous moves". *Computers and Operations Research*, 35(7): 2266-2282
- Shahin, A., Arab Yar Mohammadi, M., and Shahin, A. (2017). "Evaluation of factors influencing performance of world class supply chains using structural equation modelling – with a case study in the food industry". *International Journal of Procurement Management*, 10(4): 514–523.

- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Haijema, R., and Van der Vorst, J. (2018). "Modeling a green inventory routing problem for perishable products with horizontal collaboration". *Computers and Operations Research*, 89(5): 168-182.
- Soysal, M., Bloemhof-Ruwaard, J.M., Haijema, R., and Van der Vorst, J. (2015). "Modeling an inventory routing problem for perishable products with environmental considerations and demand uncertainty". *International Journal Production Economics*, 168: 118-133.
- Su, Z., Lü, Z., Wang, Z., Qi, Y., and Benlic, U. (2020). "A Matheuristic Algorithm for the Inventory Routing Problem". [\*Transportation Science\*, 54\(2\): 330-354.](#)
- Zipkin, P., Federgruen, A., and Prastacos, G. (1986). "An allocation and distribution model for perishable products". *Operations Research*, 34: 75-82.

- 
- <sup>1</sup>. Rani, Ali and Agarwal
  - <sup>2</sup>. Gharehyakheh et al.
  - <sup>3</sup>. Soysal et al.
  - <sup>4</sup>. Vertical Collaboration
  - <sup>5</sup>. Horizontal Collaboration
  - <sup>6</sup>. Barratt
  - <sup>7</sup>. Centralized
  - <sup>8</sup>. Andersson et al.
  - <sup>9</sup>. Ankersmit et al.
  - <sup>10</sup>. Inventory Routing Problem
  - <sup>11</sup>. Soysal et al.
  - <sup>12</sup>. Jemai et al.
  - <sup>13</sup>. Vendor Management Inventory
  - <sup>14</sup>. Coelho and Laporte
  - <sup>15</sup>. Decentralized
  - <sup>16</sup>. Derman and Klein
  - <sup>17</sup>. First in, first out
  - <sup>18</sup>. Last in, first out
  - <sup>19</sup>. Ghare and Schrader
  - <sup>20</sup>. Philip
  - <sup>21</sup>. Nahmias
  - <sup>22</sup>. Lian and Liu
  - <sup>23</sup>. Bell et al.
  - <sup>24</sup>. Zipkin
  - <sup>25</sup>. Huang and Lin
  - <sup>26</sup>. Particle Swarm Optimization
  - <sup>27</sup>. Liu and Lee
  - <sup>28</sup>. Variable Neighborhood Search
  - <sup>29</sup>. Tabu Search
  - <sup>30</sup>. Genetic algorithm
  - <sup>31</sup>. Kolho and Laporte
  - <sup>32</sup>. branch-and-cut
  - <sup>33</sup>. Simulated Annealing
  - <sup>34</sup>. Archetti
  - <sup>35</sup>. Multivehicle Inventory Routing Problem
  - <sup>36</sup>. Soysal et al.
  - <sup>37</sup>. Guimaraes et al.
  - <sup>38</sup>. Nikzad et al.
  - <sup>39</sup>. Su et al.
  - <sup>40</sup>. Nambirajan et al.
  - <sup>41</sup>. Zhuo et al.
  - <sup>42</sup>. Zhuo Dai, Kuo Gao, B.C. Giri
  - <sup>43</sup>. Ball
  - <sup>44</sup>. Baita et al.
  - <sup>45</sup>. Kleywegt et al.
  - <sup>46</sup>. Campbell and Savelsbergh

- <sup>47</sup>. Roldan et al.
- <sup>48</sup>. Qiu, Qiao and Pardalos
- <sup>49</sup>. Chan et al.
- <sup>50</sup>. Chekoubi et al.
- <sup>51</sup>. Lambert
- <sup>52</sup>. Nadal-Roig, E., Plà-Aragonés
- <sup>53</sup>. Malindretos, Moschuris and Folinasj
- <sup>54</sup>. Lei et al.
- <sup>55</sup>. Boudia et al.
- <sup>56</sup>. Savelsbergh and song
- <sup>57</sup>. Bard and Nananukul
- <sup>58</sup>. Archetti et al.
- <sup>59</sup>. Adulyasak et al.
- <sup>60</sup>. Absi et al.
- <sup>61</sup>. Demir, Bektas, Laporte
- <sup>62</sup>. rolling resistance