Journal of 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.ghandehari@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.

* Corresponding author

2423-6950 / © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

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 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

(مقالهٔ پژوهشی)

توسعهٔ یک مدل تولید - موجودی - مسیریابی با لحاظ‌کردن سیاست تخفیف و مسائل زیست‌محیطی برای یک دسته از اقلام زوال‌پذیر در یک زنجیرهٔ تأمین سبز

مریم دژطاهریان[۱]، مهسا قندهاری[*۲]، سعیده کتابی[۳]

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، ارائهٔ هم‌زمان مدل تولید - موجودی و مسیریابی یک دسته از اقلام زوال‌پذیر در یک زنجیره تأمین سبز با در نظر گرفتن کلیهٔ هزینه‌های سیستم تولید و توزیع و راه‌اندازی و مسیریابی و حمل‌ونقل با توجه به آثار زیست‌محیطی است. محصول مد نظر در گذر زمان، کیفیت و مرغوبیت خود را از دست می‌دهد و درصدی از محصول در هر دوره دورریز می‌شود. همسو با یکپارچه‌سازی سیاست‌های زنجیره تأمین، تابع هدف به‌صورت حداکثرسازی سود تولیدکنندگان و عمده‌فروشان در یک همکاری افقی تعریف شده است. مدل ریاضی ارائه‌شده به‌صورت یک برنامه‌ریزی خطی مختلط (*MILP*) است. مدل در حالت چندمحصولی با عمر محدود و در نظر گرفتن سیاست تخفیف برای تولیدکنندگان و عمده‌فروشان ارائه شد. در این پژوهش، سه مسئلهٔ نمونه در ابعاد مختلف شکل گرفت. نتایج حل با استفاده از نرم‌افزار OPLILOG آورده شد. مسئله در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز مدل‌سازی و حل شد. تحلیل حساسیت نیز روی پارامتر تقاضای عمده‌فروشان و هزینه‌های نگهداری بررسی شد. از نتایج حاصل به افزایش سود سیستم در حالت متمرکز نسبت به حالت غیرمتمرکز می‌توان اشاره کرد.

واژه‌های کلیدی: مسئلهٔ تولید – موجودی - مسیریابی، اقلام زوال‌پذیر، سیستم‌های متمرکز و غیرمتمرکز، همکاری افقی، زنجیره تأمین سبز

* نویسنده مسئول

2423-6950 / © 2021 The Authors. Published by University of Isfahan
This is an open access article under the CC-BY-NC-ND 4.0 License (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

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 توسعهٔ 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 توسعهٔ یکپارچگی در این زنجیره‌ها به افزایش زیاد سود، کاهش دورریز و درنهایت، سطح بالاتری از برآوردن تقاضای بازار منجر می‌شود. به‌طور کلی، محصولات کشاورزی ازجمله اقلامی است که بیشتر در دستهٔ 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، پدیدهٔ شایعی است که دستهٔ بزرگی از اقلام را دربرمی‌گیرد (رانی، علی و آگاروال[۱]، ۲۰۲۰)؛ بنابراین، فرایند تولید و توزیع این محصولات در زنجیره تأمین یک کالای زوال‌پذیر، اهمیت زیادی دارد. نرخ زوال این محصولات در مرحلهٔ 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[۲]، 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[۳]، ۲۰۱۸). به‌طور خلاصه، همکاری عمودی[۴] به‌صورت همکاری با مشتریان، بخش‌های داخلی و با تأمین‌کنندگان و همکاری افقی[۵] به‌صورت همکاری با رقبا، بخش‌های داخلی و غیررقبا تعریف می‌شود. نمونه‌ای از همکاری افقی، اشتراک‌گذاری ظرفیت تولید است (بارات[۶]، ۲۰۰۴). همکاری عمودی و افقی به ما توانایی می‌دهد سیستم متمرکزی[۷] داشته باشیم (اندرسون و همکاران[۸]، 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 دربارهٔ پایداری به چالش کشیده شده است (آنکراسمیت رو همکاران[۹]، ۲۰۱۴). یکی از مسائلی که در مرور مبانی نظری، همکاری افقی و عمودی را بررسی کرده است، نوعی از مسائل مسیریابی موجودی (IRP[۱۰]) است که در آن، چندین تأمین‌کننده و چندین مشتری وجود دارد (سویسال و همکاران[۱۱]، ۲۰۱۸).

IRP به هماهنگی مدیریت موجودی کالا و مسیریابی وسایل نقلیه در یک زنجیره تأمین اشاره می‌کند (جیمای و همکاران[۱۲]، ۲۰۱۳). مسئلهٔ 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[۱۳]) 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[۱۴]،۲۰۱۴).

این پژوهش، بخشی از زنجیره تأمین دوسطحی، شامل تولیدکنندگان و عمده‌فروشان (بنکداران) را در زنجیره تولید و عرضهٔ دسته‌ای از محصولات کشاورزی بررسی می‌کند. مرحلهٔ تولید، شامل مراحل آماده‌سازی تا برداشت است. انتقال محصولات از مراکز تولیدکنندگان به بنکدارها با استفاده از وسیلهٔ نقلیه یخچال‌دار و یا بدون یخچال انجام می‌شود که انتخاب وسایل نقلیه با توجه به میزان قابل عرضه و مسافت است و بر هزینهٔ 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، مسئلهٔ 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 عرضهٔ 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[۱۵]، نتایج حل این دو مدل نیز مقایسه شده است.

در بخش بعدی، پیشینهٔ 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 دربارهٔ مدل‌سازی مسئله است که در آن، صورت مسئلهٔ 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 محدودیت ها 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 پیشینهٔ پژوهش

۱-۱-۱ مدل‌سازی ریاضی اقلام زوال‌پذیر

اولین پژوهش مرتبط با موجودی اقلام زوال‌پذیر در سال ۱۹۵۸ را درمن و کلین[۱۶] 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[۱۷] و آخرین وارده از اولین صادره ((LIFO[۱۸] تشریح و بررسی شد.

قاره و اشرادر[۱۹] (۱۹۶۳)، مدل پایهٔ 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 به‌صورت تابعی از چرخهٔ عمر موجودی و با استفاده از تقریب تابع نمایی به‌صورت سه‌جمله‌ای

بسط تیلور به دست آوردند. فیلیپ[۲۰] (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 تحدب تابع هدف، با استفاده از ساده‌سازی ریاضی و روش دقیق به حل مدل و یافتن جواب بهینه توجه کرد. نهمیاس[۲۱] در سال ۱۹۸۲، نظریهٔ موجودی فاسدشدنی را به‌صورت مطالعهٔ 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 حوزهٔ مسائل مدیریت موجودی محصولات فسادپذیر، پژوهش‌های نهمیاس (۱۹۸۱)، نهمیاس (۱۹۸۲) و لیان و لئو[۲۲] (۲۰۰۱) ازجمله مقالات مروری مطالعه‌شده است.

۱-۱-۲ مسئلهٔ موجودی- مسیریابی

آشکار است که هزینه‌های درگیر در تخصیص سفارش‌ها به وسایل حمل‌ونقل و مسیریابی آنها با سیاست‌های موجودی و بازپرسازی خرده‌فروشان مرتبط است. مسئلهٔ 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[۲۳] (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[۲۴] و همکاران در سال ۱۹۸۶، مسئلهٔ مسیریابی موجودی را برای کالاهای فاسدشدنی در افق زمانی محدود با هدف به دست آوردن برنامهٔ توزیع بهینه مطالعه کردند (زیپکین و همکاران، ۱۹۸۶). کلیوگت و همکاران (۲۰۰۲)، مسئلهٔ 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[۲۵] (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 مسئلهٔ 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[۲۶]) برای حل مسئله پیشنهاد شد. لئو و لی[۲۷] (۲۰۱۱)، مدلی ریاضی برای مسئلهٔ موجودی مسیریابی با پنجره‌های زمانی پیشنهاد کردند. آنها با استفاده از الگوریتم جست‌وجوی همسایگی متغیر[۲۸] (VNS) و جست‌وجوی ممنوع[۲۹] (TS)، الگوریتمی دومرحله‌ای ارائه کردند. در پژوهش دیگری، مسئلهٔ موجودی مسیریابی در حالت تک‌محصول با محدودیت عرضه ارائه شد. هزینهٔ کمبود پس‌افت در این مدل قابل مشاهده و تابع هدف مسئله به دنبال حداکثرسازی سود بود و برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک[۳۰] (GA) استفاده شد (اهری‌پور، ۲۰۱۳). کلهو و لاپورته[۳۱] (۲۰۱۳) از الگوریتم شاخه و کران[۳۲] 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 ازدست‌رفته بررسی کردند. برای حل مسئله، از دو الگوریتم فراابتکاری شبیه‌سازی تبرید[۳۳] (SA) و جست‌وجوی ممنوع (TS) استفاده شد. رحیمی و همکاران (۲۰۱۷)، مدل ریاضی چندهدفه‌ای را برای مسئلهٔ 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[۳۴] (۲۰۱۵)، الگوریتمی فراابتکاری برای مسئلهٔ MIRP[۳۵] ارائه کردند. آنها دو مدل دقیق ارائه‌شده 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)، مسئلهٔ مسیریابی وسیلهٔ نقلیه، تحویل و مدیریت موجودی ادغام شد. در مسئلهٔ آنها فرض شده است یک کالا در چندین مبدأ در دسترس است و در چندین مقصد تقاضا دارد. زمان به‌صورت گسسته است و حمل‌ونقل با یک وسیلهٔ نقلیه انجام می‌شود. درنهایت، مسئله با الگوریتم شاخه و کران حل شد. سویسال و همکارانش[۳۶] 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 مقایسهٔ خروجی‌های مدل استفاده شد. در مقالهٔ 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، هزینهٔ 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[۳۷] (۲۰۱۹)، مدلی برای مسئلهٔ IRP در افق برنامه‌ریزی محدود ارائه شد. الگوریتم استفاده‌شده در این پژوهش، دو الگوریتم دقیق و ابتکاری است. در پژوهش دیگری، مسئلهٔ 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[۳۸]، ۲۰۱۹). در پژوهش دیگری نیز مدل برای مسئلهٔ 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[۳۹]، ۲۰۲۰). نامبراجان و همکاران[۴۰] (۲۰۲۰) نیز مدلی برای مسئلهٔ 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[۴۱]، ۲۰۲۰). دای، گااو و گیری (۲۰۲۰)، سیاست ثابت بازپرسازی و مسیریابی وسایل نقلیه را با در نظر گرفتن هزینهٔ زیان ناشی از فساد محصولات فاسدشدنی و تقاضای وابسته به قیمت و موجودی تعیین کردند. آنها درنهایت، برای حل مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط پیشنهادی، یک الگوریتم اکتشافی ترکیبی توسعه دادند (دای، گااو و گیری[۴۲]،۲۰۲۰). علاوه بر موارد مذکور، مقالات مروری بسیاری نیز دربارهٔ مسئلهٔ IRP وجود دارد که برای نمونه به مقالات بال و همکاران[۴۳] (۱۹۹۵)، بایتا و همکاران[۴۴] (۱۹۹۸)، کلیوگت و همکاران[۴۵] (۲۰۰۴)، کامپبل و سویلسبرگ[۴۶] (۲۰۰۴) و رولدان و همکاران[۴۷] (۲۰۱۷) می‌توان اشاره کرد.

۱-۱-۳ مسئلهٔ تولید- موجودی- مسیریابی

مسئلهٔ تولید- مسیریابی- موجودی، تعمیمی از مسئلهٔ مسیریابی موجودی است. تاکنون، پژوهش‌های بسیاری دربارهٔ مسئله مسیریابی موجودی انجام شده است؛ اما به‌علت پیچیدگی مسئلهٔ 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، ارائهٔ یک مدل ریاضی عدد صحیح مختلط است که لی و همکاران (۲۰۰۶) ارائه دادند. در این پژوهش، ارتباط یک تولیدکنندهٔ 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 بهینهٔ 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 هزینهٔ نگهداری مواد اولیه و نهایی، سفارش، کمبود به‌صورت پس‌افت و فروش ازدست‌رفته 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، نظریهٔ مجموعه‌های فازی به کار رفت. مدل ارائه‌شده با استفاده از روش ترکیبی زنبورعسل، پارتو و ویکور حل شد (جعفری اسکندری، ابراهیمی و ملایی، ۱۳۹۷). در مقالهٔ دیگری، خوشه‌بندی مسئلهٔ تولیدموجودی و مسیریابی انجام شده است. مسئلهٔ 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. ازجمله نوآوری‌های این پژوهش، مؤثربودن هزینه‌های مربوط به مشتری و حمل‌ونقل و هزینه‌های تولیدی روی خوشه‌بندی است و مقدار فضای خالی برای وسیلهٔ 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 مرورشده است. در این پژوهش، انبارهای میانی در نظر گرفته شده و نرخ فساد در انبار و یا در زمان توزیع به‌وسیلهٔ خبرگان به دست آمده است. مدل غیرخطی ارائه‌شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک رتبه‌ای حل شده است (احمدی دهرشید و عبدالله‌زاده مقدم، ۱۳۹۸). مسئلهٔ تولید- موجودی- مسیریابی دومرحله‌ای محصولات دارویی از دیگر پژوهش‌های مربوط به موضوع پژوهش حاضر است. در این پژوهش، مسئلهٔ 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 فناور استفاده شد (سلم‌آبادی و بهشتی‌نیا، ۱۳۹۹). مدل تولید مسیریابی موجودی دیگری در سال ۲۰۱۸ ارائه شد. در این پژوهش، موجودی فاسدشدنی، مطرح و تصمیمات یکپارچهٔ بهینهٔ زمانی تجزیه‌وتحلیل شد؛ بنابراین، پژوهشگران برای تحویل و فروش محصولات با دوره‌های مختلف تولید، سیاست‌های اصلی مدیریت موجودی را بررسی و مسئلهٔ مد نظر را براساس داده‌های واقعی نیز با بهره‌گیری از الگوریتم دقیق شاخه و برش حل کردند (کیو، کیااو و پاردالس[۴۸]، ۲۰۱۸). در مقالهٔ دیگری، مدل MILP مرتبط با مسئلهٔ تولید مسیریابی موجودی، مبتنی بر بهینه‌سازی ازدحام ذرات به‌صورت چندهدفه ارائه شد. عملیات لجستیک مواد غذایی فاسدشدنی کارآمد با در نظر گرفتن شاخص کیفیت در حالت تک‌محصولی بررسی شد. ناوگان حمل این مدل به‌صورت همگن بود و به بعد زیست‌محیطی پایداری توجه شد (چان و همکاران[۴۹]، ۲۰۲۰). در مقالهٔ دیگری، مسئلهٔ 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 تک‌محصولی در برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی مختلط به کار رفت. مدل پیشنهادی این مقاله، تصمیم‌گیری و تنظیمات تولید را برنامه‌ریزی می‌کند (همتی گلسفیدی و اکبری جوکار، ۲۰۲۰). یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته با گزینه‌های بازسازی در سال ۲۰۲۰ بررسی شد. هدف این مقاله، کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای کربن در تصمیم‌گیری‌های مربوط به تولید، بازسازی، موجودی کالا و مسیریابی بود. در این مقاله با در نظر گرفتن تولید مجدد در سطح تولید– موجودی و تحویل هم‌زمان در سطح مسیریابی وسایل نقلیه و ناوگان همگن، یک مدل MILP برای مسئلهٔ یکپارچهٔ تولید– موجودی– مسیریابی با تدارکات معکوس ارائه شد. با ایجاد مسائل تصادفی، چندین آزمایش محاسباتی برای حل مدل پیشنهادی انجام شد (چکبی و همکاران[۵۰]، ۲۰۲۰).

در زمینهٔ زنجیره تأمین محصولات کشاورزی، پژوهش‌هایی انجام شده است که از آن جمله به پژوهش‌های ذیل می‌توان اشاره کرد:

- مطالعه و بررسی زنجیره تأمین لیموترش که در آن، کیفیت محصولات باغ میوه پیش‌بینی شد (لامبرت[۵۱] و همکاران، ۲۰۱۴)؛
- توسعهٔ مدل برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی حمل‌ونقل روزانهٔ میوه از انبارها به شرکت‌های فرآوری، با هدف کمینه‌سازی هزینهٔ حمل‌ونقل (نادال رویک و پلاآرگونس[۵۲]، ۲۰۱۵) و
- مطالعهٔ زنجیره تأمین و لجستیک گل شاخه بریده با مطالعهٔ موردی در یونان (مالیندروتوس، موسچوریسو فولیناس[۵۳]، ۲۰۱۵).

جدول ۱– مروری بر پیشینهٔ گزیده‌ای از پژوهش‌های پیرامون مسئلهٔ تولید–موجودی– مسیریابی

پژوهشگران و سال	افق برنامه‌ریزی	تقاضا		مسیر			موجودی		ناوگان حمل		سیاست بازپرسازی	چندمحصولی	حل مدل و مقایسهٔ سیستم در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز	عمر محدود	سیاست تخفیف	ملاحظات زیست‌محیطی
	محدود	قطعی	احتمالی	مستقیم	چندتایی	پیوسته	ثابت	پس‌افت	همگن	ناهمگن						
ی و همکاران (۲۰۰۶)[۵۴]	*	*		*			*			*						
بودیا و همکاران (۲۰۰۷)[۵۵]	*	*		*			*		*							
ساولسبرگ و سونگ (۲۰۰۸)[۵۶]	*	*			*		*		*							
بارد و نانانکول (۲۰۰۹)[۵۷]	*	*			*		*		*							
بارد و نانانکول (۲۰۱۰)	*	*			*		*		*							
آرچیتی و همکاران (۲۰۱۱)[۵۸]	*	*			*		*		*							
آدولیاساک و همکاران (۲۰۱۴)[۵۹]	*		*		*		*		*							

پژوهشگران و سال	افق برنامه‌ریزی	تقاضا		مسیر			موجودی		ناوگان حمل		سیاست بازپرسازی	چندمحصولی	حل مدل و مقایسهٔ سیستم در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز	عمر محدود	سیاست تخفیف	ملاحظات زیست‌محیطی
	محدود	قطعی	احتمالی	مستقیم	پیوسته	چندتایی	ثابت	پس‌افت	همگن	ناهمگن						
ابسی و همکاران (۲۰۱۴)[۶۰]	*	*				*	*		*							
جعفری اسکندری، ابراهیمی و ملایی (۱۳۹۷)	*		*			*		*	*							
سمیع‌زاده و بهاروند (۱۳۹۷)	*	*				*	*									
احمدی دهرشید و عبداله‌زاده مقدم (۱۳۹۸)	*	*				*	*		*					*		
سلم‌آبادی و بهشتی‌نیا (۱۳۹۹)	*		*			*	*		*			*		*		*
پژوهش حاضر	*	*				*	*			*	*	*	*	*	*	*

فروش روزانهٔ تولیدکنندگان و عمده‌فروشان و درآمد حاصل از تخفیف و هزینه‌های سیستم، ازجمله هزینهٔ راه‌اندازی سیستم تولید، هزینه‌های نگهداری، خرید، سفارش، ارسال و مسیریابی، دستمزد رانندگان، سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی تحقق می‌یابد. با توجه به این مسئله، در این پژوهش به بعد محیطی (به‌صورت ملموس) و بعد اقتصادی (با در نظر گرفتن کاهش هزینه‌های سیستم و رشد و حفظ کسب‌وکار به‌صورت ناملموس) در حوزهٔ توسعهٔ پایدار نیز توجه شده است. همانگونه که مطرح شد، در این پژوهش، دسته‌ای از اقلام زوال‌پذیر مد نظر قرار گرفته است که عمر محدود دارد. ازجملهٔ این اقلام به محصولات کشاورزی همچون سبزیجات و صیفی‌جات و گل در انواع و رنگ‌های مختلف می‌توان اشاره کرد. از آنجا که این اقلام به‌صورت دسته‌ای و در انواع مختلف (با توجه به تقاضاهای متعدد) عرضه و توزیع می‌شود و مسافت‌ها و امکانات لازم برای حمل‌ونقل متفاوت است، در این پژوهش، ناوگان ناهمگن برای توزیع چندین محصول به کار می‌رود. در این پژوهش، ناوگان ناهمگن، دو دستهٔ یخچالی و غیریخچالی معرفی شده است. همچنین، دستهٔ اقلام زوال‌پذیر مد نظر، محدودیت عمر و کاهش کیفیت و مرغوبیت در گذر زمان دارد؛ بنابراین، استفاده از سیاست تخفیف در تولیدکنندگان و عمده‌فروشان به کاهش میزان دورریز و افزایش میزان درآمد متعاقب فروش حاصل از تخفیف منجر می‌شود. مورد دیگر، در نظر گرفتن سیاست بازپرسازی در دورهٔ مشخص است. ضرورت توجه به مسائل زیست‌محیطی باعث شد برای کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی، تابع هدفی در نظر گرفته شود تا به‌عنوان یکی از هزینه‌های توزیع برای کاهش هزینه‌های مرتبط با آن، بهینه‌سازی انجام شود. همچنین، دو سیستم متمرکز و غیرمتمرکز نیز مقایسه شده است؛ بنابراین، نوآوری این پژوهش نسبت به مرور مبانی نظری، آنچنانکه در جدول شمارهٔ ۱ نیز دیده شد، ترکیب موارد ذیل است:

- ✓ ارائهٔ مدل و بهینه‌سازی توأم مسئلهٔ تولید و موجودی و مسیریابی با ناوگان غیر همگن؛
- ✓ زوال‌پذیربودن محصولات با عمر محدود؛
- ✓ در نظر گرفتن سیاست بازپرسازی؛
- ✓ بررسی و مقایسهٔ دو سیستم متمرکز و غیرمتمرکز
- ✓ در نظر گرفتن سیاست تخفیف پس از سپری‌شدن زمان مشخص برای کاهش کیفیت و مرغوبیت اولیهٔ محصولات در تولیدکنندگان و بنکداران و
- ✓ در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی در زنجیره تأمین سبز با مینیمم‌سازی هزینهٔ سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی و سیستم متناسب راه‌اندازی‌شده توسط تولیدکنندگان برای حداقل‌سازی انتشار گاز CO_2.

درادامه، 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 مسئلهٔ 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 یکپارچهٔ 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.

درادامه، مفروضات دربارهٔ مدل مسئلهٔ تولید– موجودی– مسیریابی آورده می‌شود.

۲-۱ مفروضات

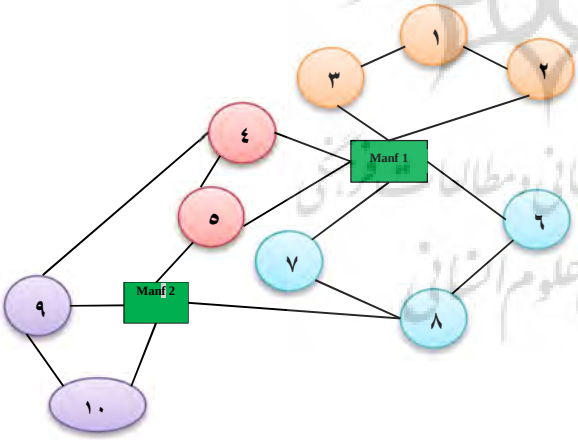
- افق برنامه‌ریزی، محدود است.
- چند تولیدکننده برای تولید محصولات و چند بنکدار به‌عنوان عمده‌فروشان در نظر گرفته شده است.
- میزان تولید و سطح تقاضا ثابت، قطعی و مشخص است.
- تولید به‌صورت چندمحصولی است و تمامی محصولات تولیدشده در مبدأ، بهترین کیفیت را دارند که با نرخ ثابتی کاهش می‌یابد. تخفیف قیمتی در 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.
- باقیماندهٔ آخر دوره با لحاظ‌کردن تخفیف، حراج و موجودی صفر می‌شود.

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

۳- روش‌شناسی پژوهش

۳-۱ مدل‌سازی مسئله

همانگونه که اشاره شد، مدل ریاضی ارائه‌شده در این پژوهش، به‌صورت برنامه‌ریزی خطی مختلط (*MILP*) است. در شکل شمارهٔ ۱، نمای کلی از یک زنجیرهٔ تأمین مرتبط با مسئلهٔ تولید- موجودی- مسیریابی نمایش داده شده است. وجود یک تولیدکننده و تعدادی عمده‌فروش و مشتریان نهایی، معرف ارتباطی به‌صورت همکاری عمودی است. با لحاظ‌کردن بیشتر از یک تولیدکننده و ارتباطات متقابل بین عمده‌فروشان و تولیدکنندگان، این ارتباط به‌صورت 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 به‌صورت 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 لحاظ‌کردن دو تولیدکننده و تعدادی عمده‌فروش، که با یکدیگر تعامل و همکاری متقابل دارند، در شکل شمارهٔ ۱ دیده می‌شود.



شکل ۱- نمای کلی مسئلهٔ پژوهش و ساختار شبکهٔ آن

برای ارائهٔ مدل مسئلهٔ PIRDI نمادها، پارامترها و متغیرهای مد نظر بیان می‌شود.

۳-۱-۱ نمادها (اندیس‌ها، مجموعه‌ها و پارامترها):

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

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

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

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

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

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

$\theta_W_{if\tau t}$: نرخ زوال هر عمده‌فروش (بنکدار) i در زمان t برای محصول نوع f که در زمان τ تولید شده

$h_M_{j\tau t}$: هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع f تولید شده در زمان τ توسط تولیدکننده j در دوره‌ی t برای تولیدکننده j

$h_W_{i\tau t}$: هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع f تولید شده در زمان τ توسط تولیدکننده j در دوره‌ی t برای عمده‌فروش i

C_{kij}: هزینه حمل‌ونقل با وسیله نقلیه k ، از i به j (کیلومتر)

$D^{o}_{fi\tau t}$: تقاضای عمده‌فروش i برای محصول نوع f در روز t در دوره بازپرسازی o که در τ تولید شده

Cv_k: ظرفیت وسیله نقلیه k

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

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

CN_{if}: حداکثر سطح موجودی عمده‌فروش 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

$salvage_m^{o}_{fj}$: قیمت فروش با تخفیف محصول نوع f در تولیدکننده j در دوره بازپرسازی o

φ_{fj}: نرخ هزینه مربوط به خاک، خاک‌برگ در هر مترمربع

ϕ_{fj}: نرخ کود و سموم در هر مترمربع

ψ_{fj}: نرخ هزینه سیستم گرمایشی و سرمایشی و سایر تجهیزات جهت راه‌اندازی در هر مترمربع

Ω_{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

$P_{fj\tau}^{o}$: نرخ تولید محصول نوع f در تولیدکننده j در واحد زمان(روز) در دوره تولید τ

d_{ij}: فواصل بین عمده‌فروشان و تولیدکنندگان

$price_m_{fj\tau t}$: قیمت محصول نوع f در تولیدکننده j در که در دوره τ تولید و در در دوره t به فروش رفته

$price_W_{fi\tau t}$: قیمت محصول نوع f در عمده‌فروش i در که در دوره τ 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 عمده فروش i انجام شود مساوی یک و در غیر اینصورت مساوی صفر.

$Q_{fit\tau}^{o}$: میزان سفارش برای محصول نوع f هر عمده‌فروش i در دوره‌ی t که در τ ایجادشده است.

$S_{fj\tau t}^{o}$: میزان فروش محصول نوع f در تولیدکننده j در روز t که در τ ایجادشده است در دوره بازپرسازی o

$I_{fj\tau t}^{o}$: میزان موجودی ابتدای دوره محصول نوع f که در τ ایجادشده است در روز t برای تولیدکننده j در دوره‌ی بازپرسازی o

$I'^{o}_{fj\tau t}$: میزان موجودی پایان دوره محصول نوع f در تولیدکننده j که در τ ایجادشد، در دوره بازپرسازی o

$IW_{fi\tau t}^{o}$: میزان موجودی ابتدای دوره محصول نوع f که در τ ایجادشده و در روز t به عمده‌فروش i فروش رفته در دوره‌ی بازپرسازی o

$IW'^{o}_{fi\tau t}$: میزان موجودی پایان دوره محصول نوع f که در τ ایجادشده است جهت فروش در روز t به عمده‌فروش i دوره بازپرسازی o

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

$r^{o}_{fji\tau t}$: میزان تحویل محصول نوع f در روز t از تولیدکننده j به بنکدار i که در τ ایجادشده است(تولید شده) در دوره بازپرسازی o

$salv_m^{o}_{fjt}$: میزان فروش با تخفیف محصول نوع f در تولیدکننده j در دوره بازپرسازی o

$salv_w^{o}_{fit}$: میزان فروش با تخفیف محصول نوع f در عمده‌فروش i در دوره بازپرسازی o

$C_Soil(j)$: هزینه خاک، خاک‌برگ 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 تولیدکنندهj

$C_FLB(j)$: هزینه ی پایه گل یا بذر هر تولید کننده j

TCM: کل هزینه تولیدکنندگان

TCW: هزینه کل عمده‌فروشان

TIM: کل درآمد تولیدکنندگان

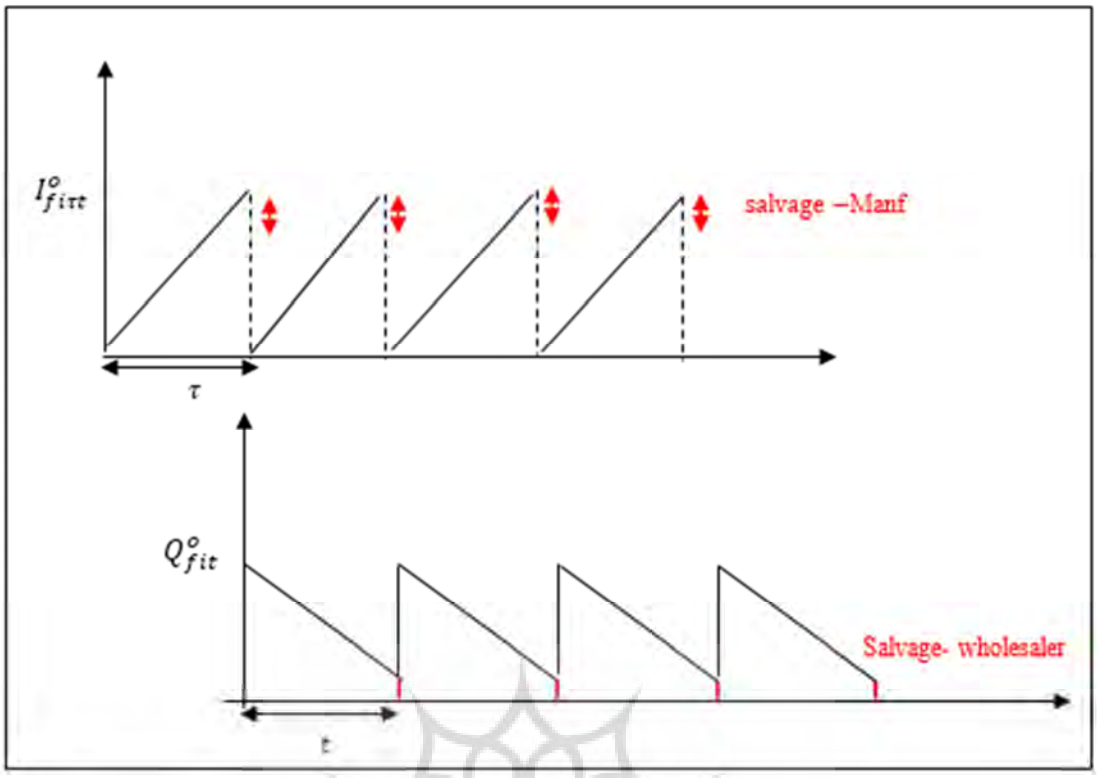
TIW: کل درآمد عمده‌فروشان

TP: کل سود سیستم تولید– موجودی– مسیریابی

۳-۱-۳ مدل برنامه‌ریزی ریاضی

زنجیره تأمین به‌صورت دوسطحی با در نظر گرفتن تولیدکنندگان و عمده‌فروشان (بنکدارها) است. مسئلهٔ تولید موجودی مسیریابی اقلام زوال‌پذیر (PIRDIP) به‌صورت یک گراف $G = (N, A)$ در نظر گرفته می‌شود. N شامل مجموعهٔ تولیدکنندگان (N_1) و مجموعهٔ عمده‌فروشان (N_2) است ($N = N_1 \cup N_2$). شکل شمارهٔ ۲، نمودار رفتار سطح موجودی را برای تولیدکننده و عمده‌فروش نشان می‌دهد. میزان سطح موجودی ابتدای دوره، که در دورهٔ τ در تولیدکنندهٔ j ایجاد شده است، با نماد $I^{o}_{fj\tau t}$ مشخص شده است. این میزان موجودی در زمان t به عمده‌فروش i براساس میزان سفارش Q^{o}_{fit} فرستاده می‌شود و به فروش می‌رسد. میزان محصولات تخفیف داده‌شده در انتهای هر دوره برای تولیدکننده (salvage-Manf) و عمده‌فروش (salvage-wholesaler) مشخص شده است.

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



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

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

$$C_Soil(j) = \sum_{f=1}^{F} a_{fj}.\varphi_{fj} \quad (۱)$$

$$C_F\&P(j) = \sum_{f=1}^{F} a_{fj}.\phi_{fj} \quad (۲)$$

$$C_HCS(j) = \sum_{f=1}^{F} a_{fj}.\psi_{fj} \quad (۳)$$

$$C_FLB(j) = \sum_{f=1}^{F} a_{fj}.\Omega_{fj} \quad (۴)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مدل ریاضی مسئلهٔ تولید– موجودی مسیریابی اقلام زوال‌پذیر (PIRDIP) به‌صورت ذیل است:

$$\begin{aligned}\text{Max}TP = (TIM - TCM) + (TIW - TCW) \\ = \left[\sum_{f}^{F}\sum_{j}^{N_1}\sum_{\tau}^{T}\sum_{t=\tau}^{\tau+M_f-1} S^{o}_{fj\tau t}.price_m_{fj} \right. \\ \left. + \sum_{o=1}^{n}\sum_{f=1}^{F}\sum_{j}^{N_1}\sum_{t}^{T} salv_m^{o}_{fjt}.salvage_m_{fj})\right] \\ - \left[\text{C_}Soil(j) + C_F\&P(j) + C_HCS(j) + C_FLB(j) \right. \\ + \sum_{f=1}^{F}\sum_{t=1}^{T}(a_{fj}.\big(C_Water(j,f) + C_Process(j,f) + C_Worker(j,f) \\ \left. + C_Energy(j,f)\big)) + \sum_{o=1}^{n}\sum_{f=1}^{F}\sum_{j=1}^{N_1}\sum_{\tau=1}^{M_f}\sum_{t=1}^{T} h_M_{fj\tau t}.{I'^{o}}_{fj\tau t}\right] \\ + \sum_{i}\left[\sum_{o=1}^{n}\sum_{f}^{F}\sum_{t}^{T} price_w_{fi}.({IW^{o}}_{fi\tau t} - {IW'^{o}}_{fi\tau t}) \right. \\ \left. + \sum_{\text{o}=1}^{\text{n}}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t}^{T} salv_w^{o}_{fit}.salvage_w_{fi}\right] - [\sum_{o=1}^{n}\sum_{i}^{N_2}\sum_{t}^{T} A_W^{o}_{it}.y_w_{it} \\ + (\sum_{o}^{n}\sum_{f}^{F}\sum_{i}^{N_2}\sum_{\tau}^{M'_f}\sum_{t}^{T} Q^{o}_{fi\tau t}.price_w_{fi}) \\ + (\sum_{o=1}^{n}\sum_{f=1}^{F}\sum_{i=1}^{N_2}\sum_{\tau=1}^{M'_f}\sum_{t=1}^{T} h_W_{fi\rho}.{IW'^{o}}_{fi\tau t})] - [\sum_{i,j}\sum_{k\in\mathcal{K}}(C_{kij}.x_{ijkt}) \\ + \sum_{i.j\in N}\sum_{K\in\mathcal{K}}\sum_{t\in\mathcal{T}}\lambda(y_Tec(d_{ij}/speed)x_{ijkt} + \gamma\beta C_{kij}speed^2 x_{ijkt} \\ + \gamma s_Tec(\mu x_{ijkt} + z_{ikt})d_{ij})l + \sum_{i.j\in N}\sum_{K\in\mathcal{K}}\sum_{t\in\mathcal{T}}(d_{ij}/speed)x_{ijkt}.r]\end{aligned} \tag{۵}$$

Subject to:

$$P^{o}_{fj\tau}.a_{fj} = I^{o}_{fj\tau\tau} \qquad \forall f,j,\tau \tag{۶}$$

$$I'^{o}_{fj\tau t} = I^{o}_{fj\tau t} - \sum_{i} r^{o}_{fi\tau t} \qquad \forall f,j,\tau,t \tag{۷}$$

$$I^{o}_{fj\tau t+1} = {I'^{o}}_{fj\tau t}(1-\theta_M_{jf\tau t}) \qquad If \quad t<\tau+M_f \quad ,\tau>0 \qquad \forall f,j,\tau,t \tag{۸}$$

$$salv_m^{o}_{fit} = \sum_{o=1}^{n} I^{o}_{fj(t-M_f)t} \qquad \forall f,j,t \tag{۹}$$

$$IW^{o}_{fi\tau t+1} = {IW'^{o}}_{fi\tau t}\big(1-\theta_W_{jf\tau t}\big) + Q_{fi\tau t+1} \quad If \quad t<\tau+M_f \ ,\tau>0 \qquad \forall f,i,\tau,t \tag{۱۰}$$

$$IW'^{o}_{fi\tau t} = IW^{o}_{fi\tau t} - Q^{o}_{fi\tau t} \qquad \forall f,i,\tau,t \qquad (۱۱)$$

$$salv_w^{o}_{fit} = \sum_{o=1}^{n} IW^{o}{}_{fi(t-M'_{fi})t} \qquad \forall f,i,t \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{i\in N_2} r^{o}_{fji\tau t} = S^{o}_{fj\tau t} \qquad \forall f,j,\tau,t \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j\in N_1} r^{o}_{fji\tau t} = Q^{o}_{fi\tau t} \qquad \forall f,i,\tau,t \qquad (۱۴)$$

$$Q^{o}_{fi\tau t} \le (Big_M) y_w_{it} \qquad \forall f,i,\tau,t \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{\tau} Q^{o}_{fi\tau t} \le D^{O}_{fi\tau t} \qquad \forall f,i,t \qquad (۱۶)$$

$$\sum_{\tau=0}^{t} r_{fji\tau t} = \sum_{k=1}^{K} v_{fjitk} \qquad \forall f,j,i,t \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{f}^{F} a_{fj} \le V_{fj} \qquad \forall\, j \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{j}\sum_{f}\sum_{\boldsymbol{i}} v_{fjikt} \le z_{ikt}\, Cv_k \qquad \forall k,t \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{\tau=t-M_f}^{t} I^{o}_{fj\tau t} \le CN_{fj} \qquad \forall f,j,t \qquad (۲۰)$$

$$\sum_{\tau=0}^{t} IW^{o}_{fi\tau t} \le CN_{fi} \qquad \forall f,i,t \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{\boldsymbol{j\neq i}} x_{jikt} = z_{ikt} \qquad \forall i,k,t \qquad (۲۲)$$

$$\sum_{\boldsymbol{i\neq j}} x_{ijkt} = \sum_{\boldsymbol{i\neq j}} x_{jikt} \qquad \forall j,k,t \qquad (۲۳)$$

$$u_{fitk} - u_{fjtk} + Cv_k x_{ijkt} \le Cv_k + \sum_{j'=1}^{N1} v_{fj'itk} \qquad \forall f,i,j,k,t \qquad (۲۴)$$

$$\sum_{j'=1}^{N1} v_{fj'ikt} \le u_{fikt} \le Cv_k \qquad \forall f,i,j,k,t \qquad (۲۵)$$

$$\sum_{j} r_{fji\tau t} \le Cv_k . e_{fi\tau t} \qquad \forall f,i,j,k,\tau,t \qquad (۲۶)$$

$$a_{fj}, I^{o}_{fi\tau t}, IW^{o}_{fi\tau t}, I'^{o}_{fi\tau t}, IW'^{o}_{fi\tau t}, D^{O}_{fi\tau t}, Q^{o}_{fi\tau t}, r^{o}_{fji\tau t}, v^{o}_{fjitk}, u_{fikt} \ge 0 \qquad \forall f,i,j,k,\tau,t \qquad (۲۷)$$

$$z_{ikt}, y_w_{it}, e_{fi\tau t}, x_{ijkt} \in \{0,1\} \qquad \forall f,i,j,k,t \qquad (۲۸)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳-۱-۴ تشریح تابع هدف و محدودیت‌های مدل

تابع هدف مدل به‌صورت حداکثرسازی سود تعریف شده است که دربردارندهٔ 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، دربردارندهٔ هزینه‌های راه‌اندازی، هزینه‌های متغیر تولید، هزینهٔ نگهداری برای تولیدکنندگان و هزینه‌های ثابت سفارش، هزینهٔ خرید، هزینهٔ نگهداری، هزینهٔ انتقال (حمل‌ونقل)، هزینهٔ سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی و هزینهٔ دستمزد رانندگان است.

فرض می‌کنیم دورهٔ تولید تولیدکننده با دورهٔ بازپرسازی بنکدار برابر است. تولیدکننده هر روز محصول برداشت می‌کند؛ اما عرضهٔ 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. ازآنجایی‌که 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 به‌صورت محدودیت (۸) برای تولیدکنندگان تعریف می‌شود. بر اساس محدودیت(۹) میزان فروش با تخفیف محصولات در تولیدکنندگان محاسبه می‌شود. میزان موجودی پایان دوره به‌صورت 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 $\boldsymbol{f}$ مساوی میزان فروش و همین‌طور میزان سفارش است(محدودیت (۱۳) و (۱۴)). بر اساس محدودیت (۱۵)، میزان سفارش محصول نوع $\boldsymbol{f}$ عمده‌فروش $\boldsymbol{i}$ در روز $\boldsymbol{t}$ و در دوره‌ی بازپرسازی $\boldsymbol{o}$ بایستی کوچکتر مساوی یک عدد بزرگ باشد(اگر سفارش انجام گیرد). از طرفی مطابق محدودیت (۱۶)، میزان سفارش برای محصول نوع $\boldsymbol{f}$ هر عمده‌فروش $\boldsymbol{i}$ در دوره‌ی $\boldsymbol{t}$ که در دوره‌های $\boldsymbol{\tau}$ ایجادشده است بایستی کوچک‌تر مساوی میزان تقاضا در دوره $\boldsymbol{t}$ باشد. بر اساس محدودیت (۱۷)، هر آنچه تحویل داده می‌شود توسط وسیله حمل‌ونقل(یخچالی، فاقد یخچال) حمل و بنکدار $\boldsymbol{i}$ 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) و (۲۴) است. محدودیت (۲۵) مرتبط با مقدار محصول حمل شده با وسیله نقلیه یخچالی و بدون یخچال مطابق ظرفیت تعیین شده است. محدودیت (۲۶) تحویل محصول در پریود $\boldsymbol{\tau}$ به بنکدار $\boldsymbol{i}$ (توسط وسیله نقلیه یخچالی و غیریخچالی) را مطابق ظرفیت محدود می‌کند. محدودیت (۲۷) و (۲۸) 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 مسئلهٔ نمونه ایجاد شود. در جدول شمارهٔ ۲، سه مسئلهٔ $P1$، $P2$ و $P3$ در ابعاد مختلف ایجاد شده است که براساس تعداد دوره‌های زمانی ($\mathcal{T}$)، تعداد عمده‌فروشان (N_2) و تعداد وسایل نقلیه (k) است.

جدول ۲- ابعاد مسائل نمونه

شمارهٔ مسئله	بعد مسئله ($\mathcal{T} \times N_2 \times k$)
$P1$	(۲×۲×۲)
$P2$	(۶×۴×۴)
$P3$	(۶×۶×۶)

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

جدول ۳- پارامترهای مسائل نمونه

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
$\theta_M_{jf\tau t}$: نرخ زوال هر تولیدکننده	۰/۲	r: نرخ دستمزد راننده	۵۰۰۰۰
$\theta_W_{jf\tau t}$: نرخ زوال هر عمده‌فروش	۰/۷	V_{jf}: ظرفیت تولید تولیدکننده	۴۰۰۰۰
h_M_{jtt}: هزینهٔ نگهداری تولیدکننده	۱۰۰۰	$salvage_m^o_{fj}$: قیمت با تخفیف در تولیدکننده	۳۰۰۰۰
h_W_{jtt}: هزینهٔ نگهداری عمده‌فروش	۱۰۰۰	φ_{fj}: نرخ هزینهٔ مربوط به خاک و خاک‌برگ	۱۲۰۰۰
C_{kij}: هزینهٔ حمل‌ونقل با وسیله نقلیه	[۴۰۰–۵۰۰]	ϕ_{fj}: نرخ کود و سموم در هر متر مربع	۱۰۰۰۰
D^o_{fit}: تقاضای عمده‌فروش i	۱۵۰	ψ_{fj}: نرخ هزینهٔ سیستم گرمایشی و سرمایشی	۱۷۰۰۰
Cv_k: ظرفیت وسیلهٔ نقلیه	۶۰۰	$C_Water(j)$: هزینهٔ آب هر تولیدکننده	۲۰۰۰۰۰
CN_{jf}: حداکثر سطح موجودی تولیدکننده	۲۰۰	$C_Process(j)$: هزینهٔ پردازش هر تولیدکننده	۳۰۰۰۰۰
CN_{if}: حداکثر سطح موجودی عمده‌فروش	۲۰۰	$C_Worker(j)$: هزینهٔ نیروی انسانی هر تولیدکننده	۲۰۰۰۰۰
A_W_i: هزینهٔ ثابت سفارش یک دورهٔ هر عمده‌فروش i	۱۰۰۰۰۰	$C_Energy(j)$: هزینهٔ انرژی مصرفی هر تولیدکننده	۵۰۰۰۰۰
$salvage_w^o_{fi}$: 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 مقالهٔ دمیر، بکتاس و لاپورته[۶۱] (۲۰۱۲) اقتباس شده است، نیز به‌صورت جدول شمارهٔ ۴ است.

جدول ۴- پارامترهای مؤثر در سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
(ϵ): نسبت وزن سوخت به هوا	۱	(ρ): چگالی هوا	(kg/m^3)۱/۲۰۴۱
(k): مقدار گرمایش سوخت دیزل	(KJ/g)۴۴	(μ): وزن کل خودرو با سوخت و تجهیزات	(kg)۶۳۵۰
(φ): عامل تبدیل گرم (g/s) به لیتر (/s)	(g/lit)۷۳۷	(C_r): مقاومت غلطشی[۶۲]	۰/۰۱
(k_e): ضریب اصطکاک موتور	۰/۲ (kj/rev/lit)	(ε): کارایی جلوبرندهٔ وسیلهٔ نقلیه	۰/۴
(N_e): سرعت موتور (rev/s)	(rev/s)۳۳	(V_e): جابه‌جایی موتور (l)	(lit)۵
$(\emptyset)$: زاویهٔ جاده	۰	(λ): پارامتر فنی	$\epsilon/k\varphi$
(A_e): ناحیهٔ سطحی روبرو	(m^2)۳/۹۱۲	(C_d): ضریب ایرودینامیکی کششی	۰/۷
(g): ثابت گرانش	(m/s^2)۹/۸۱	$(Speed)$: سرعت وسیلهٔ نقلیه	(km/h)۸۰
(ω): پارامتر کارایی برای موتورهای دیزل	۰/۹	(y_Tec): پارامتر فنی k_e: عامل اصطکاک موتور (kJ/rev/l)	$y = k_e * N_e * V_e$
(l): قیمت سوخت هر لیتر	(€)۱/۷	(γ): پارامتر فنی	$\gamma = 1/(1000 * \varepsilon * \omega)$
(s_Tec): پارامتر فنی	$s = g\ sin\emptyset + g\ C_r\ cos\emptyset$	(β): 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 پردازندهٔ Intel Core ™ i5-1.8GHz و حافظهٔ داخلی ۴ گیگابایت، برنامه‌نویسی و اجرا شده است. جدول شمارهٔ ۵، نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه‌شده در بخش‌های پیش را بر مسائل نمونه نشان می‌دهد. مطابق جدول شمارهٔ ۵، همانگونه که پیش‌بینی شد با افزایش ابعاد مسئله، تعداد محدودیت‌ها و تعداد متغیرها افزایش یافته است. تابع سود نیز با افزایش تعداد عمده‌فروشان، وسیلهٔ نقلیه و طول دورهٔ زمانی، افزایش یافته است. این موارد، روایی مدل را تأیید می‌کند.

جدول ۵- نتایج حاصل از حل مدل

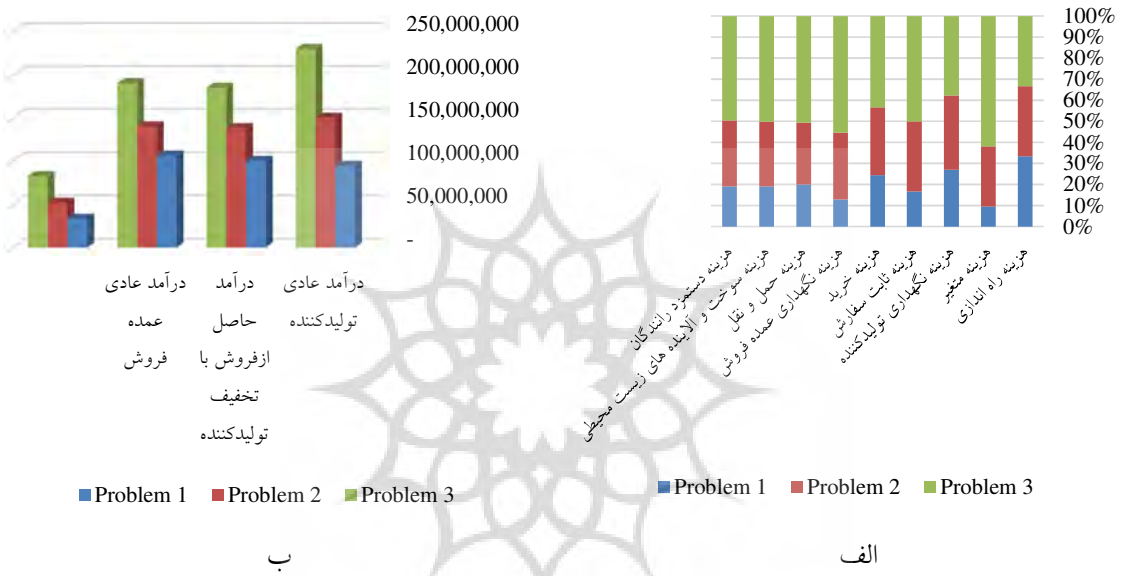
شمارهٔ مسئله	تابع سود (TP)	تعداد متغیر	تعداد محدودیت	خطا	زمان حل (ثانیه)
P1	۱۴۶۵۸۰۰۰۰	۲۵۱	۵۰۴	٪ ۰	۵
P2	۲۵۲۷۹۱۴۰۰	۳۲۹۱	۱۰۴۴۰	٪ ۰	۸
P3	۴۰۰۸۹۶۹۰۰	۵۴۹۹	۱۹۱۷۶	٪ ۰	۱۰

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

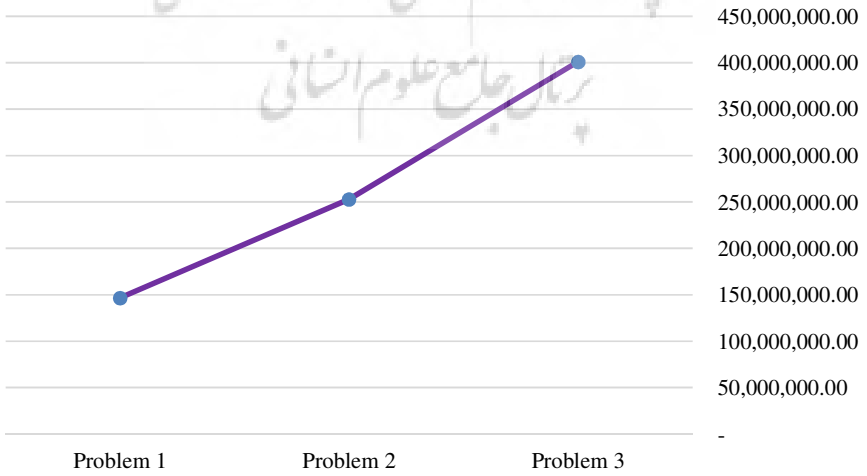
جدول ۶- درآمدها در سه مسئلهٔ نمونه

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

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



شکل ۳- مقایسهٔ درآمدها و هزینه‌ها در سه مسئلهٔ نمونه به تفکیک درآمدها و هزینه‌ها



شکل ۴- مقایسهٔ سود در سه مسئلهٔ نمونه

براساس شکل شمارهٔ ۴، سود حاصل در سه مسئلهٔ نمونه مقایسه شده است؛ بنابراین، روند صعودی سود با افزایش ابعاد مسئله (افزایش تعداد عمده‌فروشان، تعداد وسایل نقلیه و طول دورهٔ زمانی) مشاهده می‌شود.

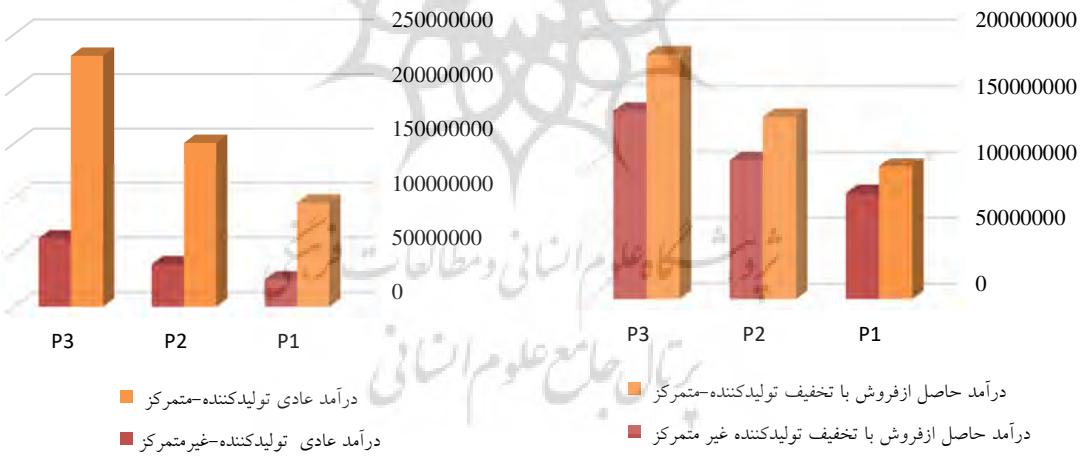
۴-۳ نتایج حل مدل در حالت غیرمتمرکز

در این بخش، نتایج حاصل از حل مدل در حالت غیرمتمرکز، گنجانده شده است. همانگونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، در حالت غیرمتمرکز، سیستم تولید و توزیع به‌صورت مجزا فعالیت می‌کند و همکاری یکپارچه دیده نمی‌شود. مطابق جدول شمارهٔ ۷، درآمدهای سیستم تولید و توزیع نمایش داده شده است.

جدول ۷- درآمدها در سه مسئلهٔ نمونه

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

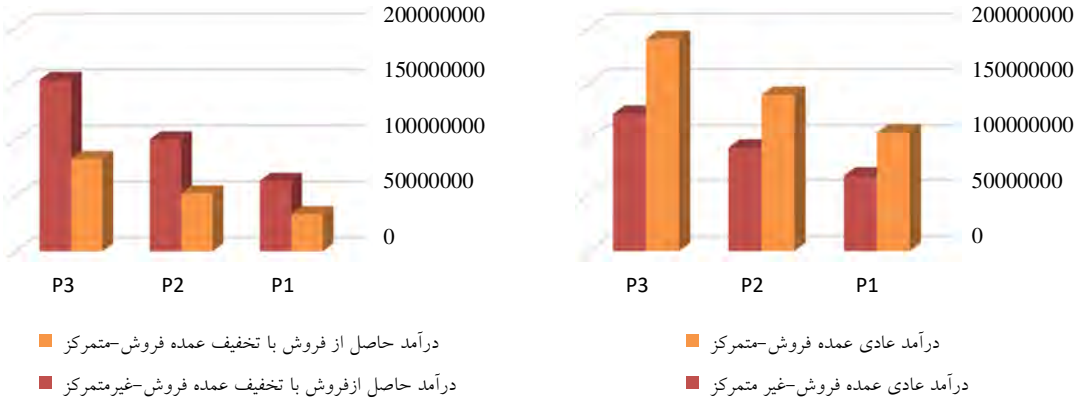
در شکل شمارهٔ ۵، درآمد تولیدکنندگان در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز مقایسه شده است. شکل الف، مقایسهٔ درآمد حاصل از فروش با تخفیف و شکل ب، مقایسهٔ درآمد عادی تولیدکنندگان را در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز نشان می‌دهد.



ب الف

شکل ۵- مقایسهٔ درآمد تولیدکنندگان در سیستم متمرکز و غیرمتمرکز

براساس آنچه در شکل شمارهٔ ۵ دیده می‌شود، 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 می‌کند. در شکل شمارهٔ ۶ نیز درآمدهای عمده‌فروشان مقایسه شده است.



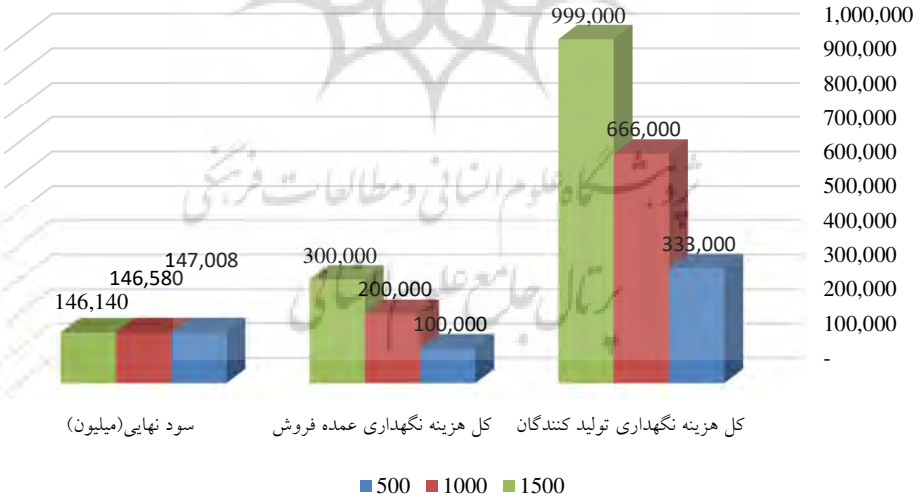
الف ب

شکل ۶- مقایسهٔ درآمد عمده‌فروشان سیستم متمرکز و غیرمتمرکز

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

۴-۴ تحلیل حساسیت

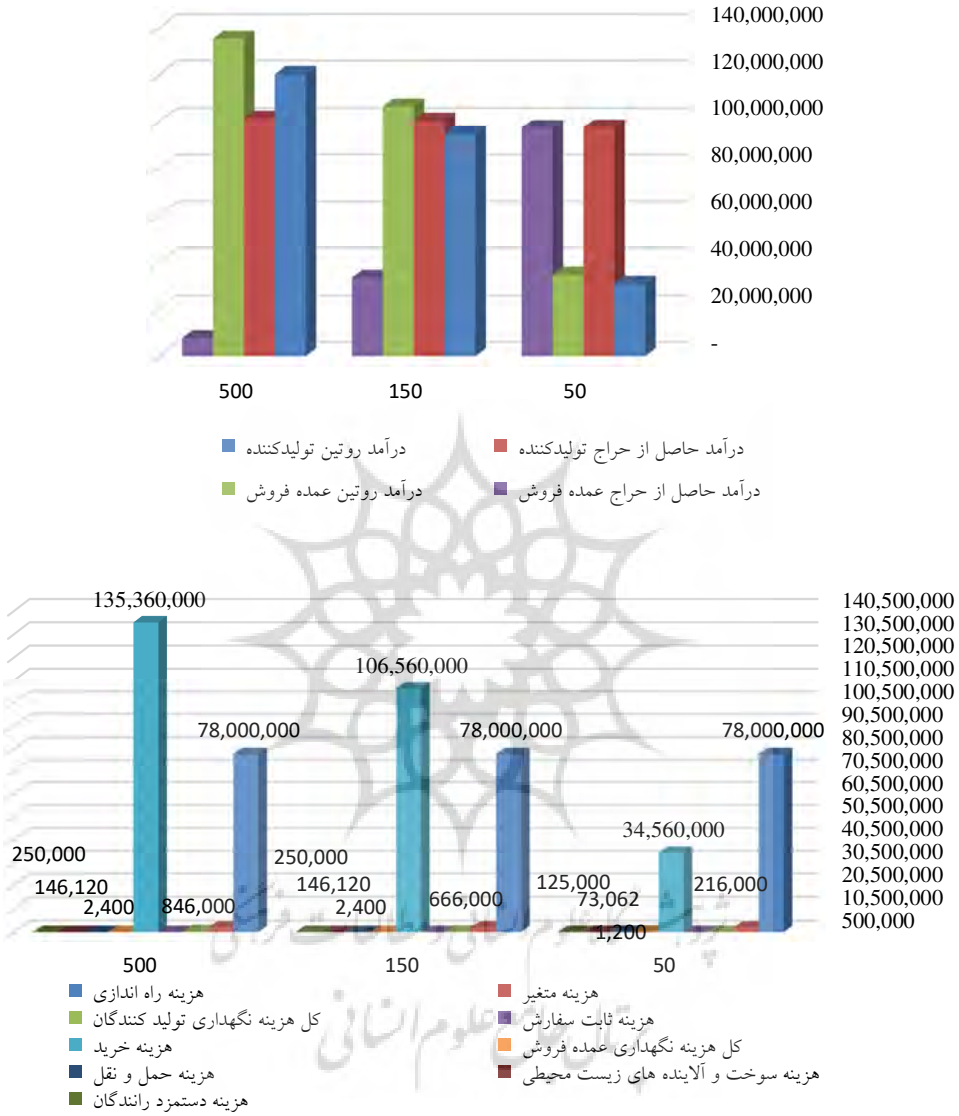
برای تحلیل حساسیت مدل، تغییرات نرخ هزینهٔ نگهداری و تقاضای عمده‌فروشان بررسی شده است. شکل شمارهٔ ۷، تأثیر تغییرات نرخ هزینهٔ نگهداری در تولیدکنندگان و عمده‌فروشان را در مسئلهٔ پایهٔ P1 نشان می‌دهد.



شکل ۷- تحلیل حساسیت روی نرخ هزینهٔ نگهداری

با در نظر گرفتن سه حالت کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب، با نرخ‌های عددی ۵۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۵۰۰ تغییرات مشاهده‌شده نمایش داده شده است. با افزایش نرخ هزینهٔ نگهداری در تولیدکننده و عمده‌فروشان، هزینهٔ نگهداری کل، افزایش و به‌تبع آن، سود نهایی کاهش یافته است.

شکل شمارهٔ ۸ برای تحلیل حساسیت میزان تقاضا در عمده‌فروشان طراحی شده است. میزان تقاضا نیز با سه حالت کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب، 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 عمده‌فروش، 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 عمده‌فروشان کاهش یافته است. همچنین، افزایش تقاضا به کاهش هزینه نگهداری در عمده‌فروش 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 به‌علت اهمیت مطالعهٔ 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، وسیلهٔ نقلیه و طول دورهٔ زمانی افزایش یافت که مؤید روایی مدل است.

با توجه به نتایج حل مدل و تحلیل حساسیت پارامترهای هزینهٔ 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. هزینهٔ خرید نیز با افزایش تقاضا افزایش یافته است. همچنین، هزینهٔ دستمزد رانندگان، هزینهٔ حمل‌ونقل و هزینهٔ سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی به‌علت 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 رابطهٔ 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 همهٔ موارد ذکرشده، مؤید روایی مدل نیز است. براساس مقایسهٔ 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، مسئلهٔ تولید- موجودی- مسیریابی اقلام زوال‌پذیر (PIRDI) در یک زنجیره تأمین دوسطحی بررسی شد. هزینه‌های مطرح‌شده، شامل هزینه‌های راه‌اندازی و تولید ثابت و متغیر و هزینهٔ 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 به‌صورت حداکثرسازی سود تعریف شده است. برای حل این مسئله از روش دقیق با

موتور حل CPLEX و نرم‌افزار Opl Ilog استفاده شده است. نتایج حاصل از حل مدل در دو حالت متمرکز و غیرمتمرکز بر افزایش درآمدها و کاهش هزینه‌های سیستم با ایجاد یکپارچگی در زنجیره تأمین تأکید دارد. تحلیل حساسیت بر دو پارامتر هزینهٔ نگهداری به تفکیک تولیدکنندگان و عمده‌فروشان و میزان تقاضای عمده‌فروشان انجام شد. نتایج مشخص کرد با افزایش نرخ هزینهٔ نگهداری، هزینهٔ نگهداری کل، افزایش و سود نهایی کاهش می‌یابد. همچنین، با افزایش تقاضای عمده‌فروشان، درآمد حاصل از فروش عادی و درآمد حاصل از فروش با تخفیف برای تولیدکنندگان و عمده‌فروشان و هزینهٔ خرید افزایش می‌یابد. با کاهش تقاضا، هزینهٔ حمل‌ونقل، سوخت و آلاینده‌های زیست‌محیطی و دستمزد رانندگان به‌علت کاهش فرایند توزیع، کاهش یافته است. افزایش تقاضا به افزایش نرخ تولید و سود نهایی منجر می‌شود؛ بنابراین، علاوه بر تأیید روایی مدل به کمک نتایج حاصل از حل مدل در ابعاد مختلف و تحلیل حساسیت انجام‌شده و تأیید پایایی مدل با ارائهٔ محدودیت‌های مرتبط با مسئله پژوهش و مقایسه‌های سیستم متمرکز و غیرمتمرکز، موارد ذکرشده برای ایجاد یکپارچگی در زنجیرهٔ تولید و دستیابی به حداکثر میزان سود در تولیدکنندگان و عمده‌فروشان و مشتریان نهایی به کار می‌رود. براساس آنچه در این پژوهش مطرح شد، رویکرد مدل توسعه‌یافته براساس مطالعات انجام‌شده دربارهٔ زنجیره تأمین دسته‌ای از اقلام زوال‌پذیر، همچون محصولات کشاورزی، از مرحلهٔ تولید آغاز و به مرحلهٔ عمده‌فروشی ختم شده است. ناوگان حمل‌ونقل ناهمگن به‌علت کاهش میزان زوال اقلام، حفظ مرغوبیت و کیفیت محصولات، پاسخ به تقاضاهای متفاوت و وجود مسافت‌های متعدد از تولیدکنندگان به عمده‌فروشان استفاده شده است. در نظر گرفتن سیاست تخفیف نیز از دیگر مواردی است که به ارائهٔ محصولات بیشتر به مشتریان با قیمت کاهشی و افزایش درآمد تولیدکنندگان و عمده‌فروشان به‌علت فروش محصولات تا پیش از تاریخ انقضای مشخص و کاهش دورریز آنها منجر می‌شود. توجه به ملاحظات زیست‌محیطی نیز به‌علت کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌ها در مسیریابی انجام شده است.

ازجمله آثار مدل پیشنهادی بر جامعه، از توجه به ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توسعهٔ پایدار می‌توان نام برد که نمونه‌های آن به‌ترتیب، توسعهٔ بیشتر کسب‌وکار با ایجاد همکاری بین تولیدکنندگان و عمده‌فروشان، افزایش گردش جریان نقد، توجه به اقشار آسیب‌دیده درنتیجهٔ لحاظ سیاست تخفیف، کاهش مصرف سوخت به‌عنوان یکی از انرژی‌های تجدیدناپذیر و کاهش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی است.

به‌عنوان محدودیت پژوهش حاضر، به لحاظ‌نکردن عدم قطعیت در زنجیره و دسترسی‌نداشتن به برخی داده‌های واقعی، فرض قطعی‌بودن تقاضا و سایر پارامترها و حل مدل برای نمونه‌هایی با سایز متوسط و کوچک می‌توان اشاره کرد. برای انجام‌دادن پژوهش‌های بعدی، در نظر گرفتن موارد ذیل پیشنهاد می‌شود:

- در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای هزینه‌ای؛
- اجرای مدل برای داده‌های واقعی و
- توسعهٔ الگوریتم‌ها 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 Majdouline, 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., Ixmatlahua 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., Ruszczynski, 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-Aragonés, 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 (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.

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی