Journal of Operational Research in its Applications
Vol.22, NO.3, Autumn 2025
ISSN: 2251-7286
DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277

A Multi-Period, Multi-Season Mathematical Model for Resilient Distribution Network Planning (A Case Study of Automobile Part-Making Industry)

A. Nemati[1*], M. Mehravaran[2]
[1] *Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol City, Mazandaran, Iran*
[2] *Master's Degree Student, Department of Industrial Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol City, Mazandaran, Iran*

Research Paper

Received: 16 March 2025
Accepted: 28 July 2025

Abstract: Seasonal fluctuations in supply chain parameters are commonly caused by weather conditions variations, religious or national ceremonies, holidays, and periodic pricing strategies. As an example, the New Year holidays affect the demand for goods and services, such as food, water, hospitality, and transport. Hence, coordination of the supply chain items and operations, such as production, warehousing, purchasing, and transportation, according to seasonal demand, has been aimed at supply chain responsiveness and efficiency. Also, proposing price menus for raw materials by suppliers motivates supply chain decision-makers to redesign purchasing strategies according to seasonal fluctuations of supply. In addition, weather conditions and tourism seasons lead to seasonal fluctuations in the transportation system parameters, such as capacity, accessibility, price, and agility. Resilient supply chains are capable of tolerating disruptions and recovering in the short run. Considering additional capacities, such as production and warehousing, and providing surplus capacities in human resources and financial affairs are commonly used resiliency strategies in supply chain design and planning.

Introduction: Seasonal fluctuations in demand and transportation affect the efficiency and responsiveness of the distribution networks. This paper contributes to the seasonal planning of distribution networks involving multiple products, customers, distributors, and transporters under simultaneous demand and transportation seasonality.

Materials and Methods: Accordingly, a multi-period, multi-season mixed-integer linear mathematical model is proposed to formulate dissimilar simultaneous seasons of demand and transportation for distribution network planning problems. It is assumed that the seasonal patterns of demand are dissimilar for customers, products, and periods. Likewise, the transportation seasonal patterns differ according to periods, products, distributors, and transporters. In addition, warehousing surplus seasonal inventory is included in the newly developed model formulation as a resiliency strategy. The proposed model is solved in an automotive parts distribution network case study using the CPLEX solver.

Results and Discussion: Results showed the necessity of layoff of one distributor during a

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

Journal of Operational Research in its Applications
Vol.22, NO.3, Autumn 2025
ISSN: 2251-7286
DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277

transportation season and tolerating approximately double costs in the resilient plan over the corresponding non-resilient network. The results highlighted seasonal transportation volumes of automotive parts from distributors, seasonal inventory levels at customers, and cases of temporary seasonal layoff of vehicles. Additionally, one of the distributors was temporarily under seasonal layoff during one of the transportation seasons, and no shipment was sent to customers by this distributor during that period. Furthermore, comparing the resilient and non-resilient states in the case study showed that the resilient distribution network's costs were nearly twice as high as the non-resilient state, with relevant managerial recommendations provided.

Conclusions: Considering seasonal fluctuations of demand and transportation costs results in a more efficient distribution network planning, and provides the opportunity for seasonal layoff and resilience. Also, resilient seasonal distribution network planning causes higher costs than the non-resilient network.

Keywords: Seasonal Distribution Network Planning, Resilience, Seasonal Transportation, Seasonal Demand, Multi-Period Multi-Season Linear Mathematical Model, Automobile Part-Making Industry.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال بیست و دوم، شماره سوم (پیاپی ۸۶)،پاییز ۰۴، ص ص ۱۵۹-۱۴۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱
DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-227

یک مدل ریاضی چند دوره‌ای چندفصلی برای برنامه‌ریزی شبکه توزیع فصلی تاب‌آور: یک مثال موردی در صنعت قطعات خودرو

آرش نعمتی[1*]، مینا مهرآوران[2]
۱- استادیار، مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران

رسید مقاله: ۲۶ اسفند ۱۴۰۳
پذیرش مقاله: ۶ مرداد ۱۴۰۴

چکیده
تغییرات پارامترهای زنجیره تامین مانند تقاضا، تامین و حمل‌ونقل در طول بازه‌های زمانی کوچک در یک سال به دلیل تغییرات شرایط آب‌وهوایی، آغاز سال نو، شروع سال تحصیلی، شروع فصل مسافرت، اعیاد مذهبی و مناسبت‌های ملی می‌تواند موجب کاهش کارایی و سطح پاسخگویی زنجیره تامین شود. اگرچه فصلی بودن تقاضا، تولید و تامین در برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی مورد توجه قرار گرفته است اما فصلی بودن حمل‌ونقل مغفول مانده است. این مقاله بر روی مساله برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالا در حالت فصلی بودن هم‌زمان تقاضا و حمل‌ونقل متمرکز شده و در این ارتباط یک مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چند دوره‌ای چند فصلی با در نظر گرفتن فصل‌های نامشابه ارایه نموده است. علاوه براین، نگهداشت موجودی مازاد فصلی در مشتریان به عنوان یک سیاست تاب‌آوری در مدل ریاضی فرموله‌شده است. مدل ارایه‌شده در یک مطالعه موردی از شبکه توزیع قطعات خودرو در ایران با استفاده از CPLEX حل‌شده است. نتایج نشان دهنده لزوم ترخیص موقت یکی از توزیع‌کنندگان در طول یکی از فصل‌های حمل‌ونقل و همچنین تقریبا دو برابر بودن هزینه‌های خرید و حمل‌ونقل فصلی در حالت تاب‌آور بودن در مقایسه با حالت غیرتاب‌آور است. تحلیل‌های کمی و توصیه‌های مدیریتی متعددی نیز ارایه شده است.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی شبکه توزیع فصلی، تاب‌آوری، حمل‌ونقل فصلی، تقاضای فصلی، مدل ریاضی خطی چند دوره‌ای چند فصلی، صنعت قطعات خودرو.

۱ مقدمه
عوامل متعددی همچون شرایط آب‌وهوایی، آغاز سال نو، شروع فصل مسافرت، تعطیلات و اعیاد مذهبی موجب تغییرات قابل توجه در تقاضا برای برخی کالاها و خدمات می‌شود که اگر در برنامه‌ریزی زنجیره تامین مدنظر قرار

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: r.nemati@nit.ac.ir

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

نگیرند موجب کاهش کارایی و پاسخگویی زنجیره تامین خواهند شد[۱-۹]. هر بازه زمانی شامل چند روز یا ماه که مقدار تقاضا در طول آن ثابت است یک فصل تقاضا نامیده می شود و لذا یک سال ممکن است شامل چندین فصل کوتاه و یا طولانی با مقادیر زیاد یا کم تقاضا باشد. در شرایط تقاضای فصلی لازم است با برنامه ریزی فصلی زنجیره توزیع از کاهش سطح کارایی و پاسخگویی زنجیره تامین جلوگیری نمود. علاوه براین فصل‌های تامین مواد اولیه را می‌توان متناسب با فراوانی مواد اولیه به دلیل فصلی بودن تولید آن‌ها و یا اعلام تخفیف‌های دوره‌ای توسط تامین‌کنندگان مرتبط در نظر گرفت[۷، ۸، ۱۳-۱۰].

شرایط محیطی و یا مشکلات تامین انرژی در برخی بازه‌های زمانی سال در برخی مناطق دنیا مانند ایران موجب عدم ثبات هزینه تولید هر واحد محصول در طول سال‌شده و عملا چند فصل تولید در طول یک سال وجود داشته باشد[۷، ۸] . در بسیاری از روش‌های حمل‌ونقل مانند جاده‌ای و دریایی، شرایط آب‌وهوایی بر روی مصرف میزان سوخت وسایل حمل‌ونقل و طول هر سفر تاثیرگذار هستند. علاوه براین، ترافیک های فصلی نیز موجب کندی و یا توقف موقتی وسایل حمل‌ونقل جاده‌ای می‌شود. لذا ظرفیت در دسترس حمل‌ونقل و هزینه حمل‌ونقل نیز ممکن است تابع شرایط متفاوت فصلی در طول سال باشند [۱۴-۱۸]. اگر چه بخش عمده پژوهش‌های انجام شده در مورد زنجیره تامین فصلی تنها یک از پارامترهای زنجیره تامین مانند تقاضا یا تامین را به صورت فصلی در نظر گرفتند؛ اخیرا مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی شامل فصلی بودن تقاضا، تامین، حمل و نقل و تولید ارایه شده‌اند [۷، ۸، ۱۹]. با این وجود مدل‌سازی شبکه توزیع زنجیره تامین فصلی تحت تاب‌آوری فصلی مورد توجه قرار نگرفته است. تاکنون سیاست‌های مختلفی برای تاب‌آور نمودن زنجیره تامین در مقابل انقطاع‌های غیر قابل پیش‌بینی در زنجیره مانند اعتصاب، سیل، جنگ و زلزله مورد توجه قرار گرفته اند که از جمله آن‌ها می‌توان به مدل‌سازی نگهداشت مازاد موجودی و مازاد ظرفیت تولید و حمل‌ونقل اشاره نمود[۲۰-۲۴]. اما هیچ پژوهشی تاکنون بر روی تاب‌آوری شبکه توزیع فصلی متمرکز نبوده است. با توجه به عدم وجود سوابقی در مورد برنامه-ریزی شبکه توزیع تاب‌آور تحت فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل، سوالات ذیل در این زمینه پژوهشی بدون پاسخ مانده‌اند:

-چگونه می‌توان فصلی بودن همزمان حمل‌ونقل و تقاضا را در برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالاها در نظر گرفت؟

-مدل ریاضی برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالاها با در نظر گرفتن همزمان فصل‌های متفاوت تقاضا و حمل‌ونقل چگونه است؟

-چگونه می‌توان به تاب‌آوری فصلی شبکه توزیع کالاها دست یافت؟

این مقاله به سوالات فوق با ارایه یک مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چند دوره‌ای چند فصلی با در نظر گرفتن فصل‌های نامشابه تقاضا و حمل‌ونقل در شبکه توزیع کالاها و همچنین نگهداری فصلی کالاها به میزانی مازاد بر نیاز فصل آتی به عنوان استراتژی تاب‌آوری پاسخ می‌دهد. علاوه براین، مدل جدید ارایه شده در یک مثال موردی از صنعت خودرو حل می‌شود. لذا به طور خلاصه نوآوری‌های این پژوهش به صورت ذیل است:

-ارایه یک مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چند دوره‌ای چند فصلی جدید برای برنامه‌ریزی فصلی شبکه توزیع کالاها با در نظر گرفتن فصل‌های نامشابه تقاضا و حمل‌ونقل به طور همزمان،

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

-فرموله‌بندی تاب‌آوری فصلی شبکه توزیع فصلی،
-حل مدل ارایه شده در یک مثال موردی.

بخش‌های باقی‌مانده مقاله عبارتند از: پیشینه پژوهش در بخش ۲، تعریف مساله در بخش ۳ و مدل‌سازی مساله در بخش ۴ ارایه شده است. بخش ۵ شامل نتایج حل مدل ارایه شده درمثال موردی و در نهایت بخش ۶ شامل نتیجه‌گیری، محدودیت‌ها و پیشنهادات پژوهش می‌باشد .

۲ پیشینه پژوهش

این بخش پژوهش‌های مرتبط با زنجیره تامین فصلی را مرور می نماید تا نوآوری‌های این مقاله در زمینه مدل ریاضی ارایه شده برای برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالاها تحت فصلی بودن همزمان تقضا و حمل‌ونقل و همچنین تاب‌آوری فصلی زنجیره تامین به وضوح نشان داده شوند.

۲-۱ برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی

بیشتر پژوهش‌های مرتبط با برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی متمرکز بر ارایه مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی موجودی تحت فصلی بودن تقاضا بوده و به سایر پارامترهای فصلی توجه ننموده اند که از جمله آن‌ها می-توان به چن و چانگ (۲۰۰۷) اشاره نمود [۲۵]. آن‌ها مدل‌های ریاضی برای بهینه سازی موجودی تحت فصلی بودن تقاضا ارایه نمودند و همانند رودریگوئز و ویکچیتی (۲۰۱۰) بر فصلی بودن حمل‌ونقل متمرکز نبوده‌اند[۲۶]. آن‌ها مدل‌های ریاضی غیرخطی ارایه شده را با استفاده از سیپلکس در چند مثال عددی حل نمودند. این رویکرد به طور مشابه توسط بانرجی و شارما (۲۰۱۰) همانند چانگ و چو (۲۰۱۳) پیگیری شد [۲۷]. برخی محققان مانند کوئینلن و همکاران (۲۰۱۲) به فصلی بودن حمل‌ونقل توجه نمودند اما بررسی آن‌ها محدود به تخمین هزینه حمل‌ونقل فصلی شیر بوده و شامل مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی فصلی زنجیره تامین شیر نبود [۲۸] . اما هوآنگ و همکاران (۲۰۱۴) فصلی بودن تامین مواد اولیه را در طراحی زنجیره سوخت زیستی مورد توجه قرار داده ولی اشاره‌ای به فصلی بودن تقاضا و حمل‌ونقل نداشتند [۲۹]. زای و همکاران (۲۰۱۴) نیز فصلی بودن تامین مواد اولیه را مورد توجه قرار دادند و یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح برای طراحی زنجیره تامین زیست سوختی تحت فصلی بودن مواد خام مورد نیاز ارایه و حل نمودند [۳۰]. آن‌ها نیز به فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل در شبکه توزیع اشاره‌ای نداشته و همانند تمام محققان پیشین تاب‌آوری فصلی زنجیره تامین را در نظر نگرفتند.

بکرینگ و همکاران (۲۰۱۵) نیز در مدل ریاضی ارایه شده خود برای برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی گاز سبز فقط فصلی بودن تقاضا را در نظر گرفته و به پارامتر فصلی حمل‌ونقل و تاب‌آوری فصلی توجه ننمودند [۳۱]. اگر چه دومینگوئیس و همکاران (۲۰۱۵) فصلی بودن حمل‌ونقل را مورد مطالعه قرار دادند اما تمرکز آن‌ها بر روی برنامه‌ریزی فصلی زنجیره تامین نبود [۳۲]. فصلی بودن تامین مواد اولیه توسط رزمی و همکاران (۲۰۱۶) مورد توجه قرار گرفت و آن‌ها تعداد ثابت فصل را برای تامین در هر سال را در مدل ریاضی مختلط عدد صحیح ارایه شده در نظر گرفتند . اما آن‌ها به فصلی بودن تقاضا و تاب‌آوری فصلی توجهی ننمودند. کانیزس و همکاران (۲۰۱۹)

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

تعداد ثابت چهار فصل را برای تقاضا در مدل ریاضی تصادفی ارایه شده برای برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی مورد استفاده قرار داده و حمل‌ونقل فصلی را نادیده گرفتند [۳۳]. علیزاده و همکارن (۲۰۱۹) یک مدل برنامه‌ریزی تصافی مبتنی بر سناریو را برای تامین فصلی مواد خام بدون توجه به تقاضا، حمل‌ونقل و تاب‌آوری فصلی ارایه نمودند. تمرکز ساکیلسوم و ثارمافورنفیلاس (۲۰۱۹) بر روی ارایه الگوریتم‌های ابتکاری جهت حل مدل‌های ریاضی مختلط عدد صحیح برای برنامه-ریزی زنجیره تامین تحت تقاضای فصلی بود [۳۴]. اما در مدل‌های ارایه شده به حمل‌ونقل و تاب‌آوری فصلی اشاره نشده است. وانگ و همکاران (۲۰۲۰) یک رویکرد مبتنی بر دوقلوی دیجیتال برای پیش‌بینی تقاضا و برنامه‌ریزی فصلی موجودی ارایه نمودند که در آن از حمل‌ونقل و تاب‌آوری فصلی صرف‌نظر شده است [۳۵]. النهال و همکاران (۲۰۲۱) یک مدل ریاضی مختلط عدد صحیح برای برنامه‌ریزی موجودی نوشیدنی غیر الکلی تحت تقاضای فصلی بدون توجه به تاب‌آوری و حمل‌ونقل فصلی ارایه و حل نمودند[۳۶].

حسینی و همکاران [۸] سه مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط عدد صحیح تک هدفه برای برای برنامه‌ریزی فصلی زنجیره تامین معکوس با در نظر گرفتن فصل‌های نامشابه همزمان برای تقاضا و تامین فصلی ارایه نموده و یک تحلیل اقتصادی برای برنامه‌ریزی فصلی زنجیره‌های تامین مطح نمودند. آن‌ها نشان دادند که در مثال موردی ماسک که یک کالای فاسد نشدنی است و هزینه نگهداری قابل توجهی بر زنجیره تامین تحمیل نمی‌کند؛ انبار کردن ماسک برای مدت چند فصل در مقایسه با یک فصل مقرون به صرفه‌تر بوده و برنامه‌ریزی فصلی زنجیره تامین این محصول در مقایسه با برنامه‌ریزی سالیانه کارایی بیشتری را در پی دارد. شایان توجه است که تاب‌آوری فصلی در محدوده پژوهش آنها نبوده است. نجفی و همکاران [۱۹] یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی سه سطحی شامل تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و مشتریان را با در نظر گرفتن شرایط فصلی همزمان برای تامین، تولید، حمل‌ونقل مواد اولیه، حمل‌ونقل محصولات و تقاضا ارایه نموده و در مثال موردی صنعت خودرو حل نمودند. آنها توصیه‌های مدیریتی خود را بر اساس نتایج تست‌های استرس زنجیره تامین و آنالیز حساسیت ارایه نمودند اما تاب‌آوری فصلی زنجیره تامین مورد توجه آنها نبوده است. حسینی و همکاران [۷] یک مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چندهدفه چنددوره‌ای چندفصلی برای برنامه‌ریزی فصلی زنجیره تامین معکوس ماسک صورت پزشکی با در نظر گرفتن تقاضا، تولید و تامین فصلی به طور همزمان ارایه نمودند. در مدل ریاضی ارایه شده تعداد و طول فصل‌های هر پارامتر در یک سال می‌تواند متفاوت از سال دیگر بوده و همچنین تعداد و طول فصل‌های تقاضا، تولید و تامین لزوما یکسان نیست. علاوه براین، مرخص‌سازی موقت برخی خصوط تولید و تامین‌کنندگان مازاد در طول برخی از فصل‌ها علاوه بر انتخاب ماندگارترین تامین‌کنندگان به عنوان استراتژی ماندگاری در مدل ارایه شده فرموله شده است. اما آنها به حمل‌ونقل فصلی در برنامه‌ریزی فصلی زنجیره تامین فصلی و همچنین تاب‌آوری آن توجهی ننمودند.

۲-۲ بررسی خلا تحقیقاتی

همان‌گونه که در بخش ۲-۱ اشاره شد فقط مدل‌های ارایه شده توسط حسینی و همکاران [۷، ۸] و نجفی و همکاران [۱۹] شامل بیش از یک پارامتر فصلی بوده و مابقی پژوهش‌های مرتبط با برنامه‌ریزی زنجیره تامین فصلی تنها یک

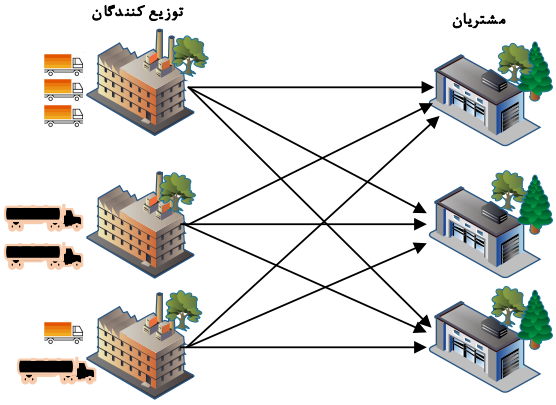
[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

پارامتر فصلی، تقاضای فصلی در بیشتر موارد، را شامل شده‌اند. همچنین هیچ‌یک از پژوهش‌های پیشین حمل‌ونقل و تقاضای فصلی در شبکه توزیع را مدنظر قرار نداده و بر تاب-آوری فصلی متمرکز نشدند. لذا این مقاله برای نخستین بار یک مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی فصلی شبکه توزیع کالا در زنجیره تامین فصلی تحت فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل ارایه می‌کند که شامل نخستین فرموله‌بندی استراتژی تاب‌آوری فصلی است. همچنین مدل ارایه شده در یک مثال موردی توزیع برخی قطعات پلاستیکی خودرو در ایران حل می‌شود.

۳ تعریف مساله

در این بخش مساله برنامه‌ریزی شبکه توزیع زنجیره تامین در حالت فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل تعریف می‌شود. یک شبکه توزیع کالا شامل چند توزیع‌کننده هر یک با چند وسیله حمل‌ونقل متفاوت و چند مشتری را مطابق شکل ۱ در نظر بگیرید.

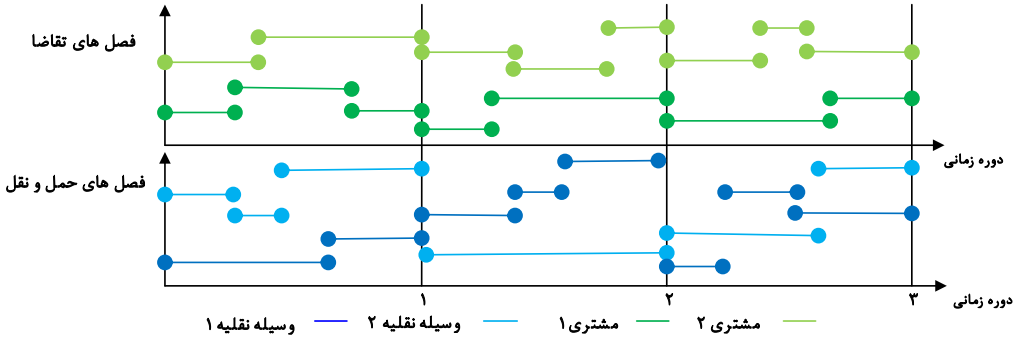


شکل ۱. یک طرح شماتیک از یک شبکه توزیع

کالاها توسط وسایل حمل‌ونقل در توزیع‌کننده بارگیری شده و برای مشتری ارسال می‌شود. تقاضای یک مشتری در یک دوره زمانی ممکن است توسط چند وسیله نقلیه بارگیری شده از توزیع‌کنندگان متعدد برآورده شود. فرض کنید در یک شبکه توزیع دو مشتری، یک کالا، یک توزیع کننده و دو وسیله نقلیه وجود دارد. همچنین مقدار تقاضای هر مشتری در هر سال از یک الگوی متفاوت فصلی که متفاوت از مشتری دیگر نیز است پیروی می‌کند و چنین وضعیتی را در مورد هزینه حمل وسایل نقلیه می‌توان در نظر گرفت. شکل ۲ الگوهای فصلی کاملا متفاوت برای چهار پارامتر فصلی مذکور را نشان می‌دهد.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

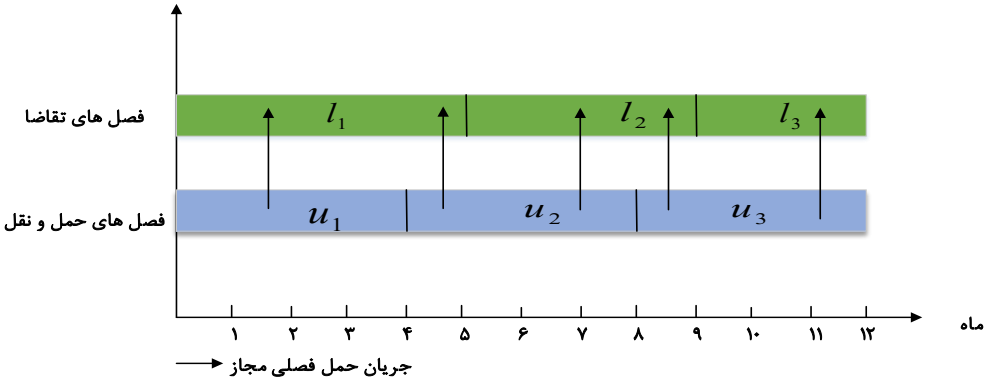
[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]



شکل ۲. نمونه‌ای از یک الگوی فصلی همزمان تقاضا و حمل‌ونقل

در شکل ۲، وسیله نقلیه ۱ در دو فصل در طول دوره اول هزینه‌های متفاوتی برای حمل کالا ارایه می‌نماید که در طول فصل دوم بالاتر از فصل اول آن است. اما در طول دوره اول کلیه هزینه‌های حمل‌ونقل فصلی وسیله نقلیه ۱ کمتر از هزینه‌های حمل‌ونقل پیشنهادی وسیله نقلیه ۲ در سه فصل مربوط به آن است. مشاهده می‌شود که تعداد و طول فصل‌های حمل‌ونقل دو وسیله نقلیه در طول دوره‌های زمانی متفاوت است و در واقع غیرهمسان هستند. همچنین مشتری ۱ سه میزان تقاضای متفاوت برای کالای مورد نظر در طول سه فصل تقاضا در طی دوره اول ارایه می کند که از نظر طول و تعداد و همچنین میزان تقاضا متفاوت از الگوی تقاضای فصلی مشتری ۲ است. در مورد تقاضای فصلی مشتریان نیز الگوی غیرهمسان در طی دوره‌ها مشاهده می‌شود. توجه داشته باشید در حالت چند محصولی می‌توان شکل بالا را با الگوهای متفاوت برای محصولات مختلف در نظر گرفت که پیچیدگی مساله را مضاعف می‌نماید. مساله این است که در کدام فصل حمل‌ونقل کدام وسیله نقلیه چه میزان کالا به کدام مشتری برای پوشش دهی تقاضای آن در کدام فصل ارسال شود که احیانا بخشی از محموله دریافتی را جهت استفاده در فصل‌های آتی انبار نماید.

بدیهی است که محصولات فقط در طی فصلی از حمل‌ونقل می‌توانند برای یک مشتری ارسال شوند که یک یا چند فصل تقاضای مشتری مذکور همزمانی حداقلی با این فصل حمل‌ونقل داشته باشند. در شکل ۳، جریان‌های مجاز یک محصول مابین فصل‌های حمل‌ونقل یک وسیله نقلیه فرضی و فصل‌های تقاضای یک مشتری فرضی با بردار نشان داده شده است. در این شکل فصل های حمل‌ونقل با نام‌های u1 ، u2 و u3 فصل‌های تقاضا با نام‌های l1، l2 و l3نشان داده شده‌اند.

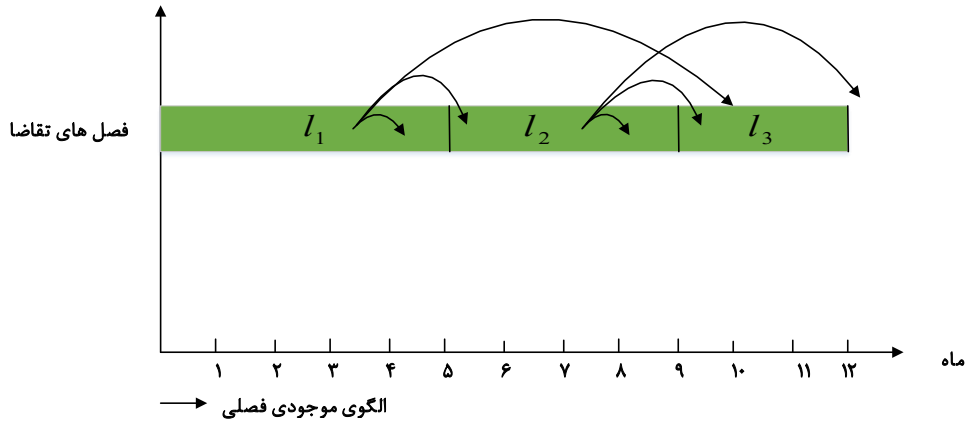


شکل ۳. نمونه‌ای از یک الگوی جریان محصول مابین فصل‌های تقاضا و حمل‌ونقل

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

هر مشتری می‌تواند بخشی از محموله‌های دریافتی در یک فصل تقاضا را جهت پوشش دهی تقاضای همان فصل استفاده و بخشی دیگر را برای یک یا چند فصل بعدی انبار نماید. شکل ۴ نمونه‌ای از الگوی مصرف محموله دریافتی در طی فصل تقاضای مشتری را نشان می دهد که بخشی از آن در طی همان فصل مصرف شده و بخش‌هایی از آن برای دو فصل تقاضای آتی ذخیره می‌شوند.



شکل ٤. نمونه‌ای از یک الگوی جریان محموله دریافتی مابین فصل‌های تقاضای یک مشتری

به طور خلاصه می‌توان مساله را به صورت تعیین میزان بارگیری هر وسیله نقلیه از هر محصول در طی هر فصل حمل‌ونقل مربوطه و تحویل آن به مشتریان در طی فصل‌های تقاضای ممکن و در صورت امکان ذخیره بخشی از محموله دریافتی توسط مشتریان در طی فصل تقاضای جاری و آتی مربوطه اشاره نمود. بدین منظور لازم است هزینه کل شبکه توزیع فصلی شامل هزینه خرید فصلی محصولات، هزینه حمل‌ونقل فصلی محصولات، هزینه نگهداری فصلی محصولات نزد مشتریان و هزینه فرصت عدم استفاده از ظرفیت کامل فصلی وسایل حمل‌ونقل کمینه شود تا کارایی شبکه توزیع در کنار پاسخگویی آن بهینه شود. علاوه براین به منظور مواجهه با انقطاعات فصلی در توزیع‌کنندگان یا وسایل نقلیه، سیاست نگهداشت مقداری مازاد موجودی نزد مشتری جهت تاب‌آور نمودن شبکه توزیع فصلی مدنظر است. بدین منظور در زیربخش بعدی یک مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح یک هدفه چند دوره‌ای چند فصلی شامل فصل‌های نامشابه تقاضا و حمل‌ونقل ارایه می‌شود.

٤ مدل‌سازی مساله

در این بخش فرضیات در نظر گرفته شده، شمارنده‌ها، پارامترها، متغیرهای تصمیم، تابع هدف و محدودیت‌های مربوط به مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چند دوره‌ای چند فصلی برای برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالا در حالت فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل ارایه می‌شود.

٤-١ فرضیات

در ارایه مدل ریاضی برای برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالا تحت فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل فرضیات ذیل در نظر گرفته شده‌اند:

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

-موجودی فصلی فقط برای یک فصل آتی نگهداری می‌شود.
-در آخرین فصل تقاضای مشتریان در آخرین دوره برنامه‌ریزی نیازی به نگهداشت موجودی فصلی نیست.
-همه پارامترها قطعی فرض شده‌اند.
-برای وسایل نقلیه با ترخیص فصلی هزینه فرصت عدم استفاده از ظرفیت در نظر گرفته نمی‌شود زیرا فرض بر آن است که در خارج از شبکه توزیع فعالیت خواهند داشت. در واقع مفروض که با شبکه‌های توزیع دیگر به اشتراک گذاشته شده‌اند.

٤-٢ شمارنده‌ها

در مدل ارایه شده شمارنده‌های ذیل در نظر گرفته شده‌اند:

m	شمارنده توزیع‌کنندگان	$m=۱, ۲, \ldots, M$
c	شمارنده مشتریان	$c=۱, ۲, \ldots, C$
p	شمارنده محصولات	$p=۱, ۲, \ldots, P$
k_m	شمارنده وسایل حمل‌ونقل توزیع کننده m	$k_m= ۱, ۲, \ldots, K_m$
t,t',t''	شمارنده دوره زمانی	$t,t',t''=۱, ۲, \ldots, T$
l_{pct}	شمارنده فصل‌های تقاضا محصول p در دوره زمانی t	$l_{pct}= ۱, ۲, \ldots, L_{pct}$
u_{ptmk_m}	شمارنده فصل‌های حمل‌ونقل وسیله نقلیه k_m توزیع کننده m برای حمل محصول p در دوره زمانی t	$u_{ptmk_m}=۱, ۲, \ldots, U_{ptmk_m}$

٤-٣ پارامترها

تقاضای مشتری c برای محصولp در فصل تقاضا lpct در دورهt،
قیمت محصول pکه توسط توزیع‌کننده m برای مشتری c در فصل تقاضا lpct در دوره t عرضه می‌شود،
هزینه حمل‌ونقل هر واحد محصولp به ازای هر واحد مسافت که از توزیع‌کنندهm به سمت مشتریc توسط وسیله حمل‌ونقل kmدر فصل حمل‌ونقل دوره t ارسال می‌شود،
هزینه نگهداری هر واحد محصولp برای مشتریc در فصل تقاضا lpct دورهt ،
هزینه فرصت هر واحد ظرفیت بلااستفاده وسیله‌ی نقلیه kmتوزیع‌کننده m حین حمل محصول p به سمت مشتری cدر فصل حمل‌ونقل دورهt ،

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]
[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

ظرفیت فصلی وسیله‌ی نقلیه km توزیع‌کننده m برای حمل محصولp توسط در فصل حمل‌ونقل دوره t،
فاصله بین توزیع‌کننده‌m و مشتری c،
ظرفیت انبار مشتریc برای محصول p برای فصل تقاضا lpct دوره‌t ،
طول فصل حمل‌ونقل برای محصول pبرای توزیع‌کننده‌m در وسیله حمل‌ونقل km در دوره t،
برابر با یک است اگر بتوان محصولp را از توزیع‌کننده‌m در فصل حمل‌ونقل توسط وسیله حمل‌ونقل km در دوره ارسال و توسط مشتریc در فصل تقاضا دریافت تا در فصل تقاضا استفاده شود؛ در غیر این صورت صفر،
BM:یک عدد مثبت بزرگ.

٤-٤ متغیرهای تصمیم

مقدار محصولp که از توزیع‌کننده‌m در دوره فصل حمل‌ونقل توسط وسیله حمل‌ونقل kmارسال و توسط مشتری cدر فصل تقاضا دریافت و برای استفاده در فصل تقاضا نگهداری می‌شود؛ در غیر این صورت صفر،
سطح موجودی محصول p برای مشتری cدر انتهای فصل تقاضا lpctدوره‌t ،
ظرفیت مورد نیاز وسیله حمل‌ونقل kmبرای ارسال محصولp توسط توزیع‌کننده m در فصل حمل‌ونقل دوره‌t ،
برابر با یک است اگر وسیله نقلیه km برای ارسال محصولp توسط توزیع‌کننده m در فصل حمل‌ونقل دوره t انتخاب شود؛ در غیر این صورت برابر با صفر.

٤-٥ تابع هدف

$$Min \qquad Z = PUCP + TRC + HC + OK \tag{۱}$$

$$PUCP = \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{c=1}^{C}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{t=1}^{T}\sum_{t'=1}^{t}\sum_{l_{pct}=1}^{L_{pct}}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_m}} pp_{pmct'l_{pct'}} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} tl_{pct}} \tag{۲}$$

$$TRC = \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{c=1}^{C}\sum_{k_m}^{K_m}\sum_{t=1}^{T}\sum_{t'=1}^{t}\sum_{l_{pct}=1}^{L_{pct}}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_m}} tc_{pmck_m t' u_{pt'mk_m}} dis_{mc} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} tl_{pct}} \tag{۳}$$

$$HC = \sum_{p=1}^{P}\sum_{c=1}^{C}\sum_{t=1}^{T}\sum_{l_{pct}=1}^{L_{pct}} h_{pctl_{pct}} I_{pctl_{pct}} \tag{۴}$$

$$OK = \sum_{p=1}^{P}\sum_{m=1}^{M}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{t=1}^{T}\sum_{u_{ptmk_m}=1}^{U_{ptmk_m}} oc_{pmck_m tu_{ptmk_m}} (ct_{ptmk_m u_{ptmk_m}} length_{pmk_m tu_{ptmk_m}} Y_{pmk_m tu_{ptmk_m}} - RC_{pmk_m tu_{ptmk_m}}) \tag{۵}$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

معادله (۱) اولین تابع هدف که هزینه کل شبکه توزیع که شامل چهار بخش به ترتیب هزینه خرید، هزینه حمل‌ونقل، هزینه نگهداری و هزینه فرصت ظرفیت‌های حمل و نقل بلااستفاده زمانی که وسیله حمل‌ونقل تحت تعلیق است را نشان می‌دهد که به ترتیب در معادلات (۲)- (۵) است.

٤-٦ محدودیت‌ها

$$Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} tl_{pct}} \le \alpha_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} tl_{pct}} BM \qquad \forall p,m,c,t,t' \le t, l_{pct}, l_{pct'}, u_{pt'mk_m} \qquad (۶)$$

محدودیت (۶) تضمین می‌کند که محصولات فقط می‌توانند طبق الگوی حمل‌ونقل فصلی از پیش تعیین شده ارسال شوند.

$$\sum_{m=1}^{M}\sum_{t'=1}^{t}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_m}} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} tl_{pct}} = d_{pctl_{pct}} \qquad \forall p,c,t,l_{pct} \qquad (۷)$$

معادله (۷) پوشش دهی تقاضا فصلی مشتریان چه با استفاده از محصولات ارسال شده؛ چه محصولات انبار شده نشان می‌دهد.

$$\begin{aligned} I_{pctl_{pct}} = &\sum_{m=1}^{M}\sum_{t'=1}^{t-1}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_m}}\sum_{t''=t+1}^{T}\sum_{l_{pct''}=1}^{L_{pct''}} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} t''l_{pct''}} + \\ &\sum_{m=1}^{M}\sum_{t'=1}^{t-1}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_k}}\sum_{t''=t}^{t}\sum_{l_{pct''}=l_{pct}+1}^{L_{pct''}} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} t''l_{pct''}} + \\ &\sum_{m=1}^{M}\sum_{t'=t}^{t}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_m}}\sum_{t''=t+1}^{T}\sum_{l_{pct''}=1}^{L_{pct''}} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} t''l_{pct''}} + \\ &\sum_{m=1}^{M}\sum_{t'=t}^{t}\sum_{k_m=1}^{K_m}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}}\sum_{u_{pt'mk_m}=1}^{U_{pt'mk_m}}\sum_{t''=t}^{t}\sum_{l_{pct''}=l_{pct}+1}^{L_{pct''}} Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} t''l_{pct''}} \end{aligned} \qquad \forall p,c,t,l_{pct} \qquad (۸)$$

معادله (۸) سطح موجودی هر محصول برای مشتریان در طی هر فصل تقاضا را تعیین می‌کند.

$$I_{pctl_{pct}} \le wc_{pctl_{pct}} \qquad \forall p,c,t,l_{pct} \qquad (۹)$$

$$I_{pctl_{pct}} \ge d_{pct'l_{pct'}} \qquad \forall p,c,t,l_{pct} \le L_{pct}-1, t'=t, l_{pct'}=l_{pct}+1 \qquad (۱۰)$$

$$I_{pctl_{pct}} \ge d_{pct'l_{pct'}} \qquad \forall p,c,t,l_{pct}=L_{pct}, t'=t+1, l_{pct'}=1 \qquad (۱۱)$$

$$I_{pctl_{pct}} = 0 \qquad \forall p,c,t=T, l_{pct}=L_{pct}-1 \qquad (۱۲)$$

محدودیت (۹) نشان می‌دهد که سطح موجودی فصلی هر محصول نمی‌تواند از ظرفیت انبار فصلی مربوطه تخطی کند.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

محدودیت‌های (۱۰)- (۱۲) شبکه توزیع فصلی انعطاف پذیر را با در نظر گرفتن موجودی فصلی محصولات در هر فصل تقاضا تضمین می‌کند؛ مگر اینکه آخرین فصل تقاضای آخرین دوره بیشتر از تقاضای متناظر فصل تقاضای بعدی باشد.

$$RC_{pmk_m tu_{ptmk_m}} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{c=1}^{C}\sum_{l_{pct}=1}^{L_{pct}}\sum_{t'=t}^{T}\sum_{l_{pct'}=1}^{L_{pct'}} Q_{pmtk_m u_{ptmk_m} cl_{pct} t' l_{pct'}} \qquad \forall p, k_m, t, u_{ptmk_m} \qquad (۱۳)$$

$$RC_{pmk_m tu_{ptmk_m}} \le ct_{ptmk_m u_{ptmk_m}} length_{pmk_m tu_{ptmk_m}} Y_{pmk_m tu_{ptmk_m}} \qquad \forall p, m, k_m, t, u_{ptmk_m} \qquad (۱۴)$$

$$Y_{pmk_m tu_{ptmk_m}} \le RC_{pmk_m tu_{ptmk_m}} BM \qquad \forall p, m, k_m, t, u_{ptmk_m} \qquad (۱۵)$$

$$RC_{pmk_m tu_{ptmk_m}} \le Y_{pmk_m tu_{ptmk_m}} BM \qquad \forall p, m, k_m, t, u_{ptmk_m} \qquad (۱۶)$$

$$Q_{pmt'k_m u_{pt'mk_m} cl_{pct'} tl_{pct}}, I_{pctl_{pct}}, RC_{pmk_m tu_{ptmk_m}} \ge 0; \quad Y_{pmk_m tu_{ptmk_m}} \in \{0,1\} \qquad \forall p, m, k_m, c, t, t', l_{pct}, l_{pct'}, u_{pt'mk_m} \qquad (۱۷)$$

معادله (۱۳) ظرفیت حمل‌ونقل فصلی مورد نیاز وسیله نقلیه مربوط به هر محصول را تعیین می‌کند. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که ظرفیت حمل‌ونقل فصلی وسایل نقلیه با ظرفیت حمل‌ونقل دوره‌ای مربوطه هماهنگ است. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) تضمین می‌کنند که اگر یک وسیله نقلیه در یک فصل خاص برای حمل محصولات در نظر گرفته نشده باشد، نباید مقداری به عنوان ظرفیت مورد نیاز حمل به آن تخصیص یافته باشد و بالعکس. در نهایت، محدودیت (۱۷) متغیرهای تصمیم را تعریف می‌کند.

۵ مطالعه موردی

مدل ارایه شده در یک مطالعه موردی از شبکه توزیع پنج قطعه پلاستیکی خودرو در ایران حل شده است. این شبکه شامل سه توزیع‌کننده مستقر در بابل، تهران و کاشان، سه وسیله نقلیه برای هر توزیع‌کننده، پنج قطعه و سه مشتری مستقر در بابل، تهران و مشهد است.

۵-۱ داده‌های ورودی

در این مطالعه موردی سه دوره زمانی سالیانه در نظر گرفته شده است. فصل‌های تقاضا یکسان به ازای همه مشتریان و محصولات در همه سال‌ها مطابق با الگوی ارایه شده در جدول ۱ از نظر تعداد و طول در نظر گرفته شده است .

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

جدول ۱. الگوی فصل‌های تقاضا

	$l_{pct}=۱$	$l_{pct}=۲$	$l_{pct}=۳$
$c=۱$	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۵
$c=۲$	۰/۴۱۶	۰/۱۶۸	۰/۴۱۶
$c=۳$	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳	۰/۳۳۳

جدول ۲ نشان می‌دهد که تعداد و طول فصل‌های حمل‌ونقل برای هر وسیله نقلیه هر نوع محصول در هر توزیع کننده در هر سال یکسان در نظر گرفته شده است.

جدول ۲. الگوی فصل‌های حمل‌ونقل

	$m=۱$			$m=۲$			$m=۳$		
	$k_۱=۱$	$k_۱=۲$	$k_۱=۳$	$k_۲=۱$	$k_۲=۲$	$k_۲=۳$	$k_۳=۱$	$k_۳=۲$	$k_۳=۳$
$u_{ptmk_m}=۱$	۰/۶۶	۰/۵	۰/۵۸۳	۰/۶۶	۰/۵۸۳	۰/۵	۰/۵	۰/۶۶	۰/۵۸۳
$u_{ptmk_m}=۲$	۰/۳۴	۰/۵	۰/۴۱۷	۰/۳۴	۰/۴۱۷	۰/۵	۰/۵	۰/۳۴	۰/۴۱۷

بر اساس جداول ۱ و ۲ می‌توان مشاهده نمود که الگوی فصل‌های تقاضا و حمل‌ونقل غیرهمسان می‌باشند. ظرفیت سالیانه حمل هر وسیله نقلیه ۶۰۰۰ واحد برای هر محصول در هر سال فرض شده است. به دلیل نرخ بالای تورم سالیانه و همچنین هزینه نگهداری پایین برای کالاهای فاسد نشدنی در ایران، در نظر گرفتن ظرفیت بالا برای انبار جهت نگهداری محصولات در دوره زمانی طولانی امری رایج در صنعت ایران است. لذا ظرفیت سالیانه انبار برای هر محصول در هر مشتری ۱۰۰۰۰۰ واحد فرض شده است. جدول ۳ پیش بینی تقاضای فصلی مشتریان برای هر قطعه خودرو در طول دوره‌ها را نمایش می‌دهد.

جدول ۳. تقاضای فصلی برای قطعات خودرو

		$t=۱$			$t=۲$			$t=۳$		
		$l_{pct}=۱$	$l_{pct}=۲$	$l_{pct}=۳$	$l_{pct}=۱$	$l_{pct}=۲$	$l_{pct}=۳$	$l_{pct}=۱$	$l_{pct}=۲$	$l_{pct}=۳$
$c=۱$	$p=۱$	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	$p=۲$	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰
	$p=۳$	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

	p=۴	۱۹۹۶۵	۲۰۹۶۳	۲۲۰۱۱	۲۴۲۱۲	۲۵۴۲۳	۲۶۶۹۴	۲۹۳۶۳	۳۰۸۳۱	۳۲۳۷۳
	p=۵	۲۵۸۰۰	۲۷۰۹۰	۲۸۴۴۵	۳۱۲۹۰	۳۲۸۵۵	۳۴۴۹۸	۳۷۹۴۸	۳۹۸۴۵	۴۱۸۳۷
c=۲	p=۱	۵۷۴۵۰	۶۰۳۲۳	۶۳۳۳۹	۶۹۶۷۳	۷۳۱۵۷	۷۶۸۱۵	۸۴۴۹۷	۸۸۷۲۲	۹۳۱۵۸
	p=۲	۵۶۱۶۰	۵۸۹۶۸	۶۱۹۱۶	۶۸۱۰۸	۷۱۵۱۳	۷۵۰۸۹	۸۲۵۹۸	۸۶۷۲۸	۹۱۰۶۴
	p=۳	۵۷۶۰۰	۶۰۴۸۰	۶۳۵۰۴	۶۹۸۵۴	۷۳۳۴۷	۷۷۰۱۴	۸۴۷۱۵	۸۸۹۵۱	۹۳۳۹۹
	p=۴	۶۶۵۵	۶۹۸۸	۷۳۳۷	۸۰۷۱	۸۴۷۵	۸۸۹۹	۹۷۸۹	۱۰۲۷۸	۱۰۷۹۲
	p=۵	۸۶۰۰	۹۰۳۰	۹۴۸۲	۱۰۴۳۰	۱۰۹۵۲	۱۱۵۰۰	۱۲۶۵۰	۱۳۲۸۳	۱۳۹۴۷
c=۳	p=۱	۳۸۳۰۰	۴۰۲۱۵	۷۲۲۲۶	۷۹۴۴۹	۸۳۴۲۱	۸۷۵۹۲	۹۶۳۵۱	۱۰۱۱۶۹	۱۰۶۲۲۷
	p=۲	۳۷۴۴۰	۳۹۳۱۲	۴۱۲۷۸	۴۵۴۰۶	۴۷۶۷۶	۵۰۰۶۰	۵۵۰۶۶	۵۷۸۱۹	۶۰۷۱۰
	p=۳	۳۸۴۰۰	۴۰۳۲۰	۴۲۳۳۶	۴۶۵۷۰	۴۸۸۹۹	۵۱۳۴۴	۵۶۴۷۸	۵۹۳۰۲	۶۲۲۶۷
	p=۴	۱۸۹۶۶	۱۹۹۱۵	۲۰۹۱۱	۲۳۰۰۲	۲۴۱۵۲	۲۵۳۶۰	۲۷۸۹۶	۲۹۲۹۱	۳۰۷۵۶
	p=۵	۲۴۵۱۰	۲۵۷۳۶	۲۷۰۲۳	۲۹۷۲۵	۳۱۲۱۱	۳۲۷۷۲	۳۶۰۴۹	۳۷۸۵۱	۳۹۷۴۴

۵-۲ نتایج حل مدل

کد نوشته شده برای مدل ارایه شده در مثال موردی در نرم افزار گمز نسخه ۲۴/۱ در مدت زمان ۰/۵۸۳ ثانیه با استفاده از سیپلکس بر روی یک کامپیوتر با مشخصات Intel(R) Core(TM) i7-8550U CPU @ 1.80 GHz1.99 GHz and 8.00 GB RAMحل شد. جدول ۴ مقادیر اجزای هزینه کل شبکه توزیع فصلی بر حسب دلار و سهم هر یک از آن‌ها در هزینه کل بر حسب درصد را نشان می‌دهد.

جدول ٤. نتایج هزینه‌ای حل مدل

Z	$PUCP$		TRC		HC		OK	
	مقدار	%	مقدار	%	مقدار	%	مقدار	%
۳۴۹۳۱۸۳/۵۶۵	۲۳۷۲۵۱۰/۴۸۶	۶۷/۹۱	۹۷۱۷۴۸/۱۶۷	۲۷/۸۱	۱۴۸۵۲۸/۶۵۴	۴/۲۵	۳۹۶/۲۵۳	۰/۰۱

نتایج حاصل نشان دهنده ترخیص موقت فصلی برخی وسایط نقلیه در فصل دوم حمل‌ونقل سال سوم از جمله وسیله نقلیه اول توزیع‌کننده اول، همه وسایط نقلیه توزیع‌کننده دوم و وسایط نقلیه دوم و سوم توزیع-کننده سوم است.

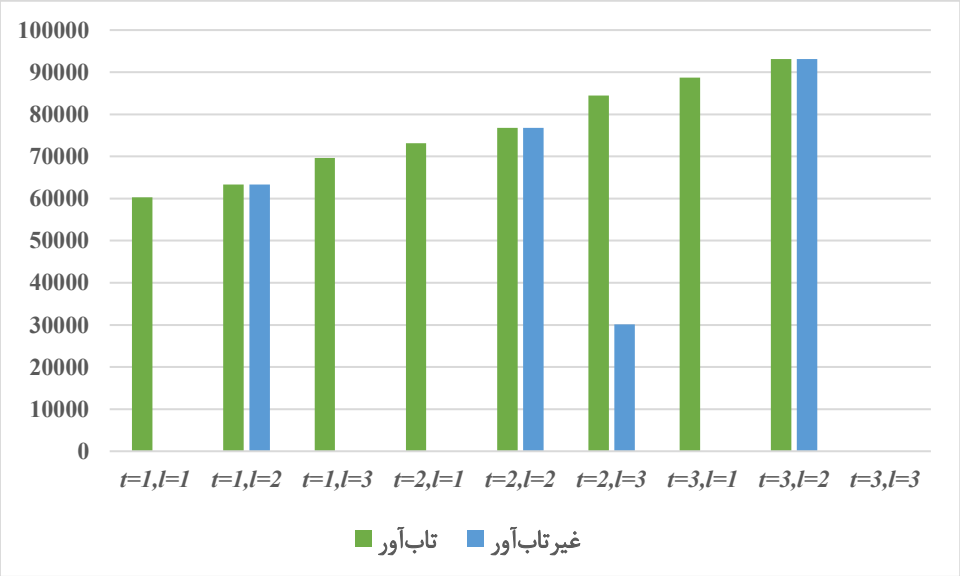
[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

شکل ۵ نشان سطح موجودی محصول ۱ در مشتری ۲ را در فصل‌های تقاضای سه سال مورد بررسی در حالت‌های در نظر گرفتن و در نظر نگرفتن محدودیت‌های تاب‌آوری را به عنوان نمونه نشان می‌دهد.

۵-۳ بحث

بر اساس جدول ۴ حدود نود و پنج درصد هزینه کل شامل هزینه‌های خرید فصلی و حمل‌ونقل فصلی است و تقریبا ۵ درصد هزینه‌ها متعلق به نگهداشت فصلی موجودی است. مقدار ناچیز هزینه فرصت نشان دهنده عملکرد بسیار موفق در ترخیص موقت فصلی وسایط نقلیه به منظور به اشتراک گذاری آن‌ها با شبکه‌های توزیع دیگر است. با توجه به ترخیص فصلی همه وسایط نقلیه توزیع‌کننده دوم در طول فصل دوم حمل‌ونقل سال سوم، عملا این توزیع‌کننده در شبکه توزیع در این مدت زمان فعالیتی ندارد. به منظور تاثیر در نظر گرفتن محدودیت‌های مرتبط با نگهداشت موجودی اضافی فصلی با هدف تاب‌آور نمودن شبکه توزیع قطعات خودرو تحت بررسی، مدل مجدد با حذف این محدودیت‌های تاب‌آوری حل شد. شکل ۵ نشان می‌دهد که در تاب‌آور نمودن شبکه توزیع سطح موجودی فصلی را در مقایسه با حالت غیر تاب‌آور بسیار افزایش می‌دهد.



شکل ۵. سطح موجودی فصلی محصول ۱ در مشتری ۲

همچنین آنالیز اجزای هزینه در دو حالت تاب‌آور و غیرتاب‌آور نشان دهنده افزایش ۱۰۰ درصدی هزینه کل، هزینه خرید فصلی و هزینه حمل‌ونقل فصلی در حالت تاب‌آور در مقایسه با غیرتاب‌آور است که دلیل اصلی آن الزام به خرید و حمل در فصل‌هایی با هزینه بالاتر به دلیل شرط نگهداری موجودی اضافی در حالت تاب‌آور است.

۵-٤ توصیه‌های مدیریتی

از آنجا که بخش اعظم هزینه های کل مرتبط با هزینه خرید و هزینه حمل‌ونقل است لذا دقت تخمین پارامترهای مربوطه مانند هزینه واحد محصول و هزینه واحد حمل‌ونقل از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا حتی انحراف

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

جزئی در آن‌ها موجب تغییر قابل‌توجه در هزینه کل خواهد شد. لذا استفاده ازمدل‌های پیش-بینی یادگیری ماشین و یادگیری عمیق با دقت مناسب برای پیش‌بینی پارامترها توصیه می‌شود. برنامه‌ریزی برای اجاره وسایط نقلیه تحت ترخیص موقت فصلی جهت افزایش کارایی شبکه توزیع نیز توصیه می‌شود. همچنین توزیع کننده دوم در فصل دوم حمل‌ونقل سال سوم قابل ترخیص موقت جهت ارسال محموله‌های قطعات پلاستیکی خودرو خارج از محدوده شبکه توزیع تحت مطالعه است. با توجه تحمیل هزینه‌های تقریبا دو برابری در حالت نگهداشت موجودی دست کم بیش از تقاضای فصل بعدی جهت تاب‌آور نمودن شبکه توزیع قطعات خودرو، مدیران تصمیم‌گیرنده می‌توانند با تعدیل این شرط مثلا نگهداشت موجودی بیش از یک چهارم تقاضای فصل بعد تا حدی از شدت افزایش هزینه شبکه توزیع فصلی تاب‌آور و در نتیجه کاهش کارایی آن در مقایسه با حالت غیرتاب‌آور بکاهند.

٦ نتیجه‌گیری‌ها، محدودیت‌ها و پیشنهادات

مساله برنامه‌ریزی شبکه توزیع کالا در حالت فصلی بودن همزمان تقاضا و حمل‌ونقل با در نظرگرفتن شرایط تاب‌آوری مورد توجه قرار گرفت. یک مدل ریاضی خطی مختلط عدد صحیح چند دوره‌ای چند فصلی با در نظر گرفتن فصل‌های نامشابه برای تقاضا و حمل‌ونقل ارایه شد و در یک مطالعه موردی از شبکه توزیع قطعات خودرو در ایران حل شد. نتایج حل میزان حمل فصلی قطعات خودرو از توزیع‌کنندگان، سطح موجودی فصلی قطعات در مشتریان و موارد ترخیص موقت فصلی وسایط نقلیه را نشان داد. همچنین یکی از توزیع‌کنندگان در یکی از فصل‌های حمل‌ونقل ترخیص فصلی شده و محموله‌ای از آن به سمت مشترین ارسال نمی‌شود. علاوه براین مقایسه نتایج حل مدل تاب‌آور با حالت غیرتاب‌آور در مطالعه موردی نشان داد که هزینه‌های شبکه توزیع تاب‌آور تقریبا دو برابر حالت غیرتاب‌آور است که در این زمینه توصیه‌های مدیریتی لازم ارایه شد.

اگر چه مدل ارایه شده در مدت زمان بسیار کوتاهی حل شد اما تضمینی برای حل مدل در مدت زمان کم در حالت تعداد فصل‌های زیاد با طول کم در هر سال وجود ندارد. لذا توسعه الگوریتم‌های ابتکاری و فوق ابتکاری برای حل مدل‌های ریاضی برنامه‌ریزی شبکه‌های توزیع در حالت تعداد فصل‌های زیاد برای تحقیقات پیشنهاد می‌شود. از طرفی تمام پارامترها برای سه سال آینده به صورت قطعی پیش‌بینی شده‌اند که البته می‌تواند صحیح نباشد. لذا استفاده از رویکردهای مواجهه با عدم قطعیت مانند آنالیز حساسیت، بهینه-سازی استوار، برنامه‌ریزی فازی و آنالیز سناریو در تحقیقات مرتبط پیشنهاد می‌شود. در این ارتباط می‌توان از روشهای آنالیز حساسیت همزمان و یا یک فاکتور در هر بار متداول در آنالیز حساسیت برنامه‌ریزی تسهیلات استفاده نمود [۳۷-۴۱]. همچنین طول فصل‌ها لزوما یک عدد از پیش تعیین‌شده نیست و در هر لحظه‌ای امکان تغییر مقدار پارامترها به صورت از پیش تعیین نشده وجود دارد. لذا برنامه‌ریزی شبکه توزیع در حالت فصل‌های تصادفی به محققان علاقمند قابل پیشنهاد است. انتخاب وسایل حمل‌ونقل برای ترخیص موقت فصلی بر اساس معیارهایی چون پایداری زیست محیطی و قابلیت اطمینان می‌تواند در تحقیقات آتی مرتبط مورد توجه قرار گیرد.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

منابع

[1] Alizadeh, M., et al. (2019). Sustainable olefin supply chain network design under seasonal feedstock supplies and uncertain carbon tax rate. Journal of cleaner production, 222, 280-299.

[2] Sharma, S.K., et al., (2023). Supply chain vulnerability assessment for manufacturing industry. Annals of Operations Research, 326(2), 653-683.

[3] Chang, C.-T. and Chou, H.-C. (2013). A coordination system for seasonal demand problems in the supply chain. Applied mathematical modelling, 37(6), 3674-3686.

[4] Ehrenthal, J., Honhon, D., and Van Woensel, T. (2014). Demand seasonality in retail inventory management. European Journal of Operational Research, 238(2), 527-539.

[5] Grewal, C.S., Enns, S.T. and Rogers, P. (2015). Dynamic reorder point replenishment strategies for a capacitated supply chain with seasonal demand. Computers & Industrial Engineering, 80, 97-110.

[6] Sarkar, B. and Bhuniya, S. (2022). A sustainable flexible manufacturing–remanufacturing model with improved service and green investment under variable demand. Expert Systems with Applications, 202, 117154.

[7] Hussaini, Z., Nemati, A. and Paydar, M.M. (2025). A multi-period multi-season multi-objective mathematical model for guaranteeing the viability of supply chains under fluctuations: a healthcare closed-loop supply chain application. Annals of Operations Research, 1-46.

[8] Hussaini, Z., Nemati, A. and Paydar, M.M. (2024). Diverse-seasons-nested-in-periods mathematical models for investigating the economic effects of supply chain planning under simultaneous seasonal fluctuations. International Journal of Systems Science: Operations & Logistics, 11(1), 2328783.

[9] Zhu, A., Han, Y. and Liu, H. (2024). Effects of adaptive cooperation among heterogeneous manufacturers on supply chain viability under fluctuating demand in post-COVID-19 era: an agent-based simulation. International Journal of Production Research, 62(4), 1162-1188.

[10] Sisley, H., et al., (2023). Multi-product multi-region supply chain optimization for seasonal crops. International Journal of Production Research, 61(16), 5704-5722.

[11] Wolff, M., Becker, T. and Walther, G. (2023). Long-term design and analysis of renewable fuel supply chains–An integrated approach considering seasonal resource availability. European Journal of Operational Research, 304(2), 745-762.

[12] Xie, C., et al., (2023). Multi-period design and optimization of classified municipal solid waste supply chain integrating seasonal fluctuations in waste generation. Sustainable Cities and Society, 93,104522.

[13] Razmi, J., Kazerooni, M.P. and Sangari, M.S. (2016). Designing an integrated multi-echelon, multi-product and multi-period supply chain network with seasonal raw materials. Economic Computation & Economic Cybernetics Studies & Research, 50(1).

[14] Gurnak, V., Volynets, L. and Khalatska, I. (2019). Intellectualization of logistic supply chains on the basis of forecasting volumes of cargo transportation. in MATEC Web of Conferences. EDP Sciences.

[15] Hammer, J., et al., (2019). Identification of change seasonality of demand to transportation in road freight transport. Transportation Research Procedia, 40, 1059-1066.

[16] Magno, G.L.L., Ferrante, M. and De Cantis, S. (2017). A new index for measuring seasonality: A transportation cost approach. Mathematical Social Sciences, 88, 55-65.

[17] Kantari, L.A., et al., (2021). Investigating the mix of contract-based and on-demand sourcing for transportation services under fluctuate and seasonal demand. International Journal of Logistics Research and Applications, 24(3), 280-302.

[18] Vergori, A.S. and Arima, S. (2022). Transport modes and tourism seasonality in Italy: By air or by road? Tourism Economics, 28(3), 583-598.

[19] Najafi-Moallem, S., Nemati, A. and Arasteh, A. (2025). Viable logistic planning: a prescriptive analysis based on seasonal capacity layoff, stress tests, and sensitivity analysis. International Journal of Management Science and Engineering Management, 1-18.

[20] Karanam, R.K., et al., (2024). Resilient Supply Chains: Strategies for Managing Disruptions in a Globalized Economy. American Journal of Trade and Policy, 11(1), 7-16.

[21] Tordecilla, R.D., et al., (2021). Simulation-optimization methods for designing and assessing resilient supply chain networks under uncertainty scenarios: A review. Simulation modelling practice and theory, 106, 102166.

[22] Sawyerr, E. and Harrison, C. (2020). Developing resilient supply chains: lessons from high-reliability organisations. Supply Chain Management: An International Journal, 25(1), 77-100.

[23] Shishodia, A., et al., (2023). Supply chain resilience: A review, conceptual framework and future research. The International Journal of Logistics Management, 34(4), 879-908.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]

[24] Shekarian, M. and Mellat Parast, M. (2021). An Integrative approach to supply chain disruption risk and resilience management: a literature review. International Journal of Logistics Research and Applications, 24(5), 427-455.
[25] Chen, K.K. and Chang, C.-T. (2007). A seasonal demand inventory model with variable lead time and resource constraints. Applied mathematical modelling, 31(11), 2433-2445.
[26] Rodriguez, M.A. and Vecchietti, A. (2010). Inventory and delivery optimization under seasonal demand in the supply chain. Computers & Chemical Engineering, 34(10), 1705-1718.
[27] Banerjee, S. and Sharma, A. (2010). Inventory model for seasonal demand with option to change the market. Computers & Industrial Engineering, 59(4), 807-818.
[28] Quinlan, C., et al., (2012). Milk transport costs under differing seasonality assumptions for the Irish Dairy Industry. International journal of dairy technology, 65(1), 22-31.
[29] Huang, Y., Fan, Y. and Chen, C.-W. (2014). An integrated biofuel supply chain to cope with feedstock seasonality and uncertainty. Transportation Science, 48(4), 540-554.
[30] Xie, F., Huang, Y. and Eksioglu, S. (2014). Integrating multimodal transport into cellulosic biofuel supply chain design under feedstock seasonality with a case study based on California. Bioresource technology, 152, 15-23.
[31] Bekkering, J., et al., (2015). Designing a green gas supply to meet regional seasonal demand–An operations research case study. Applied energy, 143, 348-358.
[32] Domingues, R., Baringer, M. and Goni, G. (2016). Remote sources for year-to-year changes in the seasonality of the F lorida C urrent transport. Journal of Geophysical Research: Oceans, 121(10), 7547-7559.
[33] Canizes, B., et al., (2019). Optimal expansion planning considering storage investment and seasonal effect of demand and renewable generation. Renewable Energy, 138, 937-954.
[34] Sakulsom, N. and Tharmmaphornphilas, W. (2019). Heuristics for a periodic-review policy in a two-echelon inventory problem with seasonal demand. Computers & Industrial Engineering, 133, 292-302.
[35] Wang, Y., Wang, X. and Liu, A. (2020). Digital twin-driven supply chain planning. Procedia Cirp, 93,198-203.
[36] Alnahhal, M., Ahrens, D. and Salah, B. (2021). Optimizing inventory replenishment for seasonal demand with discrete delivery times. Applied Sciences, 11(23), 11210.
[37] Kordi, A. and Nemati, A. (2024). Simultaneous sensitivity analysis of mixed-integer location-allocation models using machine learning tools: cancer hospitals' network design. Operational Research, 24(2), 22.
[38] Haghshenas, M., Nemati, A. and Asadi-Gangraj, E. (2021). A bi-objective model for Cancer hospitals' location and cancer patients' allocation in Iran. Int J Hosp Res, 10(4), 1-18.
[39] Haghshenas, M., Nemati, A. and Asadi-Gangraj, E. (2023). Cancer-curing supply chain planning with regard to hospital bed-capacity efficiency: a plan for Iran in 2040. International Journal of Services and Operations Management, 45(2), 170-186.
[40] Haghshenas, M., Nemati, A. and Asadi-Gangraj, E. (2024), Using new fuzzy regression aptness and healthcare equity indices in cancer hospitals network design: a fuzzy multi-objective mathematical model. OPSEARCH, 1-35.
[41] Fattahi, M. and Nemati, A. (2025). A multi-objective model for environmentally sustainable healthcare facility location-allocation: child cancer hospitals establishment in Iran in 2030.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-28]

[DOI: 10.71773/jamlu-2025-3-2277]