



Vehicle Routing Problem for Perishable Products Distribution with Allocation of Labor Force in Routes

Ahmad Makui*, Mehdi Bashiri & Elham Samadpour

Ahmad Makui, Department Industrial Engineering, University of Science & Technology.

Mehdi Bashiri, Department Industrial Engineering, Shahed University.

Elham Samadpour, Department of Industrial Engineering, University of Science & Technology.

Keywords

Vehicle Routing,
Perishable Product,
Quality,
Driver Assistance,
Serviceman.

ABSTRACT

Nowadays distribution of perishable products has a high importance and loss of their quality makes much expenditures. Therefore, in this paper, an integrated model is presented for distribution of perishable goods for determining vehicle routing decisions. The model will decide about the driver and an assistance with their necessary skills. The aim of this model is to find optimal route for assigned vehicles to each distribution center to serve all of customers. Some numerical examples are illustrated and the results show that the proposed model can be used for optimal decisions of perishable products.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 2, All Rights Reserved



مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع کالاهای فسادپذیر با برنامه‌ریزی تخصیص نیروی انسانی در مسیرها

احمد ماکوئی*، مهدی بشیری و الهام صمدپور

چکیده:

توزیع سریع کالاهای فسادپذیر امروزه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از میان رفتن کیفیت این محصولات هزینه‌های بسیاری را ایجاد می‌کند. بدین منظور، در این تحقیق مدلی برای توزیع کالاهای فسادپذیر ارائه می‌شود که در آن تصمیمات مسیریابی برای توزیع این کالاها اتخاذ می‌گردد، از طرفی در صورت ضرورت، تنها امکان اعزام یک نفر به همراه راننده وجود دارد که این فرد یا کمک‌راننده یا نیروی خدماتی یا فردی دیگر با هر دو مهارت می‌باشد. در واقع هدف اصلی مدل، یافتن مسیریابی برای وسایل نقلیه است که در آن تمامی مشتریان کالا را دریافت کنند؛ در عین حال تعداد وسایل تخصیص داده شده به مرکز توزیع و میزان تغییر کیفیت، زمان تحویل کالا به هر مشتری و لزوم بکارگیری کمک راننده یا نیروی خدماتی یا فردی با هر دو مهارت تعیین می‌گردد. نتایج نشان می‌دهد که مدل ارائه شده می‌تواند جهت تصمیم‌گیری بهینه برای توزیع کالاهای فسادپذیر بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی

مسیریابی، کالاهای فسادپذیر، کیفیت، کمک راننده، نیروی خدماتی.

۱. مقدمه

کالاهای فاسدشدنی و کالاهایی با عمر کوتاه با گذشت زمان ارزش و کیفیت خود را از دست می‌دهند مانند میوه‌ها و سبزیجات، گوشت تازه، مواد رادیوداروها و... از این رو تامین و توزیع این کالاها یکی از چالش‌برانگیزترین و مهمترین مسائل برای سازمان‌ها و شرکت‌ها است. در واقع مدیریت، تامین و توزیع کالاهایی با عمر کوتاه و به خصوص مواد غذایی و دارویی مواردی هستند که بیشترین چالش‌ها را برای مدیریت زنجیره تامین به وجود می‌آورند؛ این چالش‌ها عمدتاً به علت تنوع در تعداد این کالاها، عمر کوتاه این محصولات و سروکار داشتن با سلامت انسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

تاریخ وصول: ۹۲/۱۰/۱۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۱۰/۱۶

مهدی بشیری، دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد تهران bashiri@shahed.ac.ir

الهام صمد پور، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران samadpoor.elham@gmail.com

*نویسنده مسئول مقاله: احمد ماکوئی، دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران amakui@iust.ac.ir

در ادبیات مربوط به کالاهای فسادپذیر بیشتر به مدیریت موجودی این کالاها توجه شده است و به توزیع این مواد از مراکز توزیع به مقصد نهایی توجه بسیار اندکی شده است. مواد فسادپذیر اغلب در طی مسیر به دلایل متعدد مانند مسافت طولانی، توقف‌های مکرر برای سرویس‌دهی به مشتری و حمل‌نقل نامناسب کیفیت خود را از دست می‌دهند که این موضوع توجه ما را به این سمت منعطف نموده است. امروزه، درصد هزینه‌های مربوط به حمل کالا تا رسیدن به مشتری نهایی درصد قابل توجهی از هزینه‌ها را تشکیل می‌دهد و از طرفی عدم توجه به توزیع این مواد سبب دورریز و از بین رفتن مطلوبیت و عدم رضایت مشتریان این دسته از کالاها خواهد شد [۱]. می‌شد در ادبیات مربوط به کالاهای فسادپذیر بیشتر به مدیریت موجودی این کالاها توجه شده است و به توزیع این مواد از مراکز توزیع به مقصد نهایی توجه بسیار اندکی شده است [۲].

کاربرد اصلی مسئله تحقیق مربوط به توزیع کالاهای فسادپذیر نظیر میوه، سبزیجات، خون، مواد رادیو داروها و توزیع بتن آماده و... است؛ البته باید به این نکته نیز توجه داشت که تابع فساد کالا برای مواد و محصولات مختلف متفاوت است که می‌توان با جایگزینی

نمودند [۱۳]. هسیو و همکاران یک مدل *VRP* با پنجره زمانی برای کالاهای فسادپذیر به منظور تعیین مسیرهای بهینه و بارگیری وسایل نقلیه ارائه نمودند که هدف مدل، کاهش هزینه‌های ثابت و متغیر توزیع، هزینه‌های فساد کالا و هزینه‌های انرژی به منظور سرمایه‌ش و سیله نقلیه و هزینه‌های تجاوز از پنجره زمانی است؛ همه این هزینه‌ها مربوط به هزینه‌های مسیریابی که در طول زمان ارسال اتفاق می‌افتد لحاظ شده است [۱۴].

اسوالدو همکاران یک الگوریتم متاهورستیک بر مبنای الگوریتم جستجوی ممنوعه برای توزیع سبزیجات تازه ارائه نمودند که در آن فساد کالا به عنوان یک فاکتور اساسی لحاظ می‌شود؛ در این مسئله، آنها سعی در مینم‌سازی هزینه توزیع کل که شامل تعداد وسایل نقلیه، فاصله پیموده شده کل و از دست رفتن کیفیت در طول زمان سفر است [۱۵]. در سال ۲۰۰۹ چن و همکاران مدل ریاضی غیرخطی با در نظرگیری زمان‌بندی تولید و مسیریابی با پنجره زمانی برای مواد غذایی ارائه نمودند [۱۶].

رونک و همکاران در سال ۲۰۱۱ مدل *MIP* برای تولید و توزیع کالاهای فسادپذیر ارائه نمودند؛ مدل آنها در مورد رشد میکروبی در پیش بینی عمر مفید محصول که متاثر از دمای حمل و نقل و موجودی کالا است. تابع هدف در این مدل شامل، هزینه‌های توزیع، انبار و علاوه بر آن هزینه‌های اضافی مربوط به سرمایه‌ش محصول به منظور افزایش طول عمر است [۱۷]. آمیرم و همکاران در سال ۲۰۱۲ مدل برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه را برای کالاهای فسادپذیر ارائه نمودند که این مدل برای دو حالت طول عمر ثابت و طول عمر کاهشی گسترش یافته است [۱۸].

بر اساس مقاله [۱۹] کاهش کیفیت مواد غذایی در انبار یا موقع حمل و نقل به زمان، دما و ثابت‌های مختلفی (مثل انرژی فعال‌سازی و ثابت گاز) بستگی دارد.

در سال ۲۰۰۸ اسلاوند تغییر کیفیت را در سه دوره در نظر گرفت، در دوره اول کیفیت کاهش می‌یابد ولی این کاهش کیفیت قابل تمییز و تشخیص نیست. در دوره دوم تغییرات کاهشی و قابل مشاهده است و در دوره سوم محصول پذیرفتنی نیست [۱۵].

هدف اصلی این تحقیق، مسیریابی برای توزیع کالاهای فسادپذیر است که هدف، تعیین تعداد وسایل نقلیه استقرار یافته در مرکز توزیع، تعیین مسیرهای ناوگان حمل و نقل، تعیین میزان کاهش کیفیت محصول زمان تحویل کالا به هر مشتری و تعیین لزوم بکارگیری نیروی خدماتی یا کمک‌راننده یا فردی با هر دو مهارت است. در این مسئله در صورت ضرورت، تنها امکان اعزام یک نفر به همراه راننده وجود دارد که این فرد یا کمک راننده یا نیروی خدماتی یا فردی با هر دو مهارت می‌باشد. نیروی خدماتی فقط در زمان تخلیه بار به راننده کمک می‌کند؛ چراکه با توجه به زمان تخلیه بار که سهم قابل توجهی از فساد کالا در زمان تخلیه بار به مشتری می‌باشد در مورد لزوم بکارگیری نیروی خدماتی برای

تابع فساد کالا برای محصولات مختلف میزان فسادپذیری را در طول مسیر بدست آورد و تصمیم‌گیری بهینه‌ای در مورد نحوه مسیریابی برای توزیع این نوع کالاها انجام داد. به عنوان مثال برای توزیع مواد رادیواکتیو و مواد رادیوداروها که برخی از این مواد بشدت ناپایدار هستند و دارای نیمه عمر می‌باشند، مطلوبیت استفاده از این مواد وابسته به طول عمر باقی مانده از آن خواهد بود [۳].

یکی از معیارهای سنجش اثربخشی مدیریت حمل و نقل، مسیریابی وسایل نقلیه می‌باشد. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، به عنوان اساسی‌ترین مسئله در مدیریت توزیع شناخته می‌شود و مقالات بسیار متعددی در این زمینه با فرضیات مختلف وجود دارد. ایده اولیه مساله مسیریابی وسایل نقلیه برای اولین بار توسط دنتزیگ و رامسر در سال ۱۹۵۹ در قالب یک مساله در حوزه حمل و نقل، توزیع و تدارکات مطرح گردید که نشان داد بکارگیری روش‌های مدیریتی و مباحث بهینه‌سازی در بحث حمل و نقل تاثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های مربوط به کالا را دارد. این مساله با فرضیات مختلف گسترش یافته است [۴]. مقالات موجود در این زمینه به دو دسته تقسیم می‌شود: مدل‌ها و الگوریتم‌ها لاپورته ۱۹۹۲ یک مقاله مروری در زمینه مسیریابی ارائه نموده است [۵]. از سایر مقالات مروری در زمینه *VRP* می‌توان به مقالات تات و ویگو بریگیلا و همکاران و نیز پاراگ و همکاران در سال ۲۰۰۸ اشاره نمود [۶-۸].

علی‌رغم اینکه مقالات متعددی در زمینه مسیریابی وجود دارد، ولی این مقالات کالاها را با طول عمر نامتناهی تصور نموده با وجود اینکه بسیاری از محصولات در طول زمان کیفیت خود را از دست می‌دهند و نمی‌توانند به مدت طولانی نگهداری شوند. فساد کالا امری است که برای بسیاری از محصولات در دنیای واقعی با گذشت زمان رخ می‌دهد چنانچه نرخ فساد قابل چشم‌پوشی نباشد لحاظ کردن آن در مدل‌سازی سیستم امری ضروری می‌باشد. ترانتلیس و کیراندیس در سال ۲۰۰۱ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع شیر تازه در یونان را با وسایل نقلیه ناهمگن مدل نموده و الگوریتمی برای حل مساله ارائه نمودند [۹]. در سال ۲۰۰۲ همین نویسندگان توزیع مواد پروتئینی را در نظر گرفته و آنها مسئله را بعنوان مسئله مسیریابی باز چند دپوئی مدل نمودند [۱۰]. البته نکته قابل توجه این است که در این مقالات، هیچ فرض اضافی به دلیل فسادپذیر بودن محصولات لحاظ نشده است. در سال ۲۰۰۵ راسدینس و تسانو، مدل موجودی، مسیریابی با در نظر گرفتن پنجره زمانی، با هدف بهینه‌سازی هزینه‌های موجودی و مسیریابی ارائه نمودند [۱۱]. در سال ۲۰۰۷ ناسو و همکاران الگوریتم ژنتیکی برای زمان‌بندی تولید و توزیع مواد غذایی پیشنهاد نمودند [۱۲]. در همین سال زانونی و زاولنا نیز الگوریتم هیورستیکی برای ارسال محصولات فسادپذیر از یک فروشنده به یک خریدار با حداقل نمودن هزینه‌های موجودی و حمل و نقل ارائه

مشتریان به یکدیگر است. در مورد زمان حمل‌ونقل بر روی یال‌های
اتصال‌دهنده نیز نامساوی زیر برقرار است: $(t_{ij} \leq t_{ik} + t_{kj})$

۲-۱. مفروضات مدل

مفروضات این مدل عبارتند از:

- محصول فسادپذیر است.
- کیفیت محصول در طول مسیر کاهش می‌یابد.
- در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت کالا برای وسایل نقلیه.
- تغییر کیفیت در طول مسیر تابعی از زمان طی مسیر و زمان سرویس‌دهی خواهد بود.
- طول افق برنامه‌ریزی محدود و تنها برای یک دوره زمانی است.
- وسایل نقلیه همگن می‌باشند.
- از یک مسیر نباید بیش از یک وسیله نقلیه برای مشتریان یکسان استفاده شود.
- خرابی وسایل نقلیه و یا هرگونه اتفاق پیش‌بینی نشده غیرمجاز است.

۲-۲. مجموعه‌ها و پارامترهای ورودی مدل

۲-۲-۱. مجموعه‌ها

V : مجموعه مشتریان و مرکز توزیع $V = \{I_0\} \cup \{J\}$

J : مجموعه مشتریان

K : مجموعه وسایل نقلیه

۲-۲-۲. پارامترها

d_j : تقاضای مشتری j

M : مقدار بزرگ

F_i : هزینه اولیه بکارگیری وسیله نقلیه

m_0 : هزینه بکارگیری وسیله نقلیه در واحد زمان

m_1 : هزینه بابت تغییر کیفیت

m_2 : هزینه بکارگیری نیروی خدماتی

m_3 : هزینه بکارگیری کمک‌راننده

m_4 : هزینه بکارگیری فردی با هر دو مهارت

Q : ظرفیت وسیله نقلیه

$f(d_j)$: تابعی از تقاضای مشتری j - زمان تخلیه بار تابعی از

میزان تقاضای مشتری j خواهد بود.

t_{ij} : زمان رسیدن از گره i به گره j

$Lifetime$: طول عمر محصول

C_{ij} : فاصله بین مشتری i و j

کاهش زمان تخلیه بار تصمیم‌گیری می‌شود؛ از طرفی اگر زمان بازگشت هر وسیله به مرکز توزیع از حد مجاز بالاتر باشد نیاز به کمک‌راننده محسوس است و ممکن است با توجه به شرایط، لزوم بکارگیری فردی با هر دو مهارت محسوس باشد. در این مقاله هدف، کمینه کردن هزینه‌های کل سیستم که شامل هزینه استفاده از ناوگان حمل‌ونقل، هزینه تغییر کیفیت کالا، هزینه بکارگیری کمک‌راننده یا نیروی خدماتی یا فردی با هر دو مهارت می‌باشد.

ادامه مقاله بصورت زیر سازماندهی شده است، در بخش ۳ مدل ریاضی مربوطه ارائه می‌گردد، در بخش ۴ نتایج محاسباتی حاصل از مدل مطرح می‌گردد و در بخش ۵ پیشنهادات آتی مسئله مطرح خواهد شد.

در بخش بعد مفروضات مدل، اهداف و مدل پیشنهادی ارائه شده و سپس نتایج حاصل ارائه می‌گردد.

۲. تعریف مسئله

در این مقاله به ارائه مدل برای توزیع کالاهای فسادپذیر پرداخته می‌شود که شبکه توزیع شامل دو دسته از نقاط می‌باشد؛ مشتریان که باید تقاضای آن‌ها برآورده شود و مرکز توزیع که باید کالا از طریق آن به مشتریان منتقل گردد.

هدف این مقاله یافتن مسیریابی برای وسایل نقلیه است که در آن تمامی مشتریان کالا را دریافت کنند و با توجه به کاهش کیفیت کالا که در زمان تخلیه بار به مشتری به اندازه δ برابر بیشتر از سایر مواقع است آیا نیازی به بکارگیری نیروی خدماتی به منظور تسریع در امر تخلیه بار خواهد بود یا خیر؛ چرا که در صورت وجود نیروی خدماتی میزان زمان تخلیه بار به نصف تقلیل می‌یابد؛ از طرفی اگر زمان بازگشت هر وسیله به مرکز توزیع از حد مجاز بالاتر باشد نیاز به کمک‌راننده محسوس است؛ البته ممکن است در شرایطی نیاز به فردی باشد که هر دو مهارت کمک‌رانندگی و تخلیه بار را انجام دهد که این مدل سعی در بهینه‌سازی همزمان موارد فوق دارد.

تعداد وسایل تخصیص داده شده به مرکز توزیع و میزان تغییر کیفیت کالا زمان تحویل آن به هر مشتری تعیین می‌شود. (میزان تغییر کیفیت کالا در مسیر تعیین می‌شود) تغییر کیفیت محصول تابعی از زمان رسیدن به هر مشتری و مدت زمان سرویس‌دهی برای آن مشتری خواهد بود.

در این تحقیق سیستم لجستیک یک طبقه‌ای بر روی گراف بدون جهت $G=(V,E)$ تعریف می‌شود. مجموعه گره‌های این گراف، V شامل مرکز توزیع (I_0) و مشتریان (J) است و $V = \{I_0\} \cup \{J\}$. یال‌های بدون جهت (E) مجموعه کلیه یال‌های ارتباطی موجود در گراف شبکه توزیع اتصال‌دهنده مرکز توزیع به مشتریان و

$$\sum_{j \in J} \sum_{i \in V} d_j \cdot x_{ijk} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$U_j \geq f(d_j) \cdot (2 - sm_k) - \left(1 - \sum_{i \in V} x_{ijk}\right) \cdot M \quad \forall j \in J, k \in K \quad (5)$$

$$T_j \geq T_i + t_{ij} + u_i - (1 - x_{ijk}) \quad \forall i \in V, \forall j \in J, k \in K \quad (6)$$

$$T_0 = 0, u_0 = 0 \quad (7)$$

$$TD_{0k} \geq T_j + t_{j0} + u_j - (1 - x_{j0k}) \cdot M \quad \forall j \in J, k \in K \quad (8)$$

$$TD_{0k} \leq ah \cdot (1 + da_k) \quad \forall k \in K \quad (9)$$

$$b_j = \frac{T_j + \delta \cdot u_j}{lifetime} \quad \forall j \in J \quad (10)$$

$$b_j \leq \gamma \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$s1_k = \max(0, sm_k - da_k) \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$s2_k = \max(0, da_k - sm_k) \quad \forall k \in K \quad (13)$$

$$s3_k = sm_k * da_k \quad \forall k \in K \quad (14)$$

$$x_{ijk}, s1_k, s2_k, s3_k, \in \{0,1\} \quad \forall i, j, k \quad (15)$$

$$b_j \geq 0, T_j \geq 0$$

محدودیت (۱) نشان می‌دهد که از هر مشتری تنها به یک مشتری دیگر و تنها با یک وسیله می‌توان رفت.
محدودیت (۲) نشان‌دهنده آنست که هر وسیله ورودی باید در نهایت این گره را ترک کند.
محدودیت (۳) نشان می‌دهد که هر وسیله حداکثر یک بار می‌تواند از مرکز توزیع شروع به حرکت نماید.
محدودیت (۴) محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه می‌باشد.

ah : ساعات مجاز (یک مقدار ثابت) - اگر زمان بازگشت هر وسیله نقلیه به مرکز توزیع از این مقدار بیشتر باشد باید در آن وسیله کمک راننده باشد.

۳-۲-۳. متغیرهای تصمیم

x_{ijk} : اگر وسیله ($k \in K$) مستقیماً از گره ($i \in V$) به گره ($j \in V$) عبور کند.

$S1_k$: اگر نیروی خدماتی در وسیله k اعزام گردد.

$S2_k$: اگر کمک راننده در وسیله k اعزام گردد.

$S3_k$: اگر فردی با هر دو مهارت اعزام گردد.

(sm_k) متغیر نیروی خدماتی در وسیله k و (da_k) متغیر کمک راننده در وسیله k می‌باشد که اگر هر دو مورد نیاز باشد فردی با هر دو مهارت به همراه راننده اعزام می‌گردد.

T_j : زمان رسیدن وسیله نقلیه به گره j

U_j : میزان زمان توقف وسیله نقلیه در گره j (که تابعی از وجود کمک راننده خواهد بود).

b_j : میزان تغییر (کاهش) کیفیت کالا زمان تحویل کالا به مشتری j

TD_{0k} : زمان بازگشت وسیله k به مرکز توزیع

۳-۲-۳. مدل ریاضی پیشنهادی

تابع هدف این مدل شامل موارد زیر است :

مجموع هزینه‌های مسیریابی، هزینه بکارگیری ناوگان حمل-ونقل، هزینه استفاده از وسیله نقلیه در واحد زمان تا زمان بازگشت به مرکز توزیع، هزینه فساد کالا و میزان هزینه بکارگیری کمک راننده یا نیروی خدماتی یا فردی با هر دو مهارت.

$$\min \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} C_{ij} \cdot x_{ijk} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} Fi \cdot x_{0jk} + m_0 \sum_{k \in K} TD_{0k} + m_1 \cdot \sum_{j \in J} d_j \cdot b_j + m_2 \sum_{k=1}^K s1_k + m_3 \cdot \sum_{k \in K} s2_k + m_4 \cdot \sum_{k \in K} s3_k$$

s.t.

$$\sum_{j \in V} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in V / \{I_0\} \quad (1)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{jik} = 0 \quad \forall i \in V, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in J} x_{0jk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

محدودیت (۱۴) اگر فردی با هر دو مهارت کمک رانندگی و نیروی خدماتی مورد نیاز باشد.
محدودیت (۱۵) مربوط به نوع متغیرهای مدل می باشد.

۳. ارائه مدل با محدودیت های خطی

در مدل مذکور مشاهده می شود که محدودیت (۱۴) محدودیت غیرخطی است این محدودیت را می توان بصورت زیر نوشت:

$$s3_k \geq da_k + sm_k - 1$$

$$2 * s3_k \leq da_k + sm_k$$

۴. نمونه های عددی

اکنون برای بررسی اعتبار مدل پیشنهادی، به حل مثال عددی پرداخته و نتایج حاصله ارائه می گردد. در این مقاله، این مسئله با اندازه کوچک و با پارامترهای متفاوت در نظر گرفته شده است مقادیر هر یک از پارامترهای مدل مطابق با جداول زیر استخراج شده اند.

مثال:

در این مساله فرض می شود ۷ مشتری، یک مرکز توزیع و ۳ وسیله نقلیه موجود است. ساعات مجاز بازگشت وسیله نقلیه ۸ ظرفیت و وسائل نقلیه ۳۰۰ می باشد. در جداول ۱ تا ۳ هزینه بکارگیری کمک راننده ۸۰ هزینه بکارگیری نیروی خدماتی ۱۰۰ و هزینه بکارگیری فردی با هر دو تخصص ۱۵۰ می باشد.

محدودیت (۵) محدودیتی است برای مدت زمان سرویس دهی به مشتری که این مدت زمان تابعی از وجود نیروی خدماتی خواهد بود.

محدودیت (۶) زمان رسیدن وسیله نقلیه به هر مشتری را نشان می دهد.

محدودیت (۷) زمان شروع از مرکز توزیع صفر و زمان سرویس دهی در مرکز توزیع صفر لحاظ شده است.

محدودیت (۸) زمان بازگشت هر وسیله نقلیه به مرکز توزیع را نشان می دهد.

محدودیت (۹) نشان دهنده آنست که اگر زمان بازگشت هر وسیله نقلیه به مرکز توزیع از مقدار معینی بیشتر باشد باید همراه راننده در آن وسیله، کمک راننده باشد.

محدودیت (۱۰) میزان فساد کالا را نشان می دهد که تابعی از زمان رسیدن به هر مشتری و مدت زمان سرویس دهی به آن مشتری خواهد بود فساد کالا در زمان تخلیه بار به اندازه δ برابر، بیشتر از زمانی که کالا در وسیله نقلیه است خواهد بود؛ چرا که فساد کالا در کامیون به علت سیستم خاص سرمایشی وسیله نقلیه کمتر از زمان سرویس دهی زمانیکه کالا از وسیله نقلیه خارج می شود خواهد بود.

محدودیت (۱۱) میزان تغییر کیفیت باید از مقدار معین γ کمتر باشد.

محدودیت (۱۲) اگر نیروی خدماتی مورد نیاز باشد.

محدودیت (۱۳) اگر کمک راننده مورد نیاز باشد.

جدول ۱. تحلیل حساسیت بر روی هزینه فساد کالا

شماره	هزینه کل	فردی با هر دو	فردی به عنوان	فردی به عنوان	تعداد وسائل	طول عمر	هزینه فساد
		S3	S1	راننده خدماتی	کمک	استفاده	۱۰۰
				S2			
۱	۲۲۸۲	۱	۰	۰	۱	۵۰۰	۰.۵
۲	۳۳۷۱	۲	۰	۰	۲	۵۰۰	۱
۳	۹۵۷۸	۱	۲	۰	۳	۵۰۰	۵

جدول ۲. تحلیل حساسیت بر روی طول عمر محصول

شماره	هزینه کل	فردی با هر دو	فردی به عنوان	فردی به عنوان	تعداد وسائل	طول عمر	هزینه فساد
		S3	S1	نیروی خدماتی	کمک	استفاده	۱۰۰
				S2			
۱	۲۶۳۶	۱	۰	۰	۱	۸۰۰	۱
۲	۳۳۷۱	۲	۰	۰	۲	۵۰۰	۱
۳	۵۸۷۳	۱	۲	۰	۳	۲۰۰	۱

جدول ۳. تحلیل حساسیت بر روی هزینه بکارگیری وسایل نقلیه

شماره	هزینه کل	فردی با هر دو	فردی به	فردی به	تعداد وسایل	طول عمر	هزینه بکارگیری
		تخصص	عنوان	عنوان	مورد استفاده	محصول	وسیله نقلیه
		S3	S1	S2			
۱	۴۷۰۰	۱	۰	۰	۱	۵۰۰	۱۵۰۰
۲	۳۳۷۱	۲	۰	۰	۲	۵۰۰	۵۰۰
۳	۲۷۴۰	۱	۱	۰	۳	۵۰۰	۲۰۰

۲۰۰ می باشد و هزینه فساد کالا به ازای هر واحد ۰,۲ فرض شده

است.

در جدول ۴ هزینه بکارگیری کمک راننده ۱۰۰، هزینه بکارگیری نیروی خدماتی ۱۰۰ و هزینه بکارگیری فردی با هر دو مهارت

جدول ۴. تحلیل حساسیت بر روی ساعت مجاز بازگشت وسایل نقلیه

شماره	هزینه کل	فردی با هر دو	فردی به	فردی به	تعداد وسایل	طول عمر	ساعات مجاز
		تخصص	عنوان	عنوان	مورد استفاده	محصول	بازگشت
		S3	S1	S2			وسیله نقلیه
۱	۱۵۸۱	۱	۰	۰	۱	۵۰۰	۸۰
۲	۱۹۲۴	۱	۰	۱	۲	۵۰۰	۵۰
۳	۲۶۰۱	۱	۰	۲	۳	۵۰۰	۴۰

ونقل، تعیین میزان کاهش کیفیت محصول زمان تحویل کالا به هر مشتری، و تعیین لزوم بکارگیری نیروی خدماتی یا کمک راننده یا فردی با هر دو مهارت است.

مدل به صورت برنامه‌ریزی عدد صحیح خطی مختلط (MIP) که دارای محدودیت‌های غیر خطی بود ارائه گردید. در مرحله بعد محدودیت‌های غیرخطی با استفاده از روش‌های خطی‌سازی به صورت خطی درآمدند و نتایج برای اندازه‌های کوچک از مسئله ارائه شد. مسئله ذکر شده در این مقاله از نوع NP-Hard بوده و برای حل مدل در ابعاد بزرگتر استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری توصیه می‌گردد؛ از طرفی در نظر گرفتن تصمیمات مربوط به موجودی در مراکز توزیع با توجه به فساد کالا و وارد نمودن عدم قطعیت در مدل می‌تواند از زمینه‌های جالب برای ادامه تحقیقات در حوزه لجستیک و مدیریت زنجیره تامین باشد.

مراجع

- [1] P. Amorim, H. Meyr, C. Almeder, and B. Almada-Lobo, "Managing perishability in production-distribution planning: a discussion and review," *Flexible Services and Manufacturing Journal*, pp. 1-25, 2011.

بر اساس نتایج جدول (۱) ملاحظه می‌شود که هر چه هزینه فساد کالا افزایش یابد تعداد وسایل مورد استفاده افزایش یافته و نیروی خدماتی مورد استفاده یا فردی با هر دو مهارت به منظور تسریع در تحویل کالا افزایش خواهد یافت. در جدول (۲) هر چه طول عمر محصول کاهش یابد، تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده افزایش یافته و نیروی خدماتی مورد استفاده و یا فردی با هر دو تخصص افزایش خواهد یافت. در جدول (۳) نیز هر چه هزینه بکارگیری وسیله نقلیه افزایش یابد تعداد وسایل نقلیه مورد استفاده کمتر شده و در نتیجه یک وسیله زمان بیشتری در طول مسیر خواهد بود. در جدول (۴) نیز با کاهش ساعات مجاز بازگشت وسیله نقلیه میزان وسایل نقلیه مورد استفاده افزایش می‌یابد که منجر به افزایش هزینه‌های کل سیستم خواهد شد.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله به مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع کالاهای فسادپذیر پرداخته شد. هدف اصلی این تحقیق، تعیین تعداد وسایل نقلیه استقرار یافته در مرکز توزیع و تعیین مسیرهای ناوگان حمل

- European Journal of Operational Research, vol. 177, pp. 2069-2099, 2007.
- [13] S. Zanoni and L. Zavanella, "Single-vendor single - buyer with integrated transport-inventory system: Models and heuristics in the case of perishable goods," *Computers & Industrial Engineering*, vol. 52, pp. 107-123, 2007.
- [14] C.-I. Hsu, S.-F. Hung, and H.-C. Li, "Vehicle routing problem with time-windows for perishable food delivery," *Journal of Food Engineering*, vol. 80, pp. 465-475, 2007.
- [15] A. Osvald and L. Z. Stirn, "A vehicle routing algorithm for the distribution of fresh vegetables and similar perishable food," *Journal of food engineering*, vol. 85, pp. 285-295, 2008.
- [16] H.K. Chen, C.-F. Hsueh, and M.-S. Chang, "Production scheduling and vehicle routing with time windows for perishable food products," *Computers & operations research*, vol. 36, pp. 2311-2319, 2009.
- [17] A. Rong, R. Akkerman, and M. Grunow, "An optimization approach for managing fresh food quality throughout the supply chain," *International Journal of Production Economics*, vol. 131, pp. 421-429, 2011.
- [18] P. Amorim, H.-O. Günther, and B. Almada-Lobo, "Multi-objective integrated production and distribution planning of perishable products," *International Journal of Production Economics*, vol. 138, pp. 89-101, 2012.
- [19] B. Fu and T. P. Labuza, "Shelf-life testing: procedures and prediction methods," in *Quality in frozen food*, Springer, pp. 377-415, 1997.
- [2] I. Z. Karaesmen, A. Scheller-Wolf, and B. Deniz, "Managing perishable and aging inventories: review and future research directions," in *Planning production and inventories in the extended enterprise*, ed: Springer, 2011, pp. 393-436.
- [3] M. Bakaç, A. K. Taşoğlu, and G. Uyumaz, "Modeling radioactive decay," *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, vol. 15, pp. 2196-2200, 2011.
- [4] G. Dantzig, and J.H. Ramser "The truck dispatching problem", *Management Science*, Vol. 6, pp. 80-91, 1959.
- [5] G. Laporte, "The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms," *European Journal of Operational Research*, vol. 59, pp. 345-358, 1992.
- [6] P. Toth and D. Vigo, "The vehicle routing problem," *SIAM Philadelphia*, 2002.
- [7] G. Berbeglia, J.-F. Cordeau, I. Gribkovskaia, and G. Laporte, "Static pickup and delivery problems: a classification scheme and survey," *Top*, vol. 15, pp. 1-31, 2007.
- [8] S. N. Parragh, K. F. Doerner, and R. F. Hartl, "A survey on pickup and delivery problems," *Journal für Betriebswirtschaft*, vol. 58, pp. 21-51, 2008.
- [9] C. Tarantilis and C. Kiranoudis, "A meta-heuristic algorithm for the efficient distribution of perishable goods," *Journal of Food Engineering*, vol. 50, pp. 1-9, 2001.
- [10] C. Tarantilis and C. Kiranoudis, "Distribution of fresh meat," *Journal of Food Engineering*, vol. 5, pp. 85-91, 2002.
- [11] A. Rusdiansyah and D.-b. Tsao, "An integrated model of the periodic delivery problems for vending-machine supply chains," *Journal of Food Engineering*, vol. 70, pp. 421-434, 2005.
- [12] D. Naso, M. Surico, B. Turchiano, and U. Kaymak, "Genetic algorithms for supply-chain scheduling: A case study in the distribution of ready-mixed concrete,"