فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هجدهم/ شماره ۶۳ / بهار ۱۴۰۲

مکان‌یابی و مسیریابی زنجیره تأمین پایدار در فروشگاه‌های آنلاین

حسین فیروزی
معاونت مهندسی خودروسازی سایپا سیتروئن
جواد رضائیان (نویسنده مسؤول)
دانشیار مدیریت صنعتی، دانشگاه علوم و فنون مازندران
Email: j.rezaeian@ustmb.ac.ir
علیرضا رشیدی کمیجان
استادیار مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
محمدمهدی موحدی
دانشیار مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۱ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

چکیده

یکی از مهم‌ترین مشکلات شرکت‌های توزیع (بالاخص فروشگاه‌های آنلاین بزرگ)، طراحی موقعیت بازاندازها، مسیریابی وسایل نقلیه و بهینه‌سازی شبکه توزیع تأمین است. در این پژوهش به مکان‌یابی مراکز توزیع فروشگاه آنلاین دیجی‌کالا پرداخته شده است. یک مسأله مکان‌یابی – مسیریابی چندهدفه با در نظر گرفتن اصل پایداری و محدودیت زمانی با روش‌های فراابتکاری توسعه داده شده است. براساس نتایج مدل پیشنهادی اثر تقاضا بر سه هدف زمان، هزینه و مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی بررسی گردید و نشان داده شد که اگر تقاضا افزایش یابد اثر بیشتر بر زمان به‌وجود می‌آید. به‌عبارت دیگر افزایش تقاضا می‌تواند خلل‌هایی را ایجاد کند که در نتیجه آن زمان تحویل افزایش یافته و لذا این امر می‌تواند در بلندمدت منجر به نارضایتی مشتری شود. افزایش میزان اشتغال نیز منجر به بهتر شدن مسائل زیست‌محیطی می‌شود اما اثری بر هزینه و زمان ندارد. همچنین هزینه حمل کالا اثری بر مسائل زیست‌محیطی و زمان ندارد اما منجر به افزایش هزینه می‌شود.

کلمات کلیدی: اسلات زمانی، زنجیره تأمین پایدار، فروشگاه آنلاین، مسیریابی، مکان‌یابی.

۱-مقدمه

امروزه مدیریت جریان کالا و ارسال آن به مشتریان، بیش از گذشته، پیچیده و مهم شده است (Musa, Arnaout & Jung, 2010; Formentini, 2021). تنوع محصولات و افزایش سطح انتظارات مشتریان در کنار پیدایش فناوری‌های جدید در حوزه توزیع باعث شده است تا سیستم توزیع به خصوص برای بنگاه‌های کوچک و متوسط به دلیل محدودیت‌های بودجه‌ای و فنی به صورت یک چالش اساسی تبدیل شود. در این راستا یکی از مهم‌ترین مسائلی که توجه بیشتر سازمان‌ها را به خود جلب کرده است طراحی و ایجاد شبکه زنجیره تامین کارا و کم هزینه و چالاک است. بنگاه‌ها مجبور هستند در زنجیره‌های تامینی که قدرت اصلی آن در دست مشتریان است به حیات خود ادامه داده و رشد کنند. بدین سبب، لازم است که مدیران با آینده‌نگری مناسب در برخورد با اتفاقات و پیشامدهای آینده برخوردی فعالانه و تصمیماتی صحیح اتخاذ نمایند. هدف پژوهش حاضر، تعیین تعداد و موقعیت تسهیلات، نقش، ظرفیت و تخصیص آنها به منابع و نحوه ذخیره‌سازی و تعیین میزان حمل کالاهای مختلف از مبادی گوناگون به مقاصد متفاوت در شبکه توزیع می‌باشد (Musa, Arnaout & Jung, 2010). در این مساله کلیه این مجهولات بایستی به گونه‌ای تعیین شوند که تقاضای تمامی مشتریان با کمترین هزینه و با توجه به محدودیت‌های موجود، برآورده گردد. یک طراحی مناسب شبکه زنجیره تامین منجر به دستیابی به یک ساختار بهینه می‌شود که این امر مدیریت موثر و رقابتی زنجیره تامین را امکان‌پذیر می‌نماید (Ali Ahmadi & Nahaie, 2007). قابل ذکر است که در تفکر سنتی مدیریت زنجیره تامین، برای هر کانال فروش، مکانیزم‌های توزیع جداگانه‌ای تعریف و برقرار می‌شد. امروزه، شرکت‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که این تفکر باعث افزایش هزینه‌های نگهداری موجودی، نیروی کار و خدمات لجستیکی می‌شود. در تفکر امروزی، شرکت‌ها اقدام به ترکیب موجودی‌ها در یک مرکز توزیع واحد و مدیریت جریان‌های کاری مختلف داخل آن مرکز توزیع جهت هدایت هر کانال فروش می‌نمایند.

از طرفی افزایش هزینه‌های حمل و نقل در سالیان آتی محرز بوده و با توجه به بالا بودن سهم هزینه‌های حمل و نقل در کل هزینه‌های زنجیره تامین، بایستی در طراحی شبکه تامین مدنظر قرار گیرد. با این توضیح، بهینه‌سازی ادغامی شبکه تامین و مسیرهای حمل‌ونقل با بهره‌گیری از مکانیزمی جهت ترکیب و تجمیع بارها برای دستیابی به مقیاس اقتصادی در حمل‌ونقل بار به عنوان یک رویکرد اثربخش در جهت طراحی شبکه تامین کارا به شمار می‌رود. مراکز توزیع از عناصر اصلی شبکه تامین هستند که دریافت کالا از چندین تامین‌کننده مختلف، ترکیب کالاها و ارسال محموله‌های مناسب با نیاز مشتریان مختلف را تسهیل می‌نمایند. این مراکز توزیع می‌توانند یک انبار ساده و سنتی باشند و یا مکانیزمی کاراتر در کاهش هزینه‌های نگهداری و حمل و نقل با مفهوم "مرکز توزیع یا بارانداز[1]" در این مراکز مستقر گردند.

قابل ذکر است که در عصر امروز، بسیاری از بزرگترین برندهای خرده فروشی در جهان متعهد به اجرای شیوه‌های زنجیره تامین پایدارتر شده‌اند. خرده فروشان بزرگ فعالانه زنجیره تامین خود را بررسی می‌کنند و به شدت در تلاش هستند تا زنجیره تامین خود را پایدارتر کنند. آن‌ها با تثبیت تعهد خود از طریق امضای پیمان، قصد دارند تا سال ۲۰۵۰ انتشار کربن را به صفر برسانند و به طور پایدار مواد خام را در تلاش برای کاهش مواد شیمیایی ضایعات در منابع آب و اقیانوس‌ها، حذف پلاستیک‌های یکبار مصرف در تجارت به دست آورند. از آنجایی که شرکت‌های بیشتری کانال‌های D2C را به استراتژی‌های توزیع خود اضافه می‌کنند تا بتوانند بخش بیشتری از بازار تجارت الکترونیک و آنلاین را به خود اختصاص دهند، هجوم قابل توجهی از سفارش‌ها وجود دارد (Parker, 2020). لذا این سفارشات شامل تحویل به منزل مصرف‌کننده است به وسیله فروش آنلاین می‌باشد. تهیه و بسته-بندی هر سفارش به صورت جداگانه و سپس انجام این موارد منجر به مصرف منابع بیشتر می‌شود. با تحویل بیشتر به مکان‌های بیشتر، این امر به نوبه خود منجر به انتشار کربن بیشتر می‌شود. علاوه بر این، وقتی صحبت از کانال‌های D2C یا آنلاین می‌شود، مشتریان فقط می‌توانند موارد را به صورت آنلاین و بدون بازرسی فیزیکی یا لمس موارد انتخاب کنند. در نتیجه، بسیاری از مشتریان به دلیل احساس نارضایتی از اقلام، مستعد بازگشت اقلام هستند (Formentini, 2021). طبق آخرین تحقیقات،

[1]. Cross-dock

۳۰ تا ۵۰ درصد از مشتریان ترجیح می‌دهند اقلام را برگردانند زیرا از اندازه و تناسب آن احساس نارضایتی می‌کنند. در نتیجه، خرده‌فروشان اغلب نیاز دارند تا محصولات جایگزین را برای مشتریان ارسال کنند و همزمان با اقلام آسیب‌دیده یا بازگردانده شده دست به کار شوند. این به معنای سفرهای بیشتر به یک مکان برای یک سفارش است که به معنای مصرف انرژی و ردپای کربن بیشتر است. اغلب شرکت‌ها هنوز مطمئن نیستند که با اقلام برگشتی چه کنند، به خصوص اگر آسیب دیده باشند. در این موارد، شرکت‌ها معمولاً این موارد را انتخاب می‌کنند که منجر به هدر رفتن می‌شود. به جای دور انداختن این اقلام برگشتی، شرکت‌ها می توانند شروع به بررسی نحوه فروش مجدد، استفاده مجدد، ساخت مجدد، نوسازی یا تغییر کاربری این اقلام کنند. با این حال، قبل از جمع‌آوری و استفاده مجدد از اقلام برگشتی، شرکت‌ها برای حمایت از این تلاش‌ها باید فرآیند بازگشت قوی و قوی داشته باشند. لذا در این خصوص چند موضوع مهم قابل بررسی است که شامل مکان‌یابی، مسیریابی، زنجیره تأمین پایدار و فروشگاه‌های آنلاین می‌باشد (Bouchery, Corbett, Fransoo & Tan, 2016).

در انتها لازم به ذکر است که در این تحقیق بر اساس نیاز شبکه تامین صنعت فروشگاه‌های آنلاین بر مساله طراحی یک زنجیره شبکه تامین کارا تمرکز گردیده است که البته با توجه به توضیحات فوق برای در نظر گرفتن جوانب مهم تصمیم‌گیری و جلوگیری از تله جواب‌های زیر بهینه، ترکیب مساله مکانیابی بارانداز و مساله مسیریابی حمل و نقل بطور همزمان و با در نظر گرفتن اهداف چندگانه و متضادی که معمولا مورد توجه مدیران می‌باشد، مدلسازی شده است. از آنجایی‌که تصمیمات کلان با افق برنامه‌ریزی بلند مدت بسیار پرخطر و پرهزینه بوده و از طرفی دیگر، داده‌ها در دنیای واقعی از عدم قطعیت بالایی برخوردارند، بنابراین برای کاهش ریسک‌های تصمیمات کلان در طراحی زنجیره تامین، مدل ادغامی یاد شده با در نظر گرفتن زنجیره تامین پایدار و محدودیت پنجره زمانی تکمیل شده است. نوآوری‌های این تحقیق علاوه بر رویکرد جدید در ارائه مدل ادغامی و در نظر گرفتن پارامترهای متناظر با دنیای واقعی، تکنیک‌های حل در فضای بسیار پیچیده مدل برنامه‌ریزی چندهدفه و روش‌های حل کارا برای رسیدن به جواب‌های تقریبا بهینه می‌باشد.

۲- روش شناسی پژوهش

الف) مرور ادبیات

توزیع[2] اشاره به مرحله ای دارد که محصول از مرحله تامین کننده به مرحله مشتری در زنجیره تامین، ذخیره و منتقل می‌گردد. بدین منظور مواد اولیه و اجزاء و قطعات از تامین‌کنندگان به سازندگان (تولیدکنندگان) منتقل گردیده و تولیدات نهایی از سازندگان به مشتریان نهایی منتقل می‌گردد. توزیع، یک نقش کلیدی در سودآوری کلی شرکت دارا می‌باشد زیرا بر هر دو جنبه هزینه‌های تامین و رضایتمندی مشتری، بطور مستقیم تاثیرگذار است. بنابراین یک شرکت بایستی تاثیر انواع طرح شبکه توزیع را بر سطح خدمت به مشتری و هزینه‌ها ارزیابی نماید. همانطور که مدیریت هزینه‌ها تاثیر مستقیم بر درآمدهای یک شرکت دارد، برآورده کردن نیازهای مشتری نیز بر درآمدهای آن شرکت تاثیر می‌گذارد. هرچند خدمت به مشتری دارای عناصر و اجزای بسیار زیادی است، در اینجا به معیارهایی که بر ساختار شبکه توزیع تاثیرگذارند اشاره شده است (Ma, Miao, Lim & Rodrigues, 2011):

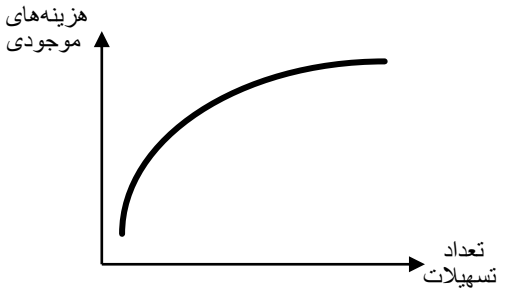
۱. زمان پاسخگویی[3]: مقدار زمانی که طول می‌کشد تا مشتری سفارش را دریافت نماید.
۲. تنوع محصول: تعداد ترکیبات و یا محصولات متفاوت که بوسیله شبکه توزیع ارائه می‌گردد.
۳. دسترسی به محصول[4] (در دسترس بودن): احتمال وجود یک محصول در انبار، زمانی که مشتری درخواست سفارش می‌دهد.
۴. تجربه یا برداشت مشتری[5]: منظور سهولت و تسهیلات اعطایی به مشتری است. این موضوعی کاملا احساسی و تجربی بوده و به برداشت مشتری از نحوه عملکرد توزیع از قبیل ارزش و احترامی که فروشنده به مشتری می‌نماید و یا حتی ارائه یک فنجان قهوه به وی، بستگی دارد.

---

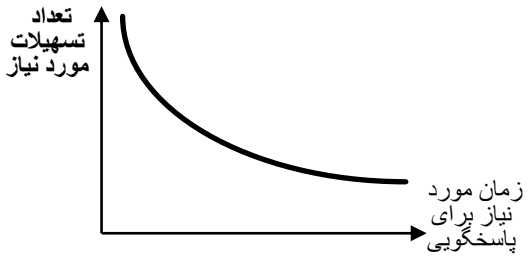
[2]. Distribution
[3]. Response time
[4]. Product availability
[5]. Customer experience

۵. زمان عرضه به بازار[۶]: به مدت زمان لازم جهت ارائه محصولی جدید به بازار اشاره دارد.
۶. قابلیت ردیابی[۷]: به توانایی پیگیری و ردیابی سفارش تا زمان تحویل، توسط مشتریان تلقی می‌گردد.
۷. برگشت پذیری[۸]: منظور سهولت برگشت و عودت دادن یک سفارش نا منطبق با نیاز یا نظر مشتری است.

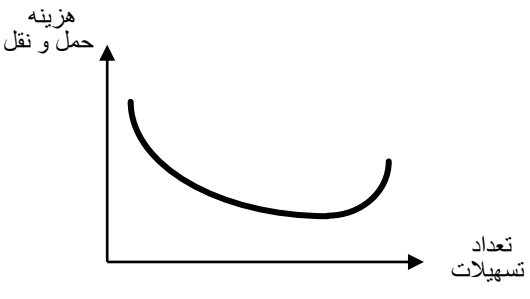
کانال‌های توزیع شامل خرده فروشان، عمده فروشان و نمایندگان یا توزیع مستقیم از طریق نیروی فروش یا سفارش پستی است. کانال‌ها به محصولات فیزیکی محدود نمی‌شوند و ممکن است آنلاین باشد. آنها ممکن است به همان اندازه برای انتقال خدمات از تولید کننده به مصرف‌کننده مهم باشند (Czinkota, Kotabe, Vrontis & Shams, 2021). نمودار بین تعداد تسهیلات (انبار) مورد نیاز و زمان پاسخگویی به نیاز مشتری در شکل شماره (۱) نشان داده شده است. همانگونه که در نمودار مشخص است، به منظور تسریع در زمان پاسخگویی به درخواستهای مشتریان، تعداد تسهیلات بیشتری را باید در نظر گرفت.
با کاهش تعداد تسهیلات، هزینه‌های تسهیلات نیز کاهش می‌یابد، زیرا با ادغام تسهیلات در یکدیگر موجب صرفه جویی در مقیاس می‌شود. هزینه کل لجستیک که شامل مجموع هزینه‌های موجودی، حمل و نقل و هزینه‌های تسهیلات است نیز، در نمودار تحتانی شکل (۱) ارائه گردیده است.



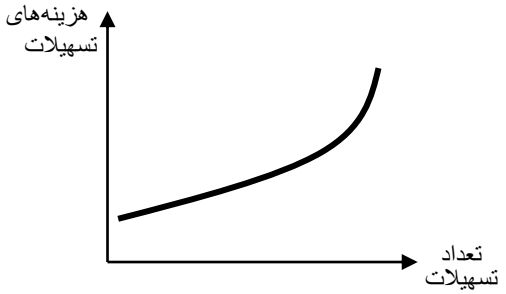
رابطه تعداد تسهیلات موردنیاز و هزینه موجودی‌ها



رابطه تعداد تسهیلات موردنیاز و زمان پاسخگویی

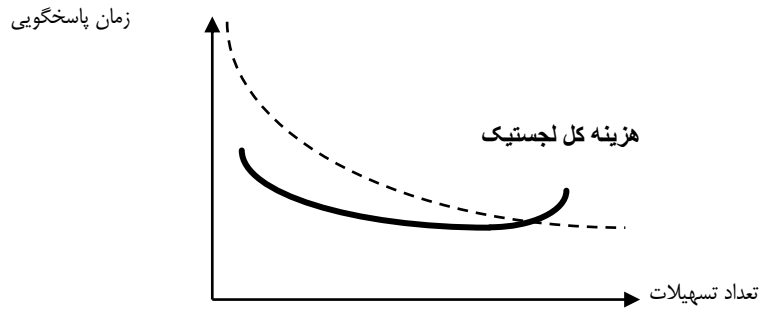


رابطه تعداد تسهیلات موردنیاز و هزینه حمل و نقل



رابطه تعداد تسهیلات موردنیاز و هزینه تسهیلات

[6]. Time to market
[7]. Order visibility
[8]. Return ability

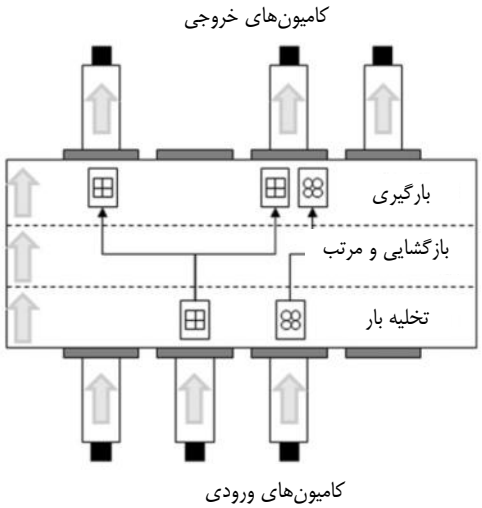


رابطه تعداد تسهیلات زمان پاسخگویی و هزینه کل لجستیک

شکل شماره (۱): روابط مابین عوامل تاثیرگذار در طراحی شبکه توزیع (Boysen, Fliedner & Scholl, 2010)

حمل اقتصادی با ادغام سازی محموله‌ها در انبارها، مراکز توزیع و باراندازها ممکن می‌گردد. بارانداز یا مرکز توزیع مکانی است که در آن کالاها از تجهیزات حمل‌ونقل ورودی[۹] تخلیه شده و پس از مرتب سازی سفارشات با حداقل ذخیره سازی یا بدون ذخیره سازی، ترکیبات مناسبی از آنها، به تجهیزات حمل خروجی[۱۰] بار گذاری می‌شوند. باراندازها به عنوان نقاط اتصال در شبکه توزیع محسوب شده و به همین دلیل حداقل نمودن زمان انجام فرآیندها و موجودی در این باراندازها نقش بسیار مهمی در کارایی کل شبکه ایفا می‌نماید.

شکل ساختار عمومی باراندازها را نشان می‌دهد.



شکل شماره (۲): ساختار عمومی باراندازها (Naderi, Rahmani & Rahmani, 2014)

هدف اولیه مراکز توزیع یا باراندازها، ترکیب محموله‌های مختلف با مقاصد مشترک و تکمیل ظرفیت کامیون‌های خروجی به این محموله‌هاست به نحوی که حمل‌ونقل محموله‌ها اقتصادی و مقرون به صرفه تلقی گردد. در مطالعات اخیر، انواع مدل‌های پایه مکانیابی تسهیلات از ساده ترین روش انتخاب مکان تسهیلات با عنوان PMP[۱۱] که در آن انتخاب تعداد P از تسهیلات با هدف حداقل سازی فاصله وزنی یا هزینه‌های تأمین نیاز مشتری است گرفته تا مسائل مکان‌یابی نامحدود تسهیلات[۱۲] که با UFLP نامگذاری شده و مکان یابی محدود تسهیلات[۱۳] (CFLP) تعریف شده اند.

---

9. Inbound
10. Outbound
11. P-Median Problem
12. Incapacitated Facility Location Problem (UFLP)
13. Capacitated Facility Location Problem (CFLP)

مسائل طراحی شبکه باراندازها در واقع توسعه مدل‌های تعمیم یافته تخصیص یا توسعه مدل‌های طراحی زنجیره تامین می‌باشند (Vahdani, Tavakkoli-Moghaddam & Mousavi, 2013). مدل‌های تعمیم یافته تخصیص در مدل‌سازی بسیاری از مسائل دنیای واقعی اعم از مکانیابی، تخصیص ماشین و زنجیره تامین کاربرد دارند. طبق نظر لاربی[۱۴] مدلسازی مساله طراحی شبکه تامین بایستی به سه اصل طراحی شبکه پاسخگو باشد: مکانیابی، حمل‌ونقل و تصمیمات مرتبط با موجودی. موسوی و همکاران نقش کلیدی مکانیابی را در طراحی شبکه تامین تاکید کرده‌اند. سه روش مختلف برای حل کمی مسائل طراحی بهینه شبکه تامین وجود دارد: روشهای ابتکاری، شبیه سازی و بهینه‌سازی (Mousavi et al., 2014). بهینه‌سازی ابزار مناسبی برای کمی کردن مسائل طراحی زنجیره تامین است و به همین دلیل تحقیقات در این زمینه بطور فزآینده بروی ادغام تصمیمات عملیاتی/ تاکتیکی/ و استراتژیکی تمرکز یافته اند (Liao, Lin & Shih, 2010). در مدل ادغامی طراحی زنجیره تامین توسط کوچوکلو و همکاران[۱۵] که مساله مسیریابی و مکانیابی را مورد مطالعه قرار داده بودند، معرفی شد. این مدل بعدها توسط کارا و ملو (۲۰۱۳)[۱۶] و همکاران با درنظر گرفتن یک نقطه گذر میانی به عنوان هاب[۱۷] جهت تسهیل حمل‌ونقل مابین هاب مرکزی و نقاط مقصد، توسعه داده شد. اخیراً نیز به چگونگی ادغام مسئله مکانیابی با سایر عوامل تصمیم گیری شبکه تامین تمرکز شده و دو رویکرد عمومی طراحی مدل‌های ادغامی معرفی و اهمیت این ادغام سازی تشریح شده است (Kara & Melo, 2013). در بسیاری از مدل‌های ارائه شده زنجیره تامین، اثرات پایداری زنجیره تامین نادیده گرفته می‌شود. ولی معمولا راه حلهای استخراج شده از این مدلها غیر قابل اجرا یا با قابلیتهای اجرایی محدود می‌باشند (Ali Ahmadi & Nahaie, 2007). از طرفی محیط کسب و کار آینده و فضایی که زنجیره‌های تامین در آینده در آن فعالیت خواهند داشت عموما دارای فضای نامشخصی است. در بهترین حالت، ممکن است تعداد معدودی از شرایط محتمل را در پیش‌بینی‌ها منظور کرد.

تحت این شرایط، فضای کسب و کار آینده با مجموعه‌ای از متغیرهای احتمالی چون: رضایت مشتریان، کاهش آلاینده‌های زیست محیطی، قوانین اجتماعی و زیست محیطی و... روبرو خواهند بود. به همین دلایل در دهه اخیر تمایل به توسعه تحقیقات در این زمینه با در نظر گرفتن شرایط پایداری زنجیره تامین زیاد شده و همچنان در حال افزایش است. لی و همکارانش[۱۸] سعی کرده اند ضمن شناسایی عوامل تاثیرگذار بر طراحی زنجیره تامین، حساسیت طرح را به متغیرهای مختلف ارزیابی کرده‌اند. رادریگیز[۱۹](۲۰۱۴) مقالات متعددی را در هفت طبقه که از سطح استراتژیک به عملیاتی مرتب شده‌اند، مرور نموده‌اند. ایشان مدل زمانبندی قطعی کامیون‌ها را با استفاده از یک نمادگذاری سه بخشی $[\alpha|\beta|\gamma]$ مشابه با مدلهای زمانبندی ماشین و مدلهای صف، طبقه‌بندی کرده‌اند. در سال‌های اخیر مرور مدل‌های برنامه‌ریزی تولید زنجیره تامین، توسط موسوی، توکلی مقدم و جولایی (۲۰۱۳) مورد توجه قرار گرفته است. ایشان با در نظر گرفتن حمل‌ونقل، به عنوان یک منبع توزیع محصول، سطوح تصمیم‌گیری عملیاتی یا تاکتیکی و یا ترکیب‌های محتمل از آنها را با سطوح تصمیم‌گیری استراتژیکی با عناصر زیر طبقه‌بندی نموده‌اند: ساختار زنجیره تامین، سطح تصمیم‌گیری، رویکرد مدلسازی، هدف گذاری، اطلاعات به اشتراک گذاشته شده، محدودیت‌ها، نوآوری در مدل و کاربرد. این موضوع در حالیست که موضوع زنجیره تامین سبز و محدودیت زمانی تحویل در اکثر سطوح زنجیره تامین مشهود است.

در این پژوهش، ابتدا با مراجعه به صنعت و دنیای واقعی و شناسایی نیاز موجود در مبحث طراحی شبکه لجستیک با کارایی و عملکرد مناسب و حداقل هزینه، مساله تحقیق با تمرکز به خلاهای تحقیقاتی شناسایی شد. در ادامه کار تحقیقاتی و در راستای هرچه کاربردی‌تر نمودن مدل‌های موجود در طراحی شبکه باراندازها، یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی[۲۰] با معرفی پارامترهای واقعی تقاضا در مقاصد مصرف جهت طراحی مدل شبکه باراندازها ارائه خواهد شد. ابتدا مدل قطعی با فرض ثابت بودن هزینه و

14. Larbi et al (2011)
15. Küçükoğlu
16. Kara & Melo
17. Hub
18. Li et al
19. Rodriguez et al.
20. Stochastic Programming

زمان حمل‌ونقل با در نظر گرفتن توابع هدف چندگانه تعریف می‌گردد. مسأله تحقیق پیشنهاد شده از نیاز موجود در صنعت فروشگاه‌های آنلاین کشور در جهت بهبود عملکرد شبکه تأمین، کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان پاسخگویی، افزایش سود و سایر اهداف در تعارض دیگر در دنیای واقعی، استخراج شده و پس از مشخص شدن نوع مسأله و اهداف تحقیق در جهت شناسایی تحقیقات مشابه و خلأ تحقیقاتی موجود، پیشینه تحقیقات مرور گردیده است.

جدول شماره (۱): جمع‌بندی و مقایسه مرور پیشینه تحقیقات مشابه

مرجع		نوع مسأله					نوع مدل	
نام مؤلف	سال	مکان‌یابی	مسیریابی/ حمل‌ونقل	شبکه توزیع/ باراندازانتخاب	روش حمل‌زمان‌بندی		طراحی شبکه	غیرقطعی‌قطعی
موسی و همکاران	۲۰۱۰			√	√			√
بویسن و همکاران	۲۰۱۰	√	√				√	√
بویسن و همکاران	۲۰۱۰	√		√				√
لیائو و همکاران	۲۰۱۰			√			√	√
احمدی و همکاران	۲۰۱۰	√					√	
مولا و همکاران	۲۰۱۰		√	√				√
لینتون و همکاران	۲۰۱۰			√	√			√
هسینی و همکاران	۲۰۱۳	√	√				√	√
وو و همکاران	۲۰۱۱		√	√				√
جرجدیس و همکاران	۲۰۱۱	√					√	√
میائو و همکاران	۲۰۱۱						√	√
بلوری و همکاران	۲۰۱۱	√			√		√	√
لاربی و همکاران	۲۰۱۱			√	√			√
لی و همکاران	۲۰۱۱				√			√
کاردونا و همکاران	۲۰۱۱	√			√		√	√
ماتینارد و همکاران	۲۰۱۳	√	√	√				√
موسوی و همکاران	۲۰۱۳	√					√	√
وحدانی و همکاران	۲۰۱۳						√	√
کوچوکلو و همکاارن	۲۰۱۳	√					√	√
نادری و همکاران	۲۰۱۴	√			√		√	
موسوی و همکاران	۲۰۱۴	√			√		√	√
کارا و همکاران	۲۰۱۴	√		√			√	√
رودریگز و همکاران	۲۰۱۴							
اراوندان و همکاران	۲۰۱۴							
رمضانی و همکاران	۲۰۱۴							
ژانگ و همکاران	۲۰۱۴							
تحقیق موردنظر	۲۰۱۹	√	√	√			√	√

ادامه جدول شماره (۱): جمع‌بندی و مقایسه مرور پیشینه تحقیقات مشابه

مرجع		رویکرد مدلسازی	تابع هدف		روش حل			مطالعه موردی
نام مؤلف	سال	Etc. (SIM, HEU)NLPLP/IPROSPFPMILP	تک هدفه	دو هدفه چند هدفه	راه حل دقیق	راه‌حل تقریبی ابتکاری‌فراابتکاری		
موسی و همکاران	۲۰۱۰	√	√		√	√		
بویسن و همکاران	۲۰۱۰	√						

بویسن و همکاران	۲۰۱۰			√	√		√			√			
لیائو و همکاران	۲۰۱۰			√			√	√		√			
احمدی و همکاران	۲۰۱۰		√	√			√		√			√	
مولا و همکاران	۲۰۱۰	√		√			√						
لینتون و همکاران	۲۰۱۰	√			√		√						
هسینی و همکاران	۲۰۱۳			√			√		√				
وو و همکاران	۲۰۱۱			√			√	√					
جرجدیس و همکاران	۲۰۱۱		√				√						
میائو و همکاران	۲۰۱۱	√					√						√
بلوری و همکاران	۲۰۱۱	√		√		√							
لاربی و همکاران	۲۰۱۱	√		√			√						
لی و همکاران	۲۰۱۱			√			√	√					
کاردونا و همکاران	۲۰۱۱	√		√		√							
ماتینارد و همکاران	۲۰۱۳	√	√		√		√						
موسوی و همکاران	۲۰۱۳		√		√	√							
وحدانی و همکاران	۲۰۱۳	√		√			√						
کوچوکلو و همکاارن	۲۰۱۳		√		√		√						√
نادری و همکاران	۲۰۱۴		√		√	√							
موسوی و همکاران	۲۰۱۴	√		√		√							
کارا و همکاران	۲۰۱۴				√		√	√					√
رودریگز و همکاران	۲۰۱۴												
اراوندان و همکاران	۲۰۱۴												
رمضانی و همکاران	۲۰۱۴												
ژانگ و همکاران	۲۰۱۴												
تحقیق موردنظر	۲۰۱۹	√	√		√	√		√			√	√	√

*Abbreviations:
MILP: Mixed Integer Linear Programming
FP: Fuzzy Programming
SP: Stochastic Programming
LP/IP: Linear Programming/ Integer Programming
NLP: Nonlinear Programming
Etc. (SIM, HEU): Etc. Heuristic approach, Simulation and…

ب) مدلسازی پژوهش

مورد مطالعه در این تحقیق یکی از فروشگاه های آنلاین بزرگ (با دارا بودن بیش از ۵۰۰ کارمند) شهر تهران می‌باشد. در این پژوهش به دنبال طراحی شبکه تسهیلات بارانداز هستیم که توأمان مسأله انتخاب روش حمل، مسیریابی و تعداد و ترکیب ناوگان حمل را شامل می‌گردد. با توجه به اهداف تعیین‌شده، می‌توان متوجه شد که هدف‌های موردنظر اعم از تابع هزینه کل (هزینه حمل‌ونقل و هزینه احداث بارانداز) و هدف حداکثرسازی کیفیت روش حمل‌ونقل و هدف حداقل نمودن زمان تحویل به مشتری می‌باشد.

ج) مفروضات مدل

۱. پارامترها قطعی می‌باشند.
۲. زنجیره تأمین به‌صورت تک‌محصولی در نظر گرفته شده است.
۳. ظرفیت بارانداز‌ها محدود می‌باشند.

۴. مسائل زیست‌محیطی براساس مصرف سوخت و تولید آلایندگی کامیون‌ها می‌باشند.
۵. مسائل اجتماعی براساس تولید اشتغال بارانداز‌ها می‌باشند.
۶. کامیون‌ها از نظر هزینه انتقال یکسان نمی‌باشند.
۷. میزان مصرف سوخت کامیون‌ها متفاوت است.
۸. میزان تولید آلایندگی بین کامیون‌ها متفاوت است.
۹. هر کامیون قابلیت سرویس‌رسانی به چند مقصد را داراست.
۱۰. کالاها به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم از مبدأ به مقصد منتقل می‌شود. انتقال مستقیم به شکل مستقیم از مبدأ به مقصد بوده و انتقال غیرمستقیم از طریق انبارهای عبوری صورت می‌گیرد.
۱۱. هر کامیون به‌طور پیوسته کالا را از مبدأ به مقصد منتقل می‌کند و امکان انقطاع وجود ندارد.

د) اندیس‌ها

i: گره مبدأ
j: گره مقصد
k: بارانداز
v: کامیون
r : مسیر

ه) پارامترها

FC_k: هزینه ثابت احداث و راه‌اندازی بارانداز k
$DisKI_{ki}$: مسافت بین بارانداز k و مبدأ i
$DisKJ_{kj}$: مسافت بین بارانداز k و مقصد j
$Capk_k$: ظرفیت بارانداز k
Dem_j : تقاضای گره مبدأ j
FT_{ijvr} : هزینه حمل کالا توسط کامیون v از مبدأ i به مقصد j در مسیر r
FQV_{kjvr} : هزینه حمل کالا توسط کامیون v از بارانداز k به مقصد j در مسیر r
FUV_{kivr} : هزینه حمل کالا توسط کامیون v از مبدأ i به بارانداز k در مسیر r
Soc_k : میزان اشتغال تولیدشده توسط بارانداز k
$fuel_v$: میزان مصرف سوخت کامیون v
pol_v : میزان نشر آلایندگی کامیون v
ST_j : زمان خدمت‌رسانی به مقصد j
$TT_{jj'}$: زمان سفر بین مقصد j و j'

و) متغیرهای تصمیم

Xk_k: اگر بارانداز k احداث شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
Z_{ij} : تعداد کامیون‌های موردنیاز برای حمل کالا از مبدأ i به مقصد j
U_{ik}: تعداد کامیون‌های موردنیاز برای حمل کالا از مبدأ i به بارانداز k
Q_{kj}: تعداد کامیون‌های موردنیاز برای حمل کالا از بارانداز k به مقصد j
ZV_{ijvr}: اگر کامیون v برای حمل کالا از مبدأ i به مقصد j در مسیر r استفاده شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
UV_{ikvr}: اگر کامیون v برای حمل کالا از مبدأ i به بارانداز k در مسیر r استفاده شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر
QV_{kjvr} : اگر کامیون v برای حمل کالا از بارانداز k به مقصد j در مسیر r استفاده شود ۱ و در غیر این‌صورت صفر

P_{ikj}: جریان عبوری مستقیم از مبدأ i به مقصد j از بارانداز k

m_{ikj}: جریان عبوری غیرمستقیم از مبدأ i به مقصد j از بارانداز k

T_{vj} : زمان رسیدن کامیون v به مقصد j

$w_{vjj'}$: اگر وسیله نقلیه v از مقصد j به مقصد j' برود ۱ و در غیر این‌صورت صفر

$$\min z1 = \sum_{k} FC_k \cdot Xk_k + \sum_{k}\sum_{i} DisKI_{ki} \cdot Xk_k + \sum_{k}\sum_{i} DisKJ_{kj} \cdot Xk_k + \sum_{i}\sum_{j}\sum_{v}\sum_{r} FT_{ijvr} \cdot ZV_{ijvr} + \sum_{k}\sum_{j}\sum_{v}\sum_{r} FQV_{kjvr} \cdot QV_{jkvr} + \sum_{i}\sum_{k}\sum_{v}\sum_{r} FUV_{kivr} \cdot UV_{ikvr}$$

رابطه(۱)

$$\min z2 = \sum_{i}\sum_{j}\sum_{v} fuel_v \cdot ZV_{ijv} + \sum_{i}\sum_{k}\sum_{v} fuel_v \cdot UV_{ikv} + \sum_{j}\sum_{k}\sum_{v} fuel_v \cdot QV_{ikv} + \sum_{i}\sum_{j}\sum_{v} pol_v \cdot ZV_{ijv} + \sum_{i}\sum_{k}\sum_{v} pol_v \cdot UV_{ikv} + \sum_{i}\sum_{k}\sum_{v} pol_v \cdot QV_{jkv} - \sum_{k} soc_k \cdot Xk_k$$

رابطه(۲)

$$S.t \min z3 = \sum_v \sum_j T_{vj}$$ رابطه(۳)

$$\sum_k Xk_n = 1$$ رابطه(۴)

$$\sum_r ZV_{ijvr} = 1$$ رابطه(۵)

$$\sum_r UV_{ikvr} = 1$$ رابطه(۶)

$$\sum_r QV_{kjvr} = 1$$ رابطه(۷)

$$QV_{kjvr} = UV_{ikvr}$$ رابطه(۸)

$$P_{ijk} \geq Dem_j$$ رابطه(۹)

$$M_{ijk} \geq Dem_j$$ رابطه(۱۰)

$$M_{ijk} \leq CapK_k$$ رابطه(۱۱)

$$UV_{ikvr} \leq Xk_k$$ رابطه(۱۲)

$$QV_{jkvr} \leq Xk_k$$ رابطه(۱۳)

$$P_{ikj} \leq MM + Xk_k$$ رابطه(۱۴)

$$M_{ijk} \leq MM + Xk_k$$ رابطه (۱۵)

$$T_{vj} = TT_{jj'}w_{vjj'} + ST_j$$ رابطه(۱۶)

$$\sum_j \sum_{j'} w_{vjj'} = 1$$ رابطه(۱۷)

$$w_{vjj'} \leq ZV_{ijvr}$$ رابطه(۱۸)

$$w_{vjj'} \leq QV_{kjvr}$$ رابطه(۱۹)

$$Z_{ij} = \sum_v ZV_{ijvr}$$ رابطه(۲۰)

$$U_{ik} = \sum_v UV_{ijvr}$$ رابطه(۲۱)

$$Q_{jk} = \sum_v QV_{kjvr}$$ رابطه(۲۲)

$$Xk_k \in \{0,1\}$$ رابطه (۲۳)

$$ZV_{ijvr} \in \{0,1\}$$ رابطه(۲۴)

$$UV_{ikvr} \in \{0,1\}$$ رابطه(۲۵)

$$QV_{kjvr} \in \{0,1\}$$ رابطه (۲۶)

$$w_{vjj'} \in \{0,1\}$$ رابطه (۲۷)

$$P_{ikj} \geq 0$$ رابطه(۲۸)

$$m_{ikj} \geq 0$$ رابطه(۲۹)

$$T_{vj} \geq 0$$ رابطه(۳۰)

$$Z_{ij} \geq 0$$ رابطه (۳۱)

$$U_{ik} \geq 0$$ رابطه(۳۲)

$$Q_{kj} \geq 0$$ رابطه(۳۳)

رابطه (۱) به دنبال حداقل کردن هزینه با در نظر گرفتن هزینه‌های مکان‌یابی انبارهای عبوری و مسیریابی وسایل نقلیه می‌باشد. رابطه (۲) مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی را با در نظر گرفتن مصرف سوخت وسایل نقلیه، تولید آلایندگی وسایل نقلیه و مسائل اجتماعی مرتبط با ایجاد اشتغال توسط انبارهای عبوری شامل می‌شود. رابطه (۳) به‌دنبال حداقل ساختن زمان تحویل با در نظر گرفتن اسلات‌های زمانی می‌باشد. محدودیت (۴) نشان می‌دهد که هر انبار عبوری در یک مکان قابل احداث می‌باشد. محدودیت (۵) بیان می‌کند که فقط یک مسیر برای انتقال کالا توسط هر وسیله نقلیه از مبدأ به مقصد به‌طور مستقیم وجود دارد. محدودیت (۶) بیان می‌کند که فقط یک مسیر برای انتقال کالا توسط هر وسیله نقلیه از مبدأ به انبارهای عبوری وجود دارد. محدودیت (۷) بیان می‌کند که فقط یک مسیر برای انتقال کالا توسط هر وسیله نقلیه از انبارهای عبوری به مقصد وجود دارد. محدودیت (۸) بیان می‌کند وسیله نقلیه‌ای که کالا را از انبار عبوری به مقاصد حمل می‌کند همان وسیله نقلیه‌ای است که کالا را از مبدأ به انبار

عبوری آورده است و انقطاعی در این بخش صورت نمی‌گیرد. محدودیت (۹) نشانگر این است که حجم کالایی که به‌طور مستقیم از مبدأ به مقصد می‌رود باید محقق‌کننده تقاضا باشد. محدودیت (۱۰) نشانگر این است که حجم کالایی که به‌طور غیرمستقیم از مبدأ به مقصد می‌رود باید محقق‌کننده تقاضا باشد. محدودیت ۱۱ نشانگر محدودیت ظرفیت انبارهای عبوری می‌باشد. محدودیت ۱۲ بیان می‌کند در صورتی‌که انباری احداث نشده باشد انتقال ارتباط با آن وجود ندارد. محدودیت ۱۳ بیان می‌کند در صورتی‌که انباری احداث نشده باشد انتقال ارتباط با آن وجود ندارد. محدودیت ۱۴ بیانگر این است که جریان عبوری در صورتی منتقل می‌شود که انبار احداث شده باشد. محدودیت ۱۵ بیانگر این است که جریان عبوری در صورتی منتقل می‌شود که انبار احداث شده باشد. محدودیت ۱۶ زمان رسیدن کامیون‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت ۱۷ نشان می‌دهد که هر کامیون از هر مقصد به مقصد دیگر فقط یک‌بار نقل‌مکان می‌کند. محدودیت ۱۸ نشان می‌دهد که انتقال هر کامیون از یک مقصد به مقصد دیگر در صورت انتخاب آن کامیون به‌عنوان حامل از مبدأ به مقصد امکان‌پذیر است. رابطه (۲۱-۲۰) نشانگر کل تعداد کامیون‌های مورد نیاز از مبدأ به انبار می‌باشد. رابطه (۲۲) نشانگر کل تعداد کامیون‌های مورد نیاز از انبار به مقصد می‌باشد. محدودیت‌های ۲۳ تا ۲۷ نشانگر محدودیت‌های متغیرهای باینری می‌باشد. محدودیت‌های ۲۸ تا ۳۳ نشانگر محدودیت‌های متغیرهای عدد صحیح می‌باشد.

مدل ارائه شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد ابتدا اعتبار سنجی مدل ارائه شده و سپس حل مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک در ابعاد بزرگ صورت می گیرد. در ادامه نتایج حاصل از متغیرهای تصمیم ارائه شده و در نهایت تحلیل حساسیت که مهمترین بخش بهینه سازی را تشکیل می دهد انجام می شود. الگوریتم ژنتیک چند هدفه با استفاده از نرم افزار متلب پیاده سازی می شود.

۳- نتایج و بحث

در این بخش اعتبارسنجی مدل صورت می‌گیرد برای اعتبارسنجی ابتدا مسأله در ابعاد کوچک و متوسط حل شده و سپس امکان حل آن بررسی می‌گردد. در این بخش ۱۰ مسأله در ابعاد کوچک مطابق با مدل تحقیق در نظر گرفته می‌شود که به شرح جدول ذیل است:

جدول شماره (۲): مسأله در ابعاد کوچک

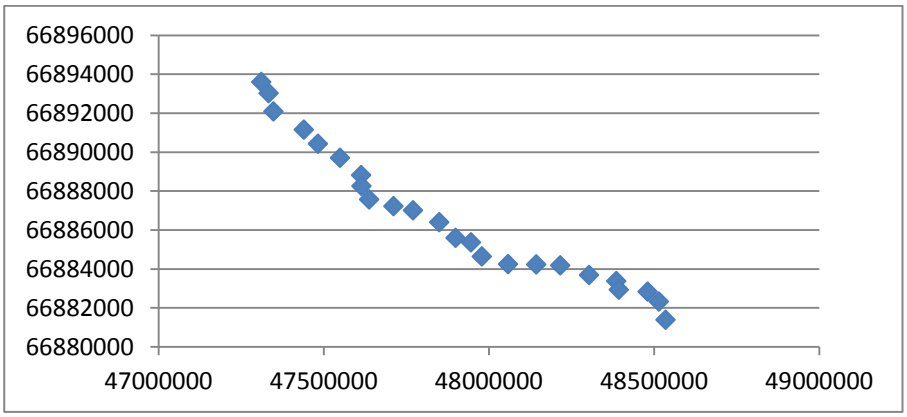
مسأله	مبدأ	مقصد	بارانداز	کامیون	مسیر	زمان حل
۱	۵	۵	۱	۱۰	۴	۲۳
۲	۵	۶	۱	۱۱	۴	۲۹
۳	۵	۶	۱	۱۲	۵	۳۵
۴	۶	۶	۱	۱۲	۵	۴۲
۵	۶	۷	۱	۱۳	۶	۵۷
۶	۷	۷	۱	۱۴	۶	۷۱
۷	۸	۸	۱	۱۵	۶	۸۸
۸	۸	۹	۱	۱۶	۷	۱۰۳
۹	۹	۹	۱	۱۶	۷	Low memory
۱۰	۹	۱۰	۲	۱۷	۷	Low memory

همان‌گونه که مشاهده می‌شود مطابق با ابعاد مدل ۱۰ مسأله طراحی شده و این مسائل در ابعاد کوچک حل می‌شود نتیجه در جدول ۴ نشان داده می‌شود. همان‌گونه که دیده می‌شود ۱۰ مسأله فوق در ابعاد کوچک حل شده اما از مسأله ۹ به بعد این مسأله قابل حل نبوده و لذا می‌بایست از الگوریتم‌های فراابتکاری برای آن استفاده نمود. در ادامه حل مدل در ابعاد بزرگ صورت می‌گیرد. با توجه به اینکه حل مدل بدون الگوریتم‌های فراابتکاری تا حد مشخصی امکان‌پذیر است مسائل در ابعاد بزرگ تدوین شده و در قالب جدول ذیل ارائه می‌شود.

جدول شماره (۳): مسائل در ابعاد بزرگ

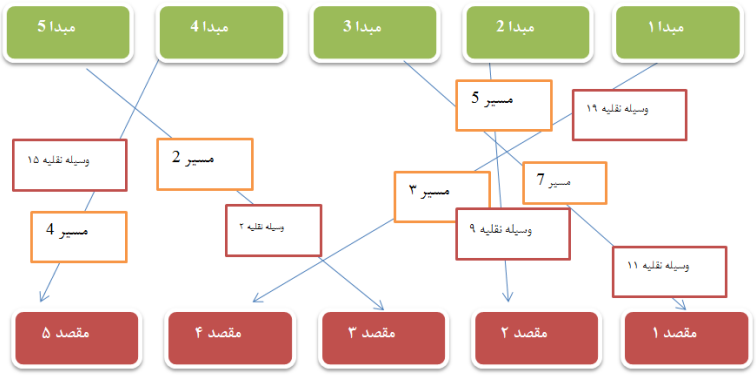
مسأله	مبدأ	مقصد	بارانداز	کامیون	مسیر
۱	۱۰	۱۵	۲	۳۰	۱۲
۲	۱۰	۱۶	۲	۳۲	۱۲
۳	۱۱	۱۷	۲	۳۵	۱۲
۴	۱۲	۱۸	۲	۳۵	۱۳
۵	۱۳	۱۹	۲	۳۷	۱۳
۶	۱۴	۲۰	۲	۳۸	۱۳
۷	۱۵	۲۰	۲	۴۰	۱۴
۸	۱۶	۲۱	۲	۴۰	۱۴
۹	۱۷	۲۲	۲	۴۲	۱۵
۱۰	۱۸	۲۳	۲	۴۳	۱۶

نتیجه حل مدل در ابعاد بزرگ در قالب نمودار پارتو ارائه می‌شود.



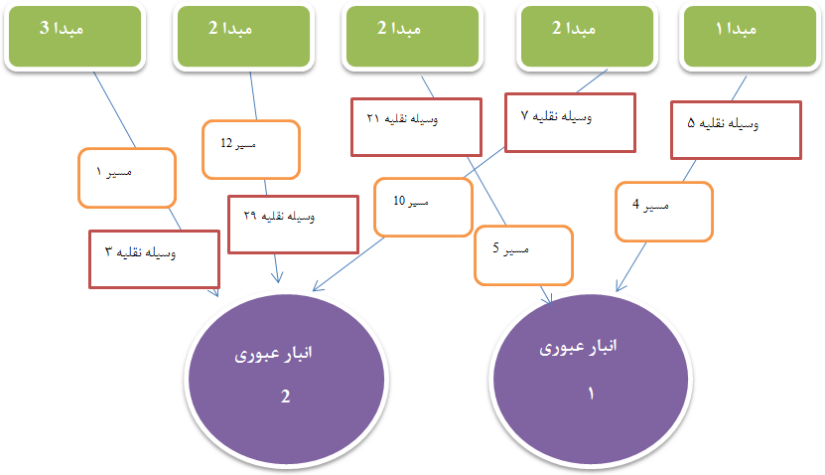
نمودار شماره (۱): نمودار پارتوی مسأله اول

نمودار پارتوی مسأله اول ارائه شده است که نشانگر رابطه معکوس بین اهداف تحقیق به سبب ماهیت نزولی منحنی می‌باشد. بر این اساس می‌توان گفت مسأله به جواب بهینه رسیده و اکنون می‌توان متغیرهای تصمیم مسأله را تبیین نمود.



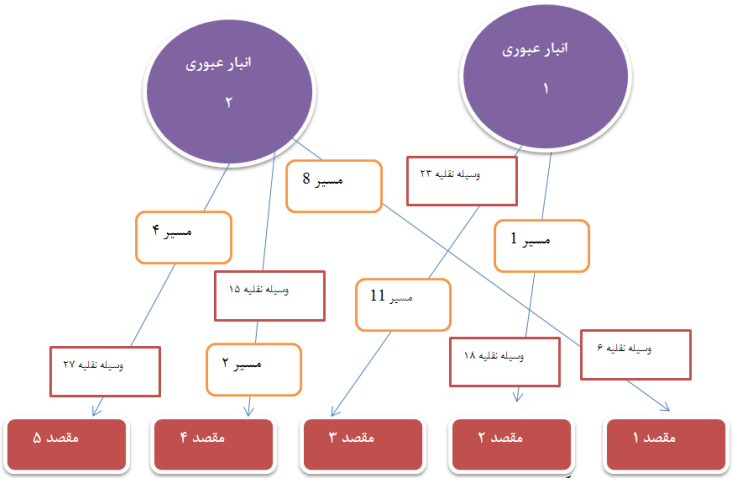
شکل شماره (۳): تخصیص مسیرها و وسایل نقلیه به مبدأ و مقصد

اولین نتیجه این است که کدام وسیله نقلیه و کدام مسیر می‌بایست به رابطه بین مبدأ و مقصد تخصیص یابد. نمونه‌ای از این روابط در شکل ۳ ارائه شده است و مشخص است که به‌عنوان مثال برای حرکت از مبدأ ۲ به مقصد ۲ بهتر است از مسیر ۵ و وسیله نقلیه ۹ استفاده شود.



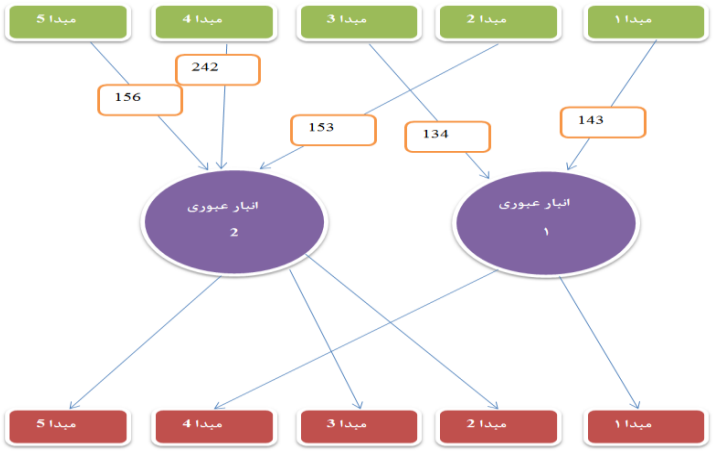
شکل شماره (۴): تخصیص مسیرها و وسایل نقلیه از مبدأ به انبارهای عبوری

در شکل ۴ رابطه بین گره‌های مبدأ و انبارهای عبوری براساس نوع وسیله نقلیه انتخابی و مسیر، تعیین شده است. به هر ارتباط یک وسیله نقلیه و یک مسیر تخصیص یافته است.



شکل شماره (۵): تخصیص وسایل نقلیه و مسیر به انبارهای عبوری و مقاصد

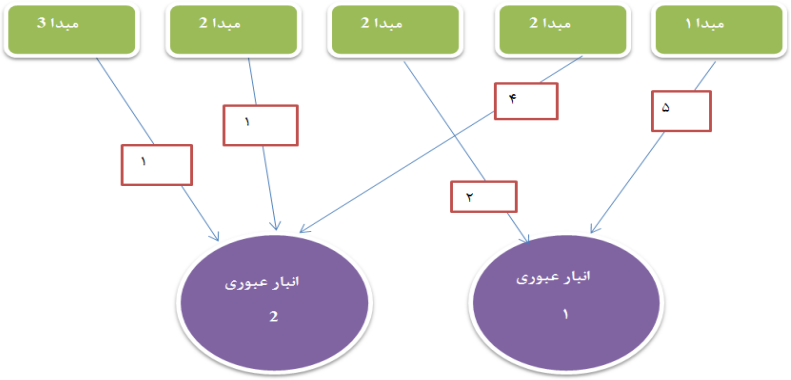
وضعیت فوق نشانگر انتخاب مسیر بهینه و وسایل نقلیه برای ارتباط بین انبارهای عبوری و مقاصد می‌باشد که این موضوع در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل شماره (۶): جریان عبوری از مبدأ به مقصد و باراندازها

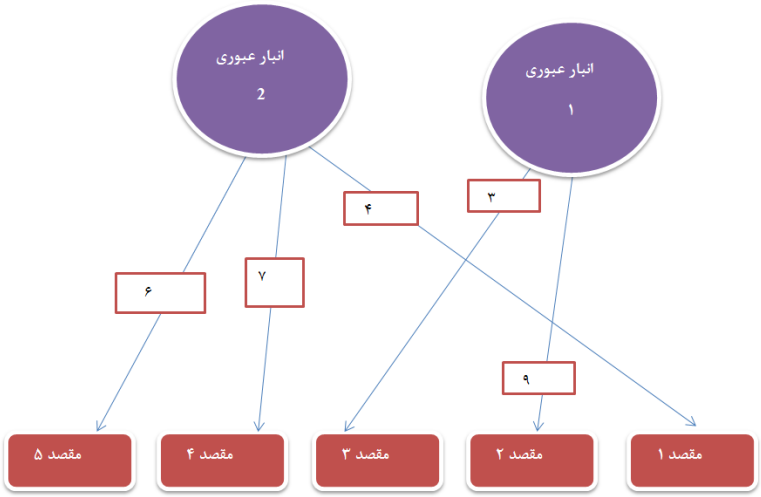
اما یکی از مهم‌ترین متغیرهایی که درخصوص انبارهای عبوری مطرح می‌باشد تعیین جریان عبوری بهینه است. این موضوع در

شکل ۶ نشان داده شده و میزان بهینه جریان از مبدأ و مقاصد و باراندازها تعیین گردیده است.



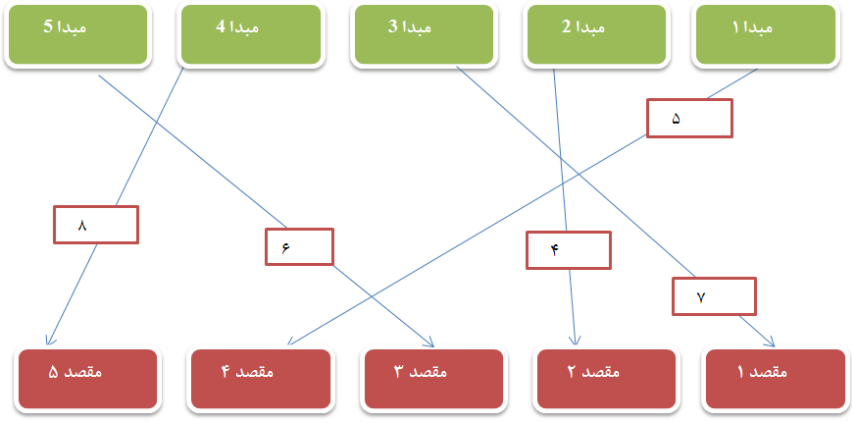
شکل شماره (۷): تعداد وسایل نقلیه از مبدأ به انبارهای عبوری

تعداد بهینه وسایل نقلیه که کالا را از مبدأ به انبارهای عبوری منتقل می‌کنند در شکل فوق نمایش داده شده و مشخص می‌شود که این تعداد چگونه است.



شکل شماره (۸): تعداد وسایل نقلیه از انبارهای عبوری به مقاصد

همان‌گونه که دیده می‌شود تعیین تعداد بهینه وسایل نقلیه از انبارهای عبوری به مقاصد نیز در شکل فوق نمایش داده شده است.

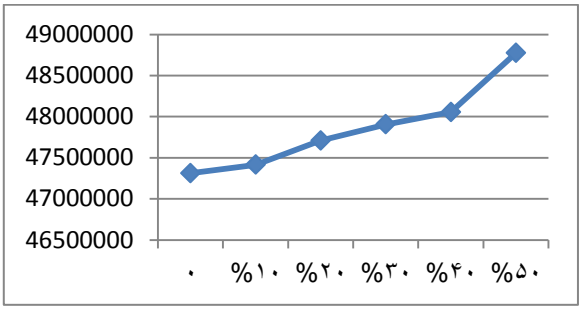


شکل شماره (۹): تعداد وسایل نقلیه از مبدأ به مقاصد

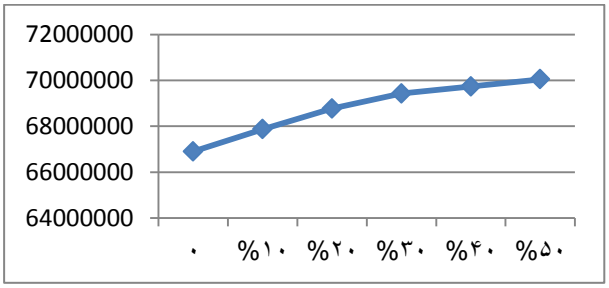
شکل ۷ نیز نشانگر تعداد بهینه وسایل نقلیه از مبدأ به مقاصد می‌باشد. به‌عنوان مثال از مبدأ ۵ به مقصد۳، تعداد ۶ وسیله نقلیه و از مبدأ ۴ به مقصد ۵ تعداد ۸ وسیله نقلیه وجود دارند.

جدول شماره (۴): تحلیل حساسیت تقاضا

تقاضا	هزینه	مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی	زمان	میزان تغییر در هزینه	میزان تغییر در مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی	میزان تغییر در زمان
۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰	۰	۰
%۱۰	۴۷۴۱۳۶۴۵	۶۸۷۶۹۰۳۸	۲۲۰۱	۰/۰۰۲۱۶۲۱۲۴	۰/۰۱۴۵۴۸۶۴	۰/۰۲۸۵۰۴۶۷۳
%۲۰	۴۷۷۰۸۲۹۱	۶۸۷۶۹۰۳۸	۲۲۳۹	۰/۰۰۶۲۱۴۳۷۱	۰/۰۱۳۲۹۳۹۷۸	۰/۰۱۷۲۶۴۸۸
%۳۰	۴۷۹۰۴۱۷۵	۶۹۴۲۲۱۱۷	۲۲۶۴	۰/۰۰۴۱۰۵۸۶۹	۰/۰۰۹۴۹۶۷۰۱	۰/۰۱۱۱۶۵۶۹۹
%۴۰	۴۸۰۵۴۷۵۰	۶۹۷۳۰۸۹۲	۲۳۱۳	۰/۰۰۳۱۴۳۲۵۴	۰/۰۰۴۴۴۷۷۹	۰/۰۲۱۶۴۳۱۱
%۵۰	۴۷۸۸۴۰۰۴	۷۰۰۴۰۶۳۰	۲۳۳۱	۰/۰۱۴۹۶۷۳۸۶	۰/۰۰۴۴۴۱۹۰۵	۰/۰۰۷۷۸۲۱۰۱

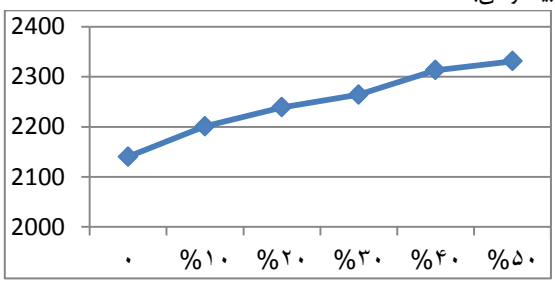


نمودار شماره (۲): تحلیل حساسیت تقاضا بر هزینه

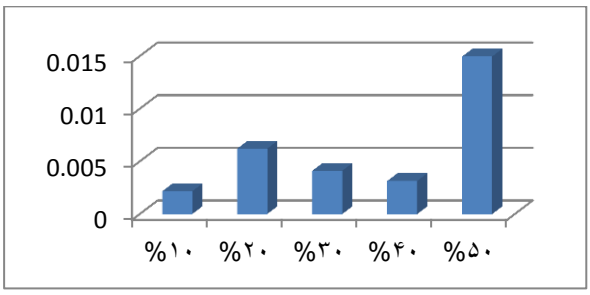


نمودار شماره (۳): تحلیل حساسیت تقاضا بر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی

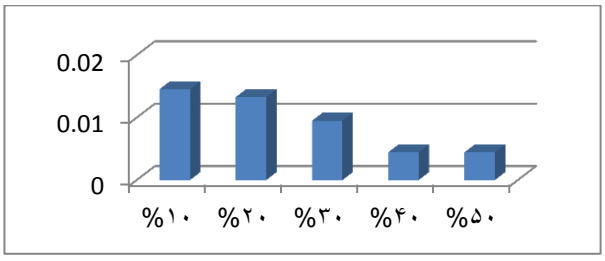
همان‌گونه که دیده می‌شود تقاضا منجر به بدتر شدن مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی می‌شود اما این‌طور به‌نظر می‌رسد که این افزایش به‌صورت نزولی بوده و در بلندمدت کاملاً به‌صورت خنثی درآید. لذا نمی‌توان گفت شدت اثر تقاضا بر مسائل زیست‌محیطی همانند هزینه است و این اثر بر هزینه بیشتر می‌باشد.



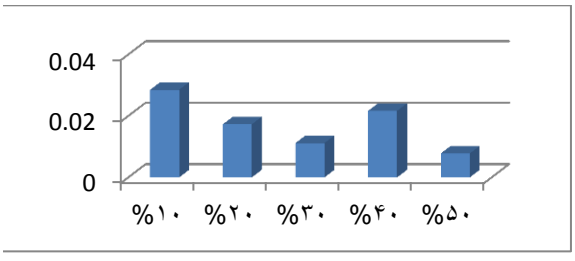
نمودار شماره (۴): تحلیل حساسیت تقاضا بر زمان



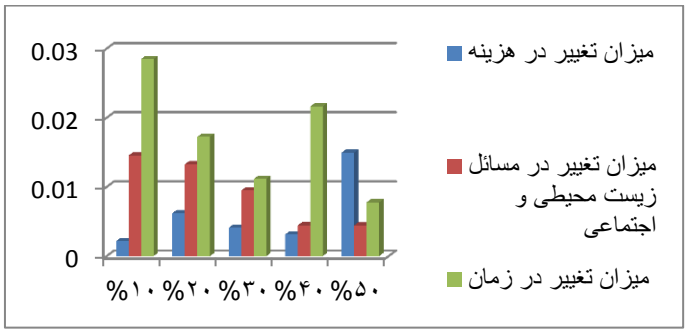
نمودار شماره (۵): میزان اثر تقاضا بر هزینه



نمودار شماره (۶): میزان اثر تقاضا بر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی



نمودار شماره (۷): میزان اثر تقاضا بر زمان

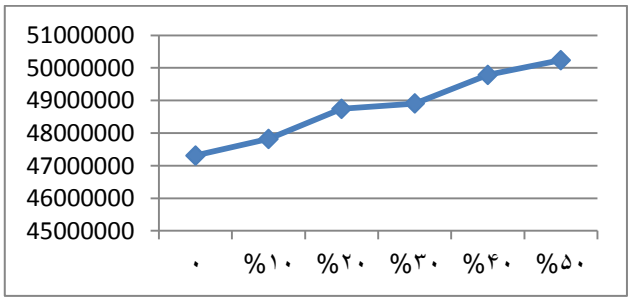


نمودار شماره (۸): مقایسه میزان اثر تقاضا

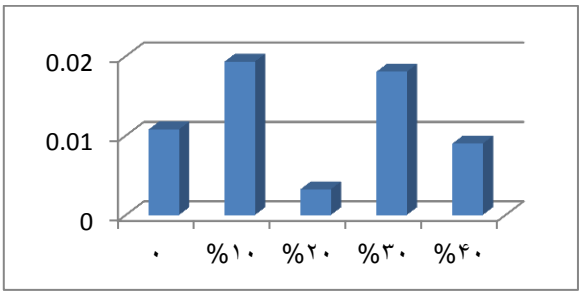
تحلیل حساسیت اثر تقاضا بر متغیرهای پژوهش نشان می‌دهد افزایش تقاضا منجر به طولانی شدن زمان خدمت‌رسانی می‌شود که این امر نیز به سبب وجود تقاضای بیشتر توجیه‌پذیر است. با افزایش تقاضا شدت اثر بیشتر شده و در ۵۰ درصد افزایش شاهد ۱.۴ درصد افزایش در هزینه خواهیم بود که نسبت به مقادیر قبلی این افزایش چشمگیرتر می‌باشد. با افزایش بیشتر در تقاضا اثر بر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی کمتر می‌شود. اثر تقاضا بر زمان نیز در ابتدا بیشتر می‌باشد یعنی در افزایش ۱۰ درصدی در تقاضا شاهد افزایش نزدیک به ۳ درصد در زمان می‌باشیم در حالی‌که در ۵۰ درصد این افزایش به ۰/۷ درصد می‌رسد که کاهش چشمگیری را نشان می‌دهد. با مقایسه نمودار اثر تقاضا بر توابع هدف مختلف می‌توان مشاهده کرد که بیشترین اثر بر زمان وجود داشته و سایر توابع هدف کمتر از تقاضا اثر می‌پذیرند. بنابراین می‌توان گفت افزایش تقاضا بیش از هزینه و مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی بر زمان اثرگذار است.

جدول شماره (۵): تحلیل حساسیت هزینه حمل کالا

هزینه حمل کالا	هزینه	مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی	زمان	میزان تغییر در هزینه	میزان تغییر در مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی	میزان تغییر در زمان
۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰	۰	۰
%۱۰	۴۷۸۲۱۰۶۵	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰/۰۱۰۷۷۳۵۸۸	۰	۰
%۲۰	۴۸۷۴۵۱۹۳	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰/۰۱۹۳۲۴۷۰۶	۰	۰
%۳۰	۴۸۹۰۳۶۲۵	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰/۰۰۳۲۵۰۲۰۸	۰	۰
%۴۰	۴۹۷۸۶۲۶۴	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰/۰۱۸۰۴۸۵۳۹	۰	۰
%۵۰	۵۰۲۳۴۲۹۵	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰/۰۰۸۹۹۹۰۸۹	۰	۰



نمودار شماره (۹): تحلیل حساسیت هزینه حمل کالا بر هزینه کل



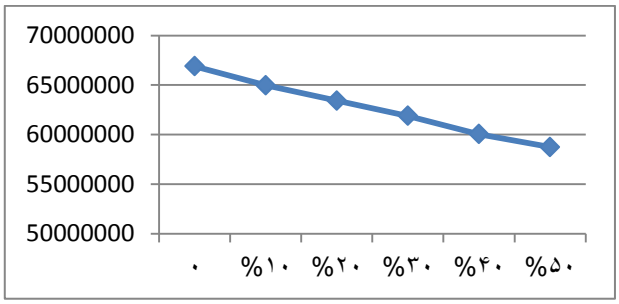
نمودار شماره (۱۰): اثر هزینه حمل کالا بر هزینه

مشاهده می‌شود که افزایش هزینه حمل کالا منجر به افزایش هزینه کل می‌شود اما اثری بر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی و زمان نداشته و لذا می‌توان گفت بلااثر است. براساس نمودار فوق می‌توان گفت اثر هزینه دارای ماهیت متفاوتی است و از یک الگوی مشخص تبعیت نمی‌کند.

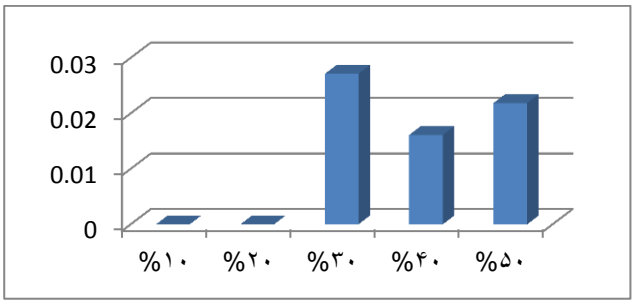
جدول شماره (۶): تحلیل حساسیت میزان اشتغال تولیدشده توسط باراندازهای عبوری

میزان اشتغال تولیدشده	هزینه	مسائل	زمان	میزان	میزان تغییر در مسائل	میزان تغییر

توسط باراندازهای عبوری		زیست‌محیطی و اجتماعی		تغییر در هزینه	زیست‌محیطی و اجتماعی	در زمان
۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰	۰	۰
%۱۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۴۹۸۰۴۵۷	۲۱۴۰	۰	-۰/۰۲۸۵۹۹۸۹۳	۰
%۲۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۳۴۲۹۲۵۰	۲۱۴۰	۰	-۰/۰۲۳۸۷۱۹	۰
%۳۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۱۸۸۹۴۱۲	۲۱۴۰	۰	-۰/۰۲۴۱۷۶۴۶۶	۰
%۴۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۰۰۵۷۹۷۸	۲۱۴۰	۰	-۰/۰۲۹۵۹۲۰۴۱	۰
%۵۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۵۸۷۴۷۳۹۶	۲۱۴۰	۰	-۰/۰۲۱۸۱۲۱۹۴۷	۰



نمودار شماره (۱۱): تحلیل حساسیت مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی

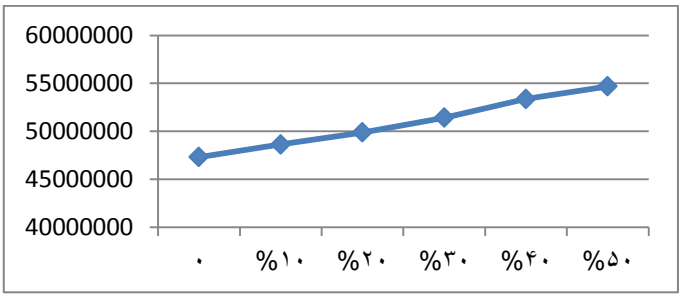


نمودار شماره (۱۲): میزان اثر اشتغال تولیدشده بر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی

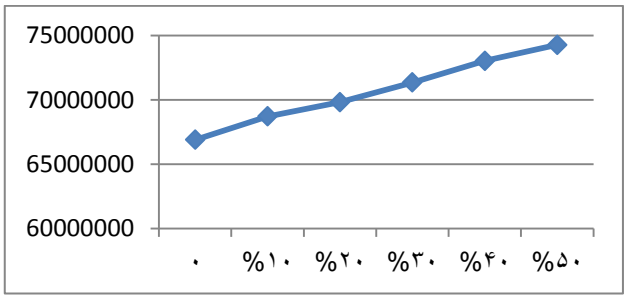
همان‌گونه که دیده می‌شود افزایش میزان اشتغال منجر به بهبود جواب درخصوص تابع هدف دوم که شامل مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی است می‌شود اما اثری بر هزینه و زمان ندارد لذا می‌توان گفت اثر میزان اشتغال تولیدشده باعث کاهش مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی می‌شود. همان‌گونه که دیده می‌شود افزایش ۳۰ درصدی در میزان اشتغال می‌تواند نزدیک به ۳ درصد در کاهش مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی اثرگذار باشد که اثر خطی را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۷): تحلیل حساسیت میزان مصرف سوخت

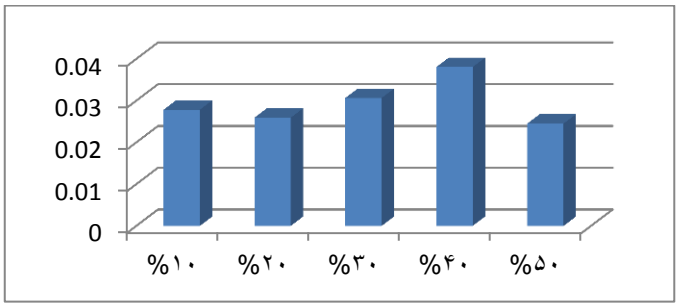
میزان مصرف سوخت	هزینه	مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی	زمان	میزان تغییر در هزینه	میزان تغییر در مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی	میزان تغییر در زمان
۰	۴۷۳۱۱۳۵۲	۶۶۸۹۳۶۰۷	۲۱۴۰	۰	۰	۰
%۱۰	۴۸۶۲۷۸۳۷	۶۸۷۰۶۳۰۴	۲۱۴۰	۰/۰۲۷۸۲۵۹۸۶	۰/۰۲۷۰۹۸۲۱	۰
%۲۰	۴۹۸۸۸۴۴۲	۶۹۸۱۲۷۴۲	۲۱۴۰	۰/۰۲۵۹۲۳۵۲۶	۰/۰۱۶۱۰۳۸۷۹	۰
%۳۰	۵۱۴۱۷۰۲۸	۷۱۳۳۸۳۱۸	۲۱۴۰	۰/۰۳۰۶۴۰۰۸۳	۰/۰۲۱۸۵۲۴۰۱	۰
%۴۰	۵۳۳۷۲۹۸۸	۷۳۰۲۱۴۲۹	۲۱۴۰	۰/۰۳۸۰۴۱۰۹۴	۰/۰۲۳۵۹۳۳۶۵	۰
%۵۰	۵۴۶۸۰۹۲۳	۷۴۲۶۳۶۳۰	۲۱۴۰	۰/۰۲۴۵۰۵۵۶۱	۰/۰۱۷۰۱۱۴۵۸	۰



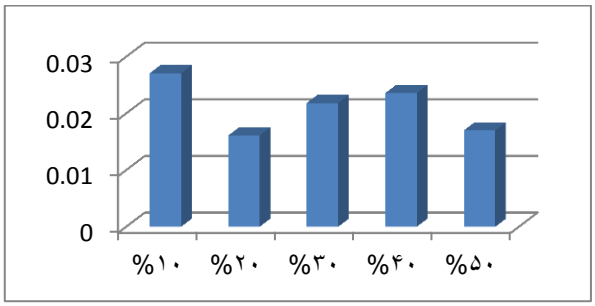
نمودار شماره (۱۳): تحلیل حساسیت میزان مصرف سوخت بر هزینه



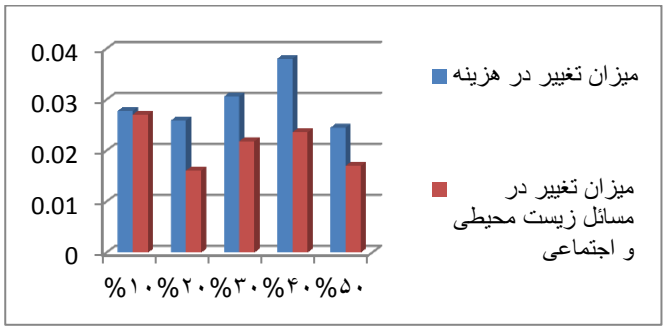
نمودار شماره (۱۴): تحلیل حساسیت میزان مصرف سوخت بر مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی



نمودار شماره (۱۵): اثر افزایش مصرف سوخت بر هزینه



نمودار شماره (۱۶): اثر افزایش مصرف سوخت بر مسائل زیست‌محیطی



نمودار شماره (۱۷): مقایسه اثر افزایش مصرف سوخت بر تابع هزینه و مسائل زیست‌محیطی

همان‌گونه که دیده می‌شود شاهد یک رابطه خطی درخصوص افزایش میزان مصرف سوخت بوده و دیده می‌شود که افزایش میزان مصرف سوخت منجر به افزایش هزینه می‌شود. افزایش میزان مصرف سوخت به‌طور طبیعی منجر به بدتر شدن جواب و افزایش مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی می‌شود. این افزایش نیز از نوع خطی می‌باشد. همان‌گونه که دیده می‌شود در وضعیت ۴۰ درصد بیشترین افزایش به‌وجود آمده و نزدیک به ۴ درصد به هزینه کل سیستم اضافه شده است. افزایش مصرف سوخت در وضعیت ۱۰ درصدی منجر به ۲.۵ درصد بدتر شدن مسائل زیست‌محیطی شده و این در سایر افزایش‌ها نیز مشخص است. اثرافزایش مصرف سوخت بر هزینه بیش از مسائل زیست‌محیطی است و این جنبه مالی افزایش مصرف سوخت را بیشتر جلوه‌گر می‌سازد اما اثر مصرف سوخت بر مسائل زیست‌محیطی نیز کاملاً مشهود می‌باشد.

اثر تقاضا بر سه هدف زمان، هزینه و مسائل زیست‌محیطی و اجتماعی بررسی گردید و نشان داده شد که اگر تقاضا افزایش یابد اثر بیشتر بر زمان به‌وجود می‌آید. به‌عبارت دیگر افزایش تقاضا می‌تواند خلل‌هایی را ایجاد کند که در نتیجه آن زمان تحویل افزایش یافته و لذا این امر می‌تواند در بلندمدت منجر به نارضایتی مشتری شود. لذا بحث تقاضا و افزایش آن در مسأله حاضر باید جدی گرفته شود چرا که نارضایتی مشتری برای خود هزینه‌هایی به همراه می‌آورد که در بلندمدت بروز و ظهور می‌یابد. اما اثر افزایش تقاضا بر هزینه و زمان کمتر است. نکته جالب توجه این است که افزایش تقاضا اثر کمتری بر هزینه می‌گذارد چراکه با افزایش تقاضا شدت اثر بیشتر شده و در ۵۰ درصد افزایش شاهد ۱/۴ درصد افزایش در هزینه خواهیم بود که نسبت به مقادیر قبلی این افزایش چشمگیر تر می‌باشد. قابل ذکر است که نتایج بدست آمده از تحقیق ما با نتایج احمدی جاوید و همکاران (۲۰۱۰) و ویسنت و همکاران (۲۰۱۳) همراستا می‌باشد. اما اثری که بر مسائل زیست‌محیطی می‌یابد در بلندمدت ماهیت نزولی یافته و می‌تواند منجر به کاهش این اثر شود. همانطور که از نتایج حاصل شد با افزایش بیشتر در تقاضا اثر بر مسائل زیست محیطی و اجتماعی کمتر می‌شود. به عنوان مثال در ۵۰ درصد شاهد ۶ دهم درصد افزایش در مسائل زیست محیطی می‌باشیم در حالیکه در ۱۰ درصد این افزایش حدودا ۱/۴ درصد می‌باشد. لذا اثر بر مسائل زیست‌محیطی نسبت به هزینه مثبت‌تر تلقی می‌شود. دومین پارامتر اثرگذار هزینه حمل کالا می‌باشد. نتایج بدست آمده از تحقیق ما با نتایج بوچری و همکاران (۲۰۱۷) همراستا می‌باشد.

هزینه حمل کالا اثری بر مسائل زیست‌محیطی و زمان ندارد اما منجر به افزایش هزینه می‌شود این افزایش در وضعیت ۱۰ درصد تقریباً نزدیک به ۱/۸ درصد می‌باشد که البته در ۴۰ درصد به ۱ درصد کاهش می‌یابد که از این نظر جالب توجه می‌باشد.

تنها پارامتری که منجر به بهبود جواب می‌شود افزایش میزان اشتغال است. افزایش میزان اشتغال منجر به بهتر شدن مسائل زیست‌محیطی می‌شود اما اثری بر هزینه و زمان ندارد. نکته جالب توجه این است که افزایش تا ۵۰ درصد منجر به افزایش ۲ درصدی در بهبود مسائل زیست‌محیطی می‌شود که هر چند اثر اندکی را نشان می‌دهد اما می‌تواند در مقادیر بالا مهم و معنی‌دار باشد. بنابراین درخصوص مسائل پایداری بهبود جنبه‌های اجتماعی می‌تواند به سیستم تولید یا زنجیره تأمین منافعی را وارد کند که نباید از آن غافل شد. پارامتر نهایی پارامتر افزایش مصرف سوخت است که می‌تواند منجربه افزایش هزینه و مسائل زیست‌محیطی به‌طور همزمان شود اما اثری که بر هزینه دارد کاملاً ملموس بوده و بیش از مسائل زیست‌محیطی است به‌عنوان مثال افزایش ۴۰ درصدی در مصرف سوخت منجر به افزایش ۴ درصدی در هزینه می‌شود که مقدار افزایش چشمگیری را نشان می‌دهد در حالی‌که این افزایش در مسائل زیست‌محیطی نزدیک به ۲/۵ درصد می‌باشد. در مجموع نمی‌توان اثر مصرف سوخت را بر هزینه و مسائل زیست‌محیطی نادیده گرفت. نتایج بدست آمده از تحقیق ما با نتایج زینکوتا و همکاران (۲۰۲۱) همراستا می‌باشد.

در انتها بر اساس محدودیت‌های تحقیق حاضر پیشنهادات برای تحقیق آتی به شرح ذیل مطرح می شود:

- ارائه یک مدل زنجیره تامین پایدار تاب‌آور با در نظر گرفتن انبارهای عبوری
- ارائه مدل مکانیابی مسیریابی انبارهای عبوری در شرایط عدم قطعیت
- استفاده از الگوریتمهای فراابتکاری نظیر ازدحام ذرات و مورچگان به جای الگوریتم ژنتیک
- مقایسه تعدادی از الگوریتم‌های فراابتکاری در حل مسئله مزبور
- افزودن قابلیت اطمینان به مسئله مزبور

٤-منابع

1. Ali Ahmadi, Alireza & Nahaie, Vahid Saeed. (2007). *A comprehensive description of research methods (paradigms, strategies, designs and quantitative, qualitative and hybrid approaches*. (2nd edition), Tehran: Tolied Danesh.
2. Arabani, A. B., Ghomi, S. F., & Zandieh, M. (2011). Meta-heuristics implementation for scheduling of trucks in a cross-docking system with temporary storage. *Expert systems with Applications*, *38*(3), 1964-1979.
3. Aravendan, M., & Panneerselvam, R. (2014). Literature review on network design problems in closed loop and reverse supply chains. *Intelligent Information Management*, *2014*.
4. Bouchery, Y., Corbett, C. J., Fransoo, J. C., & Tan, T. (Eds.). (2016). *Sustainable supply chains: A research-based textbook on operations and strategy* (Vol. 4). Springer.
5. Boysen, N. (2010). Truck scheduling at zero-inventory cross docking terminals. *Computers & Operations Research*, *37*(1), 32-41.
6. Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2010). Scheduling inbound and outbound trucks at cross docking terminals. *OR spectrum*, *32*(1).
7. Cardona-Valdés, Y., Álvarez, A., & Ozdemir, D. (2011). A bi-objective supply chain design problem with uncertainty. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, *19*(5), 821-832.
8. Cardona-Valdés, Y., Álvarez, A., & Pacheco, J. (2014). Metaheuristic procedure for a bi-objective supply chain design problem with uncertainty. *Transportation Research Part B: Methodological*, *60*, 66-84.
9. Czinkota, M. R., Kotabe, M., Vrontis, D., Shams, S. R. (2021). Distribution and Supply Chain Management. *Marketing Management: Past, Present and Future*, 499-552.
10. Formentini, M. (2020). Sustainable Supply Chain Management. In *Corporate Sustainability in Practice: A Guide for Strategy Development and Implementation* (pp. 207-223). Cham: Springer International Publishing.

11. Georgiadis, M. C., Tsiakis, P., Longinidis, P., & Sofioglou, M. K. (2011). Optimal design of supply chain networks under uncertain transient demand variations. *Omega*, *39*(3), 254-272.
12. Hassini, E., Surti, C., & Searcy, C. (2012)."A literature review and A Case Study of Sustainable Supplu Chains whit a Focus on Metrics." *Production Economics*, 140, 69-82.
13. Javid, A. A., & Azad, N. (2010). Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *46*(5), 582-597.
14. Jozefowiez, N., Laporte, G., & Semet, F. (2012). A generic branch-and-cut algorithm for multiobjective optimization problems: Application to the multilabel traveling salesman problem. *INFORMS Journal on Computing*, *24*(4), 554-564..
15. Kara, S. A. I. B., & Melo, I. M. T. (2013). Location and Logistics. Technical Reports on Logistics, Saarl. Bus. Sch. ISSN 2193–7761, 2014.
16. Küükoğlu, İ., Aksoy, A., Ene, S., & Öztürk, N. (2013). A mathematical model for two dimensional loading problem in cross-docking network design. *Mathematical and Computational Applications*, *18*(3), 273-282.
17. Larbi, R., Alpan, G., Baptiste, P., & Penz, B. (2011). Scheduling cross docking operations under full, partial and no information on inbound arrivals. *Computers & Operations Research*, *38*(6), 889-900.
18. Li, L., & Schulze, L. (2010, March). Uncertainty in logistics network design: a review. In *World Congress on Engineering 2012. July 4-6, 2012. London, UK.* (Vol. 2189, pp. 1466-1471). International Association of Engineers.
19. Liao, C. J., Lin, Y., & Shih, S. C. (2010). Vehicle routing with cross-docking in the supply chain. *Expert systems with applications*, *37*(10), 6868-6873.
20. Linton, J. D., Klassen, R., & Jayaraman, V. (2007). Sustainable supply chains: An introduction. *Journal of operations management*, *25*(6), 1075-1082
21. Ma, H., Miao, Z., Lim, A., & Rodrigues, B. (2011). Crossdocking distribution networks with setup cost and time window constraint. *Omega*, *39*(1), 64-72.
22. Matinrad, N., Roghanian, E., & Rasi, Z. (2013). Supply chain network optimization: A review of classification, models, solution techniques and future research. *Uncertain Supply chain management*, *1*(1), 1-24.
23. Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, *213*(2), 455-465.
24. Mavrotas, G., & Florios, K. (2013). An improved version of the augmented ε-constraint method (AUGMECON2) for finding the exact pareto set in multi-objective integer programming problems. *Applied Mathematics and Computation*, *219*(18), 9652-9669.
25. Mousavi, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Jolai, F. (2013). A possibilistic programming approach for the location problem of multiple cross-docks and vehicle routing scheduling under uncertainty. *Engineering Optimization*, *45*(10), 1223-1249.
26. Mousavi, S. M., Vahdani, B., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2014). Optimal design of the cross-docking in distribution networks: Heuristic solution approach. *International Journal of Engineering*, *27*(4), 533-544.
27. Mousavi, S. M., Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Hashemi, H. (2014). Location of cross-docking centers and vehicle routing scheduling under uncertainty: a fuzzy possibilistic–stochastic programming model. *Applied Mathematical Modelling*, *38*(7-8), 2249-2264.
28. Mula, J., Peidro, D., Díaz-Madroñero, M., & Vicens, E. (2010). Mathematical programming models for supply chain production and transport planning. *European*

Journal of Operational Research, *204*(3), 377-390.
29. Musa, R., Arnaout, J. P., & Jung, H. (2010). Ant colony optimization algorithm to solve for the transportation problem of cross-docking network. *Computers & Industrial Engineering*, *59*(1), 85-92.
30. Naderi, B., Rahmani, S., & Rahmani, S. (2014). A multiobjective iterated greedy algorithm for truck scheduling in cross-dock problems. *Journal of Industrial Engineering*, *2014*.
31. Parker, T. (2020). An Expensive Problem for the Online Fashion Industry: Too many returns. *Medium.* https://medium.com/@parker_content/an-expensive-problem-for-the-online-fashion-industry-too-many-returns-abc441ed1b51
32. Ramezani, M., Kimiagari, A. M., Karimi, B., & Hejazi, T. H. (2014). Closed-loop supply chain network design under a fuzzy environment. *Knowledge-Based Systems*, *59*, 108-120.
33. Rodriguez, M. A., Vecchietti, A. R., Harjunkoski, I., & Grossmann, I. E. (2014). Optimal supply chain design and management over a multi-period horizon under demand uncertainty. Part I: MINLP and MILP models. *Computers & Chemical Engineering*, *62*, 194-210.
34. Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Mousavi, S. M. (2013). Scheduling of trucks in cross-docking systems: a hybrid meta-heuristic algorithm. *Lecture Notes in Management Science*, *5*, 125-132.
35. Vincent, T., Seipp, F., Ruzika, S., Przybylski, A., & Gandibleux, X. (2013). Multiple objective branch and bound for mixed 0-1 linear programming: Corrections and improvements for the biobjective case. *Computers & Operations Research*, *40*(1), 498-509.
36. Wu, C. J., & Hamada, M. S. (2011). *Experiments: planning, analysis, and optimization*. John Wiley & Sons.
37. Zhang, Z. H., Li, B. F., Qian, X., & Cai, L. N. (2014). An integrated supply chain network design problem for bidirectional flows. *Expert Systems with Applications*, *41*(9), 4298-4308.

Sustainable Supply Chain Location-Routing of Online Stores

Hossein Firouzi
Vice President of Automotive Engineering Saipa Citroen
Javad Rezaeian (Corresponding Author)
Associate Professor of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology
Email: j.rezaeian@ustmb.ac.ir
Alireza Rashidi Komijan,
Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran
Mohammad Mehdi Movahedi
Department of Industrial Management, Islamic Azad University, Firoozkuh Branch< Firoozkuh, Iran,

Abstract
One of the most important problems of distribution companies (particularly large online stores) is designing the location of docks, routing vehicles and optimizing the supply distribution network. In this research, the location of Digikala online store distribution centers has been discussed. A multi-objective location-routing problem considering the principle of stability and time constraint is developed with meta-heuristic methods. Based on the results of the proposed model, the effect of demand on the three goals of time, cost, and environmental and social issues was investigated and it was shown that if the demand increases, there will be a greater effect on time. In other words, the increase in demand can cause problems, as a result of which the delivery time has increased, and therefore, this can lead to customer dissatisfaction in the long run.Increasing the amount of employment also leads to the improvement of environmental issues, but it has no effect on cost and time. Also, the cost of transporting goods has no effect on environmental and time issues, but it leads to an increase in cost.

Keywords: time slot, sustainable supply chain, online store, routing, location.